Elementarteilchenphysik in philosophischer Sicht
– Vorwort zur digitalisierten Ausgabe 2015 –

Mein Kollege Kurt W. Fleming hat es dankenswerter Weise wieder auf sich genommen, das vorliegende Buch zu digitalisieren. Die unter Forschenden auf dem Gebiet der Physik und der Wissenschaftsphilosophie, sowie öffentlich geführten Diskussionen um neue Erkenntnisse der Elementarteilchenphysik, etwa im Zusammenhang mit der Entdeckung des Higgs-Bosons, führen zu philosophisch-erkenntnistheoretischen Problemen, für deren Lösung die schon vorliegenden philosophischen Analysen nicht vergessen werden sollten. Die Aktualität der im Buch „Materiestruktur" vertretenen philosophischen Auffassungen als Antwort auf Fragen in den aktuellen Debatten, ist Gegenstand dieses Vorworts. *Erstens* ist prinzipiell dazu zuerst auf das Verhältnis von Physik, Philosophie und Weltanschauung einzugehen, da Philosophie auch für die Elementarteilchenphysik ein Bindeglied zwischen Physik und Weltanschauung ist. *Zweitens* erklären die im zweiten Abschnitt erläuterten Gründe für die Publikation auch, warum der Untertitel „Dialektischer Materialismus und Elementarteilchenphysik" lautet. *Drittens* wird auf neue Erkenntnisse der Elementarteilchenphysik und ihre philosophische Relevanz verwiesen. *Viertens* geht es um die Philosophie als Heuristik für die physikalische Forschung zur Zeit der Publikation und heute. Mit dem Verhältnis von Experiment, Modell und Theorie wird *fünftens* auf eine wesentliche erkenntnistheoretisch-methodologische Beziehung in der Elementarteilchenphysik verwiesen, die auch für die aktuelle Forschung besteht. *Sechstens* ist die oft in Diskussionen nicht beachtete Differenzierung von philosophischen Kategorien und physikalischen Begriffen, was nicht selten zur Verwirrung führt, am Beispiel von philosophischem Materiebegriff und Materiesstruktur aufzuzeigen. Im siebenten Abschnitt wird auf die philosophische Relevanz der aktuellen Suche nach eine theory of everything, gewissermaßen als Fazit der Darlegungen im Vorwort, eingegangen.

1. Physik, Philosophie und Weltanschauung

Philosophie ist Brücke zwischen Wissenschaft und Weltanschauung. (Hörz 2007) Das gilt auch für die Physik. Hypothesen und theoretische Ansätze aus der physikalischen Forschung über die elementaren Strukturen und Prozesse des Geschehens fordern philosophische Analyse und auch Hypothesen heraus. Wo der Blick von Forschenden ins Ungewisse geht, da hat philosophisches Denken als Heuristik, oft als Spekulation verpönt, seinen Platz. Dabei unterscheidet sich das Herangehen der in Physik und Philosophie Tätigen. Philosophie umfasst die Weltsicht der Menschen einer bestimmten soziokulturellen Einheit. Sie ist prinzipielle Welterklärung, zugleich auch Erkenntniskritik und weltanschauliche Lebenshilfe. Physik sucht mit ihren Methoden durch Einsichten in die Strukturen, Mechanismen und Prozesse ihrer Forschungsobjekte, in unserem Fall der Elementarobjekte die anorganische Welt wissenschaftlich zu verstehen. Sie ist für alle anderen Wissenschaften deshalb grundlegend, weil sie die elementaren Prozesse und Grundmechanismen des Geschehens ebenso untersucht, wie die kosmischen Bedingungen vielfältiger komplexer Verbindungen und des Lebens. Irdisches Leben und menschliche Gesellschaft sind eingebettet in den von der Physik erforschten Mikro- und Makrokosmos. Im vorliegenden Buch heißt es dazu: „Zwar entfällt heute die vom mechanischen Materialismus postulierte Identität der Materiestruktur mit der physikalischen Materiestruktur, trotzdem behält letztere eine grundlegende Bedeutung für die Erklärung von Naturvorgängen. Erstens gibt es keinen Naturvorgang, der nicht aus physikalischen Objekten bestünde. Zweitens müssen deshalb die physikalischen Gesetze in naturwissenschaftlichen Theorien berücksichtigt werden. Drittens entscheidet die Physik über die Existenz oder Nichtexistenz letzter unteilbarer Teilchen und über ihre Eigenschaften. Deshalb hat die Untersuchung der physikalischen Materiestruktur und vor allem der heute bekannten Elementarteil-

chen und die philosophische Analyse der dabei erreichten Ergebnisse Bedeutung für unser Verständnis der Materiestruktur überhaupt.“ (Hörz 1971, S. 8 f.) Das gilt auch heute noch.

Im Zusammenhang mit den philosophischen Diskussionen um klassischen und dialektischen Determinismus in der modernen Physik war es wichtig, den Begriff „Struktur“ genau zu definieren. Er sollte nicht mit dem objektiven Gesetz identifiziert werden und die Dialektik von Notwendigkeit und Zufall umfassen. Die entsprechende Definition lautet: „Unter Struktur eines Systems verstehen wir die Gesamtheit der wesentlichen und unwesentlichen, allgemeinen und besonderen, notwendigen und zufälligen Beziehungen zwischen den Elementen eines Systems in einem bestimmten Zeitintervall. Die Verhaltensweise eines Systems ist abhängig von den Elementen und ihrer Struktur sowie von der Systemstruktur; die wesentliche Verhaltensweise des Systems dagegen wird durch die Gesamtheit der Systemgesetze bestimmt.“ (Hörz 1971, S. 71) Es gab auch aus der Physik Hinweise darauf, dass die philosophische Interpretation der klassischen Mechanik durch den mechanischen (Laplaceschen) Determinismus den statistischen Charakter der klassischen Physik mit Wahrscheinlichkeitsaussagen nicht beachtet. Ich erinnere mich dazu gern an die fruchtbaren Gespräche auf einem längeren Spaziergang mit dem Physiker Boris Valerianovich Chirikov (1928-2008) vom Institut für Kernphysik der Sibirischen Abteilung der Sowjetischen Akademie der Sowjetischen Akademie der Wissenschaften bei meinem Besuch in Nowosibirsk. Er beschäftigte sich mit Chaos-Theorie, die philosophisch und in ihren weltanschaulichen Konsequenzen zu analysieren war. Einen intensiven wissenschaftlichen Meinungsaustausch dazu hatte Chirikov mit Prof. Dr. Ulrich Röseberg (1943-1994), dem Leiter der Forschungsgruppe Physik im Bereich „Philosophische Fragen der Wissenschaftsentwicklung“ am Zentralinstitut für Philosophie der Akademie der Wissenschaften der DDR (AdW). Am 26.4.1974 hielt Chirikov einen Vortrag im Bereich, zu dem unser Kooperationspartner, der Bereich Philosophische Probleme der Naturwissenschaften von der Humboldt-Universität Berlin eingeladen war. Das Thema war: „Dynamische und statistische Gesetze in der klassischen Mechanik“. Er zeigte, dass auch die klassische Mechanik nicht einfach einem klassischen Determinismus folgt, wie philosophisch vor allem von den Verteidigern des Apriorismus von Immanuel Kant (1724-1804) betont wurde. Übrigens griffen Kantianer auch Albert Einstein (1879-1955) mit seiner Relativitätstheorie an, die im Widerspruch zur Philosophie Kants und seiner Auffassung von Raum und Zeit stünde. (Hörz 2015b) Es wird deutlich, dass die Verbindung von Philosophie und Physik nicht immer unbedingt von gegenseitigem Respekt gegenüber den Erkenntnissen der anderen Seite getragen war. Die Wissenschaftsgeschichte bietet dafür viele Beispiele. Leider ist das nicht nur eine historische Erscheinung.

Wir konnten den von Ulrich Röseberg übersetzten Vortrag in der Wissenschaftlichen Zeitschrift der Humboldt-Universität veröffentlichen. (Chirikov 1975) Es ging um die für die Chaostheorie wesentlichen Kategorien, wie Kausalität, Gesetz, Notwendigkeit und Zufall. Der Autor verwies auf entsprechende Arbeiten von Röseberg und stellte „einen merkwürdigen Sachverhalt fest: in der streng determinierten Laplaceschen Welt, die keinen Zufall kennt, ist das Kausalprinzip in seiner hier untersuchten Bestimmung nicht notwendig. Die Reihenfolge der Ereignisse ist in dieser Welt unerheblich. Sie erfolgen alle unabdingbar. Das Kausalprinzip wird lediglich in statistischen Prozessen notwendig, die durch Wahrscheinlichkeitsunbestimmtheiten charakterisiert sind. ... Die hier vorgetragene Auffassung der Kausalität kommt m. E. dem Standpunkt von H. Hörz sehr nahe.“ (Chirikov 1975, S. 219) Der Autor verwies dabei auf das Buch „Materiestruktur“ von 1971.

Wesentliche Aspekte des Verhältnisses von Physik, Philosophie und Weltanschauung sprach auch der Nobelpreisträger Werner Heisenberg (1901-1976) in unserem Briefwechsel an. Am 4.1.1972 schrieb er: „Haben Sie herzlichen Dank für die Übersendung Ihres Buches über die Materie-Struktur, in dem Sie die Elementarteilchen-Physik vom weltanschaulichen Stand-

punkt des dialektischen Materialismus aus diskutieren. ... Ich hoffe, daß die Kritik an der kommunistischen Bewegung, die ich in meinem Buch ‚Der Teil und das Ganze' ausgesprochen habe, Sie nicht allzu sehr zum Protest herausfordert. Sicher werden auch Sie sich der fundamentalen Schwierigkeit bewußt sein, daß eine Weltanschauung, die für die Menschen – auch für die einfachen Menschen – die Grundlage der Entscheidungen bilden muß, sich nicht schnell ändern darf, während sich die Wissenschaft in ihren Erkenntnissen, besonders in unserem Jahrhundert, sehr schnell ändert. Dieses Problem war die Grundlage des Prozesses der Kirche gegen Galilei; es ist neu aufgetaucht bei der Frage nach der Anerkennung der Relativitätstheorie und der Quantentheorie im modernen Rußland, und es wird natürlich wieder auftauchen im Zusammenhang mit der Elementarteilchentheorie. Einfache Lösungen gibt es sicher nicht, aber vielleicht ist es schon eine Hilfe, wenn man sich über die Wichtigkeit des Problems klar wird." (Heisenberg 2013)

In vielen interdisziplinären Diskussionen war ich mit diesem Problem konfrontiert. Ich verwies stets darauf, dass die philosophische Analyse naturwissenschaftlicher Erkenntnisse sich mit philosophischen Aussagen verschiedenen Allgemeinheitsgrades befasst. Philosophie kann nur fortschreiten, wenn sie die Impulse aus anderen Wissenschaften aufnimmt, deren Erkenntnisse philosophisch analysiert, um philosophische Aussagen mit dem Wissen der Zeit zu präzisieren und eventuell daraus philosophische Hypothesen abzuleiten, die erkenntnisfördernd wirken. Nur so kann mit Transdisziplinarität der wachsenden Komplexität von Aufgaben und Entscheidungssituationen Rechnung getragen werden. Als systematisierte Weltanschauung beantwortet Philosophie die grundlegenden Fragen nach der Existenzweise und Entwicklung der Welt, nach der Stellung der Menschen in der Welt, nach dem Sinn des Lebens und der gesellschaftlichen Entwicklung aus der Sicht von soziokulturellen Identitäten und sozialen Schichten. Dabei kann es zu falsifizierbaren Aussagen kommen, die der wissenschaftlichen Erkenntnis widersprechen. Da es sich um präzisierte philosophische Aussagen handelt, die dem konkret-historischen Wissensstand geschuldet sind, kann die entsprechende Philosophie sich auf die allgemeinen Grundsätze zurückziehen und sie neu präzisieren. Insofern sind die weltanschaulichen Grundaussagen gewissermaßen gesetzte Axiome mit gesellschaftlichen Werten und Verhaltensnormen. Mit dem Wissen einer Zeit werden sie präzisiert und mit neuen Erkenntnissen korrigiert. Hypothesen sind Heuristik. (Hörz 1974) Dabei stehen sich weltanschauliche Auffassungen als Offenbarungen oder als wissensbasierte Aussagen manchmal prinzipiell entgegen. (Hörz, H. E., Hörz, H. 2013, S. 382-403)

Der Briefwechsel mit Werner Heisenberg, der auf ein wesentliches Problem im Verhältnis von Physik, Philosophie und Weltanschauung im Zusammenhang mit dem Buch „Materiestruktur" aufmerksam machte, begann, als ich ihm früher mein Buch „Werner Heisenberg und die Philosophie" schickte. Am 29.08.1966 dankte er für die Übersendung und schrieb: „Haben Sie den besten Dank für Ihren Brief und die Übersendung Ihres Buches über meine Stellung zur Philosophie, das ich zwar noch nicht vollständig, aber doch schon recht ausführlich studiert habe. Es hat mich gefreut, zu sehen, daß Sie an vielen Stellen herausgefunden haben, was mir wirklich wichtig ist und daß Sie meine Meinung dort richtig wiedergegeben haben. Auch dort, wo Sie selbst anderer Meinung sind, haben Sie meinen eigenen Ansichten, so scheint mir, volle Gerechtigkeit widerfahren lassen. Im ganzen bin ich mir ja durchaus bewußt, daß ich nur ein Dilettant in der Philosophie bin; ich habe viel zu wenig gelesen, um mit voller Verantwortung über diese schwierigen Probleme sprechen zu können. Andererseits habe ich die Skepsis gegenüber den Möglichkeiten der Sprache, die Sie ja auch in Ihren Buch hervorheben, sehr früh von Niels Bohr gelernt; und die damit verbundene Erkenntnis hat für mich die Philosophie schon immer von den exakten Wissenschaften weg in die Richtung der Weltanschauung verschoben. Man braucht ja nicht so skeptisch zu sein wie Plato im 7. Brief, der glaubt, daß man das wahre Wissen überhaupt nicht sprachlich formulieren könne. Aber

wahrscheinlich muß man sich eben einmal für eine Sprache entscheiden, in der man über die Zusammenhänge der Welt, d. h. über die Grundfragen der Philosophie sprechen will. Niels Bohr hat einmal formuliert, daß es sich bei der Religion (oder bei der ‚Weltanschauung') um den Versuch handelt, das Leben in einer Gemeinschaft durch den Gebrauch einer verbindlichen Sprache über die allgemeinen Fragen zu harmonisieren. Daher betrifft die Entscheidung über die philosophische Sprache, die man verwendet, wohl auch immer in irgendeiner Form das Zusammenleben mit einer größeren menschlichen Gemeinschaft, der man sich zugehörig fühlt. So verstehe ich jedenfalls Ihre Entscheidung für die Sprache des dialektischen Materialismus, und so verstehen Sie sicher auch, daß ich selbst eine Sprache bevorzuge, in der die Gewichte anders verteilt sind.

Auf viel festerem Boden steht man natürlich, wenn man über die Physik der Elementarteilchen diskutiert, und ich habe mich darüber gefreut, daß Sie diesen Problemkreis in Ihrem Buch so ausführlich abgehandelt haben. Vielleicht interessiert es Sie, daß ich jetzt gerade ein Buch abgeschlossen habe, das in den nächsten Monaten unter dem Titel „Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen" erscheinen wird (in deutscher Sprache bei Hirzel, in englischer Sprache bei Wiley). Die hier in München entwickelte Theorie hat sich in den letzten Jahren so weit vervollkommnet, daß mir die Darstellung in einem Buch möglich erschien, und ich hoffe, daß die Grundgedanken dieser Theorie damit auch einem weiteren Kreis von jüngeren Physikern zugänglich werden.

Zum Schluß möchte ich Ihnen noch einmal für die gute Darstellung dieses Wechselspiels zwischen exakter Naturwissenschaft und Philosophie danken, das sich in den nächsten Jahrzehnten sicher noch fortsetzen wird." (Heisenberg 2013)

Das angekündigte Buch schenkte er mir mit Widmung. Außerdem erhielt ich eine Einladung zum Gastaufenthalte nach München an sein Institut. Mein Antrag auf eine Dienstreise wurde jedoch abgelehnt. Heisenberg hatte keine Berührungsängste, wenn es um den dialektischen Materialismus ging. Diese Haltung, sachlich Probleme zu diskutieren, ist mir auch an anderen Stellen begegnet. So bei den Debatten mit Ilja Prigogine, den ich zum Essen in Berlin eingeladen hatte und mit Thomas S. Kuhn, der mich in Boston zum Mittagessen einlud. Ich fand viel Interesse, vor allem bei Physikern und weniger bei Philosophen, die einer geschlossenen Schule angehörten, für die philosophische Interpretation neuer Erkenntnisse der Physik.

2. Gründe für die Publikation

Heisenberg hatte darauf aufmerksam gemacht, dass jeder Mensch, auch der in der Physik, in anderen Wissenschaften und in der Philosophie Forschenden, eine bestimmte Sprache benutzen. Das war und ist für mich die des dialektischen Materialismus. Für die Analyse neuer Erkenntnisse der Physik ist vor allem die Sicht auf Zusammenhänge, auf die dialektischen Widersprüche von Kontinuität und Diskontinuität, von Kausalität und Stochastik, von Symmetrien und ihre Durchbrechung, von Welle und Korpuskel, von Elementarität und Komplexität, von Raum-Zeit und materieller Bewegung u. a. wichtig. Das wird im Buch verdeutlicht. Hinzu kommt die aus der materialistischen Dialektik sich ergebende Erkenntniskritik. Philosophie kann für die Physik dann heuristisch wirksam werden, wenn sie auf die offenen Probleme der Forschung verweist.

Der dialektische Materialismus ist für mich kein geschlossener „Ismus", sondern eine Philosophie, die offen ist für alle Anregungen, Kritiken und neue Erkenntnisse. Deshalb war und ist für mich die inter-, multi- und transdisziplinäre Zusammenarbeit wichtig, um Philosophie nicht zu einem Spezialgebiet für Fachphilosophen verkommen zu lassen. An anderer Stelle habe ich ausführlich begründet, dass die materialistische Dialektik als Theorie, Methode und Methodologie des dialektischen Materialismus eine Synthese bisheriger Analysen zur Dialek-

tik ist und deren positive Seiten in sich aufgenommen hat. Als Fazit ist festgehalten: „Die materialistische Dialektik ist Bestandteil eines dialektischen Materialismus. Er nimmt als Materialismus zwar die Wirklichkeit als Grundlage menschlicher Erkenntnis, unterschätzt jedoch keineswegs die Rolle ideeller Komponenten menschlichen Lebens. Theorien und kulturelle Wertvorstellungen werden zur materiellen Gewalt, sobald sie die Massen ergreifen, unabhängig davon, ob es um begründete Theorien oder humane Werte geht. Das Bewußtsein repräsentiert zwar die Wirklichkeit, doch konstruiert und strukturiert sie diese zugleich ideell, woraus sich Handlungsprogramme ergeben. Zurückzuweisen ist aus dialektischer Sicht ein vorgegebener Automatismus des Geschehens, nach dem es eine natürliche, politisch-soziale oder spirituelle Entwicklung vom Niederen zum Höheren gibt, oder gar, moralisch bewertet, vom Schlechteren zum Besseren. Die Ableitung einer Gesellschaftstheorie aus der Dialektik unterliegt konstruktiv-kritischer Analyse, um Bekenntnisse nicht als Erkenntnisse auszugeben und die Vision einer zukünftigen humanen Gesellschaft, die auch ich habe, nicht als abgeleitet aus allgemeinen dialektischen Prinzipien erscheinen zu lassen.

Dialektik ist die Wissenschaft von der Struktur, Veränderung und Entwicklung in Natur, Gesellschaft, Technik, Menschheit und menschlichen Individuen (objektive Dialektik), von der Struktur, Veränderung und Entwicklung der Begriffe und Theorien (subjektive Dialektik), von der Struktur, Veränderung und Entwicklung menschlicher Aneignungsweisen der Wirklichkeit in ihrer Einheit von gegenständlicher, ästhetisch-anschaulicher und rationaler Aneignung (Dialektik der Wirklichkeitsaneignung). Letztere schließt die Struktur, Veränderung und Entwicklung der Erkenntnismethoden ein (Dialektik des Erkenntnisprozesses).“ (Hörz 2009, S. 60)

Für die Publikation dieser Studie zum Verhältnis von Dialektischem Materialismus und Elementarteilchenphysik gab es also mehrere Gründe, die mit meinem Verständnis von Physik, Philosophie und Weltanschauung zusammenhängen:

Erstens: Um den Charakter des dialektischen Materialismus als einer offenen Schule der Philosophie zu verdeutlichen, war auf das menschliche Streben einzugehen, zu erkennen, was die Welt im Innersten zusammenhält. Was konnte er zum Weltverständnis beitragen? Es galt, die neuen Erkenntnisse der Elementarteilchenphysik philosophisch zu analysieren, um die allgemeinen Aussagen mit dem Wissen der Zeit zu präzisieren und philosophische Hypothesen als Heuristik für weitere Forschungen zu begründen. Kapitelüberschriften verweisen auf die wesentlichen philosophischen Aspekte: Elementarität und Struktur; Kausalität und Lokalität; Raum und Zeit als Existenzformen der Materie; Symmetrie, Gesetz, Struktur. Die Erkenntnisse dazu sind heute zur philosophischen Analyse neuer Einsichten in die elementaren Strukturen und Prozesse des wirklichen Geschehens zu nutzen und keineswegs veraltet.

Zweitens: Die umfangreichen interdisziplinären Diskussionen im In- und Ausland zu den philosophischen Problemen der modernen Physik zeigten, wie physikalische Erkenntnisse mit philosophischen Kategorien ohne Differenzierung vermischt wurden. So sprach man etwa im Zusammenhang mit der Einsteinschen Formel, nach der die Energie *E* gleich dem Produkt der Masse m mit dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit *c* ist, von der Umwandlung der Materie in Energie. Man setzte also die materielle Substanz, den Stoff mit seiner Masse, gleich mit der Materie und tat damit so, als ob Energie nicht zur Materie gehöre. In weltanschaulichen Kurzschlüssen wurde dann aus physikalischen Erkenntnissen eine prinzipielle Kritik des Materialismus abgeleitet. Ein anderes Problem: Auseinandergesetzt hatte ich mich schon mit dem Laplaceschen Determinismus und der Leugnung des Zufalls, ebenso mit der Rolle des Beobachters im Experiment. Mit den Erkenntnissen der Elementarteilchentheorie tauchten neue philosophische Aspekte auf. Das Verhältnis von Elementarteilchen und ihrer weiteren Teilbarkeit wurde diskutiert. Es ging um substanzielle und relationale Beziehungen. Der

boot-strap-Mechanismus zeigte, dass kein Teilchen an sich existiert. Kausalität und Lokalität war im Zusammenhang mit der Fernwirkung zu sehen. Durchbrechungen der Symmetrie wurden konstatiert. Das erforderte eine philosophische Analyse der neuen Erkenntnisse über die elementaren Strukturen der wirklichen Prozesse, die im Buch vorgenommen wurde.

Drittens: Dogmatische Auffassungen nicht nur der Verteidiger des Apriorismus aus der Tradition von Kant waren zurückzuweisen, sondern auch einseitige Interpretationen durch dialektische Materialisten. Darauf hatte schon Heisenberg aufmerksam gemacht. Mit philosophischen Argumenten wurden die Kopenhagener Deutung der Quantentheorie, die Relativitätstheorie u. a. mit neuen Erkenntnissen verbundene Theorien abgelehnt. Ich erinnere mich noch an Bemerkungen in philosophischen Disputen unter dialektischen Materialisten: „Das haben doch die Klassiker des Marxismus-Leninismus schon klargestellt." Positiv gesehen zog man sich auf allgemeine philosophische Aussagen zurück. Negativ verzichtete man auf die Präzisierung philosophischer Auffassungen durch neue Erkenntnisse. Insofern amputierte man den dialektischen Materialismus, indem man ihn auf die philosophische Höhe weltanschaulicher Aussagen erhob und die Debatten mit den Forschenden und Fragenden aus der Physik vermied. Bei denen entstand dann der Eindruck, dass manche Philosophen ihre feststehende Auffassung nicht in Frage stellen lassen wollten. Wie mir ein Physiker einmal sagte, würde für dialektische Materialisten die Schrift von Wladimir Iljitsch Lenin (1870-1924) „Materialismus und Empiriokritizismus" als ihre Bibel, als ihre heilige Schrift, gelten. Doch gerade in diesem Buch wurde auf neue Einsichten in die Materiestruktur aufmerksam gemacht, worauf im vorliegenden Buch hingewiesen wird: „Lenin verteidigte die materialistische Grundhaltung von Engels, ohne dogmatisch an jeder Äußerung festzuhalten. Hatte doch schon Engels darauf hingewiesen, daß der Materialismus seine Form ändern müsse mit jeder grundlegenden neuen wissenschaftlichen Entdeckung. ... So sind die durch die Entwicklung der Physik des 19. Jahrhunderts geprägten Aussagen von Engels über die räumliche Unendlichkeit mit dem von der Physik des 20. Jahrhunderts gelieferten Material zu konfrontieren. Dabei bleibt die von Engels vertretene These von der Unendlichkeit der Materie in dem Sinne erhalten, daß es keine endgültige Wahrheit über die Struktur der Materie gibt. Die Aussagen über das unendliche Fortschreiten im Raum gelten jedoch nur für den Euklidischen Raum und verlieren heute ihren Sinn. Es gilt also, stets die materialistische Grundposition zu verteidigen und nicht die eine oder andere Aussage der Klassiker." (Hörz 1971, S. 50 f.) Auch mit der Kritik am physikalischen Idealismus wurden z. B. wichtige philosophische Fragen, die aus der Physik an die Philosophie gestellt wurden, so über die Rolle der Mathematik, nicht beantwortet, sondern in diesem Fall als Platonismus (Idealismus) abgewertet. Festzuhalten ist: Manche Ergebnisse physikalischer Forschung wurden in der Philosophie des dialektischen Materialismus nicht zur Kenntnis genommen oder ihre philosophische Relevanz nicht erkannt.

Viertens: Philosophische Kategorien waren exakter zu bestimmen. Als Beispiel sei auf die Kategorie des Gesetzes verwiesen, um zu verdeutlichen, dass es sich dabei um die Erfassung objektiver Zusammenhänge durch die Forschung handelt, doch ein Unterschied zwischen dem schon Erkannten und dem noch im Dunklen Verborgenen besteht. So wird über die objektiven Gesetze im Buch festgestellt: „Unter Gesetz verstehen wir einen objektiv existierenden allgemein notwendigen und wesentlichen Zusammenhang. Diese Definition charakterisiert das Gesetz, das seine Widerspiegelung in den Gesetzen der Wissenschaft findet. Wir sprechen im weiteren von Gesetz, wenn wir die Widerspiegelung der objektiven Gesetze in wissenschaftlich formulierten Gesetzen meinen. Wo es auf den Unterschied zwischen objektivem Tatbestand und seiner Widerspiegelung ankommt, benutzen wir den Terminus ‚objektives Gesetz' ... in der Auseinandersetzung mit dem Agnostizismus und Dogmatismus, ist die Unterscheidung wichtig. Durch die Praxis überprüfte wissenschaftliche Gesetze sind im Rahmen der Überprüfung adäquate Widerspiegelungen der objektiven Gesetze. Da jedoch

unsere Praxis nie absolut ist, werden stets auch neue Bedingungen erkannt, unter denen die Gesetze nicht gelten. Dort existieren dann neue Gesetze, die von der Wissenschaft aufgedeckt werden. So falsch es ist, eine Kluft zwischen erkanntem und objektivem Gesetz aufzureißen, so falsch ist es aber auch, beide einfach zu identifizieren. Die erste Feststellung wendet sich gegen den Agnostizismus. Die Wissenschaft zeigt, daß wir in der Lage sind, die objektive Realität zu erkennen. Die zweite Feststellung wendet sich gegen die Dogmatisierung von Erkenntnissen. Überprüfte Gesetze gelten für die Bedingungen, unter denen sie überprüft werden.“ (Materiestruktur 1971, S. 339 f.) In aktuellen Auseinandersetzungen wird etwa die Existenz einer objektiven Wissenschaft mit dem Hinweis auf die Subjektivität unserer Erkenntnis geleugnet. (Hörz 2010)

Fünftens: Zu den weltanschaulichen Grundfragen, die von der Philosophie zu beantworten sind, gehören die Fragen nach dem Ursprung, der Existenzweise und Entwicklung des Universums, nach der Quelle unseres Wissens, nach der Stellung der Menschen in der Welt, nach dem Sinn des Lebens und dem Charakter der gesellschaftlichen Entwicklung. (Hörz 2007, S. 10) Allgemeine philosophische Kategorien, wie Materie, Kausalität, Zufall, Gesetz usw. geben prinzipielle Antworten auf diese Frage. Sie bedürfen jedoch der Präzisierung durch das Wissen einer Zeit. Das ist stets aktuelle Aufgabe der Philosophie. Die weltanschaulichen Aspekte der Debatten um die moderne Physik hatte Lenin bei der Verteidigung des dialektischen Materialismus angesprochen: „Es ist aber völlig unzulässig, die Lehre von dieser oder jener Struktur der Materie mit einer erkenntnistheoretischen Kategorie zu verwechseln, die Frage nach den neuen Eigenschaften der neuen Arten der Materie (zum Beispiel der Elektronen) mit der alten Frage der Erkenntnistheorie, der Frage nach den Quellen unseres Wissens, nach der Existenz der objektiven Wahrheit u. dgl. m. zu verwechseln, wie die Machisten dies tun. ... Die Materie ist eine philosophische Kategorie zur Bezeichnung der objektiven Realität, die dem Menschen in seinen Empfindungen gegeben ist, die von unseren Empfindungen kopiert, fotografiert, abgebildet wird und unabhängig von ihnen existiert. Davon zu reden, daß ein solcher Begriff ‚veralten‘ kann, ist daher kindisches Geschwätz, eine sinnlose Wiederholung der Argumente der *reaktionären* Modephilosophie.“ (Lenin 1975, S. 124)

Nehmen wir alle Gründe zusammen, dann ist festzustellen: Vom festen Boden der Elementarteilchenphysik ausgehend, analysierte ich die neuen Erkenntnisse in ihrer philosophischen Relevanz.

3. Neues aus der Elementarteilchenphysik

Theoretische Grundlage der Elementarteilchenphysik ist das Standardmodell. Es ist eine Quantenfeldtheorie, die alle bekannten Elementarteilchen und ihre Wechselwirkungen umfasst. Die Elementarteilchen werden als diskrete Pakete der Felder betrachtet. Die Quantenmechanik, Quantenchromodynamik und spezielle Relativitätstheorie sind berücksichtigt. Widersprüche mit der Allgemeinen Relativitätstheorie treten auf. Die für die Erklärung kosmischer Prozesse in der Kosmologie eingeführten Hypothesen von der dunklen Materie, der dunklen Energie und der Supersymmetrie verlangen Erweiterungen der Theorie. Das ist ein Forschungsfeld, das intensiv bearbeitet wird. (Hörz 2015b)

Wir kennen insgesamt 61 Arten von Teilchen mit ihren Antiteilchen, zu denen verschiedenen Arten von Quarks, Leptonen, Austauschteilchen (Gluonen) und das Higgs-Boson gehören. Die Quantenchromodynamik befasst sich mit den verschiedenen Farbladungen der Quarks. Teilchenbeschleuniger, Messstationen für Teilchen aus dem Kosmos, irdische Geräte und die im Kosmos, die durch die verschiedenen Missionen installiert wurden, liefern experimentelle Daten, die theoretisch auszuwerten sind. Eine umfangreiche theoretische Forschung findet auf verschiedenen Forschungsfeldern und in den entsprechenden international vernetzten Gruppen statt. Elementarteilchenphysik ist dabei eine technisch und finanziell aufwendige

Forschung. Selbst die Theoretiker brauchen für ihre umfangreichen Computerprogramme entsprechende Rechenzeiten an Großcomputern. Beispielsweise werden bestimmte Gitterstrukturen für Teilchenwechselwirkungen (Pionen) analysiert, um Aussagen über die Masse zu gewinnen. Sie sind mit experimentellen Ergebnissen zu vergleichen und liefern eventuell auch heuristische Hinweise für die weitere experimentelle Forschung. (Bulava et al 2015)

Nachrichten aus der physikalischen Forschung zu den elementaren Bausteinen der Materie, gewissermaßen zu den Fundamentalteilchen und Feldern, die elementare Prozesse strukturieren, finden auch öffentliches Interesse. Für den Nobelpreis ist das verständlich. 2015 erhielten Takaaki Kajita und Arthur B. McDonald den Nobelpreis im Fachbereich Physik für ihren Beweis, dass Neutrinos Masse besitzen. Damit wird eine Annahme widerlegt, die bisher dem Standardmodell der Elementarteilchenphysik zu Grunde lag. Im Bayrischen Rundfunk heißt es dazu in der Online-Ausgabe vom 6.10.2015: „Das bisherige Standardmodell zur Erklärung von Materie, das mehr als zwanzig Jahre Bestand hatte, widerstand zwar allen experimentellen Herausforderungen, ging aber immer von masselosen Neutrinos aus. Die Entdeckungen von Kajita und McDonald um die Jahrtausendwende zeigen, dass das Standardmodell nicht die ganze Theorie zu den Grundbausteinen des Universums ist.“ (BR 2015) Damit werden unterschiedliche philosophische Probleme angesprochen. Das Standardmodell erklärt sicher nicht Materie generell, auch nicht vollständig die physikalische. Die Entdeckung, dass Neutrinos Masse besitzen, gehört zu den neuen Erkenntnissen über die Materiestruktur. Es ist also, wie im vorliegenden Buch schon ausführlich begründet, zwischen philosophischem Materiebegriff und Materiestruktur zu unterscheiden. Darauf ist noch einzugehen. Außerdem wird auf die Möglichkeit verwiesen, dass weitere Forschungen zu Präzisierungen des Standardmodells führen können. Eventuell wird auch eine umfassendere Theorie entwickelt, gegenüber der sich das bisherige Modell als relative Wahrheit erweist, eben bezogen auf bestimmte Bedingungen für die Gültigkeit des Modells. In diesem Zusammenhang ist auf die Beziehung von philosophischer Heuristik und physikalisch-mathematischer Forschung einzugehen. Der physikalische Erkenntnisprozess in der Wechselwirkung von Theorie und Experiment ist ebenfalls von philosophischem Interesse. Es bedarf umfangreicher theoretischer Analysen, um Experimente zu deuten.

Zu den neuen Erkenntnissen über die Neutrinos wird weiter erläutert: „Neutrinos, von denen es drei verschiedene Arten gibt, sind in der Lage, ihre Identität zu wechseln. Um die Jahrtausendwende hatte das Team um den Japaner Kajita herausgefunden, dass Neutrinos aus der Atmosphäre zwischen zwei Zuständen hin- und herswitchen können. Gleichzeitig hatte die Forschungsgruppe um McDonald gezeigt, dass die Neutrinos auf ihrem Weg von der Sonne zur Erde nicht verschwinden. Stattdessen wurden sie mit einer anderen Identität auf dem Sudbury Neutrino Observatorium ‚gefangen‘ genommen. Aus den Umwandlungen der Teilchen konnten die Wissenschaftler nur den Schluss ziehen, dass Neutrinos eine Masse besitzen müssen.“ Es wird darauf verwiesen, dass diese Teilchen experimentell schwer nachzuweisen sind. „Viele Neutrinos entstehen bei der Reaktion zwischen kosmischer Strahlung und der Erdatmosphäre. Andere bei Reaktionen im Innern der Sonne. Tausende von Milliarden von Neutrinos strömen jede Sekunde durch unsere Körper. Diese Elementarteilchen, die nahezu mit Lichtgeschwindigkeit unterwegs sind, sind schwer zu fassen. Künftige Forschungen werden sich aber genau damit beschäftigen: Sie wollen mehr über die Masse dieser Teilchen erfahren, um das künftige Schicksal unseres Universums zu verstehen (BR 2015)

Es geht also auch um die Beziehung von Elementarteilchenphysik und Kosmologie. Das ist noch ein weites Feld der Forschung, da bisher nur erste Ansätze für eine umfassende Theorie, einer theory of everything existieren, die alle Wechselwirkungen, also die starke, schwache, elektromagnetische und die der Gravitation umfasst. Insofern werden auch die philosophi-

schen Kategorien von Raum und Zeit mit ihrer Präzisierung durch die Relativitätstheorie weiter von philosophischem Interesse sein.

Öffentlichkeitswirksam wurde die Entdeckung des Higgs-Bosons bekannt gemacht.

Im Juli 2012 gab CERN, die Europäische Organisation für Kernforschung, als Ergebnis der Forschungen am Large Hadron Collider (LHC) bekannt, dass nun der Nachweis für die Existenz des Higgs-Bosons gelungen sei. Das Higgs-Teilchen ist ein nach dem britischen Physiker Peter Higgs benanntes Elementarteilchen aus dem Standardmodell der Elementarteilchenphysik. Es ist elektrisch neutral, hat Spin 0 und zerfällt nach sehr kurzer Zeit. Nach der von Higgs in den 1960er-Jahren vorgeschlagenen Theorie, existiert die Masse der Elementarteilchen durch die Wechselwirkung mit dem allgegenwärtigen Higgs-Feld. Doch es bedurfte langer Zeit und der Existenz von Teilchenbeschleunigern, in denen Teilchen mit hoher Energie aufeinander treffen, um das Teilchen des Higgs.Feldes, das Higgs-Boson zu entdecken.

Am 15.05.2015 wurde dazu in der online-Ausgabe „Spektrum.de“ festgesellt: „**Schon wieder sind Physiker erfolgreich daran gescheitert, das Standardmodell ins Straucheln zu bringen. Ein extrem seltener Teilchenzerfall verlief (fast) wie geplant.“** Weiter heißt es: „Jeder rechnet mit einer Sensation, aber sie kommt nicht. Das Standardmodell der Teilchenphysik erweist sich wieder einmal als deutlich stabiler, als selbst seine Begründer einst annahmen. Im Standardmodell sind alle heute bekannten Teilchen und die Wechselwirkungen zwischen ihnen mathematisch exakt beschrieben. Dennoch gibt es diverse triftige Gründe, warum dieses Modell nicht der Physik letzter Schluss sein kann: Es kann weder erklären, was Dunkle Materie und Dunkle Energie sind, aus denen unser Universum zum größten Teil besteht, noch kann es eine Ursache dafür angeben, warum unser Universum aus Materie gemacht ist und nicht aus Antimaterie. Es gibt eine ganze Reihe von Theorien, die diese Mängel zu beheben suchen, indem sie das Standardmodell erweitern. Beispielsweise tauchen in Theorien zur Supersymmetrie – oft kurz SUSY genannt – schwere Geschwisterteilchen zu den heute bekannten Elementarteilchen auf. Solche Erweiterungen des Standardmodells beinhalten damit nicht nur neue Teilchen, sondern auch neue Wechselwirkungen. Denn irgendwie müssen die geheimnisvollen Partner unserer normalen Materie ja mit dieser in Kontakt treten können.“ Zu den Möglichkeiten, neue Teilchen zu finden, wird auf den LHC und die Entdeckung des Higgs-Bosons verwiesen: „Nach seiner Wartungspause ist der LHC inzwischen wieder an den Start gegangen. Die neuen Kollisionen bei noch höheren Energien könnten helfen, supersymmetrische Teilchen direkt nachzuweisen. Bis dahin sind Forscher auf die Auswertung von Zerfallsdaten früherer Kollisionen angewiesen. Die Experimentalphysiker versuchen auf zwei verschiedene Weisen, der verborgenen Teilchen habhaft zu werden. Der direkte Weg wäre die Erzeugung solcher schweren und extrem kurzlebigen Teilchen in einem Teilchenbeschleuniger wie dem Large Hadron Collider (LHC) am Europäischen Kernforschungszentrum CERN bei Genf. Wenn dort Protonen – die Atomkerne des Wasserstoffs – bei den höchsten menschengemachten Energien miteinander kollidieren, kann eine Vielzahl unterschiedlicher Teilchen entstehen. Ist die Energie groß genug, ist es im Prinzip auch möglich, bislang unbekannte Teilchen nachzuweisen. Die Entdeckung des Higgs-Bosons, das aller Materie Masse verleiht, im Juli 2012 am CERN war ein solcher direkter Nachweis. Zugleich war es eine der größten Sensationen der Teilchenphysik in den letzten Jahrzehnten und gewissermaßen der Schlussstein des Standardmodells. Denn nun war der Teilchenbaukasten abgeschlossen, die Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment perfekt. Umso größer sind jetzt die Bemühungen, Teilchen jenseits des Standardmodells zu finden.“ (Eidemüller 2015)

Die Forschung und die Suche nach einer theory of everything geht weiter. Kann Philosophie mit Hypothesen Anregungen dafür geben. Das führt uns zum Verhältnis von philosophischer Heuristik und physikalisch-mathematischer Forschung.

4. Philosophische Heuristik und physikalisch-mathematische Forschung

Aus den Mitteilungen über Neues aus der Elementarteilchenphysik können wir folgende Überlegungen für die philosophische Sicht darauf ableiten:

Erstens: Physikalische Theorien, wie die von der Existenz des Higgs-Feldes, bedürfen zu ihrer experimentellen Bestätigung der entsprechenden Methoden und Geräte. Erst mit dem LHC als einem Teilchenbeschleuniger mit entsprechend hohen Energien war es nach immerhin fünf Jahrzehnten möglich, das theoretisch postulierte Teilchen zu finden.

Zweitens: Die philosophische Analyse physikalischer Theorien gewinnt damit ebenfalls oft erst nach Jahrzehnten an Relevanz für die Welterklärung, wenn die Theorie experimentell bestätigt ist.

Drittens: Philosophische Welterklärung basiert auf spezialwissenschaftlichen Erkenntnissen. Das gilt auch für die Elementarteilchenphysik, die sich mit fundamentalen Mechanismen der anorganischen Prozesse befasst. Diese wiederum vollziehen sich auch in lebenden Systemen und im Kosmos. Philosophie hat diesen Zusammenhang zu berücksichtigen. Kosmische Systeme und Prozesse ebenso wie Prozesse und Strukturen lebender Systeme haben ihre eigenen Systemgesetze, die jedoch nicht im Widerspruch zu den Erkenntnissen der Elementarteilchenphysik stehen dürfen, wenn sie wissenschaftlich korrekt sind.

Viertens: Philosophie ist als Welterklärung zugleich Heuristik. Sie macht auf offene Probleme aufmerksam und wirkt als Gedankenprovokation. Insofern sind philosophische Ideen, unabhängig davon, wann sie früher, unter welchen Umständen auch immer, geäußert wurden, auf ihren heuristischen Gehalt zu überprüfen.

Fünftens: Philosophische Kategorien sind langlebiger als spezialwissenschaftliche Begriffe. Deutlich wird das im Verhältnis des philosophischen Materiebegriffs zu Auffassungen über die Materiestruktur. Darauf ist gesondert einzugehen.

Die physikalische Forschung wird uns also weiter philosophisch relevante Erkenntnisse liefern, die eventuell philosophische Hypothesen bestätigen oder zur Präzisierung von Aussagen über die Materiestruktur beitragen. So erklärte der Elementarteilchenphysiker Christian Spiering auf der wissenschaftlichen Tagung der Freien Akademie vom 14. bis 17. Mai 2015 in Teltow bei Potsdam mit dem Thema „Die Evolution des Kosmos. Fakten – Vermutungen – Rätsel“, „dass die nächsten 10 Jahre, auch durch die Arbeiten am CERN, die Entscheidung bringen werden, welcher Natur die dunkle Materie ist.“ Matthias Steinmetz befasste sich mit dunkler Energie und beschleunigter Expansion des Universums. Er stellte fest: „Nach heutigem Stand der Erkenntnis, sind 95% des Kosmos von mysteriöser Natur, 99% ist unsichtbar. Alle Komponenten des Kosmos haben dieselbe Größenordnung, was in der Vergangenheit nie der Fall war und auch in Zukunft nicht der Fall sein wird. Dennoch können mit dem Modell der unsichtbaren Masse und der unsichtbaren Energie detaillierte Vorhersagen über den Zustand des Universums erreicht werden.“ (Tagungsbericht 2015)

Ich stellte dazu in meinem Vortrag auf der Tagung fest: „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.“ (Hörz 2015)

Philosophie als Welterklärung sollte sich nicht unabhängig von wissenschaftlichen Erkenntnissen konstituieren, wenn sie sich nicht selbst zur unfruchtbaren Spekulation verdammen will. Sie wirkt als Ideengenerator dann, wenn sie die philosophische Relevanz neuer spezialwissenschaftlicher Erkenntnisse analysiert. Ein Beispiel dafür führt das Mitglied der Leibniz-Sozieät, der Leipziger Mathematiker Gerd Laßner (1940-2005) an. Er zeigte bei der mathematischen Modellierung physikalischer Prozesse, dass „die nichtkommutative Struktur der Observablenalgebra, und das ist nichts anderes als der nichtkommutative Raum (des Heisenbergschen Modells) des Magneten, die Entwicklung in der Zeit fest(legt). Es wird zuerst ein Zustand gewählt, definiert durch seine makroskopischen Eigenschaften, und dann die Zeitentwicklung abgeleitet. Es ist nahezu in wörtlicher Übereinstimmung die mathematisch-theoretische Realisierung eines möglichen Programms, das sich aus philosophischen Überlegungen ergibt, und die H. Hörz folgendermaßen formuliert hat: ‚Man könnte deshalb spekulieren: Wäre es nicht denkbar, die Messgrenzen mit komplexeren Konstanten zu bestimmen, aus denen die elementaren ableitbar sind. Es wären Systemkonstanten zu finden, wie sie auch mit Energie, Entropie, Temperatur u.a. schon existieren, die eine vollständige Beschreibung materieller Bewegung in einem System geben. Zeit müsste, wie auch aus anderen Konstanten, daraus ableitbar sein. (Hörz 1990, S. 145)'". (Laßner 2003, S. 280)

Laßner war, wie ich aus vielen Gesprächen weiß, sehr an philosophischen Problemen der Mathematik und Physik interessiert. Das wird auch im Nachruf der Leibniz-Sozietät betont. Dort heißt es u. a. über seine wissenschaftliche Arbeit: „Seine Tätigkeit war häufig von unkonventionellen Ideen getragen, an deren Umsetzung er stets mit großem persönlichen Einsatz und Optimismus heranging. Die Lehre bereicherte er durch Vorlesungen zu Gebieten, die bis dahin in Leipzig nicht in der Ausbildung vertreten waren. In der Forschung war Gerd Laßner maßgeblich an der Begründung des sich zu Beginn der 70-er Jahre etablierenden neuen Forschungsgebiets ‚Algebren unbeschränkter Operatoren' sowie an deren Anwendungen in der Quantenphysik beteiligt. Mit ihm und den Arbeiten der von ihm aufgebauten großen Arbeitsgruppe wurde das Leipziger Mathematische Institut zu einem Zentrum der Forschung zu dieser Klasse von Algebren. Durch die enge wissenschaftliche Zusammenarbeit mit theoretischen Physikern entwickelte sich eine tragenden Säule der mathematisch-physikalischen Forschung in Leipzig." (Nachruf Laßner 2006, S. 26)

Halten wir also fest: Wissenschaft braucht Lehrende und Forschende, die offene Probleme erkennen und Lösungen suchen. Dabei helfen verrückte Ideen, die brauchbare Spekulationen, oft auch philosophischer Art, sind, um die Wirklichkeit in möglichen Strukturen zu erfassen. Diese sind als Gedankenkonstruktionen jedoch nur relativ apriori, denn sie sind stets mit den wirklichen Strukturen über Beobachtungen und Experimente in Zusammenhang zu bringen. Dabei kann sich manche als unfruchtbar angesehene Spekulation später als wichtig erweisen. Philosophie kann so als Heuristik wirken. Das führt uns zum philosophisch interessanten Verhältnis von Experiment, Modell und Theorie, mit dem sich unserer Bereich „Philosophische Fragen der Wissenschaftsentwicklung" befasst hat.

5. Experiment, Modell, Theorie

Prof. Dr. Siegfried Paul berichtet in seinem Vorwort von 2014 zur digitalisierten Ausgabe der Studie zur Mathematisierung der Wissenschaften über die Zusammenarbeit mit den Wissenschaftsphilosophen der Moskauer Akademie, die auch heute noch gut funktioniert: „1972 wurde am Zentralinstitut für Philosophie der Akademie der Wissenschaften der DDR der Bereich ‚Philosophische Fragen der Wissenschaftsentwicklung' unter der Leitung von Herbert Hörz gegründet. Seit seiner Gründung strebte der Bereich die Herstellung offizieller langfristiger Arbeitsbeziehungen zum Bereich ‚Philosophische Fragen der Naturwissenschaften' des Instituts für Philosophie der Akademie der Wissenschaften der UdSSR an, insbeson-

dere gemeinsam wissenschaftliche Projekte zu realisieren. Vertreter beider Partnerbereiche trafen sich 1975 mit dem Ziel, das Gemeinschaftsprojekt mit dem prägnanten Kurztitel ‚Experiment – Modell – Theorie' in die Wege zu leiten. Auf der Grundlage eines gemeinsam erarbeiteten Programms fanden zu dieser Thematik 1976 in Berlin und 1977 in Moskau Symposien statt. Um möglichst vielen Interessenten mit den Vorträgen des Berliner Symposiums bekannt zu machen, erschienen 1977 in Berlin alle auf diesem Symposium gehaltenen Referate in einem Manuskriptdruck des Zentralinstituts für Philosophie der Akademie der Wissenschaften der DDR unter dem Titel ‚Experiment – Modell – Theorie'. In überarbeiteter Form wurden diese Referate und Beiträge weiterer Autoren dann 1982 in Berlin (H. Hörz/M. E. Omel'janovskij (Hrsg.), Experiment – Modell – Theorie, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1982) und Moskau (Эксперимент – Модель – Теория, Издателсъство ‚Наука', Москва – Берлин 1982) in Buchform publiziert." (Paul 2014, S. 1 f.)

In dem 2013 digitalisiert publizierten Buch „Dialektik der Natur und der Naturerkenntnis", das 1990 nicht mehr erscheinen durfte, wird das Verhältnis von Experiment, Modell, Theorie im Kapitel 3.3. ebenfalls ausführlich behandelt. Im aktuellen Vorwort bemerkt John Erpenbeck dazu: „Zugleich wird in den methodologischen Kapiteln zu Widerspiegelung, Wahrheit, den typischen Methoden der Einzelwissenschaften (Beobachtung, Messung, Experiment, Modellbildung, Theorienbildung, Mathematisierung) so viel detailliertes Material geboten, dass sie auch heute noch lesenswert erscheinen." (Erpenbeck 2013, S. 13)

In „Dialektik der Natur und der Naturerkenntnis" wird dann auf Experiment, Modell und Theorie konkret eingegangen. Schon die Philosophische Analyse der Elementarobjekte (Teilchen und Strahlung) im Zusammenhang mit der Quantentheorie zeigte, dass sie komplizierter als das klassische Objekt sind. Auf zwei Gruppen wesentlicher Erscheinungen wird in zwei Arten von Experimenten, auf Wellen- und Korpuskel-Eigenschaften, aufmerksam gemacht. Daraus ergab sich schon, dass uns die Zukunft mit komplizierteren Erscheinungen konfrontieren wird, die noch mehr wesentliche Eigenschaften besitzen, die in verschiedenen Experimenten zu erkennen sind. Das zeigt sich bei den experimentellen und theoretischen Forschungen zur gegenwärtigen Elementarteilchenphysik. Die vorher charakterisierten Ergebnisse zur Bestätigung des Standardmodells zeigen das. Dabei treten neue Wechselwirkungen und Zusammenhänge auf. Während die klassische Theorie aus einer Vielzahl von Erscheinungen bei den Körpern immer wieder als Wesentliches die in der klassischen Mechanik festgehaltenen Korpuskel-Eigenschaften oder bei den Wellen die in der Wellentheorie erfassten Wellen-Eigenschaften erkannte, erwiesen sich bei den Quantenobjekten beide sich widersprechende Eigenschaften als wesentliche Seiten derselben Objekte. Es kompliziert sich also die Erkenntnis mit dem Übergang zur Untersuchung komplizierterer Objekte. Zugleich werden einfachere gesetzmäßige Beziehungen gesucht, wie das Standardmodell zeigt.

Als Aufgabe des Experimentators ist es, die Anordnungen der Experimente so zu treffen, dass wesentliche Erscheinungen als Beobachtungsresultate zu erwarten sind. Dem Menschen kann sich das Wesen der objektiven Prozesse nur erschließen, wenn er verschiedene Erscheinungen, die alle ein Moment des Wesens zum Ausdruck bringen, beobachten und analysieren kann. Die theoretische Synthese ist dann auf die Hervorhebung der wesentlichen Seite gerichtet. Dazu bedarf es großer theoretischer Kenntnisse, exakter Messungen und der Fähigkeit, das Wesentliche zu erkennen. Der Physiker Philipp Lenard (1862-1947) nahm es beispielsweise Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) zeitlebens übel, dass es diesem gelang, die Röntgenstrahlen zu entdecken, obwohl er mit denselben Geräten arbeitete, ohne auf die Strahlen aufmerksam zu werden.

Das Verhältnis von Theorie und Wirklichkeit ist also eine komplizierte Beziehung, die durch den Menschen vermittelt wird, der Geräte, Hypothesen, Modelle, Experimente usw. ausnutzt,

um zu einer wahren Theorie über die Wirklichkeit zu kommen. Forschende organisieren mit wissenschaftlichen Experimenten bewusst Erscheinungen unter bestimmten Bedingungen, die ein Moment des Wesens der Untersuchungsobjekte zeigen sollen, das durch theoretische Arbeit herauszufinden ist. Das Wesen eines Experiments besteht darin, eine objektive Analyse der Wirklichkeit vorzunehmen. Die experimentelle Tätigkeit ist eine Einheit von theoretischen und empirischen Elementen des Erkenntnisprozesses.

In „Dialektik der Natur und der Naturerkenntnis“ befassten wir uns differenzierter mit dieser Tätigkeit: „Die Voraussetzung für die Anwendung der experimentellen Methode ist die Aufarbeitung des bisherigen Standes der theoretischen und experimentellen Forschung, um im *ersten* Schritt zur Formulierung der experimentell zu lösenden Problematik und zu prinzipiell durchführbaren Vorschlägen für Experimente zu kommen. Der *zweite* Schritt ist die gedankliche Vorbereitung des konkreten Experiments durch die Festlegung der Konstanten und Variablen, durch die Analyse des Messprozesses und die Auswahl der Geräte. Der *dritte* Schritt besteht im Aufbau des Experiments und in seiner Durchführung. Für das Experiment selbst sind die Fähigkeiten der Experimentatorengruppe entscheidend, die theoretisch vorgeschlagenen Experimente nach ihrer gedanklichen Vorbereitung auch zu realisieren, Schmutzeffekte zu beseitigen und so einwandfreie Daten zu erhalten.

Die genannten Schritte der experimentellen Methode sind subjektabhängig, d. h. durch die Fähigkeiten und Fertigkeiten der Theoretiker und Experimentatoren bestimmt, Fragen an die Natur zu stellen und solche Bedingungen zu schaffen, die eine Antwort ermöglichen. Der Verlauf des Experiments jedoch ist ein objektiver Vorgang, dessen Ergebnis ein Moment des Wesens des zu erforschenden Objektes oder Prozesses offenbart, wenn die subjektiven Voraussetzungen stimmen. Eben deshalb ist das *Wesen des Experiments* die *objektive Analyse der Wirklichkeit*. Mit der Objektivität wird die Subjektunabhängigkeit der Ergebnisse betont. Wohl ist der Ablauf durch Bedingungen bestimmt. Bestimmte Faktoren werden konstant gehalten, um die Veränderung eines Faktors oder eines Komplexes von zusammenhängenden Faktoren bestimmen zu können. Gerade die Änderung dieser Faktoren ist nicht vorherzubestimmen Das macht das Experiment zu einem objektiven Kriterium der Wahrheit von Hypothesen. Die Bedingungen, die bewußt zur Modifikation der objektiven Prozesse geschaffen werden, sind die Grundlage der analysierenden Seite des Experiments. Mit ihnen werden aus dem Komplex objektiver Beziehungen bestimmte hervorgehoben. Es handelt sich also um einen durch das erkennende Subjekt bedingten Ablauf des Geschehens, der in seinem Ergebnis objektiv, d. h. subjektunabhängig ist, aber durch die Bedingungen nur ein Moment des Wesens zeigt. Das Experiment als objektiver Analysator der Wirklichkeit, vom Menschen bewußt zur Erkenntnisgewinnung eingesetzt, *zergliedert* objektive Zusammenhänge, läßt wesentliche Seiten hervortreten und hilft so, die Wirklichkeit überhaupt erst zu erkennen. ... Auswertung der Daten ist der *vierte* Schritt der experimentellen Methode. Dabei werden die durch das Experiment analysierten Momente des Wesens der zu untersuchenden Erscheinung gedanklich hervorgehoben. Die experimentelle Methode baut auf der Theorie auf. Sie nutzt bisherige theoretische Einsichten in die Beziehungen und Gesetze des zu untersuchenden Bereiches, muß die Theorie des Meßprozesses und der verwendeten Geräte berücksichtigen und führt zu einer Belebung der theoretischen Diskussion, indem die analysierten Momente des Wesens selbst zur Synthese drängen.“ (Hörz, Rosberg 2013, S. 63 f.) Die erkenntnistheoretischen Bestimmungen sind weiter gültig.

Die experimentellen Daten als Wesensmomente unterliegen dann der theoretischen Synthese. Zur Theorie heißt es: „Durch die Zusammenfassung der erkannten wesentlichen Beziehungen und Gesetze zu einem Gesetzessystem mit den entsprechenden Existenzbedingungen ermöglicht sie vor allem die Erklärung objektiv-realer Prozesse. Experiment und Theorie charakterisieren damit zwei Pole im Erkenntnisprozeß, nämlich die *objektive Analyse* und die *subjek-*

tive Synthese, womit die aktive, schöpferische Rolle des erkennenden Subjekts bei der Widerspiegelung der objektiven Realität hervorgehoben wird. Durch die Synthese der aus der gedanklichen Analyse experimenteller Daten gewonnenen Momente des Wesens erlangt die *Theorie* ihre Bedeutung als Widerspiegelung der objektiven Beziehungen und Gesetze. Damit vermag sie die Wirklichkeit vollständiger und tiefer zu erfassen, weil sie das existierende Konkrete, eben den zu untersuchenden Prozeß, mit Hilfe der Abstraktion und gestützt auf die experimentelle Methode analysiert, um zum geistig reproduzierten Konkreten zu gelangen, das sich als die Gesamtheit abstrakter Bestimmungen erweist. ... Auch mit der Aufstellung neuer Theorien kann das durch das Experiment analysierte Moment des Wesens der untersuchten objektiv-realen Erscheinungen nicht verlorengehen, es kann durch andere erkannte Wesensmomente ergänzt in neue Synthesen eingebaut werden. Jede Theorie beruht auf bestimmten einsichtigen Voraussetzungen, die oft einer empirischen Bestätigung nicht oder nur bedingt zugänglich sind. Diese Voraussetzungen sind ständig kritisch zu überprüfen, ob sie dem erreichten experimentellen Stand noch entsprechen. Die Einsteinsche Kritik an der Auffassung von der Gleichzeitigkeit der Ereignisse zeigte die Bedeutung eines solchen Vorgehens. Das *Theoriengebäude* einer Wissenschaft ist veränderlich und unterliegt der Entwicklung. Gerade deshalb darf die theoretische Forschung nicht unterschätzt werden, weil die Synthese der experimentell analysierten Wesensmomente ohne Beachtung der notwendigen Arbeit an der Theorie mit veralteten Vorstellungen erfolgen kann, die sich aus früheren Theorien eingeprägt haben.

Der Platz der Theorie im wissenschaftlichen Erkenntnisprozeß ist daher nicht nur durch ihre synthetische Funktion bestimmbar. Logik und Mathematik sind wesentliche Hilfsmittel zur Ordnung bzw. Darstellung der theoretischen Aussagen. Mehr noch! Da sich die *Mathematik* mit denkmöglichen formalisierbaren Beziehungen in Systemen mit ideellen Objekten befasst, erfüllt sie im Zusammenhang mit der Darstellung theoretischer Aussagen eine *heuristische* Funktion.“ (Hörz, Röseberg 2013, S. 64 f.)

Inzwischen befasst sich die Leibniz-Sozietät der Wissenschaften in einem speziellen Arbeitskreis mit dem Prinzip Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip. Es zeigt sich, dass komplexe Systeme nach dem 2+1-Prinzip untersucht werden. Es geht um die Beziehungen von System und Element oder System und Umwelt (2), verbunden mit einer Hintergrundtheorie. (Sommerfeld u. a. 2010). Eine Bilanz der mehrjährigen Tätigkeit des Arbeitskreises unter dem Thema „Sind komplexe Systeme einfach?“ liegt vor. (SB 125) Die erkenntnistheoretischen Probleme des Verhältnisses von Experiment und Theorie werden so weiter unter dem Aspekt der kritischen Auseinandersetzung mit philosophischem Reduktionismus untersucht, der von der Suche nach wissenschaftlich berechtigten Reduktionen zu unterscheiden ist.

6. Philosophischer Materiebegriff und Materiestruktur

Philosophischer Reduktionismus liegt vor, wenn etwa der philosophische Begriff der Materie auf die materielle Substanz eingeschränkt würde. Werden Erkenntnisse über die physikalische Materiestruktur genutzt, um mit weltanschaulichen Kurzschlüssen den Materialismus zu diskreditieren, so ist das eine andere Form eines unberechtigten Reduktionismus. Das Problem soll kurz an der Beziehung von philosophischem Materiebegriff und Materiestruktur dargelegt werden.

Auf der bereits erwähnten Tagung der Freien Akademie in Teltow im Mai 2015 bestand die Möglichkeit, sich an einen Nachmittag in Arbeitsgruppen zu treffen, deren Themen durch Vorschläge aus dem Zuhörerkreis vorgegeben und durch Abstimmung ausgewählt wurden. Darunter befand sich auch als Thema „philosophischer Materiebegriff“, der bei einem Teil Interesse weckte. In der Diskussion wurden, wie ich es oft schon erlebt habe, Einengungen

dieser philosophischen Kategorie auf Substanzen vorgenommen. Die Relationen der Teilchen, wie sie sich etwa in virtuellen Teilchen und in den Feynman-Diagrammen zeigen, sind jedoch nicht aus den Forschungen zur Elementarteilchenphysik wegzudenken. So sind Feynman-Diagramme bildliche Darstellungen quantenfeldtheoretischer Wechselwirkungen, die 1949 von Richard Feynman (1918-1988) eingeführt wurden. Beispielsweise wird eine Elektron-Elektron-Streuung durch Austausch eines virtuellen Photons dargestellt. In philosophischen Überlegungen bei der Abfassung des vorliegenden Buches war auch zu virtuellen Teilchen Stellung zu nehmen. Ihr Beitrag zur Erkenntnis der Materiestruktur im Bereich der Elementarteilchenphysik wird deshalb ausführlich und mit konkreten Beispielen diskutiert. Ein Fazit war: „Bewegung ist Veränderung im allgemeinsten Sinne. Zu ihr gehören die Ortsveränderung, die äußere und innere Wechselwirkung, die Umwandelbarkeit einer Materieart in eine andere und die Entwicklung. Da die materiellen Prozesse sich gegenseitig durchdringen können, bedarf es für die Vielfalt der Bewegung keines materiefreien Raumes. Die Untersuchung der Materiefelder zeigte auch, daß nicht die äußere Form eines Körpers oder einer Korpuskel die Grenze ihrer Wirksamkeit darstellt. Elementarobjekte haben die Möglichkeit zur Wirkung in einem größeren Bereich als sie dann direkt wirken. Wir müssen die Felder der Objekte berücksichtigen. Dabei versuchen wir die Wechselwirkung beispielsweise im Atomkern durch den Austausch virtueller Teilchen zu erfassen. Mesonen vermitteln die Kräfte zwischen Neutron und Proton. Die Prozesse mit virtuellen Teilchen sind gedachte Prozesse. Sie sind experimentell nicht überprüfbar. Jedoch können virtuelle Prozesse unter bestimmten Bedingungen zu realen werden. Die Hypothese der virtuellen Prozesse hilft dabei, eine Theorie für die realen Prozesse aufzustellen. Sie bringt einerseits die Möglichkeit der Umwandlung der Elementarteilchen durch den Austausch von Teilchen zum Ausdruck. Verwirklicht sich eine Möglichkeit, dann haben wir es mit der Umwandlung eines virtuellen Prozesses in einen realen zu tun. Andererseits widerspiegelt die Theorie einen komplizierten Mechanismus der Umwandlung der Teilchen, der uns nicht völlig bekannt ist.“ (Hörz 1971, S. 281) Es ist interessant, dass auch in der modernen Elementarteilchenphysik und Kosmologie mit virtuellen Prozessen gearbeitet wird. So sind dunkle Materie und dunkle Energie in einem viel größeren Maße virtuell, als etwa die virtuellen Prozesse in der Teilchenwechselwirkung. Trotzdem werden konkrete Ergebnisse erreicht und die Forschung auf die Suche nach neuen Teilchen orientiert.

Erkenntnisse über die Materiestruktur verändern nicht den philosophischen Materiebegriff, präzisieren ihn jedoch mit dem Wissen einer Zeit. Diese Präzisierung ist dann zu überprüfen, wenn neue Erkenntnisse auftauchen. In den Darlegungen zu den philosophischen Aspekten der Allgemeinen Relativitätstheorie ging ich ausführlicher auf das Verhältnis von Materiebegriff und Materiestruktur mit dem Verweis darauf ein, dass allgemeine philosophische Begriffe (Kategorien) Grundlage für die Beantwortung weltanschaulicher Grundfragen sind. Für die Physik sind dabei die Antworten auf die Fragen nach der Entstehung, Struktur und Entwicklung des Universums, nach der Quelle unseres Wissens und nach der Stellung des Menschen in der Welt von besonderer Bedeutung. Zur längeren Lebensdauer philosophischer gegenüber physikalischen Begriffen, stellte ich fest, dass sie sich aus den in philosophischen Kategorien ausgedrückten allgemeinsten Merkmalen ergibt. Um begriffliche Klarheit zu schaffen, führe ich weiter aus: „Der philosophische Materiebegriff ist im dialektischen Materialismus in Bezug auf das Bewusstsein definiert: **Materie** ist eine philosophische Kategorie zur Bezeichnung der objektiven Realität, die außerhalb und unabhängig von unserem Bewusstsein existiert und von ihm widergespiegelt werden kann und wird. **Bewusstsein** ist Entwicklungsprodukt und Eigenschaft der Materie sowie spezifisch menschliche Form der Widerspieglung. Das Primat der Materie gegenüber dem Bewusstsein ist nicht auf die menschliche Praxis als **Subjekt-Objekt-Dialektik**, also auf die gegenständliche und theoretische Aneignung materieller und ideeller Objekte, .zu übertragen. Der menschliche Erkennt-

nisprozess erfordert, auch für die kosmischen Prozesse, Beobachtungen und Experimente, um etwas über die Struktur der Materie zu erfahren. **Materiestruktur** ist die Gesamtheit der Beziehungen zwischen entstehenden, existierenden, sich entwickelnden und vergehenden Objekten als Einheit von **Materiearten**, zu denen Galaxien, Elementarobjekte, Atome, Moleküle, Lebewesen, soziale Systeme gehören, und von **Materieformen**, wie Bewegung, Raum und Zeit, Evolution, Information und Selbstorganisation.

Erkenntnisse der Physik zur Materiestruktur zeigten den Welle-Korpuskel-Charakter der Elementarobjekte, die Existenz von Teilchen und Antiteilchen, Prozesse der Entstehung und des Vergehens kosmischer Objekte, kosmische Hintergrundstrahlung und weitere Effekte. Die Materieform **Bewegung** umfasst Veränderung und Entwicklung, das Entstehen höherer Qualitäten, gemessen an Kriterien. Es geht stets um die Einheit von Materie und Bewegung. Auch die philosophischen Kategorien Raum und Zeit, die das Neben- und Nacheinander des Geschehens ausdrücken, wurden präzisiert. Die **Raum-Zeit** ist Existenzform der Materie. Geht man von der Unerschöpflichkeit der Materiestruktur aus, gibt es auch unerschöpfliche Raum-Zeit-Strukturen.“ (Hörz 2015b)

Wer aufmerksam das vorliegende Buch liest, wird merken, dass diese Differenzierung von Materiebegriff und Materiestruktur wichtig bei der philosophischen Analyse neuer Erkenntnisse der Elementarteilchenphysik ist. Das galt damals und ist heute weiter aktuell. In meinem Vortrag in Teltow stellte ich dazu im Zusammenhang mit aktuellen Debatten fest: „Diskutiert wird über dunkle Materie und dunkle Energie, über Paralleluniversen und Supersymmetrie. 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. Mit „Antimaterie“ meint man eigentlich die Existenz von Antiteilchen und möglichen Antiwelten. Der philosophische Materiebegriff umfasst die Teilchen- und Welleneigenschaften der Elementarobjekte ebenso, wie kosmische Strukturen und Prozesse. Mögliche Antiwelten sind materiell. Elementarteilchenphysik untersucht 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 vor der Entdeckung das Higgs-Boson, und eventuell weitere, bisher nicht theoretisch erfasste oder experimentell nachgewiesene Elementar- und Fundamentalteilchen. **Materieformen** verweisen auf Struktur-, Bewegungs- und Entwicklungszusammenhänge, also in der Physik auf Kräfte (starke, schwache und elektromagnetische Wechselwirkung sowie Gravitation). Eventuell gibt es weitere Arten der Wechselwirkung.” (Hörz 2015 a) Noch wird nach einer allgemeinen Theorie gesucht, in der eventuell neue Aspekte der physikalischen Materiestruktur eine Rolle spielen. Deshalb ist als Fazit auf die Suche nach einer Weltformel einzugehen.

7. Über die Suche nach einer Weltformel oder einer theory of everything

Jede Wissenschaft ist eine Einheit von Gesamtsicht und Detailforschung. Das globale Bild wird durch Grundsätze oder Leitideen (Prinzipien) bestimmt. Das gilt auch für die Physik, in der philosophische und physikalische Prinzipien miteinander verbunden sind. (Schimming, Hörz 2009) Ein philosophisches Grundprinzip ist der Gedanke von der Einheit der Welt und der damit möglichen Vereinheitlichung von Theorien zur Welterklärung. So kam es in der Geschichte des philosophischen Denkens immer wieder zu der Frage nach den Grundprinzipien des Weltgeschehens, nach dem ideellen oder materiellen Urstoff, aus dem alles besteht

und der die Existenz der für uns erkennbaren differenzierten Phänomene und deren Veränderungen erklärt. Bei der Suche nach dem, was die Welt im Innersten zusammenhält, gibt es zwei Tendenzen: Auf der einen Seite wird nach einheitlichen Grundprinzipien gesucht, um die Einheit der Welt in ihren grundlegenden Mechanismen zu erfassen. Das Weltgeschehen hat danach gleiche elementare Grundbausteine und funktioniert nach gleichen fundamentalen Mechanismen. Auf der anderen Seite haben wir es mit einer weiteren Differenzierung wissenschaftlichen Erkennens der Welt zu tun. Immer spezifischere Bereiche werden ausgemacht, die es zu erforschen gilt.

In der Physik führt die erste Tendenz der Forschung zur Suche nach einer Weltformel. Über die dazu geführte öffentliche und philosophische Diskussion im Zusammenhang mit den Arbeiten von Werner Heisenberg wird im aktuellen Vorwort zum Heisenbergbuch Stellung genommen. (Heisenberg 2013) Aktuell geht es in der Physik um eine theory of everything (ToE). Bestrebungen dazu werden einerseits befürwortet und andererseits als zu aufwendig oder wenig erfolgreich kritisiert. im Artikel „Weltformel“ in der WIKIPEDIA wird die ToE als „eine hypothetische Theorie gebildet aus theoretischer Physik und Mathematik, die alle physikalischen Phänomene im bekannten Universum verknüpfen und präzise beschreiben soll“ bezeichnet. Der Begriff sei nun in die Popularisierungen der Elementarteilchenphysik eingeflossen, „die zu einer Theorie erweitert werden soll, welche durch ein einziges allumfassendes Modell die Theorien aller grundlegenden Wechselwirkungen der Natur erklären würde.“ Zu den Erwartungen wird festgestellt: „Eine Theorie von Allem beschreibt unter anderem alle vier Grundkräfte; das sind die Gravitation, den Elektromagnetismus, sowie die schwache und die starke Kernkraft. Man spricht auch von einer Vereinheitlichung der Kräfte. ... Für die Theorie von Allem ist die Einbeziehung der Gravitation notwendig. Es wird erwartet, dass dies bei Energien von etwa 10^{19} GeV stattfindet, weil eine Extrapolation der Wechselwirkungsstärke der einzelnen Grundkräfte zu diesen Energien darauf hinweist, dass sie dann alle vergleichbar stark sind.“ Die ToE soll „Massen, Kopplungskonstanten und andere Parameter des Standardmodells der Elementarteilchen erklären und zugleich das Standardmodell der Kosmologie beschreiben; Natur der dunklen Materie, der dunklen Energie klären, sowie Klärung und Vorhersage der Vorgänge im frühen bzw. im späten Universum – speziell das asymptotische Verhalten auf sehr kleinen bzw. sehr großen Raum- und Zeitskalen; Sie sollte eine konsistente, renormierbare Quantentheorie der Gravitation beinhalten.“ Dabei wird auf Merkmale verwiesen, die philosophisch relevant sind: „Supersymmetrische, einheitliche Grundstruktur, die über die traditionelle Aufteilung in bosonische und fermionische Freiheitsgrade hinausgeht; Physikalische Freiheitsgrade, die über die vierdimensionale Raumzeit hinausgehen; Beschreibung oder Vermeidung von Singularitäten.“ Berechtigt wird das Problem benannt: „Ob eine Theorie von Allem neue Teilchen oder sogar neue Kräfte vorhersagt, ist nicht geklärt. Solche neuen Teilchen könnten mit kosmologischen Beobachtungen nachweisbar sein. Insbesondere werden von den 2010 im CERN begonnenen Experimenten am Large Hadron Collider Fortschritte in Richtung einer Weltformel erwartet. Viele Physiker sind überzeugt, dass alle physikalischen Vorgänge auf ein Grundprinzip zurückzuführen sind (Reduktionismus) oder zumindest mit einigen wenigen konsistenten Grundbegriffen beschrieben werden können. ... Die TOE wird demgemäß als Gegensatz zum aktuellen Stand der Physik begriffen, bei dem man mit jeweils unterschiedlichen Theorien auf unterschiedlichen Gebieten zu Vorhersagen kommt, die zwar im Allgemeinen einander nicht widersprechen, aber ersichtlich (oder anscheinend) nicht vereinheitlicht werden können. Dies wird gegenwärtig so gelöst, dass je nach Zusammenhang diejenige Theorie herangezogen wird, welche erfahrungsgemäß die größte Übereinstimmung mit dem jeweiligen Experiment liefert. In den Grenzgebieten zwischen den bestehenden Theorien bzw. deren Gültigkeitsbereichen ergeben sich dadurch zwangsläufig Entscheidungskonflikte und mehr oder weniger große Abweichungen von den Experimenten.“ (Weltformel 2015)

Zur Suche nach einer umfassenden Theorie ist in mehreren Arbeiten philosophisch Stellung genommen. (Schimming, Hörz 2009, Hörz 2015a und b) Auf einige Ergebnisse für die philosophische Analyse der aktuellen Auseinandersetzungen in der Elementarteilchenphysik soll hier hingewiesen werden. Bei der Einheitssuche geht es stets um den Zusammenhang zwischen einer substanziellen, auf die Substanzen zielende, und einer relationalen, Veränderung und Entwicklung in den Relationen zwischen substanziellen Größen berücksichtigende, Betrachtungsweise, denn nur sie entspricht dem wirklichen Geschehen. Substanz ist also nicht im Sinne unveränderlicher Grundbausteine der Welt zu sehen. Substanzen und Relationen gehen ineinander über. Räumliche Beziehungen werden substanziell durch Gravitonen vermittelt, die fieberhaft gesucht werden. Generell gilt für Substanzen, zu denen im weiteren Sinne alle Grundbausteine des Geschehens, also Teilchen, Medien und Felder gehören: (1) Sie sind im Raum lokalisierbar. (2) Sie sind beweglich, d.h. sie wechseln den Ort. (3) Sie sind quantifizierbar. Die Menge der Substanz ist bilanzierbar. (4) Sie sind relational miteinander verbunden und verändern sich in der Zeit. Die Suche nach bisher nicht gefundenen Elementarteilchen, auch nach den Gravitonen als den elementaren Bausteinen der Gravitationskraft, wird sicher nur den Zusammenhang von relationalen und substanziellen Komponenten, philosophisch gesprochen, die Beziehung von Materiearten und Materieformen, also die dialektische Relation von Struktur und Prozess, bestätigen.

Die Suche nach substanzbezogenen Prinzipien führte in der Geschichte des Denkens immer wieder auf bestimmte dialektische Beziehungen, die eine Einheit von Gegensätzen erfassen. Zu ihnen gehören etwa: Konzentrierte Raumerfüllung durch Körper versus leerer Raum (Vakuum), Bewegung als Einheit von diskontinuierlichen Ruhemomenten und kontinuierlichen Übergängen von einem Zustand in den anderen, Wechselwirkung als Einheit von Aktion und Reaktion. Der Atomismus als Auffassung von der Zusammensetzung der Substanzen aus kleinsten Bausteinen unterlag und unterliegt dem Wandel, denn unsere Einsichten in die fundamentalen Substanzen und Relationen verändern sich mit der Suche nach Quarks und Leptonen, nach den Higgs-Teilchen, nach Superstrings usw. Wir suchen deshalb auch in der Physik nach neuen Materiearten und Materieformen. Ergebnisse der Suche sind im Abschnitt Neues aus der Elementarteilchenphysik dargestellt. Grundprinzip kann so entweder ein stofflich-energetisches Urphänomen oder eine gesetzmäßige Struktur, wie die Symmetrieprinzipien, also informationell sein. Naturforscher wechseln zwischen der stofflich-energetischen und der strukturell-informationellen Betrachtung. Ziel sollte sein, in beiden Richtungen weiter zu forschen und eventuell einen Zusammenhang zwischen beiden aufzudecken.

Das Wesen der Dinge ist nie allein in der Mathematik oder allein in einer Ursubstanz zu fassen. Jede mathematische Gleichung bedarf der Transformationsregeln, um zu beobachtbaren Ereignissen zu kommen. Jede Ursubstanz ist dabei nicht nur Ausdruck wesentlicher, in der Mathematik erfassbarer Strukturen, sondern in der Wechselwirkung mit anderen Substanzen zu fassen, was zur Vielfalt der Naturphänomene führt. So hat sich die Suche nach den Substanzen als dem Wesen des Geschehens auf die Erkenntnis von Prinzipien der Strukturbildungs- und Entwicklungsmechanismen verlagert. Das wird deutlich, wenn wir Teilchen als Wellenpakete fassen, Massen über Gitterstrukturen errechnen, nach den Teilchen der Supersymmetrie (Susy) suchen oder eine theory of everything aufstellen.

Die Vereinigung von Quanten- und Relativitätstheorie, die Suche nach einheitlichen Theorien zur Naturerklärung, sind weiter brisante Themen der Forschung. Erkenntnistheoretische und methodologische Fragen sowie naturwissenschaftliche Grundlagen für die Welterklärung werden die Philosophie weiter beschäftigen. Anregungen zur aktuellen Analyse gibt dazu das Studium des vorliegenden Buches. Die damaligen Erkenntnisse der Elementarteilchenphysik sind dazu durch die philosophische Analyse der aktuellen Ergebnisse von Theorie und Experiment zu ergänzen, um die alten Wahrheiten beizubehalten und die neuen Präzisierungen der

philosophischen Kategorien zu berücksichtigen. Nur so verfällt man nicht in einen aktuellen Dogmatismus, der kreative Problemlösungen verhindert.

Literatur

BR (2015), Nobelpreis an Neutrino-Forscher. (Zugriff am 22.11.2015)

Bulava et al (2015), John Bulava, Ben Hörz, Brendan Fahy, K. J. Juge, Colin Morningstar, Chik Him Wong, Pion-pion scattering and the timelike pion form factor from *N*f=2+1 lattice QCD simulations using the stochastic LapH method. Proceedings of science vom 8.11.2015 (http://arxiv.org/pdf/1511.02351v2.pdf)

Chirikov, Boris V. (1975), Dynamische und statistische Gesetze in der klassischen Mechanik. Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin, Ges.– Sprachw. R. XXIV (1975), S. 215 - 220

Erpenbeck. John (2013) Aktuelles Vorwort zum digitalisierten Buch „Dialektik der Natur und der Naturerkenntnis“

Eidemüller, Dirk (2015), Seltener als das Higgs-Boson. Spektrum.de vom 15.05.2015 (Zugriff am 21.11.2015)

Heisenberg, Werner (2013), Aktuelles Vorwort zu „Werner Heisenberg und die Philosophie“ und Briefwechsel des Autors mit Werner Heisenberg

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

Hörz, Herbert (1971, 2015), Materiestruktur. Dialektischer Materialismus und Elementarteilchentheorie. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.

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

Hörz, Herbert (1990, 2014), Philosophie der Zeit. Das Zeitverständnis in Geschichte und Gegenwart. Berlin: Verlag der Wissenschaften. Digitalisiert mit einem Vorwort von 2014 (http://www.max-stirner-archiv-leipzig.de/dokumente/Hoerz-Philosophie_der_Zeit.pdf)

Hörz, Herbert (2007), Wahrheit, Glaube und Hoffnung. Philosophie als Brücke zwischen Wissenschaft und Weltanschauung. Berlin: trafo Verlag

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

Hörz, Herbert (2010), Gibt es eine objektive Wissenschaft? (Rezension)

Hörz, Herbert (2015a), Wie wahr sind die Aussagen der Naturwissenschaften? Manuskript des Vortrags auf der Tagung der Freien Akademie, für die Publikation eingereicht.

Hörz, Herbert (2015b), Philosophische Aspekte der Allgemeinen Relativitätstheorie. Für die Publikation erweiterter Vortrag vom 12.11.2015 vor der Klasse Naturwissenschaften und Technikwissenschaften der Leibniz-Sozietät

Hörz, Herbert, Röseberg, Ulrich (Hg.) (2013), Dialektik der Natur und der Naturerkenntnis. Verlag Max-Stirner-Archiv/edition unica Leipzig

Lassner, Gerd (2003), Gott würfelt nicht. In: Banse, Gerhard, Wollgast, Siegfried (Hg.), Philosophie und Wissenschaft in Vergangenheit und Gegenwart. Festschrift zum 70. Geburtstag von Herbert Hörz, Berlin: trafo Verlag 2003, S. 263 - 282

Lenin, Wladimir Iljitsch (1975): Materialismus und Empiriokritizismus. Lenin: Werke, Band 14, Berlin: Dietz-Verlag.

Nachruf Laßner (2006), Nachrufe. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 88 (2007), S. 23 – 32 (http://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2012/11/03_nachrufe2.pdf)

Paul, Siegfried (2014), Vorwort zur digitalisierten Ausgabe der Studie „Mathematisierung der Wissenschaften“.

SB 125 (2015), Bilanz des Arbeitskreises „Prinzip Einfachheit“. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin Band 125, Jg. 2015.

Schimming, Rainer, Hörz, Herbert (2009), Prinzipien der Physik, in: Sitzungsberichte Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Band 101 (2009), S. 111 - 133

Sommerfeld, Erdmute, Hörz, Herbert, Krause, Werner (Hrsg.) (2010), Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Band 108

Tagungsbericht (2015), Bericht über die Wissenschaftliche Tagung der Freien Akademie 2015 (Zugriff am 17.10.2015)

Weltformel (2015), WIKIPEDIA (Zugriff am 25.11.2015)

November 2015 Herbert Hörz

Dialektischer Materialismus und Elementarteilchenphysik. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin 1971

Vorwort

Zu erkennen, „was die Welt im Innersten zusammenhält“, war schon der Wunsch der griechischen Philosophen, die die Frage nach dem Urgrund allen Seins beantworten wollten. Nach den griechischen Atomisten Demokrit, Epikur und Lukrez sollten die uns umgebenden vielfältigen materiellen Objekte und Prozesse aus letzten unteilbaren Teilchen, den Atomen, aufgebaut sein, deren quantitative Beziehungen die qualitative Vielfalt erklären lassen. Bis ins 19. Jahrhundert hinein stritt man für und wider die Atomistik. Theorien, die die Existenz kleinster Teilchen anerkannten, wechselten mit solchen, die die Materie für unendlich teilbar hielten. Dagegen standen idealistische Auffassungen, die einen ideellen Ursprung der Welt annahmen und die qualitative Verschiedenheit als das Werk eines Schöpfers, geistigen Leiters der Dinge usw. erklärten. Der Kampf zwischen Materialismus und Idealismus um das richtige Weltverständnis war letzten Endes Ausdruck bestimmter Klasseninteressen. So wandte sich die religiös-feudale Ideologie gegen alle Versuche, den Atomismus als Erklärungsprinzip zu benutzen. Er wurde verketzert und seine Vertreter von der Inquisition angeklagt und verurteilt. Mit der Entwicklung der ökonomischen Macht der Bourgeoisie und der Übernahme der politischen Macht in den bürgerlichen Revolutionen setzte sich ihr Interesse an der Entwicklung der Produktivkräfte auch in einem Aufschwung von Wissenschaft und Technik durch. Der bürgerliche Materialismus trug mit seiner mechanischen und metaphysischen Interpretation der Naturvorgänge der Entwicklung der Naturwissenschaften Rechnung, indem er die Untersuchung der materiellen Grundlagen aller Naturvorgänge forderte, die er in den quantitativen Beziehungen der qualitativ gleichartigen Grundbausteine der Wirklichkeit sah. Die klassische Mechanik wurde zum Vorbild für wissenschaftliche Untersuchungen.

[8] Die Materiestruktur bestand danach in den Gesetzen der klassischen Mechanik, die das Verhalten von Objekten regelten, die schwer, träge und undurchdringlich sein sollten und konzentriert den Raum erfüllten. Biologische und selbst gesellschaftliche Vorgänge sollten darauf reduziert werden können. Der Materialismus wurde damit auf eine bestimmte Strukturauffassung von der Materie eingeschränkt, die den naturwissenschaftlichen Erkenntnissen des 19. Jahrhunderts bereits nicht mehr entsprach. Der von Marx und Engels entwickelte dialektische und historische Materialismus überwand als Philosophie der Arbeiterklasse die Beschränktheiten des vormarxschen Materialismus. Sie gaben eine wissenschaftliche Erklärung der Gesellschaft und ihrer Geschichte und beseitigten den mechanischen, undialektischen und unhistorischen Charakter der materialistischen Naturauffassung. Der philosophische Materialismus ist für die Klassiker des Marxismus-Leninismus die Theorie von der materiellen Einheit der Welt, vom Primat der Materie gegenüber dem Bewußtsein und von der prinzipiellen Erkennbarkeit der Welt, vom Primat des gesellschaftlichen Seins gegenüber dem gesellschaftlichen Bewußtsein. Die Entwicklung dieser umfassenden wissenschaftlichen Weltanschauung verlangte auch die Überprüfung bisheriger Auffassungen zur Materiestruktur. Die materielle Einheit der Welt wurde als Einheit von relativ selbständigen Systemen verschiedener Entwicklungsstufen mit eigenen Systemgesetzen anerkannt. Lenin unterschied die Frage nach der Quelle unseres Wissens von der nach der Materiestruktur. Quelle unseres Wissens ist das, was außerhalb und unabhängig von unserem Bewußtsein existiert und von uns erkannt werden kann und wird. Über die Materiestruktur erfahren wir ständig Neues durch die Entwicklung der Wissenschaften, das philosophisch analysiert werden muß, um zu Präzisierungen philosophischer Aussagen über die Materiestruktur zu kommen und philosophische Hypothesen formulieren zu können. Philosophische Hypothesen als wissenschaftlich begründete Vermutungen über den Beitrag der sich entwickelnden wissenschaftlichen Theorie zur Philosophie und über den heuristischen

Wert bestimmter Denkweisen erlauben uns, die heuristische Funktion der marxistisch-leninistischen Philosophie für die wissenschaftliche Arbeit zu erfüllen, da sie als Bindeglieder zwischen den Grundaussagen der marxistisch-leninistischen Philosophie und den einzelwissenschaftlichen Theorien und Hypothesen auftreten.[1]

Zwar entfällt heute die vom mechanischen Materialismus postulierte Identität [9] der Materiestruktur mit der physikalischen Materiestruktur, trotzdem behält letztere eine grundlegende Bedeutung für die Erklärung von Naturvorgängen. Erstens gibt es keinen Naturvorgang, der nicht aus physikalischen Objekten bestünde. Zweitens müssen deshalb die physikalischen Gesetze in naturwissenschaftlichen Theorien berücksichtigt werden. Drittens entscheidet die Physik über die Existenz oder Nichtexistenz letzter unteilbarer Teilchen und über ihre Eigenschaften. Deshalb hat die Untersuchung der physikalischen Materiestruktur und vor allem der heute bekannten Elementarteilchen und die philosophische Analyse der dabei erreichten Ergebnisse Bedeutung für unser Verständnis der Materiestruktur überhaupt. Die Geschichte der Elementarteilchen beginnt erst in unserem Jahrhundert. In der kosmischen Strahlung und mit großen Beschleunigern werden ihre Eigenschaften erforscht. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse bestätigen den dialektischen Materialismus, fordern aber auch die Präzisierung bestimmter Auffassungen zur Teilbarkeit, zur Raum-Zeit, zur Kausalität usw. Viele der heute zu lösenden Probleme haben ihre Geschichte, die bis zur Philosophie des Altertums zurückreicht, in der viele Problemlösungen in genialer, aber hypothetischer Weise vorweggenommen wurden.

Deshalb beschäftigen sich viele Physiker mit dem Zusammenhang von Elementarteilchenphysik und griechischem Atomismus. Uns geht es um den philosophischen Kern der untersuchten Probleme, um den Beitrag neuer Erkenntnisse zur Präzisierung unserer philosophischen Kategorien und Aussagen, aber auch um die sich aus der philosophischen Theorie anbietenden Lösungstendenzen, die heuristischen Wert für die Arbeit des Naturwissenschaftlers besitzen könnten, wenn er mit erkenntnistheoretischen und methodologischen Problemen konfrontiert wird.

Dieses Buch ist eine Fortsetzung der bisherigen Arbeiten des Verfassers, die sich mit dem Verhältnis von Philosophie und Physik befaßten. Ging es zuerst um die durch die philosophische Deutung der Quantentheorie in Gang gekommene Diskussion um den Determinismus mit seinen allgemeinen Aspekten[2], so waren es später direkt die philosophischen Probleme der Quantentheorie, die untersucht wurden.[3] Die philosophischen Auffassungen Heisenbergs machten am konkreten Beispiel die komplizierten Wechselbeziehungen zwischen Philosophie und Physik deutlich und zeigten die Stellung dialektischer Materialisten zur Einschätzung hervorragender Physiker[4]. Sowohl die philosophische Deutung der Quantentheorie, für die [10] durch die philosophische Analyse der Elementarteilchenphysik neue Aspekte sichtbar werden, als auch die kritische Darstellung der philosophischen Auffassungen Heisenbergs, der sich in den letzten zwei Jahrzehnten intensiv mit der Elementarteilchenphysik befaßt hat, verlangen zur Ergänzung die philosophische Analyse der vorliegenden Erkenntnisse zur Elementarteilchenphysik. Entsprechend den Aufgaben der Philosophie handelt es sich nicht um eine Darstellung der theoretisch-philosophischen Grundprobleme der Elementarteilchenphysik allein. Die zur Analyse wichtigen physikalischen Begriffe und Zusammenhänge werden aus philosophischer Sicht dargelegt, mögliche Präzisierungen und Hypothesen betrachtet und

[1] Das Verhältnis von Grundaussagen der marxistisch-leninistischen Philosophie und philosophischen Hypothesen und ihre Bedeutung für naturwissenschaftliche Forschung wird ausführlich erläutert in: Weltanschauung und Methode, Berlin 1969.
[2] Vgl. Der dialektische Determinismus in Natur und Gesellschaft, TB Unser Weltbild.
[3] Vgl. Atome, Kausalität, Quantensprünge, Berlin 1964.
[4] Vgl. Werner Heisenberg und die Philosophie, Berlin 1968.

auch die Geschichte der Probleme in Umrissen verfolgt. Um diese historische Sicht geht es im ersten Kapitel, das sich mit dem Verhältnis von Materialismus und Physik befaßt und darauf aufmerksam machen soll, daß viele der modernen Probleme der Physik schon früher gestellt wurden und auch bestimmte Lösungen erfahren haben. Vor allem soll hier auch das neue Verhältnis des dialektischen Materialismus zur Physik dargelegt werden. Das Zweite Kapitel zum Thema „Materialismus und Struktur“ kennzeichnet die Diskussionen um die Strukturauffassung und bestimmt, was unter Materiestruktur zu verstehen ist. Ausgehend von diesen allgemeineren Überlegungen wird dann im dritten Kapitel die Entwicklung der Elementarteilchenphysik so charakterisiert, daß ihre philosophischen Probleme deutlich werden, mit denen sich dann die Kapitel vier bis sieben eingehend befassen. Mit dem vorliegenden Buch soll auf die philosophischen Probleme, die sich aus der Elementarteilchenphysik ergeben, aufmerksam gemacht und die Stellung des dialektischen Materialismus dazu bestimmt werden. Neben den Grundaussagen der marxistisch-leninistischen Philosophie werden dazu bestimmte Präzisierungen und Hypothesen ausgesprochen, die weiter diskutiert werden müssen. Ich hoffe, dort, wo es notwendig war, den hypothetischen Charakter deutlich gemacht zu haben. Jedenfalls habe ich mich bemüht, mit der nötigen Sorgfalt umstrittene Aussagen in diesem Grenzgebiet zwischen Philosophie und Physik zu formulieren. Das Buch soll ein Beitrag zur Diskussion zwischen marxistisch-leninistischen Philosophen und Physikern sein, die in den letzten Jahren immer besser in Gang gekommen ist. Es soll auch zeigen, daß der dialektische Materialismus eine tragfähige Konzeption zur Lösung weltanschaulicher, erkenntnistheoretischer und methodologischer Probleme auf einem Gebiet gibt, das nicht im Mittelpunkt des allgemeinen philosophischen Interesses steht. Aber auch mit den Erkenntnissen der Elementarteilchenphysik werden Angriffe gegen den dialektischen Materialismus gestartet, die sich manchmal offensichtlich, manchmal nach eingehender Unter-[11]suchung als haltlos erweisen. Denken wir nur an die gegen den Materialismus gerichteten Bemerkungen einiger Journalisten in westlichen Presseorganen bei der Entdeckung des Antistoffs, der „Antimaterie“, die sich nur aus der Unkenntnis des Leninschen Materiebegriffs ergeben können, denn er umfaßt begrifflich all das, was außerhalb und unabhängig von unserem Bewußtsein existiert und erkannt wird, also auch Antiteilchen, Antiatome und Antistoff. Hier soll es um die von der Physik aufgeworfenen ernsthaften philosophischen Probleme gehen, zu denen der dialektische Materialismus Lösungen anbietet. Möge deshalb das Buch dem Meinungsstreit um philosophische Probleme der Naturwissenschaften neue Nahrung geben.

Berlin, Juli 1970 Herbert Hörz

[12]

Kapitel I – Materialismus und Physik

In den philosophischen Diskussionen über die Entwicklung der modernen Physik und speziell um den Aufbau einer einheitlichen Theorie der Elementarteilchen sind die wesentlichen philosophischen Probleme, die in der Geschichte der Philosophie für die Erkenntnis der Materiestruktur eine Rolle spielten, enthalten. Fragen, die der Physiker des 19. Jahrhunderts beantwortet glaubte, wurden durch die Entwicklung der Physik im 20. Jahrhundert neu gestellt.

Der Aufbau der Relativitätstheorie in den ersten zwei Jahrzehnten unseres Jahrhunderts durch Einstein brachte einen umfangreichen Meinungsstreit über Raum und Zeit mit sich.

Vorstellungen, von Euklid geformt und Newton präzisiert, durch Jahrhunderte hindurch als Ausdruck des gesunden Menschenverstandes angesehen, mußten revidiert werden.

Der Atomismus, der seinen Sieg in der Chemie davongetragen hatte, mußte in dem Moment überprüft werden, als es gelang, die Atome als existent nachzuweisen; denn Untersuchungen über die Radioaktivität zwangen dazu, die Frage nach der inneren Struktur der Atome zu stellen. Das Atom, als unteilbares Teilchen von den materialistischen Naturphilosophen in der Geschichte der Philosophie zur Erklärung der Naturvorgänge, der Entstehung von Verbindungen usw. herangezogen, mußte selbst wieder aus Elementen und ihren Beziehungen bestehen. Diese Elemente galt es zu finden, um sie vielleicht an die Stelle der Atome als Grundbausteine materieller Objekte setzen zu können.

Erwin Schrödingers Charakteristik der Situation, die er vor mehr als zehn Jahren gab, lautete: „Man hat wirklich den Eindruck, daß die Naturwissenschaft durch tief eingewurzelte Denkgewohnheiten gehemmt ist, deren einige sehr schwer her-[13]auszufinden sind, während andere schon aufgedeckt wurden. Die Relativitätstheorie hat die Newtonschen Begriffe des absoluten Raumes und der absoluten Zeit abgeschafft, mit anderen Worten die Begriffe der absoluten Ruhe und der absoluten Gleichzeitigkeit, und sie hat das altehrwürdige Paar Kraft und Stoff zum mindesten aus seiner beherrschenden Stellung vertrieben. Die Quantentheorie erweiterte den Atomismus fast ins Grenzenlose, brachte ihn aber gleichzeitig zu einer Krise, die ernster ist, als die meisten von uns zugeben wollen. Im ganzen genommen deutet die gegenwärtige Krise in den heutigen Grundwissenschaften auf die Notwendigkeit, ihre Grundlagen bis in sehr tiefe Schichten zu revidieren.“[1]

In den letzten Jahren sind Physiker in der Revision theoretischer Grundlagen weiter vorangeschritten. Verschiedene Entwürfe für Elementarteilchentheorien wurden diskutiert, ihre Verbindung zur Kosmologie untersucht und Hypothesen über neu zu entdeckende Teilchen, wie die Quarks u. a., aufgestellt. Zwar hat die Elementarteilchenphysik in den letzten Jahren beachtliche Erfolge aufzuweisen, selbst in Tageszeitungen findet man Berichte über neuentdeckte Teilchen, über mögliche „Antiatome“ und über neue Ansätze zu Elementarteilchentheorien, aber die Klärung der Grundprobleme ist keinesfalls abgeschlossen.

Vor Jahren wurde über Heisenbergs „Weltformel“ geschrieben, dann über die Änderungen unserer Raum-Zeit-Vorstellungen und über Symmetriebetrachtungen. Vieles erwartet man von neuen und größeren Beschleunigern, die uns helfen sollen, tiefer in das Wesen der physikalischen Materiestruktur einzudringen. Man kennt heute weit über 100 Teilchen mit ihren verschiedenen Formen der Wechselwirkung. Einerseits reicht das experimentelle Material noch nicht aus, um die Gesetze des Elementarteilchenverhaltens einsichtig der theoretischen Analyse zu erschließen. Es wurden jedoch brauchbare Teiltheorien entwickelt und die Frage gestellt, ob eine einheitliche Theorie der Elementarteilchen überhaupt möglich sei. Andererseits haben Ansätze für einheitliche Theorien sowohl mit mathematischen Schwierigkeiten zu

[1] E. Schrödinger, Die Natur und die Griechen, Hamburg 1956, S. 26 f.

kämpfen, als auch sich mit der Kritik auseinanderzusetzen, sie würden zuwenig Tatsachen erklären und kaum Voraussagen für die Experimentalforschung gestatten.

Die Diskussion um die philosophischen Probleme der Elementarteilchentheorie ist noch im Anfangsstadium. Eine philosophische Analyse des vorliegenden physikalischen Materials ist jedoch dringend erforderlich, um den Beitrag der Elementarteilchenphysik zur Präzisierung philosophischer Auffassungen schon hypothetisch abschätzen zu können und so Anregungen [14] für die philosophischen Reflexionen des Physikers über seine Forschungsarbeit geben zu können. Da bisher keine einheitliche Elementarteilchentheorie existiert, wird sich der Meinungsstreit um philosophische Fragen im Bereich der Elementarteilchenphysik noch lange hinziehen.

Wie bei der Entwicklung der Quantenmechanik geht es dabei wieder um grundsätzliche philosophische Auffassungen, wie die These von der materiellen Einheit der Welt und die philosophische Struktur- und Bewegungstheorie. Dabei spielen solche philosophischen Beziehungen eine Rolle, wie die von Teil und Ganzem, Element und System, Elementarität und Wechselwirkung, Struktur und Prozeß, Symmetrie und Erhaltung usw.

Mit den Forschungen im Bereich der Elementarteilchenphysik oder der Physik hoher Energien wird auch eine Reihe von allgemein interessierenden Fragen wieder gestellt, um die es schon viele Auseinandersetzungen gab:

Gibt es letzte Grundbausteine der Welt? Wie ist das Verhältnis von qualitativ verschiedenen Bewegungsformen zueinander?

Gibt es eine allgemeine Welttheorie?

Orientiert sich die Wissenschaft auf die Untersuchung der einzelnen Dinge oder auf die Erforschung der Struktur eines Systems, in dem Objekte den Platz vertauschbarer, nicht weiter reduzierbarer Elemente einnehmen, die nicht der Hauptgegenstand der Forschung sind?

Was heißt Unerschöpflichkeit der Materie?

Besondere Bedeutung haben auch erkenntnistheoretische und methodologische Fragen, wie das Verhältnis von Theorie und Experiment, von Logischem und Historischem und die Rolle von Modellen und Hypothesen.

Offensichtlich reicht es aber für die philosophische Analyse physikalischer Sachverhalte nicht aus, die genannten Probleme nur mit Hilfe des gesicherten gegenwärtigen physikalischen Erkenntnisstandes lösen zu wollen. Es müssen sowohl die hypothetischen Ansätze zu einer Theorie der Elementarteilchen, als auch die in der Geschichte der Philosophie bereits gegebenen Antworten auf die genannten Fragen berücksichtigt werden.

Schrödinger hatte die von ihm charakterisierte Situation als Antrieb zum Studium der griechischen Philosophie angesehen: „Nicht nur kann man hoffen, wie schon oben gesagt, vergessene Weisheit auszugraben, sondern auch altüberkommenen Irrtum an der Quelle zu entdecken, wo er leichter zu durchschauen ist. Durch den ernstlichen Versuch, uns in die intellektuelle Situation der alten Denker zurückzuversetzen, die weit unerfahrener als wir hinsichtlich des wirklichen Verhaltens der Natur, aber auch oft viel vorurteilsloser waren, mögen wir ihre Unbefangenheit des Denkens wiedergewinnen – wenn auch vielleicht, um mit dieser, unterstützt durch unsere [15] überlegene Tatsachenkenntnis, ihre frühen Irrtümer, die uns heute noch stören, zu beheben.“[2] In diesen Worten ist indirekt schon auf den Sinn philosophischer Untersuchungen physikalischer Sachverhalte hingewiesen. Irrtümer an der Quelle zu entdekken, erfordert von den Philosophen zweierlei. Erstens ist die Geschichte der Philosophie auch

[2] E. Schrödinger, ebenda, S. 27.

als eine Geschichte der Probleme, ihrer Lösungen und der damit verbundenen Begriffe anzusehen, wodurch uns Begriffskritik und Begriffsanalysen ermöglicht werden.

Zweitens sind die der physikalischen Forschung zugrunde gelegten philosophischen Auffassungen auf ihre Quellen, nämlich bestimmte philosophische Systeme, zurückzuführen und diese kritisch zu betrachten. Dabei kann es sich bei dieser historischen Komponente moderner philosophischer Forschungen nicht um die griechische Philosophie generell und allein handeln, sondern es geht um das materialistische Verständnis der Naturvorgänge, das für heutige Untersuchungen relevant ist und im modernen Materialismus, nämlich dem dialektischen Materialismus der marxistisch-leninistischen Philosophie, in seinen wesentlichen Erkenntnissen enthalten ist.

1. Zur Geschichte des Verhältnisses von Materialismus und Physik

Leider existieren bisher kaum Darstellungen der Geschichte des Verhältnisses von Naturwissenschaft (Physik) und Materialismus. Das kann auch hier nicht die Aufgabe sein. Aber um gegenwärtige Auseinandersetzungen über die philosophischen Probleme der Physik verstehen zu können, müssen ihre geistesgeschichtlichen Quellen wenigstens in Umrissen sichtbar gemacht werden. Dabei gilt es, die Dialektik von Logischem und Historischem zu beachten. Unter Logischem wollen wir abgeschlossene oder solche nichtabgeschlossenen physikalischen Theorien verstehen, die wesentliche Experimente erklären. Historisches soll die Entstehung dieser Theorien in ihrer historischen Konkretheit unter bestimmten sozialökonomischen Verhältnissen, mit herrschenden philosophischen Auffassungen und den konkreten Auseinandersetzungen zwischen Materialismus und Idealismus mit Irrtümern, Teilergebnissen, verworfenen und bestätigten Hypothesen usw. bedeuten. Die Dialektik dieser beiden Seiten des Erkenntnisprozesses, nämlich die Herausbildung der Theorie und die Theorie selbst, hat verschiedene von uns zu beachtende Aspekte:

[16] Erstens kann man nicht alle neuen theoretischen Ansätze und ihre philosophische Bedeutung in der Geschichte des Denkens schon präformiert vorfinden. Einerseits gibt es zwar für den Erkenntnisprozeß, als Negation der Negation verstanden, in der Geschichte der Erkenntnis eine scheinbare Rückkehr zum Alten.

So meint Heisenberg in der Elementarteilchentheorie eine Rückkehr zu Platon und den Pythagoreern feststellen zu können, für die die Form wichtiger als der Stoff gewesen sei und die die Atome als teilbar annahmen. Heisenberg schreibt: „Aber die Ähnlichkeit der modernen Anschauungen zu denen Platons, der Pythagoreer geht noch weiter. Die Elementarteilchen in Platons Dialog Timaios sind ja letzten Endes nicht Stoff, sondern mathematische Form. ‚Alle Dinge sind Zahlen', ist ein Satz, der dem Pythagoras zugeschrieben wird. Die einzigen mathematischen Formen, die man in jener Zeit kannte, waren solche geometrischen oder stereometrischen Formen wie eben die regulären Körper und die Dreiecke, aus denen ihre Oberfläche gebildet ist. In der heutigen Quantentheorie können wir kaum daran zweifeln, daß die Elementarteilchen letzten Endes auch mathematische Formen sind, aber solche einer sehr viel komplizierteren und abstrakteren Art."[3] Andererseits hebt damit Heisenberg das Neue an der modernen Theorie hervor, die kompliziertere mathematische Strukturen benutzt, als sie den Griechen bekannt waren.

Auch die Auffassung von der Teilbarkeit hat sich geändert. Mag selbst Platon die unendliche Teilbarkeit des Stoffes angenommen haben, so wie es später dann Descartes tat, die Rückkehr zu ihren Philosophien ist nur scheinbar, da sie von der räumlichen Teilbarkeit ausgingen. Nicht der Idealismus hat hier mit einer seiner Auffassungen gegenüber dem Materialismus recht behalten, wie Heisenberg schreibt: „In der Philosophie des Demokrit sind die Atome

[3] W. Heisenberg, Physik und Philosophie, Berlin 1959, S. 52.

ewige und unzerstörbare Einheiten der Materie, sie können sich niemals ineinander verwandeln. In bezug auf diese Frage aber wendet sich die moderne Physik offensichtlich gegen den Materialismus des Demokrit und entscheidet sich für Platon und die Pythagoreer. Die Elementarteilchen sind sicher nicht ewige und unzerstörbare Einheiten der Materie, sie können tatsächlich ineinander umgewandelt werden. Wenn zwei Elementarteilchen mit hoher Geschwindigkeit aufeinanderstoßen, so können viele neue Elementarteilchen dabei erzeugt werden, und zwar entstehen sie aus der Bewegungsenergie, die dabei [17] zur Verfügung steht; und die zusammenstoßenden Teilchen können möglicherweise dabei verschwinden.“[4]

Der Materialismus ging von der räumlichen Unteilbarkeit der Atome aus, die als Grundbausteine der Materie existieren sollten. Diese Konzeption erwies sich so lange als fruchtbar für die wissenschaftliche Entwicklung, bis die Atome gefunden wurden. Zwar wandeln sich die Elementarteilchen ineinander um, aber sie sind nicht räumlich weiter teilbar. Selbst die Fundamentalteilchen, die hypothetische Bestandteile der Elementarteilchen sein sollen, werden nicht als räumliche Teile der ganzen Elementarteilchen angesehen. Insofern widerlegt zwar die moderne Physik die Gedanken, daß sich die Urteilchen nicht ineinander verwandeln können, aber sie stellt keine Entscheidung in der Frage dar, ob die Teilchen räumlich teilbar sind oder nicht. Die scheinbare Rückkehr im Logischen zum Alten im Historischen zeigt nicht die neuen Momente, die in der Theorie enthalten sind und die alte Frage auf neue Weise beantworten. Deshalb muß die Untersuchung von Auffassungen in der Geschichte zugleich genutzt werden, um die in der Negation der Negation enthaltenen neuen Momente zu zeigen, die die Rückkehr zum Alten als Schein erkennen lassen.[5]

Zweitens geht jedoch oft durch die Theorienbildung das in der Vorbereitung von Theorien vorhandene reichhaltige Gedankengut verloren. Mancher der hypothetischen Ansätze wird nicht widerlegt, sondern einfach vergessen, da andere Hypothesen schneller zum Erfolg führten, d. h. mehr experimentelle Ergebnisse erklärten. So wurde der Streit zwischen Wellen- oder Korpuskelnatur des Lichts zwischen Newton und Huygens nicht durch die umfassende Widerlegung der Korpuskularhypothese entschieden, sondern durch die Bestätigung der Wellenhypothese in den Jahren von 1800 bis 1835 mit den Interferenz-, Beugungs- und Polarisationsversuchen. Zweifellos sprach die Idee der Interferenz, daß sich zusammentreffende Wellen im Gegensatz zu Korpuskularstrahlen nicht notwendig verstärken, sondern sich auch bis zur völligen Aufhebung abschwächen können, gegen die Korpuskularhypothese.

Auch die von Foucault 1862 durchgeführte Messung der Lichtgeschwindigkeit in der Luft und im Wasser ergab eine kleinere Geschwindigkeit für das Wasser, was die Wellentheorie bestätigte. Damit erweisen sich einige Folgerungen aus der Korpuskulartheorie als falsch. Aber der Gedanke an die Lichtkorpuskeln mußte damit noch nicht als unfruchtbar abgetan werden.

[18] Die historische Untersuchung hat hier die Aufgabe, vergessene Ideen hervorzuheben und sie für die Klärung moderner Sachverhalte als heuristische Hinweise auszunutzen.

In diesem Sinne ist auch die griechische Philosophie eine Fundgrube für den modernen Physiker. Oft bringen spätere Theorien eine Synthese von früher für unvereinbar gehaltenen Standpunkten, die als logisch einander widersprechend angesehen worden waren. Sie erweisen sich jedoch, wie im Wellen-Korpuskel-Dualismus, als zwei Seiten eines einheitlichen physikalischen Prozesses oder, um in dialektisch-materialistischen Termini zu sprechen, Wellen- und Korpuskeltheorie stellen die Erkenntnisse zweier Gegensätze eines dialektischen Widerspruchs dar, der in der Quantenmechanik erkannt wurde.[6] Daraus entwickelt sich ein

[4] W. Heisenberg, ebenda, S. 51 f.
[5] Vgl. die Kritik an Terlezki, in: Fragen der Philosophie, Heft 9, 1965, S. 84 ff.
[6] Vgl. dazu H. Hörz, Atome, Kausalität, Quantensprünge, Berlin 1964.

besseres Verständnis früherer Ideen aus heutiger Sicht. Meinungsverschiedenheiten, die man schon einseitig entschieden glaubte, wurden in einer Theorie erfaßt.

Drittens haben bestimmte Ideen, die zwar in der historisch konkreten Situation eine bestimmte Prägung erfahren haben, in verschiedenen Epochen immer wieder ihre Anziehungskraft erwiesen.

Heisenberg schreibt dazu: „Da die moderne Naturwissenschaft an vielen Stellen an die Erkenntnisse anknüpft, die sich der entstehenden griechischen Naturphilosophie beim ersten Versuch zum Verständnis der uns umgebenden Welt darboten, so mag die Frage der Betrachtung wert scheinen, welche von jenen ersten Erkenntnissen ihre fruchtbare Kraft auch in der heutigen Physik noch entfalten und welche formulierte Gestalt sie nach den wissenschaftlichen Erfahrungen der dazwischen liegenden zwei Jahrtausende angenommen haben. Vor allem sind es zwei Gedanken der ersten griechischen Philosophie, die noch heute den Weg der exakten Naturwissenschaft bestimmen und die daher vor allem unser Interesse beanspruchen können: die Überzeugung vom Aufbau der Materie aus kleinsten unteilbaren Einheiten, den Atomen, und der Glaube an die sinngebende Kraft mathematischer Strukturen.“[7]

Solche Kernpunkte philosophischen Interesses führen in allen geschichtlichen Stadien zur Auseinandersetzung. Sie sind auch Knotenpunkte politischer Auseinandersetzungen, sowie mit Gesellschaftsauffassungen, der Ethik usw. verbunden.

Die konkrete historische Untersuchung verlangt die Einordnung dieser Ideen in die den gesellschaftlichen Bedingungen entsprechenden ideologi-[19]schen Auseinandersetzungen. Die logische, systematische Betrachtung erlaubt auch, solche Auffassungen aus ihrem historischen Zusammenhang herausgelöst, auf ihren heuristischen Wert für eine gegenwärtige Problemlösung zu betrachten. Der Strukturalismus vereinseitigt diese Haltung in der wissenschaftlichen Forschung zur synchronen Methode. Überschätzt man den Wert dieser Methode nicht, dann kann sie uns bei der Beantwortung von Fragen helfen.

Viertens können bestimmte Theorien erst entstehen oder ihre Bedeutung erkannt werden, wenn das empirische Material ausreicht, um der theoretischen Analyse wesentliche Beziehungen und Gesetze zugänglich zu machen. Erst dann erweist sich das, was geniale Vorausschau gewesen sein kann, als empirisch untermauerte Theorie. Das Geniale einer solchen Voraussicht ergibt sich erst hinterher, wenn die Theorie bereits entwickelt wurde. Aber, und darin muß sich die wissenschaftliche Philosophie bewähren, die philosophische Analyse bestehender Theorien und Hypothesen muß zu solchen Aussagen über die Richtung der wissenschaftlichen Forschung führen, daß daraus heuristische Hinweise abgeleitet werden können.[8]

Die von uns im weiteren durchzuführenden Betrachtungen über das Verhältnis von Physik und Materialismus in historischer Sicht haben also den Zweck, den logischen Gehalt in historischen Betrachtungen herauszufinden, die Bedeutung für die Lösung moderner Probleme der Physik und für die philosophische Auseinandersetzung haben. Entsprechend unserer Themenstellung spielen einige Grundideen die entscheidende Rolle, weshalb wir uns auf sie konzentrieren. Dabei wäre der in der Auseinandersetzung zwischen Materialismus und Idealismus entscheidende Grundgedanke des Materialismus von der materiellen Einheit der Welt zu nennen. Diese monistisch-materialistische These ist die Grundlage für Versuche in der Physik, einheitliche Theorien aufzubauen. Zugleich muß jedoch die Frage nach dem Entstehen neuer Qualitäten beantwortet werden. Das führt bereits zu den verschiedenen Strukturauffas-

[7] W. Heisenberg, Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft, Stuttgart 1949, S. 47.
[8] Vgl. H. Hörz, Zur heuristischen Funktion der marxistisch-leninistischen Philosophie für die naturwissenschaftliche Forschung, in: Weltanschauung und Methode, Berlin 1969.

sungen, die mit der Anerkennung oder Bewegung von Substanzen verbunden sind und etwas über die Teilbarkeit und Unteilbarkeit der Elementarteilchen oder Atome aussagen.

Darauf aufbauend gibt es dann bestimmte Bewegungs- und Raum-Zeit-Auffassungen, die bis heute eine Rolle spielen.

Der Atomismus der griechischen Philosophen bietet die Möglichkeit für einen materialistisch-monistischen Standpunkt zum Ursprung der Welt. [20] Nach Demokrit[9] führt die Zerlegung der Stoffe zu den Atomen als den letzten unteilbaren Bausteinen der Wirklichkeit. Aus diesen Atomen bestehen die sichtbaren Körper und auch der Mensch. Entstehen ist Vereinigung und Vergehen Trennung von Atomen, die sich selbst nicht verändern. Da die Atome das Volle sind, bedarf es zur Erklärung der Bewegung des leeren Raumes, der für das Volle Bewegungsfreiheit gibt. Die Atome sind in ständiger Bewegung; also gibt es ständig Entstehen und Vergehen.

Diese naive Welterklärung hat ihre Bedeutung im Laufe von Jahrhunderten nicht verloren. Zwar wurde sie präzisiert und weiter entwickelt, aber ihr großer Grundgedanke von der Rückführbarkeit der qualitativ verschiedenen Materieformen auf die quantitativen Beziehungen von letzten qualitativ gleichartigen Grundbausteinen hat besonders im 17., 18. und 19. Jahrhundert viele Denker befruchtet.

Er lag der Erklärung Daltons zugrunde, daß die Atome eines chemischen Elements in allen Eigenschaften völlig übereinstimmen. In die Physik fand die Atomistik mit der kinetischen Gastheorie ihren Eingang. Ist nun die Atomistik der Griechen die Vorläuferin der modernen Atomtheorie?

Diese Frage hat unter Philosophiehistorikern und Naturwissenschaftlern zu den verschiedensten Antworten geführt. Wer das Gemeinsame, nämlich den oben erwähnten Grundgedanken, betont, beantwortet diese Frage mit Ja. Wer die Unterschiede hervorhebt, wird sie mit Nein beantworten. Zweifellos kann man bei der historischen Betrachtung die Zeit zwischen der Blüte der griechischen Philosophie und ihrer Wiederentdeckung nicht einfach vergessen.

Friedrich Engels betont sowohl die gemeinsame Grundlage moderner Auffassungen mit den griechischen Naturphilosophen, die er in der materialistischen Welterklärung sieht, als auch die notwendige kritische Analyse der Ideen, die in der Zwischenzeit entwickelt wurden: „Allerdings heißt materialistische Naturanschauung weiter nichts als einfache Auffassung der Natur so, wie sie sich gibt, ohne fremde Zutat, und daher verstand sie sich bei den griechischen Philosophen ursprünglich von selbst. Aber zwischen jenen alten Griechen und uns liegen mehr als zwei Jahrtausende wesentlich idealistischer Weltanschauung, und da ist die Rückkehr auch zum Selbstverständlichen schwerer, als es auf den ersten Blick scheint. Denn es handelt sich keineswegs um einfache Verwerfung des ganzen Gedankeninhalts jener zwei Jahrtausende, sondern um seine Kritik, um die Losschälung der innerhalb der falschen, aber für ihre Zeit und den Ent-[21]wicklungsgang selbst unvermeidlichen idealistischen Form gewonnenen Resultate aus dieser vergänglichen Form.“[10]

Selbst der logisch-systematische Vergleich zwischen griechischen Auffassungen und modernen Theorien kann auf die Einbeziehung der vielen neuen Ideen nicht verzichten, die in der Zwischenzeit geboren wurden. Die Übereinstimmung in der Grundidee oder, wie Schrödinger meint, das unveränderliche Fortleben der Hauptzüge der antiken Theorie, haben diesen zu zwei möglichen Erklärungen geführt: „In einem solchen Fall muß man zwei Möglichkeiten ins Auge fassen. Entweder haben die frühen Denker durch reinen Glücksfall erraten, was sich später als

[9] Vgl. W. Capelle, Die Vorsokratiker, Berlin 1958, S. 396 ff.
[10] F. Engels, Dialektik der Natur, in: K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 20, Berlin 1962, S. 469.

richtig erwies, oder die fragliche Hypothese gründet sich nicht so ausschließlich, wie die modernen Denker annehmen, auf das jüngst entdeckte Beweismaterial, sondern auf das Zusammenwirken von viel einfacheren, schon früher bekannten Tatsachen und der a priori-Struktur oder wenigstens der natürlichen Veranlagung des menschlichen Intellekts. Ließe sich das letztere dartun, so wäre es von größter Bedeutung. Zwar müßten wir deshalb nicht notwendig das in Rede stehende Denkbild – in unserem Fall die Atomistik – als eine bloße Fiktion aufgeben. Doch würden wir damit in seinen Ursprung und sein Wesen tieferen Einblick gewinnen.“[11]

Hier wird eine interessante Verbindung zwischen materialistischer Philosophie und naturwissenschaftlicher Forschung deutlich. Da wir mit Schrödinger die zufällige geniale Antizipation modernerer Theorien verwerfen, muß der Struktur des griechischen Denkens unsere Beachtung geschenkt werden. Die Atomisten beantworten die allgemeine weltanschauliche Frage nach dem Ursprung der Welt und der Quelle unseres Wissens auf materialistisch-monistische Weise. Für sie war die Quelle unseres Wissens das, was außerhalb unseres Bewußtseins und unabhängig vom Menschen existiert und vom Menschen verändert und erkannt wird, eben das, was wir heute mit dem Begriff der Materie bezeichnen. Wie Engels sagte, nahmen sie die Natur auf materialistische Weise, so wie sie ist. Eben das ermöglichte es ihnen, einige Grundprobleme naturwissenschaftlicher Forschung in genialer Weise zu lösen. Sie anerkannten kleinste materielle Bausteine der Welt, und mit dieser Vorstellung war die qualitative Vielfalt auf einfache Weise zu erklären.

Gegen den Atomismus wandte sich Platon, der die wirkliche Welt als ein Abbild der Ideen auffaßte, die eine Hierarchie bilden, an deren Spitze die [22] Idee des Guten steht. Die Elemente sind Erde, Feuer, Wasser, Luft und Äther. Sie gehen durch Vermittlung der Dreiecke aus dem Urgrund, dem Raum hervor. Die Bedeutung, die Platon mathematischen Gebilden und der Mathematik in seiner Philosophie zuschreibt, hat manchen Naturwissenschaftler unserer Zeit dazu veranlaßt, Platon gegenüber Demokrit recht zu geben, wie das z. B. Heisenberg tat. Aber Platon erklärt die Bedeutung der Mathematik nicht, er nimmt nur das von ihm bereits interpretierte mathematische Denken, das er als Formgebung betrachtet, als Grundlage seiner idealistischen Philosophie.

Gerade die wesentliche Frage nach der Verbindung der Ideen zur Wirklichkeit umgeht er. Das wird auch bei bürgerlichen Philosophiehistorikern festgestellt. In „Überwegs Grundriß der Geschichte der Philosophie“ heißt es: „Danach mußte er völlig übersehen haben, daß man aus reinen mathematischen Körpern keine sichtbare und greifbare Welt konstruieren kann. Die Lösung ist wohl darin zu suchen, daß Platon sich bei der Charakteristik seines Arguments in Neutralisierung und Abstraktion nicht genug tun kann. Durch mögliche Beseitigung aller Bestimmtheiten kommt es zu einer Verflüchtigung, bei der nichts übrig bleibt als das, was alles aufnimmt und worin alles geschieht. Wie und wo auf dem Wege zum sinnlichen Weltwerden diesem Uranfänglichen die notwendige Stofflichkeit zuwächst, bleibt ungesagt. Hier besteht in der Tat eine Lücke in der platonischen Darstellung.“[12] Wenn also Demokrit nicht in allen Einzelheiten recht hatte, so ist doch die atomistische Grundidee von Bestand. Sie wendet sich keineswegs gegen die Mathematik, ist jedoch eine Erklärung der Welt, die überprüft werden kann. Platons Auffassung dagegen ist eine Rechtfertigung für die Schöpferkraft des Denkens, die jedoch selbst einer materialistischen Erklärung bedarf. In diesem Sinne schreibt Schrödinger zur Atomistik: „Aber zu gleicher Zeit sehen wir die heutige Atomtheorie in eine schwere Krise verwickelt. Ohne jeden Zweifel ist die einfache Partikeltheorie zu naiv. Das ist nach den obigen Mutmaßungen über ihren Ursprung nicht allzu verwunderlich. Wenn ich damit recht

[11] E. Schrödinger, Die Natur und die Griechen, S. 107.
[12] Friedrich Überwegs Grundriß der Geschichte der Philosophie, Teil 1 Die Philosophie des Altertums, Darmstadt 1958, S. 313.

habe, so war die Atomistik eine Waffe, geschmiedet zur Überwindung der Schwierigkeiten des mathematischen Kontinuums, deren sich Demokrit, wie wir sahen, völlig bewußt war. Für ihn war die Atomistik ein Mittel, die Kluft zwischen den wirklichen physikalischen Körpern und den idealisierten geometrischen Gestalten der reinen Mathematik zu überbrücken.“[13]

[23] Die materialistische Fragestellung verlangt eine Aufklärung über das Verhältnis von Mathematik und Physik. Nicht das Bewundern der Mathematik reicht aus, sondern ihre Rolle in der Physik und der Übergang von mathematischen Theorien, Begriffen und Zeichen zu wirklichen Objekten, Eigenschaften und Beziehungen muß geklärt werden. Sicher sind diese Fragen nicht einfach zu beantworten. Man kann sich auch heute von materialistischer Seite auf zwei Standpunkte stellen. Einmal kann man darin die Kraft des menschlichen Denkens in der Schöpfung von ideellen Systemen mit ideellen Objekten und Beziehungen sehen, die sich später als geeignet erweisen, objektiv-reale Systeme widerzuspiegeln, indem sie die objektive Struktur als ideelle Struktur erfassen. Daraus ergeben sich verschiedene Wechselbeziehungen. Erkannte objektive Strukturen verlangen nach noch nicht gefundenen ideellen Strukturen. Ideelle Objekte eines Systems haben noch keine objektive Entsprechung gefunden usw.

Die materialistische Erklärung besteht dabei darin, daß ideelle Systeme geeignet sind, objektive Systeme widerzuspiegeln, indem die ideellen Beziehungen so gestaltet werden, daß sie den objektiven Beziehungen entsprechen. Widerspiegelung entsteht also durch ständige Versuche, vorhandene mathematische Theorien zur Darstellung physikalischer Sachverhalte zu benutzen oder angemessene Theorien auszuarbeiten.

Zum anderen kann man jedoch die Auffassung vertreten, daß die Struktur unseres Denkens, da es sich selbst auf materieller Grundlage vollzieht, Gemeinsamkeiten mit allen anderen objektiven Strukturen aufweist. Die Konsequenz dieser Auffassung wäre, daß *jede* mathematische Theorie, da sie objektive Struktur ihrem Ursprung nach ist, eine objektive Entsprechung haben muß, nach der man intensiv suchen muß. Diese Schlußfolgerung kann sich auch aus idealistischen Philosophien ergeben. Aber dann bleibt das bestehen, was wir schon zu Platon bemerkten, die Rolle der Mathematik wird betont, aber nicht erklärt.

Die hier angedeutete materialistische Erklärung der immer wieder imponierenden Kraft mathematischen Denkens bei der Erforschung der Wirklichkeit kann jedoch heute nicht bestätigt oder widerlegt werden, da die Erkenntnisse der Gehirnphysiologie, Neurokybernetik usw. nicht ausreichen, um die objektive Struktur des Denkprozesses exakt bestimmen zu können.

Wir sehen also, daß die Frage nach dem Verhältnis von Mathematik und Wirklichkeit heute noch ausstehende Antworten verlangt. Aber auch hier hat sich die materialistische Linie insofern bestätigt, als diese noch nicht beantworteten Fragen gestellt und vorläufige Antworten formuliert werden, wie das im Atomismus Demokrits geschah. Der Platonismus antwortet auf die Frage nach diesem Verhältnis überhaupt nicht, sondern löst das Pro-[24]blem durch Vereinseitigung, indem er auf die Bedeutung der Mathematik nur verweist.

Die Bedeutung der Atomistik in dieser Frage hebt auch Schrödinger hervor: „In gewisser Weise hat die Atomistik während ihrer ganzen langen Geschichte stets diese Aufgabe erfüllt, die Aufgabe, unser Nachdenken über greifbare Körper zu erleichtern. Ein Stück Materie wird in unserem Denken in eine unerhört große, doch endliche Zahl von Bestandteilen zerlegt. Wir können uns vorstellen, daß wir sie zählen, während es uns unmöglich ist, die Zahl der Punkte auf einer geraden Linie von 1 cm Länge anzugeben. Zählen können wir in Gedanken die Zusammenstöße der Teilchen in einer gegebenen Zeit. Wenn Wasserstoff und Chlor sich zu Chlorwasserstoff (Salzsäure) verbinden, so können wir in Gedanken die Atome der beiden Arten zu Paaren ordnen und uns vorstellen, daß jedes Paar sich zu einem neuen kleinen Kör-

[13] E. Schrödinger, Die Natur und die Griechen, S. 112.

per vereint, einem Molekül der Verbindung. Dieses Zählen, dieses Paaren, diese ganze Art zu Denken hat eine hervorragende Rolle bei der Entdeckung der wichtigsten physikalischen Gesetze gespielt. Sie wäre kaum möglich gewesen, wenn man sich die Materie als ein lückenloses, unstrukturiertes Gelee vorgestellt hätte."[14]

Der materialistische Grundstandpunkt der Atomisten ist es also, der uns auch heute noch anzieht. Es begeistert uns ihr Lösungsversuch zur Erklärung des Ursprungs der Welt und der qualitativen Vielfalt der Materieformen. Das ist Schrödinger nicht so bewußt gewesen. Aber er sah bereits, daß die Feststellung von der zufällig richtigen Vorausschau den Kern der Sache nicht trifft. Es muß die moderne Physik mehr mit den griechischen Atomisten verbinden als ihre naive Welterklärung. Eben das ist ihr Versuch, mit theoretischen Schwierigkeiten fertig zu werden, vor denen wir heute auch wieder stehen und die immer wieder neu entstehen. Man kann sie durch die folgenden Fragen charakterisieren:

Gibt es letzte Grundbausteine der Welt?

Ist die Theorie dieser Grundbausteine zugleich eine allgemeine Welttheorie?

Wie ist das Verhältnis von Mathematik und Physik? Was wissen wir über die Bewegung der Objekte?

Was sind Raum und Zeit?

Diese Fragen werden in Abhängigkeit vom Wissensstand einer Epoche beantwortet und verlangen mit dem tieferen Eindringen in die Struktur der Materie neue Antworten.

Das Verbindende in diesen Antworten ist jedoch das materialistische Her-[25]angehen, nämlich in jeder Epoche die Tatsachen in ihrem eigenen Zusammenhang und in keinem phantastischen zu sehen. Eben weil Schrödinger diesen Bezug zur Wirklichkeit nicht sieht, kommt er in gewisser Weise zu einer pessimistischen Einschätzung des Atomismus, dessen Wahrheit er anzweifelt: „So hat sich die Atomistik unendlich fruchtbar erwiesen. Aber je mehr man darüber nachdenkt, desto weniger kann man sich der Frage erwehren, inwieweit sie eine *wahre* Theorie ist. Gründet sie sich tatsächlich nur auf die wirkliche, objektive Struktur der ‚realen Außenwelt'? Ist sie nicht in wichtiger Weise durch die Natur des menschlichen Verstandes bedingt – was Kant a priori [vor jeder Erfahrung] genannt haben würde? Ich halte es für nötig, daß wir uns gegenüber den handgreiflichen Beweisen für die Existenz individueller einzelner Partikel einen offenen Blick bewahren, unbeschadet unserer schrankenlosen Bewunderung für die experimentelle Meisterschaft derer, die uns einen solchen Schatz tatsächlichen Wissens erarbeitet haben. Er mehrt sich täglich und wird schließlich mithelfen, das Blatt zu wenden – ich meine den betrüblichen Umstand, daß heute, wie ich wohl sagen darf, unser Verständnis der Tatsachen in demselben Maße schwindet, wie diese sich mehren."[15]

Die Wahrheit dieser Theorie liegt nicht in den einzelnen Aussagen über die Struktur der Materie, sondern in ihren Antworten auf die Frage nach den Quellen unseres Wissens.

Beim Wiederaufleben des Atomismus im 17. Jahrhundert spielte die Auseinandersetzung mit aristotelischen Auffassungen eine große Rolle. Vor allem war es seine Stellung zu den minima naturalia, den kleinsten Naturobjekten, und zum Begriff der mixtio, der Mischung oder Verbindung.

Gerade in der von uns besprochenen Problematik, ob ein Kontinuum sich aus unteilbaren Teilchen zusammensetzen könne, nimmt Aristoteles einen anderen Standpunkt als Demokrit ein. Er läßt eine unendliche gedankliche Teilung des Körpers zu. Die Teilung ist jedoch nur

[14] Ebenda, S. 112 f.
[15] Ebenda, S. 113 f.

innerhalb eines Ganzen möglich. Werden kleinste Teilchen isoliert, dann können sie de facto nicht mehr wirken, obwohl sie als Teile des Ganzen immer wirken und dort auch unendlich teilbar sind. Aristoteles polemisiert so gegen Zenon, nach dem ein beliebiger Teil eines Hirsekorns ein Geräusch verursacht. Nach Aristoteles ist es möglich, daß solch ein Teil kein Geräusch hervorruft, da er nur potentiell innerhalb des Ganzen existiert.[16] Die Teile sind also Teile eines Ganzen und können nur als solche wirken.

Besonders interessiert Aristoteles das Entstehen eines neuen Ganzen aus [26] Elementen mit bestimmten Eigenschaften. Die Mixis ist für ihn ein gleichartiges homogenes Ganzes, das in unendlich viele gleichartige Teile geteilt werden kann. Aristoteles schreibt dazu: „Da das Sein entweder potentiell oder aktuell sein kann, existieren die Komponenten der Mixis auf irgendeine Weise und sie existieren gleichzeitig auf irgendeine Weise nicht, denn aktuell existiert etwas anderes, nämlich das aus ihnen Entstandene, potentiell aber existiert jede von ihnen so, wie sie schon vor der Vereinigung existiert, ohne völlig zerstört zu werden.“[17]

Weiter heißt es bei ihm: „Es ist offenkundig, daß die Komponenten der Mixis zu solchen eigentlich erst durch die Vereinigung des Getrennten werden und daß sie die Fähigkeit besitzen, sich wieder zu trennen. Sie verharren also weder in einem aktuellen Zustand wie der Körper und das Weiße, noch gehen sie unter, weder die eine von ihnen, noch beide zusammen, denn ihre Potenz bleibt erhalten.“[18] Damit wird zwar keine genaue Erklärung für das Verhalten der Elemente in der Verbindung gegeben, aber auf eine Beziehung aufmerksam gemacht, die wir heute als das Verhältnis von System und Element betrachten. Die Elemente existieren als Komponenten der Verbindung nur durch ihre Vereinigung. Aktuell ist das Ganze, und nur potentiell sind die Elemente.

Der Zusammenschluß der Elemente zu einem Ganzen und der Platz der Elemente im System spielt dann auch im Mittelalter eine große Rolle. Subow schreibt dazu: „Nach der einen Vorstellung (Avicenna) behalten die Elemente in der Mixis ihr ursprüngliches Sein, verlieren aber ganz oder teilweise ihre Aktivität und Qualität. Nach der anderen Vorstellung (Averroes) werden nicht nur die Aktivität und die Qualität verändert, sondern auch das eigentliche Wesen oder die Natur der Komponenten. Ihre ‚substantielle Form‘ verändert ihre Intensität, sie befindet sich in einem ‚abgeschwächten Zustand‘, das Feuer wird auf diese Weise ‚in einem geringeren Maße‘ Feuer usw. In der im Mittelalter verbreiteten Deutung der Thomisten schließlich bleiben nicht die Elemente erhalten (manent), sondern nur deren ‚Kraft‘ (virtus). An diesem letzten Beispiel wird besonders deutlich, wie die rein phänomenologischen Feststellungen von Aristoteles sich im Mittelalter in ontologische, metaphysische Betrachtungen über hypostasierte Abstraktionen verwandelt haben; so wird auch die virtus der Elemente zu einem geheimnisvollen eigenartigen Wesen, das auch nach dem [27] Untergang der Elemente eine schattenhafte Scheinexistenz beibehält.“[19] Bemerkenswerte Fortschritte auf dem Gebiet der Naturwissenschaften gab es im Mittelalter nicht. Es fand ein scholastischer Streit um die richtige Interpretation der Auffassungen von Aristoteles statt. Auch atomistische Anschauungen wurden vertreten, aber von der katholischen Kirche verboten.

So wird in den Richtlinien der Inquisition von Eymericus um 1300 die Lehre verworfen, daß „jedes Ding aus den kleinsten Teilen besteht und daß, wenn sich die Atome trennen, ein Ding vernichtet wird, und wenn sie sich vereinigen, ein Ding entsteht.“[20] Noch bevor sich die Phy-

[16] Vgl. Aristoteles Physik VII, 5, 249 a-250 b.
[17] Zitiert bei W. Subow, Zur Geschichte des Kampfes zwischen dem Atomismus und dem Aristotelismus im 17. Jahrhundert, in: Sowjetische Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaft, Berlin 1960, S. 168.
[18] Ebenda.
[19] Ebenda, S. 168 f.
[20] Vgl. H. Ley, Studie zur Geschichte des Materialismus im Mittelalter, Berlin 1957, S. 484.

sik der Neuzeit entwickelte und damit auch ein neues Verhältnis zwischen Physik und Philosophie entstand, da der Materialismus die Physik nicht mehr immanent enthielt, sondern die Physiker zwar spontane Materialisten waren, aber der Physik materialistische und idealistische Philosophien entgegenstanden, wurden im 14. Jahrhundert antiaristotelische Strömungen sichtbar, die den Boden für die Entwicklung der Physik im 17. Jahrhundert bereiteten.

Schon Nicolaus von Autrecourt, ein radikaler Gegner der Scholastik, der in einem Ketzerprozeß von 1340-1346 verurteilt wurde und seine Schriften 1347 verbrennen mußte, greift wieder auf die Lehren der Atomisten zurück. Durch die Darstellungen der Auffassungen von Epikur und Lukrez mit ihnen bekannt geworden, gibt er sie an Descartes, Gassendi und Huygens weiter. Er greift auch die aristotelische Substanzauffassung an, nach der Substanz das Seiende ist, das für sich bestehen und zum Träger weiterer Bestimmungen werden kann. Wir begegnen auch später noch den beiden Ideen des Substanzgedankens.

Einerseits soll die Substanz in sich beharren, im Wechsel der Erscheinungen gleich bleiben. Andererseits ist sie Träger von Eigenschaften. Nach Nicolaus läßt eine Eigenschaft noch nicht den Schluß auf einen Träger dieser Eigenschaft zu. Da Gott nach ihm jede beliebige Erscheinung hervorbringen kann, ohne einen Träger dafür zu benötigen, ist im Begriff der Erscheinung oder Eigenschaft die Substanz nicht eingeschlossen, auch das Gegenteil bleibt möglich. Damit kann hier der Satz vom ausgeschlossenen Widerspruch als Hauptbeweismittel nacharistotelischer Scholastik nicht angewandt werden. Würde nämlich der Begriff der Erscheinung schon den Substanzgedanken implizieren, dann gäbe es keine Erscheinung ohne Substanz. Aber das greift Nicolaus an. Gedanklich wird hier der Weg frei für [28] die Anerkennung der Erfahrung als Grundlage unseres Wissens. Auf dem Boden der Scholastik und durch ihre Kritik mit scholastischen Mitteln wächst durch die Anerkennung materialistischer Ideen eine neue Denkhaltung heran, die die Entwicklung der Physik begünstigt und dadurch selbst wieder gefördert wird.

In der Schule der Nominalisten zu Paris, deren Haupt Johannes Buridanus war, wird die Kritik des Aristotelismus fortgesetzt. Sie beschäftigt sich vor allem mit dem Bewegungsproblem, das im 17. Jahrhundert von Galilei mit experimentellen Mitteln und der Abstraktionsmethode angegangen wird.

Max von Laue schildert die Situation vorher: „Am Anfang war die Mechanik. Wie erwähnt, reicht die Lehre vom Gleichgewicht, die Statik, weit ins Altertum zurück. Die praktische Bedeutung, welche Hebel, Schraube, Flaschenzug, schiefe Ebene für die Bewältigung schwerer körperlicher Arbeit haben, hat sie ins Leben gerufen. Begriffe wie spezifisches Gewicht oder Schwerpunkt entwickelten die Griechen; Schwerpunktsberechnungen für Körper vorgegebener Gestalt bildeten ein beliebtes, mangels einer Infinitesimalrechnung den Scharfsinn herausforderndes Problem. Diese Statik gipfelt im Satz der virtuellen Verrückungen: Man bilde für jede Kraft ihr Produkt mit dem Wege, den ihr Angriffspunkt, falls eine bestimmte Bewegung einsetzte, in der Kraftrichtung zurücklegte. Diese Bewegung setzt dann nicht ein, wenn die Summe dieser (mit den richtigen Vorzeichen zu nehmenden) Produkte Null ergibt. Kräfte mißt man dabei durch Gewichte; es handelt sich also stets um Wirkungen der Schwere. Das bekannte Hebelgesetz ist ein Sonderfall, die Archimedische Regel, daß jeder feste Körper in einer Flüssigkeit einen Auftrieb gleich dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit erfährt, ein anderer. Um diese Erkenntnis haben die Jahrtausende vor 1600 gerungen. Der letzte in der Reihe ihrer Schöpfer ist Simon *Stevin* (1548-1620), der in genial intuitiver Weise das Gleichgewicht auf der schiefen Ebene erforschte und damit implicite die Zerlegung einer Kraft in Komponenten, d. h. das Parallelogrammgesetz der Kräfte fand. Was sich aber sonst an Mechanik bei Aristoteles (384-322 v. Chr.) findet und die ganze Scholastik hindurch als unwidersprechliche Wahrheit galt, war für die aufkeimende Wissenschaft des 16. Jahrhunderts lediglich das größte aller zu

überwindenden Hemmnisse.“[21] Eben mit diesen Hemmnissen setzten sich schon Nominalisten als Gegner der Scholastik auseinander. Nach Aristoteles bedarf jede Bewegung eines Bewegers, eines verursachenden Prinzips. Damit wird jedoch die Erkenntnis des Trägheitssatzes, nach dem jeder Körper ohne äußere Einwirkung im Zustand der Ruhe oder der [29] gleichförmig-geradlinigen Bewegung verbleibt, erschwert. Die aristotelische Auffassung wird jedoch schon im 14. Jahrhundert attackiert. Nehmen wir z. B. den Wurf. Nachdem der Pfeil die Sehne oder der Stein die Hand verlassen hat, muß er durch eine Kraft in Bewegung gehalten werden. Nach Aristoteles kann das nur die Luft sein, die durch die Hand oder Sehne eine Bewegungskraft erhielt. Damit wird jedoch nicht erklärt, wodurch die Luft in Bewegung gehalten wird. Einen Ausweg bietet die Impetuslehre, die im 14. Jahrhundert entwickelt wird. Nach ihr erhält der Pfeil durch die Sehne einen Impetus eingeprägt, der den Körper in Bewegung hält. Das Bewegte bleibt deshalb in Bewegung, da es die bewegende Kraft in sich aufgenommen hat. Für Buridan wird der Impetus durch Hindernisse, wie der Widerstand des Mediums, das Gewicht, der Neigung zur Ruhe usw. aufgebraucht oder in seiner Richtung geändert. Damit ist keine ständige Kraftübertragung für die Bewegung erforderlich. Zwar enthält die Impetustheorie keineswegs den Trägheitssatz, sie ist jedoch einer der Zugänge zu ihm, da sie mit dem eingeprägten Impetus den Schluß von der Selbstbewegung der Materie erleichtert, der in der klassischen Mechanik auch nur für die gleichförmig-geradlinige Bewegung gezogen wird.

Ein wichtiger Schritt zur Begründung der Physik wurde durch Nikolaus von Kues gemacht (1401-1464). In seiner Arbeit „Der Laie über Versuche mit der Waage“ versucht er, eine Sicht der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse seiner Zeit zu geben. Er geht dabei vom Messen, Zählen und Wägen aus. Seine Hinwendung zu quantitativen Untersuchungen wird deutlich in der Feststellung des Laien: „Obschon nichts in dieser Welt die Genauigkeit erreichen kann, so machen wir dennoch die Erfahrung, daß das Ergebnis der Waage der Wahrheit näher kommt.“[22] An den Gelehrten stellt er die Frage, ob nicht jemand die erfahrbaren Gewichtsunterschiede zusammengestellt hätte. Nach dem Zweck dafür, antwortet er: „Ich glaube, daß man durch Beachtung des Gewichtsunterschiedes den Geheimnissen der Dinge näher kommen und vieles mit Hilfe von wahrscheinlichen Folgerungen wissen kann.“[23] Die Physiker Rompe und Treder heben hervor, daß der Kusaner Einsichten in die Kosmologie und Physik formulierte, die auch für den heutigen Naturwissenschaftler noch beachtenswert sind. Neben seinen Einsichten in die Wissenschaftsmethodik, seiner Hinwendung zur Praxis, seinen Versuchen usw. spielt auch sein kosmologisches Prinzip eine Rolle: „Nikolaus von Kues formulierte sein grundlegendes kosmologisches Prinzip in der Aussage, daß ‚jeder Punkt des Alls gleichweit von Gott ent-[30]fernt sei‘. Die mathematische Verschärfung dieser philosophischen These ist das Kusanische Axiom, daß jeder Punkt des Kosmos als Mittelpunkt einer unendlich großen Sphäre angesehen werden kann. Hieraus folgt nun sofort die prinzipielle Gleichberechtigung aller Punkte und Richtungen im All und damit das völlige Negieren eines qualitativen Unterschiedes zwischen der irdischen und der himmlischen Physik. In allen Punkten der Welt gelten dieselben Naturgesetze, die mit denselben Methoden quantitativ erforscht werden müssen.

Das Revolutionäre dieser Einsicht Nikolaus’ von Kues erkennt man durch ihre Gegenüberstellung zum herrschenden Aristotelisch-Ptolemäischen Weltbild. Dieses Weltbild hat als physikalische und naturphilosophische Grundlage die Behauptung eines Qualitätsunterschiedes zwischen der Physik auf der Erde und der Physik im Kosmos. Ferner behauptete Aristoteles einen prinzipiellen Unterschied zwischen den Bewegungsrichtungen: Die Radialbewegungen von ‚unten nach oben‘ und von ‚oben nach unten‘ sind im Aristotelischen Kosmos ausgezeichnet.

[21] M. von Laue, Geschichte der Physik, Bonn 1950, S. 20 f.
[22] N. v. Cues, Der Laie über Versuche mit der Waage, Leipzig 1944, S. 19.
[23] Ebenda, S. 20.

Somit war der aristotelische Raum in seiner inneren Struktur völlig verschieden vom euklidischen Raum der Mathematik. Die aristotelische Behauptung der Existenz ausgezeichneter Raumpunkte und Raumrichtungen sowie die hiermit zusammenhängende These vom Qualitätsunterschied zwischen der irdischen und der kosmischen Physik (wobei die irdische Physik keiner quantitativen Erforschung fähig war) wurden von Ptolemäus als naturphilosophische Grundlage des geozentrischen Weltsystems benutzt.

Es ist daher evident, daß die kosmologische Einsicht Nikolaus' von Kues von der Gleichwertigkeit aller Punkte und Richtungen im Kosmos und der Unendlichkeit des kosmischen Raumes ein entscheidender Schritt zur Zerstörung der aristotelischen Kosmologie war und gleichzeitig eine notwendige Voraussetzung für die Möglichkeit einer mathematischen Physik einerseits und einer Himmelsmechanik andererseits ist."[24]

Nikolaus von Kues, selbst Kardinal, durchbrach mit seinem Weltbild vollends die Scholastik und begründete die messende Naturwissenschaft als Basis für theoretische Einsichten. In seiner Bewegungs- und Raum-Zeit-Auffassung entwickelte er Ansichten, die prinzipiell der aristotelisch-ptolemäischen Weltauffassung entgegengesetzt waren: „Das kosmologische Prinzip Nikolaus' von Kues (Gleichwertigkeit aller Punkte und Richtungen im Kosmos) ist das erste Relativitätsprinzip, das in der Physik formuliert [31] worden ist, und gleichzeitig die erste Entdeckung von physikalisch grundlegenden Symmetrieeigenschaften des Kosmos", schreiben Rompe und Treder.[25] Seine Erfolge sind in seiner Auffassung von der Einheit der Welt begründet. Alles soll gewogen, d. h. der experimentellen Prüfung unterzogen werden. Durch die Gewichtsunterschiede kann man in das Wesen der Dinge eindringen.

Die Einheit der Welt in Gott zu finden, ist der idealistische Ausgangspunkt des Kardinals. Er ermöglicht es ihm, die Dialektik des Teils und des Ganzen zu entwickeln, die später bei Bruno aufgegriffen wird. In jedem Einzelnen steckt das Ganze. Dieser Einheitsgedanke findet seine materialistische Umkehrung in der Hinwendung zur quantitativen Untersuchung der Dinge. Gerade diese für die Entwicklung der Wissenschaft wesentlichen materialistischen und dialektischen Elemente im Weltbild des Kusaners sind gegen die die Entwicklung hemmenden Substanz- und Bewegungsideen des Aristoteles gerichtet. Rompe und Treder schreiben: „Somit zeigt Nikolaus' von Kues Behandlung sowohl der Physik als auch der Astronomie seine Größe und seine Grenzen. Wir sind der Ansicht, daß sich Größe und Grenzen bei ihm gegenseitig bedingen. Der große naturphilosophische und wissenschaftsmethodische Ausblick, den das Werk Nikolaus' von Kues enthält, konnte von einem in der Spezialforschung tätigen Gelehrten seiner Zeit nicht gewonnen werden. Die Tiefe der kusanischen Einsichten beweist die Bedeutung eines umfassenden philosophischen Weltbildes für die Entwicklung der Naturwissenschaften."[26]

Über Peurbach und seine Werke kommt Kopernikus mit den Ideen des Kusaners in Verbindung. Er erklärt die Planetenbahnen als Kreisbewegungen um die Sonne, wobei die Eigenbewegung der Erde um die Sonne mit einbezogen ist. Damit ließen sich die Beobachtungen über rückläufige Bewegungen der Planeten auf einfache Weise deuten.

Die philosophischen Konsequenzen aus der neuen Auffassung zog Giordano Bruno in seinem Kampf gegen den Aristotelismus, die naturwissenschaftliche Entscheidung im Streit um das kopernikanische und ptolemäische System brachten Galilei, Kepler und dann Newton.

Max von Laue schreibt dazu: „Galileis, dieses seinerzeit erfolgreichsten, populärsten und bestgehaßten Kämpfers, Verdienst um das kopernikanische System liegt erstens in seinen

[24] R. Rompe/H.-J. Treder, Nikolaus von Kues als Naturforscher, in: Nikolaus von Kues, Berlin 1965, S. 21.
[25] Ebenda.
[26] Ebenda, S. 22.

großen, durch die Benutzung des neuen Hilfsmittels, des Fernrohrs, ermöglichten astronomischen Entdeckungen. Er demonstrierte 1610 in den Jupi-[32]tertrabanten ein kopernikanisches Planetensystem im Kleinen, bewies 1611 an den Phasen der Venus unzweifelhaft ihre (angenäherte) Kreisbahn um die Sonne, und daß sie gleich Erde und Mond kein eigenes Licht ausstrahle, sondern nur Sonnenlicht zurückwerfe. Das aschgraue Licht der von der Sonne nicht bestrahlten Teile des Mondes war ihm der Beweis, daß die Erde, von außen gesehen, gleich den anderen Planeten hell erscheint. Zweitens aber hatte er die klare Einsicht, daß die Bewegungsgesetze nicht auf ein erdfestes Bezugssystem zu beziehen sind, sondern auf das Kopernikanische. Spricht er bei der Fallbewegung auch meist von der Bewegung gegen die Erde, so sagt er doch auch, daß dies nur näherungsweise erlaubt ist, daß genau genommen ein frei fallender Körper infolge der Erddrehung von der Vertikalen abweicht. Auch heute erlaubt sich die Physik bei der Diskussion der meisten ihrer Versuche dieselbe, in ihrer Begrenztheit voll erkannte Näherung.

Und er wurde nicht müde, die dynamischen Einwände gegen Kopernikus auf Grund seiner neugewonnenen Einsichten zu widerlegen. Durch Newtons Werk aber wurde vollkommen klar gestellt, daß man die Planetenbewegung dynamisch nur verstehen könne – dann aber auch vollständig –, wenn man das kopernikanische Bezugssystem zugrunde legt.“[27]

Es ist also vor allem die Orientierung auf die Beobachtung und das Experiment, verbunden mit der wissenschaftlichen Abstraktion, die die Physik zu einer selbständigen Wissenschaft werden ließ. Lange Zeit mit der materialistischen Tradition in der Philosophie verbunden, wird sie im 17. Jahrhundert mit der Begründung der Mechanik selbständig. Die Philosophie erhielt nun verschiedene Aufgaben:

Erstens mußte in der materialistischen Tradition die Selbständigkeit dieser Wissenschaft begründet werden.

In diesem Sinne wirkte auch Descartes materialistisch und zog sich die Kritik seiner theologischen Gegner zu, als er streng die denkende Substanz von der ausgedehnten trennte. „Deshalb müssen wir“, schreibt er, „hier unbedingt den Schluß ziehen, daß es eine solche Sache gibt, die nach Länge, Breite und Tiefe ausgedehnt ist und alle die Eigenschaften hat, welche wir als einem ausgedehnten Gegenstand zugehörig, klar erkennen. Und dies ist die ausgedehnte Sache, die wir Körper oder Materie nennen.“[28] Die Unterscheidung zwischen Gott und den Körpern ermöglichte die Untersuchung der Körper, war jedoch vom materialistischen Standpunkt aus inkonsequent, da die Einheit der Welt zugunsten eines Dualismus aufgegeben wurde. In [33] dieser Richtung kritisierte auch Gassendi Descartes. Es entwickelte sich der mechanische Materialismus, der die Ergebnisse der Naturwissenschaft anerkannte und sie in sein philosophisches System einbaute.

Zweitens bewahrte der Materialismus die großen Grundgedanken der materialistischen Tradition, die die Entwicklung der Physik vorbereitet hatten. Dazu gehörte vor allem der Gedanke von der materiellen Einheit der Welt, den auch Gassendi gegenüber Descartes verteidigt hatte. Ursprung der Welt ist die Materie als causa sui. Selbst Gott als erster Beweger wird nach Laplace nicht mehr gebraucht. Quelle unseres Wissens ist die Materie. Mit ihr muß experimentiert und sie muß beobachtet werden. Die Physik untersuchte die Bewegung der Körper, ihre räumlichen und zeitlichen Beziehungen, ihre Struktur, und die Philosophie beantwortete die Fragen nach dem Ursprung der Welt und der Quelle unseres Wissens, nach der Stellung des Menschen in der Welt und dem Sinn des Lebens. Sie befaßte sich mit den Erkenntnismethoden der Wissenschaft, soweit sie der materialistischen Tradition treu blieb, und wurde

[27] M. von Laue, Geschichte der Physik, S. 75 f.
[28] R. Descartes, Die Prinzipien der Philosophie, Berlin 1965, S. 32.

damit zur Methodologie und Erkenntnistheorie der Naturwissenschaften. Diese Funktion verlor sie erst in der idealistischen Philosophie, als der mechanische Materialismus nicht mehr mit den Ergebnissen der Naturwissenschaften im 19. und 20. Jahrhundert vereinbar war.

Aber da hatte der dialektische Materialismus bereits die materialistische Linie fortgesetzt. Er war als Philosophie der Arbeiterklasse durch Marx und Engels begründet worden und setzte die materialistische Fundierung der naturwissenschaftlichen Forschung fort.

Drittens waren die Ergebnisse der Naturwissenschaften zu interpretieren und gegen idealistische Spekulationen zu verteidigen. Die philosophischen Bewegungs- und Raum-Zeit-Theorien mußten auf der Grundlage des einzelwissenschaftlichen Materials präzisiert werden. Die allgemeinen Auffassungen über die Struktur der Materie unterlagen dem Experiment als Wahrheitskriterium. Der Atomismus wurde von einer philosophischen Theorie zu einer experimentell überprüfbaren Auffassung. Auch hier entwickelte der dialektische Materialismus den Atomismus weiter, indem er von der Unerschöpflichkeit der Materie ausging und damit einerseits die historische Berechtigung des Atomismus nachwies, und andererseits seine Grenzen in der Annahme letzter unteilbarer Teilchen zeigte.

Viertens galt es, die philosophischen Auffassungen der Naturwissenschaftler philosophisch zu analysieren, um ihre Konsequenzen zu zeigen. Widersprüche zwischen philosophischen Aussagen von Naturwissenschaftlern und Philosophen traten auf. Die Naturwissenschaftler zogen sich teilweise auf einen bornierten Empirismus zurück, und manche Naturphilosophen ver-[34]fielen in Spekulationen. Der Materialismus trat für die Einheit von Philosophie und Naturwissenschaft und für das Bündnis zwischen Philosophen und Naturwissenschaftlern ein.

Bei der Herausbildung dieser neuen Beziehungen zwischen Philosophie und Naturwissenschaft spielte der Atomismus eine große Rolle.

Die Schwierigkeit, vor der man im 17. Jahrhundert stand, war die wirkliche Erklärung der Entstehung qualitativ neuer Objekte oder Systeme und die Rolle ihrer Elemente. Die Hypostasierung der Begriffe als wirkliche Kräfte verdunkelte die Problematik nur noch mehr. Es mußte der Versuch gemacht werden, auf einfache, überprüfbare Vorstellungen zurückzukommen.

Besonders in der Medizin lebten atomistische Vorstellungen wieder auf. Es ging darum, an Stelle der Kräfte und substantiellen Formen die Wechselwirkung der Körper durch Teilchen zu erklären, die zwar den Sinnen nicht zugänglich sind, aber doch die Vorgänge bei der Verbindung verständlich erscheinen lassen. Durch Namen wie David van Goorle, Daniel Sennert, Joachim Jungius, Johann Sperling u. a. ist die Wiederaufnahme atomistischer Ideen gekennzeichnet. Zugleich werden damit materialistische Auffassungen verbunden, wenn J. Sperling schreibt: „Die Lehre von den Atomen ist nicht so schrecklich, wie sie nicht wenigen zu sein scheint. Es ist ein schlimmer Fehler unseres Jahrhunderts, zu verspotten, zu mißbilligen und zu verurteilen, was nicht geradewegs zum Gaumen geht. Ein Weiser urteilt nach dem, was er gesehen hat, nicht vorher!

Es ist leicht zu sagen, Epikur habe gefaselt, Demokrit sei verrückt, und die Alten seien Dummköpfe gewesen; aber die Sache selbst spricht dagegen, mögen die Menschen sagen, was sie wollen. Die Wahrheit hängt von den Dingen, nicht von den kleinen Gehirnen der Menschen ab.“[29]

Sperling hatte atomistische Auffassungen in Lehrbüchern der Physik eingeführt, und unter seinem Vorsitz wurden Dispute zur Verteidigung des Atomismus durchgeführt.

[29] Sowjetische Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaft, S. 185.

Er versucht auch anschauliche Vergleiche zu geben, wenn er schreibt: „Sollen Atome angenommen werden? Antwort: Dazu rät die Vernunft, das bestätigt die Erfahrung und billigen die Gelehrten. Die Vernunft, weil die Natur die Körper nicht bis ins Unendliche teilt, sondern beim kleinsten Teil angekommen, ruht. Die Erfahrung: wenn der Rauch in der Luft zergeht, so daß er sehr bald nicht mehr zu sehen ist, dann verschwindet er freilich nicht, sondern zerteilt sich in Atome. Staub auf Kleidern und Büchern sehen wir alle oft, freilich, wann er darauf gestäubt wurde, wird keiner sehen. Wenn wir ihn aus den Kleidern und Büchern herausschütteln, [35] zerstieben wir ihn in Atome. Daß Mehl und Kalk in unzählige Myriaden von Atomen zerstäuben, wer wagt es jemals zu verneinen? Und wenn Wein in Wasser aufgelöst wird, so daß nirgends reiner Wein, nirgends aber auch reines Wasser festgestellt werden, was geschieht dabei anders als die Verbindung der Atome?“[30]

Mit der kinetischen Gastheorie fand der atomistische Gedanke seine Bestätigung in der Physik. Zugleich wurden mit der weiteren Entwicklung der Physik seine Grenzen offenbar. Mit chemischen Mitteln war das Atom nicht teilbar. Natürliche und künstliche Radioaktivität verwiesen jedoch auf die innere Struktur des Atoms. Damit tauchten neue physikalische und philosophische Probleme auf. Der dialektische Materialismus befaßte sich mit den philosophischen Problemen, die durch die Entwicklung der Atomtheorie und der Elementarteilchentheorie entstanden.

Die Physik hatte sich aus der Philosophie herausgelöst und dem mechanischen Materialismus die naturwissenschaftliche Fundierung für seine Auffassungen von der Erkennbarkeit der Welt geliefert. Mit der weiteren Entwicklung der Physik wurden mechanisch-materialistische Ideen zum Hemmnis bei der Lösung erkenntnistheoretischer und methodologischer Probleme. Das traf für die Physik besonders Ende des 19. Jahrhunderts und Anfang des 20. Jahrhunderts zu. Zwar entwickelten sich im mechanischen Materialismus, besonders bei Holbach und Diderot, bereits dialektische Elemente in der Materieauffassung, die es ermöglichten, die Grenzen des strukturbetonten Materiebegriffs zu zeigen. Holbach schreibt über das Wesen der Natur: „Sehr mannigfaltige und in unendlich verschiedener Weise miteinander verbundene Stoffe erhalten und vermitteln unaufhörlich unterschiedliche Bewegungen. Die verschiedenen Eigentümlichkeiten dieser Stoffe, ihre verschiedenen Verbindungen, ihre notwendig daraus folgenden Wirkungsarten machen für uns das Wesen der Dinge aus; und aus diesem unterschiedlichen Wesen ergeben sich die verschiedenen Ordnungen, Stufen und Systeme, die diese Dinge einnehmen, deren Gesamtsumme das ist, was wir die Natur nennen. So ist die Natur, in der weitesten Bedeutung des Wortes, das große Ganze, das sich aus der Vereinigung der verschiedensten Stoffe, aus eben verschiedenen Bewegungen ergibt, die wir im Universum sehen.“[31] Diese, an eine dialektische Auffassung der materiellen Einheit [36] der Welt anklingende Auffassung, trägt bestimmten Entwicklungen der Wissenschaft Rechnung, bleibt jedoch insgesamt noch in den Schranken des vormarxschen Materialismus. Aber schon war die mechanische, metaphysische und unhistorische Betrachtungsweise des bürgerlichen Materialismus einer Kritik unterzogen worden, wobei gerade die dialektischen Elemente im vormarxschen Materialismus Berücksichtigung fanden und ausgearbeitet wurden. Marx und Engels entwickelten mit der Philosophie der Arbeiterklasse auch eine dialektisch-materialistische Naturauffassung und gaben der Physik eine wissenschaftliche philosophische Erkenntnistheorie und Methodologie.

[30] Ebenda, S. 185 f.

[31] D’Holbach, System der Natur, Berlin 1960, S. 17. Zur Stellung der Klassiker zum vormarxschen Materialismus und zu dessen antimetaphysischen dialektischen Elementen vgl. O. Finger, Sozialistische Ideologie – Ihre Grundlegung im Marxschen und Leninschen Materialismus, Berlin 1970, S. 174 ff.

2. Dialektischer Materialismus und Physik

Der in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts durch Marx und Engels begründete dialektische und historische Materialismus entwickelte auch ein neues Verhältnis zwischen Philosophie und Physik.

Durch den Fortschritt der Naturwissenschaft wurde die metaphysische Form des Materialismus, wie er in Gestalt des mechanischen Materialismus im 18. Jahrhundert vorhanden war, unhaltbar. Auch die Physik hatte dazu ihren Teil beigetragen. Besonders hervorgehoben werden muß der Satz von der Erhaltung der Energie, der die verschiedenen Energieformen oder Kräfte nicht mehr als unveränderliche Grundformen physikalischen Geschehens bestehen ließ, sondern ihre Umwandelbarkeit ineinander feststellte.

Begleitete der mechanische Materialismus die Entwicklung der Naturwissenschaft in ihrer ersten Periode nach ihrer Emanzipation von der Philosophie im 17. und 18. Jahrhundert, so brachte das 19. Jahrhundert nicht nur solche gesellschaftlichen Umwälzungen mit sich, die eine neue Theorie, die wissenschaftliche Weltanschauung der Arbeiterklasse, erforderten, sondern auch die Naturwissenschaft verlangte nach neuer philosophischer Deutung.

„Der revolutionäre Akt, wodurch die Naturforschung ihre Unabhängigkeit erklärte und die Bullenverbrennung Luthers gleichsam wiederholte," schrieb Friedrich Engels in seiner Einleitung zur „Dialektik der Natur", „war die Herausgabe des unsterblichen Werks, womit Kopernikus, schüchtern zwar und sozusagen erst auf dem Totenbett, der kirchlichen Autorität in natürlichen Dingen den Fehdehandschuh hinwarf. Von da an datiert die Emanzipation der Naturforschung von der Theologie, wenn auch die Auseinandersetzung der einzelnen gegenseitigen Ansprüche sich bis in [37] unsre Tage hingeschleppt und sich in manchen Köpfen noch lange nicht vollzogen hat. Aber von da an ging auch die Entwicklung der Wissenschaften mit Riesenschritten vor sich und gewann an Kraft, man kann wohl sagen im quadratischen Verhältnis der (zeitlichen) Entfernung von ihrem Ausgangspunkt."[32] Nach Engels war die Aufgabe in der ersten Periode der sich entwickelnden Naturwissenschaft „die Bewältigung der nächstliegenden Stoffs". Vieles wurde in der Physik (Mechanik), Astronomie und Mathematik gelöst. Botanik und Zoologie erreichten einen gewissen Abschluß. Chemie und Geologie begannen sich zu entwickeln. Engels charakterisierte die Gesamtanschauung dieser Periode: „Was diese Periode aber besonders charakterisiert, ist die Herausarbeitung einer eigentümlichen Gesamtanschauung, deren Mittelpunkt die Ansicht *von der absoluten Unveränderlichkeit* der Natur bildet. Wie auch immer die Natur selbst zustande gekommen sein mochte: einmal vorhanden, blieb sie, wie sie war, solange sie bestand.

Die Planeten und ihre Satelliten, einmal in Bewegung gesetzt von dem geheimnisvollen ‚ersten Anstoß', kreisten fort und fort in ihren vorgeschriebenen Ellipsen in alle Ewigkeit oder doch bis zum Ende aller Dinge. Die Sterne ruhten für immer fest und unbeweglich auf ihren Plätzen, einander darin haltend durch die ‚allgemeine Gravitation'. Die Erde war von jeher oder auch von ihrem Schöpfungstage an (je nachdem) unverändert dieselbe geblieben. Die jetzigen ‚fünf Weltteile' hatten immer bestanden, immer dieselben Berge, Täler und Flüsse, dasselbe Klima, dieselbe Flora und Fauna gehabt, es sei denn, daß durch Menschenhand Veränderung oder Verpflanzung stattgefunden. Die Arten der Pflanzen und Tiere waren bei ihrer Entstehung ein für allemal festgestellt, Gleiches zeugte fortwährend Gleiches, und es war schon viel, wenn Linné zugab, daß hier und da durch Kreuzung möglicherweise neue Arten entstehen konnten. Im Gegensatz zur Geschichte der Menschheit, die in der Zeit sich entwikkelt, wurde der Naturgeschichte nur eine Entfaltung im Raum zugeschrieben. Alle Veränderung, alle Entwicklung in der Natur wurde verneint. Die anfangs so revolutionäre Naturwis-

[32] K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 20, S. 313.

senschaft stand plötzlich vor einer durch und durch konservativen Natur, in der alles noch heute so war, wie es von Anfang an gewesen, und in der – bis zum Ende der Welt oder in Ewigkeit – alles so bleiben sollte, wie es von Anfang an gewesen.“[33]

Die Weltauffassung der Griechen, die die Natur als etwas Entstehendes und Vergehendes auffaßten, die nach dem Ursprung der Welt suchten, aus [38] dem alles entstanden ist, war unter den Naturwissenschaftlern in Vergessenheit geraten. Für diese war die Natur etwas Unwandelbares, die von außen, durch den ersten Anstoß geschaffen, aber sich nun ewig nach den gleichen Gesetzen verhält. Durch die Sichtung des vorhandenen Materials voll in Anspruch genommen, stellten sich viele Naturwissenschaftler noch nicht die alte Frage nach dem Ursprung der Welt.

Diese Frage war für sie mit der Annahme vom ersten Anstoß erledigt und kein Forschungsproblem. Damit tat sich auch eine Kluft zwischen den philosophischen Auffassungen der Naturwissenschaftler und den Philosophen auf, die die dialektischen Ideen der Griechen und späteren Philosophen aufgriffen und die Veränderung und Entwicklung der Natur und der Welt zum Gegenstand ihrer Philosophie machten. Es galt, die materialistische Tradition fortzusetzen, indem die Dialektik als Wissenschaft von den allgemeinen Beziehungen und Gesetzen der Bewegung und Veränderung im Materialismus ausgearbeitet wurde, um so den Ergebnisse der Naturwissenschaft philosophisch Rechnung zu tragen. Damit konnten die genialen Gedanken der Griechen über Teil und Ganzes, über Entstehen und Vergehen, des Kusaners und Brunos Überlegungen zur Vielheit in der Einheit usw. auf eine wissenschaftliche Grundlage gestellt werden. Das, was jedoch im dialektischen Materialismus seine Vollendung fand, nämlich die Einheit von Dialektik und Materialismus in einer für Natur und Gesellschaft geltenden wissenschaftlichen Weltanschauung, die zugleich Theorie des politischen Kampfes der Arbeiterklasse ist, hat für die Naturtheorie selbst noch eine Vorgeschichte. Hatte sich der Materialismus in Verbindung mit der Naturwissenschaft entwickelt, so finden wir auch die Dialektik, obwohl von Naturwissenschaftlern nur gering geachtet, im 18. Jahrhundert in Verbindung mit der Naturwissenschaft. Liegt auch die Blütezeit der idealistischen Dialektik, die nicht der Entwicklung der Naturwissenschaft folgte, sondern Veränderung und Entwicklung aus dem Denken ableitete, Ende des 18. und Anfang des 19. Jahrhunderts, wo sie vor allem aus der Philosophie Fichtes und Hegels durch Marx und Engels kritisch analysiert und in den Materialismus in ihrem rationellen Kern übernommen wurde, so war es doch schon Kant, der in der Zeit, als er sich besonders mit naturwissenschaftlichen Fragen beschäftigte, eine dialektische Naturauffassung entwickelte. Engels charakterisierte die Leistung Kants: „Die erste Bresche in diese versteinerte Naturanschauung wurde geschossen nicht durch einen Naturforscher, sondern durch einen Philosophen. 1755 erschien Kants ‚Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels‘. Die Frage nach dem ersten Anstoß war beseitigt; die Erde und das ganze Sonnensystem erschienen als etwas im Verlauf der Zeit Ge-[39]wordenes. Hätte die große Mehrzahl der Naturforscher weniger von dem Abscheu vor dem Denken gehabt, den Newton mit der Warnung ausspricht: Physik, hüte dich vor der Metaphysik! – sie hätten aus dieser einen genialen Entdeckung Kants Folgerungen ziehn müssen, die ihnen endlose Abwege, unermeßliche Mengen in falschen Richtungen vergeudeter Zeit und Arbeit ersparte. Denn in Kants Entdeckung lag der Springpunkt alles ferneren Fortschritts. War die Erde etwas Gewordenes, so mußte ihr gegenwärtiger geologischer, geographischer, klimatischer Zustand, mußten ihre Pflanzen und Tiere ebenfalls etwas Gewordenes sein, mußte sie eine Geschichte haben nicht nur im Raum nebeneinander, sondern auch in der Zeit nacheinander. Wäre sofort in dieser Richtung entschlossen fortuntersucht worden, die Naturwissenschaft wäre jetzt bedeutend weiter, als sie ist.“[34] Geologie und Biologie lieferten Material, das die Natur nicht als ein starres System erscheinen ließ.

[33] Ebenda, S. 314/315.
[34] Ebenda.

Trotzdem blieb die Mehrheit der Physiker bis ins 19. Jahrhundert hinein auf dem Standpunkt des mechanischen Materialismus. Zwar war der Satz von der Erhaltung der Energie eine Bestätigung der These von der materiellen Einheit der Welt, aber er wurde von den Physikern nicht in seiner qualitativen Seite verstanden, sondern nur als quantitative Erhaltung gedeutet. Dadurch entstand auch die Vorstellung vom „Wärmetod des Weltalls“, da die Umwandlung aller Energieformen in Wärme als wahrscheinliche Richtung der Veränderung angesehen und im Entropiesatz als dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik auch zum Ausdruck gebracht wurde. Die in der These von der materiellen Einheit der Welt enthaltene dialektisch-materialistische Auffassung von der qualitativen Erhaltung der Energieformen wurde nicht berücksichtigt. Damit bekamen die Physiker die für das Verständnis der physikalischen Vorgänge so wichtige Dialektik von Quantität und Qualität nicht in den Griff.

Das zeigte sich auch noch an anderer Stelle. In der kinetischen Gastheorie war die Korpuskelhypothese zur Aufstellung von Gasgesetzen ausgenutzt worden. Der mit dieser Hypothese verbundene Atomismus verführte nun die Physiker zur Vorstellung von der Rückführbarkeit der qualitativen Unterschiede auf quantitative Beziehungen qualitativ identischer kleinster Teilchen. Diese Auffassung war die theoretische Grundlage des mechanischen Materialismus, der in der Mechanik den Prototyp der Wissenschaft überhaupt sah. Noch Helmholtz forderte die Rückführung aller wissenschaftlichen Erkenntnisse auf mechanische Beziehungen. Das hatte auch seine positiven Seiten im Kampf gegen den Idealismus. So wandte sich [40] Helmholtz gegen die Annahme einer Lebenskraft: „Es ist aber klar“, schreibt er, „daß die genannte Vorstellung (von der Lebenskraft – H. H.) dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft direkt widerspricht. Könnte die Lebenskraft die Schwere eines Gewichts zeitweilig aufheben, so würde dasselbe ohne Arbeit zu beliebiger Höhe geschafft werden können, und später, wenn die Wirkung seiner Schwere wieder freigegeben wäre, beliebig große Arbeit zu leisten vermögen. So wäre Arbeit ohne Gegenleistung aus Nichts zu schaffen. Könnte die Lebenskraft zeitweilig die chemische Anziehung des Kohlenstoffs zum Sauerstoff aufheben, so würde Kohlensäure ohne Arbeitsaufwand zu zerlegen sein, und der freigewordene Kohlenstoff und Sauerstoff wieder neue Arbeit leisten können.

In der Tat finden wir aber keine Spur davon, daß die lebenden Organismen irgendwelches Quantum Arbeit ohne entsprechenden Verbrauch erzeugen könnten.

Ist aber das Gesetz von der Erhaltung der Kraft auch für die lebenden Wesen gültig, so folgt daraus, daß die physikalischen und chemischen Kräfte der zum Aufbau ihres Körpers verwendeten Stoffe ohne Unterbrechung und ohne Willkür fortdauernd tätig sind, und daß ihre strenge Gesetzlichkeit in keinem Augenblick durchbrochen wird.“[35] Die Rückführbarkeit allen Geschehens auf physikalische Vorgänge erlaubt Helmholtz, für seinen Beweis das Gesetz von der Erhaltung der Energie auszunutzen. Damit ist zwar einerseits nichts über die qualitative Besonderheit des Lebens gegenüber der anorganischen Natur ausgesagt, aber der Idealismus wirksam zurückgewiesen worden.

Andererseits können die biologischen Prozesse nicht unabhängig von den physikalischen Gesetzen existieren. Gerade darin besteht der rationelle Kern der Argumentation von Helmholtz.

Der dialektische Materialismus mußte das Verhältnis von Qualität und Quantität ausarbeiten unter Berücksichtigung qualitativ selbständiger Bewegungsformen, die jedoch nicht als isolierte Seinsschichten unabhängig voneinander existieren.

Engels griff den Gedanken auf, den viele Denker, darunter auch Giordano Bruno, geäußert hatten, daß es unendlich viele Welten gibt. Aber er betrachtete diese Welten nicht als räumlich

[35] H. Helmholtz, Populärwissenschaftliche Vorträge, Heft II, Braunschweig 1871, S. 200.

nebeneinanderexistierend, sondern als zeitlich voneinander abhängig, eingeschlossen in den großen Kreislauf der Materie: „Es ist ein ewiger Kreislauf, in dem die Materie sich bewegt, ein Kreislauf, der seine Bahn wohl erst in Zeiträumen voll-[41]endet, für die unser Erdenjahr kein ausreichender Maßstab mehr ist, ein Kreislauf, in dem die Zeit der höchsten Entwicklung, die Zeit des organischen Lebens und noch mehr die des Lebens selbst- und naturbewußter Wesen ebenso knapp bemessen ist wie der Raum, in dem Leben und Selbstbewußtsein zur Geltung kommen; ein Kreislauf, in dem jede endliche Daseinsweise der Materie, sei sie Sonne oder Dunstnebel, einzelnes Tier oder Tiergattung, chemische Verbindung oder Trennung, gleicherweise vergänglich, und worin nichts ewig ist als die ewig sich verändernde, ewig sich bewegende Materie und die Gesetze, nach denen sie sich bewegt und verändert. Aber wie oft und wie unbarmherzig auch in Zeit und Raum dieser Kreislauf sich vollzieht; wieviel Millionen Sonnen und Erden auch entstehn und vergehn mögen; wie lange es auch dauern mag, bis in einem Sonnensystem nur auf Einem Planeten die Bedingungen des organischen Lebens sich herstellen; wie zahllose organische Wesen auch vorhergehn und vorher untergehn müssen, ehe aus ihrer Mitte sich Tiere mit denkfähigem Gehirn entwickeln und für eine kurze Spanne Zeit lebensfähige Bedingungen vorfinden, um dann auch ohne Gnade ausgerottet zu werden – wir haben die Gewißheit, daß die Materie in allen ihren Wandlungen ewig dieselbe bleibt, daß keins ihrer Attribute je verlorengehn kann, und daß sie daher auch mit derselben eisernen Notwendigkeit, womit sie auf der Erde ihre höchste Blüte, den denkenden Geist, wieder ausrotten wird, ihn anderswo und in anderer Zeit wieder erzeugen muß.“[36]

Man kann zu diesem Bild von Engels stehen wie man will; es ist die Konsequenz seiner materialistischen und dialektischen Grundhaltung. Die Materieformen sind als einzelne vergänglich und erhalten sich doch im ewigen Kreislauf der Materie. Sie sind voneinander abhängig und doch relativ selbständig.

Nicht die Reduktion der qualitativen Vielfalt auf eine Qualität, seien es Atome oder die Wärme, wird hier gefordert, sondern die Erhaltung aller qualitativ bestimmten Formen behauptet. Zwar vergehen sie in einer bestimmten Zeit und auf bestimmten Planeten, entstehen aber zu anderen Zeiten auf anderen Planeten wieder.

Sicher kann man den einen oder anderen Aspekt im Bild von Engels angreifen. Es ist auch denkbar, daß die Menschheit nicht ausstirbt, sondern von anderen Planeten Besitz ergreift. Noch gibt es keine Beziehungen zu anderen möglicherweise existierenden vernunftbegabten Wesen, aber die [42] Kosmosforschung zeigt, daß zukünftige Generationen den kosmischen Raum erobern können. Damit wird auch die Unterscheidung unseres Menschengeschlechts in Menschen, die auf der Erde bleiben und solche, die ins All auswandern, ohne unbedingt immer unmittelbar persönliche Kontakte zur Erde zu haben, möglich. So wie der Mensch die Erde eroberte und sie heute mit einem System von Nachrichten- und Transportmitteln überzogen hat, wird er möglicherweise auch den Kosmos in Besitz nehmen. Damit betreffen Katastrophen auf einem Planeten nicht das ganze Menschengeschlecht. Auf anderen Planeten müssen also nicht unbedingt Lebewesen entstehen, sondern der Mensch kann sie und sich dorthin exportieren.

Vielleicht ist deshalb das Bild des ewigen Kreislaufs nicht unbedingt angebracht. Vernunftbegabte Wesen müssen nicht an einer Stelle vernichtet werden, um woanders wieder zu entstehen. Aber der große Grundgedanke von Engels bleibt bestehen, der schon bei den Griechen eine Rolle spielte. Die Materie ist Ursache ihrer selbst. Die Materiearten entstehen und vergehen. Aber die Entwicklung hört nicht auf. Vorhandene qualitative Formen der Materie werden, wenn sie vergehen, auch wieder entstehen. Nichts ist einmalig und unwiederholbar in seinen wesentlichen Seiten. Indem der Mensch sich entwickelte, wurde der Kreis geschlos-

[36] K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 20, S. 327. Dieser Gedanke wird oft einseitig betrachtet und ausgenutzt, um Engels zu „widerlegen“.

sen. Er produziert sich bewußt seine Existenzbedingungen, erweitert seinen Gesichtskreis und dringt in die Materiestruktur ein, deren Gesetze er zur Produktion einer künstlichen Umwelt ausnutzt.

Der Mensch wird Natur und Gesellschaft beherrschen, aber es gibt keine Hypermenschen, die ihn beherrschen. Zwar sollen in mancher Science-fiction-Literatur der kapitalistischen Welt diese Rolle die Roboter übernehmen, aber dabei werden nur im Kapitalismus nicht lösbare Widersprüche zwischen gesellschaftlichen Verhältnissen und technischen Entwicklungen in die Roboterwelt projiziert. Der Mensch wird auch den Kosmos beherrschen. Die materialistische Idee findet damit ihre Bestätigung.

Um der Entwicklung der Naturwissenschaft philosophisch Rechnung zu tragen, hatte und hat der dialektische Materialismus verschiedene Aufgaben zu lösen:

Erstens mußte er sich prinzipiell vom mechanischen Materialismus abgrenzen, ohne den materialistischen Kern aufzugeben.

Zweitens waren die Grundideen zu bestimmen, die der Entwicklung der Naturwissenschaft entsprachen, aber ihre Selbständigkeit nicht antasteten und die die Aufgaben der Philosophie festlegten.

Drittens präzisierte der dialektische Materialismus die in der materialistischen Tradition bereits vorhandenen Gedanken von der materiellen Ein-[43]heit der Welt, indem er den rationellen Gehalt der bisherigen Philosophien in sich aufnahm und auf materialistischer Grundlage die dialektischen Beziehungen in der Natur ausarbeitete.

Viertens nahm er in Auseinandersetzung mit idealistischen und neomechanischen Auffassungen zu den neuen Ergebnissen der Naturwissenschaft Stellung und präzisierte seine Thesen.

Kommen wir zuerst zur Kritik des mechanischen Materialismus. Engels betont in der Auseinandersetzung mit Feuerbach, daß der Materialismus selbst verschiedene Entwicklungsstufen durchlaufen hat: „Feuerbach wirft hier den Materialismus, der eine auf einer bestimmten Auffassung des Verhältnisses von Materie und Geist beruhende allgemeine Weltanschauung ist, zusammen mit der besonderen Form, worin diese Weltanschauung auf einer bestimmten geschichtlichen Stufe, nämlich im 18. Jahrhundert, zum Ausdruck kam. Noch mehr, er wirft ihn zusammen mit der verflachten, vulgarisierten Gestalt, worin der Materialismus des 18. Jahrhunderts heute in den Köpfen von Naturforschern und Ärzten fortexistiert und in den fünfziger Jahren von Büchner, Vogt und Moleschott gereisepredigt wurde. Aber wie der Idealismus eine Reihe von Entwicklungsstufen durchlief, so auch der Materialismus. Mit jeder epochemachenden Entdeckung schon auf naturwissenschaftlichem Gebiet muß er seine Form ändern; und seitdem auch die Geschichte der materialistischen Behandlung unterworfen, eröffnet sich auch hier eine neue Bahn der Entwicklung.“[37]

Hier geht es nicht um die marxistisch-leninistische Philosophie als theoretische Grundlage der Weltanschauung der Arbeiterklasse und ihrer Verbündeten im Kampf um ihre Befreiung und den Aufbau des Sozialismus-Kommunismus. Zweifellos ist dieser Kampf auch von Bedeutung für das Bündnis zwischen Philosophen und Naturwissenschaftlern und der Sozialismus schafft neue gesellschaftliche Beziehungen für die ungehemmte Entwicklung der Naturwissenschaften, deren Produkte dem Wohle der Menschheit dienen werden. Wir beschäftigen uns in erster Linie mit der dialektisch-materialistischen Naturtheorie und dem dialektischen Materialismus als Erkenntnistheorie und Methodologie der Naturwissenschaften. Um jedoch die Kritik am mechanischen Materialismus zu verstehen, muß man berücksichtigen, daß der

[37] F. Engels, Ludwig Feuerbach und der Ausgang der klassischen deutschen Philosophie, in: K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 21, Berlin 1962, S. 278.

dialektische Materialismus erst durch die konsequente Ausdehnung des Materialismus auch auf die Gesellschaft und ihre Geschichte zur Wissenschaft werden konnte.

[44] Die erste Beschränktheit, die Engels beim mechanischen Materialismus hervorhebt, ist sein mechanischer Charakter:

„Der Materialismus des vorigen Jahrhunderts war vorwiegend mechanisch, weil von allen Naturwissenschaften damals nur die Mechanik, und zwar auch nur die der – himmlischen und irdischen – festen Körper, kurz, die Mechanik der Schwere, zu einem gewissen Abschluß gekommen war. Die Chemie existierte nur erst in ihrer kindlichen, phlogistischen Gestalt.

Die Biologie lag noch in den Windeln; der pflanzliche und tierische Organismus war nur im groben untersucht und wurde aus rein mechanischen Ursachen erklärt; wie dem Descartes das Tier, war den Materialisten des 18. Jahrhunderts der Mensch eine Maschine. Diese ausschließliche Anwendung des Maßstabes der Mechanik auf Vorgänge, die chemischer und organischer Natur sind und bei denen die mechanischen Gesetze zwar auch gelten, aber von andern, höhern Gesetzen in den Hintergrund gedrängt werden, bildet die eine spezifische, aber in ihrer Zeit unvermeidliche Beschränktheit des klassischen französischen Materialismus.“[38]

Der dialektische Materialismus wendet sich gegen die Leugnung relativ selbständiger qualitativ bestimmter höherer Bewegungsformen. Selbst die Entwicklung der Physik zeigte, daß die Probleme der Atomtheorie und der Elementarteilchen, die Umwandlung von Stoff in Strahlung und umgekehrt, der Welle-Korpuskel-Dualismus usw. nicht vom mechanischen Standpunkt aus geklärt werden kann.

Hatte Engels den mechanischen Charakter als unvermeidlich für den französischen Materialismus angesehen, so zeigt er selbst in seinen Arbeiten, daß die klassische Physik dialektisch-materialistisch verstanden werden kann. Dazu gehört das Aufspüren dialektischer Ideen in den Werken der mechanischen Materialisten ebenso wie die Kritik einseitiger Standpunkte zur klassischen Physik. Die manchmal anzutreffende Gegenüberstellung von klassischer Physik, die den mechanischen Materialismus verlange, und moderner Physik, die den dialektischen Materialismus hervorbringe, enthält zwei Fehler. Einerseits verlangt die klassische Physik nicht den mechanischen Materialismus, sondern dieser ist eine einseitige Darlegung der erkenntnistheoretischen, methodologischen und weltanschaulichen Grundlagen von jener. Eine dialektisch-materialistische Interpretation der klassischen Physik gibt Engels in der „Dialektik der Natur“ und im „Anti-Dühring“, indem er z. B. den mechanischen Deter-[45]minismus kritisiert.[39] Engels benutzt das von der Naturwissenschaft gelieferte Material, das die Rückführbarkeit aller Naturerscheinungen auf mechanische Beziehungen in Frage stellt, und wertet die materialistische Linie in der Entwicklung der Philosophie aus, um den mechanischen Standpunkt des französischen Materialismus zu kritisieren. Andererseits bringt die moderne Physik nicht automatisch den dialektischen Materialismus hervor. Das tiefere Eindringen in die Struktur der Materie brachte zwar mechanisch-materialistische Standpunkte bei vielen Physikern zu Beginn unseres Jahrhunderts ins Wanken, aber einige davon versuchten ihre Probleme mit Hilfe des Positivismus zu klären, die wachsende Rolle der Mathematik für die physikalische Theorienbildung führte den einen oder anderen Physiker zum Platonismus oder objektiven Idealismus moderner Prägung. Es wurden kritisch-realistische und agnostizistische Auffassungen vertreten. Bei alledem finden sich jedoch auch bei fast allen hervorragenden Physikern der Gegenwart materialistische und dialektische Ideen, erzwungen durch die Entwicklung der Physik selbst und durch den spontanen Materialismus des Physikers in seiner experimentellen Arbeit.

[38] Ebenda.
[39] Vgl. dazu H. Hörz, Der dialektische Determinismus in Natur und Gesellschaft, Berlin 1971.

Die Überwindung des mechanischen Standpunktes durch den dialektischen Materialismus ist also zugleich mit einer Kritik des Idealismus, Positivismus und Agnostizismus verbunden. Das erfordert wiederum die Ausarbeitung des dialektisch-materialistischen Standpunkts zu allen neuen Fragen, die die Physik stellt.

Besondere Bedeutung hat dabei die Ausarbeitung dialektischer Beziehungen in der Physik, wie das Verhältnis von Teil und Ganzem, System und Element, Symmetrie und Asymmetrie usw. Gerade im mangelnden Verständnis der Dialektik lag die zweite Beschränkung des mechanischen Materialismus, von der Engels schreibt:

„Die zweite spezifische Beschränktheit dieses Materialismus bestand in seiner Unfähigkeit, die Welt als einen Prozeß, als einen in einer geschichtlichen Fortbildung begriffenen Stoff aufzufassen. Dies entsprach dem damaligen Stand der Naturwissenschaft und der damit zusammenhängenden metaphysischen, d. h. antidialektischen Weise des Philosophierens. Die Natur, das wußte man, war in ewiger Bewegung begriffen. Aber diese Bewegung drehte sich nach damaliger Vorstellung ebenso ewig im Kreise und kam daher nie vom Fleck; sie erzeugte immer wieder dieselben Ergebnisse. Diese Vorstellung war damals unvermeidlich. Die Kantsche Theorie von der Entstehung des Sonnensystems war erst soeben aufgestellt und [46] passierte nur noch als bloßes Kuriosum. Die Geschichte der Entwicklung der Erde, die Geologie, war noch total unbekannt, und die Vorstellung, daß die heutigen belebten Naturwesen das Ergebnis einer langen Entwicklungsreihe vom Einfachen zum Komplizierten sind, konnte damals wissenschaftlich überhaupt nicht aufgestellt werden. Die unhistorische Auffassung der Natur war also unvermeidlich. Man kann den Philosophen des 18. Jahrhunderts daraus um so weniger einen Vorwurf machen, als sie sich auch bei Hegel findet.“[40]

Wurde dieser Mangel auch in der Physik des 19. Jahrhunderts noch nicht direkt offensichtlich, so machte er sich doch im 20. Jahrhundert bemerkbar. Er führte zur Kritik am Materialismus, da die Dialektik der Naturvorgänge nicht verstanden wurde. So nutzt P. Jordan die Probleme der Messung von Quantenobjekten zu folgender Feststellung: „Es ist nun keine Rede mehr von einem physikalischen Geschehen, das als unabhängig von den Beobachtungsvorgängen gedacht werden dürfte.“[41] Hier ist die Dialektik von Subjekt und Objekt, wie sie sich bei der Beobachtung quantenphysikalischer Vorgänge mittels der Geräte zeigt, nicht beachtet worden. Die experimentelle Veränderung des Objekts führt uns gerade zu subjektunabhängigen, d. h. objektiven Gesetzen, die im Verhalten der Quantenobjekte existieren und die Quantentheorie zu einer richtigen Widerspiegelung quantenphysikalischer Vorgänge machen.[42] Die Ausarbeitung der dialektischen Beziehungen und Gesetze durch die Klassiker des Marxismus-Leninismus in der Auseinandersetzung mit dem mechanischen Materialismus half bei der späteren dialektischen Interpretation der physikalischen Erkenntnisse im 20. Jahrhundert, ohne diese Interpretation schon vorwegnehmen zu können. Engels hatte sich vor allem mit der Beziehung der Wissenschaften zueinander befaßt und die klassische Physik dialektisch-materialistisch gedeutet. Die moderne Physik zeigte jedoch die qualitative Vielfalt physikalischer Objekte selbst und ihre mögliche Umwandelbarkeit ineinander. Damit entstanden neue Probleme für die Bewegungsauffassung, weil die Bewegung nicht nur als Attraktion und Repulsion zu fassen war. Aber sowohl die ausgearbeiteten dialektischen Beziehungen, auch wenn sie heute präzisiert werden müssen, als auch die Art und Weise, wie die Klassiker die philosophischen Probleme der Naturwissenschaft lösten, d. h. die materialistische und dialektische Methode, haben für uns Bedeutung.

[40] K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 21, S. 278 f.
[41] P. Jordan, Das Bild der modernen Physik, Berlin 1957, S. 42.
[42] Vgl. dazu H. Hörz, Atome, Kausalität, Quantensprünge, Berlin 1964, S. 196 f.

[47] Drittens war der mechanische Materialismus Idealismus auf dem Gebiet der Gesellschaft und ihrer Geschichte. Engels schreibt dazu: „Dieselbe unhistorische Auffassung galt auch auf dem Gebiet der Geschichte. Hier hielt der Kampf gegen die Reste des Mittelalters den Blick befangen. Das Mittelalter galt als einfache Unterbrechung der Geschichte durch tausendjährige allgemeine Barbarei; die großen Fortschritte des Mittelalters – die Erweiterung des europäischen Kulturgebiets, die lebensfähigen großen Nationen, die sich dort nebeneinander gebildet, endlich die enormen technischen Fortschritte des 14. und 15. Jahrhunderts –, alles das sah man nicht. Damit war aber eine rationelle Einsicht in den großen geschichtlichen Zusammenhang unmöglich gemacht, und die Geschichte diente höchstens als eine Sammlung von Beispielen und Illustrationen zum Gebrauch der Philosophen.“[43]

Lenin formulierte diese dritte Beschränktheit bei der Wiedergabe der Gedanken von Engels so: „die Beibehaltung des Idealismus ‚oben‘, auf dem Gebiet der Gesellschaftswissenschaft, das Nichtbegreifen des historischen Materialismus“[44]. Die Klassiker hatten auch die Gesellschaft in ihren Materialismus einbezogen und damit die philosophischen Grundlagen für die Entwicklung der Gesellschaftswissenschaften geschaffen und teilweise ihre Ausarbeitung selbst vorgenommen, wie Marx mit der politischen Ökonomie. Sie haben damit die materialistische Linie in der Geschichte der Philosophie fortgesetzt, aber zugleich einen qualitativ neuen Materialismus geschaffen, der sich sowohl in seinem klassenmäßigen (Weltanschauung der Arbeiterklasse), als auch in seinem wissenschaftlichen Gehalt (materialistische Erklärung der Natur und Gesellschaft und Begründung der Natur- und Gesellschaftswissenschaften) vom vorhergehenden Materialismus unterscheidet.

Damit wurden Angriffe gegen die dialektisch-materialistische Naturtheorie auch zu Angriffen gegen die Gesellschaftstheorie des Marxismus-Leninismus. Von manchen Gegnern des Marxismus-Leninismus wurde das geradezu zur Methode erhoben, die Wahrheit des Marxismus-Leninismus anzuzweifeln, da er nicht in der Lage sei, die Ergebnisse der Naturwissenschaften philosophisch zu erfassen. Aber auch die Anerkennung der marxistisch-leninistischen Philosophie durch Naturwissenschaftler verlangte, die theoretische Grundlage der Weltanschauung der Arbeiterklasse anzuerkennen. Trotz vieler dialektischer und materialistischer Ideen bei [48] hervorragenden Physikern unserer Zeit in den kapitalistischen Ländern sind viele von ihnen keine dialektischen Materialisten, da sie zwar die Naturtheorie, aber nicht die Gesellschaftstheorie des dialektischen Materialismus befürworten.

Was sind nun die Grundideen, die der Entwicklung der Naturwissenschaft entsprechen, aber die Selbständigkeit der Naturwissenschaft nicht antasten? Engels erläuterte sie, als er den Übergang von Hegel zu Marx schilderte: „Die Trennung von der Hegelschen Philosophie erfolgte auch hier durch die Rückkehr zum materialistischen Standpunkt. Das heißt, man entschloß sich, die wirkliche Welt – Natur und Geschichte – so aufzufassen, wie sie sich selbst einem jeden gibt, der ohne vorgefaßte idealistische Schrullen an sie herantritt; man entschloß sich, jede idealistische Schrulle unbarmherzig zum Opfer zu bringen, die sich mit den in ihrem eignen Zusammenhang, und in keinem phantastischen, aufgefaßten Tatsachen nicht in Einklang bringen ließ. Und weiter heißt Materialismus überhaupt nichts. Nur daß hier zum erstenmal mit der materialistischen Weltanschauung wirklich Ernst gemacht, daß sie auf allen in Frage kommenden Gebieten des Wissens – wenigstens in den Grundzügen – konsequent durchgeführt wurde.“[45]

Es ging also um den Materialismus, der sich in Vorbereitung und bei der Herausbildung der Naturwissenschaften bereits bewährt hatte. Damit wurde das philosophische Denken naturwissenschaftlichen Kriterien unterworfen. Es mußte sich in der Praxis, im Experiment und in

[43] K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 21, S. 279.
[44] W. I. Lenin, Materialismus und Empiriokritizismus, in: Werke, Bd. 14, Berlin 1962, S. 239.
[45] K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 21, S. 292.

der Industrie bewähren. Nicht Spekulation, sondern Kenntnis der Tatsachen machte die neue Philosophie aus. Zwar war die philosophische Erkenntnis nicht direkt am Experiment überprüfbar, es gab Präzisierungen philosophischer Aussagen und philosophische Hypothesen, die mit Hilfe einzelwissenschaftlicher Theorien bestätigt oder widerlegt werden konnten. Kriterium der Wahrheit philosophischer Aussagen war nicht mehr das ausgeklügelte philosophische System mit wenigen Grundaxiomen, sondern die Einzelwissenschaft und das Handeln der Menschen.

Es war das jedoch nicht mehr der naive Materialismus der Griechen oder der mechanische Materialismus der Franzosen des 18. Jahrhunderts, sondern der auf den Ergebnissen der Wissenschaften und der gesellschaftlichen Auseinandersetzungen basierende dialektische Materialismus. Er war nicht nur von Hegels Idealismus zum Materialismus übergegangen, [49] sondern hatte vor allem die Dialektik auf materialistischer Grundlage zur Wissenschaft gemacht. Engels schreibt dazu: „Wir faßten die Begriffe unsres Kopfs wieder materialistisch als die Abbilder der wirklichen Dinge, statt die wirklichen Dinge als Abbilder dieser oder jener Stufe des absoluten Begriffs. Damit reduzierte sich die Dialektik auf die Wissenschaft von den allgemeinen Gesetzen der Bewegung, sowohl der äußern Welt wie des menschlichen Denkens – zwei Reihen von Gesetzen, die der Sache nach identisch, dem Ausdruck nach aber insofern verschieden sind, als der menschliche Kopf sie mit Bewußtsein anwenden kann, während sie in der Natur und bis jetzt auch großenteils in der Menschengeschichte sich in unbewußter Weise, in der Form der äußern Notwendigkeit, inmitten einer endlosen Reihe scheinbarer Zufälligkeiten durchsetzen. Damit aber wurde die Begriffsdialektik selbst nur der bewußte Reflex der dialektischen Bewegung der wirklichen Welt, und damit wurde die Hegelsche Dialektik auf den Kopf, oder vielmehr vom Kopf, auf dem sie stand, wieder auf die Füße gestellt.“[46]

Engels zeigte, wie sich in drei großen naturwissenschaftlichen Entdeckungen des 19. Jahrhunderts die Dialektik bestätigt. Es sind dies die Entdeckung der Zelle, der Satz von der Erhaltung der Energie und die Darwinsche Entwicklungstheorie. „Dank diesen drei großen Entdeckungen und den übrigen gewaltigen Fortschritten der Naturwissenschaft sind wir jetzt so weit“, schrieb Engels, „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 nachzuweisen und so ein übersichtliches Bild des Naturzusammenhangs in annähernd systematischer Form, vermittelst der durch die empirische Naturwissenschaft selbst gelieferten Tatsachen darstellen zu können. Dies Gesamtbild zu liefern, war früher die Aufgabe der sogenannten Naturphilosophie. Sie konnte dies nur, indem sie die noch unbekannten wirklichen Zusammenhänge durch ideelle, phantastische ersetzte, die fehlenden Tatsachen durch Gedankenbilder ergänzte, die wirklichen Lücken in der bloßen Einbildung ausfüllte. Sie hat bei diesem Verfahren manche geniale Gedanken gehabt, manche spätern Entdeckungen vorausgeahnt, aber auch beträchtlichen Unsinn zutage gefördert, wie das nicht anders möglich war. Heute, wo man die Resultate der Naturforschung nur dialektisch, d. h. im Sinn ihres eignen Zusammenhangs aufzufassen braucht, um zu einem für unsere Zeit genügenden ‚System der Natur‘ zu kommen, wo der dialektische Charakter dieses Zusammenhangs sich sogar den metaphysisch geschulten Köpfen der [50] Naturforscher gegen ihren Willen aufzwingt, heute ist die Naturphilosophie endgültig beseitigt. Jeder Versuch ihrer Wiederbelebung wäre nicht nur überflüssig, *er wäre ein Rückschritt*.“[47] Nicht um die Wiederbelebung der spekulativen Naturphilosophie kann es also heute gehen, sondern um das aus der Entwicklung der Naturwissenschaft zu gewinnende philosophische Verständnis der Natur.

[46] Ebenda, S. 292 f.
[47] Ebenda, S. 295.

Lenin entwickelte diese Auffassung weiter und betonte die Aufgaben der Philosophie, als er schrieb: „Es ist aber völlig unzulässig, die Lehre von dieser oder jener Struktur der Materie mit einer erkenntnistheoretischen Kategorie zu verwechseln, die Frage nach den neuen Eigenschaften der neuen Arten der Materie (zum Beispiel der Elektronen) mit der alten Frage der Erkenntnistheorie, der Frage nach den Quellen unseres Wissens, nach der Existenz der objektiven Wahrheit u. dgl. m. zu verwechseln, wie die Machisten dies tun.“[48] Einerseits geht es um unsere fortschreitende Erkenntnis der Materiestruktur, deren philosophische Analyse nur auf der Grundlage des einzelwissenschaftlichen Materials erfolgen kann. Andererseits beantwortet der dialektische Materialismus die alten erkenntnistheoretischen Fragen nach dem Ursprung der Welt und der Quelle unseres Wissens im Sinne der bewährten materialistischen Tradition durch die Anerkennung des Primats der Materie gegenüber dem Bewußtsein. In der Auseinandersetzung mit dem Machismus schreibt Lenin dazu: „Ist dem Menschen, wenn er das Rote sieht, das Harte empfindet usw., die objektive Realität gegeben oder nicht? Diese uralte philosophische Frage ist von Mach verwirrt worden. Ist sie nicht gegeben, dann gleitet ihr zusammen mit Mach unvermeidlich in den Subjektivismus und Agnostizismus ab und liefert euch der wohlverdienten Umarmung der Immanenzphilosophen, d. h. der philosophischen Menschikow aus. Ist sie aber gegeben, dann braucht man für diese objektive Realität einen philosophischen Begriff und dieser Begriff ist längst, 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, die von unseren Empfindungen kopiert, fotografiert, abgebildet wird und unabhängig von ihnen existiert.“[49]

Lenin verteidigte die materialistische Grundhaltung von Engels, ohne dogmatisch an jeder Äußerung festzuhalten. Hatte doch schon Engels darauf [51] hingewiesen, daß der Materialismus seine Form ändern müsse mit jeder grundlegenden neuen wissenschaftlichen Entdekkung. „Eine Revision der ‚Form‘ des Engelsschen Materialismus, eine Revision seiner naturphilosophischen Sätze enthält folglich nicht nur nichts ‚Revisionistisches‘ im landläufigen Sinn des Wortes, sondern ist im Gegenteil eine unumgängliche Forderung des Marxismus“[50], sagt Lenin. So sind die durch die Entwicklung der Physik des 19. Jahrhunderts geprägten Aussagen von Engels über die räumliche Unendlichkeit mit dem von der Physik des 20. Jahrhunderts gelieferten Material zu konfrontieren. Dabei bleibt die von Engels vertretene These von der Unendlichkeit der Materie in dem Sinne erhalten, daß es keine endgültige Wahrheit über die Struktur der Materie gibt. Die Aussagen über das unendliche Fortschreiten im Raum gelten jedoch nur für den Euklidischen Raum und verlieren heute ihren Sinn.

Es gilt also, stets die materialistische Grundposition zu verteidigen und nicht die eine oder andere Aussage der Klassiker.

Lenin entwickelte die marxistische Philosophie besonders im Hinblick auf die erkenntnistheoretische Situation in der Physik weiter. Neue Entdeckungen zu Beginn unseres Jahrhunderts über Radioaktivität und Raum-Zeit-Strukturen führten zum Zusammenbruch mechanisch-materialistischer Vorstellungen. Lenin zeigte hier den Weg zur philosophischen Deutung der Sachlage, indem er auf die Relativität unserer Erkenntnisse verwies, aber an dem objektiven Charakter der Wahrheit und der Widerspiegelungsfunktion unserer Theorien festhält.

Bei ihm heißt es: „Doch der dialektische Materialismus betont nachdrücklich, daß jede wissenschaftliche These über die Struktur und die Eigenschaften der Materie nur annähernde, relative Geltung hat, daß es in der Natur keine absoluten Schranken gibt, daß die sich bewe-

[48] W. I. Lenin, Werke, Bd. 14, S. 124.
[49] Ebenda.
[50] Ebenda, S. 250.

gende Materie Verwandlungen durchmacht aus einem Zustand in einen anderen, der von unserem Standpunkt aus scheinbar mit dem vorangegangenen unvereinbar ist usw. Mag vom Standpunkt des ‚gesunden Menschenverstandes' die Verwandlung des unwägbaren Äthers in wägbare Materie und umgekehrt noch so wunderlich, das Fehlen jeder anderen als der elektromagnetischen Masse beim Elektron noch so ‚seltsam', die Beschränkung der mechanischen Bewegungsgesetze auf nur ein Gebiet der Naturerscheinungen und ihre Unterordnung unter die tieferen Gesetze der elektromagnetischen Erscheinungen noch so ungewöhnlich sein usw. – das alles ist nur eine weitere *Bestätigung* des dialektischen Materialismus."[51]

[52] Die Entwicklung unserer Begriffe, die Erweiterung unserer Theorien und die Feststellung von der beschränkten Gültigkeit bestimmter Aussagen sind Ausdruck der Dialektik des Erkenntnisprozesses. Um nicht in Relativismus zu verfallen, betont der dialektische Materialismus, daß unsere Aussagen über physikalische Prozesse, soweit sie durch das Experiment überprüft sind, Widerspiegelungen der objektiven Prozesse sind und unsere Kenntnisse über sie zum Ausdruck bringen. Deshalb schreibt Lenin: „Unveränderlich ist, vom Engelsschen Standpunkt, nur eines: die Widerspiegelung im menschlichen Bewußtsein (sofern menschliches Bewußtsein existiert) der unabhängig von demselben existierenden und sich entwickelnden Außenwelt. Irgendeine andere ‚Unveränderlichkeit', ein anderes ‚Wesen', eine ‚absolute Substanz' in dem Sinne, wie diese Begriffe von einer müßigen Professorenphilosophie ausgemalt wurden, existieren für Marx und Engels nicht. Das ‚Wesen' der Dinge oder die ‚Substanz' sind *ebenfalls* relativ; sie bringen nur die Vertiefung der menschlichen Erkenntnis der Objekte zum Ausdruck, und wenn gestern diese Vertiefung nicht weiter als bis zum Atom reichte, heute nicht weiter als bis zum Elektron und Äther reicht, so beharrt der dialektische Materialismus auf dem zeitweiligen, relativen, annähernden Charakter aller dieser *Marksteine* in der Erkenntnis der Natur durch die fortschreitende Wissenschaft des Menschen. Das Elektron ist ebenso *unerschöpflich* wie das Atom, die Natur ist unendlich, aber sie *existiert* unendlich, und eben diese, einzig kategorische, einzig bedingungslose Anerkennung ihrer *Existenz* außerhalb des Bewußtseins und außerhalb der Empfindung des Menschen unterscheidet den dialektischen Materialismus vom relativistischen Agnostizismus und vom Idealismus."[52]

Hier verbindet sich die erkenntnistheoretische Aussage über die Relativität unserer Erkenntnisse von der Struktur der Materie mit einer ontologischen Aussage über diese Struktur, ohne daß Lenin in ontologische Spekulationen dabei verfallen würde. Damit kommen wir bereits zur Präzisierung der Idee von der materiellen Einheit der Welt durch den dialektischen Materialismus. Wir werden später noch auf die verschiedenen physikalischen Konzeptionen eingehen, mit denen die monistische materialistische Auffassung von der Welt konkretisiert wurde, aber schon die Kritik des mechanischen Materialismus hatte die objektive Dialektik der Naturvorgänge offenbart. Die materielle Einheit der Welt erwies sich nicht als eine Einheit von qualitativ gleichartigen Grundbausteinen der Welt, deren quantitative Beziehungen die qualitative Vielfalt erklärt. Hatte En-[53]gels schon auf die Nichtidentität der kleinsten Teilchen und auf die qualitative Bestimmtheit höherer Bewegungsformen, wie der biologischen und der gesellschaftlichen gegenüber physikalischen hingewiesen, so ergänzte Lenin die Idee von der unendlichen Kompliziertheit der Natur. Ontologie und Gnoseologie verschmelzen in ihrer Aussage über die Materiestruktur im dialektischen Materialismus zu einer Einheit. Da wir den Widerspiegelungscharakter unserer Aussagen anerkennen, ist die Bewegung der Begriffe Ausdruck der objektiven Veränderungen, die einerseits sich in der Natur vollziehen und andererseits durch unser tieferes Eindringen in das Wesen der Naturvorgänge hervorgerufen werden. Die bisherige Entwicklung unserer Erkenntnis zeigt, daß es keine ab-

[51] Ebenda, S. 261.
[52] Ebenda, S. 262.

geschlossene Welttheorie gibt, die die Materiestruktur in ihren Grundgesetzen erfaßt. Es würde dem dialektischen Grundgedanken widersprechen, die Welt als ein System statischer Beziehungen zwischen sich in ihren Eigenschaften nicht verändernden Objekten anzusehen, das in seinen Grundbeziehungen, in seiner Struktur absolut erkannt werden kann.

Dem widerspricht auch die bisherige Erfahrung. Aus der bisherigen Entwicklung der Erkenntnis leiten wir also die These ab: Es gibt keine endgültige Wahrheit über die Struktur der Materie. Für den Erkenntnisprozeß bedeutet das, daß er nie abgeschlossen sein wird. Da wir als Materialisten aber auch von unserer Erkenntnis auf die außerhalb vom Bewußtsein und subjektunabhängig sich vollziehenden Naturvorgänge schließen, formulieren wir die These von der Unendlichkeit der Materie als Ausdruck der ständigen Veränderungen und Entwicklungen in der Natur. Die Materie ist unendlich heißt also sowohl, daß die objektiven Veränderungen und Entwicklungen in der Natur nicht abgeschlossen sind (ontologischer Aspekt), als auch, daß es keine absolute Wahrheit über die Struktur der Materie gibt (gnoseologischer Aspekt). Der gnoseologische Aspekt hat dabei zwei Momente: die objektive Veränderung und Entwicklung der Natur, also den ontologischen Aspekt, der den Erkenntnisprozeß nicht abgeschlossen sein läßt, und das ständige Eindringen der Erkenntnis in das Wesen der Naturprozesse, also den Erkenntnisprozeß.

Der dialektische Materialismus ist eben nicht einfach Realismus, wie Wetter einmal behauptete: „Die Anerkennung einer vom erkennenden Subjekt unabhängigen Wirklichkeit ist nicht ‚Materialismus', da dadurch noch nichts über die Frage der Natur der Wirklichkeit entschieden ist, d. h. über die Frage, ob die Materie einzige und letzte Wirklichkeit ist."[53]

[54] Im ontologischen Aspekt der These von der Unendlichkeit der Materie liegt die materialistische Antwort auf die Frage nach der Natur der Wirklichkeit begründet. Der dialektische Materialismus knüpft hier an die Tradition des materialistischen Monismus an, indem er das Bewußtsein als Eigenschaft und Entwicklungsprodukt der Materie sowie als spezifisch menschliche Form der Widerspiegelung faßt und die Materie als das, was außerhalb des Bewußtseins und subjektunabhängig existiert und vom Bewußtsein widergespiegelt werden kann. Aber er bleibt nicht bei dieser erkenntnistheoretischen Gegenüberstellung von Materie und Bewußtsein in der Grundfrage der Philosophie stehen, sondern sucht die Verbindung zu den Untersuchungen über die Materiestruktur herzustellen.

Der bisher geführte Nachweis, daß es keinen materiellen Bereich gibt, der nicht durch materielle Prozesse mit anderen Bereichen verbunden wäre, ist zugleich die These des dialektischen Materialismus, daß der objektive Zusammenhang nirgends durchbrochen wird. Anerkennung der sich unendlich verändernden und entwickelnden Materie ist verbunden mit dieser These vom objektiven Zusammenhang. Wer deshalb den Materialismus auf die Antwort vom Primat der Materie gegenüber dem Bewußtsein einschränkt, entgeht nicht ganz der Kritik Wetters.[53a] Er muß erstens das Primat der Materie gegenüber allen Formen des Ideellen, sei es Gott, absolute Idee usw. betonen. Zweitens muß der materielle Charakter der Welt nachgewiesen werden. Hier wird der ontologische Aspekt unserer erkenntnistheoretischen Aussagen wichtig. Da wir keine absoluten Aussagen über die Struktur der Materie machen können, betonen wir gerade die Unendlichkeit der Materie, um ein ideelles Erklärungsprinzip auszuschalten, das außerhalb vom Bewußtsein und unabhängig vom Menschen als existierend angenommen werden könnte. Diese Grundgedanken der materialistischen Theorie erhalten methodische Bedeutung, wenn wir die sich aus ihnen ergebenden Aussagen weiter verfolgen. Wenn wir unter Materie das verstehen, was außerhalb von jeglichem Bewußtsein und unabhängig vom Menschen existiert und vom Menschen erkannt werden kann, wenn die Ma-

[53] G. A. Wetter, Philosophie und Naturwissenschaft in der Sowjetunion, Hamburg 1958, S. 37.
[53a] Vgl. dazu W. v. Del-Negro, Konvergenzen in der Gegenwartsphilosophie und die moderne Physik, Berlin 1970.

terie unendlich ist und die Einheit der Welt in der Materialität besteht, dann gilt es, diese materielle Einheit aufzudecken. Diese Forderung ist heuristisches Prinzip der Forschung, indem einerseits nach umfassenderen Theorien, nach einheitlichen Grundstrukturen bisher getrennt untersuchter Bereiche geforscht wird und andererseits der materielle Charakter dieser Strukturen nachgewiesen wird. Worin zeigt sich dieser ma-[55]terielle Charakter? Auch hier ist das Festlegen auf bestimmte Eigenschaften gewagt und widerspräche der These von der Unendlichkeit der Materie.

Die Merkmale des klassischen Objekts wie Schwere, Trägheit, konzentrierte Raumerfüllung und Undurchdringlichkeit haben ihre Relativität mit den Untersuchungen zur Radioaktivität offenbart, und wir wollen keine neuen an ihre Stelle setzen. Aber das darf nicht dazu führen, daß sich der materielle Charakter verflüchtigt und nur noch eine realistische Position übrigbleibt. Deshalb verstehen wir für den Nachweis der Materialität unter materiell das mögliche und wirkliche Ausüben von Wirkungen auf die Sinnesorgane oder die vom Menschen zur Erkenntnis erbauten Geräte, die dem Menschen Nachrichten über diese Wirkungen vermitteln. Welcher Art diese Wirkungen sind, unterliegt selbst dem Erkenntnisprozeß. Galt teilweise im 19. Jahrhundert das elektromagnetische Feld nur als Ordnungsprinzip, so zeigten seine Wirkungen auf die Meßgeräte seinen materiellen Charakter. Ohne diese vermittelte oder unvermittelte Einwirkung der materiellen Objekte, Eigenschaften und Beziehungen auf die Sinnesorgane würde die materielle Natur der Wirklichkeit nicht nachgewiesen und dem objektiven Idealismus Tür und Tor geöffnet.

In diesem Sinne ist auch Lenin zu verstehen, wenn er Hegels Substanzauffassung zum Anlaß für folgende Bemerkung nimmt: „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 zur Substanz.“[54]

Lenin hat seine Gedanken zu diesem Verhältnis von Substanz und Kausalität ausführlich im einführenden Abschnitt zu „Materialismus und Empiriokritizismus“ dargelegt.[55]

Es geht ihm um den Kampf zwischen Materialismus und Idealismus. Er zeigt, daß die Argumente der Machisten schon bei Berkeley zu finden sind, soweit sie sich prinzipiell gegen den Materialismus richten. Bei Berkeley geht es um die Widerlegung der Lehre von der Materie oder der körperlichen Substanz. Er negiert nicht die Substanz als Bezeichnung „einer Verbindung sinnfälliger Eigenschaften, wie Ausdehnung, Solidität, Gewicht“, sondern die Substanz als „Träger von Akzidenzien oder Eigen-[56]schaften“ „außerhalb des Gesetze“ wird verneint. Lenin bemerkt zu der von den Machisten wieder aufgenommenen Argumentation Berkeleys: „Wir haben also zwei philosophische Richtungen in der Frage der Kausalität vor uns. Die eine ‚erhebt den Anspruch, Dinge durch körperliche Ursachen zu erklären‘, und es ist klar, daß sie mit der ‚absurden‘ und von Bischof Berkeley widerlegten ‚Lehre von der Materie‘ zusammenhängt. Die andere Richtung reduziert den ‚Begriff der Ursache‘ auf den Begriff eines ‚Merkmals oder Zeichens‘, das ‚zu unserer Belehrung‘ (durch Gott) dient.“[56]

Die Materialität der Objekte und Beziehungen darf also nicht in Frage gestellt werden, wenn man nicht vom Materialismus zum Idealismus übergehen will. Dabei wurde sie früher verneint, indem die körperliche Substanz als Träger der Eigenschaften außerhalb des Geistes nicht anerkannt wurde. Wie wir sehen werden, haben die Erkenntnisse der modernen Physik die Unhaltbarkeit der Substanzauffassung sowohl als Träger der Eigenschaften, als auch des

[54] W. I. Lenin, Philosophische Hefte, in: Werke, Bd. 38, Berlin 1964, S. 149.
[55] Vgl. W. I. Lenin, Werke, Bd. 14, S. 12 ff.
[56] Ebenda, S. 22.

Beharrungsgedankens gezeigt. Damit änderte der Materialismus seine Form, indem er nicht mehr den Träger der Eigenschaften suchte, sondern die Materialität der Objekte und Beziehungen dadurch als nachgewiesen ansah, daß Wirkungen auf Geräte und Sinnesorgane erfolgten, die theoretisch synthetisiert wurden und Voraussagen gestatteten, die selbst wieder überprüft werden konnten. Auch heute muß die Erkenntnis der Materie von den Erscheinungen zu ihrem Wesen fortschreiten, aber das Wesen kann die Struktur eines Systems sein, indem die Objekte Systemelemente sind, deren wesentliche Beziehungen in den Systemgesetzen enthalten sind. Es wird dabei nicht der Träger einer Eigenschaft gesucht, sondern die Gesetze für das Verhalten verschiedener Objekte in einem System aufgedeckt. Wir vertiefen unsere Erkenntnis durch die Entdeckung der Gesetze, d. h. der allgemein-notwendigen und wesentlichen Zusammenhänge, die auf der Grundlage eines Komplexes von Kausalbeziehungen existieren.

Die Materialität wird also nicht in Frage gestellt, Wirkungen müssen registrierbar sein, aber die Art dieser Wirkungen wird nicht mehr mit dem Begriff der Körperlichkeit oder Substanz erfaßt, da inzwischen neue Wirkungen erkannt wurden. Der Materialismus bleibt bestehen, und die Substanzauffassung wird aufgegeben.

Es wird zugleich deutlich, wie der Kampf gegen Idealismus, Mechanismus und Revisionismus zu führen ist. Die der Entwicklung der Naturwissenschaft entsprechenden Grundideen des Materialismus und der Dialektik [57] werden verteidigt. Die Auffassungen der Klassiker werden mit Hilfe neuen naturwissenschaftlichen Materials jedoch auch präzisiert, um philosophische Hypothesen zu erhalten, die heuristische Bedeutung für die Entwicklung der Wissenschaft haben.

Die Klassiker des Marxismus-Leninismus haben sich intensiv mit den philosophischen Problemen der Naturwissenschaft auseinandergesetzt. Lenin trat nach dem Sieg der sozialistischen Revolution für das enge Bündnis zwischen marxistisch-leninistischen Philosophen und Naturwissenschaftlern ein. Das neue Verhältnis zwischen Materialismus und Physik hat sich immer weiter entwickelt. Mit der Existenz des sozialistischen Lagers und dem Marxismus-Leninismus als der herrschenden Weltanschauung entstanden viele spezielle Arbeiten zu philosophischen Problemen der Naturwissenschaften, die zugleich Ausdruck des Meinungsstreites und der Zusammenarbeit von Philosophen und Naturwissenschaftlern sind.

Um der Rolle Lenins als des Begründers der proletarischen Partei neuen Typus, des Theoretikers und Führers der sozialistischen Revolution gerecht zu werden und den Leninismus als den Marxismus unserer Epoche zu verstehen, muß man die Bedeutung Lenins für die Physik umfassender sehen, als es die Ausführungen zu philosophischen Problemen der Physik ermöglichen:

Erstens wurden durch die sozialistische Revolution in Rußland sozialökonomische und materielle Voraussetzungen für die Entwicklung der Wissenschaft geschaffen. Lenin begründete das notwendige Bündnis zwischen marxistischen Philosophen und Naturwissenschaftlern, um die Angriffe des Idealismus zurückweisen und den Materialismus fundiert verteidigen zu können. Er versprach sich von diesem Bündnis große weltanschauliche Wirksamkeit bei der Entwicklung des sozialistischen Bewußtseins.

Zweitens zeigte Lenin die Bedeutung der naturwissenschaftlichen Forschung für die Entwicklung der materiell-technischen Basis des Sozialismus. Das wird vor allem in seinem Bemühen um den Plan zur Elektrifizierung des Landes (GOELRO-Plan) deutlich.

Drittens tat er sehr viel für den Nachweis, daß die marxistische Philosophie die Weltanschauung, Erkenntnistheorie und Methodologie des Naturwissenschaftlers ist.

Viertens verkörperte er selbst in seinem Eintreten für die Belange der Wissenschaftler und in seinem Auftreten zu wissenschaftlichen und politischen Streitfragen das Vorbild des Wissenschaftlers und Revolutionärs, der die Prinzipien der Wissenschaftspolitik selbst vorlebte, den wissenschaftlichen Meinungsstreit förderte und konsequent den marxistischen Standpunkt verteidigte.

[58] Lenin war kein Physiker, aber sein Wirken als politischer Führer, als wissenschaftlicher Revolutionär und als marxistischer Philosoph hatte und hat große Bedeutung für die Entwicklung der Physik in der Sowjetunion und in den anderen sozialistischen Ländern. Er beeinflußte durch seine Tätigkeit Physiker in den kapitalistischen Ländern, wie Langevin und Joliot-Curie; und selbst solche Physiker und Philosophen, die der marxistischen Philosophie und dem Sozialismus ablehnend gegenüberstehen, müssen sich mehr und mehr mit Lenin auseinandersetzen.

In seiner Arbeit „Über die Bedeutung des streitbaren Materialismus“ hatte Lenin die Notwendigkeit des Bündnisses zwischen Philosophen und Naturwissenschaftlern begründet und Aufgaben formuliert, die auch heute noch Gültigkeit haben. Er schrieb zu diesem Bündnis: „Man muß ihm größere Aufmerksamkeit zuwenden. Man muß bedenken, daß gerade aus dem jähen Umbruch, den die moderne Naturwissenschaft durchmacht, unausgesetzt reaktionäre philosophische Schulen und Richtungen, große wie kleine, emporsprießen. Die Fragen, welche die jüngste Revolution auf dem Gebiet der Naturwissenschaft aufwirft, aufmerksam zu verfolgen und hierzu Naturforscher für die Mitarbeit an der philosophischen Zeitschrift zu gewinnen, ist daher eine Aufgabe, ohne deren Lösung der streitbare Materialismus schlechthin weder streitbar noch materialistisch sein kann.“[57]

Lenin geht es vor allem um die Entwicklung einer gediegenen philosophischen Grundlage für die naturwissenschaftliche Arbeit durch die Verteidigung des Materialismus und die weitere Ausarbeitung der Dialektik. Die Naturwissenschaft hat inzwischen neue Umwälzungen durchgemacht. Die Quantentheorie wurde weiter ausgearbeitet und verschiedene Ansätze für eine einheitliche Theorie der Elementarteilchen entwickelt. Es gibt Erfolge bei der Erforschung des Kosmos, die zu neuen Wissenschaftsdisziplinen führten und die Betrachtung des Verhältnisses des Menschen zum Kosmos philosophisch interessant machten. Man diskutiert über Antistoff und Antiwelten, wobei bürgerliche Philosophen und Journalisten daraus eine Kritik am Materialismus ableiten wollen. Die Physik erlangte über die Quantentheorie auch Bedeutung für die Lösung chemischer und biologischer Probleme. Die umfangreiche Entwicklung der Chemie, Biologie und Psychologie führt zu wichtigen philosophischen Fragen, die von der Beziehung dieser Wissenschaften zueinander bis zum wissenschaftsethischen Problem der Menschenzüchtung reichen. Der Ausbau der Kybernetik und die weitergehende Mathematisierung der Wissenschaften machte das Ver-[59]hältnis von Philosophie, Mathematik und Kybernetik zum wichtigen Gegenstand philosophischer Forschungsarbeit.

Es entstanden neue Probleme, und alte traten modifiziert oder in neuem Gewand auf. Generell gilt jedoch Lenins Forderung für ihre Lösung: Wir brauchen auch heute eine gediegene philosophische Grundlage, die unter Berücksichtigung der Arbeiten der Klassiker des Marxismus-Leninismus in der Gemeinschaftsarbeit zwischen Philosophen und Naturwissenschaftlern zu entwickeln ist. Die wissenschaftliche Weltanschauung entsteht nicht spontan aus neuen naturwissenschaftlichen Erkenntnissen. Nur kann der Ansturm des Idealismus jetzt besser als zu Lenins Zeiten aufgehalten werden, wenn wir alle Möglichkeiten zur Gemeinschaftsarbeit und zur ideologischen Offensive gegen idealistische Verfälschungen naturwissenschaftlicher Erkenntnisse nutzen, die uns der Sozialismus bietet.

[57] W. I. Lenin, Über die Bedeutung des streitbaren Materialismus, in: Werke, Bd. 33, Berlin 1963, S. 219.

Unter Weltanschauung verstehen wir ein System von Antworten auf die Fragen nach dem Ursprung der Welt und der Quelle des Wissens, nach der Stellung des Menschen in der Welt, nach dem Sinn des Lebens und nach der Epoche. Auf diese in der Geschichte des Denkens immer wieder gestellten Fragen gibt die marxistisch-leninistische Philosophie wissenschaftlich begründete Antworten. Sie weist das Primat der Materie gegenüber dem Bewußtsein nach, ohne die Bedeutung der theoretischen Arbeit für die praktische Veränderung zu vernachlässigen, faßt das Wesen des Menschen als Ensemble der konkret-historischen gesellschaftlichen Verhältnisse und erklärt den Sinn des Lebens aus dem Charakter unserer Epoche als Kampf für den Sozialismus gegen den Imperialismus. Damit erhält auch der Naturwissenschaftler Antwort auf solche Fragen, die unsere auf dem Leninismus basierende weltanschauliche Grundhaltung und unseren politischen Kampf betreffen.

In Lenins Arbeiten sind jedoch auch wesentliche philosophische Fragen der Physik behandelt worden. Um die Jahrhundertwende machten die Physiker bahnbrechende Entdeckungen, die ihr bisheriges Bild von der Materiestruktur ins Wanken brachte. Die Entdeckung der Radioaktivität, die Untersuchungen zur Atomstruktur und die Relativitätstheorie waren es vor allem, die nicht mehr mit den Vorstellungen vom klassischen Objekt vereinbar waren, das undurchdringlich schwer und träge sich im dreidimensionalen Raum bei absoluter Weltzeit bewegen sollte. Lenin zeigte, wie diese neuen naturwissenschaftlichen Kenntnisse den dialektischen Materialismus bestätigen. Obwohl sein Buch „Materialismus und Empiriokritizismus“ in erster Linie der Auseinandersetzung mit dem Revisionismus und seinen idealistischen Vorläufern und zeitgenössischen Quellen gewidmet war, ist es ein wichtiger Beitrag zur Ausarbeitung der philoso-[60]phischen Grundlagen unserer Weltanschauung und zeigt die Methode philosophischer Analyse naturwissenschaftlicher Erkenntnisse. Lenin forderte die Revision veralteter naturphilosophischer Ansichten, die von der prinzipienlosen Preisgabe marxistisch-leninistischer Grundstandpunkte, zu denen der philosophische Materialismus, die materialistische Dialektik und der historische Materialismus gehören, zu unterscheiden ist. Der Materialismus wurde vor allem durch die Leninsche Unterscheidung zwischen der Frage nach der Quelle unseres Wissens und der Frage nach der Materiestruktur weiterentwickelt.

Die Frage nach der Quelle unseres Wissens wird durch die Anerkennung der objektiven Realität, d. h. dessen, was außerhalb und unabhängig von unserem Bewußtsein existiert und von ihm erkannt werden kann (philosophischer Materiebegriff) beantwortet. Materiestruktur ist die Gesamtheit der materiellen Beziehungen zwischen materiellen Objekten. Diese Unterscheidung, die auch für uns von großer Bedeutung ist, gab Lenin die Möglichkeit, eine Reihe von erkenntnistheoretisch-methodologischen Fragen zu beantworten und philosophische Verwirrungen bei Physikern und Philosophen aufzudecken. Lenin ergänzte nämlich die These von der materiellen Einheit der Welt durch die programmatische Aussage von der Unerschöpflichkeit der Materie. Damit ergibt sich einerseits, daß es keine endgültige Wahrheit über die Struktur der Materie geben kann. Die Naturwissenschaft dringt immer tiefer in das Wesen der Naturvorgänge ein und wird dabei auf unbekannte und teilweise nicht vorhersehbare Objekte und Zusammenhänge stoßen. Die Suche danach wird mit der These von der Unerschöpflichkeit der Materie gefordert. Noch wissen wir nicht, was uns größere Beschleuniger in der Elementarteilchenphysik bringen werden.

Die gelenkte thermonukleare Reaktion muß weiter erforscht werden. Die Kosmosforschung wird Aufschluß über die Strahlungsquellen, über die Sternentstehung usw. geben. Sowohl das bereits gesicherte Material der Physik als auch ihre hypothetischen Aussagen unterliegen der philosophischen Analyse. Ausgehend von Lenin nimmt der marxistisch-leninistische Philosoph durch präzisierte philosophische Aussagen, in denen die neuen naturwissenschaftlichen Erkenntnisse berücksichtigt wurden, durch philosophische Hypothesen über den Beitrag naturwissenschaftlicher Theorien und Hypothesen zur Philosophie und durch die Beantwortung

erkenntnistheoretischer und methodologischer Fragen mit spezifisch philosophischen Einsichten und Methoden an der Diskussion der Naturwissenschaften teil. Er fördert damit den Meinungsstreit um die Klärung allgemeiner naturwissenschaftlicher Fragen und bleibt nicht nur Zeuge der theoretischen Entwicklung der Naturwissenschaft.

[61] Andererseits führte diese Relativität unserer Kenntnisse über die Materiestruktur manche Naturwissenschaftler und Philosophen schon zu Zeiten Lenins zum Relativismus, d. h. zur Auffassung, daß es keine sicheren Kenntnisse über die Wirklichkeit geben könne. Demgegenüber zeigte Lenin die dialektische Einheit von Objektivität und Relativität im Erkenntnisprozeß.[58] Durch die Anerkennung der objektiven Wahrheit, d. h. eines Inhalts unserer Vorstellungen, der außerhalb und unabhängig vom Bewußtsein existiert, wendet sich der dialektische Materialist gegen den Relativismus. Er wendet sich aber auch gegen die dogmatische Anerkennung endgültiger Wahrheiten über die Materiestruktur, indem er den relativen Charakter der objektiven Wahrheiten betont.

Gerade diese Dialektik begriff Lorentz nicht und verlor deshalb den Glauben an die Existenz einer objektiven Wahrheit. Einerseits hatte er gelehrt, daß das Elektron auf einer kreisförmigen Bahn Energie ausstrahlt. Andererseits zeigte die Quantentheorie, daß das Elektron, das sich um den Kern bewegt, keine Energie verliert. Sicher ist es schwierig, einander widersprechende Aussagen zu vertreten. Beachtet man jedoch den Gültigkeitsbereich beider Aussagen und sieht zugleich in der Klärung des Widerspruchs durch die Entwicklung der Physik eine noch zu lösende Aufgabe, dann hat man die bestätigten Aussagen sowohl als objektive Wahrheit, nämlich als Widerspiegelung der objektiven Realität, als auch ihre Relativität erkannt; sie gelten bezogen auf bestimmte Bedingungen.

Die Relativität unserer Erkenntnisse zwingt die Philosophie, sich ständig mit veralteten naturphilosophischen Auffassungen auseinanderzusetzen und die Bedeutung neuer Denkweisen auszuarbeiten. Dabei reicht die einfache Darlegung theoretischer Grundprobleme einzelner Naturwissenschaften nicht aus. Es muß philosophisch verallgemeinert werden. Ohne das Letztere brauchte man keine Spezialisten für philosophische Probleme der Naturwissenschaften. Die notwendig vom Philosophen analysierten naturwissenschaftlichen Grundideen sind erst die Voraussetzung seiner Arbeit, bei der er die weltanschauliche Bedeutung naturwissenschaftlicher Aussagen überprüfen, philosophische Hypothesen mit erkenntnisfördernder Bedeutung für andere Wissenschaften aufstellen und Präzisierungen der philosophischen Aussagen durchführen muß. Das erst ermöglicht es ihr, sich schlagkräftig mit Angriffen auf die marxistisch-leninistische Philosophie auseinanderzusetzen.

So verlangte die Kopenhagener Deutung der Quantentheorie nicht nur eine [62] Verteidigung des materialistischen Grundstandpunkts, sondern damit verbunden war die Ausarbeitung der dialektisch-materialistischen Position zu den neu erkannten Beziehungen zwischen Subjekt und Objekt in der Physik, zu den neuen Materiestrukturen, zur Kausalitätsauffassung usw. Die dabei entwickelte statistische Gesetzeskonzeption mußte ihre Bewährung wiederum in anderen Wissenschaften erfahren.

Es reicht also auch nicht aus, physikalische Theorien mit Etiketten solcher Art zu versehen: Das beweist die philosophische These über Raum und Zeit. Solche Feststellungen haben volle Berechtigung, wenn es gelungen ist, detaillierte Nachweise dafür zu liefern, die vor allem die Präzisierung philosophischer Aussagen und die Aufstellung philosophischer Hypothesen verlangen. Gerade so ging Lenin an die philosophischen Fragen der Physik heran. Er führte seine Analyse der Auseinandersetzungen zwischen Materialismus und Idealismus in der Phy-

[58] Vgl. W. I. Lenin, Werke, Bd. 14, S. 116. Vgl. H. Hörz, Lenins Wahrheitstheorie in ihrer Bedeutung für die Naturwissenschaften, in: Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin, Ges.-Sprachw. R. XIX (1970) 5, S. 591 ff.

sik bis zur heute bestätigten Hypothese von der Unerschöpflichkeit des Elektrons, wobei Unerschöpflichkeit nicht im Sinne von Teilbarkeit verstanden werden muß.

Das von den Klassikern des Marxismus-Leninismus entwickelte neue Verhältnis zwischen Philosophie und Physik ist die Grundlage für unsere Erforschung philosophischer Probleme der Elementarteilchenphysik. Die dafür wichtige Unterscheidung der Frage nach der Quelle des Wissens und nach der Materiestruktur soll im nächsten Kapitel ausführlich betrachtet werden. [63]

Kapitel II – Materialismus und Struktur

Lenin hat sich besonders in seiner Arbeit „Materialismus und Empiriokritizismus“ eingehend mit dem Verhältnis von Materiebegriff und Materiestruktur befaßt und idealistische Angriffe auf die dialektisch-materialistische Grundposition in dieser Frage zurückgewiesen. Dabei entwickelte er zugleich Gedanken von programmatischer Bedeutung für die Arbeit marxistisch-leninistischer Philosophen, die sich mit den philosophischen Problemen der Naturwissenschaft befassen. Einerseits geht es darum, daß die Relativität unserer Erkenntnisse über die Materiestruktur kein Gegensatz zur Anerkennung der objektiven Realität ist. Dieses Argument ist keineswegs veraltet, sondern wird auch heute noch gegen den Materialismus ins Feld geführt. Andererseits ist mit der philosophischen Strukturauffassung eine Orientierung für die wissenschaftliche Forschungsarbeit verbunden. Lenin wendet sich gegen die Annahme ewiger, unveränderlicher Substanzen und betont die Unerschöpflichkeit der Materie.

Seit Lenins Arbeiten gab es eine Vielzahl philosophischer Diskussionen und wichtige naturwissenschaftliche Entdeckungen, die ein neues Licht auf Lenins Auffassung werfen. Von naturwissenschaftlicher Seite gehören hierzu vor allem die Ergebnisse der Elementarteilchenphysik, die die Frage nach den letzten Bausteinen der Materie, die bekanntlich in der Geschichte der Philosophie eine große Rolle spielte, auf neue Weise beantworten lassen. Von allen Wissenschaften werden Forderungen nach der Lösung von methodologischen Problemen gestellt, die mit Strukturuntersuchungen verbunden sind. Das hat der philosophische Strukturalismus besonders in Frankreich ausgenutzt, um eine einseitige Wissenschaftsorientierung zu entwickeln, die das Diachronische gegenüber dem Synchronischen, das Historische gegenüber dem Logischen und den Menschen gegenüber der Struktur vernachlässigt. Erfreulicherweise befassen sich viele Arbeiten [64] marxistischer Autoren mit der dialektisch-materialistischen Strukturauffassung.[1] Der Anspruch des philosophischen Strukturalismus auf eine adäquate Wissenschaftsmethodologie wird zurückgewiesen und sein reaktionärer Charakter gezeigt. Die philosophiehistorische Quelle unserer Auffassungen zum Strukturproblem bilden die Arbeiten von Marx, Engels und Lenin, die sich eingehend damit befaßt haben und insofern die Grundlage für die Präzisierung unserer Auffassungen mit Hilfe moderner naturwissenschaftlicher Erkenntnisse darstellen.

1. Leninscher Materiebegriff und Materiestruktur

Am Ende des letzten Kapitels wurde schon der prinzipielle Standpunkt Lenins zum Verhältnis von Materiebegriff und Materiestruktur charakterisiert.

Lenin unterschied die philosophische Frage nach der Quelle unseres Wissens von der Frage nach der Materiestruktur. Quelle unseres Wissens ist das, was außerhalb und unabhängig vom Bewußtsein existiert und von ihm erkannt werden kann. Gerade das ist der Inhalt des Leninschen Materiebegriffs. In den philosophischen Diskussionen um die Quantentheorie war diese Unterscheidung implizit eines der am meisten diskutierten Kernprobleme. Bei der Interpretation der Arbeit von Einstein, Podolsky und Rosen und der Antwort von Niels Bohr kommt Meyer-Abich zu der Unterscheidung zwischen der physikalischen Wirklichkeit und der Wirklichkeit an sich. Er differenziert zwischen den Aussagen „1. Was und nur was meßbar ist, ist wirklich. 2. Was und nur was mit den Mitteln der Physik feststellbar ist, ist physikalisch

[1] Konferenz Struktur und Prozeß, in: Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin, Math. Nat. R., Heft 6,1967, H. Laitko, Struktur und Dialektik, DZfPh, Heft 6, 1968, G. Kröber, Strukturgesetz und Gesetzesstruktur, DZfPh, Heft 2, 1967, H. Hörz, Zur dialektischen Beziehung zwischen Inhalt und Form, DZfPh, Heft 3, 1966, Struktur und Formen der Materie, Berlin 1969.

wirklich, wirklich für den Physiker als Physiker.“[2] Nach Meinung von Meyer-Abich vertrat Bohr die zweite Auffassung: „Die Auffassung (2) ... würde nach Meinung des Verfassers Bohrs Zustimmung gefunden haben. Die Unterscheidung kommt nicht nur z. B. bei parapsychologischen Effekten, sondern insbesondere auch beim Problem des [65] organischen Lebens zum Tragen. Man muß damit rechnen, daß sich das Leben, welche Wirklichkeit auch immer ihm, so wie es überhaupt ist, zukommt, nicht als physikalisch wirklich erweisen wird, das heißt unter den Bedingungen der Möglichkeit von Physik nicht möglich ist“.[3]

Diese Ansicht widerspricht der dialektisch-materialistischen Auffassung von der objektiven Realität nicht. Lenin hatte geschrieben: „Es ist aber völlig unzulässig, die Lehre von dieser oder jener Struktur der Materie mit einer erkenntnistheoretischen Kategorie zu verwechseln, die Frage nach den neuen Eigenschaften der neuen Arten der Materie (zum Beispiel der Elektronen) mit der alten Frage der Erkenntnistheorie, der Frage nach den Quellen unseres Wissens, nach der Existenz der objektiven Wahrheit und dgl. mehr zu verwechseln, wie die Machisten dies tun.“[4] Der Physiker erforscht mit physikalischen Methoden die Wirklichkeit. Dabei erinnert Meyer-Abich daran, daß organisches Leben nicht einfach in physikalischen Experimenten untersucht werden kann, da das Leben sonst abgetötet wird. Wie jedoch die Biophysik und die Untersuchung der physikalischen und chemischen Grundlagen des Lebens zeigen, kann aus ihnen viel über die Struktur organischen Lebens erkannt werden. Wir haben es also bei dem Streit zwischen Bohr und Einstein um die physikalische Wirklichkeit und seiner Interpretation durch Meyer-Abich bereits mit einem Strukturproblem und nicht mit der philosophischen Frage nach der Quelle unseres Wissens zu tun. Trotzdem ist letztere zur Klärung des eigentlichen philosophischen Sachverhalts wichtig. Die Gegenüberstellung der Dinge an sich und der Dinge als Gegenstand der Physik reicht als materialistische Argumentation nicht aus. Das wird deutlich bei folgender Anmerkung von Meyer-Abich: „Die Gegenüberstellung der Dinge so wie sie an sich selbst sein mögen, und der Dinge als Gegenstand der Physik, sinkt natürlich in sich zusammen, wenn das ‚uneigentliche Argument‘: It is wrong to think that the task of physics is to find out how nature is. Physics concerns what we can say about nature, verschärft wird zu: Physik handelt von der Natur, also davon, was wir über die Natur sagen können. We are suspended in language.“[5]

Die marxistische Philosophie hält nach Lenin gerade eine andere Gegenüberstellung für philosophisch relevant. Einerseits beantworten wir mit dem Leninschen Materiebegriff die Frage nach der Quelle unseres Wissens. Wir [66] anerkennen, daß etwas außerhalb und unabhängig von unserem Bewußtsein existiert, das von uns erkannt werden kann. Wir sagen aber nicht, wie es existiert. Auch nicht, ob es sich dabei um Dinge an sich handelt. Andererseits ziehen wir philosophische Schlußfolgerungen aus den von den Wissenschaften durchgeführten Strukturuntersuchungen, die als Ergebnis Aussagen über die allgemeinen Beziehungen und Gesetze der objektiven Realität sind. Dabei zeigt gerade die Entwicklung jeder Wissenschaft, was auch die philosophische These von der Unendlichkeit der Materie zum Inhalt hat, daß es keine absolute Wahrheit über die Struktur der Materie gibt.

Jeder konkrete Erkenntnisgegenstand, so beispielsweise physikalische, biologische oder gesellschaftliche Objekte, offenbart in anderen Wissenschaften andere Beziehungen. Ihr Wesen kann erst durch eine Vielzahl von Erscheinungen erkannt werden, in denen immer ein Moment des Wesens enthalten ist. Die Wissenschaft sucht deshalb nach allgemein-notwendigen,

[2] K. M. Meyer-Abich, Korrespondenz, Individualität und Komplementarität, Wiesbaden 1965, S. 171, (Zur Auffassung von Meyer-Abich vgl. Rezension, in: DZfPh, Heft 11 1967, S. 1388 ff.).
[3] Ebenda. Bohrs Haltung zu diesem Problem wird ausführlich dargelegt in: H. Vogel, Physik und Philosophie bei Max Born, Berlin 1968.
[4] W. I. Lenin, Werke, Bd. 14, S. 124.
[5] K. M. Meyer-Abich, Korrespondenz, Individualität und Komplementarität, S. 168.

d. h. wiederholbaren und wesentlichen, also den Charakter der Erscheinung bestimmenden Zusammenhängen, eben den objektiven Gesetzen. Insofern ist es auch wichtig, das physikalische Verhalten lebender Organismen, soweit feststellbar, zu berücksichtigen und eventuelle Modifizierungen der physikalischen Gesetze zu beachten.[6] Es wird also nicht das Ding an sich erkannt, sondern jedes Objekt wird in seinen Beziehungen untersucht, wobei verschiedene Beziehungen zu verschiedenen Gesetzen führen können.

Es ist nun schon eine Frage nach der mit der philosophischen Strukturauffassung verbundenen Wissenschaftsorientierung, ob die Untersuchung von Dingen (Elementen eines Systems) oder von Strukturen im Vordergrund wissenschaftlichen Interesses steht. Sie kann von der bisherigen Unterscheidung zwischen Materiebegriff und Materiestruktur her gar nicht beantwortet werden und wird deshalb zurückgestellt.

Lenin geht es, ebenso wie Feuerbach und Engels, darum, das Kantsche unfaßbare Ding an sich als erkennbares Ding für uns zu zeigen. In seiner Auseinandersetzung spielte die Beziehung zwischen Struktur und Element noch keine besondere Rolle. Er hatte sich mit dem Machismus auseinanderzusetzen, der die Existenz von etwas, das außerhalb und unabhängig vom Bewußtsein existiert, überhaupt leugnete oder mindestens eine Aussage über die Existenz nicht zuließ. Demgegenüber ist selbst, wie Lenin hervorhob, die Auffassung von Kant noch ein Fortschritt.

[67] Lenin unterschied zwischen dem „an sich“ bei Kant und bei Feuerbach. Feuerbach wirft Kant vor, schreibt Lenin, „daß für ihn das ‚Ding an sich‘ ein ‚Abstraktum ohne Realität‘ sei. Für Feuerbach ist das ‚Ding an sich‘ ein ‚Abstraktum *mit* Realität‘, d. h. eine außer uns existierende Welt, vollständig erkennbar und von der ‚Erscheinung‘ durch nichts prinzipiell unterschieden.“[7] Sobald Objekte verändert und erkannt werden, geht es uns darum, solche Beziehungen zu finden, die auch für die Objekte gelten, die bisher nicht im Erkenntnisprozeß auftauchten. Deshalb beschreiben wir den fallenden Stein im Physikunterricht nicht, sondern erklären das Gesetz des freien Falls, das es uns ermöglicht, das Verhalten frei fallender Körper zu bestimmen. Das bedeutet aber nicht, daß die erkannte Wirklichkeit die ganze Wirklichkeit ist. Gerade der materialistische Standpunkt verlangt die Anerkennung potentieller Objekte des Erkenntnisprozesses, über deren Struktur noch nichts bekannt ist. Zwar kann von den Gesetzen der realisierten Objekte auf die Gesetze der potentiellen Objekte geschlossen werden, aber nur im Rahmen der Bedingungen für die Existenz der Gesetze. In diesem Zusammenhang ist Lenins Argumentation gegen den Idealismus interessant. Er betont die Fortschritte der Naturwissenschaft zu Beginn unseres Jahrhunderts, die manche Naturwissenschaftler zu der Feststellung veranlaßten: „Die Materie verschwindet.“ Das ist eine Argumentation, die – wie beispielsweise bei der Entdeckung des Antistoffs – auch verschiedentlich noch heute vertreten wird. Allerdings hat sie viel von ihrer Schlagkraft gegen den Materialismus eingebüßt, da der Leninsche Materiebegriff heute weit mehr bekannt ist als der dialektische Materialismus zu Beginn unseres Jahrhunderts. Damals zeigte jedoch schon Lenin den erkenntnistheoretischen Kern der naturwissenschaftlichen Auffassungen: „‚Die Materie verschwindet‘ heißt: Es verschwindet jene Grenze, bis zu welcher wir die Materie bisher kannten, unser Wissen dringt tiefer; es verschwinden solche Eigenschaften der Materie, die früher als absolut, unveränderlich, ursprünglich gegolten haben (Undurchdringlichkeit, Trägheit, Masse usw.) und die sich nunmehr als relativ, nur einigen Zuständen der Materie eigen erweisen. Denn die *einzige* ‚Eigenschaft‘ der Materie, an deren Anerkennung der philosophi-

[6] Zur Bestimmung dessen, was unter der Modifizierung eines Gesetzes zu verstehen ist, vgl. H. Hörz, Ergebnisse und Aufgaben einer marxistischen Theorie des objektiven Gesetzes, Sitzungsberichte der DAW Berlin, Klasse für Philosophie ..., H. 7, 1968, S. 12 f.
[7] W. I. Lenin, Werke, Bd. 14, S. 112.

sche Materialismus gebunden ist, ist die Eigenschaft, *objektive Realität zu sein*, außerhalb unseres Bewußtseins zu existieren.“[8]

Von Lenin wird die Gleichsetzung des Materialismus mit dem mechanischen, metaphysischen Materialismus zurückgewiesen, der den Begriff für [68] die Wirklichkeit nahm, indem er die bisher bekannten Beziehungen zu den allein wirklichen Beziehungen erklärte. Diese Beziehung zwischen der Relativität unserer Erkenntnisse und der Anerkennung der objektiven Realität konnte erst vom dialektischen Materialismus wissenschaftlich geklärt werden, indem er an die Stelle eines naturwissenschaftlichen Materiebegriffs einen philosophischen setzte, der nicht mehr an die Existenz bestimmter Materiestrukturen gebunden ist, sondern sich auf das Verhältnis des erkennenden Menschen zu seiner Umwelt bezieht.

Die Frage, ob etwas außerhalb und unabhängig von unserem Bewußtsein existiert, ist deshalb zu unterscheiden von der Frage, wie es existiert, welche Struktur es besitzt. Die letztere Frage wird von Lenin damit beantwortet, „daß jede wissenschaftliche These über die Struktur und die Eigenschaften der Materie nur annähernde, relative Geltung hat“.[9]

Ohne auf die in diesen Worten enthaltene Interpretation der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse einzugehen, lassen sie Lenins philosophischen Standpunkt zu neuen Entdeckungen erkennen. Der dialektische Materialismus orientiert auf die Untersuchung neuer Strukturen, auf die Entdeckung bisher unbekannter Objekte. Der Materialismus verlangt die Anerkennung der Tatsachen und nicht ihre Unterordnung unter bisher gültige Aussagen und Prinzipien über die Struktur der Materie. Jede neue Einsicht kann die Existenz von etwas, das außerhalb und unabhängig vom Bewußtsein existiert und von ihm erkannt wird, nur bestätigen. Sie ist zugleich ein Hinweis auf weitere unbekannte potentielle Objekte des Erkenntnisprozesses, deren Struktur erforscht werden kann. Gegenüber dem objektiven Idealismus betont der dialektische Materialismus die Erkennbarkeit der materiellen Objekte und Prozesse und gegenüber dem subjektiven Idealismus ihre Existenz außerhalb und unabhängig vom Bewußtsein. Es bedarf deshalb auch keiner „ontologischen Ergänzung“ des Leninschen Materiebegriffs, da die Erkennbarkeit Wirkungen auf die Sinnesorgane voraussetzt, wobei die Veränderung der Objekte (Praxis) Grundlage der Erkenntnis ist. Gerade in der Kritik Lenins am Kantschen Agnostizismus wird das deutlich. Mit seinem Zusatz zur Auseinandersetzung von Tschernyschewski mit Kant betont er noch einmal die wesentlichen materialistischen Thesen.[10] Man darf als Materialist nicht bei der Anerkennung der außerhalb und unabhängig von uns existierenden Objekte stehenbleiben, sondern muß erklären, wie wir von dieser objektiven Quelle unser Wissen ableiten. Unsere Erkenntnisse sind Widerspiegelungen der objektiven Realität, die wir durch die Organi-[69]sation von sinnlichen Erscheinungen über die empirische und theoretische Erkenntnis erhalten. Deshalb ist auch für Lenin die Anerkennung der objektiven Wahrheit Grundbestand des dialektischen Materialismus.[11]

Eine „ontologische Ergänzung“ wäre dagegen ein Rückschritt im philosophischen Denken auf die Position des vormarxschen Materialismus, der die Materie an bestimmte aufweisbare Struktureigenschaften materieller Objekte band. Gerade mit dieser Position hatte sich jedoch Lenin ausführlich auseinandergesetzt. Man kann nicht die These anerkennen, daß es keine absolute Wahrheit über die Materiestruktur gibt (Unendlichkeit der Materie), und eine ontologische Bestimmung im Materiebegriff verlangen, die nur eine Aussage über eine bestimmte Struktur, etwa die Masse oder die Energie, sein kann. Damit würde wiederum der Materialismus vom Fortschritt der Naturwissenschaft abhängig; er könnte widerlegt werden. Die De-

[8] Ebenda, S. 260.
[9] Ebenda, S. 261.
[10] Vgl. ebenda, S. 364 ff.
[11] Vgl. ebenda, S. 116 ff.

finition des Materiebegriffs in der Beziehung zum Bewußtsein dagegen – wobei Bewußtsein erkenntnistheoretisch eingeengt nur bedeutet, Entwicklungsprodukt und Eigenschaft der Materie sowie spezifisch menschliche Form der Widerspiegelung (Resultate) zu sein – gilt, solange es erkennende Menschen gibt. Nur die Resultate des Erkenntnisprozesses in Form von Begriffen, Aussagen, Theorien werden den materiellen Objekten und Prozessen entgegengestellt, um die materialistische Antwort auf die Grundfrage der Philosophie zu geben, in der das Primat der Materie gegenüber dem Bewußtsein behauptet wird. Soweit es sich um philosophische Fragen handelt, die nicht dieses Primat betreffen, gehen wir über diese Gegenüberstellung hinaus und untersuchen etwa das Verhältnis des Erkenntnissubjektes als einer Einheit von materiellen und ideellen Prozessen zum Erkenntnisobjekt, das materiellen oder ideellen Charakter oder beides haben kann. Hier befinden wir uns aber nach Lenin schon im Bereich der Strukturuntersuchungen, für die die Einzelwissenschaften neue Einsichten liefern, die von den Philosophen zu analysieren sind. Es kann für den Materialisten keine apriori-Aussagen der Philosophie geben, sondern nur die philosophische Analyse des einzelwissenschaftlichen Materials, das uns hilft, unsere philosophischen Thesen zu präzisieren und philosophische Hypothesen aufzustellen. Die aktuelle Bedeutung der Leninschen Auffassungen besteht also im folgenden:

Erstens muß auch in den modernen Auseinandersetzungen um die philosophischen Probleme der Wissenschaften die zweifache Fragestellung Lenins beachtet werden. Die in der Auseinandersetzung mit dem Idealismus wichtige philosophische Frage ist die nach den Quellen unseres Wissens, die [70] zugleich nach der Stellung des Menschen zu seiner Umwelt fragt. Davon unterschieden werden muß die Frage nach der Materiestruktur, die nur durch die Forschung aller Wissenschaften stets neu beantwortet werden kann.

Zweitens gab Lenin auf die erste Frage eine klare Antwort durch die Definition des Materiebegriffs und den Nachweis, daß die Relativität unserer Erkenntnisse über die Materiestruktur nicht der Anerkennung der objektiven Realität widerspricht. Die Anerkennung der objektiven Wahrheit schließt die Dialektik zwischen relativer und absoluter Wahrheit nicht aus, sondern verlangt die Ablehnung absoluter Wahrheiten über die Materiestruktur.

Drittens muß jede Orientierung der wissenschaftlichen Forschung, soweit sie über das materialistische Herangehen hinausweist und Erkenntnisse über die Materiestruktur zur Grundlage hat, ständig neu überprüft werden. Wird nachgewiesen, daß beispielsweise der Äther eine unnötige Hypothese zur Erklärung physikalischer Erscheinungen ist, dann wäre eine Orientierung auf die Suche nach dem Äther als dem materiellen Medium der Strahlung hinfällig. In diesem Sinne muß also die mit dem Materialismus verbundene Wissenschaftsorientierung, ausgehend von den Ergebnissen einzelwissenschaftlicher Forschung, ausgearbeitet werden.

Viertens ist im Zusammenhang mit der wachsenden Bedeutung der mit Strukturuntersuchungen zusammenhängenden methodologischen Probleme auch die philosophische Haltung Strukturbegriff zu präzisieren.

Noch existieren unterschiedliche Auffassungen auch unter marxistischen Philosophen zum Strukturbegriff. Das ergibt sich aus der bisher ungenügenden Erforschung dieses Problems. Im Sinne Lenins ist deshalb dazu der Meinungsstreit zu führen, um schließlich zu einer einheitlichen, begründeten Auffassung zu gelangen.

2. Was ist Struktur?

Ausgehend von der in Mathematik und Logik üblichen Bestimmung, nach der ein System eine Menge von Elementen zusammen mit einer Menge von Beziehungen zwischen diesen Elementen bezeichnet und Struktur die Menge der Beziehungen, wird in der philosophischen Literatur bei einer Reihe von Autoren die Struktur als der invariante Aspekt eines Systems

bezeichnet.[12] Damit wird eine wesentliche Seite dieses Begriffs erfaßt, allerdings wird er faktisch mit dem Gesetzesbegriff identifiziert.[13]

[71] Unter Struktur eines Systems verstehen wir die Gesamtheit der wesentlichen und unwesentlichen, allgemeinen und besonderen, notwendigen und zufälligen Beziehungen zwischen den Elementen eines Systems in einem bestimmten Zeitintervall. Die Verhaltensweise eines Systems ist abhängig von den Elementen und ihrer Struktur sowie von der Systemstruktur; die wesentliche Verhaltensweise des Systems dagegen wird durch die Gesamtheit der Systemgesetze bestimmt.

Laitko hat sich intensiv mit dem Verhältnis von Dialektik und Struktur befaßt und interessante Gedanken dazu entwickelt. In seiner Argumentation befaßt er sich aber auch mit dem dialektischen Korrelat des Strukturbegriffs. Abgesehen davon, daß die bloße Betrachtung von Kategorienpaaren unseres Erachtens eine Einschränkung der Dialektik ist[14], sind einige Bemerkungen zu seinen Ausführungen angebracht. Laitko schreibt: „Der Nachweis der objektiv-realen Strukturen als relativ stabile, invariante Züge von Bewegungen war der entscheidende Schritt, der den Strukturbegriff der älteren Kategorie Gesetz annäherte. Der Prozeß wurde dadurch vollendet, daß sich der Geltungsbereich des Strukturbegriffs durch seine erweiterte Auffassung ausdehnte. Aus diesem Grund behaupten wir, daß die Kategorien Struktur und Gesetz identisch geworden sind oder es werden. Der dialektische Gegenpol zu dieser Kategorie ist, wie wir zeigten, mit ‚Element' sehr mißverständlich erfaßt ... Die Identifizierung von Struktur und Gesetz legt nun nahe, die grundlegende dialektische Polarität mit ‚Gesetz – Einzelfall' oder ‚Struktur – Einzelfall' zu bezeichnen, wobei die Struktur gerade durch ihre Elemente konstituiert wird.

... Die Struktur (Gesetz) ist bestimmt und ausschöpfbar, der Einzelfall unbestimmt und unerschöpflich, aber jeder dieser Pole nimmt, indem beide aufeinander bezogen sind, Züge seines Gegenteils an. Dadurch gehen sie zugleich ineinander über, und dieser Übergang entfaltet sich in der menschlichen Tätigkeit zum zeitlichen Prozeß, indem Strukturen (Gesetze) aus individuellen Fällen erkennend erschlossen und Einzelerscheinungen durch [72] erkannte Strukturen (Gesetze) praktisch beherrscht werden."[15] Bei dieser Bestimmung des dialektischen Korrelats für den Strukturbegriff geht eine wesentliche Beziehung des dialektischen Determinismus unter. Wir fassen ihn als die Anerkennung der Bedingtheit (Kausalität) und Bestimmtheit (Struktur) der Objekte und Prozesse auf. Gesetze existieren auf der Grundlage eines Komplexes von Kausalbeziehungen, die offensichtlich eine bestimmte Struktur haben müssen, da die Anerkennung objektiver, relativ stabiler Systeme Voraussetzung für die Erkenntnis überhaupt ist. Die dialektische Einheit von (Veränderung) und Bestimmtheit (Beziehungen in einem bestimmten Zeitintervall) oder von Kausalität und Struktur ist damit Grundlage für die Erkenntnis. Das Gedankenexperiment, nur die universelle Wechselwirkung anzuerkennen, würde für die Erkenntnis dazu führen, daß wir kein Objekt erkennen können, da für jede Erkenntnis die Kenntnis des Universums wichtig wäre. Deshalb interessiert uns auch nicht die universelle Bedingtheit zu allen Zeiten, sondern die Bedingtheit der Elemente eines Systems in einem bestimmten Zeitintervall und ihre Bestimmtheit. Dabei abstrahieren wir bereits von der Elementstruktur und äußeren Einwirkungen, wenn wir die Systemgesetze erkennen wollen. Mehr

[12] Vgl. N. F. Owtschinnikow, Die Kategorie Struktur in den Naturwissenschaften, in: Struktur und Formen der Materie, Berlin 1969.
[13] Vgl. H. Laitko, Struktur und Dialektik, in: DZfPh, Heft 6, 1968, G. Kröber, Strukturgesetz und Gesetzesstruktur, in: DZfPh, Heft 2, 1967. Auf eine Reihe von erkenntnistheoretischen Problemen, die mit dieser Auffassung verbunden sind, wird im fünften Abschnitt dieses Kapitels eingegangen.
[14] Auf die notwendige Berücksichtigung nicht nur von Kategorienpaaren zur Darstellung dialektischer Beziehungen wird eingegangen in: H. Hörz, Zur dialektischen Beziehung zwischen Inhalt und Form, in: DZfPh, Heft 3, 1966, S. 304 f.
[15] H. Laitko, Struktur und Dialektik, S. 694 f.

noch, wir suchen in der Systemstruktur die allgemein-notwendigen und wesentlichen Beziehungen auf. Die kausal bedingte und strukturell bestimmte Bewegung der Elemente in einem System ist damit die Grundlage für die Existenz von Gesetzen. Daher haben wir also als wichtiges dialektisches Korrelat die Beziehung von Kausalität und Struktur zu untersuchen.

Noch eine weitere Schwierigkeit entsteht bei der Entgegensetzung von Einzelfall und Struktur. Wenn das Gesetz aus der konkreten Vermittlung des Zusammenhangs in der Kausalität die allgemein-notwendigen und wesentlichen Beziehungen hervorhebt, so ist das nur möglich, weil diese Vermittlung selbst eine innere Struktur besitzt. Selbst wenn die klassische Mechanik den Körper als Massenpunkt betrachtete, so trug sie doch seiner Strukturiertheit Rechnung, indem sie diesen Massenpunkt etwa mit dem Schwerpunkt identifiziert. Die Diskussionen der modernen Physik um den Begriff „Ort“ und „Koordinate“, um Elementarlängen und Struktur der Elementarteilchen verweisen darauf, daß auch in der Theorie die Strukturiertheit materieller Objekte berücksichtigt werden muß. Wenn nun Struktur mit Gesetz identifiziert wird, dann wird diese Bestimmtheit in der kausalen Bedingtheit im Einzelobjekt nicht mehr gesehen, sondern reduziert auf die wesentliche Struktur.

[73] Wenn Mathematik und Logik undifferenziert die Struktur als Gesamtheit der Beziehungen zwischen den Elementen eines Systems fassen, dann kann die philosophische Präzisierung nicht allein darin bestehen, nur die wesentlichen Beziehungen mit diesem Begriff zu erfassen, ohne anzugeben, mit welchem Begriff die Gesamtheit der anderen Beziehungen zu erfassen ist. Die philosophische Präzisierung muß dagegen zeigen, daß die Differenzierung aller Beziehungen in allgemeine und besondere (einzelne), notwendige und zufällige, wesentliche und unwesentliche für eine dialektische Analyse wichtig ist und Unterscheidungsmerkmale zwischen ihnen aufzeigen. Dabei bleibt der Inhalt dieses Begriffs erhalten und wird nicht eingeengt. Wenn wir nun zu dem von Lenin benutzten Begriff der Materiestruktur übergehen, dann können wir ihn als die Gesamtheit der Beziehungen materieller Objekte untereinander fassen. Jede konkrete Bestimmtheit materieller Objekte unterliegt der einzelwissenschaftlichen Forschung. Aussagen darüber müssen auf ihre Wahrheit in der Praxis überprüft werden. Auch die von der Philosophie aus den einzelwissenschaftlichen Erkenntnissen abgeleiteten allgemeinen Strukturaussagen unterliegen der einzelwissenschaftlichen Überprüfung im komplizierten Erkenntnisprozeß durch die Präzisierung philosophischer Aussagen und die Aufstellung philosophischer Hypothesen. Sie beziehen sich ebenfalls auf die Gesamtheit der Beziehungen materieller Objekte untereinander, die allgemeine und besondere, notwendige und zufällige, mögliche und wirkliche usw. Beziehungen sein können. Die Entwicklung der Wissenschaft bringt stets neue philosophische Strukturprobleme mit sich. Einerseits geht es um die Verteidigung des materialistischen Standpunkts, andererseits um die notwendige philosophische Analyse der neuen Strukturaussagen. Interessant ist in diesem Zusammenhang Lenins Auffassung zu Raum und Zeit: „In seiner Mechanik verteidigt Mach die Mathematiker“, schreibt er, „die die Frage denkbarer Räume von *n* Dimensionen untersuchen, gegen den Vorwurf, daß sie alle schuld seien, wenn aus ihren Untersuchungen ‚monströse‘ Schlußfolgerungen gezogen werden. Zweifellos eine ganz berechtigte Verteidigung ... Denn die Materialisten, die die wirkliche Welt, die von uns wahrgenommene Materie, als *objektive* Realität anerkennen, haben das Recht, daraus zu schließen, daß alle menschlichen Erfindungen, welchem Zwecke sie immer dienen, die über die Grenzen von Zeit und Raum hinausgehen, *unwirklich* sind.“[16]

Die von Lenin geübte Kritik an Mach, materialistische Standpunkte dann zu benutzen, wenn vom Spiritismus abgerückt werden soll, aber sonst den Materialismus zu verlassen, haben wir hier ausgelassen. Es geht wiederum [74] um die materialistische Haltung zu Raum und Zeit einerseits und um die einzelwissenschaftlichen Erkenntnisse über die Raum-Zeit-Strukturen

[16] W. I. Lenin, Werke, Bd. 14, S. 177 f.

andererseits. Lenin nimmt zum ersten Stellung. Das wird deutlich, wenn er Basarow kritisiert, „daß er die Veränderlichkeit der menschlichen Begriffe von Zeit und Raum, ihren ausschließlich relativen Charakter verwechselte mit der Unveränderlichkeit der Tatsache, daß der Mensch und die Natur nur in Zeit und Raum existieren ...“[17] Offensichtlich geht es bei dieser philosophischen Fragestellung noch nicht um eine Aussage über die objektiven Raum-Zeit-Strukturen. Aber auch diese unterliegen der philosophischen Analyse. Durch sie wird deutlich, daß es sich um verschiedene Raumbegriffe handelt, wenn über den objektiven Raum und über die mathematischen Räume gesprochen wird. Die Entwicklung der Wissenschaft zeigt jedoch, daß beide nicht unabhängig voneinander existieren. Mit der Entwicklung der Relativitätstheorie wurde die Einheit von Materie, Bewegung, Raum und Zeit nachgewiesen. Die sich bewegenden materiellen Objekte weisen in ihrer Bedingtheit eine raum-zeitliche Struktur auf, mit der das Neben- und Nacheinander der materiellen Prozesse charakterisiert wird. Es gibt keine allgemeine Weltzeit und keinen absoluten Raum.

In der Funktionalanalysis versteht man unter einem abstrakten Raum eine Menge von Elementen, innerhalb derer ein Grenzübergang erklärt ist. Für bestimmte Räume erklärt man dann bestimmte Operationen, wie Addition, Multiplikation usw. für bestimmte Elemente. Da der objektive Raum, besser die objektive Raum-Zeit, nicht ein materielles Objekt ist, das neben anderen existiert, sondern erst durch die materiellen Objekte als bestimmte Beziehung konstituiert wird, ist mit der Anerkennung der objektiven Realität auch die Objektivität der Raum-Zeit gegeben. Die Theorien über die Raum-Zeit müssen an den materiellen Objekten überprüfbar sein. Das traf für die Relativitätstheorie zu und wird auch für andere Raum-Zeit-Theorien zutreffen. Damit ist die Grundfrage der Philosophie materialistisch für dieses Problem beantwortet, und Müller-Markus kommt zu einer völlig falschen Darstellung, wenn er schreibt: „Die im Erkenntnisrealismus geschulten Sowjetphilosophen verwarfen die spezielle Relativitätstheorie als eine kantianische, subjektivistische und agnostische Pseudo-Theorie. Erst Fock zeigte, daß die Relativität keinen Verlust an Objektivität bringt.“[18] Nur wer Lenins Auffassung entstellte, konnte zu einer Ablehnung der Relativitätstheorie kommen. Zwar sind manche Aussagen von Lenin über die Struktur der Raum-Zeit von den Erkenntnissen um die Jahrhundertwende [75] durchdrungen. Aber das entsprach gerade seiner Haltung. Er übernahm gesicherte naturwissenschaftliche Erkenntnisse, um sie philosophisch zu interpretieren. Viel wichtiger ist jedoch seine prinzipielle Haltung, die von der Anerkennung objektiver Raum-Zeit-Strukturen ausging. Präziser kann man heute Lenins Argumentation ausdrücken, wenn man die These „Raum und Zeit sind Existenzformen der Materie“ als die Erkenntnis auffaßt, daß die einzelwissenschaftlichen Raum-Zeit-Theorien Widerspiegelungen der objektiven Raum-Zeit-Strukturen materieller Objekte und Systeme sind.

Lenins philosophische Aussage sollte gerade nicht als Auffassung über die Raum-Zeit-Struktur verstanden werden, sondern drückte den materialistischen Grundstandpunkt, verbunden mit der These von der materiellen Einheit der Welt, aus.

Für die Untersuchung der Raum-Zeit-Strukturen sind Lenins Bemerkungen zur Unerschöpflichkeit der Materie und zur Ablehnung absoluter Substanzen wesentlich. Da der objektive Raum als ein Teil der Struktur materieller Systeme erscheint, kann auch die Frage gestellt werden, ob die absolute Selbständigkeit räumlicher Beziehungen gegenüber anderen immer hervorgehoben werden kann. Offensichtlich geht es gegenüber den zeitlichen schon nicht mehr. Auch das ist eine Bestätigung der Leninschen Auffassung, daß nichts Absolutes existiert. Sicher werden weiterhin nicht nur raum-zeitliche Beziehungen, sondern mehr noch als bisher andere das Verhalten der materiellen Objekte in unseren Theorien charakterisieren.

[17] Ebenda, S. 182.
[18] Contemporary Philosophy, Bd. II, Florenz 1968, S. 263 f.

Reichte es für die Massenpunktmechanik aus, die Raumkoordinaten des Massenpunkts anzugeben, so muß die Elementarteilchentheorie eine Vielzahl von Charakteristika der Objekte in verschiedenen Quantenzahlen berücksichtigen. Wenn wir nun allgemein den mathematischen Raum als ein Beziehungsgefüge ansehen, dann kommt er der hier charakterisierten Auffassung entgegen. Er stellt damit eine verallgemeinerte Raumauffassung dar, wobei die Struktur des Raumes durch verschiedene Operationen erfaßt wird.

So viel wird aber auch hier wieder klar: Jede philosophische Analyse naturwissenschaftlicher Erkenntnisse hat als Grundvoraussetzung ihrer Wissenschaftlichkeit den materialistischen Standpunkt, der das Primat der Materie gegenüber dem Bewußtsein, also auch das Primat der objektiven Struktur gegenüber der Theorie über diese Struktur betont. Davon ausgehend müssen dann die einzelwissenschaftlichen Erkenntnisse über die Materiestruktur als der Gesamtheit der Beziehungen materieller Objekte untereinander philosophisch untersucht werden, um zu Aussagen über die Wissenschaftsorientierungen zu kommen.

Wenn wir Materiestruktur als Gesamtheit der Beziehungen zwischen mate-[76]riellen Objekten fassen, dann können wir eine weitere begriffliche Differenzierung vornehmen, die im philosophischen Sprachgebrauch schon angelegt ist, aber nicht immer bewußt genutzt wird. Das führt manchmal zu sprachlichen Verwirrungen. Die Gesamtheit der von der Wissenschaft untersuchten materiellen Objekte können wir, bezogen auf ihre allgemeinen Eigenschaften, die sie zu großen Gruppen zusammenfassen lassen, als Materiearten bezeichnen. Für die Physik sind das Stoff und Antistoff sowie das Feld. Die Umwandlung von einer Materieart in die andere, so von Teilchen mit in solche ohne Ruhemasse, bestätigt den dialektisch-materialistischen Grundgedanken von der Einheit der Welt in der Materialität. Die Materiearten stehen im objektiven Struktur-, Bewegungs- und Entwicklungszusammenhang. Eben diese Beziehungen zwischen den materiellen Objekten bezeichnen wir als Materieformen oder manchmal auch als Existenzformen der Materie. Grundlegende Existenzform der Materie ist die Bewegung, die von den Klassikern als Daseinsweise der Materie erfaßt wird. Die materielle Bewegung stellt den Zusammenhang zwischen den materiellen Objekten her und bestimmt und bedingt ihre innere Struktur und ihren Platz im materiellen System. Wir werden darauf bei der Betrachtung der Kausalität noch einmal zurückkommen.

Materiestruktur ist also Gesamtheit der Beziehungen zwischen materiellen Objekten unter Berücksichtigung der Dialektik von Objekt und Beziehungen, die im konkreten Fall ihren Platz tauschen können[19], die Einheit von Materiearten und Materieformen. Die Materieformen sind dabei die allgemeinen Beziehungen zwischen den Objekten, die philosophisch in den Kategorien Bewegung, Zusammenhang, Entwicklung, Raum-Zeit erfaßt werden. Die Konkretisierung der Art und Weise, wie diese Materieformen existieren, führt zu den Bewegungsformen, den Formen des Zusammenhangs, wie Kausalität und Gesetz und den Entwicklungsformen.

Wir untersuchen in den folgenden Kapiteln die Ergebnisse der Elementarteilchenphysik, die für die philosophischen Aussagen zu den physikalischen Materiearten und zu den Materieformen von Bedeutung sind.

3. Strukturiertheit als allgemeines Prinzip

Wenn wir, ausgehend vom Leninschen Materiebegriff, die Frage nach der erkenntnisfördernden Funktion der marxistisch-leninistischen Philosophie für die naturwissenschaftliche Forschung stellen, dann kann die Antwort [77] nur lauten: Es müssen die aus dem materialistischen Standpunkt sich ergebenden Konsequenzen durchdacht und formuliert werden, wobei das naturwissenschaftliche Material notwendige Grundlage der zu präzisierenden Begriffe

[19] Vgl. dazu DZfPh, Heft 3, 1966, S. 307.

und der aufzustellenden Hypothesen sein muß. Wir wollen an der These von der Strukturiertheit materieller Objekte verdeutlichen, wie sich dieser Weg vollziehen kann, wobei wir auf einige Diskussionen in der Elementarteilchenphysik eingehen werden.

Die Anerkennung des Primats der Materie gegenüber dem Bewußtsein ist nicht nur Voraussetzung wissenschaftlicher Erkenntnis, sondern hat auch philosophische Konsequenzen. Wie wir an Lenins Argumentation in den verschiedensten Fragen sahen, nutzte er die materialistischen Thesen auch zur Einschätzung erkenntnistheoretischer Standpunkte der Physiker aus. So ergibt sich aus dem Primat der Materie und der These von der Erkennbarkeit der materiellen Objekte die Anerkennung des objektiven Zusammenhangs. Wäre der objektive Zusammenhang an irgendeiner Stelle durchbrochen, dann wäre an dieser Stelle die Erkennbarkeit prinzipiell nicht gegeben. Man kann folgendes Gedankenexperiment vollziehen: Objektiver Zusammenhang bedeutet im Einklang mit der Relativitätstheorie, daß es keinen materiellen Bereich gibt, der nicht durch materielle Prozesse mit anderen Bereichen verbunden ist, d. h., er muß Wirkungen ausüben, die prinzipiell auch auf die Sinnesorgane ausgeübt werden könnten und deshalb zu Erkenntnissen führen. Dabei können die Wirkungen auch vermittelt werden und müssen nicht unmittelbar erfolgen. Denken wir uns nun einen Bereich, der völlig isoliert wäre, weil er keine Wirkungen auf andere Bereiche ausübt. Dieser Bereich wäre ein unerkennbares Ding an sich. Da er keine Wirkungen ausübt, also nicht durch materielle Prozesse mit anderen Bereichen verbunden ist, ist an dieser Stelle der objektive Zusammenhang durchbrochen. Dieser Bereich ist prinzipiell nicht erkennbar, weil Erkenntnis mindestens vermittelte Wirkungen auf die Sinnesorgane voraussetzt.

Die These von der prinzipiellen Erkennbarkeit der Welt ist also mit der These vom objektiven Zusammenhang notwendig verbunden. Erkenntnis verlangt aber Analyse, Veränderung der Wirklichkeit und Hervorhebung wesentlicher Seiten aus der objektiven Wechselwirkung. Voraussetzung für die Erkenntnis ist die Hierarchie der Beziehungen im objektiven Zusammenhang, seine Gliederung in Systeme, die wegen des objektiven Zusammenhangs nicht absolut voneinander isoliert sind, aber wegen ihrer relativen Stabilität doch gedanklich getrennt werden können. Erst dadurch können wir innere und äußere Beziehungen unterscheiden. Solche Systeme als relativ selbständige Bestandteile des objektiven Zusammenhangs kön[78]nen nur mit anderen Systemen in Wechselwirkung treten, wenn sie eine innere Struktur besitzen, durch die die Wechselwirkung vermittelt wird. Es ist jedoch nicht zu entscheiden, ob diese Systeme aus unteilbaren Grundbausteinen bestehen.

Wir betrachten dabei keine höheren Systeme, sondern nur physikalische und stellen die Frage, ob es letzte Grundbausteine der Materie gibt. Die Wissenschaftsgeschichte zeigt schon hier, daß geklärt werden muß, was man unter letzten Bausteinen verstehen will. Die Konzeption des mechanischen Materialismus, der sie in den Massenpunkten der klassischen Mechanik sah, die nur durch raum-zeitliche Beziehungen zu bestimmen sind, erwies sich schnell als unhaltbar. Aber die Elementarteilchenphysik machte auf eine neue Schwierigkeit aufmerksam. Bei hohen Energien entstanden aus bestimmten Teilchen andere, die man als Teile des Ganzen hätte ansprechen können, aber sie sind ebensolche Teilchen wie die anderen. Das Kriterium für Ganzes und Teile, das man sonst in der räumlichen Größe hat, versagt hier. Heisenberg schreibt dazu: „Daher beschreibt man diese Stoßprozesse am besten, nicht indem man behauptet, daß die stoßenden Teilchen zerschlagen worden seien, sondern indem man von der Entstehung neuer Teilchen aus der Stoßenergie im Einklang mit den Gesetzen der Relativitätstheorie spricht. Man kann sagen, daß alle Teilchen aus derselben Grundsubstanz gemacht seien, die man Energie oder Materie nennen kann, oder man kann formulieren: Die Grundsubstanz ‚Energie' wird zur ‚Materie', indem sie sich in die Form eines Elementarteilchens begibt. In dieser Weise haben uns die neuen Experimente gelehrt, daß man die beiden scheinbar widersprechenden Behauptungen: ‚Die Materie ist unendlich teilbar' und ‚Es gibt kleinste Einheiten der Materie' verein-

baren kann, ohne in logische Schwierigkeiten zu geraten. Dieses überraschende Ergebnis unterstreicht wieder, daß unsere gewöhnlichen Begriffe nicht unzweideutig auf diese kleinsten Einheiten angewendet werden können.“[20] Nach Heisenberg existiert als Grundsubstanz physikalischen Geschehens das Feld. Die Teilchen sind Erregungen dieses Feldes. Unter Materie versteht er hier Stoff oder Elementarteilchen. Das führt zu dem Gedanken, daß man auch Lenins These von der Unerschöpflichkeit der Materie mit der Annahme vereinbaren könnte, daß kleinste Einheiten der Materie existieren. Unerschöpflichkeit findet sich nicht mehr in der Vielzahl physikalischer Objekte, sondern in den Beziehungen zwischen diesen Objekten. Eine endliche Anzahl von letzten Teilchen wäre dann unerschöpflich in den Beziehungen. [79] Es gibt jedoch auch noch andere Möglichkeiten des physikalischen Herangehens an die Elementarteilchenproblematik. Für Heisenberg ist die Frage nach der Struktur der Teilchen unwesentlich, weil sie in der Frage nach der Struktur der Grundsubstanz aufgehoben ist. Für andere Richtungen ist jedoch auch die Frage nach der Struktur der Teilchen interessant. Vor allem müßte der Begriff der Teilbarkeit präzisiert werden. Inwiefern Teilchenstruktur und Teilbarkeit zusammenhängen, soll am Beispiel einer Diskussion unter Physikern gezeigt werden. Gell-Mann und Zweig schlugen im Jahre 1964 vor, zu den Fundamentalteilchen als den Bausteinen der Elementarteilchen dadurch zu kommen, daß die Elementarladung geteilt wird. Es würden sich dann hypothetische Teilchen, die Quarks, ergeben, die geteilte Ladungen besitzen. Nach diesen Teilchen wurde fieberhaft gesucht. Sie konnten aber bisher nicht gefunden werden.

Zwar gibt es Mitteilungen, daß diese Teilchen gefunden wären; so berichtet zuletzt McCusker in Budapest Mitte 1969 über neue Versuche. Aber noch wird auf den Bau größerer Beschleuniger gewartet, um einen sicheren Nachweis für ihre Existenz zu erhalten. Auch gab es Versuche, ohne die Hypothese der Quarks auszukommen. Um nun nicht eine geteilte Ladung annehmen zu müssen, schlug beispielsweise Salam vor, eine neue Quantenzahl Charm einzuführen, die zum selben Ergebnis führt.[21]

Einerseits zeigt sich in beiden Arten des Herangehens, daß die Charakteristik der Struktur durch raum-zeitliche Beziehungen nicht ausreicht. Andererseits wird jedoch eine neue Art der Teilbarkeit vorgeschlagen, nämlich bisher für unteilbar gehaltene Quantenzahlen zu teilen oder es wird eine neue Quantenzahl eingeführt, die dasselbe Ergebnis liefert. Die Teilung der Quantenzahlen führte zu hypothetischen Teilchen, die gefunden werden müßten. Damit wäre die Struktur der Elementarteilchen als Beziehung der hypothetischen Teilchen zu klären und nach der Struktur der Quarks zu suchen. Erweist sich jedoch die Einführung einer neuen Quantenzahl als richtig, dann wird die Struktur der Teilchen komplizierter, weil zu ihrer Charakteristik noch mehr Größen benutzt werden müssen. Man kann also das Strukturproblem auf ein noch tieferes Niveau verlagern, wenn man nicht nur an die räumliche Teilbarkeit, sondern an die Teilbarkeit der Quantenzahlen denkt, man kann aber auch von einer komplizierteren Struktur desselben Niveaus ausgehen, nur verschwinden wird dieses Problem nicht.

Wir sehen hierbei den Zusammenhang zwischen der philosophischen These [80] von der Strukturiertheit der Systeme und der Elementarteilchenphysik. Zwar kann die Philosophie keine Aussagen unabhängig von der einzelwissenschaftlichen Erkenntnis treffen, aber ihre Thesen können, verbunden mit diesen Erkenntnissen, heuristische Bedeutung haben.[22]

[20] W. Heisenberg, Das Naturgesetz und die Struktur der Materie in der Sicht der heutigen Forschung – Physik und Philosophie, in: Universitas, Heft 4, 1969, S. 339.

[21] Wir kommen auf diese Problematik im dritten und vierten Kapitel noch zurück. Hier soll nur unsere Haltung zur Strukturauffassung verdeutlicht werden.

[22] Das Prinzip der Strukturiertheit materieller Objekte wird in seiner Bedeutung für die Biologie ausführlich untersucht in: K. Fuchs-Kittowski, Probleme des Determinismus und der Kybernetik in der molekularen Biologie, Jena 1969.

In diesem Zusammenhang kann man dann auch die Frage nach der Wissenschaftsorientierung beantworten. Wie wir gesehen haben, sind Strukturuntersuchungen in der Physik nicht mehr auf das in seiner Struktur nicht interessante Objekt in seinen raum-zeitlichen Beziehungen gerichtet, wie das in der Massenpunktmechanik berechtigterweise der Fall war. Philosophisch verallgemeinert ging es im mechanischen Materialismus um die raum-zeitlichen Beziehungen der Atome, die komplizierte Systeme ergeben. Die Eigengesetzlichkeit dieser Systeme wurde geleugnet und damit jedes System auf seine Elementarbestandteile und seine Elementarbeziehungen, wenigstens prinzipiell, zurückgeführt. Diese Orientierung führte zur Untersuchung der Elemente des Systems als dem Primären. Es wurde der Körper, das Ding untersucht, das dem System angehört. Selbst die moderne Physik hat nun die Statistik nicht als ein Hilfsmittel zum Überschauen vieler Parameter, sondern als eine Wissenschaft zur Formulierung wesentlicher physikalischer Systemgesetze für die Systemparameter nachgewiesen.

Damit wird auch die in der marxistischen Philosophie längst erkannte Eigengesetzlichkeit komplizierter und komplexer Systeme deutlich. Diese Systeme haben nicht nur eine Element-, sondern auch eine Systemstruktur, auf deren Grundlage Systemgesetze erkannt werden können. Diese Strukturproblematik der Elementarteilchenphysik ist ein Teilproblem der Erforschung der Materiestruktur. Die in der Philosophie aus der Analyse der Erkenntnisse verschiedener Wissenschaften bereits aufgestellten Thesen über die Materieformen können heuristische Bedeutung für die Lösung der philosophischen Probleme der Elementarteilchenphysik erlangen.

Die Wissenschaftsorientierung, die sich aus dem philosophischen Prinzip der Strukturiertheit materieller Systeme und den physikalischen Erkenntnissen ergibt, kann also nicht auf die Erforschung des Einzelobjekts oder auf die Vernachlässigung der Systemstruktur hinauslaufen, sondern muß den Platz des Objekts als eines Elements im System, die Systemstruktur in ihren wesentlichen Seiten und damit die Systemgesetze bestimmen. Das wird ergänzt durch die Untersuchung der Elemente auf ihren Systemcharakter und ihre Systemgesetze. Damit steht nicht mehr das Ding im [81] Mittelpunkt wissenschaftlichen Interesses, sondern die Struktur der Systeme. In diesem Zusammenhang müssen dann weitere philosophische Aussagen, wie die von der Teilbarkeit, vom Verhältnis von Symmetrie und Asymmetrie, von Teil und Ganzem usw. geklärt werden. Jede Theorie über die Struktur von materiellen Objekten in materiellen Systemen und über die Systemstruktur durchläuft dabei mehrere Stadien.

4. Stufen der Strukturerkenntnis

Man kann die Stufen der Strukturerkenntnis sowohl logisch als auch historisch betrachten. Leider hat die Wissenschaftsgeschichte diese Entwicklung bisher ungenügend für einzelne Wissenschaften untersucht, so daß für den Philosophen nur wenig Material zu Verallgemeinerungen vorhanden ist.[23] Dabei ist es in der philosophischen Literatur, aber auch bei Naturwissenschaftlern immer wieder zu Vergleichen zwischen der griechischen und mittelalterlichen Philosophie und der modernen Wissenschaft gekommen. Solche Vergleiche beruhen meist auf Analogien, machen sich manchmal jedoch auch die Entwicklungsgesetze des Denkens zunutze, nach denen die dialektische Negation synthetischer Auffassungen durch die Untersuchung im Einzelnen wieder zur Synthese in der Negation der Negation führt, die keine einfache Rückkehr zum Alten darstellt und doch den rationellen Kern der ursprünglichen Auffassung aufgreift. Auf diese Weise ist es zu vielen Darstellungen des griechischen Atomismus und der Elementarteilchenphysik gekommen.

[23] Stufen der Strukturerkenntnis in der physikalischen Forschung sind im vorhergehenden Kapitel angedeutet worden, aber die eingehende historische Erforschung dieses Problems ist noch nicht erfolgt. Wie wichtig das aber ist, verdeutlicht gerade die Auseinandersetzung mit Rombach. Wir müssen unsere philosophiehistorischen Quellen für ein materialistisches Verständnis der Natur besser ausarbeiten und dabei die Geschichte der Wissenschaften ausnutzen.

In einer umfangreichen Arbeit versucht Rombach eine Beziehung zwischen der mittelalterlichen und der neuzeitlichen Strukturauffassung herzustellen. Er schreibt: „Es ist auffallend, wie übereinstimmend mittelalterliche und neuzeitliche Ontologie ist; dies zeigt sich freilich nur dann, wenn nicht Einzelaussage mit Einzelaussage unmittelbar verglichen, sondern jede erst auf den verschiedenen Rahmen zurückbezogen wird, den die ontologische Grundkonzeption zieht. Unmittelbar und nach dem bloßen Wortlaut genommen treten nur Gegensätze und Widersprüche hervor ... Ein frucht-[82]bares Verhältnis zwischen beiden Positionen kann sich nur anbahnen, wenn der ontologische Charakter des wissenschaftlichen Denkens insgesamt und zugleich die Besonderheit und historische Umgrenztheit des griechischen und mittelalterlichen Seinsverständnisses bewußt ist und festgehalten wird.“[24] Sicher haben solche Vergleiche ihre Bedeutung. Es ist jedoch für unsere Betrachtung wichtig, welche Auffassung der neuzeitlichen Philosophie dabei unterlegt wird. Die Feststellung Rombachs, daß der Begriff des Wesens wieder Einzug in die Wissenschaft hält, ist berechtigt. Die Versuche des Positivismus und Neopositivismus, die Wesenserkenntnis aus der Wissenschaft zu verbannen, sind gescheitert. Aber das bedeutet sicher nicht eine Rückkehr zur mittelalterlichen Fragestellung der damals offiziellen Philosophie nach dem Sein des Seienden.

Der Materialismus in seiner wissenschaftlichen Form als dialektischer Materialismus hat die Frage nach dem Ursprung des Seins und den Quellen des Wissens durch die Ausarbeitung des Materiebegriffs beantwortet. Sicher ergeben sich für den Materialismus aus den wissenschaftlichen Erkenntnissen neue zu lösende Probleme, die Präzisierungen philosophischer Begriffe und philosophische Hypothesen verlangen, dennoch gibt es kein Anzeichen dafür, daß die endlich geschaffene Verschmelzung von Ontologie und Gnoseologie zugunsten der Ontologie aufgehoben werden müßte. Das kommt in Rombachs Arbeit zum Ausdruck.

Nach der Darstellung der mittelalterlichen Konzeption durch Rombach, deren wesentliche Seiten er in der causa formalis, causa finalis, causa officiens und in der Möglichkeit einer allein existierenden Form sieht, stellt er fest: „Für unser heutiges Seinsverständnis ist dies nur noch schwer nachzuvollziehen. Wir nehmen alles als ‚Ding‘: alles Seiende kommt in der bloßen Form des ‚Etwas überhaupt‘ miteinander überein. Unterschieden sind die Sachen nur durch ihre Eigenschaften. Für das Mittelalter liegen jedoch die Grundunterschiede den Eigenschaften voraus schon in der Art und Weise des Seinsvollzuges und der Selbstdarstellung im Wesen.“[25] Der Einzug des Wesensbegriffs in die Wissenschaft ist keine Rechtfertigung der mittelalterlichen Ontologie, wie es hier angelegt wird. Einerseits werden nämlich die Konsequenzen der modernen Wissenschaftsorientierung, wie sie auch vom dialektischen Materialismus verallgemeinert wird, nicht richtig aufgezeigt. Lenin wies schon nach, daß es nach der Klärung des materialistischen Grundstandpunkts die Aufgabe der Wissenschaft ist, ihre [83] Kenntnisse über die Materiestruktur zu erweitern. Das Wesen kann also nur als Teil der Struktur existieren, als wesentliche Struktur. Das muß begriffen werden, damit der gedankliche Weg zum Idealismus oder zur thomistischen Ontologie verbaut wird. Wir heben auch die Selbständigkeit des Dingbegriffs auf und orientieren uns auf die Art der Wechselwirkung, in der die Elemente eines Systems sich befinden. In dieser Wechselwirkung offenbaren sie und erhalten sie ihre Eigenschaften. Man muß also den Weg schon konsequent weitergehen und die Antwort auf alle wissenschaftlichen Fragen aus den Erkenntnissen über die Materiestruktur suchen.

Andererseits liegt die Begründung für die wissenschaftliche Arbeit und damit letzten Endes ihre Sinngebung ebenfalls im Materialismus vor. Die Strukturen objektiver Systeme, auch der gesellschaftlichen, werden untersucht, um zu gesellschaftlichen Gesetzen zu gelangen. Die

[24] H. Rombach, Substanz, System, Struktur, Bd. I, Freiburg – München 1965, S. 24, (Zur Auffassung von Rombach vgl. Rezension in: DZfPh, Heft 5, 1968, S. 634.)
[25] Ebenda, S. 68.

Klassiker des Marxismus-Leninismus haben dafür eine umfangreiche Arbeit geleistet und die theoretischen Grundlagen des wissenschaftlichen Sozialismus gelegt.

Von beiden Seiten her, sowohl von der eigentlichen Strukturuntersuchung als auch von der Sinngebung der wissenschaftlichen Arbeit, ist keine Ontologie notwendig, die zu einem abstrakten Wesen des Seins tendiert. Die Gesetze der gesellschaftlichen Entwicklung können nur aus ihr selbst heraus gewonnen werden, und die Untersuchung der Materiestruktur liefert die wesentlichen Beziehungen der objektiven Systeme, ohne zu einem allgemeinen Wesen zu tendieren. Deshalb stimmt auch das Fazit der Untersuchungen Rombachs nicht: „So zeichnet sich das Ziel einer Erkenntnisarbeit ab, die sich einerseits auf die unvermischten und für wahres Menschsein unendlich wichtigen Sinnbestimmungen, andererseits auf die Welt, die nicht nur in äußerer Zugänglichkeit, sondern in innerer Entsprechung dieses Menschsein ermöglicht, bezieht. Eine menschengemäße Welt und ein weltgemäßer Mensch gehören in jener Zuordnung zusammen, die einen aus der Natur der Wahrheit selbst erfließenden Humanismus bedeutet. Von hier aus stellt sich der ältere Begriff der Substanz als eine Seinskonzeption dar, die noch ungeschieden Freiheitliches und Natürliches in sich enthält. Mit diesem Grundbegriff konnte sowohl die Sinnwelt des Menschen, wie die Natur der Dinge beschrieben werden. Im Verlauf der Geschichte differenzierte sich jedoch dieser Begriff in seine zwei Elemente, Substanz (im engeren Sinne) und Struktur (im engeren Sinne), die zwar nicht homogen, aber doch einander aufs genaueste zugeordnet sind. Da sie nun schon auseinandergerieten, besteht nur in ihrer äußersten und reinsten Fassung, gleichsam in ihrer rückhaltlosesten Feindschaft die Möglichkeit ihres neuen Zusammenstimmens. Je differenzierter die polaren Elemente, desto reiner, [84] entschiedener und klarer ihre Einheit.“[26] Der Sinn menschlicher Tätigkeit, des Klassenkampfes gegen den Imperialismus und für den Sieg des Sozialismus kann nur aus der Erkenntnis der gesellschaftlichen Entwicklungsgesetze selbst gewonnen werden. Ihre Analyse veranlaßte Marx, den Weg zum Kommunismus zu zeigen. Rombachs Trennung von Sinngebung und Strukturerkenntnis ist deshalb schon von vornherein falsch. Auch die Analyse gesellschaftlicher Zusammenhänge fällt unter das, was Lenin mit Materiestruktur bezeichnete, soweit es nicht um die prinzipielle Anerkennung des Primats des gesellschaftlichen Seins gegenüber dem gesellschaftlichen Bewußtsein geht. Sinngebung ohne Materiestruktur ist sinnlos, weil Spekulation. Es bedarf keiner Vereinigung der Sinngebung mit der wissenschaftlichen Erkenntnis der Materiestruktur, weil beide nicht getrennt werden können, wenn man materialistisch an die Wirklichkeit herangeht. Der Kern der Rombachschen Erkenntnisstufen der Substanz und Struktur ist deshalb die Rechtfertigung, zu einer idealistischen Konzeption überzugehen, die die Strukturauffassung (als Bestandteil der marxistisch-leninistischen Philosophie) für die Gesellschaft leugnet und damit den objektiven Charakter gesellschaftlicher Gesetze nicht anerkennt. Damit ist sie aber auch eine Verfälschung der Strukturauffassung der modernen Wissenschaft überhaupt, die die Unhaltbarkeit des Substanzgedankens nachgewiesen hat.[27]

Unabhängig von diesem untauglichen Versuch, den alten Substanzgedanken wieder aufleben zu lassen, könnte man verschiedene Aspekte der Strukturerkenntnis unterscheiden:

Erstens geht es um die historisch die Darstellung der qualitativen Vielfalt materieller Objekte und Prozesse ablösende Erfassung materieller Objekte in raum-zeitlichen Beziehungen, die mit den Namen Galilei, Kopernikus, Kepler und Newton gekennzeichnet ist. Jede Struktur sollte sich danach als raum-zeitliche Beziehung qualitativ identischer kleinster Teilchen erweisen. Gegenüber den genialen Hypothesen der griechischen Atomisten war das ein wichtiger Erkenntnisfortschritt, weil er die Struktur erfaßbar und erkennbar machte, was sich in den

[26] H. Rombach, Substanz, System, Struktur, Bd. II, Freiburg – München 1966, S. 322.
[27] Zum Verhältnis von Materiebegriff und Substanzgedanken vgl. H. Hörz, Materialismus und moderne Physik, in: DZfPh, Sonderheft 1966, S. 55 ff.

Erfolgen der klassischen Physik zeigte. Zugleich wurde damit die Materiestruktur letzten Endes auf eine Materieart, nämlich die letzten unteilbaren Teilchen, und eine Materieform die Beziehungen zwischen diesen Teilchen, wie sie in den Gesetzen der klassischen Mechanik gegeben sind, eingeschränkt.

Zweitens ist jedoch die Eigengesetzlichkeit verschiedener objektiver Systeme zu beachten. Darauf machte schon Engels aufmerksam, als er die [85] höheren von den niederen Bewegungsformen unterschied und neben ihrem inneren Zusammenhang auf ihre relative Selbständigkeit aufmerksam machte. Jede Systemstruktur hat einen Platz in der Hierarchie (Rangfolge) der Systeme, die nebeneinander existieren und sich gegenseitig durchdringen, aber auch als besondere allgemeineren untergeordnet sein können. Insofern ergibt sich eine zu beachtende Abhängigkeit der wesentlichen Systemstrukturen voneinander. Damit wird auch auf die Reichhaltigkeit der Beziehungen zwischen materiellen Objekten verwiesen. Die Natur ist unendlich kompliziert. Es werden neue Objekte mit neuen Eigenschaften gefunden und neue Beziehungen zwischen den Objekten entdeckt. Die Bewegungs- und Entwicklungsformen der Materie erstrecken sich von der physikalischen zur gesellschaftlichen Bewegung, wobei die Materieformen in den verschiedenen Systemen spezifische Besonderheiten aufweisen. Wir befassen uns hier mit der physikalischen Bewegungsform und einer bestimmten Materieart, den Elementarteilchen.

Drittens bilden sich auf der Grundlage des inneren Zusammenhangs der Systemstrukturen allgemeine Theorien heraus, die verschiedene Bereiche zusammenfassen, indem sie die gemeinsamen Strukturen hervorheben. Das gilt auch für Grenzbereiche zwischen verschiedenen Wissenschaften, wie die Anwendung der Quantentheorie auf die Chemie oder die Entwicklung der Bionik.

Viertens sind allgemeine Strukturtheorien entwickelt worden, die nach dem Vorbild der Mathematik unter Ausnutzung mathematischer Theorien Aussagen über Strukturen unabhängig von den Systemen machen. Hier wäre die sich entwickelnde kybernetische Systemtheorie zu nennen, wenn man nicht sogar die gesamte Mathematik anführt, die sich mit möglichen Relationen in definierten Systemen befaßt und neuerdings mit der Kategorientheorie eine „Strukturtheorie“ der Mathematik geschaffen hat.

Wir sehen, daß die Strukturerkenntnis verschiedene Seiten und Etappen hat. Es gibt keinen linearen Weg zur Strukturerkenntnis, der von der allgemeinen Strukturtheorie deduktiv zur bestimmten Systemstruktur führt oder induktiv von der Systemstruktur über allgemeine Theorien bis zu Strukturtheorien aufgebaut werden könnte. Alle Aspekte befruchten sich gegenseitig. Es wäre jedoch interessant, sowohl den historischen als auch den logischen Weg der Strukturerkenntnis eingehend zu verfolgen. Damit würde man der Forderung Lenins nachkommen, mit der Quintessenz der Geschichte der Naturwissenschaft, Technik und Philosophie zu zeigen, wie sich die Erkenntnis der Materie bis zur Erkenntnis der Ursachen der Erscheinungen vertieft.[28] [86]

5. Philosophische Bemerkungen zu Struktur und System in kybernetischer Sicht

Da die Systemtheorie Hinweise auf die Beziehungen zwischen System und Struktur enthält, wollen wir auf einige Aussagen kritisch eingehen, die von O. Lange gemacht wurden. Einerseits hilft uns die kybernetische Systemtheorie, philosophische Thesen zu präzisieren. Andererseits zeigt sie die notwendige philosophische Kritik an der Verschleierung philosophischer Probleme durch die einseitige Verwendung kybernetischer Termini zur Darstellung philosophischer Erkenntnisse. Es soll deshalb das Verhältnis von System, Struktur und Gesetz betrachtet werden.

[28] Vgl. W. I. Lenin, Werke, Bd. 38, S. 149.

Oskar Lange stützt sich in seiner Arbeit „Ganzheit und Entwicklung in kybernetischer Sicht“ auf die in der Mathematik und Logik übliche Bestimmung, nach der ein System eine Menge von Elementen zusammen mit einer Menge von Beziehungen zwischen diesen Elementen bezeichnet und Struktur die Menge der Beziehungen ist. Er selbst befaßt sich mit dem System aktiver Elemente, bei denen Einflüsse der Elemente aufeinander vorliegen, die stofflicher, energetischer oder informeller Natur sind.

Lange gibt folgende Definitionen: „Eine Menge gekoppelter aktiver Elemente heißt ein System aktiver Elemente oder kurz ein System ... Das Netz der Kopplungen zwischen den Elementen heißt die Struktur des Systems.“[29]

Ausgehend von diesen Bestimmungen kann Lange dann die Verhaltensweise des Systems als das kombinierte Resultat aus den Verhaltensweisen der einzelnen Elemente und der Struktur des Systems darstellen:

$$
\begin{array}{lcl}
X' & = & ST\,(X) \\
Y' & = & TS\,(Y) \\
[X & = & \text{Gesamtvektor der Eingangszustände} \\
Y & = & \text{Gesamtvektor der Ausgangszustände} \\
S & = & \text{Strukturmatrix} \\
T & = & \text{Matrix der Verhaltensweise der Elemente} \\
\begin{matrix} X' \\ Y' \end{matrix} & = & \text{Eingangs- und Ausgangszustände nach der Transformation]}
\end{array}
$$

Mit dieser Betrachtungsweise kann, wie Lange richtig bemerkt, die neue Qualität der Ganzheit gegenüber den Elementen durch die Strukturmatrix ausgedrückt werden, da bei gleichbleibendem Verhalten der Elemente, aber anderer Strukturmatrix eine andere Verhaltensweise des Systems vor-[87]liegt.[30] Es wird jedoch nichts darüber gesagt, ob andere Elemente bei gleicher Struktur zu einem neuen System gehören oder nicht. Nach der Auffassung von Lange würde sich das als Konsequenz ergeben, denn es bleibt zwar *S* gleich, aber *X* und *Y* wechseln und damit auch *T*.

Damit beginnt bereits die philosophische Problematik: Es gehört zu den Voraussetzungen wissenschaftlicher Erkenntnis, daß relativ stabile objektive Systeme existieren, die durch Beziehungen zwischen den Elementen charakterisiert sind. Wichtig für die Orientierung der wissenschaftlichen Arbeit ist die philosophische Einsicht in die bestimmenden Aspekte des Systems. Einerseits gab es Versuche, alle im System enthaltenen Faktoren, die Elemente, ihre Struktur und die Systemstruktur, sowie die äußeren Beziehungen zu berücksichtigen. Diese Wissenschaftskonzeption wurde vom mechanischen Determinismus vertreten, für den es letzten Endes nur noch notwendige erkennbare Zusammenhänge gab. Damit wird jedes System einmalig, unwiederholbar. Erkenntnis würde eine nie vollständige Beschreibung der zum System gehörenden Faktoren bedeuten. Deshalb hob andererseits der dialektische Determinismus in seiner Kritik dieser Auffassung hervor, daß in den Systemen eine Hierarchie von Beziehungen existiert, wobei die Erkenntnis der Gesetze, d. h. allgemein-notwendiger und wesentlicher Zusammenhänge, das Ziel ist. Das verlangt die Unterschneidung verschiedener Formen des Zusammenhangs.

Bei den Diskussionen um das Verhältnis von Struktur und Gesetz wird von einigen Autoren versucht, den Konsequenzen des mechanischen Determinismus durch die Gleichsetzung von Struktur und Gesetz zu entgehen. Diese Auffassung hat den Vorteil, daß bestimmend für die Unterscheidung der Systeme die Gesetze werden. Es ist also ein wesentliches Untersu-

[29] O. Lange, Ganzheit und Entwicklung in kybernetischer Sicht, Berlin 1966, S. 18.
[30] Ebenda, S. 28 ff.

chungsmerkmal für Systeme vorhanden, was die Beschreibung aller Faktoren, die von Lange genannt werden, ersetzt. Die erkenntnistheoretische Problematik der Systemerkenntnis kann also in zwei extremen Standpunkten gelöst werden, sowohl durch die Forderung nach Erkenntnis aller Faktoren, als auch durch die Festlegung, daß Struktur und Gesetz das invariante Beziehungsgefüge eines Systems seien, das erkannt werden muß. Ich möchte, ehe ich auf dieses Verhältnis von Struktur und Gesetz eingehe, noch einige kritische Bemerkungen zum anderen Standpunkt machen.

Offensichtlich kann man ein System nicht durch *alle* von Lange charakterisierten Faktoren bestimmen. Das würde nämlich von uns verlangen, zur Charakteristik jedes Systems alle Elemente, ihre Verhaltensweise und die Strukturmatrix zu kennen. Die Versuche, in dieser Art und Weise Wissen-[88]schaft zu betreiben, sind jedoch von den Klassikern des Marxismus-Leninismus kritisiert worden. Gerade diese mechanisch-deterministische Konzeption mit ihrer Leugnung des Zufalls und unwesentlichen Zusammenhangs führte bei der Entwicklung der Quantenmechanik zu Schwierigkeiten. In einem Strahl von Elementarteilchen, die beim Durchgang durch einen Spalt beobachtet werden und dann auf einen Leuchtschirm auftreffen, kann das Verhalten des Einzelobjekts nur mit Wahrscheinlichkeit bestimmt werden. Die Schrödingergleichung gibt die allgemein-notwendige und wesentliche Beziehung für das System an, während die Elemente bestimmte Möglichkeiten ihres Verhaltens zufällig verwirklichen, wofür eine Wahrscheinlichkeit angegeben werden kann. Diese statistische Konzeption bringt Probleme für die Langesche Struktur- und Systemauffassung mit sich, auf die wir im letzten Kapitel noch einmal zurückkommen werden, wenn es um die Symmetrieproblematik geht.[31]

Ein anderer Einwand bezieht sich darauf, daß die wirklich bestehenden Systeme, z. B. in der Physik, den Wechsel von Elementen und Beziehungen zulassen und deshalb die Struktur nicht nur auf Beziehungen reduziert werden kann.

An anderer Stelle habe ich auf die mit dem Elementbegriff verbundene Problematik aufmerksam gemacht. In der Elementarteilchentheorie muß berücksichtigt werden, daß die Teilchen sich ineinander verwandeln. Damit ändert sich nicht nur die Verhaltensweise des Elements, sondern ein Element verwandelt sich in ein anderes. Das läßt in der Erkenntnis die Gleichwertigkeit von Elementen und Beziehungen im System fraglich werden und weist auf die Bedeutung der Struktur bei wechselnden Elementen zur Systemcharakteristik hin.

Hier muß man auch noch die These von der Unerschöpflichkeit der Materie erwähnen, die die Schwierigkeit von erschöpfenden Elementuntersuchungen verdeutlicht.

Aus diesen Bemerkungen soll nur ersichtlich werden, daß die Systemcharakteristik philosophisch problematisch wird, wenn die Forderung gestellt wird, alle Elemente, ihre Verhaltensweise und die Strukturmatrix zu berücksichtigen.

Es gibt nun, wie schon erwähnt, in der marxistischen Literatur die Auffassung, daß die Begriffsinhalte Struktur und Gesetz sich einander annähern [89] und es sich um Begriffe gleicher Ordnung handelt. Dabei wird Struktur als invariantes Beziehungsgefüge eines Systems betrachtet. Diese Auffassung erleichtert es, mit Hilfe der Struktur eine Charakteristik des Systems zu geben, verdeckt jedoch die komplizierten Beziehungen zwischen Gesetz und Struktur und liefert deshalb keinen Ausweg aus der oben geschilderten erkenntnistheoretischen Situation. Lange hatte als Strukturmatrix die Gesamtheit der Kopplungen zwischen den Elementen angesehen. Da diese jedoch in wesentliche und unwesentliche zerfallen, werden im Systemgesetz nur die wesentlichen hervorgehoben. So existieren im Verhalten der Elemen-

[31] Die hier angedeuteten Beziehungen zwischen dynamischen und statistischen Gesetzen und das Verhältnis von Gesetz und Zufall wird ausführlich behandelt in: H. Hörz, Der dialektische Determinismus in Natur und Gesellschaft, Berlin 1969, S. 79 ff.

tarteilchen nicht nur die in Gesetzen ausgedrückten Beziehungen, sondern eine Vielzahl weiterer Momente des Verhaltens, die als unwesentlich beiseite gelassen wird. Schon bei den Gesetzen der klassischen Physik mußte das Verhältnis von Gesetz und Zufall beachtet werden. Für den freien Fall ist die wesentliche Verhaltensweise durch Fallweg, Fallzeit und Erdbeschleunigung bestimmt. Von der Reibung und anderen Einflüssen wird abstrahiert. Nach Lange gehören sie zur Strukturmatrix, nach wissenschaftlicher Erkenntnis sind sie unwesentlich zur Bestimmung des Charakters der Bewegung. Deshalb unterscheiden wir zwischen Systemgesetzen und Systemstruktur. Unter Gesetz verstehen wir die allgemein-notwendigen und wesentlichen Zusammenhänge, während Kausalität die konkrete Vermittlung des Zusammenhangs ist. Man sollte deshalb Struktur und Kausalität als dialektisches Kategorienpaar untersuchen. Wichtig sind die zwei Seiten im dialektischen Determinismus, nämlich die Bedingtheit (Kausalität) und Bestimmtheit (Struktur) der Prozesse und die bestimmende Rolle der Veränderung in der Beziehung von Struktur und Kausalität.

Nach dieser Konzeption umfaßt der Begriff der Struktur mehr als der Begriff des Gesetzes. Wir unterscheiden dabei zwischen der Struktur des Systems (*S*) und der Struktur der Elemente. Unter *S* verstehen wir die Gesamtheit der wesentlichen und unwesentlichen, allgemeinen und besonderen, notwendigen und zufälligen Beziehungen zwischen den Elementen eines Systems in einem bestimmten Zeitintervall. Bestimmend für den Charakter des Systems sind die Systemgesetze, seine Verhaltensweise dagegen ist abhängig von allen von Lange genannten Komponenten, während die Gesetze die wesentliche Verhaltensweise bestimmen.

Weiter untersucht werden muß dabei vor allem das Verhältnis von wesentlichen und unwesentlichen Beziehungen im System, das dringend der Präzisierung bedarf. Betrachten wir als das Wesen eines Systems die Gesamtheit der relativ invarianten inneren Beziehungen, dann ergeben sich aus dieser Gesamtheit bei der inneren und äußeren Wechselwirkung verschiedene wesentliche und unwesentliche Beziehungen. Die Gesamtheit der wesent-[90]lichen Beziehungen eines Systems, die in einem bestimmten Zusammenhang mit Teilsystemen oder anderen Systemen auftreten, nennen wir Qualität. Insofern nun die verschiedenen Qualitäten Qualitäten eines Wesens sind, auf ein Wesen zurückgehen, weisen sie Gemeinsames, eine Grundqualität auf. Die Qualität bestimmen wir also, indem wir gerade das hervorheben, was dieses System von anderen unterscheidet. Die verschiedenen Qualitäten eines Wesens bezeichnen wir als andere, aber nicht als neue Qualität. Eine neue Qualität tritt erst auf, wenn sich das Wesen ändert. Von dieser Voraussetzung ausgehend können wir etwas über das Verhältnis von wesentlichen und unwesentlichen Beziehungen aussagen: *Erstens* ist eine notwendige aber nicht hinreichende Voraussetzung für eine wesentliche Beziehung die *realisierte* Kopplung zwischen zwei oder mehreren Elementen eines Systems oder mehrerer Systeme. Die Gesamtheit der übrigen *möglichen* Kopplungen ist in dieser Beziehung unwesentlich, obwohl sie in anderer Beziehung wesentlich sein können. Damit haben wir schon ein erstes Kriterium zur Untersuchung von wesentlichen und unwesentlichen Beziehungen. Dabei kann man natürlich auch mögliche Realisierungen betrachten, um die wesentlichen Beziehungen zu finden. Aber von wesentlich können wir immer nur im bestimmten Zusammenhang sprechen. *Zweitens* ist eine inhaltliche Bestimmung erforderlich, um aus den realisierten Kopplungen die wesentlichen Beziehungen herauszufinden. Wir suchen in den Kopplungen das heraus, was wiederholbar, d. h. allgemein-notwendig ist. Wir brauchen also zur Erkenntnis der wesentlichen Beziehungen die invarianten Aspekte in den Kopplungen, die wir durch Vergleich verschiedener Systeme und ihrer wesentlichen Verhaltensweisen erhalten; anders ausgedrückt: wir brauchen die Systemgesetze. Wiederum werden alle nicht in dieser Bestimmung enthaltenen Beziehungen als unwesentlich ausgeschieden.

Systemgesetze enthalten nun eine notwendig zu verwirklichende Möglichkeit für das Verhalten des Systems und eine Gesamtheit von Möglichkeiten für das Verhalten der Elemente, von denen

jedes Element eine zufällig verwirklicht. Da es sich bei der wesentlichen Beziehung um eine bestimmte realisierte Kopplung handelt, reicht das Gesetz nicht aus, um jene zu bestimmen.

Wir kommen deshalb *drittens* dazu, das Wiederholbare in seiner konkreten Bestimmtheit zu betrachten. Das geschieht, indem wir die Beziehungen als Realisierungen einer der im Gesetz enthaltenen Möglichkeiten betrachten. Wesentliche Beziehungen sind damit nur solche Kopplungen zwischen Elementen, die die zufällige Verwirklichung einer der in einem Systemgesetz enthaltenen Möglichkeiten für das Verhalten der Elemente darstellen.

Dasselbe gilt auch für Beziehungen zwischen Teilsystemen, Systemen usw., [91] stets handelt es sich bei der wesentlichen Beziehung um die Verwirklichung einer im Gesetz enthaltenen Möglichkeit für den Zusammenhang zwischen den betrachteten Elementen, Teilsystemen und Systemen. Gerade diese Unterscheidung wird aber bei Lange nicht getroffen. Sie ermöglicht es uns aber erst, die Verhaltensweise der Systeme zu fassen. Wie wir gesehen haben, durchdringen sich bei der Bestimmung extensionale und intensionale Beziehungen.

Die Systemtheorie wird die extensionale Seite noch genauer fassen müssen, kann jedoch die intensionalen Faktoren nicht ersetzen. Systemtheorie und Dialektik ergänzen sich hier gegenseitig. Zugleich wird die eigentliche Bedeutung der Gesetzesdefinition offensichtlich, da es zur Bestimmung wesentlicher Beziehungen wichtig ist, allgemein-notwendige, d. h. reproduzierbare Zusammenhänge herauszufinden. Das Gesetz ist ein allgemein-notwendiger und wesentlicher, d. h. den Charakter der Kopplungen bestimmender Zusammenhang.

Die wesentliche Beziehung hat also zwei Bezugspunkte. Einerseits ist ein Teilsystem, Element oder System wesentlich in bezug auf ein anderes Teilsystem, Element oder System. Andererseits ist die wesentliche Beziehung die Realisierung einer im Systemgesetz enthaltenen Möglichkeit für das Verhalten der Systemelemente. Dabei ist jedes System in seinem Verhalten durch eine Gruppe von Systemgesetzen bestimmt, die hierarchisch sich genseitig beeinflussen.

Nicht berücksichtigt wurden bisher die Funktionen eines Systems. Auch hier muß man zwischen der Systemfunktion und der Elementfunktion unterscheiden. In der Kybernetik wird ungenügend die Funktion mit dem Zweck des Systems verbunden, sondern meist als mögliche Verhaltensweise gefaßt. Damit würden aber wesentliche Unterscheidungsmerkmale zwischen Struktur und Funktion fallen. Während die Struktur die realisierten Kopplungen umfaßt, muß die Frage nach der Funktion des Systems die Frage nach dem Zweck dieses Systems in einem höheren oder gegenüber einem anderen System sein. Dabei wird erst deutlich, daß es einen Widerspruch zwischen realisierter Struktur und Funktion in solchen Systemen geben kann, die vom Menschen geschaffen werden. Um hier der Technik zu helfen, untersucht z. B. die Bionik die Funktion bestimmter Strukturen im biologischen Organismus.

Die Einführung des Zeitintervalls in den Strukturbegriff zwang uns nun dazu, zwischen Systemen mit einer relativ stabilen wesentlichen Struktur und sich verändernden (neue Grundqualität) und sich entwickelnden Systemen (höhere Grundqualität) zu entscheiden. Wesentliche Struktur, Veränderung und Entwicklung werden durch Struktur-, Bewegungs- und [92] Entwicklungsgesetze bestimmt. Hier wird nun manchmal das Argument benutzt, daß der Entwicklungsprozeß selbst eine Struktur besitzt. Dem muß man zustimmen, aber der Schluß, daß dann nur Strukturgesetze existieren, ist nicht berechtigt. Hier liegt schon die Gleichsetzung von Struktur und Gesetz vor, deren Problematik wir zeigen wollten, da sie die unwesentlichen Strukturelemente vernachlässigt.

Selbstverständlich kann man die Struktur eines Entwicklungsprozesses untersuchen, wobei jeder abgeschlossene Entwicklungszyklus drei Stufen hat: Ausgangszustand, seine dialektische Negation und die Negation der Negation. Die wesentliche Struktur dieses Prozesses

wird also auch durch die Grundgesetze der Dialektik charakterisiert, besonders durch das Gesetz der Negation der Negation, indem die im erkannten Gesetz enthaltene Widerspiegelung der objektiven Struktur hervorgehoben wird.

Bei der Untersuchung des Entwicklungsprozesses interessiert jedoch nicht diese Struktur allein, sondern gerade der Übergang von einer Stufe zur anderen. Entwicklung ist also Einheit von Struktur und Veränderung, wobei höhere Qualitäten entstehen.

Hierzu kommt noch, daß wir die Struktur auf Systeme beziehen müssen. Bei jedem Entwicklungsprozeß entstehen aber neue Systeme mit neuen Strukturen, charakterisiert durch Systemgesetze oder Struktur- und Funktionsgesetze. Im Übergang von einem System zum anderen existieren Bewegungs- und Entwicklungsgesetze. Die Verhaltensweise eines Systems ist also durch verschiedene Aspekte bestimmt:

Erstens gibt es wesentliche Struktureigenschaften, z. B. die Symmetrie in physikalischen Prozessen, die in Gesetzen für mehrere Systeme existieren. Sie charakterisieren die Möglichkeit der Existenz dieser Systeme.

Zweitens ist jedes objektiv existierende System in seinem Verhalten durch seine Systemgesetze bestimmt. Dabei muß die Gesamtheit der Gesetze berücksichtigt werden, die die wesentliche Struktur des Systems ausmachen. Die Systemgesetze werden aus der Analyse der Struktur des Systems als der Gesamtheit der wesentlichen und unwesentlichen, allgemeinen und besonderen, notwendigen und zufälligen Kopplungen der Elemente gefunden.

Drittens kann bei der Bestimmung der Systemgesetze die Struktur der Elemente vernachlässigt werden, sonst tritt die Frage nach den Elementen als Systeme mit eigenen Systemgesetzen in den Vordergrund.

Aus den bisherigen Darlegungen folgt für das Verhalten der Elemente eines objektiven natürlichen oder gesellschaftlichen Systems, daß die Gesetze dieses Verhalten nicht eindeutig bestimmen. Sehen wir von den Grenzfällen eindeutiger Bestimmtheit ab, so gibt jedes statistische Gesetz [93] das Verhalten eines Systems eine Möglichkeit, die notwendig verwirklicht wird, aber für das Verhalten der Elemente eine verbundene Reihe von Möglichkeiten, die zufällig verwirklicht werden.

Anzumerken wäre noch, daß die von Lange dargelegte Auffassung, die den Unterschied von wesentlichen und unwesentlichen usw. Zusammenhängen nicht berücksichtigt, zu Aussagen kommt, die an den mechanischen Determinismus erinnern, den man hier vielleicht „metaphysischen kybernetischen Determinismus“ im Unterschied zum dialektischen Determinismus nennen könnte. Bei ihm heißt es, „daß der Zustand des Systems zu einem gegebenen Anfangszeitpunkt den Zustand zu allen späteren Zeitpunkten bestimmt, die ein Vielfaches der längsten Reaktionszeit darstellen.“[32]

Hier wird wieder deutlich, daß die systemtheoretische Untersuchung des objektiven Zusammenhangs die dialektische nicht ersetzen kann. Sicher wird sich die Kybernetik noch weiter entwickeln und dabei viele der jetzt noch vereinfachten Standpunkte präzisieren, aber das hebt die dialektische Analyse der Wirklichkeit in ihrer Konkretheit nicht auf.

Völlig falsch wäre es jedoch, den bisherigen Entwicklungsstand der Systemtheorie schon als Grundlage für eine endgültige Einschätzung des Verhältnisses von Systemtheorie und Dialektik zu nehmen. Viele Probleme, die heute noch von der Philosophie untersucht werden, werden später in einzelwissenschaftlichen Disziplinen, auch neu zu schaffenden, gelöst werden. Die Kybernetik steht erst am Anfang ihrer Entwicklung. Philosophische Kritik hat deshalb

[32] O. Lange, Ganzheit und Entwicklung in kybernetischer Sicht, S. 39 f.

die Aufgabe, auch präzise Fragen an die Kybernetik zu stellen, soweit es sich um philosophische Beziehungen handelt, um die Kybernetik zur Entwicklung anzuregen.

Hier liegen noch viele Schätze im dialektischen Determinismus und in der dialektisch-materialistischen Entwicklungstheorie vergraben, um deren Hebung sich die Philosophen ungenügend bemühen. Sowohl die einfache Übernahme kybernetischer Termini in die Philosophie als auch philosophischer Termini in die Kybernetik hilft nicht weiter. Es geht um echte Präzisierungen philosophischer Aussagen mit Hilfe kybernetischer Erkenntnisse und um helfende philosophische Kritik dort, wo die marxistische Philosophie schon tiefer in bestimmte Zusammenhänge eingedrungen ist.

Insgesamt aber ist gemeinsame Forschungsarbeit zu den philosophisch und kybernetisch relevanten Problemen zu leisten. Das gilt vor allem auch für solche Fragen, die von Fachwissenschaftlern an den Philosophen und Kybernetiker gestellt werden und deren Beantwortung die Mitarbeit des Fachwissenschaftlers verlangt. Dabei kann schon die gemeinsame Diskus-[94]sion weiterhelfen. Oft wird nämlich die Analogie als heuristisches Erkenntnismittel unterschätzt und die Schwierigkeiten bei der Lösung von Integrationsproblemen, die moderne Wissenschaften betreffen, durch den Einzelwissenschaftler ungenügend gesehen.[33]

Analogien haben jedoch ihre Grenzen. Offensichtlich besteht ein Unterschied zwischen den bisher betrachteten Systemen aktiver Elemente und solchen Systemen, die zur Widerspiegelung der vorhergenannten dienen. Dabei ist es so, daß die wissenschaftliche Erkenntnis gezwungen ist, mit möglichst exakt definierten Begriffen zu arbeiten. Die auftretende Schwierigkeit, mit diesen Begriffen die Wirklichkeit nicht in ihrer Kompliziertheit erfassen zu können, haben auch viele Naturwissenschaftler erkannt.

Die umgangssprachliche Unbestimmtheit mancher Begriffe führt bei ihrer wissenschaftlichen Präzisierung oft zur Beseitigung des Problems. Mehrdeutige Begriffe können in der Wissenschaft auch auf zu lösende Probleme hinweisen. In dieser Richtung flammte die Diskussion um Newtons und Goethes Farbenlehre neu auf. Zwar hat Newton in jeder einzelnen Frage gegenüber Goethe Recht gehabt, aber dessen Problem nicht gelöst. Man kann hier von Mehrdeutigkeit im doppelten Sinn sprechen.

Objektive Prozesse verlaufen nicht vorherbestimmt, sondern es gibt für ihren Verlauf Möglichkeitsfelder. Hier liegt also keine Eindeutigkeit im objektiven Geschehen vor, sondern es existieren objektive Zufälle. Die wissenschaftliche Widerspiegelung darf jedoch diese objektive Struktur nicht mehrdeutig erfassen. Trotzdem gibt es, und das war das zweite, was ich hervorheben wollte, unscharfe und damit mehrdeutige wissenschaftliche Begriffe. Wird die Mehrdeutigkeit ausgemerzt, was für die wissenschaftliche Erkenntnis unumgänglich ist, dann verschwinden damit auch bestimmte Probleme. Die Beziehungen zur Farbe sind nicht allein als physikalische Vorgänge der Optik zu erfassen. Trotzdem war die Entwicklung der Optik ein großer Schritt zum Verständnis der Farbe. Aber damit ist das Problem der Farbempfindungen, des ästhetischen Genusses usw. nicht erledigt. Farbe ist für den Physiker eindeutig durch Wellenlängen bestimmt, ist jedoch für denselben Physiker, wenn er ein Gedicht liest, doch etwas anderes. Hierzu kommen alle die Prozesse, die wir zwar kennen und mit Namen belegen, aber deren innerer Mechanismus nicht bekannt ist. Die Unerschöpflichkeit der Wirklichkeit und die historische Begrenztheit der Erkenntnis bringen also auch Mehrdeutigkeiten in der Art mehrdeutiger Begriffe, sich ausschließender Modelle und Hypothesen usw. hervor.

[95] Die bisherigen Ergebnisse der kybernetischen Systemtheorie widersprechen nicht der hier entwickelten philosophischen Strukturauffassung. Struktur und Gesetz werden voneinander unterschieden und das Gesetz als allgemein-notwendiger und wesentlicher Zusammen-

[33] Vgl. A. I. Ujomov, Analogie in der Praxis wissenschaftlicher Erkenntnis, Moskau 1970.

hang mit bestimmten Aspekten der Struktur identifiziert. Die Systemgesetze beschreiben die wesentliche Verhaltensweise des Systems. Materiestruktur als die Gesamtheit der Beziehungen zwischen materiellen Objekten ist die Einheit von Materiearten und Materieformen. In den folgenden Kapiteln wird der Beitrag der Elementarteilchenphysik zur Erkenntnis der Materiestruktur untersucht. [96]

Kapitel III – Die Entwicklung der Elementarteilchenphysik und ihre philosophischen Aspekte

Wenn wir unter Materiestruktur die Gesamtheit der Beziehungen zwischen materiellen Objekten verstehen, dann handelt es sich bei der physikalischen Materiestruktur um die von der Physik untersuchten Objekte und ihre Beziehungen. Besondere Bedeutung hat dabei die Elementarteilchenphysik. Hier geht es nicht nur um die philosophische Deutung bereits bestätigter Theorien, sondern um die Diskussion von theoretischen Ansätzen. Das erfordert die Beachtung der verschiedenen Allgemeinheitsgrade philosophischer Aussagen, um die weltanschauliche Bedeutung neuer physikalischer Erkenntnisse auch schon in ihrem hypothetischen Gewand herausarbeiten zu können und die heuristische Funktion der marxistisch-leninistischen Philosophie für die Klärung erkenntnistheoretischer und methodologischer Probleme der naturwissenschaftlichen Forschung zu erfüllen. Neben den allgemeinen philosophischen Aussagen müssen deshalb vor allem die Bindeglieder zwischen diesen und den physikalischen Erkenntnissen und Hypothesen über die Materiestruktur ausgearbeitet werden. Sie bestehen aus den präzisierten philosophischen Aussagen für die Physik, bei denen solche allgemeinen Begriffe wie der Materiebegriff, die Begriffe Raum-Zeit, Bewegung, Gesetz, Kausalität usw. und solche allgemeinen Beziehungen wie die von Gesetz und Bedingungen, von Notwendigkeit und Zufall, von Möglichkeit und Wirklichkeit usw. mit Hilfe des physikalischen Materials so präzisiert werden, daß sie nicht mehr nur als allgemeiner Rahmen für physikalische Aussagen stehen, sondern die philosophische Deutung des Sachverhalts darstellen und Anregungen für die weitere philosophische Durchdringung der Physik geben. Erst das ist die Grundlage für philosophische Hypothesen, worunter wir hier wissenschaftlich begründete Vermutungen zur Übertragbarkeit physikalischer Denkweisen auf andere Wissenschaften und zum Beitrag der Physik zu den philosophischen Theorien [97] verstehen. – Allgemein ist die philosophische Hypothese eine wissenschaftlich begründete Vermutung über den Beitrag zukünftiger wissenschaftlicher Theorien zur Präzisierung philosophischer Aussagen und über die Übertragbarkeit von Denkweisen mit weltanschaulicher, erkenntnistheoretischer oder methodologischer Bedeutung von einer Wissenschaft auf andere.[1] Um solche Hypothesen wird es dann bei der Untersuchung der verschiedenen philosophischen Probleme der Elementarteilchenphysik gehen, wenn wir etwa das Verhältnis von Symmetrie und Asymmetrie, von Raum-Zeit und Bewegung usw. betrachten. Nur über die präzisierten philosophischen Aussagen und die philosophischen Hypothesen kann sich die heuristische Funktion der marxistisch-leninistischen Philosophie für die physikalische Forschung realisieren. Es geht also um die philosophische Durchdringung und Analyse der vorliegenden physikalischen Erkenntnisse und Hypothesen. Das ist für die Elementarteilchenphysik deshalb so interessant, weil hier der philosophische Ansatz nicht immer klar von der physikalischen Konzeption geschieden werden kann. Auffassungen über die materielle Einheit der Welt als Grundlage der einheitlichen Theorie der Elementarteilchen spielen ebenso eine Rolle wie das methodische Prinzip der Einfachheit und anderes. Um die philosophischen Probleme und Konsequenzen aus den physikalischen Forschungen zur Materiestruktur behandeln zu können, müssen wir uns mit einigen experimentellen und theoretischen Grundlagen der Elementarteilchenphysik befassen, die philosophisch für die sich entwickelnde Strukturauffassung der Physiker bedeutsam sind. Die Jahrhundertwende war zugleich ein Wendepunkt im physi-

[1] Die hier kurz charakterisierten Auffassungen des Verfassers zum Verhältnis von marxistisch-leninistischer Philosophie und Naturwissenschaft, sowie das Problem der philosophischen Verallgemeinerung sind an anderer Stelle ausführlich dargelegt worden. Vgl. dazu Weltanschauung und Methode, Berlin 1965, S. 21 ff. Wie wichtig die Diskussion um die Bedeutung philosophischer Grundaussagen ist, zeigen viele Beiträge der letzten Zeit. Vgl. K. Lanius, Physik und Weltanschauung, in: Einheit, Heft 9, 1970, G. Klimaszewski, Revolution in der Philosophie und Entwicklung der Wissenschaft, in: Einheit, Heft 11, 1970.

kalischen Denken. Die Existenz der Atome war zwar nachgewiesen, aber schon ging es um die Struktur des Atoms. Die Entdeckung der Radioaktivität, die Elektronentheorie und die Quantenhypothese zeigten, daß die physikalische Materiestruktur noch ungelöste Rätsel in sich barg. Viele davon konnten mit der Quantenmechanik gelöst werden. Der Atomkern besitzt aber auch wieder eine Struktur. Die Kernkräfte mußten erklärt werden. Die nach 1932, nach der Entdeckung des Positrons, folgenden Entdeckungen vieler neuer Elementarteilchen [98] machten die Elementarteilchenphysik zu einem wichtigen Gebiet physikalischer Forschung.[2] Die Untersuchung der Gesetze ihres Verhaltens führte notwendig zur Frage nach der Struktur der Elementarteilchen. Die Antwort auf diese Frage enthält neue Einsichten in die Strukturiertheit der Materie und zwingt dazu, philosophische Auffassungen über die unendliche räumliche Teilbarkeit, über das Verhältnis von Objekt und Beziehungen, über die Substanz- und Dingauffassung zu überprüfen.

Schon Engels hatte darauf hingewiesen, daß man die qualitative Vielfalt nicht einfach auf die quantitativen Beziehungen qualitativ identischer kleinster Teilchen zurückführen könne. Er teilte die Meinung vieler Naturwissenschaftler, daß das Atom kein letztes unteilbares Teilchen sei: „Nun aber gelten die Atome keineswegs für einfach oder überhaupt für die kleinsten bekannten Stoffteilchen.“[3] Lenin hatte nach der Entdeckung der Elektronen die dialektisch-materialistische Auffassung von der Unerschöpflichkeit der Beziehungen zwischen materiellen Objekten bekräftigt: „Das Elektron ist ebenso *unerschöpflich* wie das Atom, die Natur ist unendlich, aber sie *existiert* unendlich ...“[4] Lenin verband den materialistischen Grundstandpunkt von der Existenz der physikalischen Objekte außerhalb und unabhängig vom Bewußtsein mit der Anerkennung der Relativität unserer Erkenntnis über die physikalische Materiestruktur und verwies damit auf die notwendige weitere Erforschung auch der Struktur des Elektrons. Im Sinne von Engels und Lenin gilt es, auch die heutigen Erkenntnisse philosophisch zu analysieren.

1. Theoretische und experimentelle Grundlagen der Elementarteilchenphysik

Zu den experimentellen und theoretischen Grundlagen der Elementarteilchenphysik haben Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts vor allem vier physikalische Forschungsrichtungen ihren Beitrag geleistet: Erstens hat die aus der Entwicklung der Elektrodynamik gezogene Konsequenz von der Existenz der Elektronen zur Entdeckung eines Elementarteilchens ge-[99]führt, was für die spätere Erklärung der Atomstruktur entscheidende Bedeutung hatte. Zweitens hatte der mit dem Periodensystem der Elemente aufgedeckte Zusammenhang zwischen den verschiedenen Elementen die Hypothese hervorgebracht, daß die Atome selbst wieder aus kleinsten Teilchen bestünden, also nicht die letzten unteilbaren Teilchen seien. Durch die Entdeckung der Radioaktivität wurde dieser Gedanke experimentell gestützt und konnte mit Hilfe der erkannten Elektronen bis zu Strukturmodellen des Atoms ausgebaut werden. Drittens führten die Untersuchung der Wärmestrahlung und die Differenzen zwischen verschiedenen Formeln für die Spektrallinien Max Planck zur Aufstellung der Quantenhypothese, die von Einstein zur Erklärung des Photoeffekts genutzt wurde. Damit war das Photon, das Strahlungsquant mit Korpuskelcharakter, das Elementarteilchen der Strahlung. Viertens hat vor allem Einsteins Kritik der klassischen Raum-Zeit-Auffassung und die Entwicklung der speziellen und allgemeinen Relativitätstheorie zu vielen Einsichten in die raumzeitliche Struktur des Elementarteilchenverhaltens geführt, wobei relativistische Verallge-

[2] Einen gedrängten informativen Überblick dazu gibt F. Kaschluhn, Stand und Entwicklungstendenzen in der Theorie der Elementarteilchen, in: Wissenschaft und Fortschritt, Heft 4, 1970, S. 162 ff. Vgl. auch: Kenneth W. Ford, Die Welt der Elementarteilchen, Berlin – Heidelberg – New York, 1965.
[3] K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 20, S. 532.
[4] W. I. Lenin, Werke, Bd. 14, S. 262.

meinerungen von Gleichungen der Quantentheorie zur Entdeckung neuer Elementarteilchen beitrugen.

Sicher dienten diese Entdeckungen keinesfalls als Ausgangspunkt für eine umfassende Entwicklung der Elementarteilchenphysik. Noch befaßte man sich mit der Struktur des Atoms, wobei der Atomkern als elementar angesehen wurde. Man kannte damit Kern und Elektronen und konnte mit Hilfe der Quantentheorie auch den Wellen-Korpuskel-Dualismus theoretisch erfassen. Zwar hatte Rutherford schon 1919 gezeigt, daß der Kern nicht elementar ist, aber er betrachtete ihn als aus Protonen zusammengesetzt. Den eigentlichen Beginn der Elementarteilchenphysik können wir mit 1932 ansetzen, als der Atomkern als aus Neutronen und Protonen zusammengesetzt erkannt wurde und mit der Entdeckung des Positrons neue Eigenschaften der Elementarteilchen offensichtlich wurden. Die Umwandlung von Teilchen mit in solche ohne Ruhmasse, die bei der Umwandlung eines Elektron-Positron-Paares in γ-Strahlung auftrat, erforderte die Beseitigung alter Materiestrukturauffassungen und brachte eine intensive experimentelle und theoretische Erforschung der Elementarteilchen mit sich. Vor allem wurden die schon 1911 entdeckten kosmischen Strahlen, in denen man auch das Positron fand, genauer untersucht. Bevor wir jedoch darauf eingehen, sollen einige Bemerkungen zu den oben genannten Entdeckungen zeigen, daß die späteren Änderungen der Auffassungen zur Materiestruktur sich schon vorher andeuteten.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entstand die Vorstellung von der diskreten Struktur der Elektrizität. Fechner und dann Weber stellten [100] sich den elektrischen Strom als Bewegung diskreter elektrischer Ladungen vor. Faraday verband die Auffassungen von der Elektrizität mit dem Atomismus, ohne diese Idee weiter auszuarbeiten, weil man zwar über die Atome leicht sprechen könne, es aber schwer sei, sich Vorstellungen über ihre Natur zu machen.[5] Auch für Maxwell war die Existenz eines Moleküls der Elektrizität eine mögliche Hypothese, von der man sich jedoch später befreien könne, wenn erst eine richtige Theorie der Elektrolyse existiere. Bei Faraday und Maxwell spielte der Begriff des Feldes die wichtigste Rolle für den Aufbau der Theorie, während die Annahme einer diskreten elektrischen Ladung, verkörpert durch ein elektrisches Teilchen, für sie nur eine Zusatzhypothese war, die später verschwinden konnte.

Aber die Erfolge der Atomhypothese in der Chemie und die Verbreitung atomistischer Gedanken wirkten sich auf viele Physiker in der Richtung aus, daß sie auch für die Erklärung der Elektrolyse immer wieder auf die Vermutung von der Existenz elektrischer Atome zurückkamen. 1881 stellte Helmholtz in einer seiner Reden fest, wenn man die chemischen Atome zuließe, müßte man auch konsequent die Elektrizität in bestimmte elementare Quantitäten teilen, die die Rolle von Atomen der Elektrizität spielen würden. Ebenfalls 1881 publizierte J. Stoney die Idee von der elektrischen Elementarladung. Zehn Jahre später schlug er dann vor, diese Ladungen Elektronen zu nennen. Die schon vorher begonnenen Versuche mit den von Plücker entdeckten und von E. Goldstein so benannten Kathodenstrahlen festigten die Auffassung, daß die Atome der negativen elektrischen Ladung, die Elektronen, existieren. Die theoretisch in der Elektronentheorie von Lorentz 1896 festgestellte Beziehung zwischen Ladung und Masse, wobei die Masse der Kathodenstrahlteilchen sich als ca. 2000mal kleiner erwies als die der Wasserstoffatome im Vergleich zur Ladung, wurde 1897 durch W. Wien, J. J. Thomson u. a. experimentell festgestellt, so daß die Existenz der Elektronen als experimentell gesichert angesehen werden konnte.

Die Diskussion um dieses erste Elementarteilchen zeigt jedoch, wie schwer man sich von bisherigen Vorstellungen über die Materiestruktur trennen konnte. Die Durchsetzung neuer

[5] Die Entstehung der Elektronentheorie wird ausführlich geschildert in: B. I. Spasski, Geschichte der Physik, Bd. 2, Moskau 1964, S. 119 ff. (russ.)

Denkweisen und neuer Einsichten ist kein einmaliger Akt in der Geschichte der Naturwissenschaft, sondern eine langwierige Auseinandersetzung um theoretische Deutungen experimenteller Sachverhalte und um experimentelle Überprüfungen vorhandener Ideen zur Materiestruktur. Dazu müssen einerseits die Fragen an die Natur, die im Experiment zu beantworten sind, exakt gestellt sein. Andererseits braucht [101] der Physiker auch die entsprechenden Experimentiereinrichtungen, die die Beantwortung der Frage gestatten und die Genauigkeit der Ergebnisse garantieren. Mit der Erforschung der Elementarteilchen gewann die letzte Bedingung immer mehr an Bedeutung, da die Beobachtung der Elementarteilchen und ihres Verhaltens nur mittels komplizierter Geräte möglich ist und keine physikalisch verwertbaren Daten aus der Beobachtung ohne Registriergeräte gewonnen werden können. Das gilt auch für das „kosmische Laboratorium", die kosmischen Strahlen, die eine experimentelle Fundgrube für das Teilchenverhalten waren und sind. Die Forschung in unseren irdischen Laboratorien erfordert dazu immer neue und größere Beschleuniger, um zu neuen Ergebnissen in der Elementarteilchenphysik, der Physik hoher Energien zu kommen.

Obwohl man die Existenz der Elektronen am Ende des 19. Jahrhunderts bereits als experimentell gesichert ansehen konnte, war es am Institut von W. Röntgen, der für seine hervorragenden experimentellen Arbeiten den Nobelpreis erhalten hatte, in den ersten Jahren unseres Jahrhunderts verboten, das Wort Elektron in den Diskussionen zu benutzen, weil es nach Röntgen ein Wort ohne Inhalt sei. A. F. Joffe, der in dieser Zeit bei Röntgen arbeitete, berichtet über seine Versuche, in den vielen Gesprächen die Nützlichkeit der Annahme von der Existenz der Elektronen nachzuweisen. Im Mai 1905 stellte Röntgen an Joffe die Frage, ob er an die Existenz der Elektronen glaube und sie als bleibenden Bestand der Physik ansehe. Joffe antwortete bejahend und drückte seine Überzeugung aus, daß wir noch wenig über die Elektronen wissen und sie deshalb besser untersuchen müßten.[6]

Die weitere Erforschung der Elektronen war vor allem mit der Aufklärung der Atomstruktur verbunden. Obwohl beispielsweise Röntgen noch starke Zweifel an der Existenz der Elektronen hatte, dienten sie mit den Erkenntnissen der Radioaktivität bereits in den ersten Jahren unseres Jahrhunderts zur Konstruktion von Atommodellen. W. Thomson schlug 1902 ein Atommodell vor, das 1904 von J. J. Thomson verbessert wurde.[7] Danach bestand das Atom aus einem Gebiet gleichmäßig verteilter positiver Ladung, innerhalb dessen negative elektrische Ladungen untergebracht sein sollten, [102] deren Ausmaße bedeutend kleiner als die des positiv geladenen Gebiets sein sollten. Die Existenz der Elektronen im Atom, die in bestimmten Schichten mit einer bestimmten Anzahl angeordnet sein sollten, dienten der Erklärung der chemischen Eigenschaften der Atome nach dem Periodensystem. Auch weitere experimentelle Ergebnisse über die Leitfähigkeit von Metallen usw. erhielten mit diesem Modell eine theoretische Deutung. Die Radioaktivität wurde durch den Energieverlust bei Atomen mit vielen Elektronen erklärt, den sie durch Ausstrahlung erlitten. Dadurch würden sie instabil und zerfielen unter Abgabe einer großen Energiemenge.

Das Thomsonsche Atommodell hatte große Bedeutung für die weitere Erforschung der Atomstruktur. Darauf wies später auch Niels Bohr hin. Besonders die Verteilung der Elektronen in bestimmten Schichten war Grundlage für spätere Atommodelle. Die Auffassung über die Verteilung der positiven Ladung stand jedoch im Widerspruch zu den experimentellen Ergebnissen. Besonders die entdeckten Gesetze über die Spektrallinien der Gase konnten mit

[6] Vgl. A. F. Joffe, Begegnungen mit Physikern, Moskau 1962, S. 19 (russ.).

[7] Zur Entwicklung der Auffassungen über die Atomstruktur vgl. B. I. Spasski, Geschichte der Physik, S. 223 ff. Wer die physikalischen Ideen in ihrer Geschichte weiter zurück verfolgen und die Entstehung der modernen Probleme aus der Geschichte der Physik heraus verstehen will, dem sei empfohlen B. G. Kusnecov, Von Galilei bis Einstein, Berlin 1970.

Hilfe dieses Modells nicht erklärt werden. Es entstand ein Widerspruch zwischen der notwendigen großen Anzahl von Elektronen für die vielen Spektrallinien und den experimentellen Ergebnissen, die auf eine beschränkte Zahl von Elektronen verwiesen.

1910 konnte Rutherford seine Resultate bei der Dispersion von α-Teilchen nur erklären, wenn die Teilchen in ein Kraftfeld einer positiven Ladung mit großer Masse und bedeutend kleinerem Ausmaß als das Atom kommen. Er kam zu dem Schluß, der 1911 veröffentlicht wurde, daß die positive Ladung in einem Bereich vom Umfang 10^{-12} cm konzentriert ist und praktisch die gesamte Masse sich in diesem Bereich befindet. Daraus ergab sich die Hypothese vom Planetenaufbau des Atoms. Danach besteht das Atom aus einem positiv geladenen Kern mit einer Masse, die fast der Atommasse entspricht, und um den Kern kreisen Elektronen. Schon 1904 war diese Idee von H. Nagacka erarbeitet worden, fand aber keine Beachtung. Auch W. Wien hatte 1905 über das Planetenmodell des Atoms gesprochen, es aber abgelehnt, weil durch die aus der klassischen Theorie folgende Ausstrahlung und den damit verbundenen Energieverlust die Atome instabil sein würden. Dieser Einwand wurde auch gegen das Rutherfordsche Atommodell vorgebracht und führte zu vielen Diskussionen.

1913 zeigte Niels Bohr, daß das Rutherfordsche Modell benutzt werden kann, wenn man mit Auffassungen der klassischen Elektrodynamik bricht. Er entwickelte seine Quantenpostulate, nach denen das Elektron sich um das Atom bewegen kann, ohne Energie abzustrahlen. Das Elektron ist in der Lage, von einer Bahn zur anderen zu springen, wobei es Lichtquanten absorbiert oder emittiert. Die für den Physiker zuerst uneinsichtigen [103] Postulate Bohrs, die jedoch viele experimentelle Ergebnisse erfassen ließen und deshalb immer mehr Anerkennung fanden, wurden durch die Entwicklung der Quantenmechanik theoretisch begründet.[8]

Damit wurde das Atommodell von Rutherford und Bohr zur Grundlage der weiteren Forschungsarbeit. Es verdeutlichte den neuen Charakter der Quantengesetze, mit denen wir uns noch näher befassen werden.

War der experimentelle Nachweis der Existenz der Elektronen ein Sieg des Atomismus auf dem Gebiet der Forschungen zur Elektrizität, so war damit zwar das erste Elementarteilchen entdeckt, aber noch kein Bruch mit der klassischen Vorstellung zur Materiestruktur vollzogen. Obwohl die Entwicklung des Feldbegriffs schon auf einige Widersprüche bei der einheitlichen Erklärung der physikalischen Vorgänge mit Hilfe der klassischen Auffassung von der Existenz letzter unteilbarer Teilchen, die sich im absoluten Raum, bei absoluter Weltzeit bewegen, hinwies, war dennoch die prinzipielle Trennung von Stoff und Strahlung mit verschiedenen Theorien noch vorhanden. Einerseits wurde versucht, die stoffliche Struktur der Strahlung nachzuweisen, indem man überall nach den Atomen der physikalischen Erscheinungen, z. B. auch des Äthers, suchte. Andererseits wurde der durch die Feldphysik erzielte Erfolg bei der theoretischen Erfassung experimenteller Ergebnisse zur Strahlung ernst genommen und mißtrauisch allen Versuchen begegnet, den Atomismus auch für die Strahlung fruchtbar zu machen.

Das traf auch für die Entdeckung der Quantenhypothese zu, die von Einstein für die Erklärung des Photoeffekts ausgenutzt wurde und von Planck mit Unbehagen, weil unvereinbar mit der Maxwellschen Theorie, betrachtet wurde. In einem Gespräch mit Joffe, der ihm einen Artikel über die kinetische Energie der Strahlungsenergie gezeigt hatte, in dem die Idee von den Photonen ausgenutzt wurde, erklärte Planck 1911, daß die Physiker Maxwell so viel verdanken,

[8] Zur Entwicklung der Quantentheorie und der damit verbundenen philosophischen Problematik, auf die hier nicht eingegangen wird, vgl. H. Hörz, Atome, Kausalität, Quantensprünge, Berlin 1964. M. Jammer, The Conceptual Development of Quantum Mechanics, New York 1966. Philosophische Fragen der Quantenphysik, Moskau 1970.

daß es nicht richtig wäre, sich von seiner Theorie loszusagen. Er empfahl Joffe alles zu tun, um seine Ergebnisse zu erhalten[9], ohne sich von der Maxwellschen Theorie loszusagen. Er schildert in seiner Selbstbiographie, daß er nach vielen Versuchen, das Wirkungsquantum in die klassische Theorie einzubauen, immer mehr zu der Einsicht kam, daß sich mit ihm eine prinzipielle Wende im physikalischen Denken an-[104]bahnte: „Wenn nun die Bedeutung des Wirkungsquantums für den Zusammenhang zwischen Entropie und Wahrscheinlichkeit endgültig feststand, so blieb doch die Frage nach der Rolle, welche diese neue Konstante bei dem gesetzlichen Ablauf der physikalischen Vorgänge spielt, noch vollständig ungeklärt. Darum bemühte ich mich alsbald, das Wirkungsquantum irgendwie in den Rahmen der klassischen Theorie einzuspannen. Aber allen solchen Versuchen gegenüber erwies sich diese Größe als sperrig und widerspenstig. Solange man sie als unendlich klein betrachten durfte, also bei größeren Energien und längeren Zeitperioden, war alles in schönster Ordnung. Im allgemeinen Fall jedoch klaffte an irgendeiner Stelle ein Riß, der umso auffallender wurde, zu je schnelleren Schwingungen man überging. Das Scheitern aller Versuche, diese Kluft zu überbrücken, ließ bald keinen Zweifel mehr daran übrig, daß das Wirkungsquantum in der Atomphysik eine fundamentale Rolle spielt und daß mit seinem Auftreten eine neue Epoche in der physikalischen Wissenschaft anhebt.“[10] Diese neue Epoche kann nicht nur in der Quantentheorie selbst gesehen werden, sondern in einer neuen philosophischen Auffassung zur physikalischen Materiestruktur, die sich hier bereits andeutete. Durch den mit Hilfe der Quantenvorstellung vollzogenen Bruch mit der klassischen Feld- und Kontinuumsauffassung gelang es, die widersprüchlichen Wellen- und Korpuskeleigenschaften der physikalischen Objekte in einer Theorie zu erfassen und damit zu einer theoretischen Deutung des Wellen-Korpuskel-Dualismus zu kommen, bei dem Strahlung und Stoff nicht mehr als zwei voneinander getrennte Wesenheiten behandelt werden. Die in der Elementarteilchenphysik dann erkannte Umwandlung von Teilchen mit in solche ohne Ruhmasse zeigte noch offensichtlicher die Konsequenzen der neuen Auffassung, die eine physikalische Präzisierung des alten philosophischen Gedankens von der materiellen Einheit der Welt ist. Aber diese Wende im physikalischen Denken begann gar nicht so dramatisch. Die Anfänge der theoretischen Arbeiten zur Wärmestrahlung gehen auf Kirchhoff zurück, der in einem Gesetz die Beziehung zwischen den Fähigkeiten der Körper zur Emission und Absorption festhielt. Er zeigte, daß für Licht derselben Wellenlänge bei derselben Temperatur die Beziehung zwischen Emission und Absorption für alle Körper dieselbe ist. Unter einem schwarzen Körper verstand man nun den, der alles Licht, das auf ihn fällt, absorbiert. 1884 gelang es L. Boltzmann, eine Beziehung zwischen der Energie der Hohlraumstrahlung und der absoluten Temperatur herzustellen, indem er aus der elektromagnetischen Lichttheorie auf einen Druck der Hohlraumstrahlung [105] auf ihre Wände schloß, der gleich ein Drittel ihrer Energie pro Volumeneinheit ist. Da hier die Gesamtenergie des ganzen Spektrums betrachtet wurde, ging es nun vor allem um die Energieverteilung im Spektrum. 1893 zeigte Wilhelm Wien in seinem Verschiebungsgesetz, daß es möglich ist, die Berechnung der Energieverteilung für jede Temperatur vorzunehmen, wenn sie für eine bekannt ist. In der Folgezeit stellte sich die Bestätigung des Wienschen Gesetzes für kurze Wellenlängen heraus, für lange Wellen gab es jedoch, wie Lummer und Pringsheim und später Rubens und Kurlbaum feststellten, Abweichungen von diesem Gesetz. M. Planck faßte die Erkenntnisse von Wien und den anderen in einer Strahlungsformel zusammen, die sich aus der Interpolation der Formeln für kurze und lange Wellen ergab. Diese Formel mußte nun theoretisch begründet werden. „Darum war ich von dem Tage ihrer Aufstellung an mit der Aufgabe beschäftigt“, sagt Planck, „ihr einen wirklichen physikalischen Sinn zu verleihen, und diese Frage führte mich von selbst auf die Betrachtung des Zusammenhangs zwischen Entropie und Wahrscheinlichkeit, also auf Boltzmannsche Gedanken-

[9] A. F. Joffe, Begegnungen mit Physikern, S. 77.
[10] M. Planck, Wissenschaftliche Selbstbiographie, Leipzig 1967, S. 29 f.

gänge.“[11] Im Ergebnis dieser Überlegungen ergab sich die Notwendigkeit, eine neue Konstante, das Plancksche Wirkungsquantum *h*, einzuführen. Am 14.12.1900 trug er seine Ableitung in der Physikalischen Gesellschaft vor. Max von Laue bezeichnet dieses Datum als die Geburtsstunde der Quantentheorie. Über die Bedeutung dieser Entdeckung schreibt er: „Plancks h*ν*-Ansatz für die Energie war nicht mehr Fortbildung der bisherigen Physik, sondern Umwälzung. Wie tief sie ging, wie notwendig sie aber auch war, haben die folgenden Jahrzehnte immer deutlicher gezeigt. Mit Hilfe der Quantenidee nämlich konnte man zu einem der Physik bis dahin verschlossenen Verständnis aller Atomvorgänge vordringen.“[12] Sie war die Grundlage für die Erklärung des Photoeffekts durch Einstein, der das Licht als Strom von Lichtquanten (Photonen) auffaßte, wobei jedes Quant die Energie h*ν* besitzt. Beim Auftreffen von energiereichem Licht auf Stoff werden Elektronen herausgelöst. Ihre Geschwindigkeit ist nicht von der Intensität der Strahlung abhängig, sondern nur von der Frequenz, wobei für jeden Stoff eine bestimmte Grenze der Frequenz existiert, unterhalb derer kein Photoeffekt beobachtet wird. Diese Ergebnisse waren durch die Wellentheorie nicht erklärbar, stimmen jedoch genau mit der Photonenhypothese überein. Trotz vieler Versuche, die Planck unternahm, die Strahlungseigenschaften ohne Quantenidee zu erklären, erwies sich immer wieder deren Nutzlosigkeit, wenn es um Ele-[106]mentareffekte im Bereich kleiner Energien und kurzer Zeiten ging, bei denen das Wirkungsquantum nicht vernachlässigt werden durfte.

Durch die Forschungen zur Elektrizität war es gelungen, das Elektron zu finden. Es hatte große Bedeutung beim Aufbau von Atommodellen, um die Atomstruktur zu klären. Ebenso wichtig ist jedoch dafür das Elementarteilchen der Strahlung, das Lichtquant, denn die Bohrsche Theorie und später die Quantenmechanik benutzten die Existenz der Lichtquanten zur Erklärung des Übergangs eines Elektrons von einer stabilen Bahn zur anderen. Haben wir es hier deshalb mit direkten Grundlagen der Elementarteilchenphysik zu tun, da Photon und Elektron zu den Elementarteilchen gehören und die Forschungen zur Atomstruktur direkt auf die Erforschung des Atomkerns und damit zu weiteren Elementarteilchen führten, ist dieser Zusammenhang zwischen der Relativitätstheorie und der Elementarteilchenphysik nicht von vornherein so offensichtlich und direkt. Die mit der Relativitätstheorie verbundene Diskussion um die Raum-Zeit-Struktur hatte jedoch entscheidende Bedeutung für die Korrektur veralteter Auffassungen zur Materiestruktur, soweit sie den absoluten Raum und die absolute Zeit, den Zusammenhang von Bewegung und Raum-Zeit und die Möglichkeit der Fernwirkung betrafen. Da es sich hier um grundlegende Aussagen über die Materiestruktur handelt und die Beziehung zwischen Raum-Zeit und Bewegung auch für die Elementarteilchenphysik von entscheidender Bedeutung ist, sei kurz auf diese Richtung der physikalischen Forschung eingegangen. Die allgemeinen Überlegungen zur Bedeutung der Raum-Zeit-Auffassung für die Elementarteilchenphysik werden durch die Entwicklung der Physik selbst in doppelter Weise bestätigt. Einerseits haben relativistische Verallgemeinerungen von Quantengleichungen im Zusammenhang mit anderen Eigenschaften der Elementarteilchen zur Aufdeckung neuer Teilchen und zur Erklärung von Teilcheneigenschaften gedient. Andererseits ist die durch die Relativitätstheorie durchgeführte Umwälzung unserer Raum-Zeit-Auffassungen ein Beispiel für zukünftige prinzipielle Änderungen der Raum-Zeit-Theorie, wie sie sich möglicherweise im Elementarteilchenbereich andeuten.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts trat für die Erforschung der optischen Erscheinungen immer mehr die Frage nach der Existenz des Äthers, als des mechanischen Mediums, in dem sich Wellen ausbreiten, in den Vordergrund. Die Widersprüche, die bei der theoretischen Erklärung und bei den Experimenten auftauchten, soweit es um die Wechselwirkung von

[11] Ebenda, S. 27 f.
[12] M. v. Laue, Geschichte der Physik, Bonn 1950, S. 142.

Äther und sich bewegenden Körpern ging, führten nach und nach zu dem Gedanken: Die physikalische Materiestruktur ist nicht allein durch die klassische Mechanik zu erklären. Nach ihr besteht jede Substanz aus Par-[107]tikeln, die durch Kräfte zusammengehalten werden, die entlang gedachter Verbindungslinien zwischen ihnen wirken und nur von der Entfernung abhängen. Die umfangreichen Diskussionen um das von Michelson 1881 und von Michelson-Morley 1887 durchgeführte Experiment, das die Abhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts von der Bewegung der Erde nachweisen sollte, da sich die Erde relativ zum ruhenden Äthermeer bewegt, zeigten letzten Endes die Unhaltbarkeit der Ätherhypothese. Selbst der mit der Erde mitbewegte Äther war kein Ausweg aus den Schwierigkeiten.[13]

Im Ergebnis der Arbeiten zur Optik sich bewegender Körper und zu den elektromagnetischen Erscheinungen kam Einstein 1905 zu dem Schluß, daß die grundlegenden Prinzipien für die Elektrodynamik sich bewegender Körper sind: „1. Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist für alle gleichförmig gegeneinander bewegten Systeme gleich groß. 2. In allen gleichförmig gegeneinander bewegten Systemen gelten durchweg die gleichen Naturgesetze.“[14] Damit war es notwendig, die klassische Galilei-Transformation für die Übertragung von Positionen und Geschwindigkeiten von einem Inertialsystem ins andere aufzugeben. Das erfordert aber die Korrektur der klassischen Raum-Zeit-Auffassung. Die Galilei-Transformation wird durch die Lorentztransformation ersetzt, nach der gilt:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},\ t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$ (c Lichtgeschwindigkeit)

Im Grenzfall, wenn $v \to 0$ geht, gilt die klassische Transformation. Wenn nun alle Gesetze invariant gegenüber der Lorentz-Transformation sind, wie Einstein annahm, dann mußte die klassische Mechanik entsprechend abgeändert werden, und es entstand die spezielle Relativitätstheorie mit wichtigen Folgerungen für die Materiestruktur. So ergab sich auch die Abhängigkeit der Masse von der Bewegung des Körpers. In der klassischen Mechanik ist der Widerstand des Körpers unveränderlich, in der Relativitätstheorie hängt er von der Ruhmasse und der Geschwindigkeit ab: [108]

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Nähert sich die Geschwindigkeit des Körpers der des Lichts, dann wird der Widerstand unendlich groß.

Neben dieser Relation führte vor allem die Folgerung für die Beziehung zwischen Masse und Energie, die sich aus der Relativitätstheorie ergab, zu vielen philosophischen Diskussionen ($E = m_0 c^2$). Einstein und Infeld schreiben dazu: „Die Energie wurde also einfach deshalb solange für schwerelos gehalten, weil sie so überaus wenig Masse besitzt. Die alte Energie-Substanz ist somit das zweite Opfer der Relativitätstheorie. Das erste war ja schon das Medium, indem sich die Lichtwellen fortpflanzen sollten.“[15] Über die allgemeinere Bedeutung der Relativitätstheorie heißt es bei ihnen: „Die Auswirkungen der Relativitätstheorie gehen weit über das Problem hinaus, dem die neue Lehre ihre Entstehung verdankt. So beseitigt sie auch alle mit der Feldtheorie zusammenhängenden Schwierigkeiten und Widersprüche, sie bringt

[13] Zur Vorgeschichte des Michelson-Morley-Experiments und der Diskussionen um die Ätherhypothese vgl. B. I. Spasski, Geschichte der Physik, S. 144 ff., und A. Einstein/L. Infeld, Die Evolution der Physik, Hamburg 1956, S. 83 ff.
[14] A. Einstein/L. Infeld, Evolution der Physik, S. 121.
[15] Ebenda, S. 135.

allgemeinere mechanische Gesetze; sie setzt ein einziges Umwandlungsgesetz an die Stelle von zweien und räumt mit unserer klassischen Vorstellung von der absoluten Zeit auf. Sie gilt auch keineswegs nur für ein Teilgebiet der Physik; sie bildet vielmehr einen großen Rahmen für das gesamte Naturgeschehen.“[16]

Ist die spezielle Relativitätstheorie mit der von Minkowski entwickelten Raum-Zeit-Union verbunden, die „das geometrische Abbild der von der speziellen Relativitätstheorie aufgezeigten Lorentz-Invarianz aller physikalischen Grundgleichungen und des Kausalnexus der Ereignisse“ ist[17], so erfordert die allgemeine Relativitätstheorie, die Einstein 1916 publizierte, eine neue Raum-Zeit-Theorie. Während sich die spezielle Relativitätstheorie nur auf Inertialsysteme bezieht, d. h. auf solche, in denen das Newtonsche Trägheitsgesetz Geltung hat, wobei alle Inertialsysteme gleichberechtigt sind, geht es in der allgemeinen Relativitätstheorie um die Formulierung der Gesetze für alle Systeme. Zusammenfassend stellen Einstein und Infeld zur allgemeinen Relativitätstheorie fest: „Die allgemeine Relativitätstheorie liefert eine noch tiefergehende Analyse des Raum-Zeit-Kontinuums. Die Gültigkeit der Theorie bleibt nun nicht mehr auf Inertialsy-[109]steme beschränkt. Das Gravitationsproblem wird sondiert, und es werden neue strukturelle Gesetze für das Schwerefeld aufgestellt. Wir sehen uns dadurch genötigt, die Rolle, welche die Geometrie bei der Beschreibung der materiellen Welt spielt, einer gründlichen Untersuchung zu unterziehen, und schließlich lernen wir im Lichte der neuen Theorie auch den Umstand, daß schwere und träge Masse ein und dasselbe sind, als Naturnotwendigkeiten verstehen, während er in der klassischen Mechanik noch für rein zufällig gehalten wurde. Die experimentellen Folgerungen aus der allgemeinen Relativitätstheorie weisen nur geringfügige Abweichungen von denen der klassischen Mechanik auf. Sie zeigen sich der experimentellen Nachprüfung jedoch überall dort, wo ein Vergleich möglich ist, durchaus gewachsen. Die Hauptstärke der Theorie ist ihre innere Logik und die Einfachheit der ihr zugrunde liegenden Annahmen.“[18] Die Entwicklung der speziellen und allgemeinen Relativitätstheorie war ein Bruch mit dem mechanischen Denken und den klassischen Raum-Zeit-Auffassungen und hatte damit entscheidenden Einfluß auf die Auffassungen von der Materiestruktur: Erstens vollzog sich mit der Relativitätstheorie eine Kritik grundlegender Begriffe der klassischen Mechanik. Es erwies sich als unmöglich, alle physikalischen Prozesse auf die Bewegung kleinster unteilbarer Teilchen zurückzuführen, zwischen denen Kräfte existieren, die mechanisch erklärt werden. So fielen die Ätherhypothese und die Energiesubstanzen. Die Relativitätstheorie zieht die Konsequenzen aus der Entwicklung der Feldgesetze bei der Erklärung des Elektromagnetismus und zeigt, daß nicht die stoffliche Komponente der Materie allein zur Erklärung physikalischer Vorgänge herangezogen werden kann. Es werden die klassischen Bewegungs- und Raum-Zeit-Auffassungen kritisiert, indem der Zusammenhang von Raum-Zeit und bewegten materiellen Objekten nachgewiesen wird und damit die Vorstellung von einem absoluten Koordinatensystem, von der absoluten Bewegung, der Unabhängigkeit von Masse und Bewegung, von Masse und Energie voneinander nachgewiesen und die Einheit von Physik und Geometrie gesehen wird. Viele der mit der Relativitätstheorie verbundenen Ansätze zur Kritik am mechanistischen Bild von der Materiestruktur wurden erst später wirksam, besonders in Verbindung mit der relativistischen Quantentheorie, der Kosmologie und der Elementarteilchenphysik.

[110] Zweitens ist für die spätere Betrachtung der Elementarteilchen, die keine unveränderlichen Substanzen oder unteilbare qualitativ identische Stoffpartikel sind, der Beitrag der Relativitäts-

[16] Ebenda.
[17] H.-J. Treder, Relativität und Kosmos, Berlin 1968, S. 9.
[18] A. Einstein/L. Infeld, Die Evolution der Physik, S. 164, zu den experimentellen Bestätigungen der Allgemeinen Relativitätstheorie vgl. H.-J. Treder/H.-H. v. Borzeskowski, Experimente zur allgemeinen Relativitätstheorie, in: Wissenschaft und Fortschritt, Heft 1 und 2, 1970.

theorie zum Gedanken von der materiellen Einheit der Welt wichtig, den sie in bezug auf das Verhältnis von Stoff und Strahlung leistete. Die mechanische Erklärung der Strahlung konnte nur in der Rückführbarkeit auf ein mechanisches Medium bestehen. Diese Vorstellung stand jedoch im Widerspruch zu den Experimenten. Es hätte also auch ein Dualismus zwischen Teilchen und Feld, Stoff und Strahlung anerkannt werden können, bei dem der Stoff mechanisch erklärt und die Strahlung als unwägbar usw. betrachtet werden konnte. Die in der Relativitätstheorie verallgemeinerten experimentellen Erkenntnisse über die Strahlung zeigten jedoch, daß sie keine reine Energie ist, sondern Masse besitzt. Hatte man vorher den Stoff durch die Masse und die Strahlung durch die Energie charakterisiert, so fiel dieser Unterschied mit der Relativitätstheorie. Stoff und Strahlung, Teilchen und Feld konnten also nicht als zwei unabhängig voneinander existierende Materiearten angesehen werden. Sie besaßen beide Energie und Masse und wechselwirkten miteinander. Dieser Gedanke von der materiellen Einheit der Welt in diesem Bereich fand mit der Quantentheorie und ihren experimentellen Grundlagen eine weitere Bestätigung durch die theoretische Erfassung des Wellen-Korpuskel-Dualismus, der stoffliche Eigenschaften der Strahlung, nämlich ihren korpuskularen Charakter, und Strahlungseigenschaften des Stoffes, nämlich Welleneigenschaften, vereinigte.[19] Später vertiefte die Elementarteilchenphysik unsere Einsicht in die materielle Einheit der Welt durch den Nachweis von der Umwandlung von Stoff in Strahlung und umgekehrt. Die eigentliche philosophische Problematik wurde in einigen Arbeiten, die die mechanische Gleichsetzung von Masse und Materie benutzten, verdeckt. Was als ein tieferes Eindringen in die Materiestruktur gedeutet werden mußte, weil vorher anerkannte Grenzen zwischen verschiedenen Materiearten fielen und der Zusammenhang zwischen verschiedenen Existenzformen der Materie, wie Bewegung und Raum-Zeit, nachgewiesen wurde, erschien dort als ein Verschwinden der Materie. Die Umwandlung von Stoff in Strahlung wurde als Umwandlung von Materie (= Masse) in Energie oder in Strahlung angesehen. Sowohl die Gleichsetzung der Materie mit der Masse als auch mit dem Stoff war darum falsch, weil mit bereits physikalisch und philosophisch widerlegten klassischen Auffassungen verbunden. Die tiefere Einsicht in die Materiestruktur änderte nichts am Materiebegriff des dialektischen Mat-[111]terialismus, der alles das umfaßt, was außerhalb und unabhängig vom Bewußtsein existiert und von ihm widergespiegelt werden kann, also auch Stoff, Strahlung, Masse, Energie, Teilchen und Feld. Aber die Vorstellungen von der Materiestruktur veränderten sich. Es gelang, bisher für notwendig gehaltene Grenzen zwischen Materiearten und -formen einzureißen. Die Voraussetzung dafür schuf bereits die Relativitätstheorie. Wie richtig ihre generelle Aufhebung der Trennung von Stoff und Strahlung war, erwies sich jedoch dann durch die Entwicklung der Quantentheorie und der Elementarteilchenphysik. Einstein selbst versuchte in einer einheitlichen Feldtheorie die Reduktion der Teilchen auf das Feld. Auch dem liegt der Gedanke von der Einheit der Welt in der Materialität zu Grunde. Wenn Teilchen und Feld keine absolut getrennten Materiearten sind, dann müßte es möglich sein, unter dem Feldaspekt auch die Teilcheneigenschaften zu behandeln. Ebenso könnte man unter dem Teilchenaspekt die Feldeigenschaften untersuchen. Versuche in beiden Richtungen, eine vollständige Reduktion der einen Materieart auf die andere durchzuführen, sind bisher nicht gelungen. Vielleicht gestatten sie ungenügend, die relative Selbständigkeit beider Arten, trotz ihres inneren Zusammenhangs, zu berücksichtigen. Das kann erst eine umfassendere physikalische Theorie zeigen, wie sie möglicherweise mit einer einheitlichen Theorie der Elementarteilchen entwickelt werden könnte.

Drittens hat die mit der Relativitätstheorie durchgeführte Umwälzung der Raum-Zeit-Auffassung große Bedeutung für die weitere Einsicht in die Materiestruktur.[20] Hatte noch Kant die Euklidischen Axiome als synthetische Urteile a priori bezeichnet und Raum und Zeit als a priori gegebene Anschauungsformen angesehen, so widersprach bereits die Entwicklung

[19] Vgl. dazu H. Hörz, Atome, Kausalität, Quantensprünge, S. 5 ff.
[20] Zur Entwicklung der Raum-Zeit-Auffassung vgl. H. Hörz, Physik und Weltanschauung, Leipzig 1968, S. 19 ff.

nichteuklidischer Geometrien dieser Auffassung, und schon Helmholtz wandte sich in dieser Hinsicht, gestützt auch auf seine empiristische Auffassung von der Abhängigkeit der Raumanschauung von der Erfahrung, gegen Kant. Jedoch erst die spezielle Relativitätstheorie zeigte in der Minkowski-Welt die Raum-Zeit-Union, und die allgemeine Relativitätstheorie bestätigte die physikalische Bedeutung nicht-euklidischer Geometrien. Die mathematischen Strukturen zur Beschreibung physikalisch wesentlicher Eigenschaften der Raum-Zeit hängen dabei von der raum-zeitlichen Größenordnung der betrachteten physikalischen Systeme ab, worauf H. J. Treder aufmerksam macht und daraus eine Hierarchie der Raum-Zeit-Vorstellungen ableitet: „Es läßt sich also eine Hierarchie der Raum-[112]Zeit-Vorstellungen in der Physik angeben. Diejenige Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit, die die irdische mikroskopische und makroskopische Physik verwendet, ist die der speziell-relativistischen Minkowski-Welt. Für die Behandlung von astronomischen Systemen, bei denen das Gravitationsfeld eine bedeutende Rolle spielt, ist eine Riemannsche Geometrie einzuführen, die in kleinen Bereichen mit der Minkowski-Geometrie zusammenfällt. Schließlich verlangt die Kosmologie die Untersuchungen der Globalstruktur von vierdimensionalen Räumen, deren lokale Eigenschaften durch eine Riemann-Einsteinsche Geometrie gegeben sind.“[21] Damit wird der Gedanke der marxistischen Philosophie bestätigt, daß neue physikalische Eigenschaften, die sich qualitativ von anderen unterscheiden, weil sie tiefere Einsichten in die Materiestruktur gestatten, auch neue Raum-Zeit-Auffassungen verlangen. Angewandt auf die objektiven Raum-Zeit-Strukturen bedeutet deshalb die philosophische Aussage von der Unendlichkeit der Materie die Existenz potentiell unendlich vieler Raum-Zeit-Strukturen in Abhängigkeit von der Unerschöpflichkeit materieller Beziehungen zwischen physikalischen Objekten. Die Relativitätstheorie brachte die erste prinzipielle Umwälzung unserer Raum-Zeit-Auffassung mit sich, erwies aber auch auf diesem Gebiet der Existenzformen der Materie die materielle Einheit der Welt, indem die neuen Raum-Zeit-Strukturen die vorher erkannten als Grenzfall für bestimmte physikalische Ereignisse enthalten. Man kann daraus zwei Möglichkeiten für die weitere Entwicklung der Raum-Zeit-Auffassung ableiten, wenn man generell berücksichtigt, daß auch unsere derzeitigen Raum-Zeit-Theorien ergänzt und in umfassendere Theorien eingeordnet werden. Erstens kann für jeden neu entdeckten Bereich physikalischer Objekte und ihrer Eigenschaften eine entsprechende Raum-Zeit-Theorie aufgestellt werden, die mit der Zeit genügend Material zu einer umfassenden Raum-Zeit-Theorie liefert, die nicht nur die raum-zeitlichen Beziehungen der Physik berücksichtigt. Davon ausgehend müßten auch die raum-zeitlichen Beziehungen im Elementarteilchenbereich theoretisch erfaßt werden. Zweitens kann es sich erweisen, daß die bisherigen Verallgemeinerungen der Raum-Zeit-Auffassungen einen so allgemeinen Raumbegriff entstehen lassen, der nicht mehr von der Struktur allgemein unterschieden werden kann. Die allgemeine Raum-Zeit-Theorie wäre dann keine spezifische Strukturtheorie, sondern die allgemeine Strukturtheorie selbst. Auch in ihr müßten, obwohl dann die raum-zeitlichen Beziehungen keine ausgezeichnete Rolle gegenüber anderen Strukturen mehr spielen, die raum-zeitlichen Strukturen des Elementar-[113]teilchenverhaltens erforscht werden: „Es ist möglich, daß für sehr kleine raum-zeitliche Abmessungen, wie sie in der Physik der Elementarteilchen auftreten, dieses allgemeine Schema noch zu ergänzen ist. Die Anwendbarkeit einer vollständigen raum-zeitlichen Geometrie in der Physik scheint verknüpft zu sein mit der von weitreichenden Wechselwirkungen zwischen den Teilchen der Materie. Solche weitreichenden Wechselwirkungen werden außer durch das Gravitationsfeld noch durch das elektromagnetische Feld und durch das Neutrinofeld vermittelt. Alle diese Wechselwirkungen, die zwischen den Elementarteilchen dann auftreten, wenn diese praktisch im unmittelbaren Kontakt miteinander stehen. Hingegen sind die starken Wechselwirkungen ... nur dann wirksam, wenn anschaulich gesprochen die Elementarteilchen sich direkt berühren. Bei der mathematischen

[21] H.-J. Treder, Relativität und Kosmos, Berlin 1968, S. 8.

Behandlung solcher Wechselwirkungen wird also überhaupt nicht die Struktur eines ausgedehnten raum-zeitlichen Bereiches eingehen, so daß die starken Wechselwirkungen sehr viel weniger von der Raum-Zeit-Struktur abhängen als die weiter reichenden Kräfte. Daher kann es durchaus sein, daß in der Elementarteilchenphysik nicht alle Eigenschaften der Minkowski-Welt von Bedeutung sind, sondern nur einige ihrer geometrischen Strukturen.“[22]

Viertens hat die Relativitätstheorie damit nicht nur Einfluß auf unsere allgemeinen Vorstellungen von der Materiestruktur, sondern auch direkt auf die Elementarteilchenphysik. Auch die Elementarteilchen müssen, wenn sie sich mit annähernder Lichtgeschwindigkeit oder wie das Photon mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, relativistische Effekte aufweisen, die in der Theorie berücksichtigt werden müssen. Darüber hinaus zeigen die angestellten Überlegungen, daß sich mit der Elementarteilchenphysik möglicherweise eine neue Raum-Zeit-Theorie entwickelt. Treder fordert für die Raum-Zeit-Theorie der Elementarteilchenphysik, „daß alle aus der Elementarteilchentheorie sich ergebenden makroskopischen Konsequenzen, insbesondere also auch das Verhalten der (notwendigen makroskopischen) Meßanordnungen, mit der Minkowskischen Raum-Zeit-Struktur verträglich sind. Dies gilt insbesondere für die ... Einsteinsche Kausalität. Daher ist die relativistische Theorie von Raum und Zeit sicher auch für die Theorie der Elementarteilchen grundlegend – über die Theorie der schwachen Wechselwirkungen werden vermutlich aber sogar aus der Kosmologie Einsichten für die Elementarteilchen-Physik resultieren.“[23]

[114] Die physikalischen Forschungen Ende des 19. Jahrhunderts und Anfang des 20. Jahrhunderts hatten also zur Entdeckung von Elementarteilchen geführt und die Struktur des Atoms betrachtet. Der nächste Schritt bei der Untersuchung der physikalischen Materiestruktur sollte nun die Struktur des Atomkerns werden. 1932 waren die Elektronen, Protonen und Neutronen bekannt. Damit war die Vielfalt der chemischen Elemente auf wenige Elementarteilchen zurückgeführt worden, die man als Grundbausteine der Atome betrachtete. Der alte Gedanke von wenigen unteilbaren Teilchen, aus denen die Vielfalt der materiellen Objekte und Prozesse sich aufbaut, schien sich auf neue Weise zu bewahrheiten. Aber noch war der Mechanismus der Kernkräfte nicht geklärt, da wurden schon neue Elementarteilchen entdeckt, die zur Entwicklung eines neuen Zweigs in der Physik führten, zur Elementarteilchenphysik.

Über die Entdeckung neuer Elementarteilchen schrieb Heisenberg: „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 entstehen und in andere Teilchen verwandelt werden können ... die Versuche haben die völlige Verwandelbarkeit der Materie gezeigt.“[24] In der ersten Etappe der Entwicklung der Elementarteilchenphysik, die 1932 begann, ging es deshalb um das Studium der Elementarteilchen, indem neue Teilchen entdeckt wurden und ihre Verwandelbarkeit ineinander überprüft wurde.

2. Zur Entwicklung der Elementarteilchenphysik

Bei den Untersuchungen zur Atomstruktur dachte man zuerst an einen elementaren Kern. Jedoch schon 1919 hatte Rutherford beim Beschuß des Kerns mit α-Teilchen Wasserstoffkerne oder Protonen als einfachere Bestandteile der Kerne festgestellt. Für die beim Beschuß von Berylliumkernen entstehende Strahlung konnte Chadwick 1932 zeigen, daß sie aus neu-

[22] Ebenda, S. 8 f.
[23] Ebenda, S. 9.
[24] H. Heisenberg, Physik und Philosophie, Westberlin 1959, S. 131.

tralen Teilchen besteht, deren Masse ungefähr der des Protons entspricht. Nach dieser Entdeckung des Neutrons stellten Heisenberg und Iwanenkow die dann bestätigte Hypothese auf, daß alle Atomkerne aus Protonen und Neutronen bestehen. Damit waren 1932 vier Elementarteilchen, [115] Elektronen, Protonen, Neutronen und Photonen, bekannt, mit deren Hilfe sich ein mit den Experimenten übereinstimmendes Bild von der Atomstruktur zeichnen ließ. Der Atomkern besteht aus Neutronen und Protonen. Um den Kern bewegen sich Elektronen in bestimmten stationären Zuständen. Beim Übergang von einem Zustand zum anderen werden Photonen absorbiert oder emittiert. Das theoretische Hauptproblem der weiteren Entwicklung der Elementarteilchenphysik bestand damit in der Erforschung der Kernkräfte.

Die Klarheit über den Atomaufbau, bei dem alle bekannten Elementarteilchen ihre Funktion zu erfüllen haben und die Elementarteilchenphysik sich für kurze Zeit nur als Physik des Atomkerns erwies, hielt nicht lange an. 1928 hatte Dirac eine Wellengleichung gefunden, die die relativistischen und Spineffekte berücksichtigte. Damit ergaben sich Erklärungen für die Feinstruktur der Spektrallinien wasserstoffähnlicher Atome und für die Aufspaltung der Spektrallinien von Atomen im Magnetfeld. Zugleich kam es jedoch zu einer erheblichen theoretischen Schwierigkeit. In der relativistischen Mechanik ergibt sich für die Energie eines freien Teilchens folgende Beziehung:

$$E^2 = c^2p^2 + m^2_0\, c^4.$$

(E Energie des freien Teilchens; c Lichtgeschwindigkeit; p Impuls des Teilchens; m_0 seine Ruhmasse)

Daraus ergeben sich zwei gleichberechtigte Lösungen: $E = \pm E$. Eine entspricht der positiven Energie, während die sich aus der anderen Lösung ergebenden Zustände mit negativer Energie zuerst als nicht real angesehen wurden, da in der klassischen Physik der Übergang von Zuständen mit positiver zu solchen mit negativer Energie von vornherein ausgeschlossen wird. Es wurde nach der Veröffentlichung der Diracschen Theorie zuerst ebenso verfahren. Man war sich jedoch der Schwierigkeit bewußt, daß die Quantentheorie mit ihren diskreten Übergängen auch diesen Übergang zuläßt. 1931 versuchte Dirac diese Problematik zu lösen, indem er das Vakuum mit einem „Elektronenmeer“ gleichsetzte, in dem die Elektronen alle negativen Zustände bevölkern, während die Zustände positiver Energie frei bleiben. Wird nun durch ein γ-Quant bestimmter Energie ein Elektron in den Zustand positiver Energie übergeführt, dann bleibt ein Loch im Elektronenmeer, das sich wie ein Teilchen mit positiver Masse und Ladung verhält. Dieses Teilchen nannte man Positron, das 1932 durch Anderson in der kosmischen Strahlung entdeckt wurde. Auch die Umwandlung eines Elektronen-Positronen-Paars in γ-Strahlung und umgekehrt wurde experimentell nachgewiesen. Damit ergab sich eine neue [116] physikalische Situation, die mit der Umwandlung von Stoff in Strahlung und umgekehrt verbunden ist. Konnte man die bisherigen Erkenntnisse über die Atomstruktur und die Elementarteilchen, obwohl sie, wie wir gesehen haben, dem mechanischen Denken widersprachen, doch noch so interpretieren, als ob letzte unteilbare Teilchen existierten, die in ihrer Individualität bestimmte Qualitäten besitzen und als Grundbausteine für die Materiestruktur dienten, so widersprach die Existenz der Positronen dieser Auffassung. Die Teilchen erwiesen sich als ineinander umwandelbar. Damit war ein weiterer Schritt zum Verständnis der materiellen Einheit der Welt durch neue Einsichten in die physikalische Materiestruktur gegangen worden. Es ergaben sich jedoch eine Vielzahl von theoretischen Problemen für die Elementarteilchenphysik. So tauchte die für diesen Zweig der Physik wesentliche Frage nach der Struktur der Elementarteilchen auf. Es war zu klären, ob die anderen bekannten Teilchen ebenfalls solche Antiteilchen besitzen, wie das Elektron das Positron, das sich wesentlich nur durch die Ladung vom Elektron unterschied. Die Kernkräfte konnten möglicherweise durch die Annahme neuer unbekannter Elementarteilchen erklärt werden. Nowoshilow schreibt über diese Pe-

riode: „Man kann deshalb sagen, daß die Entdeckung des Positrons neue Entdeckungen andeutete. Die gleiche Theorie, die die Eigenschaften des Positrons im voraus bestimmte, sagte noch weitere neue Teilchen voraus: Antiproton, Antineutron, ja selbst Antiteilchen zu beliebigen Teilchen, die noch entdeckt werden können. Diese Voraussagen verdienten volles Vertrauen, da die Richtigkeit des Grundprinzips nicht nur anschaulich am Beispiel des Positrons bewiesen wurde, sondern auch am Beispiel vieler anderer Erscheinungen, die durch die Dirac-Gleichung erklärt werden konnten. Die Eigenschaften der Antiteilchen wurden hierbei durchaus richtig vorausgesagt: Die Masse des Antiteilchens ist gleich der Masse des Teilchens. Die Spins des Teilchens und des Antiteilchens sind auch die gleichen; die Ladung des Antiteilchens jedoch hat das entgegengesetzte Vorzeichen der Ladung des Teilchens. Die magnetischen Momente der Antiteilchen haben das umgekehrte Vorzeichen der magnetischen Momente der Teilchen. Die Umwandlungen der Teilchen und Antiteilchen müssen im wesentlichen den Umwandlungen von Positron und Elektron gleichen.“[25]

Da die Ruhemasse des Neutrons und Protons bedeutend größer als die des Elektrons ist, bedarf es der Energie von einigen Milliarden eV zur Erzeugung von Proton-Antiproton- oder Neutron-Antineutron-Paaren. Diese Energie konnte unter Laboratoriumsbedingungen mit Teilchenbeschleuni- [117]gern erst in den fünfziger Jahren erreicht werden, weshalb die Entdeckung der genannten Antiteilchen auch so lange auf sich warten ließ. Ein weiterer wichtiger Fortschritt in der Elementarteilchenphysik, der mit philosophischen Diskussionen um die Gültigkeit des Energieerhaltungssatzes verbunden war, ist mit der theoretischen Untersuchung des β-Zerfalls eingetreten. Schon Anfang des Jahrhunderts hatte man beim Zerfall von Kernen die Ausstrahlung von Elektronen festgestellt, die jedoch nicht im Kern enthalten sein konnten. Die Erklärung wurde im Zerfall des Neutrons in Proton und Elektron gesehen. Die energetischen Untersuchungen ergaben jedoch dabei einen Energieverlust, der zuerst nicht erklärbar war. Es entstanden unter manchen Physikern sogar Auffassungen, die den Energieerhaltungssatz bezweifelten. Pauli rettete ihn 1934 mit der Hypothese von der Existenz eines Teilchens, dem ein Teil der beim Zerfall freiwerdenden Energie zugeschrieben werden konnte, des Neutrinos. Obwohl dieses Teilchen erst sehr spät entdeckt wurde, hatte es sich seinen Platz schon lange vorher in der Elementarteilchentheorie erobert. Mit ihm ließen sich viele Vorgänge erklären, nicht nur der β-Zerfall und damit die Umwandlung des Neutrons in Proton, Elektron und Neutrino, sondern auch der Positronenzerfall und der Mesonenzerfall, wobei 1962 dann bewiesen werden konnte, daß das Neutrino des Betazerfalls nicht mit dem des Mesonenzerfalls identisch ist.

Die Entdeckung des Positrons und die Neutrinohypothese hatten schon Anfang der dreißiger Jahre darauf hingewiesen, daß die Physik in einen weiteren Bereich der Materiestruktur vorgestoßen ist, dessen Erklärung nicht mehr mit den atomistischen und mechanischen Vorstellungen des 19. Jahrhunderts möglich war. Die Elementarteilchen sind keine Korpuskeln im Sinne von Massenpunkten, die durch ihre Position in der Zeit in einem Koordinatensystem festgelegt werden können. Neue Eigenschaften, wie der Spin, d. h. der Eigendrehimpuls der Teilchen, mußten berücksichtigt werden. Der Spin erwies sich als eine ebenso fundamentale Eigenschaft wie Masse und Ladung. Teilchen mit halbzahligem Spin, wie Elektronen, Protonen, Neutronen, ordnen sich der Fermi-Dirac-Statistik unter und werden Fermionen genannt. In ein und demselben Zustand kann sich immer nur ein Fermion befinden. Anders ist das bei den Teilchen mit ganzzahligem Spin, den Photonen, bestimmten Mesonen, Resonanzen usw., die sich der Bose-Einstein-Statistik unterordnen und Bosonen genannt werden, von denen sich eine beliebige Anzahl in einem Zustand befinden kann. In der weiteren Entwicklung der Elementarteilchenphysik spielt die Entdeckung neuer Eigenschaften eine große Rolle. Sie werden in neuen Quantenzahlen ausgedrückt, die sich bei der Reaktion erhalten müssen, was

[25] Ju. W. Nowoshiow, Elementarteilchen, Leipzig 1962, S. 66.

in be-[118]stimmten Erhaltungssätzen seinen Ausdruck findet. Hier handelt es sich offensichtlich nicht mehr um die Eigenschaften isolierter Teilchen, die als Teilchen an sich mit bestimmten Qualitäten existieren und durch deren Wechselwirkung sich dann die von uns beobachtete Vielfalt materieller Objekte ergibt. Schon die ersten Ergebnisse der Elementarteilchenphysik hatten auf die Verwandelbarkeit der Teilchen verwiesen. Denken wir etwa an die Umwandlung des Neutrons. Damit erweisen sich bestimmte Eigenschaften als der Wechselwirkung zugehörig, die bei isolierten Teilchen gar nicht auftreten könnten. Das wird uns später sowohl zum Verhältnis von Individualität, Elementarität und Struktur führen als auch zur Beziehung zwischen System und Element.

Die weitere Untersuchung der Wechselwirkungen der Elementarteilchen, von denen drei im Vordergrund standen, nämlich die schwache des Teilchenzerfalls, die starke der Kernwechselwirkungen und die elektromagnetische, während die Gravitationswechselwirkung vernachlässigt wird, erforderte vor allem die Klärung des Charakters der Kernkräfte. 1934 versuchte Tamm mit Hilfe der bekannten Teilchen die Kernkräfte zu erklären. Sie sollten sich von den elektromagnetischen nur dadurch unterscheiden, daß statt der Photonen andere Teilchen die Wechselwirkung vermitteln. Als Grundlage dienten virtuelle Prozesse[26], bei denen sich Neutronen und Protonen mit Elektronen, Positronen und Neutrinos ineinander verwandeln. Dabei tauchte der elektrische Ladungsaustausch als ein neuer Unterschied zwischen elektromagnetischen und Kernkräften auf. Doch die Tammsche Idee führte nicht zum Erfolg und wurde von Yukawa 1935 modifiziert, indem er Elementarteilchen annahm, die noch nicht gefunden waren und die Wechselwirkung zwischen Protonen und Neutronen im Kern vermitteln sollten. Nach ihrer Masse sollten sie zwischen den leichten Elektronen und schweren Protonen eingeordnet werden, weshalb sie auch Mesonen genannt wurden. Schon 1937 wurden in der kosmischen Strahlung Mesonen entdeckt, die den Yukawaschen Voraussagen entsprachen und deshalb als Kernmesonen angesehen wurden. Ihre weitere Erforschung zeigte jedoch, daß sie mit den Kernen nur schwach in Wechselwirkung treten, obwohl sie leicht in den obersten Schichten der Atmosphäre beim Stoß der kosmischen Teilchen mit Kernen erzeugt werden. Wieder hatte man neue Eigenschaften der Elementarteilchen entdeckt, nämlich den Unterschied im Verhalten bei der Erzeugung der Teilchen und bei ihrer Absorption von Kernen. Das führte später dazu, daß man diese Teilchen [119] strange particles oder seltsame Teilchen nannte, die man durch eine besondere Quantenzahl, die Strangeness oder Fremdheitsquantenzahl, auszeichnete. Vorerst gedachte man jedoch mit ihnen die Kernkräfte zu erklären und kam in große Schwierigkeiten mit den experimentellen Ergebnissen. Inzwischen hatte man die Kernkräfte weiter untersucht und drei Kräftetypen unterschieden, die Kräfte zwischen Proton und Neutron, zwischen zwei Protonen und zwischen zwei Neutronen, wobei alle die gleiche Größe hatten. Wenn man den Ladungserhaltungssatz berücksichtigt, dann war jedoch der Austausch zwischen einem geladenen Meson und zwei Neutronen oder zwei Protonen nicht möglich. Deshalb wurde die Existenz eines neutralen Kernmesons neben den geladenen Mesonen angenommen. Die Unklarheiten um die Kernkräfte und ihre Erklärung durch Mesonen wurden jedoch erst 1947 beseitigt, als es gelang, mit den Pimesonen oder Pionen die eigentlichen Kernmesonen zu finden, die man von den μ-Mesonen oder Myonen unterschied, die bereits früher entdeckt wurden, aber nicht als Kernmesonen in Frage kamen. Die Pionen treten mit Kernen stark in Wechselwirkung und werden beim Stoß von Protonen mit Kernen erzeugt. Das neutrale Pion fand man erst später, als man bereits künstlich Mesonen erzeugen konnte. Mit dem Bau von Beschleunigern Ende der vierziger, Anfang der fünfziger Jahre gelang es dann, immer mehr Teilchen zu entdecken. Die meisten Elementarteilchen fand man vorher in der kosmischen Strahlung, so das Positron, die Myonen, die Pionen, einige K-

[26] Zur philosophischen Interpretation der virtuellen Prozesse vgl. H. Hörz, Atome, Kausalität, Quantensprünge, S. 100 ff.

Mesonen und Hyperonen. Nach dem Bau großer Beschleuniger waren jedoch gezielte Laboratoriumsversuche zum Verhalten der Elementarteilchen möglich, die zu vielen neuen Einsichten führten. Wichtig für die Entwicklung der Elementarteilchenphysik war die Entdekkung der strange particles, der seltsamen Teilchen. Schon 1944 berichtete Le Prince-Ringuet von einem bisher unbekannten Teilchen, das er auf einer Photographie aus der Wilsonkammer festgestellt hatte. Vor der Entdeckung der Pionen konnte jedoch diese Beobachtung nicht erklärt werden und wurde deshalb nicht weiter beachtet. 1947 gelang es dann Rochester und Butler, in zwei Fällen den Zerfall unbekannter Teilchen zu photographieren, bei denen die Spuren der Zerfallsprodukte eine Gabel in Form eines V bilden, weshalb sie die neuen Teilchen V-Teilchen nannten. In den folgenden Jahren wurden intensiv die kosmischen Strahlen untersucht, um zu neuen Erkenntnissen über diese Teilchen zu gelangen. Auf der Konferenz von Bagnéres-de-Bigorres 1953 konnten folgende Ergebnisse festgehalten werden[27]: Einige der Teilchen zerfallen in Protonen [120] und Pionen und sind deshalb schwerer als das Proton. Andere sind leichter und zerfallen in Pionen. Unter den Zerfallsprodukten gibt es auch Myonen, Elektronen und möglicherweise Neutrinos. Beim Zusammenstoß zweier Teilchen, die stark miteinander wechselwirken, können V-Teilchen entstehen. Es existiert außerdem ein Typ dieser Teilchen, der in andere V-Teilchen zerfällt.

Um die durch die Entdeckung dieser Eigenschaften bei vielen Teilchen, die alle verschiedene Bezeichnungen erhielten, entstandenen Schwierigkeiten mit der Terminologie auszuräumen, einigte man sich auf folgende Namen: Die Nukleonen und schwereren Teilchen, die in Nukleonen zerfallen, wurden Baryonen genannt, die schweren seltsamen Teilchen darunter Hyperonen. Pionen und Teilchen mit einer Masse zwischen der Pionen- und Baryonenmasse erhielten den Namen Mesonen, wobei die schweren seltsamen Mesonen als K-Mesonen bezeichnet werden. Seltsam waren diese Teilchen vor allem durch ihren Unterschied zwischen der Erzeugung und dem Zerfall. Für den Bildungsprozeß wurde die Hypothese vom paarweisen Entstehen eingeführt, die sich auch bestätigte. Der Zerfall dagegen erfolgt einzeln. Die strange particles werden also paarweise durch starke Wechselwirkung erzeugt und zerfallen einzeln durch schwache Wechselwirkung. Zu ihnen gehören die K-Mesonen, deren Zerfall zu einem interessanten Rätsel führte, da nach dem Erhaltungssatz der Parität der experimentell festgestellte Zerfall eines K_2^0-Mesons in zwei oder drei Pionen nicht zulässig ist. Dadurch wurde die Erhaltung der Parität für schwache Wechselwirkungen in Frage gestellt. Die andere Gruppe der seltsamen Teilchen sind die Hyperonen, die mit den Nukleonen die Gruppe der Baryonen bilden. Für ihre Umwandlungen gilt der Erhaltungssatz der Baryonenzahl, d. h., die Differenz (Zahl der Baryonen) – (Zahl der Antibaryonen) darf sich bei der Umwandlung nicht ändern. Für die Erklärung der Erzeugungsprozesse wurde eine neue Quantenzahl, die Strangeness S eingeführt, die bei starken Wechselwirkungen erhalten bleiben muß. Für die gewöhnlichen Teilchen, die Nukleonen und Pionen, ist sie gleich 0, für die seltsamen Teilchen hat sie verschiedene Werte. Im Zusammenhang mit der elektrischen Ladung Q und der Projektion des Isospins I_3 dienten Baryonenzahl B und Strangeness S für Gell-Mann und Nishijima 1955 zu einer Klassifizierung der stark wechselwirkenden Teilchen, der Pionen, Nukleonen und strange particles. Sie erfolgt nach der Formel:

$$Q = I_3 + \frac{B+S}{2}$$

Mit Hilfe dieser Klassifizierung war es möglich, neue Teilchen vorauszu-[121]sagen, die dann auch experimentell festgestellt wurden, wie beispielsweise einige Hyperonen.

Um das Verhalten der Wellenfunktion eines Teilchens bei einer Spiegelung der Ortskoordinaten erfassen zu können, wurde die Quantenzahl P eingeführt, die als Parität bezeichnet

[27] R. K. Adair/E. C. Fowler, Strange particles, New York/London 1963.

wird. Mit dem Erhaltungssatz der Parität war das Prinzip der Spiegelsymmetrie verbunden. Theoretisch von Lee und Yang vorausgesagt und durch eine Gruppe unter Leitung der Physikerin Wu bestätigt, erwies sich bei schwachen Wechselwirkungen die Nichterhaltung der Parität. Damit wurde ein wichtiges philosophisches Problem gestellt, nämlich die Beziehung zwischen Symmetrie und Asymmetrie, Erhaltung und Nichterhaltung. Noch gelang die Rettung des Symmetriegedankens auf Vorschlag von Yang und Lee und auch von Landau durch die Verbindung der Parität mit der Ladungskonjugation (C-Transformation). Bei der letzteren werden alle Teilchen durch Antiteilchen ersetzt. Führt man also nicht nur eine räumliche Spiegelung (P-Transformation), sondern auch eine Ladungskonjugation (C-Transformation) durch, was kombinierte Inversion genannt wird, dann ergibt sich wieder eine neue Symmetrie. Bei der schwachen Wechselwirkung sind also die Elementarteilchen in bezug auf räumliche Spiegelungen nur symmetrisch, wenn gleichzeitig der Übergang von Teilchen zu Antiteilchen erfolgt. Die Entdeckung der Nichterhaltung der Parität ermöglichte es einerseits, den Betazerfall und den Zerfall der Mesonen theoretisch zu erklären. Vor allem wurde damit das Tau-Theta-Rätsel gelöst, das bei der Untersuchung der K-Mesonen entstand. Man hatte zuerst angenommen, daß zwei K-Mesonen existieren, nämlich das Theta-Meson und das Tau-Meson, von denen eins in zwei und das andere in drei Pionen zerfällt. Mit dem Nachweis von der Nichterhaltung der Parität bestätigte sich das, was nach den Experimenten schon angenommen werden mußte, daß beide Mesonen dasselbe sind und ein K_2^0-Meson in zwei und drei Pionen zerfällt. Damit ergab sich andererseits ein Hinweis auf die komplizierte Struktur der Elementarteilchenumwandlungen. Ihre Erfassung mit Erhaltungssätzen auf der Grundlage von Symmetrieeigenschaften führte zu komplizierteren Symmetrien, als vorher angenommen wurde.

Inzwischen waren auch die theoretisch längst vorhergesagten Antiteilchen, die Teilchen, die für den Kernaufbau wichtig sind, gefunden worden. Durch den Bau großer Beschleuniger gelang es 1955 das Antiproton zu finden, womit die Existenz des Antineutrons als erwiesen galt, was etwas später auch nachgewiesen wurde. Damit verband sich nun eine Hypothese, die Mitte der sechziger Jahre durch die Entdeckung des Antideuteriums neuen Aufschwung erhielt. Wenn die uns bekannten Atome aus den Protonen und [122] Neutronen im Kern und den darum sich bewegenden Elektronen bestehen, dann könnte man sich ein Antiatom aus Antiprotonen und Antineutronen im Kern mit sich um den Kern bewegenden Positronen aufgebaut denken. Da nun vor kurzem in dem großen sowjetischen Beschleuniger mit 70 GeV der Kern des Antiheliums entdeckt wurde, kann man die Existenz von Antistoff nicht ausschließen. Die damit manchmal verbundene philosophische Kritik am Materiebegriff der marxistisch-leninistischen Philosophie entbehrt jeder Grundlage, da auch die Antiteilchen und der Antistoff außerhalb und unabhängig vom Bewußtsein existieren und von ihm erkannt werden können, wie die Entwicklung der Elementarteilchenphysik zeigt. Der theoretische Fehler besteht in der Gegenüberstellung von „Antimaterie“ und Materie, der nicht gerechtfertigt ist, da es sich um Begriffe verschiedenen Allgemeinheitsgrades handelt. Der philosophische Materiebegriff umfaßt nicht nur physikalische, sondern auch biologische, gesellschaftliche Objekte und Prozesse. „Antimaterie“ ist dagegen eine Bezeichnung für physikalische Objekte, die genauer als Antistoff benannt werden müßten. Sicher könnte man sich nun eine aus Antistoff aufgebaute Antiwelt denken und die Entwicklung höherer Bewegungsformen auf der Grundlage der Antiteilchen. Eine solche Hypothese ist sicher interessant, aber physikalisch nicht überprüfbar.[28] Aus den bisherigen Erfahrungen mit den Elementarteilchen ergibt sich für die Forschung die Notwendigkeit, die Wechselbeziehungen von Teilchen und Antiteilchen genauer zu untersuchen. Dafür spricht einerseits das aus der Geschichte der Physik abgeleitete philo-

[28] Zur philosophischen Problematik wird vom Verfasser Stellung genommen in: Antiteilchen – Antiwelten, Urania-Schriften 1966.

sophische Argument vom Zusammenhang der Materiearten untereinander, der sich bereits beim Verhältnis von Stoff und Strahlung als wichtig beim weiteren Eindringen in die physikalische Materiestruktur erwies. So sollten auch Stoff und Antistoff nicht einander entgegengestellt, sondern in ihrer relativen Selbständigkeit und in ihrer Wechselwirkung untersucht werden. Andererseits hat die Betrachtung der schwachen Wechselwirkung und der Nichterhaltung der Parität schon auf die Grundlagen der komplizierten Symmetrieeigenschaften der Elementarteilchen aufmerksam gemacht, die im Zusammenhang von Teilchen und Antiteilchen bestehen, wie sich bei der kombinierten Inversion zeigte. Mitte der sechziger Jahre gelang der Nachweis, daß das neutrale K-Meson in zwei und drei Pionen zerfallen kann. Damit ist auch die kombinierte Parität nicht erhalten. Existieren nun wesentliche asymmetrische Züge der physikalischen Materiestruktur, die in der Theorienbildung berücksichtigt werden müssen? [123] Neben der Entdeckung der Antiteilchen, der Vielzahl von Teilchengruppen, von denen sich die stark wechselwirkenden Teilchen klassifizieren lassen, und der Nichterhaltung der Parität machte die in den fünfziger Jahren beginnende Entdeckung von Resonanzen die Hoffnung endgültig zunichte, mit wenigen stabilen Elementarteilchen die Vielfalt materieller Objekte und Prozesse erklären zu können. Überhaupt wurde es immer mehr fraglich, was unter einem Elementarteilchen zu verstehen sei. Die Resonanzen wurden bei der Erforschung der Elementarteilchen hoher Energie entdeckt. Es handelt sich dabei um erstmalig von Dirac 1952 festgestellte Resonanzzustände im System der stark wechselwirkenden Teilchen. Bis 1960 kannte man solche Zustände bei der Streuung von Pionen an Nukleonen. Mitteilungen über die Existenz der Resonanzen im System der Pionen-Pionen und Pionen-Lambda-Streuung erschienen 1960. Danach beschäftigte man sich intensiv mit diesen Zuständen und erhielt eine Vielzahl von Resultaten, die späteren Überprüfungen nicht immer standhielten. Betrachtet man den Bildungsprozeß einer Gruppe von *n* Teilchen und mißt die Summe ihrer Energien und Impulse, dann erhält man eine Masse *m*, die sich im Verlauf des Prozesses ändert. Stellt man nun bei einem bestimmten *m* ein sprunghaftes Anwachsen des Wirkungsquerschnitts fest, dann hat das System der *n* Teilchen bei *m* eine Resonanz. Handelt es sich bei der Resonanz nur um zwei Teilchen, von denen eines stabil ist, wie das bei der Streuung der Pionen an Nukleonen der Fall ist, dann kann man durch unmittelbare Messung des Wirkungsquerschnitts dieser Teilchen die Resonanz feststellen. Es ist schwierig, Elementarteilchen von den Resonanzen zu unterscheiden, von denen weit über hundert gefunden worden sind. Schon das verweist auf die notwendige Rückführung der komplizierten Umwandlungsprozesse der Elementarteilchen auf einfachere Strukturbeziehungen.

Schechter stellt in seinem Überblick zur Entwicklung der experimentellen und theoretischen Ergebnisse über die Resonanzzustände die Frage nach dem Verhältnis von Resonanzen und Elementarteilchen. Er unterscheidet sie, indem er unter einem Elementarteilchen Teilchen mit der Baryonenzahl 1 oder 0 versteht, die stabil wären, wenn die elektromagnetische und schwache Wechselwirkung fehlen und nur starke Wechselwirkung vorhanden sein würde. Der Zerfall der Resonanzen vollzieht sich dagegen bei starker Wechselwirkung ohne Verletzung der Isotopeninvarianz und bei Erhaltung der Strangeness. Auf die Relativität der Unterscheidung macht er selbst aufmerksam, indem er auf die Fragwürdigkeit des Arguments von der Langlebigkeit verweist. Außerdem kann man nach ihm im Rahmen der starken Wechselwirkung Resonanzen und Elementarteilchen nur da-[124]durch unterscheiden, daß man sie als Grund- und Erregungszustand desselben Systems nimmt. „Welcher Zustand energetisch niedriger oder höher ist“, schreibt er, „hängt von der Dynamik der Wechselwirkung ab und hat keine direkte Beziehung zur intuitiven Vorstellung über die Elementarteilchen als den ‚Bausteinen des Weltgebäudes‘.“[29] Die Entdeckung der Resonanzen führte direkt zur Überprüfung unserer Vorstellungen von dem, was wir als elementar bezeichnen wollen. Alle Ver-

[29] W. M. Schechter, Resonanzenzustände der Elementarteilchen, Moskau 1965, S. 8 (russ.).

suche zur Entwicklung einer einheitlichen Elementarteilchentheorie, auf die wir im nächsten Abschnitt eingehen werden, müssen einen Standpunkt zur Elementarität der Teilchen einnehmen. Das führt uns direkt zu der philosophischen Frage nach dem Verhältnis von Elementarität und Wechselwirkung. Sicher kann man die Resonanzen als Zwischenzustände im Wechselwirkungsprozeß betrachten, dessen Endprodukte stabile Elementarteilchen sind. Aber dazu müßte der Grund der Stabilität unter bestimmten Bedingungen bereits gefunden sein. Bisher wissen wir aber noch nicht viel über die Elementarität der Teilchen, was schon zu der sich aufdrängenden Hypothese führte, die Vielzahl der Teilchen auf wenige Fundamentalteilchen zu reduzieren.

Die Entwicklung der Elementarteilchenphysik bringt uns notwendig zu einem Gedanken über die Materiestruktur zurück, den wir schon einmal anführten. Die Hypothese von der Existenz der Atome erforderte mit ihrer Bestätigung zugleich die Untersuchung der Struktur des Atoms, wobei dieses sich nicht als letztes unteilbares Teilchen erwies. Die folgende Aufdekkung der Struktur des Atomkerns führte zugleich mit anderen Erkenntnissen zur Entwicklung der Elementarteilchenphysik. Die weitere Erforschung der Elementarteilchen ergibt nun immer wieder die Frage nach ihrer wirklichen Elementarität in der Wechselwirkung und damit die Frage nach der inneren Struktur der Teilchen oder der Struktur ihrer Wechselwirkungsprozesse. Die Resonanzen sind sicher ein wesentlicher Schritt zu Erkundung dieser Struktur der stark wechselwirkenden Teilchen. Wegen der Relativität der Unterscheidung von Elementarteilchen und Resonanzen betrachten viele Physiker auch die Resonanzen als Elementarteilchen, womit ihre Zahl auf über 100 angestiegen wäre. Es werden jedoch auch Bedenken gegen die Einbeziehung der Resonanzen in die Elementarteilchen angemeldet. Sokolow meint: „Die ‚Resonanzen' kann man nicht als neue Elementarteilchen ansehen, denn sie besitzen eine relativ große Resonanzbreite. Genauso gestattet es ihre positive Wechselwirkungsenergie [125] nicht, sie als atomähnliche Gebilde zu betrachten. Wahrscheinlich stellen sie eine neue Form der Vereinigung der Elementarteilchen dar".[30] Auch das würde nicht gegen die Auffassung sprechen, die Resonanzen doch Elementarteilchen zu betrachten, da diese ebenfalls Vereinigungen von anderen Teilchen sind. Offensichtlich muß die Frage nach der Elementarität der Teilchen und Resonanzen noch eine Weile auf eine physikalische Antwort warten, da die mit der Struktur der Elementarteilchen verbundenen Probleme noch nicht gelöst sind. Das kann uns aber nicht abhalten, die mit dem Verhältnis von Elementarität und Struktur, von Elementarität und Wechselwirkung verbundenen philosophischen Beziehungen, die Aufschluß über das Verhältnis von Element-Struktur-System geben, genauer zu untersuchen und dabei die bisherigen theoretischen Einsichten der Elementarteilchenphysik und ihre Hypothesen zur Präzisierung unserer Auffassung und zum Aufstellen von philosophischen Hypothesen zu benutzen.

Der Bau immer größerer Beschleuniger wird uns helfen, tiefer in das Geheimnis der Elementarteilchenwechselwirkungen einzudringen. In Serpuchow wird ein Protonenbeschleuniger mit 70 GeV arbeiten. Große Bedeutung werden auch die Elektronenbeschleuniger haben, da Elektronen leicht die Nukleonen durchdringen und neue Einsichten in ihre Struktur vermitteln können. Bereits mit Elektronenbeschleunigern von 1 GeV gelang es, die elektromagnetische Struktur des Nukleons in Versuchen von Hofstadter und Wilson aufzuklären.[30a] Im Zentralteil des Nukleons befindet sich ein Kernkörperchen, über das wenig bekannt ist. Ringsherum befindet sich die Mesonenwolke, deren äußerer Rand experimentell und theoretisch untersucht wurde.

[30] A. A. Sokolow, Elementarteilchen, Berlin 1965, S. 69.

[30a] Diese Versuche wurden mit Beschleunigern von 17 GeV fortgesetzt, deren Ergebnisse mit Hilfe der Partonentheorie erklärt werden. Vgl. Kokkedee, The Quark Model, Amsterdam 1969, und D. D. Iwanenkow im Vorwort dazu, Moskau 1971.

3. Gibt es eine einheitliche Theorie der Elementarteilchen?

Auf die Schwierigkeiten, die das 19. Jahrhundert bereits für die Durchführung des mechanischen Weltbilds aus der Physik mit sich brachte, haben wir schon hingewiesen. Die Ätherhypothese mußte fallen, und die Struktur der Atome wurde erforscht. Das 20. Jahrhundert brachte dann die Entdeckung der durchgängigen Existenz von Wellen- und Korpuskeleigen-[126]schaften aller Materiearten. Außerdem wurden immer mehr Elementarteilchen bekannt, und es wurde schon über ihre Strukturen diskutiert. Sowohl der Versuch, eine einheitliche Naturerklärung auf der Grundlage des elektromagnetischen Feldes zu erhalten, als auch der Aufbau einer einheitlichen Feldtheorie Einsteins durch Geometrisierung aller Felder sind gescheitert.

Durch die dialektisch-materialistische Auffassung von der Einheit der Welt in der Materialität ergeben sich keine Probleme beim philosophischen Verständnis dieses Sachverhalts. Lenin hatte schon auf die Unerschöpflichkeit materieller Objekte und Beziehungen hingewiesen und die unendliche Kompliziertheit der Materie betont. Damit erweisen sich die verschiedenen physikalischen Konzeptionen, eine einheitliche Auffassung der physikalischen Prozesse in der Theorie zu erreichen, als eine relative Erkenntnis der Einheit der Welt. Einerseits wird der unendlichen Kompliziertheit Rechnung getragen, wenn ungerechtfertigte Extrapolationen kritisiert werden müssen. Andererseits sind alle diese Versuche, soweit sie eine relative Berechtigung haben, eine tiefere Einsicht in die physikalische Materiestruktur.

Auch heute gilt, daß über eine einheitliche Elementarteilchentheorie, ihre Berechtigung usw. die Physik entscheiden muß. Aber die Hypothese von ihrer Existenz hat heuristische Bedeutung und ist von philosophischer Seite aus der These von der Einheit der Welt in der Materialität zu rechtfertigen. Jeder konkrete physikalische Ansatz dafür könnte schon der philosophischen Kritik deshalb unterliegen, weil er die unendliche Mannigfaltigkeit physikalischer Objekte und Beziehungen nicht in ihrer Einheit erfassen kann, aber das wäre sicher eine vorzeitige und ungerechtfertigte Kritik, weil der hypothetische Ansatz, wenn er ausgearbeitet und überprüft ist, so lange durchgeführt, extrapoliert und angewendet werden muß, bis er seine Grenzen physikalisch erweist. Die konsequente Überprüfung und Ausnutzung einer vom philosophischen Blickpunkt von der unendlichen Kompliziertheit der Materie her einseitigen physikalischen Hypothese ist auch philosophisch begründbar. Die Aufstellung einer einheitlichen physikalischen Theorie muß stets von den bisher erreichten Theorien, ihren Widersprüchen mit dem Experiment und den theoretisch bisher nicht erklärbaren Experimenten ausgehen. Selbst der in mathematischen Überlegungen enthaltene Ausgangspunkt für physikalische Theorien erfährt seine Berechtigung erst durch die theoretische Erklärung vorhandener experimenteller Ergebnisse und die Voraussage unbekannter, aber experimentell auffindbarer Objekte und Beziehungen. Damit orientiert die physikalische Theorie stets auf die erkannten oder potentiell zu erkennenden physikalischen Erscheinungen, [127] während die Philosophie mit der These von der unendlichen Kompliziertheit der Materie gerade darauf verweist, daß über die bekannten und potentiell zu erkennenden, weil schon in der Theorie vorauszusehenden Erscheinungen noch weitere potentielle Erkenntnisobjekte existieren, über die noch nichts vorausgesagt werden kann. In der Physik birgt die Suche nach einer einheitlichen Theorie jedoch noch eine weitere Gefahr in sich. Da sie alle physikalischen Erscheinungen umfassen muß, entfernt sie sich in ihren Verallgemeinerungen sehr weit von den empirisch festgestellten Parametern und erfordert einen mathematischen Formalismus, der die Beziehung zwischen den Funktionen der Grundgleichung oder den Grundgleichungen und den experimentell feststellbaren Größen herstellt, der immer komplizierter wird. Dadurch gelingt es nur sehr schwer, zu neuen Ergebnissen zu kommen, die experimentell erst zu überprüfen sind. Demgegenüber haben oft phänomenologische Überlegungen, die allgemeine physikalische Prinzipien mit empirischen Aussagen verbinden, mehr Erfolg. Das scheint ein allgemeines Entwicklungsprinzip physikalischer Theorien zu sein. Die allgemeinere Theorie entwickelt sich auf der Grundlage von Teiltheorien, in die meist

noch empirische Einsichten mit eingehen. Denken wir beispielsweise an die Entwicklung der klassischen Mechanik bis Newton, an die Entwicklung der Elektrodynamik bis Maxwell und an die Aufstellung der Quantenpostulate durch Bohr und den Aufbau der Quantenmechanik durch Schrödinger und Heisenberg. Auch die Entwicklung von Teiltheorien hat verschiedene Stadien. Neeman schildert die Entwicklung der Auffassungen zur Materiestruktur und kommt zu der Schlußfolgerung: „Ein Jahrhundert lang mußte das Anordnungsschema der Materie allmählich, Schritt für Schritt aufgedeckt werden, bis die Wissenschaft ein Stadium der Aufbauforschung erreichte, in dem sie in der Lage war, das Tatsachenmaterial rationell einzuordnen. Für die Auswirkung einer wissenschaftlichen Idee genügt es noch nicht, daß sie richtig ist: sie muß auch zur rechten Zeit erscheinen!“[31] Die von ihm am Beispiel der chemischen Strukturauffassung entwickelten Phasen des wissenschaftlichen Denkens, nämlich der Aufbauforschung und der Anordnungsschemata, die sich bei der Aufstellung des Periodischen Systems der Elemente und den darauf folgenden Klärungen über den Aufbau der Elemente bestätigten, versucht er nun auch auf die Elementarteilchenphysik anzuwenden. „Die Physik beschäftigt sich mit der Erforschung der nächstniederen Stufe auf der Stufenleiter der Zerlegung. Die Welt der sogenannten Elementarteilchen bietet ein Bild großer Vielfältigkeit. Etwa [128] 150 verschiedene Zustände der Materie und der Strahlung sind zur Zeit bekannt, und die Forschung bemüht sich in zwei Richtungen: um Aufbauprinzipien und um Anordnungsschemen. Von jeher und in jeder Phase der wissenschaftlichen Entwicklung hat man versucht, die Welt der Materie durch einige einfachste Aufbauprinzipien zu beschreiben. Wie im Falle von Prouts Hypothese (Aufbau der Atome aus Wasserstoffatomen oder Protonen – H. H.) wird sich vermutlich auch hier eines Tages herausstellen, daß diese neueren Versuche einen beachtlichen Kern von Wahrheit enthalten. Wie dem aber auch sei, solange wir nicht ein Anordnungsschema vor uns sehen, können diese Theorien wenig ausrichten.“[32]

Wir sehen, daß uns die Betrachtung zur Existenz einer einheitlichen Theorie der Elementarteilchen bereits auf viele philosophische Probleme führt. Sowohl die unendliche Kompliziertheit der Materie, ihre Erkenntnismöglichkeiten, als auch die Etappen der physikalischen Theorienbildung sind dabei zu berücksichtigen. Leider ist das vorliegende historische Material aus der Entwicklung der Physik noch ungenügend für die moderne Erkenntnistheorie und Methodologie aufbereitet. Das wäre eine gute Grundlage zur Untersuchung der erkenntnistheoretischen und methodologischen Probleme beim Aufstellen der einheitlichen Theorie der Elementarteilchen. Viele Physiker und Philosophen haben sich dazu geäußert, aber es fehlen noch umfassende Monographien, die bereits die allgemeinen Schlußfolgerungen für die Erkenntnistheorie und Methodologie aus der Geschichte der Physik des 20. Jahrhunderts ziehen.

Versuchen wir nach den mehr philosophischen Vorbemerkungen, die auf die Schwierigkeit von Problemlösungen verweisen sollen, da noch keine einheitliche Theorie der Elementarteilchen existiert, sondern nur hypothetische Ansätze und Modelle, die Frage zu beantworten, die den Titel dieses Abschnitts bildet, dann kann man dazu aus folgenden Gründen Ja sagen: Dabei geht es vor allem um die heuristische Bedeutung der Suche nach einer einheitlichen Theorie für die Entwicklung der Physik. Auch diese Theorie, wenn sie gefunden wird, hat nicht den Charakter einer endgültigen Wahrheit. Wir geben die Gründe dafür an, daß eine relativ einheitliche Theorie der Elementarteilchen existiert.

Erstens zwingt die Vielzahl der Elementarteilchen dazu, ihre innere Einheit theoretisch zu begreifen. Die Situation kann mit der Aufdeckung des Periodischen Systems der Elemente verglichen werden. Viele Teilchen und ihre Eigenschaften sind bekannt, einige Anordnungs-

[31] Y. Neeman, Anordnung und Aufbau der Materie – Der Wandel des naturwissenschaftlichen Weltbilds und die Atomforschung, in: Universitas, Heft 6, 1969, S. 654.
[32] Ebenda, S. 655.

schemen sind mit Erfolg ausprobiert worden. Von Gell-Mann und Neeman vorgenommene [129] Klassifizierungsversuche haben zur Entdeckung neuer Teilchen geführt und auch gewisse theoretische Begründungen erfahren, die für viele Elementarteilchenprozesse Erklärungen darstellen. Optimistisch meint Neeman: „Wir nähern uns da möglicherweise einer Entwicklungsphase, in der wir das Anpassungsschema in seinen Grundzügen als vollständig ansehen können. Und damit stehen wir vor der Phase der Strukturforschung, in der zu erklären versucht wird, was denn eigentlich dieses Schema erzeugt.“[33]

Zweitens sind für alle physikalischen Prozesse die Elementarteilchen grundlegend. Die theoretische Erklärung ihres Verhaltens liefert zugleich Einsichten in den Mechanismus vieler anderer Prozesse. Der theoretische Grund für ihre Möglichkeit besteht hier darin, daß in der Geschichte der Wissenschaft die Vielfalt von Erscheinungen stets auf eine einheitliche Erfassung der Verhaltensweisen auf niederem Niveau zurückgeführt werden konnte. Das derzeit bekannte niederste Niveau sollte deshalb mit einer einheitlichen Theorie erfaßt werden, wobei die Anzeichen schon auf ein niederes Niveau der Elementarteilchen verweisen. Möglicherweise mehren sich deshalb die experimentellen Daten über die Vielfalt des Elementarteilchenverhaltens schon, bevor die einheitliche Theorie gefunden wird, und sie wird deshalb als Strukturtheorie des Subniveaus versucht. Daneben existiert jedoch die von Chew aufgestellte bootstrap-Hypothese, die den inneren Zusammenhang der Elementarteilchen hervorhebt und auf ein niederes Niveau verzichtet.

Drittens hat vor allem die Umwandelbarkeit der Teilchen ineinander den Gedanken an die einheitliche Erklärung der Elementarteilchenprozesse verstärkt. Zwar sprechen die verschiedenen Formen der Wechselwirkung auch für den Versuch, Teiltheorien für diese aufzubauen, aber sie könnten als Vorarbeiten für die einheitliche Theorie gefaßt werden. Die Trennung von Stoff und Strahlung noch im 19. Jahrhundert war ein physikalisches Argument gegen die Einheit der Welt in der Materialität. Sie erhielt bereits einen Schlag durch die Entdeckung des Welle-Korpuskel-Dualismus, der eine einheitliche Theorie für die physikalischen Objekte forderte, unabhängig davon, ob sie historisch als Stoff oder Strahlung mit genau voneinander abgegrenzten Eigenschaften angesehen wurden. Die Verwandlung von Stoff in Strahlung und die Entdekkung des Antistoffs wies zwar einerseits auf die Kompliziertheit der Materiestruktur hin, zeigte aber andererseits gerade die Möglichkeit, ihre innere Einheit über ihre Um-[130]wandelbarkeit ineinander zu erkennen. Die klassische Auffassung der qualitativ mit primären Eigenschaften ausgestatteten letzten unteilbaren Partikel, die unwandelbarer Bestand des Materieaufbaus sind, ist damit gefallen. Trotzdem sind alle die Fragen, die sich auf die weitere Teilbarkeit, auf das Verhältnis von Eigenschaften und Wechselwirkung usw. beziehen, noch nicht beantwortet.

Viertens verweisen erste Ergebnisse auf die Struktur der Elementarteilchen. Die Anfang 1970 nachgewiesene Umwandlung von Protonen in Neutronen mit Hilfe von Pionen bestätigt nicht nur den Gedanken von Yukawa und anderen über die Natur der Kernkräfte, sondern gibt auch weitere Hinweise für die Struktur der Nukleonen. Da bei den bisherigen Strukturuntersuchungen immer wieder Elementarteilchen gefunden wurden, ist das auch als ein Hinweis auf den inneren Zusammenhang aller Teilchen untereinander als Grundlage einer einheitlichen Theorie zu betrachten. Selbst die Aufdeckung einfacherer Strukturelemente, wie sie hypothetisch in Teilchen mit gebrochener Elementarladung gesehen werden, hebt diese Grundlage nicht auf, sondern verstärkt sie noch. Sollten tatsächlich den existierenden Elementarteilchen bisher nicht entdeckte Fundamentalteilchen zugrunde liegen, dann wäre damit die einheitliche Struktur der Vielzahl von Elementarteilchen nachgewiesen und eine einheitliche Theorie durch eine theoretische Erklärung dieser Substrukturen gegeben. Die angeführten

[33] Ebenda, S. 656. In dieser Richtung liegen die Versuche mit der Partonentheorie. „Partonen“ sind hypothetische punktförmige Bestandteile des Protons, deren Natur weitgehend ungeklärt ist.

Argumente verweisen mit ihren möglichen Deutungen, hervorgerufen durch experimentelle Erkenntnisse und theoretische Ansätze in der Elementarteilchenphysik, auf verschiedene Ansätze für eine einheitliche Theorie. Schon die für die elektromagnetischen Wechselwirkungen ausgearbeitete Quantenelektrodynamik, die sich vor allem mit den Photonen und den Elektronen-Positronen befaßt, führt zum Gedanken an eine Erweiterung der Theorie, da viele Elementarteilchenprozesse nicht nur die elektromagnetische Wechselwirkung erleiden, sondern es wirken auch Kernkräfte, d. h. starke Wechselwirkungen mit. Die Wechselwirkung zwischen den Feldern in der Quantenelektrodynamik kann als Störung aufgefaßt werden, da die Wechselwirkungskonstante verhältnismäßig klein ist:

$$\alpha = \frac{e^2}{hc} = \frac{1}{137} .$$

Dadurch ergeben sich jedoch Schwierigkeiten bei der Anwendung der Quantenelektrodynamik als Störungstheorie auf die Nukleonen und Mesonen. Hinzu kommt, daß bei den Wechselwirkungen der Felder im Rahmen dieser Theorie Divergenzen auftreten, die teilweise durch Renormierung beseitigt werden können. Die Begründung dafür ergibt sich jedoch nicht [131] aus der Theorie selbst. Deshalb taucht immer wieder der Gedanke auf, daß eine allgemeinere Theorie gefunden werden müsse, in der es diese Schwierigkeiten nicht gibt. Schon im Vorwort zur ersten Auflage 1959 ihrer Quantenelektrodynamik schrieben Achieser und Berestezki: „Obwohl die moderne Quantenelektrodynamik für ein bestimmtes Gebiet physikalischer Erscheinungen eine durchaus befriedigende Theorie darstellt, besitzt sie auf der anderen Seite den nicht unerheblichen Nachteil, daß man zur Beseitigung der in ihr auftretenden Divergenzen zusätzliche Überlegungen und Gedankengänge anstellen muß, die weder in den Grundformulierungen der Theorie auftreten, noch sich in den Ausgangsgleichungen widerspiegeln. Diese Sachlage hat offenbar tiefliegende Ursachen. Es ist nämlich bei weitem nicht immer möglich, eine abgeschlossene Theorie für irgendeinen Kreis von Erscheinungen (in diesem Fall der rein elektromagnetischen) aufzubauen, ohne eine umfangreichere Klasse von Wechselwirkungen in der Natur zu berücksichtigen.“[34] Die Schwierigkeiten, die sich in der Quantenelektrodynamik ergeben, führten auch zu einer Kritik an den Versuchen, eine allgemeine Quantenfeldtheorie aufzubauen. M. Strauß schreibt dazu: „Nach den anfänglichen Erfolgen der Quantenfeldtheorie (Quantenelektrodynamik, Yukawas Theorie der Kernkräfte) wurde in zunehmendem Maße klar, daß es sich bei der Theorie der quantisierten Felder um ein höchst problematisches Unternehmen handelt. Die Problematik beginnt bereits mit der Tatsache, daß die Vertauschungsregeln für Feldoperatoren inäquivalente Darstellungen zulassen, die nicht durch unitäre Transformationen verknüpfbar sind; dadurch wird die mathematische Grundlage der ganzen Quantentheorie – Hilbert-Raum als Zustandsraum – in Frage gestellt. Hinzu kommt, daß bei allen wechselwirkenden Feldern Divergenzen auftreten, die im allgemeinen nicht beseitigt werden können. In den Ausnahmefällen, wo dies möglich ist, kann dies nur durch sog. Renormierung geschehen. Die Renormierung läßt sich aber im Rahmen der Theorie nicht begründen und kann bestenfalls als Antizipation aus einer noch nicht bestehenden Theorie aufgefaßt werden. Eine konservative Minderheit versucht, die Quantenfeldtheorie durch vorsichtigere axiomatische Formulierung oder neue mathematische Methoden (Funktionalanalysis) zu retten. Obwohl diese Versuche verdienstvoll sind, kann man mit Sicherheit sagen, daß die Probleme der Elementarteilchenphysik auf diesem Wege nicht zu lösen sind.“[35] Die Zukunft der Physik muß zeigen, ob diese Kritik berechtigt ist. Die bisherige Entwicklung der Elementarteilchenphysik scheint [132] sie zu bestätigen. Zugleich wird daran deutlich, wie hart und intensiv der Streit um verschiedene Konzeptionen für eine einheitliche Theorie der Elementarteilchen oder für bestimmte Teiltheorien geführt wird. Dabei hat sich immer mehr

[34] A. I. Achieser/W. B. Berestezki, Quantenelektrodynamik, Leipzig 1962, S. IV.
[35] Mikrokosmos-Makrokosmos, Bd. 2, Berlin 1967, S. 91.

eine Unterscheidung zwischen der einheitlichen Feldtheorie der Elementarteilchen, an der besonders Heisenberg, Iwanenkow und andere gearbeitet haben, und den phänomenologischen Theorien, die mit bestimmten Symmetrieüberlegungen, mit der Klassifizierung der Teilchen, mit den Dispersionsrelationen und der Theorie der Regge-Pole verbunden ist, herausgebildet. Vorwiegend geht es dabei um eine Theorie der starken Wechselwirkungen. Die verschiedenen theoretischen Ansätze haben jedoch auch Bedeutung für die Erklärung der schwachen Wechselwirkungen. Heisenberg will mit seiner einheitlichen Feldtheorie sogar eine Theorie aller Elementarteilchenwechselwirkungen geben.[36] Unter einer phänomenologischen Theorie versteht Heisenberg jede Theorie, „die versucht, die empirischen Daten in ihrem Zusammenhang theoretisch zu verstehen, ohne ausdrücklich ein zugrundeliegendes Naturgesetz zu formulieren. Theorien dieser Art können zu sehr nützlichen Darstellungen der beobachteten Phänomene führen, und sie können später, wenn die endgültige Theorie gefunden ist, häufig als das Ergebnis einer gewissen Approximationsmethode erscheinen, die man auf die vollständige Theorie angewendet hat.“[37] In diesem Sinne versucht Heisenberg auch die Beziehungen seiner einheitlichen Feldtheorie zu den phänomenologischen Theorien, nämlich der Bootstrap-Methode von Chew, der Regge-Pole, der Symmetriebetrachtungen gruppentheoretischer Art in Form der SU_3, SU_6 usw. zu erklären, indem er den approximativen Charakter dieser Theorien aufzeigen will. Nach seiner Meinung sind sie so als Ergebnisse, die allerdings erst noch nachzuweisen wären, der einheitlichen Feldtheorie zu verstehen.

Schon Ende der vierziger Jahre entwickelte Heisenberg seine Ideen zum Verständnis der Elementarteilchenphysik. Sie trugen damals vor allem philosophischen Charakter und kreisten um den Gedanken von der Einheit der Welt. Im Mittelpunkt seiner Überlegungen stand die Umwandelbarkeit der Teilchen ineinander. Er folgerte daraus auf die Existenz eines Grundstoffs, einer Urmaterie, eines Feldes, von dem die Teilchen nur Erregungen sind. Das 1948 bereits entwickelte Programm der Suche nach einer einheit-[133]lichen Theorie der Elementarteilchen nimmt bei Heisenberg immer mehr Gestalt an. Auf der Konferenz in Pisa 1955 fanden seine Ausführungen noch nicht viel Beachtung. In der Folgezeit diskutiert er jedoch mit Pauli und anderen Physikern, besonders angeregt durch die Entdeckung der Nichterhaltung der Parität durch Yang und Lee, seine Gedanken zu einer nichtlinearen Spinortheorie. Über die mit Pauli auf der Konferenz in Padua 1957 angestellten Überlegungen dazu schreibt Heisenberg: „Wir, das heißt Wolfgang und ich, waren immer der Ansicht gewesen, daß die Symmetrieeigenschaften, die von diesen einfachsten masselosen Teilchen (den Neutrinos H. H.) dargestellt werden, zugleich auch Symmetrieeigenschaften der zugrunde liegenden Naturgesetze sein müssen. Wenn nun die Rechts-Links-Symmetrie bei diesen Teilchen fehlte, so müßte man mit der Möglichkeit rechnen, daß auch in den fundamentalen Naturgesetzen die Rechts-Links-Symmetrie zunächst fehlt und daß sie erst sekundär – zum Beispiel auf dem Umweg über die Wechselwirkung und die aus ihr folgende Masse – in die Naturgesetze hereinkommt. Sie wäre dann die Folge einer nachträglichen Verdoppelung, die mathematisch zum Beispiel dadurch entstehen könnte, daß eine Gleichung zwei gleichberechtigte Lösungen besitzt. Diese Möglichkeit war deswegen so erregend, weil sie auf eine Vereinfachung der fundamentalen Naturgesetze hinauslief.“[38]

Damit war einer der Grundgedanken für die einheitliche Feldtheorie Heisenbergs bestimmt, nämlich die Entartung des Grundzustandes, in dem sich das Feld befindet. Die Symmetrien waren dann aus den Gleichungen erst abzuleiten. Heisenberg fand eine Feldgleichung, die neben der Lorentzgruppe auch die Isospingruppe enthielt. Sie sollte der einheitlichen Theorie

[36] Eine Analyse der Auffassungen von Heisenberg zur philosophischen Grundlegung einer einheitlichen Theorie der Elementarteilchen ist enthalten in: H. Hörz, Werner Heisenberg und die Philosophie, Berlin 1968.
[37] W. Heisenberg, Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen, Stuttgart 1967, S. 125.
[38] W. Heisenberg, Der Teil und das Ganze, München 1969, S. 313.

zugrunde gelegt werden, wobei Pauli und Heisenberg der Auffassung waren, die fehlenden Symmetrien bald nachweisen zu können. Nachdem Heisenberg 1958 mehrmals über seine von der Presse als „Weltformel“ bezeichnete Gleichung berichtet hatte, sagte sich Pauli kurz vor seinem Tode von den von ihm miterarbeiteten Ideen los, und es verschärfte sich die Kritik vieler Physiker an der Heisenbergschen Theorie. Heisenberg und seine Mitarbeiter entwickelten die Theorie jedoch weiter. Auch andere Physiker, wie Schwinger, Iwanenkow usw. leisteten Beiträge. 1967 publizierte Heisenberg dann seine „Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen“, über die er schreibt: „Die in dem vorliegenden Buch dargestellte einheitliche Feldtheorie kann als ein Versuch betrachtet werden, das Naturgesetz zu formulieren, das hinter dem komplizierten Spektrum der Elementarteilchen, ihren Wechselwirkungen und Symmetrien und hinter den in [134] den bekannten phänomenologischen Theorien dargestellten Beziehungen steckt. Die Fülle an experimentellem Material über Elementarteilchen, das in den letzten 15 Jahren gesammelt worden ist, mag als ein hinreichender Grund für die Annahme gelten, daß es für einen solchen Versuch beim gegenwärtigen Stand der Physik nicht mehr zu früh ist, daß tatsächlich alle wichtigen Fakten bekannt sind, die für eine Formulierung der Theorie gebraucht werden.“[39] Es sind vor allem zwei Aussagen, die der Heisenbergschen Theorie zugrunde liegen und die immer wieder Anlaß zur Kritik gaben: der entartete Grundzustand und die indefinite Metrik des Hilbert-Raums. Damit werden auch zwei wesentliche philosophische Theorien getroffen. Einerseits geht es um die Theorie vom objektiven Zusammenhang, in der auch das Verhältnis von System, Struktur und Element eine Rolle spielt. Man könnte nun annehmen, daß die Struktur physikalischer Systeme durch exakte Symmetrien bestimmt ist und auch der in der physikalischen Theorie zu behandelnde Grundzustand symmetrisch ist. Tatsache ist aber die Nichterhaltung der Parität und möglicherweise auch der kombinierten Parität, wenn keine anderen Erklärungen für den Zerfall des K^0-Mesons gefunden werden. Außerdem sind die verschiedenen Wechselwirkungen mit ihrer unterschiedlichen Kopplungskonstante durch verschiedene Symmetrien ausgezeichnet. Von der starken über die elektromagnetische bis zur schwachen Wechselwirkung gelten immer weniger Symmetrien oder geht man den umgekehrten Weg bis zur starken Wechselwirkung, dann gelten immer mehr. Eine Elementarteilchentheorie muß diese dialektische Beziehung zwischen Symmetrie und Asymmetrie, Erhaltung und Nichterhaltung erklären und würde damit ein besseres Verständnis der Strukturauffassung erlauben. Es gibt nun Physiker, die fest an die Symmetrie auch des Grundzustands glauben, und andere, die bereit sind, die Symmetrien aus der Theorie abzuleiten. Andererseits betrifft die Annahme einer indefiniten Metrik des Hilbert-Raums die Raum-Zeit-Theorie. Mit ihr ist die Einführung einer Elementarlänge verbunden und die beschränkte Gültigkeit der Mikrokausalität. Heisenberg schreibt dazu: „In bezug auf die mathematischen Hilfsmittel lauten die kritischen Fragen: Ist die *S*-Matrix allein als mathematisches Instrument für die Formulierung der Theorie einschließlich ihrer kausalen Struktur ausreichend, oder kann man den Begriff eines lokalen Feldoperators verwenden, der bei raumartigen Abständen kommutiert (oder antikommutiert) und der einer Diffe-[135]rentialgleichung genügt? Kann der Hilbert-Raum, auf den diese Feldoperatoren wirken, mit asymptotischen Operatoren allein aufgespannt werden? Die vorliegende Theorie gibt auf die letzte Frage eine negative, aber auf die zweite Frage eine positive Antwort. Die sich dabei ergebende indefinite Metrik im Hilbert-Raum führt zu einer wesentlichen Erweiterung des üblichen mathematischen Schemas der Quantenmechanik. Diese Erweiterung kann physikalisch durch die Annahme interpretiert werden, daß der Begriff der Wahrscheinlichkeit auf lokale Ereignisse, d. h. auf Raumgebiete von der Ordnung 10^{-14} cm oder darunter, nicht angewendet werden kann. Die universelle Länge, die in die Theorie durch die Konstante *l*

[39] W. Heisenberg, Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen, S. 135. Vgl. die Arbeiten der Gruppe Iwanenkow zur Nichtlinearität, in: Westnik MGU (Physik) 1970 von Naurnow, Sao, Kurdgelaidse.

oder durch die Masse des Protons eingeht, kann als jene Entfernung definiert werden, unterhalb der die quantentheoretische Darstellung der Wahrscheinlichkeit versagt.“[40] Die Einführung der indefiniten Metrik verlangt also die Korrektur unserer Raum-Zeit-Auffassungen und der Vorstellungen von der Mikrokausalität. Sie führt auf wichtige philosophische Überlegungen zur Rolle der Naturkonstanten durch die Einführung einer Elementarlänge.

Billigt man die indefinite Metrik des Hilbert-Raums und den entarteten Grundzustand, dann erhält man in der Heisenbergschen Theorie die grundlegende Gleichung:

$$i\sigma^{\nu}\frac{\partial\chi(x)}{\partial x^{\nu}} + l^2\sigma^{\nu} : \chi(x)\,[\chi^*(x)\,\sigma^{\nu}\chi(x)] := 0$$

Der Feldoperator $\chi\,(x)$ ist ein Zweikomponentenspinor im Raum der Lorentztransformation und im Isospinraum. Die σ^{ν} sind die Paulimatrizen, während die Doppelpunkte sich auf die Definition eines Produkts von drei Feldoperatoren am selben Raum-Zeit-Punkt beziehen. l ist eine willkürliche Konstante von der Dimension einer Länge.

Heisenberg setzt sich mit der Kritik auseinander, die mit der Vorstellung verbunden wird, als ob aus der Gleichung alle physikalischen Gesetze folgen müßten. Erstens hebt er hervor, daß die Universalität sich daraus ergibt, daß die Elementarteilchen die kleinsten Einheiten der Materie sind, wobei die einheitliche Feldtheorie zwar den Rahmen für alle physikalischen Vorgänge gibt, ohne aber alle Probleme lösen zu können. Zweitens betont Heisenberg, daß selbst der Erfolg seiner Theorie die Gesetze in den anderen Teilen der Physik nicht vollständig bestimmt. Dazu muß vor allem die Grenzbedingung, die den Grundzustand betrifft, genau formuliert werden. Es ist möglich, daß gerade dieser letzte Hinweis von Heisenberg, der mit einer bestimmten Auffassung zur Beziehung von Kosmologie und [136] Elementarteilchentheorie verbunden ist, zu vielen theoretischen Schwierigkeiten führt, denn die Bestimmung des Grundzustands setzt Kenntnisse über die Materiestruktur in kosmischen Dimensionen und den Einfluß dieser Struktur auf das Elementarteilchenverhalten voraus.

Die phänomenologischen Theorien erhielten einen Aufschwung durch die Erfolge, die mit der Teilchenklassifizierung durch die Voraussage neuer Teilchen erzielt wurden. Gell-Mann und Neeman vereinigten die Teilchen in Gruppen mit demselben Wert des Spins und der inneren Parität, aber mit verschiedenen Werten der Hyperladung, die sich als Summe der Baryonenzahl und der Strangeness ergibt, und verschiedenen Werten des Isospins:

$$Q = I_3 + \frac{Y}{2} \qquad (Y{=}B{+}S)$$

Sie bildeten drei Oktett-Gruppen und eine 10-Gruppe. In diesen Gruppen fehlten Teilchen, deren Eigenschaften genau bestimmt waren und die im Experiment gefunden werden konnten. Für uns ist vor allem die theoretische Begründung dieses Herangehens wichtig. Gell-Mann und Neeman versuchten, die Begründung für die Teilchenanzahl in den Gruppen durch die Gruppentheorie zu geben. Sie gingen davon aus, daß die starke Wechselwirkung eine höhere Symmetrie als die Isotopensymmetrie besitzt, die invariant gegenüber unitären Transformationen im dreidimensionalen komplexen Raum ist. Sie schlugen vor, diese unitäre Transformation als SU_3-Gruppe zu bezeichnen.[41]

Durch den Einschluß der Hyperladung Y in die Gruppe erfolgt die Erweiterung von der Isospingruppe zur unitären Symmetriegruppe. Das hat jedoch Konsequenzen für die Hyperladung, die ganzzahlig oder auch ein Bruch sein kann. Während in der Isospingruppe die phy-

[40] Ebenda, S. 136.

[41] Vgl. A. Salam, Die Symmetrie starker Wechselwirkungen, in: K. Nishijima, Fundamentalteilchen, Moskau 1965, S. 429 ff. (russ.), I. W. Tschuwio, Die Symmetrie SU_3 und SU_6 und die experimentellen Ergebnisse über die Elementarteilchen, in: Adair/Fowler, Seltsame Teilchen, Moskau 1966, S. 156 ff. (russ.).

sikalische Bedeutung des zugrunde liegenden Spinors in der Existenz der Nukleonen gesehen werden kann, müßte der Spinor in der unitären Symmetriegruppe Teilchen mit gebrochener Quantenzahl entsprechen, die Quarks genannt wurden und als Fundamentalteilchen der Elementarteilchen betrachtet werden, aber bisher experimentell noch nicht gefunden wurden.

Die gruppentheoretische Behandlung der Elementarteilchenprobleme führte zur Betrachtung auch noch anderer Symmetrien. So wurde die mit dem [137] Spin der Teilchen verbundene Symmetrie mit der unitären Symmetrie in der Gruppe SU_6 vereinigt. Da jedoch der nichtrelativistische Spin berücksichtigt wurde, ergibt sich auch der nichtrelativistische Charakter der SU_6-Gruppe. Mit Hilfe dieser gruppentheoretischen Betrachtungen war es möglich, die Klassifizierung der Elementarteilchen theoretisch zu fundieren und eine Anzahl experimenteller Ergebnisse zu erhalten. Deshalb wurde auch der Versuch unternommen, noch höhere Symmetrien aufzubauen. Dazu ist es erforderlich, noch mehr Eigenschaften der Elementarteilchen in die Betrachtung einzubeziehen.

Die großen theoretischen Schwierigkeiten, die sich in der Theorie der starken Wechselwirkungen ergaben, sollten dadurch überwunden werden, daß mit Hilfe einiger allgemeiner Prinzipien überprüfbare Aussagen über das Elementarteilchenverhalten aufgestellt wurden. Die dabei zugrunde liegende Vorstellung besteht darin, daß ein Elementarteilchen als aus anderen zusammengesetzt aufgefaßt werden kann, wobei bestimmte Zusammensetzungen und Wechselwirkungen als wesentlich angesehen werden. Das Studium der damit verbundenen *S*-Matrix-Elemente gibt dann die Möglichkeit, Massenverhältnisse und Kopplungskonstanten zu bestimmen. Für die mathematische Berechnung werden Dispersionsrelationen benutzt, die sich aus der analytischen Struktur der *S*-Matrix-Elemente ergeben. Die *S*-Matrix stellt in einem Streuprozeß eine Beziehung zwischen Anfangs- und Endzustand, zwischen ankommenden und gestreuten Teilchen her. Die *S*-Matrix ist eine unitäre Transformationsmatrix. Die Unitarität garantiert den Zusammenhang der physikalischen Zustände. Die *S*-Matrix muß außerdem gegenüber den für das zu beschreibende Elementarteilchenverhalten grundlegenden Gruppen invariant sein. Dazu kommt noch eine mathematische Darstellung der Mikrokausalität, die aus der speziellen Relativitätstheorie folgt und die Verursachung der Wirkung garantiert. Betrachtet man die Ein- und Ausgaben eines physikalischen Systems, dann müssen sich die Ausgaben aus den Eingaben kausal ergeben. Verschärft man diese Formulierung dadurch, daß man keine nichtlinearen Beziehungen zuläßt, dann ist die Ausgabe eine lineare Funktion der Eingabe. Man kann nun bestimmte damit zusammenhängende analytische Eigenschaften betrachten, die zu den Dispersionsrelationen führen.[42] Aus den Arbeiten zu den Dispersionsrelationen erhält man einige qualitative Ergebnisse. Es handelt sich dabei jedoch nicht um eine einheitliche Theorie der Elementarteilchen, sondern ebenso wie bei den gruppentheoretischen Untersuchungen von [138] Gell-Mann u. a. geht es im wesentlichen um die starken Wechselwirkungen. Deshalb gibt es auch von den Vertretern der einheitlichen Feldtheorie starke Bedenken gegen die Theorie der Dispersionsrelationen, weil sie nur eine phänomenologische Beschreibung liefert, empirische Daten einbeziehen muß und trotzdem mathematisch sehr kompliziert ist. Heisenberg schreibt dazu: „Die drei wichtigsten Züge der *S*-Matrix: Unitarität, Invarianz gegenüber den fundamentalen Gruppen und analytische Darstellung der Kausalität reichen wahrscheinlich grundsätzlich aus, um ihre Struktur vollständig zu bestimmen. Trotzdem kann die *S*-Matrix wegen ihrer mathematischen Kompliziertheit kaum ein geeignetes mathematisches Werkzeug sein, um das zugrunde liegende Naturgesetz für die Elementarteilchenphysik zu definieren. Sicher wird man eine (möglicherweise noch unvollständige) Beschreibung der Phänomene mit Hilfe der *S*-Matrix geben

[42] R. Hagedorn, Introduction to field theory and dispersion relations, 5. Sonderband der Fortschritte der Physik, Berlin 1963.

können. Aber die *S*-Matrix sollte das Ergebnis, nicht die Definition der Theorie sein, sie sollte sich aus einem mathematischen Prozeß herleiten lassen, der auf Axiomen beruht, die in einer viel einfacheren Weise formuliert werden können.“[43] Gerade der phänomenologische Charakter dieser theoretischen Ansätze befriedigt Heisenberg nicht, obwohl sie relativ gut mit den experimentellen Ergebnissen übereinstimmen. Die Suche nach einer einheitlichen Theorie der Elementarteilchen, aus der sich die phänomenologischen Aussagen ergeben, geht weiter. Sie muß die starke, elektromagnetische und schwache Wechselwirkung umfassen und darf den Ergebnissen über die Gravitationswechselwirkung nicht widersprechen, obwohl letztere im allgemeinen in der Elementarteilchenphysik vernachlässigt wird. Die bereits mit Hilfe phänomenologischer Theorien erreichten Deutungen experimenteller Ergebnisse müssen enthalten sein. Ob die Heisenbergschen Bemühungen in dieser Richtung zum Erfolg führen, ist noch offen. Heisenberg selbst meint, die Vereinbarkeit der phänomenologischen Aussagen mit seiner Theorie nachweisen zu können, wobei er vor allem der weiteren Entwicklung der einheitlichen Feldtheorie vertraut. Nach ihm steht sie „noch im ersten Entwicklungsstadium“, und es bedürfen „viele schwierige Probleme weiterer Untersuchungen“.[44]

Drei Richtungen sind bei der Entwicklung der Elementarteilchentheorie von philosophischem Interesse zur Klärung der mit der Untersuchung der [139] physikalischen Materiestruktur zusammenhängenden erkenntnistheoretischen und methodologischen Probleme:

Erstens bringen die phänomenologischen Theorien, seien es die Klassifizierungsversuche mit gruppentheoretischer Begründung, die Theorie der Dispersionsrelationen oder die Theorie von den Regge-Polen, die nicht nur die Pole auf der reellen Achse, sondern auch in der komplexen Drehimpulsebene berücksichtigt und damit das Auftreten von Resonanzen erfaßt, Ordnung in das experimentelle Material. Sie helfen, Anordnungsschemata für die Elementarteilchen zu finden, die Grundlage für eine spätere einheitliche Theorie der Elementarteilchen sein können und die Grundlage für die Erklärung des Verhaltens der Teilchen in einem Aufbauschema darstellen. Zweitens wird bereits versucht, eine einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen zu entwickeln, bei der sich die Eigenschaften der Elementarteilchen aus der Grundgleichung ergeben. Denkbar wären hier auch mehrere Grundgleichungen, die verschiedenen Eigenschaftsgruppen entsprechen könnten. In der Heisenbergschen Theorie werden die Teilchen als Erregungen des Feldes betrachtet. Es wäre auch interessant, den Teilchenaspekt in einer einheitlichen Theorie in den Vordergrund zu stellen.

Drittens wird noch mehr experimentelles Material benötigt, um mehr Eigenschaften der Teilchen kennenzulernen, die die Gesetze ihres Verhaltens einsichtiger machen. Gerade der Versuch, die Quarks oder Partonen zu finden, gibt der Elementarteilchenphysik neuen Auftrieb, die Vielfalt der Teilchen aus Fundamentalteilchen zu erklären. Manche identifizieren Quarks und Partonen, andere betrachten Pionen und andere Teilchen als Partonen.

4. Hypothesen und Experimente zur Teilchenstruktur

Als am 2. September 1969 auf der Konferenz über kosmische Strahlung in Budapest der Leiter eines großen Laboratoriums zur Erforschung der kosmischen Strahlen in Australien, C. B. A. McCusker, Materialien vorlegte, die die Existenz der Quarks nachweisen sollten, flammte die Diskussion wieder auf, die sich schon etwas beruhigt hatte. 1964 hatten Gell-Mann und Zweig vorgeschlagen, den Spinor der SU_3-Gruppe physikalisch mit der Existenz von Teilchen zu verbinden. Da für diese Teilchen, eben die Quarks, die Formel von Gell-Mann und Nishijima gilt, ergeben sich für die Ladung dieser Teilchen die Werte $^2/_3$, $-^1/_3$, $-^1/_3$. Obwohl viele Physi-

[43] W. Heisenberg, Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen, S. 17.
[44] Ebenda, S. VII. Vgl. auch H. P. Dürr, Klassifizierung der Elementarteilchen und die hypothetischen Quark-Teilchen, in: Physikalische Blätter, 21 (1965), Heft 9, S. 406 ff.

ker mit der Annahme von der Existenz gebrochener Elementarladungen nicht einverstanden waren, begann eine fieberhafte Suche nach ihnen. [140] Ihre Entdeckung hätte die Vielzahl der Teilchen auf drei Teilchen mit ihren Antiteilchen zurückführen lassen. Dieser Gedanke war nicht neu. 1956 hatte Sakata vorgeschlagen, die Teilchen als aufgebaut aus Fundamentalteilchen zu betrachten, zu denen er das Proton, das Neutron und das Lambda-Teilchen zählte. Damit konnte zwar eine Mesonen- aber keine Nukleonengruppe gebildet werden.

Gell-Mann und Zweig umgingen die mit der Hypothese von Sakata verbundenen Schwierigkeiten, indem sie nicht auf bereits vorhandene Teilchen zurückgriffen, sondern hypothetische Teilchen annahmen, dabei aber die Existenz einer Elementarladung aufgaben. Um den von Sakata bereits geäußerten und von Gell-Mann und Zweig präzisierten Gedanken von der Existenz der Fundamentalteilchen als Grundlage der Elementarteilchen nicht aufgeben zu müssen, aber die Existenz gebrochener Quantenzahlen für die Elementarladung zu besitzen, hatte Salam die Formel von Gell-Mann erweitert und eine neue Quantenzahl hinzugefügt, die er Charm nannte und die für die Quarks den Wert 1 oder –2 annehmen konnte. Es ergab sich dann die Formel:

$$Q = I_3 + \frac{1}{2}Y + \frac{1}{3}C \qquad (C \text{ ist die Quantenzahl Charm})$$

Aus dieser Formel ergibt sich die Elementarladung als ganze Zahl. Unabhängig davon, ob man mit den bisherigen Quantenzahlen auskommt oder noch eine neue einführt, die Rückführbarkeit der Elementarteilchen auf die Quarks mußte experimentell nachgewiesen werden. Da eine Vielzahl von Experimenten nach 1964 zu keinem Resultat führten, wurden bereits Stimmen laut, die zwar die Bedeutung der unitären Symmetrie anerkannten, aber die Quarks nur als Hilfsmittel zur mathematischen Erfassung der Struktur der Elementarteilchen zuließen, ohne sie als reale Objekte, die experimentell nachweisbar sind, zu betrachten. Mit der Mitteilung von McCusker wurde jedoch die Suche nach den realen Objekten wieder aktuell. Es gibt drei Methoden zur experimentellen Überprüfung, ob die Quarks existieren[45]: Erstens kann man sie in der kosmischen Strahlung suchen. Dort gibt es Teilchen mit Energien, die wir mit unseren Beschleunigern noch nicht erreichen. Das hatte zur Entdeckung vieler Elementarteilchen geführt, vor allem bevor Beschleuniger überhaupt oder mit genügend großer Energie gebaut wurden. Die Versuche hatten jedoch zu keinem Erfolg geführt. McCusker registrierte nun nur solche Teilchen, die in der [141] Atmosphäre durch die Wirkung von Primarteilchen mit sehr hoher Energie entstehen. Er hatte Teilchenströme mit Energien der Größenordnung $5 \cdot 10^{15}$ eV registriert. Das übersteigt um das 100.000fache die Protoenergie in Serpuchow. Im Verlaufe eines Jahres wurden unter 60.000 Teilchenspuren vier gefunden, deren Verlauf dem Verhalten von Quarks entsprechen könnte. Danach wurde noch eine Spur entdeckt. Noch sind die Physiker nicht voll von der Existenz der Quarks überzeugt. Dazu sind weitere Experimente erforderlich, die überzeugend die Eigenschaften dieser Teilchen nachweisen. Nur reicht es zur Zeit nicht aus, sich mit dem Gedanken zufriedenzugeben, daß die Quarks Hilfsmittel zur Erklärung der Struktur der Elementarteilchen sind, ohne selbst als Teilchen in der objektiven Realität vorhanden zu sein.

Zweitens werden die Quarks mit Hilfe der Beschleuniger gesucht. Die Erklärung dafür, daß sie noch nicht gefunden wurden, könnte in ihrer großen Masse liegen. Die Versuche in Serpuchow waren bisher auf jeden Fall negativ. Es ist deshalb möglich, daß die dort für die Protonen erreichte Energie nicht hoch genug ist, um die Quarks entstehen zu lassen. Es ist aber auch denkbar, daß sie nicht so schwer sind, aber stark mit den Pionen wechselwirken und deshalb in Prozessen an Stelle der Protonen auftreten, was jedoch bei den bisherigen Energien ebenfalls nicht feststellbar wäre. Drittens werden stabile Quarks im Boden, in der Luft und im

[45] Vgl. E. L. Feinberg, Die Jagd nach den quarks, in: Priroda 1 (1970), H. Appel/J. Görres, Stand der Quark-Experimente, in: Physikalische Blätter, 22 (1966) Heft 12, S. 542 ff.

Wasser gesucht, die sich dort erhalten haben und nicht zerfallen sind. In die Vorstellungen über die Existenz der Quarks in diesen Medien gehen auch Auffassungen über das Verhalten des Weltalls und die Entstehung der Erde ein. Wenn das All eine Phase großer Dichte und hoher Temperatur durchgemacht hat, dann ermöglichte die hohe Temperatur die Paarentstehung beliebiger Teilchen. Mit dem Sinken der Temperatur überwog die Paarvernichtung, bis das Absinken der Dichte den Zusammenstoß der Teilchen immer mehr verringerte. Die in diesem Moment noch vorhandenen Teilchen müssen auch heute noch vorhanden sein und können experimentell gefunden werden. Der Mißerfolg der Experimente kann aber darauf hinweisen, daß die Erde lange Zeit in den Gebieten war, die die Paarvernichtung der Quarks ermöglichten. Auf jeden Fall sind bisher auf diese Weise keine Quarks entdeckt worden.

Es geht also heute in der einen oder anderen Weise um experimentell überprüfbare Hypothesen über die Struktur der Elementarteilchen. Die Existenz der Quarks würde die Ansichten über die Struktur insofern vereinfachen, da sie die Bestandteile der Elementarteilchen wären und ihre Beziehungen die Struktur der Teilchen ergeben würden.

Wir hatten jedoch schon auf die Versuche hingewiesen, die starke Wechsel-[142]wirkung mit Hilfe des bootstrap-Formalismus zu erfassen. Nach dieser von Chew aufgestellten Hypothese über die Wechselwirkung sind die stark wechselwirkenden Teilchen so miteinander verbunden, daß jedes Teilchen eigentlich die Wechselwirkung anderer Teilchen repräsentiert. Danach wären keine Fundamentalteilchen zur Erklärung der Teilchenstruktur erforderlich, sondern die Struktur ist die Beziehung der existierenden Teilchen, die stark miteinander wechselwirken. Neeman meint zu diesen beiden Versuchen, die Struktur der Teilchen zu klären: „Tatsächlich werden bereits einige kühne Hypothesen, unter anderem einige von analytischem Typ, vorgebracht. Sollten sie Erfolg haben, so würden wir vom Gebiet der Elementarteilchen in eine neue Welt der Ultraelementarteilchen überzugehen haben. Andere Aspekte fassen ein System ohne weitere ultraelementare Bausteine ins Auge. Ihr Modell erinnert an jenen Dschungel, in dem Tiger, Eidechsen und Moskitos zusammen leben und in dem die Tiger Eidechsen fressen, die Eidechsen sich von Moskitos ernähren und die Moskitos nach und nach die Tiger verzehren, indem sie sie infizieren und töten. Die Tiger sind also aus Eidechsen, die Eidechsen aus Moskitos, die Moskitos aus Tigern ‚aufgebaut', ad infinitum. Hier haben wir keine elementaren Aufbauteile mehr vor uns, vielmehr ein sich selbst unterhaltendes System von gleichermaßen elementaren und nicht elementaren Teilen, die in stärkster Wechselwirkung stehen. Diese Idee wird als ‚Bootstraptheorie' (‚Schnürsenkeltheorie') bezeichnet. Elementarteilchen sind nach dieser Auffassung ‚eines aus dem anderen' zusammengesetzt.

Vorläufig besteht kein zureichender Grund, sich für die eine oder die andere Auffassung zu entscheiden. Möglicherweise werden wir in den nächsten Jahren eine neue Physik der Ultraelementarteilchen studieren, die etwa einer Übertragung von Gedanken Demokrits in die Welt der Elementarteilchen gleichkäme."[46]

Neben den Versuchen, die Struktur der Teilchen aus der Wechselwirkung zu erklären oder Fundamentalteilchen anzunehmen, müssen wir auch die Behauptung von Heisenberg, daß die Teilchen Erregungen eines Feldes sind, das als „Urmaterie" bezeichnet werden kann, als Hypothese betrachten, deren Richtigkeit erst experimentell zu erweisen ist. Von dieser Warte aus erhalten Experimente eine bestimmte Deutung ihrer Aussagen zur Struktur. Hofstadter hatte 1957 bei seinen Experimenten Abweichungen vom Streuungsbild eines punktförmigen Protons festgestellt. Er hatte Protonen mit Elektronen beschossen und deutete die Elektronenstreuung so, „daß selbst die ‚Elementarteilchen' eine Struktur aufweisen"[47] Da Heisen-

[46] Universitas, Heft 6, 1969, S. 656.

[47] R. Hofstadter, Die Elektronenstreuung und ihre Anwendung auf die Struktur von Kernen und Elektronen, in: Physikalische Blätter, 5 (1962), S. 193.

[143]berg dazu tendiert, eine Elementarlänge von 10^{-13} cm einzuführen, betrachtet er Informationen über die Elementarteilchenstruktur mit Vorsicht: „Die experimentellen Ergebnisse über die Streuung hochenergetischer Elektronen an Atomkernen können auch interpretiert werden als Informationen über die Ladungsverteilung, oder die Massenverteilung, oder allgemeiner die Struktur der zu betrachtenden Teilchen, Atomkerne oder Elementarteilchen. Diese Interpretation ist höchstens insofern etwas problematisch, als sie gewisse Annahmen über den Wechselwirkungsmechanismus voraussetzt, die zwar in der konventionellen Quantenmechanik korrekt sind, die aber in der endgültigen relativistischen Theorie der Elementarteilchen nicht zutreffen.“[48] Heisenberg geht es hier um eine Ungenauigkeit der Ortsmessungen im Bereich 10^{-13} cm. Danach ist die Raum-Zeit im Elementarteilchenbereich so strukturiert, daß man zwei Raumpunkte durch Messung nicht voneinander unterscheiden kann, wenn sie unterhalb der Elementarlänge liegen. Damit können in diesem Bereich auch keine Kausalbeziehungen zwischen zwei Ereignissen mehr definiert werden, da auch zwei Ereignisse, deren zeitlicher Abstand kleiner als eine Elementarzeit $t = \frac{l}{c}$ ist, nicht mehr unterschieden werden können. Kausalität wird hier im Sinne der speziellen Relativitätstheorie verstanden, nach der Wirkungen von Punkt zu Punkt, entlang dem Lichtkegel in Nahwirkung fortgepflanzt werden. Wenn nun Ereignisse und Punkte nicht mehr unterschieden werden können, kann auch keine Zuordnung zwischen einem Ereignis als Ursache und dem anderen als Wirkung erfolgen. Raum-Zeit-Auffassung und Kausalität hängen also eng zusammen. Versagen in bestimmten Bereichen unsere metrischen Vorstellungen, wie das mit einer Elementarlänge und einer Elementarzeit angenommen wird, dann liegt hier ein Widerspruch zur Relativitätstheorie vor.

Ungeachtet dieser Überlegungen, die für Heisenbergs Konzeption wesentlich sind, da er eine Elementarlänge einführt und deshalb die lokale Kausalität unterhalb der Elementarlänge und der daraus sich ergebenden Elementarzeit nicht anerkennt, anerkennt er doch die anschauliche Deutung über die Struktur des Nukleons. Es ist nach ihm eine weiche Materiewolke mit einem Radius von 10^{-13} cm. Die Dichte der Wolke hat ein Maximum, aber keine scharfe Singularität im Zentrum und fällt bei Abständen von der Größenordnung 10^{-13} cm schnell ab. Nach ihm könnte [144] dieses Bild für alle stark wechselwirkenden Teilchen gelten.[49] Heisenberg betrachtet auch die in der kosmischen Strahlung vorkommenden Schauer höchster Energie. Da die Quarks in ihnen bisher nicht gefunden wurden, meint er, die SU_3-Gruppe spiele sicher keine fundamentale Rolle für das Naturgesetz der Elementarteilchenphysik. Für ihn ist die Existenz der Quarks unwahrscheinlich. Sollten sie nämlich entdeckt werden, müßten die Vorstellungen über die Struktur der Teilchen, soweit sie mit der Existenz einer Elementarlänge der von Heisenberg angegebenen Größenordnung zusammenhängen, noch einmal überprüft werden. Die bisherigen experimentellen Erkenntnisse lassen sich jedoch verschieden deuten. Sie sind sowohl mit der Annahme einer Elementarlänge und der damit verbundenen Aufstellung nichtlokaler Theorien als auch mit der Vorstellung von Strukturelementen unterhalb der jetzt als Elementarlänge angegebenen Größe vereinbar. Heisenberg schreibt dazu: „Das allgemeine Verhalten dieser Schauer höchster Energie paßt gut mit der anderen empirischen Tatsache zusammen, daß die charakteristische Länge in der Elementarteilchenphysik, z. B. in den Experimenten von Hofstadter über die elektromagnetische Struktur der Nukleonen, von der Größenordnung von $0{,}5 \cdot 10^{-13}$ cm ist, nicht etwa viel kleiner. Die vorliegenden Experimente können sehr viel kleinere Strukturen nicht endgültig ausschließen, aber sie geben zweifellos keinen Anhaltspunkt für irgendwelche Strukturen unterhalb von 10^{-14} cm.“[50]

[48] W. Heisenberg, Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen, S. 11.
[49] Ebenda.
[50] Ebenda, S. 134. Diese Anhaltspunkte sind mit weiteren Experimenten zur Elektronen-Protonenstreuung größer geworden.

Das Problem der Elementarlänge tritt nicht nur in der für die Elementarteilchenphysik relevanten Gestalt auf, sondern auch bei der Untersuchung der Gravitation, die ja im allgemeinen im Elementarteilchenbereich vernachlässigt wird. Die quantentheoretische Behandlung der Gravitationswellen führt zur Annahme von der Existenz der Quanten dieser Felder, der Gravitonen. Wenn sie existieren, würden sie ebenfalls zu den Elementarteilchen zu rechnen sein. Es gibt sogar Versuche, alle Elementarteilchenprobleme auf geometrische zurückzuführen und den Dualismus zwischen Geometrie und nicht-geometrischen Feldern und Teilchen auf der Basis der allgemeinen Relativitätstheorie aufzuheben. Für diese Geometrodynamik spielen die Gravitonen eine große Rolle. Sie müssen sich aus der geometrischen Struktur der Raum-Zeit-Welt ergeben, weshalb die Quantelung des Gravitationsfeldes zugleich die Quantelung von Raum und Zeit bedeutet. H.-J. Treder, der diese Situation schildert, macht auf Konsequenzen [145] aufmerksam, die sich daraus ergeben: „Es zeigt sich, daß hier vermutlich eine Verallgemeinerung des Fundamentes der allgemeinen Relativitätstheorie notwendig ist, die darin besteht, daß die Annahme, daß für jeden Punkt der Raum-Zeit im Infinitesimalen die spezielle Relativitätstheorie gilt, fallengelassen wird (J. Wheeler, B. de Witt, T. Regge, H. Treder u. a.). Die Quantelung des Gravitationsfeldes scheint zu verlangen, daß die Geometrie der Raum-Zeit auch im Infinitesimalen von der Minkowskischen Geometrie abweichen kann, was die Existenz von Gravitationsfeldern bedeutet, die lokal extrem stark sind. Die Quantelung der Gravitationsfelder führt auf die Existenz einer kleinsten Länge, unter der direkte Meßergebnisse nicht mehr erhaltbar sind. Diese Fundamentallänge ist die Plancksche Elementarlänge

$$l = \sqrt{\frac{hf}{c^3}} \approx 10^{-33} \text{ cm.}“[51]$$

(*f* Gravitationskonstante, *h* Wirkungsquantum, *c* Lichtgeschwindigkeit)

Die Hypothese von der Existenz einer Elementarlänge im Elementarteilchenbereich, die mit der Leugnung der Lokalität unterhalb der Elementarlänge notwendig verbunden ist, tritt auch noch in einer anderen Form auf. Feinberg nimmt an, daß Teilchen mit Überlichtgeschwindigkeit existieren, die eine endliche imaginäre Ruhmasse haben und deren Energie mit wachsender Geschwindigkeit abnimmt. Diese Teilchen, Tachyonen genannt, sind mit dem speziellen Relativitätsprinzip vereinbar, wenn sie nie Lichtgeschwindigkeit oder Unterlichtgeschwindigkeit erreichen. Sie widersprechen jedoch der lokalen Kausalität, da sie Wechselwirkungen zwischen den, nach der Relativitätstheorie raumartig zueinander liegenden Ereignissen zulassen. Da für raumartig zueinander gelegene Ereignisse eine bezugssystemunabhängige Unterscheidung von Ursache und Wirkung nicht möglich ist, hatte Einstein die Wechselwirkung zwischen ihnen als physikalisch unmöglich erklärt. Treder schreibt dazu: „Daher forderte Einstein, daß es zwischen raumartig zueinander gelegenen Ereignissen überhaupt keinen Wirkungs- oder Signalaustausch geben kann, da ein solcher Austausch das Kausalitätsprinzip verletzt. Hieraus schloß Einstein weiter, daß es demnach keine Teilchen gibt, die sich mit Überlichtgeschwindigkeit bewegen, denn diese Teilchen würden eine akausale Verknüpfung zwischen Ereignissen mit sich bringen. Teilchen mit Überlichtgeschwindigkeit würden bedeuten, daß es Wirkungsketten gibt, bei denen es von der Wahl des Be-[146]zugssystems und vom Bewegungszustand des Beobachters abhängt, ob zeitlich die Ursache vor der Wirkung oder die Wirkung vor der Ursache liegt – im Gegensatz zum Kausalitätsprinzip. Aus diesem Grunde können die ‚Tachyonen' auch keine beobachtbaren Elementarteilchen sein. Ihre hypothetische Einführung läßt sich nur dann rechtfertigen, wenn sie als prinzipiell nicht beobachtbar postuliert werden.“[52] Das macht die Einführung dieser Teilchen überhaupt problematisch. Sie sind bisher nur eine Folgerung aus der Nichtexistenz der Lokalität. Vielleicht sind

[51] H.-J. Treder, Elementarlänge, Tachyonen und Kausalität, in: Wissenschaft und Fortschritt, Heft 1, 1969, S. 31.
[52] Ebenda.

sie deshalb besser nicht als Elementarteilchen zu verstehen, sondern als ein Hinweis auf die mögliche Veränderung unserer Raum-Zeit-Auffassung im Bereich unterhalb der von Heisenberg und anderen angegebenen Elementarlänge. Bisher existieren über die Struktur der Elementarteilchen noch eine Vielzahl von Hypothesen, die mit dem experimentellen Material vereinbar sind. Aus den Experimenten selbst ergeben sich noch zu wenig theoretische Ansatzpunkte für die Klärung der Elementarteilchenstrukturen. Soviel ist jedoch bereits klar, es existiert die Struktur. Die Elementarteilchen können nicht nur als punktförmig angesehen werden. Aber schon die Frage, ob man die Struktur einzelner Teilchen untersuchen muß oder ob es sie gar nicht beim einzelnen Teilchen, sondern nur als Struktur der Wechselwirkungsprozesse verschiedener Teilchen gibt, ist nicht beantwortet. Auch die Existenz von Strukturen unterhalb bestimmter Elementarlängen kann nicht auf Grund experimenteller Ergebnisse bejaht oder verneint werden. Dabei kann es sich vorerst einmal nur um Elementarlängen der Elementarteilchenphysik handeln und die Plancksche Elementarlänge muß noch unbeachtet bleiben, da sie mit den Mitteln, die dem Elementarteilchenphysiker zur Verfügung stehen, experimentell nicht überprüfbar ist. Interessant sind jedoch theoretische Arbeiten über die Raum-Zeit-Struktur in ihrer Bedeutung für die Elementarteilchenphysik, die möglicherweise zu experimentell überprüfbaren Aussagen kommen, die neue Einsichten in die Elementarteilchenstruktur ermöglichen. Im wesentlichen kann man drei Richtungen hervorheben, die für das Eindringen in die Elementarteilchenstruktur als Hypothesen Bedeutung haben:

Erstens geht es um die Existenz von Fundamentalteilchen, auf die die Vielzahl der jetzt existierenden Teilchen zurückgeführt werden könnte. Die Elementarteilchenstruktur wäre dann durch die Beziehungen der Fundamentalteilchen zueinander zu klären. In dieser Richtung wird vor allem experimentell nach den Quarks und Partonen gesucht, die nach der Mitteilung von McCusker entweder als objektiv-real existierende Teilchen oder [147] eine theoretische Erklärung der Teilchenklassifizierung angesehen werden. Gegen die Annahme der Quarks als existierende Teilchen gibt es viele Einwände, die bisher vor allem darauf basierten, daß sie trotz intensiver Experimentalforschung noch nicht gefunden wurden.

Zweitens kann man die Struktur der Teilchen in der Struktur ihrer Wechselwirkungen suchen, wie das Chew für die stark wechselwirkenden Teilchen mit der bootstrap-Hypothese macht. Damit existiert kein Teilchen für sich und es hat auch keine Eigenschaften als individuelles Teilchen, sondern es enthält in sich immer Eigenschaften anderer Teilchen. Es wird erst in der Wechselwirkung konstituiert durch die Existenz der anderen wechselwirkenden Teilchen, die selbst auch erst in der Wechselwirkung existieren. Damit geht es eben nicht um die Struktur von Teilchen, sondern um die Beziehungen der Teilchen zueinander, die als Teilchenstruktur gefaßt wird. Drittens wird im Gegensatz zu den beiden genannten Richtungen, die mit der relativistischen Kausalitätsauffassung vereinbar sind, in verschiedenen Hypothesen die Aufgabe der Kausalität durch die Einführung einer Elementarlänge erwogen. Die bisherigen Experimente, die auf die Struktur der Elementarteilchen hinweisen, wie die Untersuchung von Teilchenschauern in der kosmischen Strahlung oder die Elektronenstreuexperimente Hofstadters, schließen diese Auffassung nicht aus. Für Heisenberg geht es dabei um die Durchsetzung seiner allgemeinen Hypothese von der Existenz eines Feldes, das als „Urmaterie“ existiert, wobei die Teilchen nur Erregungen des Feldes sind. Offensichtlich erfordert die Elementarteilchenphysik die Überprüfung unserer Raum-Zeit-Auffassung und der damit verbundenen Beziehung zwischen physikalischer und philosophischer Bestimmung der Kausalität. Das muß jedoch nicht nur durch die Aufgabe der Kausalität erfolgen, sondern es kann möglicherweise auch durch die Forschungen zur Relativitätstheorie zu neuen Anregungen für die Erforschung der Raum-Zeit-Struktur in der Elementarteilchenphysik kommen.

Wir haben hier nur drei Hypothesengruppen ausgewählt, weil sie das für die philosophische Diskussion Charakteristische darstellen. Es gibt keine einheitliche Richtung der Physiker, in

der vorgegangen wird. Das eindeutige Festhalten an den Kausalitätsforderungen der speziellen Relativitätstheorie in der einen Gruppe wird durch die Einführung einer Elementarlänge und die daraus sich ergebenden Widersprüche in der anderen Theorie ergänzt. Die Annahme von Fundamentalteilchen als Bausteinen der Elementarteilchen, wobei die Teilbarkeit der Elementarteilchen nicht mehr räumlich gesehen wird, sondern Quantenzahlen wie die Elementarladung geteilt werden, steht der Vorstellung gegenüber, daß überhaupt keine Fundamentalteilchen gebraucht werden, um die Struktur der Teilchen zu be-[148]stimmen, da es sich nicht um die Struktur einzelner Teilchen, sondern nur um die Struktur ihrer Wechselwirkung handeln kann. Entscheiden muß die theoretische Deutung solcher experimenteller Ergebnisse, die mehr Hinweise auf die Elementarteilchenstruktur enthalten, als das bisher der Fall ist. Größere Beschleuniger werden sicher dazu beitragen. Vielleicht erweist sich dann die Meinung von Gell-Mann als richtig, daß jede Auffassung eine gewisse Berechtigung hat.

5. Philosophische Aspekte der Elementarteilchenphysik

Bei allen bisherigen Betrachtungen, die wesentlich der Darstellung der experimentellen und theoretischen Voraussetzungen für die philosophische Diskussion um die Erkenntnisse zur physikalischen Materiestruktur dienen sollten, wurde bereits die philosophische Bedeutung ersichtlich. Das trifft vor allem auf die Hypothesen zur Elementarteilchenstruktur zu, die eine theoretische Deutung von Experimenten darstellen, die selbst noch nicht eindeutig den Bereich treffen, über den hypothetisch etwas gesagt wird, weshalb der Deutung hypothetische philosophische Standpunkte unterlegt werden. Dabei geht es um allgemeine philosophische Auffassungen, die die Einheit der Welt in der Materialität betreffen und sich in bestimmten Auffassungen über die Notwendigkeit einer einheitlichen Theorie äußern, ebenso, wie um erkenntnistheoretische und methodologische Probleme, die das Verhältnis von Experiment und Theorie und die Rolle von Modellen zum Inhalt haben. Als eines der wichtigsten Probleme zeigte sich für das heutige Verständnis der physikalischen Materiestruktur die Elementarteilchenstruktur. In den verschiedenen Auffassungen zu ihr verbergen sich die verschiedenen Antworten, die in der Geschichte der Philosophie auf die Frage nach der Existenz letzter unteilbarer Teilchen gegeben wurden. Es geht dabei um die Anerkennung der Unerschöpflichkeit der Beziehungen bei den bisher bekannten elementarsten Teilchen, die in verschiedener Form zum Ausdruck gebracht wird. Generell ist die Vorstellung gefallen, daß man die Vielfalt der Welt auf die mechanischen Beziehungen qualitativ identischer kleinster Teilchen zurückführen könne. Man weiß auch, daß es in der Elementarteilchenphysik nicht mehr um die räumliche Teilung der Elementarteilchen gehen kann, da nicht bestimmt ist, was man darunter verstehen kann. Beim Zerfall von Teilchen entstehen wieder Teilchen. Am ehesten ist eben der Gedanke der Teilbarkeit in der Annahme von den Quarks enthalten, aber hier handelt es sich nicht um räumliche, sondern um eine andere Teilung. Man muß also die philosophische These von der Un-[149]erschöpflichkeit der Beziehungen im Elementarteilchenbereich präzisieren, um eine philosophische Analyse der vorhandenen Hypothesen zur Elementarteilchenstruktur durchführen zu können. Die Strukturauffassung verbindet sich hier mit der philosophischen Haltung zur Elementarität. Die Einführung einer Elementarlänge beispielsweise muß noch nicht der Auffassung von der Unerschöpflichkeit der Beziehungen widersprechen, obwohl damit eine „Urmaterie“ postuliert wird. Die elementarsten Prozesse spielen sich dann im Bereich ab, der durch die Elementarlänge begrenzt wird. In kleineren Bereichen könnten keine sinnvollen Experimente mehr gemacht werden. Nimmt man nun wie Heisenberg als „Urmaterie“ das Feld, dann steckt die Unerschöpflichkeit der Beziehungen in diesem Feld, und die Feldgleichung müßte alle möglichen zukünftig zu entdeckenden Beziehungen bereits in sich enthalten. Die theoretischen Schwierigkeiten, die sich aus einer solchen Auffassung ergeben, sind aus der Geschichte des Denkens bekannt, in der es mehrere Versuche gegeben hat, einheitliche Welttheorien aufzubauen. Obwohl sich also die Auf-

fassung von der Unerschöpflichkeit der Beziehungen nicht unbedingt mit der Vorstellung von der Teilbarkeit physikalischer Objekte verbindet, also Unerschöpflichkeit und Elementarität vereinbar sind, ist doch die hoffnungsvollste Hypothese in der Physik mit der Untersuchung tieferer Strukturniveaus verbunden, weil sie die konsequente Fortsetzung der philosophischen These von der Strukturiertheit der Materie ist. Daraus lassen sich aber, wie gesagt, keine philosophischen Argumente gegen die anderen Hypothesen zur Elementarteilchenstruktur ableiten. Ihre philosophische Analyse kann uns nur ihren späteren Beitrag zur philosophischen Theorie erläutern, wenn die eine oder andere physikalische Hypothese als experimentell bestätigt und als Theorie ausgearbeitet vorliegt. Die philosophische Analyse der Elementarteilchenphysik hat also als wichtige Beziehung das Verhältnis von Elementarität und Struktur zu untersuchen, so wie es sich in den verschiedenen physikalischen Hypothesen darstellt. Dazu müssen die sich in den physikalischen Hypothesen verbergenden philosophischen Standpunkte hervorgehoben und ihre philosophischen Konsequenzen aufgedeckt werden. Im Ergebnis erhalten wir philosophische Hypothesen über den zukünftigen Beitrag der Physik zur philosophischen Theorie, die mit der experimentellen Bestätigung oder Widerlegung der physikalischen Hypothese auch ihre Bestätigung oder Widerlegung erfahren. Dabei kann die philosophische Analyse auch Gemeinsamkeiten verschiedener physikalischer Hypothesen hervorheben, die bereits das Abgehen von bisherigen philosophischen Vorstellungen charakterisieren und deshalb nicht mehr den Charakter einer philosophischen Hypothese, sondern den einer präzisierten philosophischen Aussage besitzen. So muß in den [150] verschiedenen Hypothesen zur Elementarteilchenstruktur das generelle Abgehen von der räumlichen Teilbarkeit konstatiert werden, das durch die bisherigen Experimente als gerechtfertigt zu betrachten ist. Mit den Strukturbetrachtungen verbunden ist eines der wichtigsten Prinzipien der Elementarteilchenphysik, die Mikrokausalität. Da in der Geschichte der Philosophie ein langer Kampf um die Kausalitätsauffassung tobte und durch die Entwicklung der Quantenmechanik der dialektische Determinismus in bezug auf das Verhältnis von Kausalität und Gesetz präzisiert werden mußte, ist es interessant, aus den Diskussionen um Lokalität und Kausalität in der Elementarteilchenphysik die philosophische Problematik herauszufinden, die möglicherweise wieder auf den Unterschied von physikalischer und philosophischer Kausalitätsauffassung verweist, aber vielleicht auch zwingt, die letztere zu präzisieren. Es ist die Frage zu beantworten, ob nichtlokale Theorien mit der philosophischen Kausalitätsauffassung vereinbar sind oder nicht. Es kann sich dabei ergeben, daß die Einführung der Elementarlänge in nichtlokalen Theorien nichts anderes ist als ein Hinweis darauf, daß sich unsere Raum-Zeit-Vorstellungen im Elementarteilchenbereich verändern müssen. Deshalb muß neben der Betrachtung der Diskussionen um die Kausalität auch die Raum-Zeit-Theorie, die mit der Elementarteilchenphysik verbunden wird, untersucht werden. Alle theoretischen Überlegungen zur weiteren Entwicklung der Elementarteilchenphysik führen auf die Problematik von Raum und Zeit zurück. M. Strauß meint, daß die Entwicklung der Elementarteilchentheorie tiefgreifende Änderungen in den Grundlagen der Theorie verlange, wobei die von ihm entwickelte Alternative dafür mit der Raum-Zeit-Theorie verbunden ist: „Entweder halten wir daran fest, daß Raum und Zeit auch die Daseinsformen der Elementarteilchen sind; dann müssen wir zur Unterbringung der neuen Quantenzahlen die Dimensionszahl des Raumes im Kleinen erhöhen, so daß die neuen Erhaltungssätze wieder mit raum-zeitlichen oder kinematischen Symmetrien zusammenhängen. Oder wir suchen nach einem abstrakten mathematischen Zustands- oder ‚Reaktionsraum', in dem die Gesetze der Elementarteilchenphysik eine einfache Formulierung finden, und führen die gewöhnliche dimensionale Raum-Zeit erst durch die physikalische Interpretation des Formalismus ein. Orientiert man sich an der bisherigen Entwicklung der Physik, so scheint der zweite Weg der aussichtsreichere zu sein."[53] Unabhängig

[53] Mikrokosmos-Makrokosmos, Bd. 2, S. 92.

davon, wie sich die Physik weiterentwickelt, sind die heutigen Ansätze zur Änderung der Raum-Zeit-Vorstellungen philosophisch zu analysieren. Einige Physiker, wie Chew und andere, sind [151] der Auffassung, daß man nicht sinnvoll von den Koordinaten *x* und *t* innerhalb der Elementarteilchen sprechen könne, da dieser Sinn nicht experimentell festgestellt werden kann. Deshalb sollen die Begriffe Raum und Zeit nur makroskopische Bedeutung haben. Sicher gibt es auch andere Vorstellungen in der Elementarteilchenphysik, aber das enthebt uns nicht der Lösung der von Barashenkow formulierten Aufgabe: „Worin besteht das Wesen von Raum und Zeit. Es ist selbstverständlich unzureichend, wie das manchmal in populären Artikeln zu philosophischen Problemen der Naturwissenschaft geschieht, Raum und Zeit nur als allgemeine Existenzformen der Materie zu charakterisieren, weil damit die Frage umgangen wird, ob diese allgemeine Form existiert; vielleicht hängen die Existenzformen der Materie insgesamt von den konkreten Bedingungen ab und man kann für sie überhaupt keine allgemeinen charakteristischen Züge aufzeigen?“[54] Damit treffen die Auffassungen zur Raum-Zeit direkt die philosophischen Aussagen über sie als Existenzformen der Materie, und es muß der Sinn dieser philosophischen Aussage im Zusammenhang mit den Überlegungen in der Elementarteilchenphysik überprüft werden.

In den Diskussionen zwischen den Physikern, die eine gruppentheoretische Begründung der Teilchenklassifizierung geben, und den Vertretern einer einheitlichen Feldtheorie spielt vor allem das Verhältnis von Symmetrie und Asymmetrie eine Rolle. Gerade die durch Yang und Lee festgestellte Nichterhaltung der Parität hatte doch Heisenberg in seinem Gedanken bestärkt, einen entarteten Grundzustand in der Theorie zu berücksichtigen und die Symmetrien später abzuleiten. Für ihn sind die Symmetrien der SU_3-Gruppe nicht exakt. Aber auch die exakten Symmetrien, zu denen die Isospingruppe nach Heisenberg gehört, werden durch den unsymmetrischen Grundzustand gestört, wobei die Photonen sich gerade aus der Entartung des Grundzustands ergeben sollen. Mit den Symmetriebetrachtungen sind also grundlegende Probleme in der Elementarteilchenphysik verbunden. Darüber hinaus haben sie jedoch auch allgemeine philosophische Bedeutung. Denken wir nur an die Asymmetrie der wirklichen Zeit, die sich in der Kausalität manifestiert, da die Wirkung zwar mit der Existenz der Ursache beginnt, aber doch ihr Hervorbringen als zeitlich gerichtet zu betrachten ist. Aus dem K-Mesonenzerfall wurden bereits Überlegungen abgeleitet, eine Durchbrechung der Zeitsymmetrie anerkennen zu müssen. Vielleicht stoßen wir bei der philosophischen Analyse des Verhältnisses von Symmetrie und Asymmetrie auf einen der Wendepunkte in der Geschichte der Physik, der eine neue Vorstellung vom Elementarteilchenverhalten ge-[152]stattet. Sicher ist es richtig, überhaupt erst einmal die Symmetrievorstellungen der Physiker zu untersuchen. Sie sind eng mit ihrer Auffassung vom physikalischen Gesetz verbunden. Dabei wurde bisher jede Durchbrechung von Symmetrien durch umfassendere Symmetrien beseitigt. Es wäre sicher aber auch interessant, die dialektische Einheit von Symmetrie und Asymmetrie zur Grundlage der Betrachtungen zu machen. Gerade das Verhältnis von Symmetrie und Asymmetrie weist auch auf die Beziehungen zwischen den verschiedenen Arten der Wechselwirkung hin. Von der schwachen, über die elektromagnetische bis zur starken Wechselwirkung gelten immer mehr Erhaltungssätze oder in der umgekehrten Reihenfolge immer weniger. Deshalb muß die Klärung des Verhältnisses der Wechselwirkungsarten untereinander auch mit der Untersuchung der Beziehungen zwischen Symmetrie und Asymmetrie, Erhaltung und Nichterhaltung verbunden werden.

Außer den bisher erwähnten philosophischen Problemen der Elementarteilchenphysik, die mit der philosophischen Deutung der Erkenntnisse über das Elementarteilchenverhalten und

[54] Philosophische Fragen der modernen Physik, Moskau 1969, S. 106 (russ.).

über die Elementarteilchenstruktur verbunden sind, entstehen auch eine ganze Reihe von erkenntnistheoretischen und methodologischen Problemen.

Besondere Bedeutung für die theoretische Klärung der durch die experimentelle Situation entstandenen Probleme haben Hypothesen und Modelle. Sie treten als Bindeglieder zwischen Experiment und Theorie auf, indem sie entweder als Vorstufen der Theorie einen Teil der experimentellen Ergebnisse erklären oder neue Experimentalforschungen herausfordern. Dabei entstehen auch Teiltheorien mit hypothetischen Grundlagen, wie das etwa bei der unitären Symmetrie der Fall ist. Mit ihr können die Teilchenklassifizierungen begründet werden, wie sie von Gell-Mann und Nishijima durchgeführt wurden. Die dabei eingeführte Interpretation des Spinors als Ausdruck für die Existenz der Quarks hat hypothetischen Charakter. Es wurden jedoch bereits neue Teilchen mit Hilfe dieser Methode vorausgesagt, die auch gefunden wurden, so beispielsweise das Omega-minus-Hyperon. Dabei tauchen auch einander widersprechende Hypothesen und Modelle auf. Denken wir nur an die Situation bei der Erforschung der Elementarteilchenstruktur. Die Hypothesen und Modelle ersetzen dort noch die fehlenden experimentellen Einsichten und bauen auf den bisher erreichten experimentellen Ergebnissen auf, mit denen auch die widersprechenden Hypothesen von der Existenz einer Elementarlänge und der Annahme der Fundamentalteilchen vereinbar sind. Gerade die Lage in der Elementarteilchenphysik läßt noch keine eindeutige Zuordnung von Experimenten zu einer einheitlichen Theorie der Elementarteilchen oder mehreren exakt [153] voneinander abgegrenzten Teiltheorien zu. Deshalb ist eine philosophische Analyse der Bindeglieder zwischen Theorie und Experiment im Erkenntnisprozeß besonders wichtig, weil sich daraus wichtige Hinweise für den Erkenntnisprozeß überhaupt bei der Entwicklung neuer Theorien ableiten lassen. In den Überlegungen der Physiker spielt der methodologische Hinweis auf die notwendige Einfachheit von aufzustellenden Theorien eine große Rolle. Zwar ist es schwer, diesen Hinweis zu begründen, er wird jedoch aus der Erfahrung mit der Geschichte der Physik als wichtig akzeptiert. Damit verbinden sich jedoch bestimmte philosophische Auffassungen. Bereits Lenin hatte sich mit dem Machschen Prinzip der Denkökonomie kritisch auseinandergesetzt und seinen idealistischen Charakter gezeigt: „In der Tat, wenn man die uns in den Empfindungen gegebene objektive Realität nicht anerkennt, wo anders kann dann das ‚Prinzip der Ökonomie' herkommen als *aus dem Subjekt*? Die Empfindungen enthalten natürlich keinerlei ‚Ökonomie'. Also liefert das Denken etwas, was in den Empfindungen gar nicht vorhanden ist! Also wird das ‚Prinzip der Ökonomie' nicht aus der Erfahrung (Empfindungen) genommen, sondern es geht jeder Erfahrung voraus, ist deren logische Bedingung, wie es die Kategorien Kants sind."[55] Lenin schildert hier die idealistische Begründung des Machschen Ökonomieprinzips und setzt dagegen die dialektisch-materialistische Auffassung von der Einheit der Welt in der Materialität, die man als These von der Einheit der Welt ableiten muß, „... aus jener objektiven Realität, die außer uns existiert, seit langem in der Erkenntnistheorie als Materie bezeichnet und von der Naturwissenschaft erforscht wird"[56]. Aus der Erkenntnis von der Einheit der Welt in der Materialität, die in der materialistischen Philosophie begründet wurde, leiten wir die Existenz einer einheitlichen Theorie bestimmter materieller Bereiche, in unserem Fall der Elementarteilchenphysik, ab. Da es sich dabei um eine Einheit von dialektischen Widersprüchen, um eine Hierarchie von objektiven Systemen mit innerem Zusammenhang, um eine Einheit von unendlich mannigfaltigen Erscheinungsformen der Materie handelt, kann zwar die Aufstellung einer einheitlichen Theorie angestrebt werden, sie wird jedoch nie vollständig die unendliche Mannigfaltigkeit erfassen und als allgemeine Welttheorie auftreten können. In diesem Zusammenhang ist auch das Prinzip der Einfachheit physikalischer Theorien zu sehen. Einerseits geht es dar-

[55] W. I. Lenin, Werke, Bd. 14, S. 167/168.
[56] Ebenda, S. 169.

um, daß es kein Denkprinzip als logische Voraussetzung für die Erfahrung ist, sondern aus der Einheit der Welt in der Materialität begründet werden muß und die [154] einfachen Gesetze in der physikalischen Theorie als Widerspiegelungen der objektiven Gesetze gefaßt werden. Wenn diese materialistische Begründung beachtet wird, dann kann das Prinzip der Einfachheit andererseits als methodologische Regel zur Aufstellung physikalischer Theorien Bedeutung erlangen, weil es nicht mehr um eine denknotwendige Forderung, sondern um die Übereinstimmung der physikalischen Theorie mit den objektiv-realen physikalischen Prozessen geht.

Gerade die Anwendung dieses Prinzips bei der Aufstellung physikalischer Theorien wirkt sich fördernd auf die Suche nach solchen mathematischen Formulierungen physikalischer Sachverhalte aus, die möglichst viele experimentelle Tatsachen umfassen und sie mit einer oder wenigen Grundgleichungen theoretisch erklären, wobei die Grundgleichungen weitere Voraussagen über bisher noch nicht erkannte Zusammenhänge gestatten müssen. Das hierbei in den Mittelpunkt der philosophischen Analyse rückende Verhältnis von Mathematik und Physik hat schon zu vielen Diskussionen über die materialistische Begründung der großen Rolle der Mathematik in der modernen Physik geführt. Offensichtlich reicht die mechanische Widerspiegelungstheorie, in der immer eine eindeutige Zuordnung zwischen mathematischem Begriff und Erkenntnisobjekt erfolgen müßte, dafür nicht aus. Wenn die Mathematik Systeme möglicher Relationen zwischen mathematischen Objekten untersucht, dann können sie als Widerspiegelungen von objektiven Systemen mit wirklichen Beziehungen genutzt werden, wobei gleiche Formalismen auf inhaltlich unterschiedliche objektive Systembeziehungen anwendbar sind. Damit erhält die Mathematik zwar ihre Anregungen aus der theoretischen und experimentellen Arbeit der Physik, kann sich aber auch unabhängig davon entwikkeln und ihre physikalische Bedeutung erst später erweisen. Denken wir nur an die Überprüfung der angeblichen, auch von Kant begründeten, Denknotwendigkeit der Euklidischen Axiome der Geometrie im 19. Jahrhundert und die dabei sich vollziehende Entwicklung der Nicht-Euklidischen Geometrien. Hierfür war das Parallelenaxiom eben nicht als denknotwendig erkannt worden, indem andere denkmögliche Geometrien konstruiert wurden. Ihre physikalische Bedeutung wurde erst in der Relativitätstheorie offensichtlich, als die wirkliche Krümmung des Raums eine entscheidende physikalische Bedeutung erlangte. Auch die Matrizenrechnung war bereits bekannt, ehe sie in der Quantenmechanik angewandt wurde. Für die Elementarteilchenphysik treten in den verschiedensten Gebieten mathematische Schwierigkeiten auf. Besonders trifft das auf die Formulierung der Grundgleichung in der einheitlichen Feldtheorie zu. Deshalb gab es auch die umfassende Kritik an der Heisenbergschen Theorie Ende der fünfziger und Anfang der sechziger [155] Jahre. Die phänomenologischen Theorien arbeiten mit einfacheren mathematischen Hilfsmitteln, soweit es um die Symmetriebetrachtungen geht, aber schon bei den Dispersionsrelationen trifft das nicht mehr zu. Wir sehen also, daß das Verhältnis von Mathematik und Physik auch erkenntnistheoretisch und methodologisch in der Elementarteilchenphysik interessant ist. Aus den philosophischen Problemen der Elementarteilchenphysik, die für unsere Vorstellungen für die physikalische Materiestruktur interessant sind, wird in den folgenden Kapiteln das Verhalten von Elementarität und Struktur, von Kausalität und Lokalität, von Raum und Zeit und von Symmetrie und Asymmetrie behandelt. Dabei wird auf die genannten erkenntnistheoretischen und methodologischen Probleme mit einzugehen sein.[57]

[57] Besonders in der sowjetischen Literatur gibt es umfangreiche Veröffentlichungen zu philosophischen Problemen der Physik. In Kiew, Moskau, Leningrad, Nowosibirsk usw. finden dazu jährlich mehrere Konferenzen statt, die von Naturwissenschaftlern und Philosophen gemeinsam durchgeführt werden. Vgl. dazu außer den Konferenzprotokollen z. B.: G. A. Swetschnikow, Die Kategorie der Kausalität in der Physik, Moskau 1961, W. S. Gott, Philosophische Probleme der modernen Physik, Moskau 1967, P. S. Dyschlewy, W. I. Lenin und die

Wir haben die Hauptprobleme genannt, die sich für die philosophische Analyse aus der Elementarteilchenphysik ergeben und mit denen wir uns im folgenden mehr oder weniger ausführlich auseinandersetzen wollen, um uns kritisch von bestimmten philosophischen Standpunkten abzugrenzen und die Bereicherung der philosophischen Thesen durch die Ergebnisse bei der Erforschung der physikalischen Materiestruktur zu zeigen. [156]

philosophischen Probleme der relativistischen Physik, Kiew 1969. Damit soll nur auf die Kontinuität bei der Herausgabe von Monographien verwiesen werden. Bei den weiteren Literaturhinweisen wird die Vielzahl sowjetischer Arbeiten deutlich, die sich mit dem Verhältnis von dialektischem Materialismus und Physik befassen.

Kapitel IV – Elementarität und Struktur

1. Problemstellung

Die auf Grund experimenteller Ergebnisse angestellten Überlegungen zur Elementarteilchenstruktur und die über sie den Elementarteilchentheorien zugrunde gelegten Hypothesen machen das Verhältnis von Elementarität und Struktur für die philosophische Analyse interessant. Die Annahme von der Existenz letzter unteilbarer Teilchen legt die Auffassung von der Elementarität eindeutig fest. Elementar sind danach die physikalischen Objekte, die nicht weiter teilbar sind. Teilbarkeit bezieht sich dabei auf die Teilung räumlich ausgedehnter Objekte, wobei das Teil räumlich kleiner als das Ganze ist. Diese Vorstellung von Elementarität und Teilbarkeit wurde in der Geschichte des Denkens vielen Kritiken unterzogen. So schrieb Descartes: „Wir erkennen auch die Unmöglichkeit, daß ein Atom oder materielles Teilchen seiner Natur nach unteilbar sei. Denn da, wenn es Atome gibt, die ausgedehnt sein müssen, so können wir, mögen sie auch noch so klein gedacht werden, die einzelnen Atome doch in Gedanken in zwei oder mehr kleinere teilen und daraus ihre Teilbarkeit erkennen. Denn was in Gedanken geteilt werden kann, ist auch teilbar; wollten wir es also für unteilbar halten, so widerspräche dies unserer eigenen Erkenntnis.“[1] Sicher muß man den von Descartes in diesen Ausführungen vertretenen idealistischen Standpunkt kritisieren, der die reale Möglichkeit mit der Denkmöglichkeit identifiziert, aber damit macht er zugleich auf die Problematik der verschiedenen historischen Vorstellungen zur Teilbarkeit aufmerksam. Die Denkmöglichkeit wird dann zur realen Möglichkeit, wenn wir in unserem Denken die Tendenzen der wirklichen Entwicklung und Veränderung berücksichtigen, wenn unser Denken Widerspiegelung der objektiven Realität ist. Nur von diesem materialistischen Standpunkt her läßt [157] sich auch das in der Geschichte der Philosophie immer wieder behandelte Dilemma zwischen den als ausgedehnt und deshalb teilbar angenommenen Bausteinen der Welt und der Erklärung der Vielfalt aus den Atomen als den letzten unteilbaren Teilchen lösen. Die letzte Annahme gab eine Grundlage für die materialistische Erklärung der Natur aus sich selbst heraus, da die andere die unendliche Teilbarkeit annahm und damit kein Aufbauprinzip lieferte. Beide waren jedoch mit einer bestimmten Materiestrukturauffassung verbunden, die eine bestimmte Raumvorstellung zur Grundlage hatte. Nach ihr war der Körper im Raum ausgedehnt und mußte deshalb teilbar sein. Die Geschichte der Physik zeigte nun, daß die Teilbarkeit physikalischer Objekte nur im Zusammenhang mit den Eigenschaften dieser Objekte und den Beziehungen zu den anderen Objekten verstanden werden kann. Nur wenn man die Eigenschaften des Objekts auf seine Existenz im dreidimensionalen Raum bei absoluter Weltzeit reduziert, taucht das genannte Dilemma auf. Ist das Objekt in dieser Vorstellung ausgedehnt, dann muß es in räumlich kleinere Teile zerlegbar sein, da der Raum selbst als unendlich teilbar angenommen wurde. Insofern widersprach die Atomhypothese diesen Überlegungen. Die Atome mußten als materielle Objekte ausgedehnt sein, damit sie eine innere räumliche Struktur besitzen und deshalb räumlich teilbar sein. Waren sie jedoch nicht ausgedehnt, dann besaßen sie keine innere Struktur, waren nicht teilbar, aber auch nicht materiell. Damit konnten sie nicht als materielle Grundbausteine betrachtet werden. Verbindet man die physikalischen Objekte mit ihren Eigenschaften, dann erweist sich das Atom als relativ elementar, denn es ist mit chemischen Mitteln nicht teilbar. Diese relative Elementarität kann erst berücksichtigt werden, wenn man von der alleinigen räumlichen Charakteristik der physikalischen Objekte abgeht. Dann können Ebenen der Elementarität unterschieden werden, bei denen die Teilbarkeit nicht allein in der räumlichen Verkleinerung eines Ganzen in seine Teile besteht. Damit tritt aber die dialektische Beziehung von Teil und Ganzem in den Mittelpunkt unserer Betrachtungen. Für die Elementarteilchen ergibt sich die Frage, ob die Bedingungen für ihre

[1] R. Descartes, Die Prinzipien der Philosophie, Berlin 1965, S. 40.

relative Elementarität angegeben werden können, oder ob es sich dabei um absolut elementare Objekte handelt. Die Auffassung von der Elementarität ist auch mit der These von der Einheit der Welt in der Materialität und ihrer philosophischen Interpretation verbunden. Nimmt man die Rückführbarkeit der Vielfalt materieller Objekte und Beziehungen auf qualitativ identische kleinste Teilchen und ihre Zusammenhänge an, dann ist die Einheit der Welt als Zusammenhang dieser elementaren Objekte begriffen. Die Elementarteilchenphysik hatte jedoch die Umwandelbarkeit der Elementarteilchen ineinander gezeigt und [158] damit die im dialektischen Materialismus entwickelte Auffassung von der unendlichen Kompliziertheit der Materie bestätigt. Wenn diese Teilchen keine elementaren unveränderlichen Substanzen sind, dann muß die Einheit der Welt in den Gesetzen der Teilchenumwandlung gesucht werden. Aber damit tritt gerade die Frage nach der Elementarität wieder auf. Es können nun die Beziehungen zwischen den Teilchen als elementar genommen werden, oder die wechselwirkenden Teilchen haben noch elementarere Strukturelemente. Die Auffassung von der Elementarität der Elementarteilchen, d. h. die Bestimmung der Bedingungen für ihre relative oder absolute Elementarität, nun aber nicht mehr im räumlichen Sinne, ist eng mit einer Stellungnahme zur Struktur der Teilchen verbunden. Macht man Aussagen über die Elementarteilchenstruktur, so kann es sich nicht mehr nur um räumliche Beziehungen handeln, sondern es geht um die räumliche Verteilung der Ladung, der Masse usw. Damit fällt aber die Argumentation von Descartes. Was ausgedehnt ist, muß nicht unbedingt teilbar sein. Es muß exakt bestimmt werden, mit welchen Mitteln die physikalischen Objekte teilbar sind, um die Stufen der relativen Elementarität erkennen zu können. Auch ist auf Grund der heutigen Erkenntnisse die absolute Elementarität nicht einfach auszuschließen, wenn auch auf Grund der bisherigen Geschichte der physikalischen Erkenntnis nicht sehr wahrscheinlich. Die Problematik der Teilbarkeit taucht nun im neuen Gewand auf. Absolut elementare Teilchen müßten strukturlos sein. Sie genügen als idealisierte punktförmige Teilchen auch den Forderungen der Relativitätstheorie in bezug auf die lokale Kausalität. Strukturierte Teilchen können nur relativ elementar sein. Sie sind ausgedehnt und kommen damit in bestimmter Beziehung in Widerspruch zur Lokalität. Landau und Lifschitz schreiben dazu: „Wir können hieraus einige Schlußfolgerungen für sogenannte ‚Elementarteilchen' ziehen, d. h. solche Teilchen, von denen wir annehmen, daß ihr mechanischer Zustand durch drei Raumkoordinaten und die drei Komponenten der Geschwindigkeit als Ganzes völlig beschrieben werden kann. Wäre ein Elementarteilchen ausgedehnt, so könnte es offensichtlich nicht deformierbar sein, da der Begriff der Deformation mit der unabhängigen Bewegung einzelner Teile des Körpers verbunden ist. Wie wir eben sahen, zeigt aber gerade die Relativitätstheorie die Unmöglichkeit eines starren Körpers. Es ergibt sich also der Schluß, daß in der klassischen (nichtquantisierten) relativistischen Mechanik die als Elementarteilchen zu betrachtenden Teilchen keine endliche Größe haben, d. h. als punktförmig [159] anzusehen sind."[2] Solche Betrachtungen haben ihre volle Berechtigung, solange sie sich nicht als zu große Idealisierung erweisen und in Widerspruch mit den experimentellen Ergebnissen geraten. Die objektiv-real existierenden Teilchen sind nicht punktförmig. Wird das experimentell als Effekt wichtig, dann muß die Idealisierung als zu weitgehend aufgegeben werden. Landau und Lifschitz vermerken dazu: „Obwohl die Quantentheorie die Situation wesentlich ändert, macht die Relativitätstheorie die Einführung nichtlokaler Wechselwirkungen sehr schwierig."[3]

Auf das Problem der Lokalität werden wir später zurückkommen, hier geht es um das Verhältnis von Elementarität und Struktur. Ein ausgedehnter Körper muß deformierbar sein, was die unabhängige Bewegung seiner Teile verlangt. Einen starren ausgedehnten Körper gibt es nicht. Wir haben es also mit einem Widerspruch in dem Begriff „ausgedehntes Elementarteil-

[2] L. D. Landau/E. M. Lifschitz, Theoretische Physik, Bd. II, Feldtheorie, Berlin 1963, S. 47.
[3] Ebenda.

chen“ zu tun. Die Ausdehnung verlangt eine innere Struktur, wobei die Elementarität aufgegeben werden muß, oder wir halten an der Elementarität fest, dann kann das Teilchen nicht ausgedehnt sein. Die Alternative ist wiederum nur echt, wenn wir den Gedanken der absoluten Elementarität der Teilchen dem Gedanken von der Teilchenstruktur entgegenstellen.

Beachten wir die Vorstellung von der relativen Elementarität, dann kann das relativ elementare Teilchen als punktförmig unter den Bedingungen, die für seine Elementarität entsprechend sind, angesehen werden und muß, sobald diese nicht mehr existieren, als nichtelementar betrachtet werden. Die Einführung einer Elementarlänge, unterhalb derer keine experimentellen Ergebnisse mehr zu erzielen sind, würde dieses Problem durch die Einführung subjektiver Grenzen lösen, die objektiv nicht existieren. Im Hinblick auf die relative Elementarität könnten jedoch solche Grenzen eine gewisse Bedeutung als Angaben über die Berechtigung der Elementaritätsvorstellung bis zur Elementarlänge haben, während darunter diese Berechtigung entfällt. Das wäre nun gleichbedeutend damit, daß die Untersuchung des relativ elementaren Teilchens bis zu dieser Grenze unter Nichtbeachtung der Struktur erfolgen kann und dann erst die Berücksichtigung der Elementarteilchenstruktur verlangt.

Einerseits kann man relativ elementare Teilchen ohne Struktur untersuchen. Andererseits muß man die Relativität dieser Elementarität anerkennen, wenn experimentelle und theoretische Resultate auf die Elementarteilchenstruktur verweisen. Hinzu kommt, daß mit der Untersuchung des Verhältnisses von Elementarität und Struktur sich auch neue Einsichten in die materielle Einheit der Welt ergeben. Die Einheit kann nicht mehr [160] als Beziehung unveränderlicher Teilchen untereinander, die als unteilbar angenommen werden, betrachtet werden, sondern muß die Umwandelbarkeit der Teilchen ineinander berücksichtigen, weshalb nicht nur die Frage nach der Struktur einzelner Elementarteilchen als Repräsentanten bestimmter Teilchengruppen, etwa der Protonen und Neutronen oder Mesonen gestellt werden kann, sondern auch die mögliche Wechselwirkungsstruktur berücksichtigt werden muß. Wenn die Teilchen nur in der Wechselwirkung existieren, dann können sie auch untereinander so verbunden sein, daß keine individuelle Struktur mehr existiert, sondern nur noch eine Gemeinschaftsstruktur. Mit dieser Vorstellung wird die Alternative Elementarität ohne Struktur oder Struktur ohne Elementarität aufgehoben, da die Wechselwirkung elementarer Teilchen die Struktur der Teilchen sein kann. In dieser Richtung gibt es philosophische Auffassungen, die die absolute Elementarität nicht für Teilchen, sondern für die Wechselwirkung anerkennen. Hinter der Wechselwirkung, die die Teilchen erst konstituiert, gibt es dann nichts mehr. Es kann also nicht mehr darum gehen, das Teilchen an sich zu betrachten. Gerade hier erweist sich die Vorstellung von Descartes über die Ausdehnung der Teilchen und ihre denknotwendige räumliche Teilung als nicht tragfähig. Neben den Eigenschaften des Objekts sind nämlich auch seine Beziehungen zu anderen Objekten in der Wechselwirkung zu berücksichtigen. Deshalb muß die Teilchenvorstellung in die philosophische Auffassung von der materiellen Einheit der Welt eingeordnet werden. Für sie ergeben sich aus der Klärung des Verhältnisses von Struktur und Elementarität zwar neue Einsichten, sie ist aber auch bestimmend für unsere Interpretation der experimentellen Ergebnisse über die Teilchenstruktur, solange wir nicht direkt diese Struktur untersuchen können, sondern nur Hinweise auf sie erhalten, die auch anders interpretiert werden können.

Die Darlegung des Zusammenhanges von der These der materiellen Einheit der Welt und ihrer Interpretation mit der Elementaritätsauffassung ersetzt jedoch nicht die Beantwortung der Frage, was ein Elementarteilchen ist. Sie zeigt nur, daß die Verwendung von Termini, wie teilbar und unteilbar, strukturiert und nicht-strukturiert, elementar und nicht-elementar selbst der Untersuchung bedarf und die Bedingungen bestimmt werden müssen, unter denen etwas als relativ elementar betrachtet werden kann.

Außerdem sind die Argumente zu prüfen, die die absolute Elementarität von Teilchen oder Feldern nachweisen sollen.

Da verschiedene Auffassungen zur Elementarität und Teilbarkeit der Teilchen existieren, ist bei der philosophischen Analyse zuerst zu prüfen, ob sie mit den allgemeinen philosophischen Aussagen vereinbar sind oder ob sich [161] Widersprüche ergeben, die gegen physikalische Hypothesen sprechen oder die Präzisierung philosophischer Auffassungen verlangen. Soweit es sich um experimentell gesicherte Aussagen der Physik handelt, muß die Philosophie getreu dem materialistischen Grundsatz, die Tatsachen in ihrem eigenen Zusammenhang zu sehen und in keinem phantastischen, ihre dazu widersprechenden Thesen korrigieren. Nach der Feststellung von der Vereinbarkeit sind die Argumente zu sichten, die der einen oder anderen Auffassung ein gewisses Vorrecht gegenüber anderen Hypothesen erweisen, wobei letzten Endes die Entwicklung der Physik eine physikalische Hypothese ist und ihre philosophische Interpretation bestätigt oder widerlegt.

Der kurz skizzierte Zusammenhang der Probleme verlangt von uns, zuerst die Berechtigung einheitlicher Theorien im Zusammenhang mit der These von der materiellen Einheit der Welt zu betrachten, dann die verschiedenen Ansichten zu analysieren, die es zu der Frage gibt, was ein Elementarteilchen ist. Dann folgen die Beziehungen zwischen Teilbarkeit und Unendlichkeit sowie der Zusammenhang zwischen Struktur und Prozeß.

2. Materielle Einheit der Welt und einheitliche Theorien

Es gab in der Geschichte der Physik verschiedene Versuche, eine einheitliche Theorie aller physikalischen Objekte und Beziehungen zu entwickeln. Im 18. und 19. Jahrhundert sollten alle Erscheinungen auf die mechanischen Beziehungen identischer kleinster Teilchen zurückgeführt werden, womit die Einheit der Welt als Einheit mechanischer Beziehungen begriffen und die einheitliche Theorie in der klassischen Mechanik gesehen wurde. Friedrich Engels zeigte die philosophischen Konsequenzen dieses Standpunkts und kritisierte unter Ausnutzung des bis dahin bekannten einzelwissenschaftlichen Materials die versuchte Zurückführung aller qualitativen Unterschiede auf quantitative Beziehungen. Diese Kritik ist sowohl vom wissenschaftstheoretischen als auch vom philosophisch-systematischen Standpunkt aus interessant. Wissenschaftshistorisch interessiert vor allem der Vergleich zwischen der Engelsschen Kritik am mechanisch-materialistischen Weltbild und der tatsächlichen weiteren Entwicklung der Wissenschaft. Andererseits kann man untersuchen, ob der von Engels vertretene philosophische Standpunkt zur Einheit von Quantität und Qualität auch auf die heutige Suche nach einer einheitlichen Theorie der Elementarteilchen anwendbar ist.

Engels kritisierte die Auffassung, man müsse Physiologie, Chemie usw. auf Mechanik reduzieren. Das engt nach ihm die Gegenstände der nichtmecha-[162]nischen Wissenschaften unzulässig ein. Er wies sowohl auf den Zusammenhang der Wissenschaften hin, auf ihre Kontinuität, als auch auf ihren Unterschied, der keine einfache Reduktion gestattet. Engels argumentierte: „In der Physik aber, und noch mehr in der Chemie, findet aber nicht nur fortwährende qualitative Änderung statt infolge quantitativer Änderungen, Umschlag von Quantität in Qualität, sondern auch sind eine Menge qualitativer Änderungen zu betrachten, deren Bedingtheit durch quantitative Veränderung keineswegs erwiesen ist. Daß die gegenwärtige Strömung der Wissenschaft in dieser Richtung sich bewegt, kann gern zugegeben werden, beweist aber nicht, daß sie die ausschließlich richtige ist, daß die Verfolgung dieser Strömung die Physik und Chemie *erschöpfen* wird.“[4] Engels war als dialektischer Materialist Vertreter des materialistischen Monismus. Aber er versuchte keineswegs, die objektiven qualitativen Unterschiede in ein monistisches Weltbild so einzuordnen, wie es viele Naturwissenschaftler

[4] K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 20, S. 517.

damals taten, die die Reduktion aller Systeme und Beziehungen auf die Ortsveränderung qualitativ identischer kleinster Teilchen forderten, die mit den Gesetzen der klassischen Mechanik beschrieben werden könnte. Engels folgte nicht der Strömung der Zeit, die die Reduktion der Qualität auf Quantität forderte. Eben solche qualitativen Änderungen, deren quantitative Bedingtheit nicht erwiesen war, führten später zum Sturz des mechanischen Weltbildes. Denken wir dabei an den Versuch, die elektromagnetische Strahlung mit Hilfe des Äthers zu erklären, oder überhaupt den Versuch, die Natur des Lichts zu ergründen. Hier war der spätere Ansatzpunkt für Relativitäts- und Quantentheorie, die dann wiederum Ausgangspunkt für den Aufbau einer Elementarteilchentheorie wurden.

Engels versuchte die Entwicklungstendenzen der Wissenschaften zu verstehen, konnte aber die weitere Entwicklung in allen Einzelheiten nicht voraussehen. Er erlebte in der Physik die Entdeckung der Radioaktivität und des Elektrons nicht mehr und kannte auch die Ergebnisse des Michelsonexperiments und der Relativitätstheorien, die die Nichtexistenz des Äthers nachwiesen, nicht. Er analysierte die bis dahin erreichten Ergebnisse und kritisierte die überschwengliche Gläubigkeit vieler Naturwissenschaftler an die Rückführbarkeit aller Beziehungen auf die Mechanik. Für ihn waren die Eigenschaften eines chemischen Elements durch seinen Platz im Periodensystem nicht erschöpfend ausgedrückt. – Wir merken hier schon an, daß wir die Parallele zu dieser Entwicklungsetappe der Chemie in der heutigen Theorie in den Versuchen zur Klassifizierung der Elementarteilchen sehen, die ebenfalls nur einen Teil unseres Wissens von den [163] Elementarteilchen umfassen können. Doch darauf kommen wir noch zurück. – Engels charakterisierte die Konsequenz der mechanistischen Naturauffassung: „Sie erklärt alle Veränderungen aus Ortsveränderung, alle qualitativen Unterschiede aus quantitativen, und übersieht, daß das Verhältnis von Qualität und Quantität reziprok ist, daß Qualität ebensogut in Quantität umschlägt, wie Quantität in Qualität, daß eben Wechselwirkung stattfindet. Wenn alle Unterschiede und Änderungen der Qualität auf quantitative Unterschiede und Änderungen, auf mechanische Ortsveränderung zu reduzieren sind, dann kommen wir mit Notwendigkeit zu dem Satz, daß alle Materie aus *identischen* kleinsten Teilchen besteht, und alle qualitativen Unterschiede der chemischen Elemente der Materie verursacht sind durch quantitative, Unterschiede in der Zahl und örtlichen Gruppierung dieser kleinsten Teilchen zu Atomen. So weit sind wir aber noch nicht.“[5] Diese Konsequenz der mechanistischen Naturerklärung war vielen Naturwissenschaftlern gar nicht klar, da sie nach Engels sich nur ungenügend um die philosophische Analyse ihres Weltbilds kümmerten. Die Theorie von der absoluten qualitativen Identität der Materie ist, wie Engels richtig bemerkte, weder empirisch widerlegbar noch beweisbar.[6] Das gilt auch heute noch. Zwar wird der Versuch, eine einheitliche Theorie der Elementarteilchen zu finden, nicht mehr mit der Ablehnung qualitativer Unterschiede verbunden. Die Erfahrungen der Wissenschaftsgeschichte haben uns vorsichtig gemacht. Aber manchem Wissenschaftler schwebt sicher noch das Ideal einer umfassenden Welttheorie vor. Inwieweit die Elementarteilchentheorie annähernd dieses Ideal verwirklichen könnte, oder ob es überhaupt kein Ideal, sondern eine Illusion darstellt, wollen wir später noch untersuchen. Auf die Gründe für die Existenz einer relativ einheitlichen Theorie der Elementarteilchen ist schon eingegangen worden.

Die Geschichte gab Engels in bezug auf den mechanischen Materialismus recht. Es gelang nicht, alle Beziehungen, selbst innerhalb der Physik, auf mechanische zu reduzieren. Wir verweisen hier nur auf die statistische Deutung der Quantenmechanik und die Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen, die deutlich den Unterschied zwischen dem Verhalten von klassischen und Quantenobjekten charakterisieren. Damit sind jedoch die Versuche, eine ein-

[5] Ebenda, S. 517 f.
[6] Ebenda.

heitliche Theorie zu finden, nicht generell abgewertet. Erstens gibt es keinen Beweis dafür, daß nicht doch eine andere Grundsubstanz der Materie existiert, deren theoretische Beschreibung eine einheitliche Naturtheorie liefert. Zweitens tragen Einheitsbestrebungen in der [164] Wissenschaft stets heuristischen Charakter. Wenn wir auch keine einheitliche Naturtheorie erhielten, so gab es doch immer allgemeinere Theorien, die bisher getrennt beschriebene Objekte und Beziehungen zusammen erfaßten. Beispiele dafür sind vor allem die Maxwellsche Theorie und später die Quantentheorie, die die absolute Trennung zwischen Welle und Korpuskel aufhob und zu einer Theorie physikalischer Objekte wurde, die sowohl Wellen- als auch Korpuskeleigenschaften besitzen.

Der nächste große Versuch, eine einheitliche Theorie zu finden, war die Erklärung aller Eigenschaften der Materie auf der Grundlage des elektromagnetischen Feldes Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts. Die Enge dieser Vorstellung wurde noch schneller deutlich als die Einseitigkeit des mechanischen Materialismus. Vor allem die Entwicklung der Quanten- und Relativitätstheorie zeigte die Grenzen einer einheitlichen elektromagnetischen Naturtheorie. War die klassische Mechanik noch eine Theorie der Kräfte, die zwischen unveränderlichen Partikeln wirken, so wurde mit der Einführung des Feldbegriffs, der in der elektromagnetischen Theorie eine entscheidende Rolle spielt, der Begriff der unveränderlichen Partikel als des einzigen physikalischen Objekts erschüttert. Es wurden nicht mehr allein Kräfte zwischen Partikeln untersucht, sondern Beziehungen betrachtet und Gesetze struktureller Natur aufgestellt. Aber die Gravitationswirkungen und später die starke und schwache Wechselwirkung der Elementarteilchen ließen sich nicht auf die elektromagnetische reduzieren. Die Physik brachte neue Entdeckungen, die diesen Reduktionswechsel scheitern ließen. Die Bedeutung des Feldbegriffs zur Erklärung materieller Vorgänge ließ jedoch den Gedanken entstehen, eine einheitliche Feldtheorie der Materie aufzubauen. Einstein und Infeld entwickelten diesen Gedanken. Sie schrieben: „Können wir den Materiebegriff nicht einfach fallenlassen und eine reine Feldphysik entwickeln? Was unseren Sinnen als Materie erscheint, ist in Wirklichkeit nur eine Zusammenballung von Energie auf verhältnismäßig engem Raum. Wir könnten die Materiekörper auch als Regionen im Raum betrachten, in denen das Feld außerordentlich stark ist. Daraus ließe sich ein gänzlich neues philosophisches Weltbild entwickeln, das letztlich zu einer Deutung aller Naturvorgänge mittels struktureller Gesetze führen müßte, die überall und immer gelten. Ein durch die Luft geworfener Stein ist in diesem Sinne ein veränderliches Feld, bei dem die Stelle mit der größten Feldintensität sich mit der Fluggeschwindigkeit des Steines durch den Raum bewegt. In einer solchen neuen Physik wäre kein Raum mehr für beides: Feld und Materie; das Feld wäre als das einzige Reale anzusehen. Diese neue Auffassung drängt sich uns förmlich auf, wenn wir uns die großen Leistungen vor Augen halten, die wir [165] mit der Feldphysik schon vollbracht haben; wenn wir an den gelungenen Versuch denken, die Gesetze der Elektrizität, des Magnetismus und der Gravitation in die Form von strukturellen Gesetzen zu bringen, und wenn wir die Äquivalenz von Masse und Energie berücksichtigen. Letzten Endes haben wir unsere Aufgabe also darin zu sehen, die Feldgesetze so umzumodeln, daß sie auch dort nicht versagen, wo gewaltige Energiemengen konzentriert sind.“[7]

Das war die grundlegende Idee, die den großartigen Einsteinschen Bemühungen zugrunde lag, eine einheitliche Feldtheorie der Materie zu finden. Die bisherige Trennung der Materiearten Stoff und Strahlung wird aufgehoben. Ein Gedanke, der später durch die Umwandlung von Stoff in Strahlung noch besser bestätigt wurde. Während Einstein unter Materie Stoff versteht, ist das Feld für ihn Ausdruck der Struktur, letzten Endes sogar der räumlichen Bedingungen allein. Es war der dritte Versuch, eine einheitliche physikalische Theorie zu entwickeln. Einstein gelang es jedoch nicht, zu physikalischen Resultaten zu kommen. Obwohl

[7] Einstein/Infeld, Die Evolution der Physik, S. 162.

seine konkrete physikalische Konzeption der Geometrisierung aller Felder sich als nicht durchführbar erwies, darf man seinen genialen Grundgedanken nicht einfach verwerfen. Er findet auch heute seine Verteidiger bei verschiedenen Elementarteilchenphysikern. So versucht Heisenberg eine einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen aufzubauen, und in der Quantengeometrodynamik wird wiederum die Geometrisierung physikalischer Vorgänge zur Grundlage der theoretischen Erfassung des Elementarteilchenverhaltens genommen. Es geht also heute um einheitliche Elementarteilchentheorien. Die Tendenzen zum Aufbau solcher Theorien sind aus der geschilderten Mannigfaltigkeit der Teilchen entstanden, die eine fast unübersehbare Fülle von Reaktionen bieten, deren einheitliche theoretische Beschreibung uns die weitere Erforschung und Lenkung ihres Verhaltens erleichtern würde. Das Ziel einer einheitlichen Elementarteilchentheorie ist die Rückführbarkeit der qualitativen Mannigfaltigkeit der Elementarteilchen auf eine Grundsubstanz oder wenige Grundbeziehungen. Das würde die theoretische Beherrschung der Vielzahl von Reaktionen und Eigenschaften mit Hilfe einer oder einiger Grundgleichungen erlauben, wodurch auch theoretische Vorhersagen über nichtentdeckte Reaktionen und Objekte wahrscheinlich werden. Das wäre der Nutzen für die physikalische Theorie selbst. Eine einheitliche Elementarteilchentheorie würde jedoch auch tiefere Einsicht in andere Forschungsbereiche vermitteln. In chemischen Reaktionen, im Organismus, im Menschen – überall spielen sich Elementarteilchenreaktionen [166] ab. Nebenbei bemerkt, ergibt sich hier auch eine Antwort auf die oft gestellte Frage nach dem Nutzen einer Elementarteilchentheorie für das menschliche Leben. Sicher könnte man die Frage einfach damit abtun, daß Grundlagenforschung erst sehr viel später ihre Bedeutung für die menschliche Gesellschaft offenbart. Der sowjetische Physiker I. E. Tamm verweist darauf, daß Heinrich Hertz, der die elektromagnetischen Wellen entdeckte, auf die Frage nach ihrer praktischen Verwendung antwortete: „Sie werden niemals irgendeine praktische Bedeutung haben." Einige Jahre später wurde die drahtlose Telegraphie entwickelt. Tamm teilt nicht den Skeptizismus mancher Forscher in bezug auf die Anwendbarkeit einer Elementarteilchentheorie. Erste Ergebnisse liegen nach Tamm schon vor. So gibt es Versuche, an Stelle der Röntgenstrahlung in der Medizin π-Mesonen zu benutzen, die besser zur Beseitigung von bösartigen Geschwulsten geeignet sind. Zu Geschwindigkeitsmessungen bei chemischen Reaktionen können möglicherweise μ-Mesonen dienen.[8] Kaschluhn nennt als Gründe für die Entwicklung der Elementarteilchenphysik in den hochentwickelten Industrieländern neben der Erweiterung der Naturerkenntnis auch den Nutzeffekt: „Extrapolierend aus der Geschichte kann man hoffen bzw. erwarten, daß sich ein deutlicher Nutzeffekt ergibt. Momentan läßt sich allerdings nichts Genaues sagen, da dieses Gebiet noch zu sehr im Fluß und zu weit vom Stadium einer möglichen Anwendung entfernt ist. Dennoch läßt sich schon heute die Ausstrahlung auf andere Zweige der Physik und sogar der Technik nicht übersehen. Man denke etwa an das Bereitstellen bestimmter mathematischer Methoden für die Festkörperphysik oder Verfahren der Datenverarbeitung und der Automatisierung von Meßprozessen. Darüber hinaus wird allgemein eingeräumt, daß die Hochenergiephysik heute nötig ist, wenn man ein hohes Niveau der physikalischen Forschung überhaupt erreichen will."[9] Eine einheitliche Theorie der Elementarteilchen, auch wenn sie nur relativen Charakter hätte, d. h. nicht umfassend alle Eigenschaften und Beziehungen umfaßt, würde den Nutzeffekt selbstverständlich erhöhen. Auch unser Verständnis der Materiestruktur würde vertieft. Kaschluhn schreibt dazu: „Aufgabe der Physik ist es, Naturerscheinungen auf einige wenige Grundgesetze zurückzuführen, wodurch ein wissenschaftliches Verständnis unserer materiellen Welt ermöglicht wird."[10] Der Physiker vertritt den durch die Erfahrung bestätigten Gedanken von der mate-

[8] Vgl. I. E. Tamm, Die Physik der Elementarteilchen, in: Priroda 6/1965, S. 15 f. (russ.)
[9] Wissenschaft und Fortschritt, Heft 4, 1970, S. 162.
[10] Ebenda.

[167]riellen Einheit der Welt, weil er zum heuristischen Ausgangspunkt für die weitere Entwicklung der Physik werden kann.

Es gibt also verschiedene Gründe für den vierten großen Versuch, eine einheitliche Theorie, diesmal der Elementarteilchen, zu schaffen. Eine solche Theorie hätte sowohl theoretischen als auch praktischen Wert.

Die philosophische Analyse neuerer Bestrebungen, unser Naturbild zu vereinheitlichen, muß einen wesentlichen Gedanken berücksichtigen, den Lenin bei der Analyse neuester Ergebnisse der Naturwissenschaften zu Beginn unseres Jahrhunderts aussprach. Er setzte sich mit der Auffassung auseinander, es existiere ein „unveränderliches Wesen der Dinge", eine „Grundsubstanz". Das „Wesen der Dinge" ist nach ihm ebenfalls relativ. Es ist bestimmt durch unser bisheriges Eindringen in die Naturgesetze, in das Verhalten der Objekte und gibt die heute gültige Grenze unseres Wissens an. Nach Lenin beharrt der dialektische Materialismus auf dem relativen Charakter unseres Wissens. Er betrachtete das Elektron ebenso wie die gesamte Natur als unerschöpflich.[11] Sollte Lenin eine einfache räumliche Teilbarkeit des Elektrons vorgeschwebt haben, so gibt es dafür keine Belege. Wesentlich ist der allgemeine Gedanke von der unendlichen Kompliziertheit der Materie, die wir zwar erkennen können, aber nie vollständig. Lenins These von der Unerschöpflichkeit materieller Formen und Beziehungen hat sich zumindest schon sozusagen in der Breite bestätigt. Als Lenin sein Buch schrieb, war nur das Elektron als Elementarteilchen bekannt. Heute kennen wir weit über hundert. Die Unerschöpflichkeit in die Tiefe, die in Lenins Bemerkungen ebenfalls steckt, kann man jedoch nur als Hinweis auffassen, tieferliegende Beziehungen zu suchen, ohne daß es für ihre Existenz schon Beweise gäbe. Viele Physiker deuten die Experimente von Hofstadter, der Elektronen an Protonen streute und dabei Abweichungen von dem Verhalten eines punktförmigen Protons erhielt, als Nachweis der Nukleonenstruktur. Von anderen wird nach den Partonen oder anderen Strukturelementen gesucht. Der Nachweis der Elementarteilchenstruktur wäre ein weiterer Schritt zur Bestätigung der Leninschen These von der Unerschöpflichkeit materieller Beziehungen in tieferen physikalischen Niveaus.

Die kurze Betrachtung der Versuche, eine einheitliche Naturtheorie zu entwickeln, zeigte uns die Problematik, die damit verbunden ist. Bisher sind alle Einheitsbestrebungen gescheitert. Aber deshalb waren sie nicht nutzlos. Einerseits zeigte sich eine objektive Tendenz zu allgemeinen Theorien. Ihre Grundlage ist die materielle Einheit der Welt. Andererseits gibt es bisher [168] keine Beweise für die Existenz einer absoluten Grundsubstanz oder einer letzten Grundbeziehung. Der dialektische Materialismus ergänzte den materialistischen Monismus deshalb durch zwei wesentliche Gedanken: Die Einheit der Welt ist eine Einheit qualitativ verschiedener Materiearten, materieller Formen und Beziehungen. Sie sind miteinander verbunden, können auseinander hervorgehen, aber sind nicht völlig durch Reduktion auf eine Grundsubstanz zu erklären. Es wirken in verschiedenen Bereichen qualitativ verschiedene Gesetze, die Systemgesetze für das Verhalten der Elemente im System darstellen. Der statistische Charakter dieser Systemgesetze läßt keine Reduktion auf dynamische Gesetze der Elemente zu. Das hat die Quantenmechanik schon gezeigt. Wohl aber gibt die Untersuchung der Gesetze für Elemente des Systems auch neue Einsichten in die Gründe für das Wirken der Systemgesetze. So gehen auch die Elementarteilchenprozesse als Elemente in die chemische Reaktion und das Verhalten des Organismus ein. Chemische Reaktion und biologisches Verhalten können deshalb durch eine Elementarteilchentheorie besser verstanden werden, aber nicht völlig auf die Gesetze der Elementarteilchenreaktionen reduziert werden. Das hieße die Bedeutung der statistischen Gesetze leugnen und zum klassischen Determinismus zurückzukehren.

[11] Vgl. W. I. Lenin, Werke, Bd. 14, S. 262.

Der zweite Gedanke, durch den der Monismus im dialektischen Materialismus ergänzt wird, ist die Anerkennung der unendlichen Kompliziertheit der Materie. Damit wird der relative Charakter unserer Kenntnisse über die Struktur der Materie betont. Neue Experimente liefern uns neue Einsichten in das Verhalten materieller Objekte. Es handelt sich also hier nicht darum, daß wir das unendliche Universum erkannt hätten oder das Unendliche messen oder beschreiben wollten, was unmöglich ist. Es geht um die Einsicht in die Grenzen unserer Erkenntnis. Wir können stets nur einen bestimmten Bereich des Universums überschauen, die dort existierenden Gesetze erkennen und davon auf unerkannte Bereiche extrapolieren. Im weiteren Verlauf der Erkenntnis werden dazu ungerechtfertigte Extrapolationen korrigiert. Solange unsere Experimente also keine der bisherigen Theorie widersprechenden Ergebnisse liefern, stören zu weitgehende Extrapolationen nicht. Das gibt aber auch die Möglichkeit, einheitliche Theorien für alle materiellen Prozesse zu suchen, auch wenn sie sich später nur als einheitliche Theorien für bestimmte Prozesse erweisen. Eben die Erkenntnis von der Existenz objektiver Systeme mit Systemgesetzen, bei denen sowohl von der Veränderung der Elemente als auch von der Einwirkung anderer Systeme unter bestimmten Bedingungen abstrahiert werden kann, erlaubt das Aufdecken objektiver Wahrheiten.

Das Suchen nach einer einheitlichen Elementarteilchentheorie findet seine [169] Begründung in der nachgewiesenen Umwandelbarkeit der Teilchen ineinander. Damit können sie ein sich selbst genügendes System sein, wie es Chew mit seiner „bootstrap“-Hypothese ausdrückt, oder Erregungen eines Feldes, das nach Heisenberg die Urmaterie darstellt. Die Behauptung, daß es sich beim Feld um die letzte Grundsubstanz der Materie handle, ist eine der nicht zu beweisenden Extrapolationen, die heute keinen Schaden anrichten, da sie bisher ohne praktische Konsequenzen sind. Sie haben im Gegenteil erkenntnisfördernde Bedeutung, da nach ihrer Bestätigung oder Widerlegung gesucht wird, was zur Entwicklung der Theorie beiträgt.

Die bisherigen Bestrebungen nach einem einheitlichen Naturbild lassen folgende Tendenzen der weiteren theoretischen Entwicklung erkennen. Die Suche nach einer einheitlichen Theorie der Elementarteilchen wird verstärkt mit verschiedenen Ausgangshypothesen fortgesetzt. Dabei wird sowohl von Grundpartikeln im Sinne von Grundsubstanzen als auch von Grundbeziehungen als der Grundlage der Theorie ausgegangen. Es gibt Versuche, die bekannten Teilchen aus anderen aufzubauen (Sakata, Markow, Gell-Mann u. a.). Es wird über Quarks und Partonen diskutiert. Schwierigkeiten macht die schwache Wechselwirkung der Teilchen, die damit nicht voll erfaßt wird. Heisenberg versucht mit Grundbeziehungen auszukommen, die er seinem Feldoperator zuschreibt, für den er eine Gleichung formuliert hat. Auch die Quantengeometrodynamik versucht das Beziehungsgefüge der Elementarteilchen zu erfassen. Im Gegensatz zu Heisenberg betrachten sie die raum-zeitlichen Beziehungen als das Einfachste, auf das alles andere zurückgeführt werden kann. Das Beziehungsgefüge im Elementarteilchenbereich ist kompliziert. Es gibt eine Vielzahl von Teilchen mit verschiedenen Reaktionsmöglichkeiten. Sie wechselwirken stark, elektromagnetisch und schwach miteinander. Jedoch gibt es einen inneren Zusammenhang. Die Teilchen wandeln sich ineinander um. Sie unterliegen verschiedenen Formen der Wechselwirkung, wobei eine Verbindung zwischen Wechselwirkung und Erhaltungssätzen existiert. Je schwächer die Wechselwirkung, desto weniger Erhaltungssätze gelten. Das alles berechtigt zu der Hoffnung, daß trotz qualitativer Unterschiede das Beziehungsgefüge erfaßt werden kann. Von welcher Beziehung her das am besten geschieht, steht heute nicht fest. Die modernen einheitlichen Theorien berücksichtigen also die qualitative Verschiedenheit der Beziehungen, die wachsende Kompliziertheit des Beziehungsgefüges und die Einheit von Struktur und Prozeß. Das verdeutlicht, wie man von klassischen Vorstellungen über das Objektverhalten und eine einheitliche Naturtheorie abrückte und die unendliche Kompliziertheit der einheitlichen materiellen Welt auch bei der Suche nach einheitlichen Theorien anerkennt. [170]

3. Was ist ein Elementarteilchen?

In allen physikalischen und philosophischen Arbeiten zur Elementarteilchenphysik, in denen der Begriff „Elementarteilchen“ definiert werden soll, wird auf die Schwierigkeit hingewiesen, zu erfassen, was elementar ist. H. Pose schreibt: „Der Begriff ‚Elementarteilchen‘ hat sich im Laufe der Entwicklung von Physik und Chemie erheblich gewandelt, so daß es derzeit etwas schwierig ist, ihn zu definieren. Das Wort ‚elementar‘ enthält den Begriff der Unteilbarkeit, und diese ist für die heute bekannten Elementarteilchen, die in überwiegender Mehrzahl instabil sind – also in andere Bruchstücke zerfallen –, nicht gegeben.“[12] Ähnlich verweist auch Sokolow auf die Verbindung von Elementarität und Unteilbarkeit und ihre Problematik: „Anfänglich enthielt der Terminus elementar ... den Begriff der Nichtteilbarkeit. Zur Zeit arbeiten die Wissenschaftler an der Erforschung der Struktur der Elementarteilchen, und deshalb versteht man jetzt diese Nichtteilbarkeit im gewissen Sinne mit Vorbehalt.“[13] Nach solchen kurzen Bemerkungen, die wir in vielen anderen Arbeiten ebenfalls finden, wird dann zur Charakteristik der Elementarteilchen durch ihre Eigenschaften übergegangen. Eine besondere Rolle spielen dabei: Masse, Spin, elektrische Ladung, magnetisches Moment, Isospin, strangeness, Hyperladung usw. Die Definition des Elementarteilchens kann auch so lange aufgeschoben werden, wie diese Charakteristika ausreichen, um zu bestimmen, womit man sich beschäftigt. Eine Bestimmung wird aber dann unumgänglich, wenn man die Frage beantworten will, ob die Elementarteilchen eine Struktur besitzen, also nicht elementar sind, oder keine Struktur besitzen, also elementar sind, aber nur aus der Wechselwirkung begriffen werden. Dann verbinden sich die Definitionen mit Vorstellungen über die Struktur der Teilchen.

Wurde durch die angeführten Zitate vor allem auf die Problematik der Teilbarkeit hingewiesen, weil ja Elementarteilchen im eigentlichen Sinne des Wortes nicht aus anderen Teilchen bestehen dürfen, so wird in anderen Arbeiten deutlicher ausgesprochen, daß man die Elementarteilchen nicht als einfachste, unstrukturierte Bausteine der Welt betrachten dürfe. Dafür spricht nicht nur die Umwandelbarkeit der Teilchen ineinander, sondern auch die Rolle der Felder, die nicht nur die Wechselwirkung der Teilchen erfassen, sondern, wie A. K. Walter meint, selbst objektive Realität darstellen. Er faßt die Elementarteilchen „als Erregungen entsprechender Felder, [171] die fähig sind zur wechselseitigen Umwandlung, aber selbst keine komplizierten Systeme darstellen.“ Walter hebt die Meinung Heisenbergs hervor, daß es kein Kriterium gibt, das Elementarteilchen von komplizierten Systemen unterscheidet, erachtet jedoch diesen Begriff als nützlich, wenn man beachtet, daß er nicht die innere Struktur der Teilchen erfaßt.[14] Damit wird eigentlich nur auf die relative Unterscheidung zwischen komplizierten Systemen und Elementarteilchen verwiesen und die Relativität der Elementarität anerkannt. Sobald nach der Struktur der Teilchen gefragt wird, kann man nicht mehr von Elementarteilchen im eigentlichen Sinne sprechen. Deshalb beschränkt Walter die Anwendung dieses Begriffes und läßt Aussagen über die Struktur und Natur der Teilchen weg.

Viele Physiker verbinden jedoch die Definition der Elementarteilchen mit dem Strukturproblem. Markow macht dabei auf zwei Seiten in der atomistischen Vorstellung unserer Zeit aufmerksam: Erstens zeugt das Auftreten elementarer Charakteristika im Begriffssystem der Physik von dem Niveau dieser Epoche. Da die Struktur der Elementarteilchen noch nicht intensiv erforscht wird, kann man sie als elementar und strukturlos betrachten. Zweitens zeugt die Entdeckung von elementaren Teilchen von der Aufdeckung eines qualitativen

[12] H. Pose, Elementarteilchen, in: Mikrokosmos-Makrokosmos, Bd. II, S. 127.
[13] A. A. Sokolow, Elementarteilchen, S. 5.
[14] Vgl. A. K. Walter, Einführung in die Physik der Elementarteilchen, Charkow 1960, S. 8 (russ.).

Sprungs in den Eigenschaften der Materie. Die Begriffe Molekül, Atom und Elementarteilchen spiegeln nach ihm qualitativ verschiedene Materiearten wider.[15] Betont man die Elementarität der Teilchen, dann bezieht man sich vor allem auf den ersten Punkt, da unsere derzeitigen Experimentiermöglichkeiten nur ungenügend etwas über die Elementarteilchenstruktur erkennen lassen. Es gibt jedoch bereits auch Vorstellungen, die auf die qualitativ neue Stufe des Subelementarteilchenbereichs verweisen und deshalb die Relativität der Elementarität betonen.

Markow leitete bereits aus seinen Betrachtungen die Auffassung von der Strukturiertheit der Teilchen ab: „Mit anderen Worten, alle Elementarteilehen tragen in irgendeiner Beziehung zur Art und zum Aufbau eines bestimmten Elementarteilchens bei. Das bedeutet, daß die ‚Elementarteilchen' eine sehr eigenartige und komplizierte ‚Struktur' besitzen.

Da der strukturelle Aufbau eines Elementarteilchens eine so komplizierte Form annimmt und darüber hinaus jedes der ‚Elementar'-Teilchen eine komplizierte Überlagerung aller ‚Elementar'-Teilchen darstellt, muß natürlich Zweifel an der Zweckmäßigkeit der gewählten elementaren Grund-[172]formen entstehen ..., so liegt es nahe, nach einem anderen ‚Material' zu suchen, das in dieser Beziehung elementarer ist und für sämtliche Elementarteilchen eine allgemeine Bedeutung hat. Es gibt Bestrebungen, eine solche Urmaterie in einem gewissen Fermionenfeld zu sehen. Ein solches Programm ist sehr anziehend und scheint nach Meinung des Autors nicht undurchführbar zu sein. Es ist durchaus möglich, daß dabei die Notwendigkeit auftritt, einige Arten dieser Urmaterie einzuführen."[16] Markow spielte in dieser 1957 geschriebenen Arbeit auf die Versuche Heisenbergs an, mit der Urmaterie Feld die Elementarteilchen als Erregungen dieses Feldes zu erfassen und eine einheitliche Theorie der Elementarteilchen zu entwickeln. Auch heute ist diesen Versuchen noch kein voller Erfolg beschieden. Wenn Markow auf mehrere Arten der Urmaterie verweist, dann kann das auch im Sinne der hypothetischen Partonen oder anderer Vorstellungen verstanden werden. Selbstverständlich hat diese Suche nach Urmaterien heuristische Bedeutung für die physikalische Forschung. Sie bringt den materialistischen Gedanken zum Ausdruck, daß der Ursprung derzeitig bekannter elementarer Materieformen selbst materiell ist. Damit ist selbstverständlich nichts über eine letzte Urmaterie ausgesagt, die aus den physikalischen Hypothesen nicht abgeleitet werden kann.[17]

Heisenberg selbst verweist ebenfalls auf die Problematik des Begriffs Elementarteilchen: „Die verschiedenen Elementarteilchen können als verschiedene Formen betrachtet werden, in denen die fundamentale Substanz, die man Materie oder Energie nennen mag, existieren kann. Sie können ‚kleinste Einheiten' also nur in dem Sinne genannt werden, daß sie dann, wenn sie zerlegt werden, in Teile zerfallen, die selbst nicht kleiner sind, sondern eben wieder Einheiten etwa der gleichen Art und Größe."[18] Das gilt nur, solange Subteilchen nicht gefunden werden. Dann wäre der Zerfall der Elementarteilchen in kleinere Einheiten nachgewiesen. Der Sinn des Kleinerseins würde dann jedoch nicht in der räumlichen Beziehung des Teils zum Ganzen zu suchen sein, sondern in der kleineren, nämlich gedrittelten Elementarladung. Das würde vor allem zu anderem elektromagnetischen Verhalten führen und deshalb auch experimentell feststellbar sein. Wie wir schon betonten, meint McCusker dieses Verhalten auf seinen Photographien nachgewiesen zu haben. Heisenberg schreibt weiter: [173] „Diese Lösung des Problems der ‚kleinsten Einheiten' der Materie ist einigermaßen überraschend und paradox und führt sofort zu einer weiteren Frage, die sorgfältig diskutiert werden

[15] Vgl. M. A. Markow, Hyperoen und K-Mesonen, Berlin 1960, S. 12.
[16] Ebenda, S. 17.
[17] Vgl. H. Hörz, Philosophischer Materialismus und Leninscher Materiebegriff, in: DZfPh, Heft 12, 1969, S. 1433.
[18] W. Heisenberg, Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen, S. 2.

muß. In früherer Zeit wurden die Atome der Chemiker oder die Atomkerne als zusammengesetzte Systeme aufgefaßt, die aus vielen Elementarteilchen bestehen, während Elektron oder Proton eben als unteilbare Einheiten und deshalb als ‚elementar' angesehen wurden. In der gegenwärtigen Situation wäre eine solche Unterscheidung künstlich. Es ist in der Tat kaum möglich, irgendeine gute Definition zu finden, durch die man ein Elementarteilchen von einem zusammengesetzten System unterscheiden könnte."[19] Als Beispiel bringt Heisenberg das Pion, das als ein System betrachtet werden kann, das aus einem oder mehreren Paaren von Nukleon und Antinukleon besteht. Das Nukleon könnte aus λ-Hyperon und K-Meson und das Photon aus einem Myon und einem Antimyon aufgebaut sein. Diese paradoxe Situation wird nach Heisenberg durch die Formel beschrieben: Jedes Elementarteilchen besteht aus allen anderen Elementarteilchen. „Für praktische Zwecke", schreibt er, „kann es sich immer noch als zweckmäßig erweisen, von einem zusammengesetzten System dann zu sprechen, wenn die für die Teilung notwendige Energie klein ist verglichen mit den Ruhemassen der bei der Teilung entstehenden Gebilde. Aber dies ist eine ziemlich vage quantitative Definition, nicht eine qualitative. Deshalb ist es vernünftiger, die Unterscheidung zwischen elementar und zusammengesetzt ganz fallenzulassen."[20] Der Widerspruch, um den es immer wieder geht, ist bereits charakterisiert worden. Die Teilchen sind ausgedehnt und haben eine Struktur, deshalb können sie nicht elementar sein. Sind sie elementar, dürfen sie nicht ausgedehnt sein und keine Struktur besitzen. Die Elementarität der Teilchen muß also vor allem im Hinblick auf ihre Struktur untersucht werden. Gerade hier reichen aber die bisherigen experimentellen Ergebnisse nicht aus. Heisenberg zieht aus der Schwierigkeit, elementare und komplizierte Systeme nicht unterscheiden zu können, die Schlußfolgerung, diese Unterscheidung fallenzulassen. Das ist auf der Grundlage seiner Konzeption verständlich. Da die Teilchen nur Erregungen des Feldes sind, gibt es keine wohlunterschiedenen elementaren und komplizierten Teilchen, sondern die elementare Substanz ist für ihn das Feld, das mathematisch erfaßt werden muß und so die Teilchenwechselwirkungen beschreiben läßt.

Anders ist der Sachverhalt, wenn man die bisherigen atomistischen Vorstellungen selbst als relativ betrachtet, wie das in der Geschichte der physika-[174]lischen Strukturkenntnis sich immer als richtig erwiesen hat. Dann erweisen sich die Elementarteilchen als relativ elementar, ohne daß bestimmte Teilchen in ihrem Grad der Elementarität vor anderen ausgezeichnet wären. Elementar sind dann die gemeinsamen Strukturelemente, die die Umwandelbarkeit der Teilchen garantieren, aber selbst eine niedere Stufe der Materiestruktur darstellen. Wenn man die objektiv-reale Existenz dieser Strukturelemente anerkennt, steht man vor der experimentell zu treffenden Entscheidung, die jedoch theoretisch erörtert werden muß, ob diese Strukturelemente objektiv-reale Elementarteilchen eines niederen Strukturniveaus sind oder nur zur Beschreibung des Elementarteilchenverhaltens dienen, damit der Widerspruch zwischen Struktur und Elementarität überwunden wird.

Hier wird das Problem der Elementarität mit dem Problem der Struktur der Elementarteilchen verbunden. Das verweist eben auf ihren relativ elementaren Charakter. Denn wenn Strukturen der Teilchen existieren, dann sind die Strukturelemente selbst als etwas Elementares zu fassen, was selbst erst wieder erforscht werden muß. Die Eigenschaften wären dann Gruppeneigenschaften bestimmter Gruppen von Strukturelementen. Dabei ist noch nichts über die konkrete Struktur vorausgesetzt. Die Existenz der Struktur würde auch verlangen, daß in Theorien, die die Strukturiertheit der Teilchen berücksichtigen, eine Elementarlänge als Konstante eingeführt wird, da die Elementarteilchen mit Struktur nicht mehr als punktförmig betrachtet werden können.

[19] Ebenda.
[20] Ebenda.

Blochinzew versucht mit seiner Definition der Elementarteilchen der komplizierten Situation gerecht zu werden, indem er die Zerlegung in die Teilkomponenten vom Energieaufwand abhängig macht. Elementarteilchen sind für ihn solche Teilchen, die nicht weiter in ihre Teilkomponenten zerlegt werden können, wenn der Energieaufwand D kleiner als die Eigenenergie der leichteren Komponente ist. Nach diesem Begriff ist das Atom des Wasserstoffs kein Elementarteilchen, weil seine Masse $m_H = m_p + m - D$ ist, wobei $D \ll m_e, m_p$ ist. Dagegen ist das Proton ein Elementarteilchen, weil $m_P = m_A + m_B - D$ und $D \geqq m_A, m_B$ für beliebige Teilchen A und B ist.[21]

In dieser Bestimmung werden zwei Seiten der Elementarität deutlich, die philosophisch sehr interessant sind. Einerseits gibt die Definition von Blochinzew die Möglichkeit, auch Teilchen, die man wegen ihrer Zerfalls-[175]produkte als zusammengesetzt fassen könnte, als Elementarteilchen zu bestimmen, wenn der Energieaufwand bei ihrer Zerlegung groß ist. Damit wird den Elementarteilchen eine bestimmte relative Konstanz zugesprochen. Es wird in diesem Elementarteilchenbegriff nicht die direkte Unteilbarkeit vorausgesetzt, sondern der Erhalt des Teilchens unter bestimmten Bedingungen. Andererseits wird dabei auch die Relativität der Elementarität der Teilchen deutlich. Sie sind nicht absolut elementar in dem Sinne, daß keine Zerfallsprodukte mehr existieren würden. Wir sehen also als zwei wesentliche Seiten der Elementarität der Teilchen die relative Konstanz der Teilchen verbunden mit ihrer möglichen Zerlegung in einzelne Komponenten. Die Teilchen können also als Elementarteilchen gefaßt werden, wenn sie in bestimmter Wechselwirkung unter bestimmten energetischen Verhältnissen als Ganzes in Erscheinung treten, obwohl sie sich unter anderen Bedingungen in verschiedene Komponenten aufspalten lassen. Gerade das ermöglicht es uns auch, die Resonanzen als Teilchen zu fassen. Die erste Resonanz wurde 1952 von Fermi und seinen Mitarbeitern entdeckt. Beim Beschuß von Protonen mit Pionen hoher Energie ergab sich bei der Wechselwirkung ein Übergangszustand bei der effektiven Masse des Systems von 1238 MeV. In der Folgezeit wurde eine Vielzahl von Resonanzen entdeckt. Dabei hat die Mehrheit der Resonanzen mehr als eine Möglichkeit, in andere Teilchen zu zerfallen. Zu den etwa 30 Teilchen gibt es heute mehr als 100 Resonanzen, wobei ständig neue Resonanzen entdeckt werden. Die Bestimmung ihrer Quantenzahlen ist jedoch sehr schwierig, was die Klassifikation der Teilchen ungeheuer erschwert.

Auch die Resonanzen zeichnen sich durch eine relative Selbständigkeit im Wechselwirkungsprozeß aus, obwohl sie in andere Teilchen zerfallen und im wesentlichen nur durch ihre Teilkomponenten erforscht werden können. Das läßt das Problem der Elementarität der Gesamtheit der Teilchen, also Elementarteilchen plus Resonanzen, noch deutlicher werden. Auch Kaschluhn rechnet sowohl die stabilen als auch die instabilen Teilchen zu den Elementarteilchen. Er schreibt: „Hierbei versteht man unter Elementarteilchen stabile Teilchen im üblichen Sinne (die meisten von ihnen zerfallen allerdings über schwache Wechselwirkung) und instabile Teilchen im Sinne von Resonanzen, die sich bei Streuprozessen als Maxima in den sogenannten Wirkungsquerschnitten äußern.“[22]

Damit kann auch die Stabilität oder Instabilität von Teilchen kein Kri-[176]terium für ihre Elementarität sein. Die Stabilität ist relativ. Sie gilt für die stabilen Elementarteilchen, zu denen Photonen, Leptonen, Mesonen und Barionen gehören, nur für die starke Wechselwirkung, bei der die Resonanzen auch schon instabil sind. „Wie gesagt“, meint Kaschluhn, „wir machen keinen prinzipiellen Unterschied zwischen stabilen Elementarteilchen und Resonanzen, die wir gemeinsam als Elementarteilchen bezeichnen ...

[21] Vgl. D. I. Blochinzew, Signalausbreitung innerhalb des Elementarteilchens, Dubna 1962, S. 3 Anm. (russ.).
[22] Wissenschaft und Fortschritt, Heft 4, 1970, S. 163.

Ein Elementarteilchen wird außer durch seine Ruhemasse und die Art, wie es mit anderen Teilchen in Wechselwirkung tritt, noch durch bestimmte Quantenzahlen beschrieben, die Ausdruck gewisser Invarianzeigenschaften der Wechselwirkung sind.“[23]

Dazu rechnet er die Barionenzahl *B*, die Hyperladung *Y*, den Isospin *1*, den Spin *J* und die Parität *P*.

Mit den Quantenzahlen verbinden wir die Bestimmung der Elementarteilchen direkt mit der Wechselwirkung. Damit wird die Definition des Begriffs „Elementarteilchen“ abhängig von der Theorie, die zu den Wechselwirkungen vertreten wird. Das wird deutlich, wenn wir an die Chewsche Hypothese erinnern. Nach Chew und Frautschi sind die Hadronen, d. h. die stark wechselwirkenden Teilchen, gebundene Zustände, wobei die Bestandteile die Hadronen selbst sind. Da die stark wechselwirkenden Teilchen durch die Wechselwirkung erzeugt werden, wobei sie die Wechselwirkung selbst hervorrufen, ergeben sich Konsequenzen für die Bestimmung dessen, was ein Elementarteilchen ist. Dazu meint Kaschluhn: „Wir verhehlen nicht, daß mit diesen Vorstellungen allgemein der Begriff des Elementarteilchens in seinem ursprünglichen Sinn für die Hadronen hinfällig wird. Mit anderen Worten, alle stark wechselwirkenden Teilchen wie Atomkerne, Nukleonen, Mesonen usw. sind zusammengesetzt (d. h. nicht elementar) und bezüglich ihres dynamischen Ursprungs äquivalent.“[24]

Das führt uns wieder zum Gedanken der relativen Elementarität, die die Erforschung der neuen Struktur der Elementarteilchen verlangt. Diese Struktur kann verschieden gefaßt werden, was wieder Auswirkungen auf unsere Auffassung von der Elementarität hat. Das Problem bleibt bestehen, ob man die Zerlegung der Teilchen in Teilkomponenten als neue Art der Teilbarkeit auffassen soll und deshalb den Teilchen die Elementarität absprechen muß. Jedoch ist der innere Mechanismus dieser Zerlegung in Teilkomponenten noch nicht geklärt. Diese Klärung wäre zugleich [177] die Antwort auf viele Fragen, die heute noch nicht beantwortet werden können: Kann man die Elementarteilchen aus wenigen fundamentaleren Teilchen aufbauen? In diesem Sinne wird auch oft von Fundamentalteilchen gesprochen. Oder gelingt es mit Hilfe eines Dritten, des Feldes, alle Teilchen zu erhalten? Diese Frage ist mit der Definition der Elementarteilchen nicht beantwortet, ihre Beantwortung kann uns aber eigentlich erst bei der Lösung des Problems der Elementarität weiterhelfen. Zweifellos hat sich bisher der Gedanke von der Unerschöpflichkeit der Formen, Arten, Prozesse und Beziehungen der Materie, der vom dialektischen Materialismus immer wieder ausgesprochen wurde, auch im Elementarteilchenbereich bestätigt. Aber diese Feststellung besagt wenig über den weiteren Fortschritt der physikalischen Erkenntnis, über ihr Eindringen in die Struktur der Materie. Die Aufgabe besteht jetzt gerade darin, Ordnung in diese Vielfalt zu bringen.

W. Panofskij aus den USA hebt als wichtigste theoretische Aufgabe hervor, zu klären, welchen Sinn in Wirklichkeit der Begriff Elementarteilchen hat. Er fragt: „Sind alle neu entdeckten Teilchen ‚elementar‘? Sind sie alle Zustände eines oder mehrerer grundlegender ‚fundamentaler‘ Teilchen? Oder, worauf der größte Teil der Theoretiker hofft, existiert nicht ein bestimmtes Prinzip, entsprechend dem jedes Teilchen die natürliche Wirkung aller anderen Teilchen sein würde. Wenn das so ist, dann existiert gar nicht so etwas, wie ein ‚Elementarteilchen‘.“[25] Hier wird wiederum die gesicherte Erkenntnis deutlich, die in verschiedenen physikalischen Hypothesen zum Ausdruck kommt, daß das Problem der Elementarität der Teilchen nur gelöst werden kann, wenn ihre Wechselwirkung in die Betrachtung einbezogen wird.

[23] Ebenda.
[24] Ebenda, S. 166.
[25] Priroda, Heft 1, 1965, S. 59.

Wir hatten schon bei Heisenberg den Gedanken gefunden, daß eine Einteilung der Teilchen in einfache und zusammengesetzte schon deshalb gegenstandslos ist, weil es überhaupt kein nacktes Teilchen gibt, sondern jedes Teilchen seine Struktur besitzt. Auch Gell-Mann meint, daß keine Teilung zwischen einfachen und komplizierten Teilchen notwendig ist. Er ergänzt dann scherzhaft, wenn keine Notwendigkeit für die Aristokratie von Teilchen existiert, warum sollte dann keine Demokratie zwischen ihnen sein?[26]

Interessant dürfte in diesem Zusammenhang die weitere Untersuchung der Hypothese des „bootstrap“ von Chew sein, nach der alle stark wechsel-[178]wirkenden Teilchen dynamische Strukturen sind, die ihre Existenz den Kräften verdanken, mittels deren sie wirken. Die stark wechselwirkenden Teilchen werden durch starke Wechselwirkungen geschaffen. So entsteht jedes Teilchen mit Hilfe anderer Teilchen und nimmt seinerseits an der Schaffung anderer Teilchen teil.[27] Damit wird nun die relative Selbständigkeit der Teilchen, ihre Individualität völlig aufgehoben. Sie existieren alle nur noch als Partner der anderen Teilchen. Ihre Eigenschaften sind keine selbständigen Eigenschaften, sondern die Beziehungen zwischen ihnen. Elementarteilchen sind also relativ elementare physikalische Objekte, die als Ganze in Wechselwirkungsprozessen auftreten. Die Untersuchung ihrer Struktur wird den relativen Charakter genauer bestimmen lassen, wie das bei den Atomen auch der Fall war.

4. Elementarteilchenstruktur, Teilbarkeit und Unendlichkeit

Die aus allen bisherigen Betrachtungen sich ergebende relative Elementarität der Elementarteilchen zwingt dazu, die Elementarteilchenstruktur, soweit experimentelle oder theoretisch-hypothetische Angaben vorliegen, philosophisch genauer zu analysieren. In diesem Zusammenhang ist der Standpunkt von Sakata interessant, der mit seinem Modell der zusammengesetzten Teilchen eine der Voraussetzungen für die spätere Vorstellung der Quarks geliefert hat. Für ihn gibt es verschiedene Stufen in der Erkenntnis der physikalischen Materiestruktur. Schon 1961 hatte Sakata in einem Artikel „Toward a New Concept of Elementary Particles“[28] seinen Standpunkt formuliert, daß die Elementarteilchen nicht die letzten Materiebausteine sind. Er wies auf die Untersuchung tieferer Niveaus hin, wobei es nach seiner Meinung nicht gelingt, jemals das tiefste Niveau der Materie zu untersuchen. Damit wird die These Lenins von der Unendlichkeit der Materie mit einer bestimmten physikalischen Konzeption verbunden. Nach Sakata kann die Feldtheorie der Elementarteilchen nicht die letzte Theorie der Materie sein, da qualitativ neue Gesetze auf tieferem Niveau gefunden werden können. Damit wurde der methodologische Standpunkt Sakatas beschrieben, der seinen Arbeiten zum Modell zusammengesetzter Teilchen zu Grunde lag. In einer späteren Arbeit wurde der methodologische Standpunkt in Auseinandersetzung mit dem Idealismus und speziell dem Positivismus noch einmal bekräftigt, und die zwei Auffassungen wur-[179]den betrachtet, nach denen einmal die Mesonen aus Urbarionen und Anti-Urbarionen bestehen, oder zum anderen die Mesonen aus Barionen und Antibarionen zusammengesetzt und die letzten aus Urbarionen aufgebaut sind. Generell geht es dabei um die Existenz tieferer Niveaus gegenüber dem bekannten Elementarteilchenniveau.[29] Sakata vertritt die Auffassung von der Hierarchie der Materiestruktur in verschiedenen Niveaus. Ausgehend von der Idee des Stufencharakters der Materiestruktur unterscheidet er mit M. Taketani[30] drei Etappen der Erkenntnis beim Übergang von einer Stufe zur anderen.[31] In der Physik zeigte sich der stufenförmige Aufbau durch

[26] 26 M. Gell-Mann/A. Rosenfeld/G. Chew, Stark wechselwirkende Teilchen, in: Priroda, Heft 11, 1964, S. 621.
[27] Ebenda, S. 63.
[28] S. Sakata, Supplement of the Progress of Theoretical Physics, 19 (1963), Heft 3.
[29] Vgl. S. Sakata u. a., Supplement of the Progress of Theoretical Physics, 1965, Sonderheft, S. 406 ff.
[30] Vgl. M. Taketani, Einige Fragen der Dialektik, Tokio 1948.
[31] Vgl. S. Sakata, Einige philosophische Fragen der Theorie der Elementarteilchen, in: Lenin und die moderne Naturwissenschaft, Moskau 1969, S. 163 ff. (russ.).

die Entdeckung des Atoms, der Atomkerne und der Elementarteilchen sowie der Bewegungsgesetze, die auf dem neuen Niveau existieren und in der Relativitätstheorie und Quantenmechanik erfaßt sind. Die Etappen der Erkenntnisprozesse sind: Studium der Erscheinungen, Studium der Substanz, Studium des Wesens. Unter dem Studium der Substanz ist dabei die Untersuchung der materiellen Objekte zu verstehen, die die Erscheinungen konstituieren und deren Beziehungen den inneren Mechanismus der Erscheinungen erklären. In diesem Sinne ist das Modell Sakatas, das die Vielzahl der Elementarteilchen auf wenige Fundamentalteilchen zurückführen sollte, als Übergang von der Stufe des Studiums der Erscheinungen zur Stufe des Studiums der Substanz zu verstehen, wie Sakata selbst bemerkt, da die Elementarteilchen nach ihm eine der Stufen der Materiestruktur sind.[32]

Das Studium des Wesens steht danach noch aus und kann in den Bewegungsgesetzen der Fundamentalteilchen gesehen werden, als die zur Zeit die Quarks angenommen werden. Sakata wendet sich gegen den metaphysischen Standpunkt, der die Elementarteilchen als Grundbausteine der Materie betrachtet und nicht berücksichtigt, daß mit der verbesserten Experimentiertechnik die Aufdeckung des Subquantenniveaus möglich ist. Er kritisiert auch den positivistischen Standpunkt, nach dem die Teilchen nur Begriffe sind, die eine bequeme Beschreibung der physikalischen Erscheinungen gestatten. Beiden stellt er die dialektisch-materialistische Betrachtungsweise entgegen, die die Unerschöpflichkeit der Stufen der Materiestruktur annimmt, wobei jede Stufe durch ihr eigene Gesetze ausge-[180]zeichnet ist. Sicher kann man die dialektisch-materialistische These von der Unerschöpflichkeit der Materiearten und Materieformen so interpretieren. Damit wird generell jedes existierende elementare physikalische Objekt als relativ elementar betrachtet, weil aus Elementen eines niederen Niveaus zusammengesetzt. Die Entwicklung der Physik beim Übergang vom Elementarteilchen- zum Fundamentalteilchenniveau müßte dann so vor sich gehen, daß die bisherigen Erkenntnisse über die Elementarteilchen als der Stufe des Studiums der Erscheinungen zugehörig betrachtet werden müssen und nun die Untersuchung der Substanz, d. h. der Fundamentalteilchen, die die Bausteine der Elementarteilchen sind, erfolgen muß. Sind diese Teilchen gefunden, dann kann man ihre Bewegungsgesetze entdecken, womit man dann das Wesen der Elementarteilchen kennt. Von dieser Position her wird die Einschätzung verständlich, die Sakata zu den Diskussionen um die Quarks gibt: „Die ‚quarks' haben viele seltsame Eigenschaften wie gebrochene elektrische Ladungen usw. Man braucht sich darüber nicht zu beunruhigen, weil die ‚quarks' zum Subquantenniveau gehören. Mehr beunruhige ich mich über die derzeitige Verbreitung der Methode der Gruppentheorie, über die Herrschaft der irrigen Auffassung, die, indem sie die Symmetrie als endgültiges Prinzip behandelt, meint, daß die Einführung der ‚Substanz' in der Art der ‚quarks' nichts anderes ist, als die Art und Weise, dieses Prinzip zu finden."[33]

Die derzeitige experimentelle und theoretische Situation in der Elementarteilchenphysik läßt noch keine eindeutige Stellungnahme zu dem Vorschlag von Sakata zu, die Erkenntnisstufen in der Physik im Übergang von der Erkenntnis der Erscheinungen zur Substanz und zum Wesen zu sehen. Sicher hat er aber große heuristische Bedeutung und muß kritisch im Zusammenhang mit neuen experimentellen und theoretischen Ergebnissen überprüft werden. Er setzt eine bestimmte Ansicht über die Materiestruktur voraus. Nach ihm bestehen nämlich die physikalischen Objekte wiederum aus Substanzen, d. h. aus materiellen Objekten eines niederen Niveaus. Um zu ihnen vorzudringen, muß man nur die experimentelle Technik verbessern, also Beschleuniger mit größeren Energien bauen. Alle physikalischen Objekte sind damit teilbar und die Objektteile, die das niedere Niveau der Materiestruktur ausmachen, haben

[32] Vgl. Ebenda, S. 168.
[33] Ebenda, S. 169.

eigene Bewegungsgesetze, die das Wesen dieses Niveaus charakterisieren. Es könnte nun der Eindruck entstehen, als ob damit die philosophische Analyse des Verhältnisses von Elementarteilchenstruktur und Unendlichkeit der Ma-[181]terie beendet werden könnte, weil die Existenz niederer Niveaus vorausgesagt wird und die Physik das nächste Niveau erst finden muß. Es existieren jedoch auch andere physikalische Hypothesen, wie die bootstrap-Hypothese von Chew und die Feldtheorie von Heisenberg, die zum Verhältnis von Ganzem (Elementarteilchen) und Teil (Fundamentalteilchen) einen anderen Standpunkt als Sakata einnehmen. Wir müssen also mindestens überprüfen, ob die Bestätigung dieser Hypothesen, falls sie durch die Physik erfolgen sollte, mit dem dialektischen Materialismus nicht zu vereinen wäre. Auch hier könnte man von vornherein sagen, daß der dialektische Materialismus stets die Tatsachen in ihrem eigenen und in keinem phantastischen Zusammenhang betrachtet, weshalb kein philosophisches Prinzip einer physikalischen Theorie, die durch das Experiment bestätigt ist, widersprechen darf. Ist das der Fall, dann ist das philosophische Prinzip zu korrigieren. Diese Feststellung ist zwar notwendig, enthebt uns aber nicht der Aufgabe, die vorliegenden physikalischen Hypothesen zu analysieren, um die dialektisch-materialistische Ansicht zum Verhältnis von Teil und Ganzem nicht allein auf eine physikalische Forschungsrichtung zu beschränken. Die von Lenin betonte Unerschöpflichkeit der Elementarteilchen kann in verschiedener Weise verstanden werden. Zurückzuweisen ist von diesem Standpunkt her die Auffassung, als ob die bisher bekannten physikalischen Objekte und ihre Eigenschaften die letzten Grundbausteine der Materie und die letzten Grundeigenschaften wären. Durch die bisherigen physikalischen Erkenntnisse ergibt sich außerdem, daß die Teilung dieser Objekte nicht mehr als räumliche Teilung verstanden werden kann, da hierfür ein Maßstab erforderlich ist, der nur in den Teilchen selbst bestehen kann. Räumliche Teilung setzt voraus, daß der Maßstab für das Ganze selbst teilbar ist und als Teil räumlich kleiner als das Ganze ist. Da wir keine kleineren physikalischen Maßstäbe als die Elementarteilchen haben, können wir nicht messen, ob bestimmte Elementarteilchen kleiner als andere sind. Die Feststellung, daß es sich um ein Teil eines Ganzen handelt, muß also auf andere Weise und nicht durch das Anlegen von Maßstäben erfolgen.

Eine mögliche Teilung haben wir bei den Quarks gesehen, die mit ihrer gebrochenen Ladung sich durch ein anderes elektrisches Verhalten auszeichnen müssen als die Teilchen mit ganzer Ladung. Das Teil eines Ganzen wird damit durch andere Eigenschaften festgestellt, als das bisher geschah. Vielleicht kommen wir in dieser Weise durch die Teilung bisher für unteilbar gehaltener Größen, die Eigenschaften der Teilchen ausdrücken, zu neuen Aspekten der mit der Unerschöpflichkeit der materiellen Beziehungen verbundenen Teilbarkeit physikalischer Objekte. Teile eines [182] Ganzen können damit nicht durch räumliche Beziehungen im Elementarteilchenbereich bestimmt werden, sondern nur durch bestimmte Eigenschaften, die sich in der Wechselwirkung mit anderen Teilchen äußern oder als individuelle Eigenschaften angesehen werden. Damit ergeben sich verschiedene Möglichkeiten der Teilbarkeit oder besser der Unerschöpflichkeit der physikalischen Objekte. Die Teilung physikalischer Größen als Ausdruck individueller Eigenschaften führt zu neuen Objekten mit diesen geteilten Größen, wie das bei den Quarks der Fall ist, während die Untersuchung der Wechselwirkung zur Aufdeckung neuer Wechselwirkungseigenschaften führen kann, die bisher nicht bekannt waren. Die Unerschöpflichkeit kann deshalb auch in der Unerschöpflichkeit der Beziehungen zwischen wechselwirkenden Objekten bestehen. Hier erfolgt im eigentlichen Sinne keine Teilung. Es konstituieren damit auch keine geteilten Objekte das Subniveau. Trotzdem kann man von einem Subniveau sprechen, wenn man darunter neue Beziehungen versteht, die elementarer als die bisher bekannten sind. Meist erfolgt jedoch dann die Identifizierung der elementaren Beziehungen mit elementaren Objekten. Dieser Weg wurde bei der Hypothese der Quarks gegangen, indem man den dreikomponentigen Spinor mit Teilchen identifizierte. Er wäre aber auch möglich, existierende Quantenzahlen aus anderen zusammenzusetzen und so

zu elementareren Beziehungen zu kommen, ohne hier gleich wieder die Identifikation mit Objekten vorzunehmen.

Diese Überlegungen sollten zeigen, daß man sich hüten muß, den dialektischen Materialismus mit einer bestimmten Strukturaussage zu identifizieren. Die Annahme von physikalischen Objekten, die aus Teilen bestehen sollen, ist nicht die einzige denkbare Auslegung von der Unendlichkeit der Materie. Letztere kann auch als Unerschöpflichkeit der Beziehungen verstanden werden, wobei die Objekte selbst eine untergeordnete Rolle spielen, da in ihren Beziehungen, d. h. in der Wechselwirkung, ihr Wesen zu suchen ist. Ein Objekt an sich gibt es nicht. Das ist bereits durch die Quantentheorie festgestellt worden, womit sich die Kritik von Marx und Engels an Kant auch in der Physik bewährte. Es kann jedoch bei der Betrachtung physikalischer Objekte der Wechselwirkungsaspekt oder der Aspekt des individuellen Objekts in den Vordergrund gestellt werden. Im ersten Fall werden vor allem die Eigenschaften untersucht, die nicht einem Objekt allein, sondern dem Wechselwirkungsprozeß zukommen. Im zweiten Fall geht es um die individuellen Eigenschaften. Jede Art der Betrachtung führt zu verschiedenen Auffassungen über die Unendlichkeit der Materie, die in ihrer erkenntniskritischen Bedeutung in der Aussage erfaßt wird: Es gibt keine endgültige Wahrheit über die Materiestruktur. Die [183] neuen Erkenntnisse können sich also sowohl auf die Wechselwirkung der Teilchen beziehen, indem neue Eigenschaften in der Wechselwirkung gefunden werden, die unsere Raum-Zeit-Auffassung ebenso betreffen können wie die Vorstellung von der Symmetrie, als auch auf die teilbaren Größen, die individuelle Eigenschaften ausdrücken und zu Vorstellungen über die Existenz elementarer Objekte führen.

Das läßt uns einen Gedanken weiter verfolgen, den wir anfangs schon angedeutet haben. Die vereinfachte Beziehung Teil-Ganzes hat für die Elementarteilchen in ihrer klassischen Gestalt keine Bedeutung mehr. Selbst wenn die Veränderungen unserer Ansichten über die Struktur der Körper nicht ganz so radikal sein sollten, wie es sich aus der heutigen experimentellen und theoretischen Situation ergibt, so wird doch eines bestehen bleiben: Die Eigenschaften der Teilchen sind mit der Wechselwirkung mit anderen Teilchen verbunden. Kein Teilchen kann ohne Berücksichtigung der Wechselwirkung mit anderen Teilchen geteilt werden. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Beziehung Teil-Ganzes für diese Problematik zu präzisieren. Gleichzeitig hatten wir gesehen, daß die absolute Individualität der Teilchen verlorengeht, ja, daß es sogar Vorstellungen gibt, die die Individualität der Teilchen überhaupt vernachlässigen. Das erfordert, das Verhältnis von System und Individuum für diesen Bereich zu erörtern.

Fassen wir ein System als eine relativ stabile, geordnete Gesamtheit von Elementen und Beziehungen auf, die durch das Wirken bestimmter Gesetze charakterisiert wird – diese Gesetze sind Systemgesetze, die nicht den einzelnen Elementen des Systems zukommen –, dann kann man die Elementarteilchen als diese Elemente und die verschiedenen Formen der Wechselwirkung als die Beziehungen des Systems charakterisieren. Die Hauptaufgabe besteht heute darin, die Gesetze des Systems zu finden und damit eine Klassifizierung der Elemente im System zu geben. Systemgesetze sind die Erhaltungssätze und die damit verbundenen Symmetrieeigenschaften, die nicht einzelnen Elementen des Systems allein zukommen. Die Aufdeckung der Systemgesetze hilft uns zugleich bei der Klärung des Problems der Individualität der Elemente des Systems. Offensichtlich existiert keine absolute Individualität. Wenn man nur von den Systemgesetzen ausgeht, dann kämen den einzelnen Teilchen keine speziellen Eigenschaften zu. Jedoch ist jede Gruppe von Teilchen wiederum durch eine bestimmte Anzahl wesentlicher Merkmale von anderen Teilchengruppen unterschieden. Dazu gehören solche Charakteristika wie Masse, Spin, Isopin, Fremdheitsquantenzahl, Ladung und andere Quantenzahlen. Der Versuch Gell-Manns und anderer, die Systematik der Teilchen zu finden, be-[184]steht darin, den Zusammenhang zwischen verschiedenen Quantenzahlen herzustellen

und durch ein einfaches Bindungsgesetz alle stark wechselwirkenden Teilchen zu erfassen. So ist es ihm gelungen, mit Hilfe der Symmetriegruppe SU_3, die acht Quantenzahlen zusammenfaßt, die Existenz des λ-Hyperons vorauszusagen. In dieser Richtung liegt auch der bekannte Versuch Gell-Manns, mit Hilfe hypothetischer Teilchen mit gebrochenen Quantenzahlen das System der Teilchen aufzubauen. Werden diese hypothetischen Teilchen gefunden, so wäre das ein hervorragender Erfolg der Idee von der Existenz fundamentaler Teilchen im System. Werden sie nicht gefunden, dann wird man neue Wege suchen müssen, um das System zu erfassen.

Die Vertreter der Feldtheorie versuchen ebenfalls, die Gesetze des Systems zu finden. Für sie existiert, z. B. im konkreten Fall bei Heisenberg, mit der nichtlinearen Spinorgleichung bereits eine mathematische Gleichung, in der die Gesetze des Systems enthalten sein sollen. Es kommt jedoch darauf an, die Eigenschaften der Teilchen aus dieser Gleichung zu bestimmen, was große mathematische Schwierigkeiten bereitet. Sollte es gelingen, diese Schwierigkeiten zu meistern und zu Aussagen über schon existierende Teilchen zu kommen, die mit dem Experiment übereinstimmen, sowie die Existenz noch nicht entdeckter Teilchen vorauszusagen, so wäre das ein Erfolg für diese Richtung der modernen Physik.

Offensichtlich sind bestimmte Gruppen von Elementarteilchen einerseits durch die Quantenzahlen charakterisiert, andererseits durch den Typ der Wechselwirkung, dem sie unterliegen. Wir kennen Teilchen, die stark, schwach und elektromagnetisch miteinander wechselwirken, und Teilchen, die nur einem oder zwei Typen der Wechselwirkung unterliegen. Jede Gruppe von Individuen hat also bestimmte wesentliche Seiten, die sie von anderen unterscheiden. Dabei sind diese Eigenschaften eben nicht unabhängig vom System. Da wir schon vorher betont haben, daß es keine absolute Individualität gibt, heben wir jetzt nicht immer wieder hervor, daß es sich nicht um ein isoliertes Einzelindividuum handelt, sondern um ein Teilchen, dessen Individualität darin besteht, zu einer Gruppe von Teilchen zu gehören, die durch bestimmte Quantenzahlen und durch bestimmte Arten der Wechselwirkung charakterisiert sind.

Betrachten wir als zwei Teilsysteme das Verhalten der gebundenen Neutronen im Kern und das Verhalten des freien Neutrons bei schwacher Wechselwirkung, so zeigen sich zwei Eigenschaften des Neutrons in Abhängigkeit vom Teilsystem, in dem es sich befindet. Einerseits ist es stabil, und andererseits zerfällt es, wobei Proton, Elektron und Neutrino auftreten. Wir können also für unsere philosophische Betrachtung des Ver-[185]hältnisses von System und Individuum festhalten, daß die Möglichkeit des Verhaltens bestimmter Gruppen von Individuen, die sich durch bestimmte wesentliche Merkmale von anderen Gruppen unterscheiden, durch die Gesamtheit der Beziehungen im System mitbestimmt werden. Zwar hat das Individuum, das Neutron, beide Möglichkeiten auf Grund seiner Eigenschaften, aber es verwirklicht diese Möglichkeit in Abhängigkeit vom System. Wir können also festhalten: Erstens existieren Möglichkeiten des Verhaltens der Teilchen auf Grund der individuellen Eigenschaften, die es noch weiter zu untersuchen gilt. Zweitens zeigen sich diese Eigenschaften erst in der Wechselwirkung, indem in ihr eine der Möglichkeiten des Verhaltens der Teilchen verwirklicht wird. Drittens ist die Verwirklichung abhängig vom Systemverhalten und damit von den anderen Teilchen, die im System wirken. Diese Feststellungen werden auch nicht durch den Zerfall des Neutrons in Protonen widerlegt, da die Stabilität stets als relativ betrachtet werden kann und im Kern dann das Nukleon als relativ stabil betrachtet werden muß.

Zweifellos ist deshalb der Gedanke bestechend, dem Teilchen überhaupt keine Eigenschaften zuzuschreiben, sondern es als Überlagerung der Wechselwirkungen anderer Teilchen zu fassen. Diese völlige Aufhebung der relativen Individualität hat insofern heuristische Bedeutung, weil wir ja die Eigenschaften der Teilchen als Ausdruck ihres Wesens nur in der konkreten Erscheinung, eben in der Wechselwirkung erfassen können. Aber gerade das unter-

schiedliche Verhalten gleicher Teilchen unter verschiedenen Bedingungen führt uns dazu, von der relativen Individualität der Teilchen zu sprechen, weil sich im verschiedenen Verhalten verschiedene wesentliche Eigenschaften der Teilchen zeigen. Wenn wir bisher die Gesamtheit der Elementarteilchen als das zu erforschende System bezeichnet haben, so gibt es in diesem System auch bestimmte Teilsysteme. Diese Teilsysteme sind ebenfalls durch bestimmte Gesetze und durch die Gesamtheit bestimmter Elemente und Beziehungen charakterisiert. Als solche Teilsysteme könnte man die stark, schwach und elektromagnetisch wechselwirkenden Teilchen und ihre Beziehungen auffassen. Wir sprechen deshalb von Teilsystemen, weil ihnen offensichtlich das Verhalten der Elementarteilchen insgesamt übergeordnet ist, was sich darin zeigt, daß in allen drei Teilsystemen gleiche Elemente auftauchen. So wechselwirkt das Proton stark und elektromagnetisch und taucht auch bei der schwachen Wechselwirkung auf. Diese Teilsysteme sind durch die Gültigkeit oder auch Durchbrechung bestimmter Erhaltungssätze charakterisiert. Bei weiterer Aufteilung der Systeme wird das individuelle Verhalten insofern immer deutlicher, als immer mehr Systemgesetze durchbrochen werden.

[186] Bisher haben wir nur die Wechselbeziehungen zwischen System und Individuum betrachtet. Gehen wir jetzt zur Untersuchung der Individuen über, so könnten wir sie als aus Strukturelementen bestehend betrachten. Unsere Teilchen sind keine nicht weiter zu erforschenden punktförmigen Korpuskeln, sondern besitzen eine innere Struktur, wie die Mehrheit der Physiker seit dem Hofstadterschen Nachweis der Nukleonenstruktur annimmt. Damit ist das Teilchen selbst als etwas Ganzes aufzufassen, das bestimmte Teile besitzt. Wir hatten uns jedoch hier schon von der klassischen Auffassung abgegrenzt, die das Ganze einfach als Konglomerat der Teile faßt. Als Ganzes fassen wir relativ konstant strukturierte Gesamtheiten, die Bestandteile eines Systems sind und damit den Systemgesetzen gehorchen. In diesem Sinne sind die Elementarteilchen Ganze, deren Teile es zu erforschen gilt. Dabei taucht nun die Frage auf, wie die Teilchen strukturiert sind, ob sie einen Kern mit einer sie umgebenden Wolke darstellen oder keinen Kern besitzen. Auch dazu existieren verschiedene Modelle, die wir hier jedoch nicht weiter betrachten wollen. Man teilt dabei Nukleonen und andere Teilchen in verschiedene Gebiete ein und untersucht das Verhalten dieser Gebiete. Hier ist jedoch gerade eine umfangreiche Experimentalforschung mit Hilfe mächtiger Beschleuniger notwendig, um diese Probleme der Struktur der Teilchen weiter zu klären.

Damit kann dann auch erst die Frage beantwortet werden, ob die Teilchen lediglich als etwas Ganzes im System der Elementarteilchen existieren oder selbst wieder ein System darstellen. Sollte das letztere der Fall sein, dann müßten sich die Strukturelemente als eine Gesamtheit von Elementen und Beziehungen erweisen, die selbst wieder bestimmten Systemgesetzen gehorchen. Dabei wäre es keine Schwierigkeit, den Zusammenhang mit der bisherigen Theorie herzustellen, da sich die Teilchen als Individuen des Systems nach den Gesetzen der Elementarteilchentheorie verhalten, aber im Rahmen dieser Gesetze durch die Gesetze des Verhaltens ihrer Individuen selbst ein System darstellen würden.

Wäre das der Fall, dann wäre das, was wir als Ganzes betrachtet haben, selbst ein eigenes System. Aber das ist eben noch nicht bestätigt, und es gibt in der Partonentheorie dafür lediglich erst hypothetische Ansätze. Wir unterscheiden deshalb zwei Arten des Ganzen, erstens ein solches Ganzes, das Bestandteil eines Systems ist, ohne selbst System zu sein. In diesem Fall wird das Verhalten des Ganzen und seiner Teile allein durch das Systemverhalten bestimmt. Zweitens haben wir Ganze, die selbst System sind, und deshalb muß das Systemverhalten vermittelt über die im Ganzen wirkenden Gesetze wirken. Solche Ganzen haben im System eine bestimmte relative Selbständigkeit, das Systemverhalten kann zwar ihre [187] inneren Gesetze modifizieren, aber nicht aufheben. Das System ist der Rahmen, in dem sich das Ganze als eigenes System nach seinen Gesetzen verhält. Je nachdem, ob die Elementar-

teilchen zur ersten oder zweiten Gruppe von Ganzen gehören, wird ihre Individualität mehr oder weniger ausgeprägt sein. Im ersten Fall, wenn sie selbst kein System darstellen, wird ihre Individualität im wesentlichen aufgehoben sein. Im zweiten Fall zeigt sich ihre Individualität in den diesen Systemen eigenen Gesetzen. So verbindet sich das Problem der Individualität der Teilchen eng mit der weiteren Forschung über die Gesetze der Teilchenstruktur. Es ist nicht mehr die klassische Frage nach den absolut isolierten individuellen Objekten. Selbst ein individuelles Elementarteilchen als System hat im doppelten Sinne die klassische Individualität verloren. Es existiert erstens nicht unabhängig von der Wechselwirkung als isoliertes Objekt und ist zweitens nicht als absolut Einzelnes aufzufassen. Dieses individuelle Teilchen ist der Repräsentant einer Gruppe von Teilchen, die den gleichen Gesetzen gehorchen. Hier bestätigt sich auf neue, interessante Weise der Leninsche Gedanke zur Dialektik von Einzelnem und Allgemeinem, den er in seinem Fragment zur Dialektik ausdrückt, daß das Einzelne nur im Zusammenhang existiert, der zum Allgemeinen führt.

Über das Elementarteilchen als Ganzes und seine Teile wird weiter geforscht werden. Die experimentellen und theoretischen Ergebnisse dieser Erforschung der Struktur der Teilchen werden uns auch das Verhältnis Teil-Ganzes besser erfassen lassen, als das bisher der Fall ist. Erweist sich das Ganze selbst wieder als ein System, so entfällt damit die Elementarität, die dann den Individuen dieses Systems zugeschrieben werden muß. Solange man jedoch die Elementarteilchen selbst noch nicht als System erfassen kann, bleibt ihr Verhalten allein durch die Wechselwirkung der Teilchen und Felder untereinander bestimmt, und es gilt, die Frage zu klären, ob das Elementare das Feld als „Urmaterie“ oder die Fundamentalteilchen sind.

Aus der bisherigen Erfahrung des menschlichen Denkens kann man jedoch auch dann an der These von der Unerschöpflichkeit der Formen des Universums festhalten und die Frage nach der Struktur der Fundamentalteilchen oder der Quanten des Feldes stellen.

Alle diese philosophischen Überlegungen im Zusammenhang mit den bisherigen experimentellen und theoretischen Überlegungen zum Elementarteilchenbegriff scheinen darauf hinzuweisen, daß der Begriff des individuellen Teilchens noch genauer untersucht werden muß. Wir haben bereits festgestellt, daß die Wechselwirkung der Teilchen zu neuen Charakteristika führt, die dem einzelnen Teilchen nicht zukommen, wie etwa die Symme-[188]trie. Es ist deshalb sicher interessant, später ausführlicher die Symmetrie und ihr Verhältnis zur real festgestellten Asymmetrie zu betrachten.

Auf eine Reihe von Problemen des Teilchenbegriffes im Zusammenhang mit der Eigenschaft der Elementarität machen Blochinzew und Baraschenkow aufmerksam: „Früher verstand man unter den ‚elementaren‘ die einfachsten der bekannten Mikroobjekte, die in allen der Messung zugänglichen Prozessen als einheitliches Ganzes wechselwirken. Es ist klar, daß für das Nukleon, das durch Formfaktoren beschrieben wird, diese Bestimmung nicht zutrifft. Gleichzeitig kann man aus dem Nukleon – jedenfalls in der gegenwärtigen Etappe – auf keinen Fall irgendwelche einfacheren Elemente herausfinden. In allen uns bekannten Wechselwirkungen, realen und virtuellen, geht die Gruppe der Teilchen, die man allgemein elementar nennt, in sich selbst über, und zwischen ihnen kann man keine Objekte mit ‚unterschiedlicher Stufe der Elementarität‘ herausfinden. Die Elemente der Struktur erweisen sich hier als genauso kompliziert, wie das Ganze selbst; in diesem Sinne kann man sagen, daß die Nukleonen ‚in sich andere Nukleonen beinhalten‘.“[34] Für Blochinzew und Baraschenkow ist dieser Sachverhalt aus der Mathematik zu verstehen, in der unendliche Mengen Teile haben, die gleichmächtig sind. Unter der Voraussetzung der Unendlichkeit der Materie bereitet diese Vorstellung also keine Schwierigkeiten. Das ist ebenfalls ein Hinweis darauf, daß die Unend-

[34] W. S. Baraschenkow/D. I. Blochinzew, Die Leninsche Idee der Unerschöpflichkeit der Materie in der modernen Physik, in: Lenin und die moderne Naturwissenschaft, S. 179 f.

lichkeit der Materie nicht nur im Sinne der schlechten Unendlichkeit verstanden werden muß, nach der die bisher bekannten Teilchen weiter teilbar sind und wir immer elementarere Objekte bekommen, bis ins Unendliche. Die bei dem Studium der Unendlichkeit in der Mathematik auftauchenden Schwierigkeiten und ihre Lösungen sollten auch zur Präzisierung der Unendlichkeitsauffassung des dialektischen Materialismus herangezogen werden. Sicher muß dabei die Dialektik von Endlichkeit und Unendlichkeit berücksichtigt werden, aber auch der aus der Mathematik sich ergebende Hinweis auf die verschiedene Mächtigkeit der Unendlichkeit und auf die Probleme unendlicher Mengen hat Bedeutung für die Interpretation der These von der Unendlichkeit der Materie im Elementarteilchenbereich.

Blochinzew und Baraschenkow sehen die Bedeutung der Quarks darin, daß die Hypothese von ihrer Existenz in einfacher Weise noch unbekannte Gesetze des Bereichs ultrakleiner Maßstäbe widerspiegelt, obwohl wir noch sehr weit davon entfernt sind, etwas Genaueres über diesen Bereich aus-[189]sagen zu können, von dem wir bisher nur nebelhafte Konturen wahrnehmen.[35] Einerseits wird der Teilchenbegriff in der Feldtheorie selbst problematisch, weil die zweite Quantelung, die notwendig ist, um zum Teilchenbegriff zu kommen, auch zu Widersprüchen führt. Andererseits brauchen wir den Teilchenbegriff als Grundlage für unsere bisherigen theoretischen Vorstellungen.[36] Insofern muß der Teilchenbegriff selbst genauer analysiert werden, wobei wir bisher schon auf die für die Teilchenstruktur wichtige Beziehung zwischen Ganzem und Teil eingegangen sind, die im Zusammenhang mit der Unendlichkeitsauffassung neu präzisiert werden muß. Die verschiedenen Widersprüche, die bei der Benutzung des Teilchenbegriffes in der physikalischen Theorie auftreten, erfordern möglicherweise eine Revision unserer Vorstellungen vom Teilchen. Sicher kann man die Teilchen als punktförmig betrachten, solange man solche Bereiche untersucht, in denen man von der inneren Struktur der Teilchen abstrahieren kann. Aber das ist nicht immer der Fall. Schon die Elektronenstreuexperimente von Hofstadter hatten die Vorstellung vom punktförmigen Proton als vereinfacht nachgewiesen. Führt man jedoch die Ausdehnung der Teilchen explizit in die physikalische Theorie ein, dann ergeben sich Schwierigkeiten mit der physikalischen Fassung des Kausalitätsprinzips. Die Alternative ist dann, entweder auf die Ausdehnung der Teilchen zu verzichten und die lokale Kausalität beizubehalten oder die Lokalität aufzugeben und die Ausdehnung der Teilchen zu berücksichtigen. Im nächsten Kapitel wird es um die Frage gehen, ob die Aufgabe der Lokalität mit der philosophischen Anerkennung der Kausalität zu vereinen ist oder nicht. Vorher muß jedoch noch etwas über das Verhältnis von Struktur und Prozeß gesagt werden, da die bisherigen Betrachtungen schon zweierlei gezeigt haben: Erstens kann die Teilbarkeit nicht mehr als räumliche Teilung im Elementarteilchenbereich betrachtet werden. Damit wird die Elementarteilchenstruktur nicht mehr als räumliche Beziehung zwischen den Strukturelementen allein begriffen, sondern als Ausdruck bestimmter Eigenschaften der Elementarteilchen oder der Fundamentalteilchen. Zweitens kann das Teilchen nur in der Wechselwirkung begriffen werden. Kein Teilchen existiert an sich. Auch die Eigenschaften der Teilchen und der Teilchenstrukturen sind nur in der Wechselwirkung feststellbar. Beide Aspekte zeigen, daß wir die Teilchenstruktur auch als Verhältnis von Struktur und Prozeß untersuchen müssen. Sie offenbart sich im Wechselwirkungsprozeß, der eine innere Struktur besitzt, die vielleicht die Teilchenstruktur selbst ist. [190]

5. Struktur und Prozeß im Elementarteilchenbereich

Die Objekte der klassischen Physik waren unveränderliche Partikel, die in der Massenpunktmechanik als nicht ausgedehnte Massenpunkte betrachtet werden konnten. Auch Quantentheorie und Relativitätstheorie arbeiten noch mit punktförmigen Objekten. Die Unbestimmt-

[35] Vgl. Ebenda, S. 182.
[36] Vgl. ebenda.

heitsrelation für Ort und Impuls läßt bei völliger Unbestimmtheit des Impulses eine genaue Lokalisierung des Objekts zu. Damit ist die Struktur des physikalischen Objekts nicht in die theoretische Analyse einbezogen. Es wird von ihr abstrahiert. Ebenso wie alle Begriffe stellen auch die physikalischen Begriffsbildungen Idealisierungen dar, die unter bestimmten Bedingungen volle Berechtigung haben.

Verschiedene Physikergruppen haben sich damit befaßt, den Begriff der Koordinate im Elementarteilchenbereich zu überprüfen. Immerhin entstehen mit den Forderungen der Relativitätstheorie, die den Bereich der Wirkungen exakt vom Bereich nichtmöglicher Wirkungen trennt, Schwierigkeiten, wenn man ausgedehnte Teilchen betrachtet. M. A. Markow, Heisenberg u. a. hoben die Möglichkeit hervor, eine Elementarlänge als Konstante einzuführen. Dabei könnte, nach Markow, ein Widerspruch zur Relativitätstheorie experimentell nicht festgestellt werden, da in einer solchen Elementarteilchentheorie Synchronisation und Lokalisierung der Ergebnisse Ungenauigkeiten von der Größenordnung der Elementarlänge aufweisen.[37] Diese Betrachtungen des Koordinatenbegriffs und die Einführung einer Elementarlänge machen die Struktur des physikalischen Objekts selbst zum Problem. Zweifellos ist mit der Einführung einer Elementarlänge noch nichts über eine Struktur der Elementarteilchen gesagt. Die Elementarlänge l_0 würde nur die Gültigkeit der Elementarteilchentheorie auf solche Prozesse beschränken, die sich in Bereichen größer als l_0 abspielen. Über die Vorgänge unterhalb von l_0 wird keine Aussage gemacht. Wenn man l_0 nicht als eine absolute Naturkonstante faßt, und viele Erkenntnisse sprechen dafür, daß sie keine ist, dann kann sie als ein Hinweis auf die Existenz völlig neuartiger raum-zeitlicher Beziehungen unterhalb von l_0 gefaßt werden. Das bedeutet die Anerkennung einer Struktur der Teilchen. Viele Hypothesen darüber sind möglich. Sie befassen sich mit dem Verhältnis von Struktur und Prozeß, Struktur und Wechselwirkung.

Die philosophische Bedeutung der Methoden und Hypothesen in der Elementarteilchenphysik, die sich mit dem Strukturproblem befassen, liegt meines Erachtens in der möglichen physikalischen Antwort auf die allge-[191]meine Frage: Wie erhalten wir Aussagen über die Strukturbeziehungen in komplizierten Systemen? Die Quantenmechanik hatte mit ihren statistischen Aussagen über das Verhalten der Quantenobjekte die Frage nach dem inneren Mechanismus, der die Quantenbewegung reguliert, nicht beantwortet. Tiefere Einsicht in diesen Mechanismus mußte man von einer zukünftigen Elementarteilchentheorie erwarten. Einige Physiker nehmen dabei einfach an, daß eine zukünftige Theorie zur klassischen Beschreibungsweise zurückkehren würde, indem existierende Subquanten sich nach klassischen Bewegungsgesetzen verhalten. Solche Annahmen sind zwar möglich, haben aber wenig Aussicht auf Erfolg. Terlezki begründete diesen Standpunkt mit dem Gesetz der Negation der Negation. Auf die statistische Negation der klassischen Mechanik solle mit Hilfe der Theorie verborgener Parameter wieder zu klassischen Vorstellungen zurückgekehrt werden. Er benutzt dabei die umformulierte Unbestimmtheitsrelation:

$$\Delta p\, \Delta q \gtrsim hF\,(\Delta q),$$

wobei

$$F \to 1 \quad \text{für } \Delta q \gg l_0$$
$$F \to 0 \quad \text{für } \Delta q \ll l_0;$$

l_0 ist die Elementarlänge. Gegen diese Formulierung können tatsächlich keine physikalischen Gründe vorgebracht werden, wie Terlezki meint.[38] Damit gilt die Unbestimmtheitsrelation für

[37] Vgl. M. A. Markow, Hyperonen und K-Mesonen, S. 18.
[38] Vgl. J. P. Terlezki, Zur Frage nach der räumlichen Struktur der Elementarteilchen, in: Philosophische Probleme der Elementarteilchenphysik, Moskau 1963, S. 106 (russ.).

die Prozesse im Bereich, der größer als die Elementarlänge ist, aber nicht mehr unterhalb von l_0. Für die Struktur der Elementarteilchen wird also die Unbestimmtheitsrelation aufgehoben. Dort wirken Gesetze des klassischen Felds. Diese Konzeption berücksichtigt nicht die sich in den bisherigen Ergebnissen schon andeutenden Tendenzen zu einer neuen Strukturauffassung. Nach der Theorie der verborgenen Parameter gibt die Quantenmechanik den statistischen Rahmen für klassisch-deterministisches Strukturverhalten. Damit kann jedoch schwerlich der Zusammenhang einleuchtend geklärt werden, der zwischen dem statistischen Verhalten der Quantenobjekte und dem klassisch-deterministischen Verhalten der Strukturelemente der Elementarteilchen besteht. Das Neue an der Quantenmechanik war, daß sie die Wechselwirkung der Teilchen besser erfaßte, die absolute Individualität der Teilchen [192] aufhob und die dynamische Beschreibung des Einzelteilchens als Illusion zeigte. Kein Teilchen existiert unabhängig von den anderen. Wesentlich wird also die Untersuchung des Beziehungsgefüges und nicht die erneute Auflösung der festgestellten Beziehungen in Objekte, die von dynamisch sich verhaltenden Subquanten konstituiert werden.

Die Berufung auf das Gesetz der Negation der Negation hilft hier nicht weiter. Dieses Gesetz existiert in Entwicklungsprozessen, also auch in der Entwicklung des Denkens. Schon Lenin betonte in seinen „Elementen der Dialektik“: „Die Wiederholung bestimmter Züge, Eigenschaften etc. eines niederen Stadiums in einem höheren und ... die scheinbare Rückkehr zum Alten (Negation der Negation).“[39] Das Gesetz der Negation der Negation berücksichtigt die Entwicklungsrichtung. Es berücksichtigt nicht die Kreisläufe und rückläufige Prozesse, die in einem Entwicklungszyklus auftreten können. Die Gesamtentwicklung enthält zwar diese Momente, setzt sich jedoch als Tendenz zur Höherentwicklung durch.

In der dialektischen Negation verschwindet das Alte, an seine Stelle tritt eine neue Qualität. Dabei bleiben die inneren und äußeren Bedingungen zur Höherentwicklung erhalten, die dann zur Negation der Negation führen. Die nun erreichte höhere Qualität im Entwicklungsprozeß enthält mit der Ausgangsqualität gleiche und unterschiedene Aspekte. Die gleichen Aspekte gestatten, von einer Rückkehr zum Alten zu sprechen. Die unterschiedenen Eigenschaften weisen dagegen darauf hin, daß die Rückkehr nur scheinbar ist. Diese kurze Charakteristik des Gesetzes der Negation der Negation ist selbstverständlich kein Schema für Entwicklungsprozesse. Aber es bestimmt die Tendenz der Entwicklung als das Entstehen höherer Qualitäten und nicht einfach als Rückkehr zum Alten.

Da das Denken als Widerspiegelung der objektiven Realität die objektive Dialektik erfassen muß und selbst ein Prozeß des tieferen Eindringens in die Materiestruktur ist, wird seine Entwicklung ebenfalls durch die scheinbare Rückkehr zu alten Ideen, Hypothesen usw. charakterisiert. Aber auch hier gilt, daß eine echte Entwicklung des Denkens keine einfache Wiederaufnahme alter Ideen ist. Die in der Negation der Negation postulierte Rückkehr zum Alten ist nur scheinbar, weil sie in Wirklichkeit die Höherentwicklung der Erkenntnis ausdrücken muß. Eben die durch die statistische Deutung der Quantenmechanik bereits erreichte Einsicht würde jedoch bei einer vereinfachten Interpretation des Erkenntnisprozesses als Rückkehr zum Alten, wenn auch mit einigen neuen Aspekten, verlorengehen. So wurde Newtons Korpuskelauffassung des Lichts in der Wellentheorie ne-[193]giert und als Negation der Negation die Quantenmechanik erreicht. Sie ist jedoch keine reine Korpuskeltheorie, sondern berücksichtigt auch die Welleneigenschaften des Lichts. Bei der bisherigen Erforschung der Elementarteilchen wurde bereits deutlich, daß die Elementarteilchen nur aus der Wechselwirkung heraus verstanden werden können. Gerade diese Einheit von Struktur und

---

Kritisch setzt sich W. S. Baraschenkow mit dieser Auffassung in seinem Artikel „Aktuelle philosophische Fragen der Physik der Elementarteilchen“ auseinander, in: Fragen der Philosophie, Heft 9, 1965, S. 84 ff.

[39] W. I. Lenin, Werke, Bd. 38, S. 214.

Prozeß, von Teilchen und Wechselwirkung muß beachtet werden. Eine einfache Rückkehr zur Auffassung vom „Teilchen an sich“ ist nicht mehr möglich. Diese Bemerkungen mahnen also zur Vorsicht vor vereinfachten Auffassungen von philosophischen Gesetzen und ihrer Benutzung als Argument im Meinungsstreit.

Im zweiten Abschnitt dieses Kapitels habe ich auf die Bedeutung der qualitativen Unterschiede und der unendlichen Kompliziertheit der Materie bei der Suche nach einer einheitlichen Theorie verwiesen. Beide Momente hindern den Aufbau einer einheitlichen Theorie nicht, da Systeme mit bestimmter Struktur existieren, deren Systemgesetze erfaßt werden können. Es gibt jedoch philosophische Einwände gegen eine einheitliche Theorie der Elementarteilchen, die auf der Annahme dynamischen Verhaltens von Strukturelementen, etwa der Subquanten, beruhen, die jedes Elementarteilchen konstituieren sollen. Zweifellos entscheidet letzten Endes die Physik, aber auch philosophische Argumente sind dabei überlegenswert. Die These von der unendlichen Kompliziertheit der Materie würde für die Struktur der Elementarteilchen bedeuten, daß in das Verhalten des Elementarteilchens unendlich viele Parameter eingehen, angefangen von der Einwirkung des Universums bis hin zu den möglichen Strukturelementen der Teilchen selbst. Diese dynamisch nie vollständig zu erfassende Vielzahl von Parametern läßt uns das Einzelteilchen wegen seiner Wechselwirkung nie vollständig (absolut-exakt) beschreiben. Wir haben jedoch Erhaltungssätze, Gleichungen usw. für das Verhalten von Teilchengruppen. Wir wissen etwas über die Wechselwirkung der Nukleonen mittels der π-Mesonen, über mögliche Zerfallsreaktionen der Teilchen usw. Wir begreifen also die Eigenschaften der Teilchen aus ihrer Wechselwirkung. Indem wir jede Teilchenart immer wieder verschiedenen Bedingungen aussetzen, lernen wir aus ihrem Verhalten immer neue Eigenschaften kennen. Die Eigenschaften kommen den Teilchen also nicht an sich zu, sondern offenbaren sich in der Wechselwirkung, im Prozeß.

Man kann das statistische Verhalten der Quantenobjekte auch als Hinweis auf die Struktur der wirkenden Teilchen verstehen, die dieses Verhalten bedingt. In der Struktur selbst wird sich jedoch die Einheit mit der Wechselwirkung noch verstärken. Da wir nur mit Hilfe der Elementarteilchen in der Lage sind, die Elementarteilchen zu erforschen, schließen wir nicht [194] nur von der Wechselwirkung der Teilchen auf die äußere Verhaltensweise der Teilchen, sondern auch auf die innere Struktur. Einen solchen Schluß lassen beispielsweise Elektronenstreuexperimente zu, die als Nachweis der Nukleonenstruktur gedeutet werden können. Sollte sich das bestätigen, dann wären wir durch indirekte Beobachtung der Wirkungen der Struktur zur Kenntnis über die Struktur gelangt.

Im Gegensatz zu Terlezki nimmt deshalb eine große Zahl von Physikern an, daß sich die statistischen Elemente in der Elementarteilchentheorie noch verstärken werden. Wird in der Quantentheorie noch die genaue Lokalisierung des Objekts zugelassen, so meinen Tamm, Dirac, Heisenberg u. a., daß der Begriff der Koordinate im Elementarteilchenbereich nicht anwendbar ist. Es soll dort eine neue Art der Unbestimmtheit wirken, die der Koordinate allein zukommt.[40]

Um das Verhältnis von Struktur und Wechselwirkung zu klären, existieren verschiedene physikalische Konzeptionen. Für Heisenberg gibt es keine isolierten Teilchen mit bestimmter Struktur. Sie sind alle nur Erregungen des Felds. Interessant ist die von Chew aufgestellte Hypothese, nach der zwischen den Teilchen die Wechselwirkung durch Felder vermittelt wird, die selbst wieder Quanten, also Teilchen besitzen. Zwischen diesen Quanten wirken wieder Felder mit Quanten. Da in diesem System die Ausgangsteilchen wieder auftauchen, genügt es sich selbst. Das Paradoxe besteht hier darin, daß aus nichtteilbaren Elementarteil-

[40] Vgl. I. E. Tamm, Elementarteilchen, in: Ins Innere des Atoms, Moskau 1964, S. 26 f. (russ.).

chen durch Umwandelbarkeit ineinander alle anderen teilbaren Objekte aufgebaut sein sollen. Auch hier gibt es keine Struktur des Einzelteilchens, sondern jedes Teilchen existiert überhaupt nur durch die anderen. Noch sind die Strukturbetrachtungen zuwenig mit experimentellem Material fundiert. Große Anstrengungen gelten heute einer Klassifizierung der Elementarteilchen nach Symmetrieprinzipien. Die dabei von Gell-Mann vorgenommene Klassifizierung nach Multipletten hat erste Erfolge zu verzeichnen. Sie führte zur Entdeckung des vorausgesagten Omega-minus-Hyperons. Nach Tamm hat diese Klassifizierung jedoch nur phänomenologischen Charakter. Sie gibt uns noch keine Kenntnis von dem Mechanismus des Verhaltens der Elementarteilchen. Wir verweisen hier noch einmal auf die Engelsschen Gedanken zum Periodensystem der Elemente. Wie dort hilft auch hier eine Systematisierung der Teilchen erst einmal weiter. Sie ist jedoch noch keine vollständige Theorie. Die Erklärung chemischer Strukturen lieferte erst die Quantenmechanik. Sie ließ jedoch die Frage nach der Struktur der Quanten-[195]objekte offen. Auch eine Systematik der Elementarteilchen verlangt eine zugrunde liegende Theorie, die das Strukturverhalten der Elementarteilchen klären muß. Sie haben nur in der Erkenntnis ein Nacheinander phänomenologischer Klassifizierung und theoretischer Erklärung, wobei die Erklärung selbst wieder Fragen offen läßt, die erneut zur Systematisierung neuer Elemente und ihrer theoretischen Erklärung führen. Dabei ist heute die Frage noch nicht zu beantworten, ob die Elementarteilchen wirklich die letzten materiellen Elemente sind. Wie wir gesehen haben, wenden sich viele Physiker mit berechtigten Argumenten dagegen. Größere Beschleuniger und damit neues experimentelles Material können uns hier weiterhelfen. Schon aus den wenigen Bemerkungen zeichnen sich einige neue Züge im Verhältnis von Struktur und Prozeß ab.

Struktur und Prozeß, Teilchen und Wechselwirkung bilden eine Einheit, die auch in physikalischen Konzeptionen zum Aufbau einer neuen Theorie zum Ausdruck kommen muß. Die absolute Individualität physikalischer Objekte ist eine zu große Idealisierung, um dem Verhalten der Elementarteilchen damit gerecht zu werden. Die Erforschung der Struktur kann nur durch äußere Einwirkung auf Teilchen mit Hilfe anderer Teilchen erfolgen, ebenso wie die Eigenschaften der Teilchen nur aus der Wechselwirkung der Teilchen untereinander begriffen werden können. Es gibt keine Eigenschaften, die den Teilchen an sich zugesprochen werden könnten. Damit erhält jedes Teilchen seinen Platz als Element im System der Elementarteilchen. Die Struktur der Teilchen muß seinen Ausdruck im Systemverhalten finden, weshalb auch von dort auf die Struktur geschlossen werden kann. Wir erforschen also auch nicht direkt die Struktur, sondern schließen vom Systemverhalten, von der Wechselwirkung auf die Struktur der Teilchen. Ungeklärt ist dabei, ob Einzelteilchen eine eigene Struktur besitzen oder die Struktur des Systems der Elementarteilchen auch die Struktur des Einzelteilchens ist.

Damit verändert sich auch das Verhältnis von Objekt und Beziehungen. War es die Aufgabe der klassischen Mechanik, die Kräfte zwischen unveränderlichen Partikeln zu finden, um die Bewegung der Teilchen zu erfassen, so ist es Aufgabe der modernen Physik, das Beziehungsgefüge aufzudecken, das den sich ineinander verwandelnden Teilchen zugrunde liegt. Im Vordergrund steht nicht mehr das Objekt, gar das Teilchen an sich, sondern die Beziehungen zwischen verschiedenen Elementen eines Systems. Die Elemente, eben die Elementarteilchen, existieren erst durch die Beziehungen zu anderen Teilchen.[41] Wir erkennen die Teilchen durch ihre Beziehungen. [196] Existierten früher verschiedene Beziehungen nebeneinander, z. B. Bewegung der Objekte und Raum und Zeit, so bildet sich jetzt immer mehr die Erkenntnis des einheitlichen Beziehungsgefüges heraus. Raum-Zeit und Bewegung materieller Objekte als Einheit von Struktur und Prozeß erweisen sich immer mehr als innerlich zusammenhängend. Die Raum-Zeit wird durch die Bewegung materieller Objekte konstituiert,

[41] Priroda, Heft 6, 1965, S. 14.

wodurch die marxistische Auffassung von der Raum-Zeit als Existenzform der Materie eine neue Deutungsmöglichkeit erhält. Man kann nun die Struktur des Elementarteilchensystems zuerst phänomenologisch in einem Klassifizierungsschema erfassen, muß jedoch dann zur Erklärung des Schemas fortschreiten. Dabei kann sowohl mit Hilfe der Raum-Zeit als auch mit Hilfe der materiellen Bewegung von Objekten oder anderen Beziehungen versucht werden, das gesamte Beziehungsgefüge zu erfassen.

Durch die Einheit von Struktur und Prozeß erhält auch die Teilbarkeit physikalischer Objekte eine Einschränkung. Man teilte den Stoff und erhielt das Molekül, das man bis zum Element oder Atom teilte, um die Elementarteilchen zu bekommen. Man könnte nun annehmen, man müsse das Elementarteilchen teilen, um die innere Struktur des Teilchens zu erkennen. Wir wissen nicht, ob die Struktur existiert. Wir wissen aber, daß die Teilchen sich ineinander verwandeln. Sollten Strukturelemente existieren, so wären es zugleich Elemente verschiedener Teilchen, deren Verhalten das Elementarteilchenverhalten bestimmt. Hier muß die Erforschung der Struktur über die Elementarteilchenprozesse erst noch weiter voranschreiten, ehe eine philosophische Aussage auf der Grundlage von gesicherten physikalischen Strukturauffassungen möglich sein wird. [197]

Kapitel V – Kausalität und Lokalität

1. Problemstellung

Die Diskussion um die theoretische Deutung experimenteller Ergebnisse der Elementarteilchentheorie und um die Vorhersage neuer zu überprüfender Ergebnisse führt immer wieder zu einem wichtigen philosophischen Begriff, zu dem der Kausalität. Im Zusammenhang mit den Forderungen der Mikrokausalität und anderen konnten die Dispersionsrelationen aufgestellt werden, die in vielen Fällen mit den Experimenten übereinstimmen. Es gibt jedoch auch Unterschiede zwischen Experiment und theoretischen Berechnungen. Der Streit geht nun darum, ob es erforderlich ist, an der Mikrokausalität festzuhalten oder nicht. Für die philosophische Analyse dieses Streits sind nicht so sehr die physikalischen Details interessant, sondern die mit der Mikrokausalität verbundenen Kausalitätsforderungen und ihre Übereinstimmung oder ihr Unterschied zur philosophischen Kausalitätsauffassung. Da die Mikrokausalität (Lokalität) die Existenz von Signalen mit Überlichtgeschwindigkeit ausschließt, verbindet sich die Kausalitätsdiskussion mit den aus der Relativitätstheorie sich ergebenden Raum-Zeit-Vorstellungen.

Der sowjetische Physiker Baraschenkow[1] schreibt zu dieser Problematik: „Eines der grundlegenden Axiome der gegenwärtigen Feldtheorie ist das Kausalitätsprinzip ... Das Kausalitätsprinzip ist die unmittelbare Grundlage einer Reihe theoretischer Konstruktionen, insbesondere ist auf diesem Prinzip der leistungsfähige Apparat der Dispersionsrelationen begründet, der jetzt so breit für die Analyse und Erklärung der Versuche mit den Elementarteilchen ausgenutzt wird. Deshalb ist es vernünftig, die Revision unserer grundlegenden Vorstellungen über die Natur der Mikroerscheinungen eben mit der Überprüfung des ‚Prinzips der Mikrokausalität' zu be-[198]ginnen, genauer: mit der Erklärung, ob die gegenwärtige naturwissenschaftliche Formulierung der Kausalität im Gebiet ultrakleiner raum-zeitlicher Maßstäbe richtig ist und wie man sie verallgemeinern kann."

Die Kausalitätsauffassung hat ihre philosophische und physikalische Geschichte. In der prinzipiellen philosophischen Auseinandersetzung wandte sich der dialektische Materialismus vor allem gegen die idealistische Leugnung der objektiven Kausalität und gegen den mechanischen Determinismus. Lenin hebt sowohl die materialistische Grundhaltung zur Kausalität als auch die dialektische Beziehung zwischen Ursache und Wirkung hervor: „Denn es ist in der Tat einleuchtend, daß die subjektivistische Linie in der Frage der Kausalität, die Ableitung der Ordnung und Notwendigkeit in der Natur nicht aus der objektiven Außenwelt, sondern aus dem Bewußtsein, dem Verstand, der Logik u. a. m., nicht nur den menschlichen Verstand von der Natur losreißt, nicht nur jenen dieser entgegensetzt, sondern die Natur zu einem *Teil* des Verstandes macht, statt den Verstand als einen Teil der Natur zu betrachten. Die subjektivistische Linie in der Frage der Kausalität ist philosophischer Idealismus (zu dessen Spielarten die Kausalitätstheorien sowohl Humes als auch Kants gehören) ..."[2] Lenin stellt weiter fest, daß Engels seinen materialistischen Standpunkt zur Kausalität nicht besonders den anderen philosophischen Richtungen entgegenstellen mußte, da er die fundamentalere Frage nach der objektiven Realität materialistisch beantwortete. Kausalität wird von den Klassikern des Marxismus-Leninismus als eine Form des objektiven Zusammenhanges betrachtet. Da die Erforschung dieser Materieform in ihren speziellen Beziehungen Angelegenheit auch der Naturwissenschaften und speziell der Physik ist, darf man, wenn man den Materialismus ernst nimmt, die Kausalitätsbeziehungen nicht zu einer A-priori-Bedingung der Gültigkeit unserer empirischen Urteile, wie Kant, machen, sondern muß die neuen Erkennt-

[1] Philosophische Fragen der modernen Physik, Moskau 1969, S. 101 (russ.).
[2] W. I. Lenin, Werke, Bd. 14, S. 150.

nisse der Wissenschaften über die Formen des Zusammenhangs zur Präzisierung der Kausalitätsauffassung ausnutzen.

Dabei ist die dialektische Beziehung zwischen Ursache und Wirkung zu beachten, die Engels schon in der Auseinandersetzung mit dem mechanischen Determinismus hervorhob. Lenin würdigt diese Position von Engels und schreibt: „Also, der menschliche Begriff von Ursache und Wirkung vereinfacht immer etwas den objektiven Zusammenhang der Naturerscheinungen, er spiegelt ihn nur annähernd wider, indem er diese oder jene Seiten des einen einheitlichen Weltprozesses künstlich isoliert.“[3] In dieser [199] Idealisierung der wirklichen Beziehungen zum Zwecke der Erkenntnis liegt zugleich die Forderung begründet, ständig mit den neuen Erkenntnissen über die objektiv-realen Prozesse auch die früher vorgenommenen Idealisierungen zu überprüfen und soweit wie möglich Einsichten zu formulieren, die der Wirklichkeit besser angepaßt sind. Um es allgemeiner auszudrücken: Wenn wir innerhalb der Materiestruktur Materiearten, d. h. neue Objekte mit neuen Eigenschaften, die von der Wissenschaft entdeckt wurden, und Materieformen, d. h. die Beziehungen zwischen diesen Objekten, zu denen allgemein die Raum-Zeit, die Bewegung, die Kausalität usw. gehören, haben, dann muß man die Forderung von Engels, daß der Materialismus mit jeder neuen Entdeckung der Naturwissenschaft seine Form ändern muß, so verstehen, daß mit der Entdeckung neuer Materiearten unsere Auffassungen über die Materieformen präzisiert werden müssen. Wenn wir von der Physik ausgehen, dann war die Entdeckung des Feldes auch mit der Veränderung unserer Auffassungen über die Wechselwirkung materieller Objekte und in der Konsequenz, von der Relativitätstheorie her gesehen, mit neuen Raum-Zeit- und Bewegungsvorstellungen verbunden. Damit werden auf der Grundlage des materialistischen Standpunkts, der die objektive Realität der Materiearten und Materieformen hervorhebt, die dialektischen Beziehungen zwischen den Materiearten durch die Präzisierung unserer Auffassungen über die Materieformen besser erkannt.

In diesem Sinne ist die Forderung von Baraschenkow, das Prinzip der Mikrokausalität im Zusammenhang mit der philosophischen Kausalitätsauffassung zu überprüfen, eine berechtigte und notwendige Forderung. Er selbst unterscheidet zwischen der philosophischen und physikalischen Formulierung des Kausalitätsprinzips: „Selbstverständlich überprüfen wir beim Vergleich der Dispersionsrelationen mit der Erfahrung nicht das Kausalitätsprinzip in seiner allgemein-philosophischen Bedeutung, hier geht es nur um die Klärung der raum-zeitlichen Grenzen für die Anwendbarkeit dieser konkreten Formulierung des Kausalitätsprinzips, die in der modernen relativistischen Quantenphysik benutzt wird.“[4] Die in der Mikrokausalität enthaltenen Forderungen gestatten zwar die Aufstellung einer physikalischen Theorie, wenn man sie mit anderen allgemeinen Forderungen verbindet, es werden jedoch andere theoretische Ansätze, wie die nichtlokalen Theorien, dadurch kategorisch ausgeschlossen. Die bereits früher geschilderten Versuche Heisenbergs, eine einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen aufzubauen, führten zu Schwierigkeiten bei der konsequen-[200]ten Einbeziehung der Mikrokausalität. Deshalb werden von seiner Seite auch Bedenken gegen die strenge Gültigkeit der Mikrokausalität angemeldet: „Viele Untersuchungen, die in den letzten Jahren ausgeführt worden sind“, schreibt er, „haben eine begrenzte Einsicht in die mathematische Darstellung der Kausalität im analytischen Verhalten der S-Matrix-Elemente ermöglicht. Das einfachste Beispiel ist die elastische Streuung von zwei Teilchen in Wechselwirkung. In diesem Fall ist das analytische Verhalten der Matrix-Elemente, das einer lokalen Kausalität entspricht, gründlich untersucht worden. Es führt zu den sogenannten Dispersionsrelationen, die ein wertvolles Werkzeug für die theoretische Darstellung der experimentellen Daten liefern. In komplizierteren Fällen allerdings, wie z. B. bei der Produktion neuer Teilchen in einem Stoßprozeß, ist nur

[3] Ebenda, S. 151.
[4] W. S. Baraschenkow, Dispersionsanalyse elastischer Streuung der Teilchen im Gebiet hoher Energien, Dubna 1966, S. 3 (russ.).

wenig über die analytische Struktur der S-Matrix-Elemente bekannt. Man kann wahrscheinlich eine erste Übersicht gewinnen, indem man eine Störungstheorie, die sich auf eine lokale Feldtheorie bezieht, in den niedrigsten Ordnungen durchführt. Ob das analytische Verhalten, das man in dieser Weise erhält, in der exakten Theorie allgemein richtig ist, bleibt allerdings eine offene Frage. Einerseits kann man nicht die Möglichkeit ausschließen, daß die wirkliche Wechselwirkung gewisse nichtlokale Züge trägt, andererseits könnte eine völlig lokale Feldtheorie mit Wechselwirkung vielleicht mathematische Widersprüche enthalten. Beim gegenwärtigen Stand der Quantenfeldtheorie gibt es also noch keine endgültige Antwort auf die Frage nach der mathematischen Darstellung der relativistischen Kausalität.“[5]

Die Auseinandersetzung um die Mikrokausalität ist ein Streit um die Möglichkeit verschiedener physikalischer Konzeptionen zur Kausalität, die eine theoretische Erklärung der Elementarteilchenprozesse gestatten. Hinter diesen Konzeptionen stecken philosophische Auffassungen. Sicher wäre es für den dialektischen Materialisten falsch, auf folgende einseitige Weise zu schließen: Der dialektische Materialismus anerkennt die objektive Kausalität. Theorien, die die Kausalitätsforderung zugrunde legen, sind deshalb mit dem dialektischen Materialismus vereinbar, und andere Theorien nichtlokalen Charakters sollten abgelehnt werden. Hier werden zwei Fehler gemacht: Einerseits bedeutet die philosophische Anerkennung der Kausalität als objektiver Form des Zusammenhangs noch keine Aussage über die Struktur dieses Zusammenhangs und kann deshalb nicht mit einer konkreten physikalischen Kausalitätsauffassung gleichgesetzt werden. Es kann sogar sein, daß dialektische Materialisten sich gegen bestimmte phy-[201]sikalische Kausalitätsforderungen wenden, wenn dabei der dialektische Charakter der Ursache-Wirkungs-Beziehungen nicht berücksichtigt wird und die Rückkehr zum mechanischen Determinismus gefordert werden sollte. In diesem Sinne könnte man die Kritik dialektischer Materialisten an dem Versuch werten, den mechanischen Determinismus in der Quantentheorie durch die Einführung verborgener Parameter zu retten. Andererseits besagt die Vereinbarkeit lokaler Theorien mit der philosophischen Kausalitätsauffassung nicht, daß damit nichtlokale Theorien mit ihr nicht vereinbar wären. Die Überprüfung der Vereinbarkeit physikalischer Konzeptionen mit der marxistisch-leninistischen Philosophie ist nur der Ausgangspunkt philosophischer Analysen und hilft meist nur, weltanschauliche Spekulationen von seiten des Idealismus mit physikalischen Erkenntnissen zurückzuweisen. Die philosophische Aufgabe bei der Interpretation physikalischer Erkenntnisse, bei ihrer philosophischen Verallgemeinerung besteht in der Präzisierung philosophischer Aussagen mit Hilfe des physikalischen Materials und in der sich daraus ergebenden Möglichkeit, philosophische Hypothesen über den zukünftigen Beitrag der Physik zu philosophischen Theorien zu formulieren. Sollten sich also lokale und nichtlokale Theorien als vereinbar mit der allgemeinen Kausalitätsauffassung des dialektischen Materialismus erweisen, dann muß der philosophische Unterschied zwischen beiden hypothetisch herausgearbeitet werden, da die Physik noch keine Entscheidung getroffen hat, welche der beiden Arten von Theorien die physikalische Wirklichkeit adäquater widerspiegelt. Das erfordert gerade die Analyse der mit bestimmten physikalischen Konzeptionen verbundenen philosophischen Auffassungen.

Dabei sind mehrere Aufgaben zu lösen. Erstens gab es verschiedene Kausalitätsauffassungen in der Geschichte der Physik, die sich auf die philosophischen Richtungen auswirkten und zu einer Diskussion über die Bedeutung des Kausalitätsprinzips in der Physik führten. Die Kausalitätsforderungen in der Physik wurden stets mit bestimmten physikalischen Theorien und physikalischen Gesetzen verbunden. Um Hinweise für die Entwicklung der Kausalitätsauffassungen zu erhalten, müssen wir uns mit der Geschichte der physikalischen Kausalitätsauffassungen kurz befassen. Baraschenkow macht auf die Änderung der physikalischen Kausali-

[5] W. Heisenberg, Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen, S. 16.

tätskonzeptionen aufmerksam, wenn er schreibt: „Wie bekannt, wurde im Verlaufe der letzten hundert Jahre dieses Prinzip nicht nur einmal verändert und präzisiert. Der Laplacesche Determinismus der Newtonschen Mechanik, die relativistische Präzisierung dieses Determinismus durch die Relativitätstheorie, die Wellenformulierung der Kausalität in der Quantenmechanik und ihre Verallgemeinerung in der relativistischen Feldtheorie – das sind [202] die grundlegenden Stufen der Entwicklung dieses Prinzips. Jeder Übergang zu kleineren raumzeitlichen Maßstäben war von einer Veränderung unseres Verständnisses der Kausalität begleitet. Man kann erwarten, daß ein ähnlicher Prozeß sich auch weiterhin vollzieht.“[6]

Zweitens geht es um die dialektisch-materialistische Auffassung zum Verhältnis von Gesetz und Kausalität, die sich besonders bei der philosophischen Deutung der Quantentheorie bewährte und sich als Ergebnis der philosophischen Verallgemeinerung der wissenschaftlichen Erkenntnisse aus verschiedenen Bereichen ergab. Diese allgemeine Kausalitätsauffassung ist der Maßstab für die Feststellung, ob physikalische Kausalitätskonzeptionen mit der philosophischen Auffassung vereinbar sind oder nicht. Dabei geht es um das Verhältnis von Kausalität und Gesetz, weil in der Auseinandersetzung mit dem mechanischen Determinismus die Gleichsetzung von objektivem Gesetz und Kausalität aufgehoben werden muß. Deshalb ist es auch nicht richtig, bestimmte physikalische Gesetze als Kausalgesetze zu bezeichnen und aus ihnen die Kausalitätsforderungen abzuleiten.[7] Der Unterschied zwischen Kausalität und Gesetz muß besonders bei der Klassifizierung der Gesetze beachtet werden, die die Grundlage für die weitere Ausarbeitung des Verhältnisses von Gesetz und Zufall, Notwendigkeit und Möglichkeit usw. ist. Wenn wir die Kausalität als die Grundform des objektiven Zusammenhangs betrachten, dann existieren in den objektiv-realen Systemen als Komplexen von Kausalbeziehungen weitere Formen des Zusammenhangs, von denen das Gesetz die wesentliche ist, die es zu untersuchen gilt, um die Einschränkung des objektiven Zusammenhangs auf die Kausalitätsbeziehungen zu durchbrechen.

Drittens müssen die Grenzen und Voraussetzungen der Lokalität im Zusammenhang mit der philosophischen Bestimmung der Kausalität überprüft werden. Es ist festzustellen, ob von der philosophischen Warte her alle Forderungen, die mit der Lokalität verbunden sind, unbedingt erhoben werden müssen. Ist das nicht der Fall, dann sind auch nichtlokale Theorien mit der philosophischen Kausalitätskonzeption vereinbar. Diese Fest-[203]stellung kann selbstverständlich keine Bewertung der Bedeutung bestimmter physikalischer Kausalitätskonzeptionen für die theoretische Entwicklung der Physik darstellen, sondern nur ungerechtfertigte Einschränkungen theoretischer Möglichkeiten mit philosophischen Argumenten aufheben. Über die Bedeutung der theoretischen Ansätze zur Klärung physikalischer Phänomene kann nicht die Philosophie, sondern muß die Physik entscheiden. Lenin hatte darauf hingewiesen, daß unsere Auffassungen über die Kausalität Idealisierungen sind, die den objektiven Wechselwirkungszusammenhang vergröbert und einseitig erfassen. Es ist deshalb bei der Analyse einer physikalischen Kausalitätskonzeption wichtig, festzustellen, worin die Idealisierungen bestehen, ob sie notwendig sind und welche bessere Annäherung an den objektiven Zusammenhang begrifflich möglich und durchführbar ist.

Diese Betrachtungen lassen viertens eine zusammenfassende Darstellung der philosophischen und physikalischen Kausalitätsforderungen zu, die voneinander unterschieden werden müs-

[6] Philosophische Fragen der modernen Physik, S. 102.

[7] Zur Kritik dieser Auffassung vgl. H. Hörz, Ergebnisse und Aufgaben einer marxistischen Theorie des objektiven Gesetzes, Sitzungsber. der DAW Klasse für Philosophie ... 7/1968, S. 6 ff., zur Entwicklung der Kausalitätsauffassung vgl. auch G. A. Swetschenkow, Die Kategorie der Kausalität in der Physik, Moskau 1961 (russ.), Das Problem der Kausalität in der modernen Physik (Sammelband), Moskau 1960 (russ.), D. Bohm, Causality and Chance in modern Physics, London 1957, M. Bunge, Causality, Cambridge 1959, Philosophische Fragen der modernen Physik, Moskau 1969, S. 197 ff.

sen, worauf viele Physiker selbst hinweisen. Die Durchführung einer physikalischen Kausalitätskonzeption verlangt die Aufdeckung aller sich daraus ergebenden physikalischen Konsequenzen und ihre Überprüfung durch das Experiment. Der Hinweis auf Widersprüche zu anderen physikalischen Konzeptionen reicht nicht aus, ist aber für die philosophische Analyse wichtig. In Zeiten reger theoretischer Arbeit können verschiedene Konzeptionen nebeneinander existieren, ohne daß eine Entscheidung zwischen ihnen möglich wäre. Erst die Widerlegung durch das Experiment und die Erklärung von mehr experimentellen Ergebnissen in einer umfassenderen oder anderen Theorie, d. h. einer Theorie, die auf einer anderen Kausalitätskonzeption aufbaut, führt zu einer solchen Entscheidung. Deshalb können auch verschiedene physikalische Kausalitätsforderungen mit den philosophischen Forderungen vereinbar sein, obwohl jene sich möglicherweise gegenseitig widersprechen. Solange das der Fall ist, haben die mit den physikalischen Konzeptionen verbundenen philosophischen Aussagen hypothetischen Charakter. Gilt jedoch eine Theorie als durch Experimente bestätigt, dann kann die ihr zugrunde liegende Kausalitätskonzeption zur Grundlage für präzisierte philosophische Aussagen genommen werden.

Fünftens soll noch auf ein Problem aufmerksam gemacht werden, das sich aus der engen Verbindung von Kausalitätsauffassungen mit erkannten Raum-Zeit-Strukturen ergibt. Die Entwicklung nichtlokaler Feldtheorien ist mit der Einführung von Elementarlängen verbunden, die die wirkliche Ausdehnung der Elementarteilchen zum Ausdruck bringen, aber damit vielleicht auch, so scheint es manchen Physikern, eine Schranke für die Er-[204]kenntnis postulieren. Wir haben darauf schon bei der Interpretation der Experimente von Hofstadter aufmerksam gemacht, die nicht von allen Physikern als Hinweis auf eine wirklich existierende innere Struktur der Elementarteilchen aufgefaßt werden. Hier wird das philosophische Problem von der Bedeutung der Naturkonstanten für die Naturerkenntnis aktuell. Man könnte wieder vereinfacht so argumentieren, daß die Unendlichkeit der Materie in ihrer unendlichen Kompliziertheit die Existenz von Zuständen und Prozessen verlangt, die die durch Naturkonstanten angegebenen Grenzen auf jeden Fall überschreiten oder unterschreiten. Die unendliche Kompliziertheit der Materie verlangt jedoch vor allem die Existenz relativ isolierter objektiv-real existierender Systeme als Grundlage der Erkenntnis. Insofern bestimmen Naturkonstanten die Grenzen unserer Erkenntnisse mit bestimmten Mitteln in bestimmten Systemen. Das Überschreiten dieser Erkenntnisgrenzen muß sich nicht unbedingt als Überschreiten der Grenzen der Naturkonstante erweisen. Das ist nur eine Möglichkeit. Die andere besteht darin, daß bei der immer besseren Annäherung an diese Konstante wir neue Systeme oder Bereiche mit völlig unbekannten Systemgesetzen kennenlernen. Das war etwa der Fall bei der Annäherung an den absoluten Nullpunkt der Temperatur, wo sich die Physik der tiefen und tiefsten Temperaturen entwickelte. Mit der Elementarlänge befinden wir uns ebenfalls an einer Grenze, die unsere bisherigen Erkenntnismöglichkeiten charakterisieren kann, wie einige Physiker meinen. Auch sie kann in dem genannten Sinn nicht einfach als Erkenntnisschranke interpretiert werden, sondern es muß gezeigt werden, welche Möglichkeiten der Erkenntnis sich bei ihrer objektiven Existenz eröffnen. Mit der Elementarlänge wird dann schon der Übergang zur Raum-Zeit-Problematik charakterisiert, die sehr eng mit der Kausalitätsauffassung verbunden ist, aber im nächsten Kapitel behandelt wird.

Es soll nun im einzelnen auf die genannten Punkte eingegangen werden, soweit es für die philosophische Analyse physikalischer Kausalitätskonzeptionen erforderlich ist. Das Verhältnis von Lokalität und Kausalität, um das es in diesem Kapitel in erster Linie geht, kann nicht losgelöst von der Entwicklung der Beziehungen zwischen physikalischen und philosophischen Kausalitätsauffassungen behandelt werden, weil sonst die mit der Lokalität auftretende philosophische Problematik und ihre mögliche Lösung nicht verstanden werden kann. [205]

2. Zur Entwicklung der Kausalitätsauffassungen in der Physik

Besondere Bedeutung für die Entwicklung der Kausalitätsauffassung in der Physik hat der mit der Newtonschen Mechanik verbundene mechanische Determinismus. Die Untersuchung dieser Auffassung muß in zweifacher Richtung erfolgen: Einerseits geht es um eine dialektisch-materialistische Interpretation der Newtonschen Mechanik, die, auf der Grundlage der von der Physik gesetzten Bedingungen für die Gültigkeit der physikalischen Theorie, auf die in ihr enthaltenen dialektischen Momente bei der Erkenntnis des objektiven Zusammenhangs verweist. Damit wird auch die manchmal anzutreffende Gleichsetzung zwischen klassischer Physik und mechanischem Determinismus als nicht haltbar betrachtet. Der mechanische Determinismus stellt eine einseitige philosophische Interpretation der klassischen Mechanik dar, deren weltanschauliche Relevanz aus den gesellschaftlichen Verhältnissen zu erklären ist, die den mechanischen Determinismus zu einem wesentlichen Bestandteil des bürgerlichen Materialismus in seiner Auseinandersetzung mit der feudal-religiösen Weltanschauung machte. Letzteres kann nicht Gegenstand unserer Untersuchungen sein, da wir uns speziell mit dem Zusammenhang zwischen physikalischen und philosophischen Kausalitätskonzeptionen befassen wollen.

Andererseits ist durch die Entwicklung der Physik, speziell durch die Quantentheorie, die Kausalitätskonzeption der klassischen Mechanik als einseitig und begrenzt nachgewiesen worden. Durch das tiefere Eindringen in die Materiestruktur änderte sich auch die Auffassung von der Kausalität. Vereinfachungen wurden kritisiert, und eine Kausalitätsauffassung entstand, die der Wirklichkeit besser angepaßt war. Damit mußte die dialektisch-materialistische Kausalitätsauffassung, die sich bei Engels aus der Kritik der mechanischen Konzeption unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Wissenschaften und der gesellschaftlichen Bewegungen ergab und bei Lenin schöpferisch weiterentwickelt wurde, mit Hilfe der Quantentheorie neu präzisiert werden. Präzisierungen, die mit der klassischen Mechanik verbunden wurden, erwiesen sich als überholt und einseitig. Das traf etwa auf den Charakter physikalischer Gesetze zu. Die Gleichsetzung physikalischer Gesetze mit dynamischen Gesetzen war falsch, und es mußte die Bedeutung statistischer Gesetze herausgearbeitet werden.

So erweist sich der dialektische Materialismus als philosophische Theorie, die sowohl die Kausalitätskonzeptionen der klassischen Mechanik als auch der Quantentheorie dialektisch-materialistisch deutet, d. h. ihre Vereinbarkeit mit der dialektisch-materialistischen Kausalitätsauffassung nachweist. [206] Zugleich muß letztere für den Übergang von der klassischen Mechanik zur Quantentheorie neu präzisiert werden, um als philosophische Konzeption für die Physik von Bedeutung zu sein.

Für die Behandlung des Kausalitätsproblems in der Physik hat die Kausalitätsauffassung in der klassischen Physik große Bedeutung. Polikarow schreibt: „Die Fragestellung des Kausalitätsproblems in der klassischen Mechanik enthält u. E. die Grundzüge der physikalischen Kausalitätsauffassung. Hierher gehören die Übertragung der Bewegung und ihr gesetzmäßiger Verlauf, die auch die Hauptrichtungen des weiteren Aufrollens des Problems ausmachen. Die erste Richtung hängt mit der Entwicklung der Energielehre zusammen, während die zweite durch die analytische Mechanik vertreten ist.“[8] Die Entdeckung des Energieerhaltungssatzes durch Mayer, Joule und Helmholtz führte zu einer Präzisierung der Kausalitätsauffassung in der Physik, Kausalität und Energieerhaltungssatz wurden von vielen Physikern als identisch angesehen. Für Mayer war der Energiesatz zugleich der oberste Kausalsatz. Der Streit ging darum, ob die Gültigkeit von Gesetzen der klassischen Mechanik zusätzlich angenommen werden muß oder die Anerkennung des Energieerhaltungssatzes ausreicht, um kau-

[8] A. Polikarow, Zum philosophischen Kausalbegriff, in: Wiss. Zt. d. HU., Math.-Nat. Reihe 5, 1962, S. 712, vgl. dazu auch A. Polikarow, Relativität und Quanten, Moskau 1966.

sales Verhalten zu charakterisieren. A. Mittasch schrieb in seiner Einschätzung des Streits um die Kausalitätskonzeption von R. Mayer dazu: „Wenn energetisches Denken in der Naturwissenschaft durchaus maßgebend geworden ist, so ist hiermit doch nicht gesagt, daß im Wissenschaftsbetrieb der Energiesatz nach dem Vorgange von R. Mayer allgemein auch als oberster Kausalsatz aufgefaßt wird. Vielmehr zeigt sich hier ein seltsamer Widerstreit: In der empirischen Forschung erkennt man fast ausnahmslos die Dynamik als der Mechanik übergeordnet an. Sobald es aber an erkenntnistheoretische Durchdringung geht, macht der Mechanismus gern seine älteren Rechte geltend, so daß nur zu oft eine Gültigkeit der Gesetze klassischer Mechanik als Erfordernis für die Zubilligung kausalen Verhaltens postuliert wird, während die bloße Erfüllung des Energiesatzes hierfür nicht ausreichend erscheint. Wie hätte es auch sonst geschehen können, daß man ein gewisses Versagen gewohnter mechanischer Gesetzmäßigkeiten im atomaren Gebiet als ‚Akausalität' schlechthin – und nicht nur als ‚Amechanität' proklamierte!"[9] Die von Mittasch getroffene Unterscheidung zwischen erkenntnistheoretischen Überlegungen und phy-[207]sikalischen Forschungen verweist auf eine echte Problematik im Erkenntnisfortschritt bei der Behandlung des physikalischen Kausalitätsproblems. Einerseits ermöglichte die Physik selbst eine der Wirklichkeit adäquatere Kausalitätsauffassung durch den Energieerhaltungssatz, als sie bis dahin durch den mechanischen Determinismus gegeben wurde. Dieser bestimmte letzten Endes die Kausalität durch die Annahme notwendiger und eindeutiger Abhängigkeiten zwischen Anfangs- und Endzustand eines Prozesses, wobei der Zustand der prozessierenden Objekte durch die Angabe von Ort und Impuls in einem bestimmten Zeitpunkt bestimmt wird. Die Abhängigkeiten werden durch die Gesetze der klassischen Mechanik charakterisiert. In der Konsequenz ergibt sich aus dieser Auffassung die Gleichsetzung von Kausalität und eindeutig bestimmtem Ablauf, wobei die Gesetze diesen Ablauf, der sich als notwendiger Übergang von einem Zustand zum anderen vollzieht, bestimmen. Insofern ergibt sich letzten Endes eine Identität von Kausalität, Gesetz, Ablauf und Notwendigkeit, aus der die Vorherbestimmtheit der Ereignisse und ihre absolut-exakte Voraussagbarkeit folgt.[10] Mit dieser Kausalitätsauffassung mußte die moderne Physik tatsächlich brechen, weil die Unbestimmtheitsrelationen die Annahme einer gleichzeitigen Existenz von Ort und Impuls eines sich bewegenden physikalischen Objekts für die Quantenobjekte unmöglich machten und die statistische Deutung der Quantentheorie nur Wahrscheinlichkeiten für den Übergang von einem Zustand zum anderen zuließ. Der Energieerhaltungssatz wurde jedoch durch die Quantenmechanik nicht verletzt, weshalb eine auf ihm allein basierende Kausalitätsauffassung nicht aufgegeben zu werden brauchte. Mittasch bezeichnet aus diesem Grund die moderne Physik nicht als akausal, sondern als amechanisch.

Andererseits wird damit die Gleichsetzung von philosophischen und physikalischen Kausalitätsbestimmungen überhaupt problematisch. Zwar wäre durch die Bindung der Kausalität an die Energieerhaltung die in der Kopenhagener Deutung der Quantentheorie geübte Kritik an der Kausalitätsauffassung teilweise gegenstandslos geworden, aber die mögliche zukünftige Kritik an der Kausalität ist damit nicht aufgehoben. Mittasch schreibt dazu: „Alles in allem genommen, gewinnt man den Eindruck, daß in der heutigen Praxis physikalischer Forschung nicht in vollem Umfange beachtet wird, daß R. Mayer mit seinem Grundprinzip der Erhaltung der Physik zugleich auch ihren obersten Kausalbegriff geben wollte, einen zuverlässigen Kausalbegriff also, an dem jede neue Beobachtung zu messen ist. In dem Mo-[208]ment, da etwa zum ersten Male ein totales Versagen des Erhaltungsgesetzes zutage treten würde – aber nicht früher –, dürfte man danach wahrlich mit Fug und Recht von ‚Akausalität' reden!"[11]

[9] A. Mittasch, Julius Robert Mayers Kausalbegriff, Berlin 1940, S. 120.
[10] Vgl. zur dialektisch-materialistischen Kritik des mechanischen Determinismus H. Hörz, Der dialektische Determinismus in Natur und Gesellschaft, Berlin 1971.
[11] A. Mittasch, Julius Robert Mayers Kausalbegriff, S. 124.

Theoretische Gründe gäbe es dafür schon, wenn man an die Unmöglichkeit denkt, in der allgemeinen Relativitätstheorie einen globalen Erhaltungssatz für die Energie zu formulieren. Es sind deshalb für die Betrachtung der Kausalität in der Physik stets auch die physikalischen und philosophischen Voraussetzungen zu prüfen, die mit einer bestimmten Kausalitätsauffassung verbunden sind. Selbstverständlich reicht die allgemeine Formulierung des Kausalprinzips – Kausalität ist die direkte, konkrete und fundamentale Vermittlung des Zusammenhangs zwischen Objekten und Prozessen, wobei der eine Prozeß (Ursache) den anderen (Wirkung) hervorbringt – nicht aus, um physikalisch bedeutsam zu sein. Dazu bedarf es verschiedener Präzisierungen in Abhängigkeit von der Entwicklung der Physik.

Wir müssen deshalb stets die durch die Physik mögliche Präzisierung des Kausalitätsprinzips suchen und sie von veralteten Auffassungen unterscheiden, dürfen dabei aber nicht den Unterschied zwischen der philosophischen und physikalischen Kausalitätsauffassung vergessen. Letztere führt zur Überprüfung der ersteren, wobei diese Orientierung für die Ausarbeitung jener ist. Schon die Ausnutzung des Energieerhaltungssatzes als Kausalitätsprinzip verlangt die philosophische Analyse dieses Satzes. Engels machte auf die Einheit von Erhaltung und Umwandlung der Energie aufmerksam. Selbst wenn man die Kausalität mit der Energieerhaltung identifiziert, so ist damit zugleich die qualitative Umwandlung von einer Energieform in eine andere direkt als Bestandteil der Kausalitätsauffassung zu betrachten.

Während Mittasch den Energieerhaltungssatz als den mechanischen Gesetzen in bezug auf ihre Bedeutung für die Kausalität übergeordnet betrachtet, kommt Polikarow bei seiner Analyse zu dem Schluß, daß die Funktion des Kausalgesetzes durch den Erhaltungssatz von Energie und Impuls und durch das Prinzip der stationären Wirkung bzw. ein anderes Variationsprinzip erfüllt wird.[12] Das Prinzip der stationären Wirkung, das nach ihm als Ausdruck des Kausalitätsgesetzes in der analytischen Mechanik gelten kann, formuliert er in folgender Weise: „Der Zustand eines mechanischen Systems in einem beliebigen Moment wird eindeutig durch seinen Zustand in einem Anfangsmoment bestimmt. Mit anderen Worten, in einem abgeschlossenen System folgt aus gleichen Anfangszuständen immer ein und [209] dieselbe Reihe von Folgezuständen. Wenn der Anfangszustand bekannt ist, so kann man – auf Grund der Gesetze der Mechanik – die gesamte weitere Geschichte des Systems bestimmen.“[13] Sicher ist für die Kausalität der Zusammenhang zwischen verschiedenen Zuständen entscheidend. Das ergibt sich auch aus der angeführten allgemeinen Bestimmung der Kausalität. Es geht dabei um die Vermittlung des Zusammenhangs. Die Abhängigkeit der Zustände physikalischer Objekte voneinander wird aber in der Physik immer besser erkannt. Insofern gibt es auch von dieser Seite her ständig neue Präzisierungen der Kausalitätsauffassung Wenn wir deshalb in der klassischen Physik die Kausalität durch die eindeutige Abhängigkeit des Folgezustandes vom Anfangszustand bei eindeutiger Bestimmung dessen, was ein Zustand ist, fassen und außerdem den Energieerhaltungssatz dazunehmen, dann bringt die Feldtheorie noch keine wesentlich neuen Gedanken zu diesen Prinzipien hinzu. Sie schaltet aber ein anderes Prinzip aus, das nicht formuliert wurde und doch zur Erklärung physikalischer Vorgänge herangezogen werden konnte: das Prinzip der Fernwirkung. In der Feldtheorie erfolgen die Einwirkungen der Objekte aufeinander mittels der mit ihnen verbundenen Felder. Ansonsten gelten für sie der Energieerhaltungssatz und die eindeutige Abhängigkeit der Zustände.

Philosophisch gesehen reichen jedoch die genannten Prinzipien nicht zur Charakterisierung der Kausalität aus. Ein so wesentliches Moment wie das Hervorbringen der Wirkung durch die Ursache, das zeitlich gerichtet vor sich geht, kommt im Energieerhaltungssatz nicht zum Ausdruck. Er gibt einen Rahmen für mögliche Kausalbeziehungen, ist also unter den Bedin-

[12] Vgl. A. Polikarow, Zum physikalischen Kausalgesetz, S. 719.
[13] Ebenda, S. 714 f.

gungen seiner Gültigkeit eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung für kausales Verhalten. Außerdem kommt der Bestimmung des Zusammenhangs zwischen verschiedenen Zuständen stets ein historisches Moment zu. Wir können die Abhängigkeit zwischen ihnen nur insofern bestimmen, als die Physik bereits Ergebnisse darüber vorlegen kann. Während deshalb der Energieerhaltungssatz in der Quantenmechanik weiter galt, erfolgte dort die Präzisierung der Auffassungen von der Abhängigkeit der Zustände voneinander, und es zeigte sich, daß jeder physikalische Zustand komplizierter ist, als es durch die Angabe von Ort und Impuls ausgedrückt werden kann.

Bei der philosophischen Analyse der sich historisch herausbildenden physikalischen Kausalitätskonzeptionen sind verschiedene Aufgaben zu lösen. Das ergibt sich schon aus den bisherigen Betrachtungen, die sich im we-[210]sentlichen mit den aus der Konzeption der klassischen Mechanik sich ergebenden Fragen und Folgerungen befaßten:

Erstens muß das Ursache-Wirkungs-Verhältnis (Kausalbeziehung) unter seinen physikalischen Aspekten untersucht werden. Solange es zwei physikalische Materiearten, nämlich Stoff und Strahlung, gab und beide durch Ruhmasse oder Energie charakterisiert wurden, konnte die Verursachung stofflich oder energetisch erfolgen. Die Feststellung des Zusammenhangs von Energie und Masse ($E = m \cdot c^2$) und die Umwandlung von Teilchen mit in Teilchen ohne Ruhmasse lassen uns die physikalischen Wirkungen unter dem Energieaspekt betrachten. Da die Verursachung einer Wirkung stets mit Energieübertragung und dabei auch mit Energieumwandlung verbunden ist, kann der physikalische Rahmen für mögliche Kausalbeziehungen durch den Energieerhaltungssatz bestimmt werden.

Zweitens spielen jedoch nicht nur energetische Verhältnisse für die Ursache-Wirkungsverhältnisse eine Rolle. Ausgehend von Mittasch unterscheidet auch Polikarow zwischen Erhaltungs- und Auslösekausalität. Über die letztere schreibt er: Sie „vollzieht sich mit einer minimalen Energie. Man könnte auch von Signal-Kausalität sprechen, die sich im Grenzfall ohne Energieverbrauch verwirklicht (in diesem Falle kann nur eine gewisse Konfiguration den Verlauf der Prozesse bedingen). Bei dieser zweiten Art kausaler Verknüpfung haben wir es mit unstabilen Zuständen zu tun.

Was den Satz ‚kleine Ursachen – große Wirkungen' anbetrifft, so läßt sich dieser dem Erhaltungssatz unterordnen. Zu diesem Zweck genügt es, die betreffenden Prozesse in zwei Etappen einzuteilen. In der ersten ruft die kleine Ursache eine ebenso kleine Wirkung hervor. In der zweiten Etappe schließen sich hier irgendwelche (potentielle) Energievorräte an, wobei wir wieder eine Gleichheit zwischen diesen Vorräten und der ausgelösten Wirkung haben."[14] Aus philosophischer Sicht erscheint mir die Unterscheidung zwischen Erhaltungs- und Auslösekausalität unnötig, da beide der allgemeinen Kausalitätsdefinition entsprechen. Sie sollten jedoch nicht einfach dem Energieerhaltungssatz untergeordnet werden, da hier auf ein Problem aufmerksam gemacht wird, das nicht mit Energiebetrachtungen allein gelöst werden kann. Selbst wenn die Verursachung einer Wirkung mit Energieumwandlung verbunden ist, was nach unseren heutigen Kenntnissen unabdingbar ist, kann die Energieübertragung als Übertragung von Informationen stattfinden, die in komplizierten Systemen zu großen Veränderungen führen können. Dabei ist nicht die Größe der Energie entschei-[211]dend, sondern die Art der übertragenen Information. In diesem Sinne gilt zwar der Energieerhaltungssatz in den von Polikarow genannten zwei Etappen bei der Hervorbringung großer Ursachen durch kleine Wirkungen, entscheidend für die große Wirkung ist jedoch dann nicht die Energie, sondern die Information. Die Auslösung von Vorgängen in komplizierten biologischen und gesellschaftlichen Systemen durch Information verlangt oft nur kleine Energien, führt aber zu großen Veränderungen im System. Hier sind nun

[14] Ebenda, S. 714.

nicht allein die Kausalitätsbeziehungen zu betrachten, sondern vor allem die spezifischen Systemgesetze, auf deren Grundlage die kausal bedingten Veränderungen im System erfolgen.

Drittens kann, wenn wir bei der Energieübertragung bleiben und die Informationsprobleme ausschalten, die bei der Betrachtung der Ergebnisse der physikalischen Forschung zur Materiestruktur unberücksichtigt bleiben können, die Energieübertragung nicht immer als Elementarvorgang überprüft werden. Zwar gilt auch für das Verhalten biologischer Systeme die Energieerhaltung, aber ihre Feststellung allein bestimmt noch nicht die Kausalität. Auch hier könnte man sagen, daß der Energieerhaltungssatz den Rahmen für mögliche Kausalbeziehungen gibt. Zugleich ist die Beziehung zwischen den verschiedenen Zuständen eines biologischen Systems, also die andere Komponente der Kausalitätskonzeption, wesentlich. Sie wird jedoch durch die Existenz biologischer Gesetze bestimmt.

Viertens ist für die physikalischen Kausalitätskonzeptionen, die den Energieerhaltungssatz als Rahmen für mögliche Kausalbeziehungen anerkennen, die historische Entwicklung der Auffassungen zur Bestimmung physikalischer Zustände und zu ihrer Abhängigkeit voneinander entscheidend. Auch das führt uns eigentlich wieder auf das Verhältnis von Kausalität und Gesetz. Damit werden wir uns jedoch erst im nächsten Abschnitt befassen. Von der Physik her ist die inhaltliche Beziehung zwischen Ursache und Wirkung zu bestimmen. Anders ausgedrückt, es muß hervorgehoben werden, was eindeutige Bestimmtheit des Endzustands durch den Anfangszustand besagt. Hier hat es in der Geschichte der Physik beim Übergang von der klassischen zur modernen Physik entscheidende Änderungen gegeben, auf die noch kurz hingewiesen werden muß.

Fünftens ist auch die zeitliche Beziehung zwischen Ursache und Wirkung zu analysieren. Polikarow weist auf die Gleichzeitigkeit von Ursache und Wirkung hin: „Wenn man die Ursache im Zusammenhang mit der Bewegung der Materie betrachtet, dann ist klar, daß der Prozeß der Übertragung und der Umwandlung der Bewegung nicht in der Zeitfolge geschehen kann, sondern gleichzeitig in dem Sinne, daß die Wirkung gleichzeitig mit dem Vergehen der Ursache (unabhängig davon, wie lange dieser Prozeß [212] dauert!) entsteht. Das sind zwei Seiten desselben Prozesses des Energie- und des Impulsaustausches; sonst würden die Erhaltungssätze verletzt werden.“[15] Die Beziehung zwischen Erhaltung und Nichterhaltung, die sich als echtes Problem aus der Nichterhaltung einiger physikalischer Größen im Elementarteilchenbereich ergibt, kann erst in dem Kapitel behandelt werden, das sich mit der Symmetrieproblematik befaßt. Hier sei nur angemerkt, daß sie ebenfalls mit der Entwicklung der Kausalitätsauffassung und dem Verhältnis von Kausalität und Gesetz verbunden ist. Vielleicht ergeben sich aus der weiteren Diskussion um die Symmetrieauffassungen in der Physik auch neue Einsichten in die physikalische Lösung des Problems von der Zeitrichtung. Jedenfalls kann die Betonung der Gleichzeitigkeit von Ursache und Wirkung nicht als Erklärung der zweifellos vorhandenen Zeitrichtung im Ursache-Wirkungs-Verhältnis genommen werden, da sonst der Umkehrbarkeit dieser Relation und der Einwirkung der Zukunft auf die Vergangenheit nichts mehr im Wege stünde.

Sechstens sind deshalb stets die mit bestimmten Kausalitätskonzeptionen verbundenen physikalischen Raum-Zeit-Auffassungen zu berücksichtigen, da sie zu den Voraussetzungen für die Gültigkeit einer bestimmten Konzeption gehören. So setzen sowohl der Energieerhaltungssatz als auch das Prinzip der stationären Wirkung in der klassischen Mechanik als Ausdruck des Kausalitätsgesetzes die Isotropie und Homogenität der Zeit und des Raumes voraus.[16] Die Änderung unserer Raum-Zeit-Vorstellungen führt deshalb auch zur Präzisierung unserer Kausalitätskonzeptionen.

[15] Ebenda.
[16] Ebenda, S. 716.

Siebentens muß ständig mit neuen Erkenntnissen der Physik und der anderen Wissenschaften über die Materiearten und die Materieformen die allgemeine Bestimmung des Determinismus und der Kausalität überprüft werden. Wie wir hervorgehoben haben, ist der dialektische Materialismus an die Anerkennung der objektiven Kausalität gebunden, aber nicht an eine bestimmte, mit Ergebnissen über die Strukturerkenntnis verbundene Kausalitätskonzeption. Polikarow schreibt über den mechanischen Determinismus: „In der Tat reduziert sich unseres Erachtens der Gehalt der deterministischen Auffassung auf folgende zwei Aussagen:

a) Es besteht ein notwendiger, eindeutiger Zusammenhang zwischen den Zuständen des Weltalls.
b) Der Zustand des Weltalls wird durch die Gesamtheit der Koordinaten und der Impulse für alle materiellen Punkte bestimmt.

[213] Diese zwei Punkte haben verschiedenen Charakter und dementsprechend verschiedenes Schicksal. Die erste von diesen Thesen stellt unserer Meinung nach die allgemeinste Formulierung des Determinismus dar, die ihre Bedeutung auch für kompliziertere Gesetzmäßigkeiten beibehält. Diese zu verneinen hieße den Determinismus schlechthin preiszugeben. Anders steht es mit der zweiten These. Sie ist eine Konkretisierung der ersten. Diese Konkretisierung vollzog sich – damals konnte es nicht anders sein – auf der Grundlage der klassischen Mechanik. Gerade hier liegt die Achillesferse der Laplaceschen Auffassung. Es ist bekannt, daß bereits auf dem Gebiet der Thermodynamik sowie der Elektrodynamik der Zustand anders bestimmt wird.“[17] Während Polikarow nur die zweite Aussage als historisch überholt betrachtet, muß man m. E. auch die erste ständig überprüfen, da in ihr die Dialektik von Notwendigkeit und Zufall nicht berücksichtigt wird. Es wurde schon darauf hingewiesen, daß die Eindeutigkeit und Notwendigkeit des Zusammenhangs erst interpretiert werden muß. Dahinter kann sich in neuem Gewand der mechanische Determinismus verbergen, wenn die Kausalität als notwendige Beziehung zwischen einer bestimmten Ursache und einer bestimmten Wirkung betrachtet wird. Besondere Bedeutung für die Präzisierung der Kausalitätsauffassung mit Hilfe der Quantentheorie hatten das Verhältnis von Kausalität und Gesetz und die Beziehung zwischen dynamischen und statistischen Gesetzen und mit Hilfe der Elementarteilchentheorie die raum-zeitlichen Bedingungen kausalen Verhaltens.

Bevor wir in den folgenden Abschnitten und Kapiteln auf viele der hier genannten philosophischen Probleme physikalischer Kausalitätskonzeptionen eingehen werden, soll noch einmal kurz die Entwicklung physikalischer Kausalitätsauffassungen bestimmt werden. Wir hatten aus den Fragen und Folgerungen der klassischen Mechanik zur Kausalität eine Reihe von philosophischen Problemen abgeleitet, die es zu lösen gilt. Zur Lösung hat die Physik selbst Material bereitgestellt. Wenn wir als erste Etappe in der Entwicklung physikalischer Kausalitätskonzeptionen die der klassischen Mechanik betrachten, so ist sie durch den Energieerhaltungssatz bestimmt, der den Rahmen für mögliche Kausalbeziehungen gibt, sowie durch die notwendige Beziehung zwischen dem Anfangs- und Endzustand eines Prozesses, wobei Zustände durch Ort und Impuls charakterisiert sind.

In der nächsten Etappe, die durch die Entwicklung der Thermo- und Elektrodynamik bestimmt werden kann, wurde der Energieerhaltungssatz beibehalten, aber die Form kausaler Zusammenhänge mittels Nahwirkung und [214] Feldgesetzen anders bestimmt. Damit blieb der Rahmen für mögliche Kausalbeziehungen erhalten, ihre Form wurde jedoch besser erkannt. Zu offensichtlichen Widersprüchen kam es nicht, weil die Reduktion der mit der statistischen Thermodynamik verbundenen statistischen Größen auf Bewegungen klassischer Partikel und ihre Zustandsbestimmungen als prinzipiell möglich angenommen wurde. Die fol-

[17] Ebenda.

gende Entwicklung der Relativitätstheorie erforderte eine Präzisierung der These vom universellen Zusammenhang. Nicht alles hängt gleichzeitig und damit universell mit allem zusammen, sondern die dialektisch-materialistische These vom objektiven Zusammenhang besagt: Es gibt keinen materiellen Bereich, der nicht durch materielle Prozesse mit anderen Bereichen verbunden ist. Grenzgeschwindigkeit und Nahwirkung führten zu einer Raum-Zeit-Struktur, die die Möglichkeiten kausalen Verhaltens auf zeit- und lichtartige Prozesse einschränkte und raumartige Prozesse nicht zuließ. Die Raum-Zeit-Struktur erwies sich als Grundlage der Kausalstruktur, indem sie die raum-zeitlichen Möglichkeiten kausalen Verhaltens bestimmte. Gerade die weitere Entwicklung der allgemeinen Relativitätstheorie führte zu einer Problematik, die den Energieerhaltungssatz als die bereits erarbeitete Grundlage für mögliche Kausalbeziehungen betraf. Es kann in der allgemeinen Relativitätstheorie kein globaler Energieerhaltungssatz formuliert werden. Das bedeutet nicht, daß die Kausalität im allgemeinen Sinne als Vermittlung des Zusammenhangs nicht mehr existiert. Sie muß aber in ihrer konkreten Form als physikalische Konzeption überprüft werden.

Die Quantentheorie führte nun direkt zu der Dialektik von Notwendigkeit und Zufall im physikalischen Gesetz. Gab es bisher nur dynamische Gesetze, da auch alle statistischen Aussagen im Prinzip auf dynamische Gesetze reduziert werden sollten, wobei durch physikalische Objekte und Prozesse eine Möglichkeit notwendig verwirklicht werden mußte, so wurden jetzt statistische Gesetze gefunden. Sie gaben für das Verhalten eines Systems eine Möglichkeit, die notwendig verwirklicht wird (dynamischer Aspekt), wobei die Elemente dieses Systems eine Reihe von Möglichkeiten besitzen, von denen sie eine bestimmte zufällig verwirklichen. Diese zufällige Verwirklichung wird im quantitativen statistischen Gesetz, wie in der Schrödingergleichung, durch eine Wahrscheinlichkeit bestimmt. Außerdem wurde mit der Quantentheorie der Zustand eines physikalischen Objekts in seiner Kompliziertheit besser erkannt. Einerseits wiesen die Unbestimmtheitsrelationen darauf hin, daß Ort und Impuls nicht gleichzeitig für ein bewegtes Objekt existieren. Andererseits wurden neue Merkmale für physikalische Zustände entdeckt, ausgedrückt in den verschiedenen Quantenzahlen.

[215] Dabei wurden bisher die physikalischen Objekte stets als punktförmig in der Theorie betrachtet. Die in der Elementarteilchentheorie, als der heute zu berücksichtigenden Etappe der Präzisierung der Kausalitätskonzeption, vorgeschlagene Einführung der Elementarlänge soll die Ausdehnung der Teilchen ausdrücken. Damit wird jedoch die bisherige Kausalitätskonzeption, die auf der punktualen Feststellbarkeit von Ereignissen beruhte, problematisch. Doch damit wollen wir uns später befassen. Die bisher betrachtete Entwicklung der Kausalitätsauffassung zeigt schon, daß in verschiedenen Entwicklungsetappen der Physik unterschiedliche Aspekte der Kausalität präzisiert wurden. War es zuerst vor allem die Beziehung zwischen verschiedenen Zuständen, so folgten dann die Raum-Zeit-Struktur und die bessere Einsicht in die komplizierten Zustände physikalischer Objekte. Spielten erst punktförmige unteilbare Teilchen eine Rolle, so muß heute die Ausdehnung der Objekte und ihre innere Struktur sowie ihre Umwandelbarkeit ineinander berücksichtigt werden. Auch die Konkretisierung durch den Energieerhaltungssatz muß sich nicht als allgemeingültig erweisen.

Ausgehend von den Darlegungen von Polikarow gibt es nun einen interessanten Versuch, die Kausalität quantitativ und als Erhaltungssatz in der Physik zu fassen. Strigačev versucht die Einheit von Energieerhaltungssatz und dem Prinzip der stationären Wirkung herzustellen, indem er die Energieabgabe und die Energieaufnahme mit einem Handel vergleicht, wobei die Energieabgabe mit dem Verkauf und die Kausalität mit dem für den Kauf notwendigen Geld gleichgesetzt wird. Wenn mit K die Kausalität und mit E die Energie bezeichnet wird, dann ergibt sich $E + K = O$, „d. h., die Summe der Energie und der Kausalität jedes Objekts

oder einer Gesamtheit von Objekten ist identisch Null", meint Strigačev.[18] Möglicherweise liegt hier eine Präzisierung der Kausalität für die Physik vor. Notwendige Voraussetzung ist jedoch die Präzisierung der Kausalität durch den Energieerhaltungssatz. Außerdem werden andere für die Kausalität wichtige Komponenten wie die Information, die mögliche weitere Präzisierung der Kausalitätsauffassung durch die Physik durch andere Parameter und die Kompliziertheit des Kausalverhältnisses nicht berücksichtigt. Auch die philosophischen Beziehungen zwischen Gesetz und Kausalität finden keine Beachtung. Wenn *K* keine physikalisch überprüfbare Zustandsgröße bezeichnet, kann philosophisch durch eine solche Konzeption die Problematik zu sehr vereinfacht werden. [216]

3. Kausalität und Gesetz

In der Literatur werden zum Verhältnis von Gesetz und Kausalität unterschiedliche Standpunkte vertreten. Wie wir hervorgehoben haben, war für den mechanischen Determinismus die Gleichsetzung von Kausalität und Gesetz möglich. Mit dieser Auffassung kann jedoch die Existenz objektiver Zufälle nicht begründet werden. Die im physikalischen Gesetz ausgedrückten allgemein-notwendigen und wesentlichen Beziehungen erfassen nicht die Schwankungen der wirklichen Prozesse um die im Gesetz zum Ausdruck gebrachte Tendenz. Setzt man Kausalität mit Gesetz gleich, dann muß man diese zufälligen Schwankungen in Gesetzen erfassen oder sie als nicht-kausal erklären. Beides führt zu Schwierigkeiten, weil entweder die Spezifik des Zufalls geleugnet oder der Determinismus verlassen wird.

Es wird nun manchmal zwischen Kausalität und Gesetz unterschieden, aber die Kausalität als Zusammenhang definiert, bei dem *x* notwendig *y* hervorbringt. Faßt man hier Notwendigkeit im Sinne des eindeutigen und direkten Hervorbringens, so muß man die Bedingungen in die Ursache einbeziehen und kommt damit in theoretische Schwierigkeiten oder landet sogar im mechanischen Determinismus, bei dem eine bestimmte Ursache notwendig eine bestimmte Wirkung hervorbringt. Betrachtet man jedoch die Notwendigkeit im Sinne der allgemeinen Notwendigkeit, wie sie im Gesetz zum Ausdruck kommt, dann muß man wiederum den Zufall erklären.

Sieht man den Zufall als Teil des objektiven Zusammenhangs an, dessen Grundform die Kausalität ist, dann ergibt sich sofort der Unterschied zwischen Kausalität und Gesetz. Kausalität ist der direkte, konkrete und fundamentale Zusammenhang zwischen Objekten und Prozessen, wobei der eine Prozeß (Ursache) den anderen (Wirkung) hervorbringt. Das Gesetz dagegen existiert in seinen verschiedenen Typen stets auf der Grundlage eines Komplexes von Kausalbeziehungen in objektiv-realen Systemen als allgemein-notwendiger und wesentlicher Zusammenhang.

3.1. Kausalgesetz und Kausalzusammenhang[19]

Die erste Schwierigkeit bei der Betrachtung konkreter Kausalzusammenhänge taucht bereits auf, wenn man nicht zwischen dem betrachteten Kausalzusammenhang und dem Kausalgesetz oder Kausalprinzip unterscheidet. Wir hatten auf die notwendige Interpretation dessen, was unter eindeutiger [217] und nicht eindeutiger Abhängigkeit des zukünftigen Zustands vom gegenwärtigen zu verstehen ist, hingewiesen. Der Physiker W. Macke versuchte, dieses Problem mit Hilfe eines Gedankenexperiments zu erläutern. Ein Apparat, der zwei Knöpfe und zwei Lampen besitzt, hat die Eigenschaft, daß das Drücken des ersten Knopfes die erste Lampe und das Drücken des zweiten Knopfes die zweite Lampe zum Aufleuchten bringt. „In diesem Falle", schreibt er, „sind die Wirkungen den Ursachen eindeutig zugeordnet, sie sind

[18] Der Gesetzesbegriff in der Philosophie und der Einzelwissenschaften, Berlin 1968, S. 256.
[19] Die folgenden Ausführungen stützen sich auf die Arbeit des Verfassers, „Zum Verhältnis von Kausalität und Determinismus", in: DZfPh, Heft 2, 1962, S. 151 ff.

determiniert.“ Leuchtet jedoch beim Drücken des ersten Knopfes entweder die erste oder die zweite Lampe auf, dann sind nach W. Macke „die Wirkungen den Ursachen nicht eindeutig zugeordnet. Der Vorgang verläuft kausal, aber indeterminiert.“[20]

Determinismus wird nur mit eindeutiger Bestimmtheit gleichgesetzt. Diese Auffassung vertritt der mechanische Determinismus, für den eine bestimmte Ursache eindeutig eine bestimmte Wirkung hervorbringt. Macke erläutert dabei zwei Seiten der wirklichen Kausalität. Eine Kausalbeziehung liegt sowohl vor, wenn wir es mit einer eindeutigen Zuordnung von Ursache und Wirkung zu tun haben, als auch, wenn die Zuordnung nicht eindeutig ist. Das erinnert an die Engelssche Betrachtung der Kausalität. Engels schrieb über das Kriterium für den Nachweis der Kausalität: „Aber die Tätigkeit des Menschen *macht die Probe* auf die Kausalität ... Wenn wir in eine Flinte Zündung, Sprengladung und Geschoß einbringen und dann abfeuern, so rechnen wir auf den erfahrungsmäßig im voraus bekannten Effekt, weil wir den ganzen Prozeß der Entzündung, Verbrennung, Explosion durch die plötzliche Verwandlung in Gas, Druck des Gases auf das Geschoß in allen seinen Einzelheiten verfolgen können. Und hier kann der Skeptiker nicht einmal sagen, daß aus der bisherigen Erfahrung nicht folge, es werde das nächste Mal ebenso sein. Denn es kommt in der Tat vor, daß es zuweilen *nicht* ebenso ist, daß die Zündung oder das Pulver versagt, daß der Flintenlauf springt etc. Aber gerade dies *beweist* die Kausalität, statt sie umzustoßen, weil wir für jede solche Abweichung von der Regel bei gehörigem Nachforschen die Ursache auffinden können ...“[21] Entweder eine Wirkung tritt auf Grund einer bestimmten Ursache ein oder nicht. Tritt sie ein, dann ist die Kausalität direkt bestätigt. Die Verbindung der Ursache-Wirkungsrelation verlief wie vorgesehen. Tritt sie nicht ein, dann ist die Kausalität indirekt bestätigt. Die vorliegende Wirkung (Nichtauslösung des Schusses) hat eine noch zu entdeckende Ursache. [218] Sowohl bei der Verbindung zwischen dem Drücken des Knopfes und dem Aufleuchten der Lampen als auch dem Abfeuern des Gewehrs und dem Schuß handelt es sich nicht in jedem Falle um eine eindeutige direkte Verbindung, um einfache direkte Notwendigkeit. Nicht in jedem Falle ruft eine bestimmte Ursache eine genau bestimmte Wirkung hervor. Damit entfällt die Notwendigkeit der Beziehung zwischen einer bestimmten Ursache und einer bestimmten Wirkung als allgemeines Merkmal jeder konkreten Kausalrelation.

Um sie trotzdem zu erhalten, machte man den Zusatz, daß sie nur unter den gleichen Bedingungen notwendig zu einer bestimmten Wirkung führt. Das benutzte gerade G. Klaus, um seine Auffassung von der notwendigen Verbindung zwischen Ursache und Wirkung zu rechtfertigen, indem die inneren Beziehungen zwischen Ursache und Bedingungen zur Gesamtursache zusammengezogen werden. G. Klaus vertritt den Standpunkt, „daß man einen Kausalzusammenhang zwischen *x* und *y* nur wie folgt formulieren kann: *x* bringt *y* notwendigerweise hervor“. Klaus wendet sich dagegen, daß diese Formulierung nur dann gültig ist, wenn die gleichen Bedingungen *z* vorliegen. „Dieser Zusatz ist überflüssig“, schreibt er, „denn entweder bestehen zwischen *x* und *z* innere Beziehungen, dann kann die Gesamtheit, die aus *x* und den inneren Beziehungen von *x* und *z* gebildet wird, zu einer Gesamtursache *x'* vereinigt werden, und es ergibt sich die alte Formulierung.“[22] Kausalität liegt nach Klaus also nur vor, wenn eine Ursache *x* notwendig eine Wirkung *y* hervorbringt. Das bedeutet jedoch, daß man die Ursache als Gesamtheit der notwendigen und hinreichenden Bedingungen für das Eintreten einer bestimmten Wirkung faßt. Das hieße im Falle des Abfeuerns eines Gewehrs, daß zur Ursache alle Zusammenhänge gehören, die während des ganzen Prozesses existieren. Im Falle der nicht eindeutigen Verbindung zwischen dem Drücken des Knopfes und dem Aufleuch-

[20] W. Macke, Anschaulichkeit und Abstraktion beim Erkenntnisprozeß der Physik, in: Naturwissenschaft und Philosophie, Berlin 1960, S. 209.
[21] K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 20, S. 498.
[22] G. Klaus, Jesuiten, Gott, Materie, Berlin 1957, S. 10.

ten der einen oder anderen Lampe würde zur Ursache die Gesamtheit aller Vorgänge gehören, die zum Aufleuchten einer bestimmten Lampe führt.

Diese für komplizierte physikalische Vorgänge stehenden einfachen Beispiele zeigen die Problematik einer solchen Definition. In der Konsequenz erfordert sie die Ausschaltung des objektiven Zufalls durch seine Einbeziehung in die Ursache. Dadurch wird das Aufdecken der Ursache unmöglich. Nehmen wir das Verhalten von Elementarteilchen beim Durchgang durch einen schmalen Spalt. Das Auftreffen eines Teilchens auf einer bestimmten Stelle des hinter dem Spalt angebrachten Leuchtschirms ist kausal bedingt. [219] Nach der Auffassung von der notwendigen Verbindung zwischen Ursache und Wirkung befindet sich das Teilchen notwendig auf dem bestimmten Punkt des Schirms. Das hat jedoch zur Folge, daß zur Ursache die Gesamtheit aller notwendigen und hinreichenden Bedingungen gehört, die dazu führten. Das sind die Anordnung des Experiments, alle Beziehungen des Teilchens zu seiner Umgebung während der Dauer des Experiments und die innere Struktur des Teilchens. Bei Störungen des Experiments durch bisher unbekannte Faktoren gehören diese ebenfalls zur Ursache, die diese Wirkung hervorbrachte. Der Unterschied zwischen Ursache und Bedingung ist hinfällig geworden. Ursache und Wirkung hängen hier tatsächlich notwendig zusammen. Aber die Ursache ist zu einem verschwommenen Ganzen vieler Beziehungen geworden.

Genau genommen, und das wird jeder zugestehen, besteht jeder physikalische Vorgang aus einer Gesamtheit von Kausalrelationen. Allein ein sich bewegendes Elementarteilchen hat mit seiner Umgebung, im Experiment mit den Geräten, im Strahl mit den anderen Teilchen, viele Kausalbeziehungen. Wenn wir von der kausalen Bedingtheit des Auftreffens eines Teilchens an einem bestimmten Ort des Schirms sprechen, dann meinen wir, daß diese Gesamtheit von Kausalbeziehungen keine Lücke aufweist. Jede kleinste Veränderung im Verhalten des Teilchens ist Wirkung einer oder mehrerer Ursachen. Zwischen Ursache und Wirkung besteht ein direkter, unmittelbarer Zusammenhang. Ursachen und Wirkung existieren gleichzeitig in dem Sinne, daß mit dem Wirken der Ursachen die Wirkung bereits entsteht. Die Wirkung ist das Ergebnis des Wirkens der Ursachen.[23]

Gerade die objektive Kausalität liegt den Schwankungen vieler physikalischer Prozesse um die im Gesetz zum Ausdruck gebrachte Tendenz zugrunde. Das Fallgesetz bringt die Tendenz $s = \frac{g}{2} t^2$ für den freien Fall zum Ausdruck. Das ist eine objektiv existierende allgemein notwendige, wesentliche Beziehung. Das Einwirken zufälliger Faktoren, die den freien Fall in bestimmter Weise behindern (Luftwiderstand, Windrichtung) sind unwesentlich für den freien Fall. Sie heben die Richtigkeit des Fallgesetzes nicht auf, führen aber zu Schwankungen im konkreten Fall. So ist auch jeder freie Fall eine Gesamtheit von Kausalbeziehungen. Mit Hilfe des Fallgesetzes wurden bestimmte objektive Beziehungen durch die Menschen erkannt und formuliert. Es werden Kausalbeziehungen im [220] Gesetz widergespiegelt. Dabei handelt es sich um keine direkte Abbildung des Kausalzusammenhanges, sondern um die Widerspiegelung von Beziehungen einer Gesamtheit von Kausalzusammenhängen.

In dieser Frage liegt die Problematik in der modernen Physik nicht anders. Auch die Schrödingergleichung widerspiegelt in diesem Sinne Beziehungen einer Gesamtheit von Kausalrelationen. Das auf einen Schirm auftreffende Elementarobjekt ist in seinem Verhalten kausal bedingt. Die heutige Forschung hat jedoch nicht die Möglichkeit, die allgemeinen, wesentlichen und notwendigen Beziehungen für diesen Komplex von Kausalbeziehungen, der das Verhalten des einzelnen Objekts betrifft, zu finden. Da das Verhalten des einzelnen Objekts wesentlich durch seine innere Struktur bestimmt wird, erfordert die Aufdekkung von Gesetzen für das Verhalten des Einzelobjekts die Untersuchung der Struktur. Das

[23] Vgl. A. Polikarow, Über das Kausalitätsgesetz in der Physik, in: Naturwissenschaft und Philosophie, S. 199.

bedeutet nicht, daß eine Rückkehr zum mechanischen Determinismus durch die Formulierung dynamischer Gesetze im klassischen Sinne für das Verhalten der Einzelobjekte möglich ist. Jedoch liegen Kenntnisse über das wahrscheinliche Verhalten eines Elementarobjekts beim Durchgang durch den Spalt vor. Das Objekt wird mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auf einen bestimmten Punkt auftreffen. Das Verhalten eines Einzelobjekts ist zufällig in bezug auf das Verhalten einer Gesamtheit von Beziehungen. – Gesamtheit bedeutet im philosophischen Sinne nicht nur eine Gesamtheit von Elementarobjekten (Ensemble), sondern auch eine Gesamtheit von Beziehungen des Objekts mit seiner Umgebung sowie die Gesamtheit der inneren Beziehungen des Objekts. – Diese Zufälligkeit ist kausal bedingt. Das Verhalten der Gesamtheit ist jedoch notwendig. Daraus ergeben sich gerade die Möglichkeiten für das Verhalten des Einzelobjekts. Hier sehen wir den Zusammenhang zum Problem des freien Falls. Beim freien Fall hatten wir zufällige Schwankungen um die im Gesetz formulierte notwendige Beziehung zwischen Fallzeit, Fallweg, Erdanziehung. Hier haben wir das zufällige Verhalten von Elementarobjekten, die jedoch nur bestimmte Möglichkeiten verwirklichen können. Das Verhalten des Elementarobjekts ist durch die objektive Notwendigkeit für das Verhalten der Gesamtheit begrenzt. Sollte es uns gelingen, Gesetze für das Verhalten des Einzelobjekts zu formulieren, dann tritt das Verhältnis von Notwendigkeit und Zufall in der Weise auf, daß das Einzelobjekt wiederum um die im Gesetz zum Ausdruck gebrachte Tendenz schwankt.

In allen Fällen haben wir es zwar mit dem Verhältnis von Notwendigkeit und Zufall auf der Grundlage von Kausalbeziehungen zu tun. Jedoch wird mit vollem Recht von modernen Physikern auf den prinzipiellen Unterschied zwischen den Gesetzen der klassischen und der Quantenmechanik verwiesen. Immer setzt sich die Notwendigkeit im Zufall durch (das be-[221]deutet, wie wir noch sehen werden, daß jeder Kausalzusammenhang notwendige und zufällige Seiten hat). Einerseits haben wir es mit frei fallenden relativ voneinander isolierten Objekten zu tun, andererseits mit einer Gesamtheit von Elementarobjekten, die nach dem Durchgang durch den Spalt (ob gleichzeitig oder nacheinander) eine notwendige Verteilung einnehmen. Die Elemente dieser Gesamtheit verhalten sich nach bestimmten allgemeinen Beziehungen. Sie können nur bestimmte Möglichkeiten (Wahrscheinlichkeiten) verwirklichen. Während im freien Fall jedes Objekt eine Möglichkeit verwirklicht, ergeben sich für das Elementarobjekt verschiedene Möglichkeiten. Das gestattet, den Unterschied zwischen klassischer und Quantenmechanik erst wirklich herauszuarbeiten.

Es ergibt sich aus den bisherigen Betrachtungen, daß der Kausalzusammenhang grundlegend für alle anderen objektiven Zusammenhänge ist. Welchen physikalischen Prozeß wir auch untersuchen, ob wir zufällige oder notwendige, mögliche oder wirkliche Zusammenhänge betrachten, allem liegt bereits die Kausalität zugrunde. Schwierigkeiten erwachsen nur, wenn man die konkrete Kausalbeziehung zu umfassend definiert, indem man die Ursache als die Gesamtheit der notwendigen und hinreichenden Bedingungen für das Auftreten einer Wirkung faßt. Es entspricht den wissenschaftlichen Erkenntnissen mehr, wenn man die Kausalität als die konkrete, direkte Vermittlung des Zusammenhangs zwischen zwei Prozessen auffaßt, wobei der eine die Veränderungen des anderen hervorbringt. Dabei bestimmen die Bedingungen die Form dieser Veränderung. Im Gesetz können wir nur festhalten, daß diese Veränderung durch Einwirkung einer Erscheinung auf die andere erfolgt. Wir berücksichtigen dabei aber nicht die konkrete Gesamtheit aller Seiten des Vorgangs. Indem wir im Gesetz von den zufälligen Schwankungen (kausal bedingte „Schmutzeffekte“ im Experiment) abstrahieren, heben wir gerade die dem Zufall zugrunde liegende allgemeine (d. h. für alle unter das Gesetz fallende Erscheinungen) Notwendigkeit hervor. Das ist nur möglich, weil objektiv eine Gesamtheit von notwendigen und zufälligen Kausalrelationen existiert. Die Kausalbeziehung ist die fundamentale Form des objektiven Zusammenhangs. In diesem Sinne bemerkt

auch Lenin: „Die Forderung der Vermittelung (des Zusammenhanges), darum handelt es sich bei der Anwendung des Kausalitätsverhältnisses.“[24]

Dabei geht es um die konkrete und direkte Vermittlung des Zusammenhangs. Diese Auffassung von der Kausalität hebt folgendes hervor: Erstens sind die materiellen Dinge, Erscheinungen, Prozesse nicht isoliert vonein-[222]ander. Sie stehen in einem direkten und konkreten materiellen Zusammenhang miteinander. Dabei beeinflussen sie sich gegenseitig. In diesem Zusammenhang bemerkt Born richtig, daß das Prinzip der Fernwirkung in der klassischen Physik die Kausalität verletzte, während das Prinzip der Nahwirkung, d. h. des direkten nachweisbaren materiellen Einwirkens aufeinander, der Kausalität entspricht.[25] Hier liegt auch die Bedeutung der Erhaltungssätze der Physik für die Kausalität.[26] Zweitens ist die Kausalität nur ein Moment des universellen Zusammenhanges.[27] Die Anerkennung der durchgängigen Gültigkeit der Kausalität, die im Kausalitätsprinzip gefordert wird, ist verbunden mit der Anerkennung der materiellen Einheit der Welt. Die Betrachtung der Kausalität als fundamentale Form des objektiven Zusammenhanges führt uns also drittens direkt zur Forderung nach der philosophischen Analyse weiterer Formen des Zusammenhanges, die jedoch immer Beziehungen einer Gesamtheit von Kausalrelationen sind. Die Durchsetzung der Notwendigkeit im Zufall, die Verwirklichung von Möglichkeiten sind nur auf der Grundlage der objektiven Existenz konkreter und direkter Beziehungen zwischen materiellen Prozessen möglich. Ebenso gilt das für das zeitliche Nacheinander oder die räumliche Koexistenz. Das bedeutet nicht, daß die koexistierenden Erscheinungen oder die zeitlich aufeinander folgenden Erscheinungen einander kausal bedingen. Das heißt nur, daß sie auf der Grundlage einer Gesamtheit von Kausalrelationen existieren. Durch die Ausnutzung der objektiven Kausalität hat viertens der Mensch die Möglichkeit, Gesetze aufzudecken. Er hebt dabei verschiedene Seiten der Gesamtheit von Kausalbeziehungen hervor, indem er Gesetze des räumlichen und zeitlichen Zusammenhanges zwischen Erscheinungen, Struktur- und Bewegungsgesetze formuliert.

Wir können also festhalten, daß mit dem Begriff der Kausalität aus dem universellen Zusammenhang die grundlegendste, elementarste Form des Zusammenhanges abstrahiert wird. Sie hebt die direkte Einwirkung einer Erscheinung auf die andere und die Bedingtheit der einen (Wirkung) durch die andere (Ursache) hervor. Über den notwendigen oder zufälligen Charakter dieser Bedingtheit wird nichts ausgesagt. Nur der objektive Charakter wird hervorgehoben. Das Kausalgesetz besagt, daß jeder Prozeß, jede Erscheinung durch die direkte Vermittlung mit anderen materiellen Prozessen und Erscheinungen entstanden ist und sich verändert. [223]

3.2. Kausalität und Zeit

Eine große Rolle in der Kausalitätsdiskussion spielt das Problem der Zeit. Neben dem Prinzip der Nahwirkung betont Born das Prinzip der Aufeinanderfolge als Merkmal der Kausalität. Auch hier hebt Born hervor, daß die klassische Physik dieses Prinzip verletzte, „da die Gesetze der Bewegung zwei Konfigurationen zu verschiedenen Zeiten in vollkommen symmetrischer und umkehrbarer Weise mit einander verknüpfen“[28]. Born hebt hervor, „daß in der Physik der Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft mit der Nichtumkehrbarkeit der Wärmeerscheinungen verbunden ist“[29].

[24] W. I. Lenin, Werke, Bd. 38, S. 154.
[25] Vgl. M. Born, Physik im Wandel meiner Zeit, Braunschweig 1957, S. 103.
[26] Vgl. Ch. M. Fatalijew, Das Problem der Kausalität und die moderne Physik, in: Naturwissenschaft und Philosophie, S. 47 ff., vgl. auch S. 195 ff.
[27] Vgl. W. I. Lenin, Werke, Bd. 38, S. 151.
[28] M. Born, Physik im Wandel meiner Zeit, S. 103.
[29] Ebenda.

Hier werden offensichtlich zwei Fragen miteinander vermengt: Erstens geht es um die in Gesetzen zum Ausdruck gebrachte Symmetrie oder Asymmetrie von Naturerscheinungen. Auch die moderne Physik kennt symmetrische gesetzmäßige Beziehungen. So sind Paarerzeugung und Paarvernichtung symmetrisch und umkehrbar. Andererseits kennen wir die Nichterhaltung der Parität bei schwachen Wechselwirkungen, also eine Durchbrechung der räumlichen Symmetrie. Das ist aber eine Problematik, die hier nicht unmittelbar interessiert, da es sich bereits wieder um gesetzmäßige Zusammenhänge, d. h. um Beziehungen einer Gesamtheit von Kausalrelationen handelt. Zweitens wird die Frage nach der zeitlichen Beziehung zwischen Ursache und Wirkung gestellt. Diese Frage stellt folgendes Problem zur Lösung: Ist die direkte und konkrete Vermittlung des Zusammenhanges zeitlich gerichtet oder nicht? Liegt zeitliche Gerichtetheit vor, dann ist das ein Mittel, um Vergangenheit und Zukunft voneinander abzugrenzen. Läge keine zeitliche Gerichtetheit vor, dann wäre diese Abgrenzung nicht möglich. Das würde jedoch bedeuten, daß Wirkungen vor ihren Ursachen auftreten oder Wirkungen ihre Ursachen hervorbringen, was zu unsinnigen Schlußfolgerungen führt.[30] Ist jedoch eine zeitliche Gerichtetheit vorhanden, so muß man ihre Bedeutung für den Kausalzusammenhang untersuchen.

Unseres Erachtens gestattet die Kausalitätsauffassung sowohl den Schluß auf Ursachen bekannter Wirkungen als auch auf Wirkungen bekannter Ursachen. Der zweite Schluß bringt nur theoretische Schwierigkeiten, wenn man die Kausalität als notwendige Verbindung zwischen einer bestimmten Ursache und Wirkung ansieht. Notwendig ist, wie es im Kausalgesetz aus-[224]gedrückt ist, die kausale Bedingtheit aller Erscheinungen. Jeder Kausalbeziehung kommen als allgemeine, notwendige und wesentliche Merkmale zu: Objektivität, direkte konkrete Vermittlung des Zusammenhanges zweier Erscheinungen, Hervorbringen der Veränderung einer Erscheinung (Wirkung) durch eine andere (Ursache), gleichzeitige Existenz von Ursache und Wirkung. Für eine konkrete Kausalbeziehung ist die bestimmte Ursache und die bestimmte Wirkung in der Gesamtheit ihrer Seiten und Momente genommen nicht allgemein notwendig.

Polikarow unterscheidet in jedem kausalen Zusammenhang zwei Momente: Die Entstehung der Wirkung und die weitere Entwicklung der Erscheinung. „Dabei gibt es einen eindeutigen Zusammenhang zwischen dem anfänglichen Zustand und den darauffolgenden Zuständen“, schreibt er, „wodurch die Vorhersage des Prozesses ermöglicht wird.“[31] Wenn wir jedoch die zeitliche Gerichtetheit eines Kausalzusammenhanges analysieren, dann muß man drei Seiten unterscheiden. Erstens die Vergangenheit der Ursache, zweitens die Einwirkung der ursächlichen Erscheinung auf eine andere, drittens die weitere Entwicklung der Erscheinung. Erst damit haben wir den Zusammenhang einer bestimmten Kausalrelation mit ihrer Umgebung hergestellt. Wechselwirkt beispielsweise ein Quant mit einem Elektron, dann ist nicht nur das Moment der Wechselwirkung entscheidend, sondern auch der vorherige Energiezustand, die Bewegungsrichtung usw. Ebenso interessiert uns bei Paarbildung oder Paarvernichtung der vor dem Zusammenstoß (Wechselwirkung) vorhandene Zustand. Der Kausalzusammenhang ist jedoch der Moment der Wechselwirkung, des direkten Zusammenhanges zwischen den zwei Erscheinungen. Dagegen ist der gesetzmäßige Zusammenhang nicht unbedingt ein direkter Zusammenhang. Die Kausalbeziehungen, die einem Gesetz zugrunde liegen, kann man nur aufdecken, wenn man Gesetze des inneren Mechanismus für einen bestimmten Vorgang aufdeckt.

Die Beachtung der Vergangenheit und der Zukunft einer Kausalbeziehung ermöglicht es uns erst, die zeitliche Gerichtetheit zwischen Ursache und Wirkung zu erkennen. Wenn nun Polikarow vom eindeutigen Zusammenhang zwischen dem Anfangszustand und den folgenden Zuständen spricht, so ist das wiederum nur richtig, wenn wir es mit einem gesetzmäßigen

[30] Vgl. Naturwissenschaft und Philosophie, S. 208 f.
[31] Ebenda S. 196.

Zusammenhang zu tun haben. So sind die Zerfallsprozesse von Elementarteilchen gesetzmäßig bestimmt. Aber bei einem wirklichen Zerfallsprozeß sich abspielende Kausalbeziehungen mit der Umgebung und unwesentliche innere Beziehungen sind für den gesetzmäßigen Zusammenhang zufällig. [225] Die zeitliche Gerichtetheit des Kausalzusammenhanges ergibt einen prinzipiellen Unterschied zwischen Kausalbeziehungen, die bereits Wirklichkeit sind, und möglichen Kausalbeziehungen, u. a. zukünftigen Prozessen. Der Hauptunterschied besteht darin, daß Kausalbeziehungen, die bereits existieren, nicht mehr beeinflußt werden können. Wir können uns nur noch von ihrer Existenz unterrichten und Möglichkeiten untersuchen, um ihre Folgen rückgängig zu machen, aber die Kausalbeziehung selbst kann nicht mehr rückgängig gemacht werden. Zukünftige Wirkungen können jedoch beeinflußt werden. Eben das wäre unmöglich, wenn zwischen einer bestimmten Ursache und einer bestimmten Wirkung ein direkter notwendiger Zusammenhang bestünde.

Untersuchen wir diese Problematik am Beispiel einer Gesamtheit von Beziehungen von Elementarobjekten, die durch einen Spalt gehen und auf einem Leuchtschirm aufgefangen werden. Ist ein Objekt auf einem bestimmten Ort des Schirms aufgetroffen, so traf es notwendig dort auf. Notwendig heißt in diesem Fall: auf Grund der Gesamtheit der Bedingungen bestimmt. Es traf dort auf, weil eine Vielzahl von Kausalbeziehungen dazu führte. Dazu gehören die innere Strukturiertheit des betreffenden Objekts, seine Beziehung zur Umgebung, zum Gerät usw. In bezug auf die Gesamtverteilung der Elementarobjekte auf dem Schirm ist der Platz des bestimmten Teilchens zufällig. (Zufällig ist ein entfernter äußerer Zusammenhang zwischen verschiedenen Erscheinungen, in dem sich die zufällig zusammenhängenden Erscheinungen nicht gegenseitig begründen.) So begründet die gesetzmäßige Intensitätsverteilung nicht das Auftreffen eines bestimmten Teilchens an einem bestimmten Ort. Ebenso hat dieses Auftreffen seinen Grund auch nicht in dem Auftreffen anderer Teilchen an anderen Orten. Hier zeigt sich deutlich, daß die notwendige Verteilung einerseits das Ergebnis zufälligen Auftreffens einzelner Teilchen auf dem Schirm ist. Andererseits ist ihre Notwendigkeit begründet in dem Verhalten der Elementarobjekte vor dem Auftreffen auf dem Schirm. Das Verteilungsgesetz widerspiegelt also das Ergebnis einer Gesamtheit von Kausalbeziehungen. Wir können hier einfügen: Wenn es uns gelingt, gesetzmäßige Beziehungen dieser Gesamtheit von Kausalrelationen für das Verhalten der Elementarobjekte festzustellen, dann haben wir einen Schritt zur Aufstellung von Gesetzen für die Dynamik des Einzelobjekts gemacht. Betrachten wir nun nicht nur bereits vorhandene Wirkungen, sondern versuchen wir, das Verhalten von Elementarobjekten zu erschließen, die erst auf dem Schirm auftreffen werden. Wir wissen von ihnen bereits, welche Verteilung sie einnehmen werden. Daraus ergibt sich für zukünftige Wirkungen, d. h. für das Auftreffen der Objekte an bestimmten Orten, eine bestimmte Wahr-[226]scheinlichkeitsverteilung. Jedes Objekt hat die Möglichkeit (Wahrscheinlichkeit), an einem bestimmten Ort des Schirmes aufzutreffen. Ein Gesetz, welches nicht nur die aufgetroffenen Objekte registriert, sondern die Bewegung der Objekte zum Ausdruck bringt, muß also sowohl das notwendige Ergebnis für die Verteilung als auch die Möglichkeit für das Auftreffen von Objekten an verschiedenen Orten zum Ausdruck bringen. Genau das macht beispielsweise die Schrödingergleichung. Der Sprung der Wahrscheinlichkeit und damit die Bestimmung der neuen Schrödingergleichung im Moment der Wechselwirkung bringt nichts anderes zum Ausdruck als den prinzipiell durch die Kausalität gegebenen Unterschied zwischen vorhandenen und zukünftigen Kausalrelationen. Das physikalische Gesetz bringt dabei notwendig sich verwirklichende Möglichkeiten zum Ausdruck. Das gilt in der Quantenmechanik aber nur für die Systeme von Elementen. Daraus lassen sich jedoch Möglichkeiten für das Verhalten des Einzelobjekts ableiten, eben zufällig sich verwirklichende Möglichkeiten. Hat ein Einzelobjekt eine dieser Möglichkeiten zufällig verwirklicht, dann ist sein Verhalten in dem oben bestimmten Sinne immer noch zufällig. Aber diese Zufälligkeit ist nicht unabhängig von der Notwendigkeit. Wie wir gesagt hatten, ist es notwendig,

d. h. auf Grund der *Gesamtheit* der Bedingungen bestimmt, auf diesem Ort aufgetroffen. Damit heben wir die kausale Bedingtheit, die Verursachung einer vorhandenen Wirkung hervor. Ihre Zufälligkeit ergibt sich nicht aus der Gesamtheit der Bedingungen, sondern aus einem begrenzten objektiven Zusammenhang. Beim Einzelobjekt ist das Auftreffen zufällig, weil nicht durch das Verhalten der anderen Objekte begründet wird, daß das bestimmte Objekt gerade auf dem bestimmten Ort auftraf. Solange es uns nicht gelingt, aus der Gesamtheit der Kausalbeziehungen wesentliche Bedingungen hervorzuheben, die allgemeine Bedeutung für das Verhalten von Elementarobjekten haben, solange haben wir auch keine gesetzmäßigen Beziehungen für das dynamische Verhalten des Einzelobjekts in der Zeit erkannt.

Wir können damit für eine verwirklichte Möglichkeit festhalten, daß sie notwendig, aber nicht unbedingt gesetzmäßig ist. Eine nicht gesetzmäßig verwirklichte Möglichkeit (Auftreffen eines Teilchens auf dem Schirm, Zerfall eines bestimmten Atoms im radioaktiven Stoff) ist notwendig auf Grund der *Gesamtheit* der Bedingungen. Würde man jeder konkreten Kausalbeziehung nur die Notwendigkeit zuerkennen, ohne die Dialektik von Notwendigkeit und Zufall zu beachten, müßte man die Vorausbestimmtheit aller Ereignisse anerkennen. Das wäre Rückkehr zum mechanischen Determinismus. Einer gesetzmäßig sich verwirklichenden Möglichkeit kommt die Notwendigkeit auf Grund der für die Gültigkeit des Gesetzes *wesentlichen* [227] Bedingungen zu. Deshalb hat für uns, wenn wir Aussagen über die Zukunft machen wollen, nicht die im Kausalgesetz ausgesagte kausale Bedingtheit aller Erscheinungen Bedeutung, sondern vor allem die auf Grund dieses Gesetzes mögliche gesetzmäßige Beziehung zwischen zwei Erscheinungen. Im Gesetz gibt es keinen prinzipiellen Unterschied zwischen vergangenen und zukünftigen Ereignissen. Im Gesetz muß gerade das Allgemeingültige für beide ausgesagt werden. Sonst wäre es unmöglich, aus vorhandenen existierenden Wirkungen auf zukünftige zu schließen.

Zukünftige Wirkungen sind erstens mögliche Wirkungen. Bis zur Verwirklichung der Möglichkeit verändern sich die Bedingungen. Diese Veränderung der Bedingungen ist eine wichtige Seite, die der dialektische Materialist unbedingt berücksichtigen muß. Nur solche Möglichkeiten verwirklichen sich notwendig, für die die wesentlichen Bedingungen zu ihrer Verwirklichung vorhanden sind. Das trifft zu für den betrachteten freien Fall und die Verteilung der Gesamtheit von Elementarobjekten auf dem Schirm. Hier zeigt sich der Zufall als Erscheinungsform der Notwendigkeit. Im freien Fall haben wir die zufälligen Schwankungen; beim Verhalten einer Gesamtheit von Elementarobjekten die zufällig auf einem Ort auftreffenden Einzelobjekte. Man könnte hier den Zufall als Gesamtheit der Seiten, Momente usw. der notwendig sich verwirklichenden Möglichkeit fassen. Zugleich haben wir es noch mit einer anderen Art des Zufalls zu tun, mit dem Einwirken äußerer Faktoren auf unbekannte innere Bedingungen, die nicht nur zu zufälligen Schwankungen um die gesetzmäßige Tendenz, sondern zu völlig neuartigen Ergebnissen führen können. Hier ist der Zufall Erscheinungsform einer anderen bisher unbekannten Gesetzmäßigkeit. Das war der Fall bei der Entdeckung des quantenhaften Verhaltens der physikalischen Objekte, das für die klassischen Gesetze nicht faßbar ist. Das gilt für die Paarentstehung und Paarvernichtung auf der Grundlage der quantenmechanischen Gesetze. Diese Ereignisse sind so zu analysieren, daß die notwendig sich verwirklichenden Möglichkeiten hervorgehoben werden, also neue Gesetze aufgedeckt werden. Das geschah mit der Quantenmechanik und der Quantenelektrodynamik. Es birgt also die notwendige Verwirklichung von Möglichkeiten stets den Zufall in sich. Zufällige Ereignisse können zu neuen Gesetzen führen. Neben den notwendig sich verwirklichenden Möglichkeiten kennen wir zufällig sich verwirklichende Möglichkeiten. Das trifft zu auf die Bewegung der Einzelobjekte in einer Gesamtheit von Elementarobjekten. Das gilt aber auch für die äußere Einwirkung auf einen notwendigen Prozeß, die zu einer Veränderung der Form und unwesentlicher Seiten führen kann. Wir können deshalb zweitens über zukünftige Wirkungen sagen, daß sie

zufällig und notwendig [228] sind. Die zeitliche Gerichtetheit bei wechselwirkenden Prozessen muß jedoch nicht in den von der Wissenschaft formulierten Gesetzen direkt widergespiegelt werden, da diese in ihrer *Allgemeingültigkeit* unabhängig von der Zeit sind. Nur wenn man Kausalität und Gesetz gleichsetzt, kommt man zu theoretischen Schwierigkeiten. Man degradiert dann entweder das Gesetz zu einem einfachen (nicht wiederholbaren) Kausalzusammenhang, wie das im mechanischen Determinismus der Fall war, oder man gibt die zeitliche Gerichtetheit auf, indem man kausale Zusammenhänge bereits als gesetzmäßige (auch symmetrische) Zusammenhänge betrachtet. Die fundamentale Form des Zusammenhanges, die Kausalität, ist zeitlich gerichtet. Das Gesetz widerspiegelt objektive Beziehungen einer Gesamtheit von Kausalbeziehungen und kann deshalb von dieser zeitlichen Gerichtetheit abstrahieren, wie das die Wissenschaft in bestimmten Gesetzen tut.

3.3. Kausalität und Wechselwirkung

Aus dem bisher Gesagten ergibt sich bereits der enge Zusammenhang zwischen Kausalität und Wechselwirkung. Friedrich Engels hob die notwendige Untersuchung von Kausalzusammenhängen zum Verständnis der universellen Wechselwirkung hervor.[32] Kusnezow macht nun den Versuch, zwischen Kausalität und Wechselwirkung zu unterscheiden, indem er Kausalität als den genetischen Zusammenhang der Erscheinungen, bei der eine Erscheinung die andere hervorbringt, und Wechselwirkung als den Zusammenhang zweier unmittelbar gegebener, schon existierender Erscheinungen betrachtet.[33] Das vereinfacht jedoch die Beziehung zwischen Kausalität und Wechselwirkung. Kusnezow betont zwar richtig, daß bei existierenden Erscheinungen die Existenz der einen nicht von der Existenz der anderen unbedingt abhängen muß.[34] Die Wechselwirkung zweier Erscheinungen kann tatsächlich nicht einfach als kausaler Zusammenhang zwischen diesen Erscheinungen gefaßt werden. Nur die Wechselwirkung zwischen zwei Prozessen, bei denen der eine den anderen hervorbringt, ist eine Kausalbeziehung. Das bedeutet aber nun nicht, daß die Wechselwirkung zwischen schon existierenden Erscheinungen nicht kausal bedingt wäre. Durch die Wechselwirkung werden Veränderungen der wechselwirkenden Erscheinungen hervorgerufen. Dabei hat die Veränderung der einen Erscheinung ihre Ur-[229]sache in der Wechselwirkung mit der anderen und umgekehrt. Nehmen wir den Welle-Korpuskel-Dualismus, so können wir von einer Abhängigkeit der einen Erscheinung von der anderen, wie sie Bohr in seinem Komplementaritätsprinzip ausdrückte, sprechen, aber ihr Zusammenhang ist nicht genetisch. Beide Eigenschaften existieren objektiv und gleichzeitig; beide wirken aufeinander ein. Oder nehmen wir die bisher wenig erforschte Strukturiertheit der Elementarobjekte. Die zukünftige Forschung wird die innere Wechselwirkung der Elementarobjekte erweisen. Das wären nach Kusnezow keine Kausalbeziehungen. Das ist jedoch nur insofern richtig, als diese Wechselwirkungen aus einer Gesamtheit von Kausalbeziehungen bestehen, die es zu erforschen gilt.

Jede Wechselwirkung führt zu einer Veränderung der wechselwirkenden Prozesse. Dabei ist der eine Prozeß die Ursache für die Veränderung des anderen. In der Konsequenz würde die von Kusnezow getroffene Unterscheidung zur Verneinung der kausalen Bedingtheit der in der Wechselwirkung auftretenden Veränderungen führen. Kausalität liegt nur dort nicht vor, wo zwei Erscheinungen nicht miteinander zusammenhängen. So wäre es nach der Relativitätstheorie unmöglich, daß in einem bestimmten Zeitpunkt Ereignisse Wirkungen auf uns ausüben, die außerhalb des Lichtkegels für diesen Zeitpunkt liegen. Die Veränderung des einen kann damit auf Grund von Naturgesetzen nicht zur Veränderung des anderen führen. Aber hier liegt eben auch keine Wechselwirkung vor.

[32] Vgl. K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 20, S. 499.
[33] Vgl. I. W. Kusnecov in: Probleme der Kausalität in der modernen Physik, Moskau 1960 (russ.), S. 9.
[34] Vgl. ebenda.

Es ist offensichtlich einseitig, wenn man die Kausalität nicht auch als äußere Beziehungen der Erscheinungen, sondern nur als ihren tiefen inneren genetischen Zusammenhang betrachtet.[35] Äußere Beziehungen führen zu zufälligen Änderungen notwendiger Prozesse, wie wir oben gesehen haben. Aber diese zufälligen Änderungen sind kausal bedingt, haben ihre Ursache in Wechselwirkungen mit unwesentlichen Bedingungen. Die Kausalität im Unterschied zur mechanistischen Kausalauffassung gibt noch keine Unterscheidung in unwesentliche und wesentliche, notwendige und zufällige Beziehungen. Sie gibt uns durch Erfassung der wirklichen Veränderungen (Wirkungen) nur eine zeitliche Gerichtetheit und damit ein Unterscheidungsmerkmal zwischen Vergangenheit und Zukunft. Deshalb hebt auch Engels hervor, daß in der universellen Wechselwirkung Ursache und Wirkung ständig ihre Stelle wechseln und „das, was jetzt oder hier Wirkung, dort oder dann Ursache wird und umgekehrt“[36]. Wechselwirkung bringt keine Aufhebung der zeitlichen Gerichtetheit in jeder konkreten Kausal-[230] relation mit sich, obwohl wir in der Wechselwirkung selbst unter bestimmten Bedingungen von der zeitlichen Gerichtetheit abstrahieren können. Bei der Einwirkung eines Lichtquants auf ein Elektron haben wir es mit gleichzeitiger Wechselwirkung beider zu tun. Jedoch führt die Einwirkung des Quants auf das Elektron (Ursache) zu einer Veränderung des physikalischen Zustandes des Elektrons (Wirkung) und die Einwirkung des Elektrons auf das Quant (Ursache) zu einer Veränderung des Zustandes dieses Lichtquants (Wirkung).

Unterscheidet man Kausalität und Wechselwirkung und betrachtet wie Kusnezow die Kausalität als den inneren genetischen Zusammenhang, dann reduziert man die Wechselwirkung auf äußere zufällige Wechselwirkungen und schließt die notwendige Wechselwirkung mit der Umgebung und die innere Wechselwirkung aus. Nun zeigt uns aber die moderne Physik, daß sowohl äußere zufällige Wechselwirkung als auch die anderen Formen der Wechselwirkung für das Verhalten eines Objekts entscheidend sind. Könnte man Elementarobjekte als Billardkugeln behandeln, so würde nur die äußere Wechselwirkung, erklärbar durch Stoßgesetze, eine Rolle spielen. Durch die Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen wissen wir jedoch, daß der Welle-Korpuskel-Dualismus und damit die Struktur des Objekts Bedeutung für das Verhalten haben.

Betrachten wir die zeitlich gerichtete direkte konkrete Vermittlung des Zusammenhanges, so lösen wir bereits in den einfachsten Fällen die Wechselwirkung in verschiedene Beziehungen auf. Schon beim Zusammenstoß zweier Billardkugeln haben wir es mit Kausalität und Wechselwirkung zu tun. Es wechselwirken im Stoßvorgang zwei Kugeln. Entscheidend ist, wie wir betonten, erstens die Entstehung der Ursache. Zu ihrer Charakteristik brauchen wir Masse und Geschwindigkeit beider Kugeln vor dem Zusammenstoß. Die Kausalrelation ist der Stoß. Dabei haben wir es mit der Veränderung der einen durch die andere und der anderen durch die erste Kugel zu tun. Es liegen in dieser Wechselwirkung zwei Kausalbeziehungen vor. Das Ergebnis (Wirkung) ist die Richtungsänderung der Bewegung beider Kugeln. Für die Wechselwirkung insgesamt gelten die entsprechenden Erhaltungssätze (Gesetze). In diesen Sätzen wird der Zusammenhang, der in der Kausalitätsbetrachtung verlorenging, wiederhergestellt. In der modernen Physik haben wir es mit komplizierteren Kausalrelationen zu tun. Bei den Billardkugeln spielte die komplizierte innere Struktur keine wesentliche Rolle für die Beschreibung des Bewegungsablaufs. Wechselwirkt jedoch ein Elektron mit einem Lichtquant, so spielen auch die Kausalrelationen, die die Struktur beider Objekte bestimmen, eine Rolle. Die Gesamtheit der Kausalrelationen macht die Wechselwirkung aus. Der Zusammenhang [231] zwischen beiden Objekten wird wiederum durch die in den Erhaltungssätzen widergespiegelten objektiven Zusammenhänge bestimmt. Dabei gilt der Erhaltungssatz nicht für eine

[35] Vgl. ebenda, S. 10.
[36] K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 20, S. 22.

der vielen Kausalrelationen, denn in jeder speziellen Kausalrelation ist gerade die Veränderung der entsprechenden physikalischen Größen und nicht ihre Erhaltung charakteristisch. So gilt beispielsweise die Energieerhaltung nur für das gesamte physikalische System und nicht für die einzelnen Teile des Systems, die gerade Energie übertragen.

Nun sind aber für die Wissenschaft eben auch nicht diese direkten konkreten und zeitlich gerichteten Vermittlungen des Zusammenhanges in ihrer Isoliertheit entscheidend, sondern die Kenntnis des wesentlichen Gesamtzusammenhanges eines Systems, die wir unter Ausnutzung der Kausalität erhalten. In jedem Experiment haben wir es bereits mit Wechselwirkung zu tun. Treffen zwei Elementarobjekte zusammen und findet ein Energieaustausch statt, dann hat der Zusammenstoß mindestens zwei Kausalrelationen: Objekt 1 wirkt auf Objekt 2 und umgekehrt. Dabei behandeln wir jedes Objekt in dieser Relation als elementar, obwohl wir wissen, daß es strukturiert ist. Wollen wir deshalb etwas über die innere Wechselwirkung erfahren, dann wirken wir mit einer äußeren Ursache auf ein System von Kausalbeziehungen ein und erhalten eine Wirkung. Von ihr aus schließen wir auf die Veränderungen im System. Dieser Fall liegt beispielsweise bei der Erforschung der Kernbestandteile durch Neutronenbeschuß von Kernen vor. Hier wird im Experiment zur Untersuchung eines Systems von Kausalbeziehungen (Kern) eine definierte Ursache (Neutron) genommen. Die Wechselwirkung zwischen Neutron und Kern (Neutron als Ursache für den Kernzerfall) führt zu einer Wirkung (Zerfall), die uns auf den Bau des Systems schließen läßt. Wir haben es in diesem Experiment keinesfalls mit *einer* Kausalbeziehung zu tun. Wir benutzen lediglich die kausale Bedingtheit aller Erscheinungen, um etwas über ein uns unbekanntes System zu erfahren. In diesem Experiment können wir das Neutron als elementare definierte Ursache betrachten, die auf ein kompliziertes System einwirkt.

Im Falle gleichartiger Teilchen ist das Problem schwieriger, da die Ursache selbst strukturiert ist, also auch ein System darstellt. Es wirkt dann ein System als Ursache auf das andere. Die Wirkung gestattet uns, in diesem Falle Rückschlüsse auf beide Systeme zu ziehen. Blochinzew bemerkte in seinem Diskussionsbeitrag auf der Allunionskonferenz zu philosophischen Fragen der Naturwissenschaft in Moskau 1958 zu einem solchen Fall, dem Zusammenstoß zweier Nukleonen: „Bei der Abschätzung erhält man, daß die Wechselwirkungsenergie solcher Teilchen größer als ihre Eigenenergie ist. Es fragt sich, was unter diesen Bedingungen der Begriff Teilchen für [232] eine Bedeutung besitzt. Dieser Prozeß spielt sich in einer sehr kurzen Zeit ab, in 10^{-23} sec, aber nur er ist von Interesse. Augenscheinlich ist im Moment der Wechselwirkung die Individualität der Teilchen sehr zweifelhaft.“[37] Im Ergebnis solcher Wechselwirkungen entsteht eine sehr große Anzahl von Teilchen. Eben das bestätigt das bereits Gesagte. Wir haben es hier mit aufeinander einwirkenden komplizierten Systemen zu tun. Die Kausalrelation ist die direkte Vermittlung beider. Dabei haben wir es nicht nur mit zwei Beziehungen zu tun. Das wäre der Fall, wenn im Ergebnis beide Teilchen erhalten blieben. Dann wäre das Einwirken des ersten auf das zweite die Ursache für die Veränderung im zweiten und umgekehrt. In diesem Falle könnten wir von der komplizierten inneren Struktur absehen. Das Ergebnis verlangt jedoch von uns, daß wir eine Vielzahl von Kausalrelationen anerkennen, die beim Zusammenstoß beider Systeme entstanden. Im Ergebnis erhalten wir eine Reihe von Teilchen. Blochinzew hat also recht, wenn er die Individualität der Teilchen im Sinne von elementarem Individuum anzweifelt. Jedes ist ein individuelles System bis zum Moment der Wechselwirkung. Die Gesamtheit der dort stattfindenden Kausalrelationen hebt die Individualität auf. Im Ergebnis entstehen dann neue Systeme, die ihre relative Individualität bis zur nächsten Wechselwirkung bewahren.

[37] Philosophische Probleme der modernen Naturwissenschaft, Berlin 1962, S. 382.

3.4. Kausalität und Gesetz

Wir haben die Kausalität als die direkte konkrete Vermittlung des Zusammenhangs zwischen Erscheinungen und Prozessen betrachtet, wobei der eine die Veränderung des anderen hervorbringt. Wir hatten außerdem gesehen, daß im Kausalgesetz die Durchgängigkeit des objektiven Zusammenhangs der Prozesse und Erscheinungen, ihre gegenseitige Bedingtheit ausgesagt wird. Das bedeutet keinesfalls den Zusammenhang jedes Prozesses mit jedem im unendlichen Universum, sondern entsprechend dem Prinzip der Nahwirkung, daß jede Veränderung materiellen Ursprungs ist. Dabei ist die Kausalität die fundamentale, weil direkte und konkrete Form des Zusammenhanges. Wir haben es jedoch bei unseren Untersuchungen stets mit einer Gesamtheit von Kausalbeziehungen zu tun. Deshalb lautet die erste Frage, die zu beantworten ist: Wie müssen wir die kausale Bedingtheit im Experiment zur Erkenntnis des objektiven Zusammenhanges ausnutzen? Diese Frage hatten wir dahingehend beantwortet, daß wir im Experiment aus der Wechselwirkung eines Systems bestimmte Zusammenhänge dadurch [233] erkennen können, daß wir mit einer definierten Ursache auf das System einwirken, eine definierte Wirkung erhalten und daraus auf das System schließen können. Wir schließen also von der Wirkung auf das zu erkennende System. Berechtigung dafür erhalten wir aus dem in der Praxis bestätigten Kausalgesetz. Die zweite zu stellende Frage ist: Gibt es allgemeine Beziehungen und andere Formen des Zusammenhanges, die uns die Gesamtheit von Kausalbeziehungen differenzieren lassen? Die Antwort darauf gibt die Wissenschaft mit der Aufdeckung der objektiven Gesetze als der Widerspiegelung objektiver Beziehungen einer Gesamtheit von Kausalrelationen. Mit diesem Problem wollen wir uns noch etwas beschäftigen, weil es uns Antwort auf die Frage nach dem Verhältnis von Determinismus und Kausalität gibt.

Man könnte noch eine weitere Frage stellen: Gibt es neben den Kausalbeziehungen noch andere fundamentale Beziehungen zwischen den Erscheinungen und Prozessen? Diese Frage muß man mit Nein beantworten. Neben der konkreten zeitlich gerichteten direkten Vermittlung des objektiven Zusammenhanges zwischen zwei Erscheinungen gibt es keine andere Beziehung. Die weiteren objektiven Beziehungen sind Beziehungen einer Gesamtheit von Kausalrelationen, die den Platz bestimmter Relationen in der Gesamtheit bestimmen. Eine andere Vermittlung könnte nur noch der Idealismus annehmen, indem er ideelle Prinzipien der Veränderung objektiver Erscheinungen anerkennt (z. B. Neothomismus). Das wäre die Leugnung der Kausalität und ist deshalb hier undiskutabel.

Wir hatten gesehen, daß die Bestimmung des Verhältnisses von Kausalität und Gesetz auch entscheidend für die Haltung zum Determinismus ist. Der prinzipielle Unterschied zwischen existierenden und zukünftigen Kausalbeziehungen macht es unmöglich, mit Hilfe des Kausalgesetzes allein Aussagen über die Zukunft zu machen. Das Kausalgesetz besagt nur, *daß* alle Erscheinungen in der Zukunft kausal bedingt sind. Uns kommt es aber auf Aussagen an, die zeigen, *wie* zukünftige Ereignisse bestimmt sind. Die Gesetze der klassischen Mechanik lieferten uns dabei Aussagen, nach denen ein Zustand eines physikalischen Objekts notwendig aus dem vorhergehenden Zustand folgte. Diese Form des Gesetzes, die die direkte Abhängigkeit eines zukünftigen Zustandes von einem gegenwärtigen in der Zeit aussagt, wurde als dynamisches Gesetz bezeichnet. Es wurde in der modernen Physik vor allem vom statistischen Gesetz unterschieden, nach dem keine direkte notwendige Verbindung des zukünftigen Zustandes des Einzelobjekts mit dem gegenwärtigen mehr besteht.

Beiden Arten von Gesetzen liegen Kausalbeziehungen zugrunde. Dabei gibt es bei der statistischen Verteilung von Elementarobjekten auf einem [234] Schirm keine direkte Beziehung zwischen den Objekten. Das ergibt sich vor allem aus den Versuchen, die die Verteilung auch erreichten, obwohl die Elementarteilchen nacheinander durch den Spalt gingen (Biber,

Suschkin, Fabrikant). Das bedeutet natürlich nicht, daß eine solche Verbindung überhaupt ausgeschlossen ist. Sie trägt jedoch für die Verteilung zufälligen Charakter. Wesentlich ist die innere Struktur der Objekte und ihre direkte Wechselwirkung mit der Umgebung. Die dabei vorhandene Gesamtheit von Kausalbeziehungen führt zur notwendigen Verteilung auf dem Schirm. Um ein Gesetz zu finden, muß man allgemeine, wesentliche und notwendige Beziehungen aufdecken. Solche Beziehungen haben wir zwischen der Kraft und der Beschleunigung in der klassischen Physik ($F = m \cdot a$). Im Grundgesetz der Mechanik wird ein allgemeiner Zusammenhang mit der Proportionalität von Kraft und Beschleunigung ausgesagt. Dieser Zusammenhang ist notwendig, d. h., bei Krafteinwirkung muß unbedingt Beschleunigung auftreten und bei Beschleunigung unbedingt Krafteinwirkung vorliegen. Der Zusammenhang ist wesentlich; mit ihm erfaßt die klassische Mechanik die Bewegungsänderung.

In diesem Sinne unterscheiden sich die Gesetze der klassischen Mechanik nicht von denen der Quantenmechanik oder Quantenelektrodynamik. Auch die Schrödingergleichung erfaßt im Bereich der Quantenmechanik allgemeine, notwendige und wesentliche Beziehungen. Die Gesetze stellen die Verbindung zwischen vergangenen und zukünftigen Kausalbeziehungen her. Aus der Analyse einer Gesamtheit von Kausalbeziehungen in verschiedenen Experimenten erhalten wir allgemeine, wesentliche und notwendige Beziehungen, die uns Aussagen über die Zukunft gestatten. Dabei gibt es auch Unterschiede zwischen der klassischen und der modernen Physik. Jedes relativ isolierte Objekt der klassischen Physik verwirklichte notwendig die eine im Gesetz angegebene Möglichkeit. In der modernen Physik gibt es eine Möglichkeit nur für das Verhalten des Systems. Aus ihr ergeben sich Wahrscheinlichkeiten für jedes Element, die von ihm zufällig verwirklicht werden. Gelingt es nun, die physikalischen Objekte relativ voneinander zu isolieren, indem ihre innere Struktur aufgedeckt wird, dann haben wir wesentliche Beziehungen, die eine Art von Objekten von der anderen unterscheidet. Sie zur Grundlage für die Beschreibung der Bewegung genommen, ermöglicht die Aufdeckung dynamischer Gesetze für das Verhalten der Einzelobjekte. Diese Gesetze tragen statistischen Charakter für das Verhalten der Bestandteile der inneren Struktur dieser Objekte. Gleichzeitig werden durch das Aufdecken der dynamischen Gesetze für die Einzelobjekte die statistischen Gesetze nicht aufgehoben. Die Gruppe der Einzelobjekte steht in dem heute durch die statistischen Gesetze ausge-[235]rückten Zusammenhang. Aber diese Frage soll hier gar nicht eingehend analysiert werden. Sie ist eben nicht, wie manche Physiker annahmen, für die Bestimmung des Verhältnisses von Kausalität und Gesetz entscheidend. In jedem Gesetz wird eine Gesamtheit von Kausalzusammenhängen widergespiegelt. Diese Widerspiegelung erfolgt durch die Aussage von zeitlichen und räumlichen Abhängigkeiten und bestimmten Proportionalitäten verschiedener physikalischer Größen. Entscheidend dafür, daß es sich um ein Gesetz handelt, ist die Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit der Aussage und daß es wesentliche Beziehungen widerspiegelt.

Man könnte meinen, daß es nun auch eine Art von kausalen Gesetzen gäbe, von denen man die nicht-kausalen Gesetze abgrenzen müsse. Wir halten das aus folgendem Grunde nicht für gerechtfertigt: Erstens unterscheiden sich Gesetz und Kausalität gerade dadurch voneinander, daß die Kausalität die konkrete undifferenzierte Vermittlung des Zusammenhangs hervorhebt, das Gesetz dagegen bestimmte Zusammenhänge, die vor allem allgemeinen Charakter tragen. Das Gesetz widerspiegelt einen allgemeinen, Kausalität einen einzelnen, nicht wiederholbaren Zusammenhang. Zweitens ist im Gesetz die Symmetrie der physikalischen Vorgänge wesentlich. Es geht dort die für die Kausalität charakteristische zeitliche Gerichtetheit nicht ein. Selbst die sogenannten kausalen Gesetze der klassischen Mechanik widerspiegelten nur indirekt die Kausalität. Sie waren symmetrisch. Drittens wird die Allgemeingültigkeit solcher Gesetze, die eine zeitliche Gerichtetheit aussagen, wie der Entropiesatz, bestritten. Dieses Gesetz wird möglicherweise in einem umfassenderen Gesetz aufgehoben, das die Ab-

bauprozesse mit entsprechenden Aufbauprozessen verbindet. Wie wir bisher stets bei der Durchbrechung von Symmetrien und damit von Invarianzen sahen, kann man die Symmetrie und Invarianz auf höherer Ebene wiederherstellen. In jedem Falle, wenn die Wissenschaft zeitweilig von der Durchbrechung von Erhaltungssätzen sprach, die wir aus Symmetrieprinzipien ableiten, gelang es oder wird es gelingen, die Gültigkeit umfassender Erhaltungssätze nachzuweisen. Eine solche Vermutung sprach auch Prof. Yang in seinem Nobelvortrag 1957 für die Nichtparität bei schwachen Wechselwirkungen aus. Nun häufen sich in letzter Zeit Beobachtungen zur Nichterhaltung von Symmetrien. Denken wir beispielsweise an den Zerfall des K_2^0-Mesons. Diese bisher allgemein praktizierte Haltung zur Symmetrie schließt eine andere Hypothese nicht aus. Es wird vielleicht in der Zukunft möglich sein, entsprechend dem Entropiesatz und der Expansion des Weltalls Gesetze asymmetrischen Verhaltens zu formulieren. Aber darauf wird später noch einzugehen sein.

Wir hatten bereits davon gesprochen, daß der mechanische Determinismus [236] sich eng nur auf eine Form der Gesetze stützte. Der dialektische Determinismus befreit den Kausalitäts-, Determinismus- und Gesetzesbegriff von seiner mechanistischen Beschränktheit. Er hebt hervor, daß die klassische Kausalitätsauffassung einseitig war. Sie hob die notwendige Verbindung zwischen einer bestimmten Ursache und einer bestimmten Wirkung hervor und betrachtete die Welt als Summe dieser Kausalbeziehungen. Dabei verstehen wir unter Determinismus die Anerkennung der Bedingtheit (kausale Abhängigkeit) und Bestimmtheit (Struktur) der Dinge und Erscheinungen im Gesamtzusammenhang. Grundlegend im Determinismus ist die Anerkennung der fundamentalen Form des objektiven Zusammenhanges, des Kausalzusammenhanges. Da jedoch jede Kausalrelation nur ein Moment des Zusammenhanges ist, sind für die Durchsetzung einer Kausalrelation die mit ihr zusammenhängenden Kausalrelationen entscheidend. Die Gesamtheit dieser Relationen nennen wir Bedingungen für die Durchsetzung der einen Relation. Indem wir von unwesentlichen, zufälligen Zusammenhängen abstrahieren, heben wir im Gesetz die allgemein-notwendigen, d. h. reproduzierbaren und wesentlichen, d. h. den Charakter der Erscheinung bestimmenden Zusammenhänge hervor. Wir widerspiegeln damit bestimmte Beziehungen einer Gesamtheit von Kausalrelationen. Auch die Gesetze gelten nur unter bestimmten wesentlichen Bedingungen. Sie ermöglichen uns Voraussagen für die Zukunft. Unter den für die Gültigkeit des Gesetzes wesentlichen Bedingungen werden die im Gesetz ausgesagten Zusammenhänge auch in der Zukunft auftreten. Damit haben wir eine Aussage über das Wie zukünftiger Ereignisse. Das Gesetz umfaßt dabei nur die notwendig sich verwirklichenden Möglichkeiten in ihrer Allgemeinheit. Erstens verwirklicht sich dieser gesetzmäßige Zusammenhang in Zufällen. Zweitens können vollkommen neue, bisher unbekannte Phänomene auftreten, deren gesetzmäßige Zusammenhänge es erst zu finden gilt. Drittens verwirklichen sich auch zufällig bestimmte Möglichkeiten, die unwesentlich sind oder, wenn sie wesentlich werden, in den vorher genannten Bereich fallen.

Dabei widerspiegeln die Gesetze im wesentlichen vor allem zwei Seiten der Wirklichkeit, die wir im Determinismus bereits formulierten. In den Gesetzen der Bewegung (dynamische oder statistische) erfassen wir die Abhängigkeit eines Zustandes vom anderen in der Zeit und die zeitliche Veränderung eines Zustands. In den Strukturgesetzen heben wir die räumliche Abhängigkeit, die Koexistenz bestimmter Erscheinungen hervor. So ist das von Kusnezow hervorgehobene Gesetz von der Proportionalität der Wärmeleitfähigkeit zur elektrischen Leitfähigkeit der Metalle ein solches Strukturgesetz, das die proportionale Verbindung zweier gleichzeitig vorhande-[237]ner Eigenschaften betont. Kusnezows Behauptung, daß es sich jedoch nicht direkt auf eine Kausalbeziehung bezieht, ist einseitig.[38] Jedes Gesetz widerspiegelt Kau-

[38] Vgl. I. W. Kusnecov, in: Probleme der Kausalität in der modernen Physik, S. 112 f.

salzusammenhänge, wie er an anderer Stelle richtig betont.[39] Aber kein Gesetz bezieht sich auf *einen* direkten Kausalzusammenhang. Das Gesetz erfaßt vermittelte Kausalzusammenhänge, deren innerer Zusammenhang selbst eine Gesamtheit von Kausalrelationen ist. Sowohl Struktur- als auch Bewegungsgesetze widerspiegeln Kausalzusammenhänge. Jede Struktur ist das Ensemble von Kausalzusammenhängen. Dabei handelt es sich bei der Bedingtheit und der Bestimmtheit der Dinge und Erscheinungen nicht um zwei voneinander isolierte Seiten des objektiven Zusammenhangs. Wäre das der Fall, so könnte man davon sprechen, daß die Gesetze, die die zeitliche Abhängigkeit zweier Zustände voneinander oder den zeitlichen Verlauf eines Zustands ausdrücken, sich direkt auf einen Kausalzusammenhang beziehen und die Strukturgesetze nicht. Unseres Erachtens hieße das ungenügend den Zusammenhang beider Seiten berücksichtigen. Entscheidend im dialektischen Determinismus ist die Anerkennung der kausalen Bedingtheit der Erscheinungen. Bestimmend im Gesamtzusammenhang ist die Veränderung. Das ergibt sich erstens daraus, daß die Bewegung absolut ist. Zweitens besteht ein in Strukturgesetzen ausgedrückter Zusammenhang nur, weil es sich um einen Zusammenhang sich bewegender Elemente handelt. Die allgemeine Aussage über die Struktur hebt nicht die über den kausalen Zusammenhang der untersuchten Strukturelemente mit ihrer Umgebung auf. Drittens ist aber die Kausalität gerade der Ausdruck der Bewegung. Bewegung im allgemeinsten philosophischen Sinne bedeutet Veränderung. Veränderung ist aber kausaler Zusammenhang zwischen verschiedenen Seiten, Elementen, Erscheinungen. So fordert der dialektische Determinismus einerseits die Anerkennung der objektiven Kausalität. Andererseits untersucht er das System der Kausalitätsbeziehungen und deckt neue Beziehungen auf, wie Gesetz, Durchsetzung der Notwendigkeit im Zufall und Verwirklichung von Möglichkeiten. Kausalität und Determinismus gehören zwar zusammen, sind jedoch nicht identisch. Die Anerkennung der objektiven Kausalität ist die Grundlage des Determinismus. Sie liefert jedoch noch nicht die aus einer Gesamtheit von Kausalbeziehungen sich ergebenden Formen des Zusammenhanges. Diese müssen auch in der Elementarteilchenphysik genau analysiert werden. Die grundsätzlichen Ausführungen zum Verhältnis von Kausalität und Gesetz sind die philosophischen Voraussetzungen der weiteren Betrachtun-[238]gen. Im Mittelpunkt des dialektischen Determinismus stehen das Verhältnis von Kausalität und Gesetz, die Typen der Gesetze, die Formen des Zusammenhangs und die Bedingungen für die Gültigkeit des Gesetzes.[40]

4. Voraussetzungen und Grenzen der Lokalität

Um den philosophischen Gehalt der Kausalitätsproblematik in der Elementarteilchentheorie erfassen zu können, müssen wir uns mit den theoretischen Voraussetzungen und den möglichen Grenzen für die Anwendbarkeit des Lokalitätsprinzips befassen. Damit ist vor allem zu klären, was wir unter Kausalität in Form der Lokalität verstehen. Bedeutung hat dafür der vierdimensionale Abstand Δ_S zweier raumzeitlicher Ereignisse P^1 und P^2, als fundamentale Invariante der Lorentz-Transformation.[41] Die Ereignisse werden nach Minkowski Weltpunkte genannt. Sie entsprechen einem Raumpunkt im dreidimensionalen Raum zu einer bestimmten Zeit. Die Bestimmung der Ereignisse durch diese Weltpunkte ermöglicht eine eindeutige Unterscheidung verschiedener Ereignisse. Jedes Ereignis ist lokalisiert. Die Invariante lautet:

$$(\Delta x^1)^2 + (\Delta x^2)^2 + (\Delta x^3)^2 + (\Delta x^0)^2 = (\Delta s)^2 = \eta_{\mu\nu}\, \Delta x^u\, \Delta x^v.$$

(Die Indizes μ, ν laufen von 0 bis 3; $\eta_{\mu\nu}$ ist der Minkowskische metrische Tensor der Raum-Zeit-Welt; $x^0 = ict$.)

[39] Vgl. ebenda, S. 118.

[40] Die Rolle statistischer Gesetze, das Verhältnis von Gesetz und Bedingungen und das Verhältnis von Gesetz und Zufall sowie die Differenzierung der Zufälle und Bedingungen werden ausführlich behandelt in: H. Hörz, Der dialektische Determinismus in Natur und Gesellschaft, Berlin 1971.

[41] Diese Darstellung der Kausalität ist enthalten in: H.-J. Treder, Relativität und Kosmos, Berlin 1968, S. 18 ff.

Dieser Abstand unterscheidet sich von dem vierdimensionalen räumlichen Abstand im Euklidischen Raum durch das Vorzeichen des Zeitkoordinatenquadrats, das hier negativ ist, während im Euklidischen Raum alle Koordinatendifferenzquadrate positives Vorzeichen hätten. Treder hebt nun noch hervor, daß im Euklidischen Raum alle transformationsinvarianten partiellen Differentialgleichungen vom elliptischen Typ sind, während in der Minkowski-Welt die Lorentzinvarianten partiellen Differentialgleichungen hyperbolischen Charakter tragen. Die ersteren bestimmen einen stationären Zustand und die letzteren den Ablauf von Ereignissen, weshalb die Minkowski-Welt die Welt der physikalischen Prozesse ist.

[239] Wenn man nun für einen Weltpunkt P mit $x^{\nu} = 0$ alle Ereignisse betrachtet, die auf P einwirken können oder auf die P einwirkt, so erhalten wir für beide Gruppen von Ereignissen zwei Halbkegel. Der passive Halbkegel, der die Ereignisse umfaßt, die auf P einwirken können, hat die Form:

$$(x^1)^2 + (x^2)^2 + (x^3)^2 - (x^0)^2 \leqq 0,\ x^0 < 0.$$

Für den aktiven Kegel, also die Ereignisse, auf die P einwirken kann, ergibt sich:

$$(x^1)^2 + (x^2)^2 + (x^3)^2 - (x^0)^2 \leqq 0,\ x^0 > 0.$$

Alle Ereignisse, schreibt Treder, „mit denen P in einem Kausalzusammenhang steht, (bilden) einen vollen Kegel, den Minkowskischen Kausalitätskegel, dessen Vertex P ist ...“ Der Kegelmantel entspricht den Wirkungen, die sich mit der Lichtgeschwindigkeit c fortpflanzen, wobei c eine Lorentzinvariante ist, was auf Einsteins Prinzip von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit führt, nach dem die Geschwindigkeit des Lichts in bezug auf jeden beliebigen Körper immer den Betrag c hat. Nach diesen Erläuterungen fährt Treder fort: „Das Einsteinsche Kausalitätsprinzip besagt weiter, daß es keine Wirkungen gibt, die sich schneller als mit Lichtgeschwindigkeit fortpflanzen. Daher besteht zwischen P und allen Weltpunkten P', die der Ungleichung

$$(x^1)^2 + (x^2)^2 + (x^3)^2 - (x^0)^2 > 0$$

genügen, keinerlei Kausalbeziehung. Die Ungleichung ... bestimmt das Äußere des Minkowskischen Kegels. Ein Kausalnexus zwischen einem Punkt P' dieses Außengebietes und P würde eine Bewegung mit über Lichtgeschwindigkeit entsprechen. Die Ereignisse P'... haben ... keine zeitliche Ordnung in bezug auf P.“[42] Mit dem Problem der zeitlichen Ordnung werden wir uns später noch beschäftigen. Wie wir schon gesehen haben, spielt es in der philosophischen Diskussion um die Kausalität eine wichtige Rolle. Kausal miteinander verbundene Ereignisse müssen zeitlich gerichtet sein. Da es hier nur um die raum-zeitliche Struktur der Kausalbeziehungen geht, die die Möglichkeit kausalen Verhaltens bestimmen, können wir die inhaltliche Richtung, die von der Ursache zur Wirkung geht und beispielsweise im Energieerhaltungssatz bei der qualitativen Umwandlung eine Rolle spielt, noch außer acht lassen.

Für Treder ergibt sich aus den bisherigen Ausführungen der enge Zusammenhang zwischen Minkowski-Welt und Kausalstruktur: „Die spezielle Relativitätstheorie und insbesondere das Einsteinsche Kausalitätsprinzip [240] identifizieren die Struktur der Minkowski-Welt mit der Struktur des Kausal-Zusammenhangs von physikalischen Ereignissen. Die Geometrie der Minkowski-Welt ist identisch mit der Struktur des Kausalnexus, der zwischen physikalischen Ereignissen besteht.“[43] Die Minkowski-Welt gibt den Rahmen für physikalisch mögliche Zusammenhänge, wobei der mögliche Zusammenhang eine notwendige Bedingung für Kausalverhältnisse ist. Innerhalb dieses Rahmens, der die möglichen Einwirkungen von Ereignissen auf Punkt P und vom Ereignis P auf andere erfaßt, muß jedoch die Kausalitätsbeziehung

[42] Ebenda, S. 20.
[43] Ebenda, S. 21.

genauer gefaßt werden. Sie ist bisher durch die Einwirkung von Punkt zu Punkt bestimmt, wobei es keine Wirkungen gibt, die sich schneller als mit Lichtgeschwindigkeit fortpflanzen, und auch keine Ursache kann mit Überlichtgeschwindigkeit Wirkungen hervorrufen.

Man kann aus den bisherigen Ausführungen bereits einige theoretische Voraussetzungen für die Anwendung dieses spezifischen Kausalitätsprinzips bestimmen, das sich aus der speziellen Relativitätstheorie ergibt:

Erstens existiert für die Verursachung von Wirkungen eine Grenzgeschwindigkeit, nämlich die Lichtgeschwindigkeit, die den universellen denkbaren Zusammenhang zwischen allen Ereignissen auf den objektiven Zusammenhang einschränkt, bei dem es keinen materiellen Bereich gibt, der nicht durch materielle Prozesse mit anderen Bereichen verbunden ist. Der Kausalitätskegel umfaßt das Gebiet möglicher Verursachungen von Wirkungen auf *P* oder durch *P*.

Zweitens wird damit das Gebiet möglicher Wirkungen von dem Gebiet physikalisch nicht möglicher Wirkungen scharf getrennt. Berücksichtigt man jedoch die Ausdehnung der wechselwirkenden Objekte, dann wird diese Grenze nicht so scharf, sondern mehr verschwommen sein.

Drittens erfolgt die Verursachung der Wirkung durch die Einwirkung eines Weltpunkts auf den anderen. Kausale Beziehungen können durch Weltlinien, d. h. Verbindungslinien zwischen Weltpunkten, charakterisiert werden.

Viertens muß die Lokalisierung der Ereignisse vorgenommen werden. Ein Ereignis ist dabei nur durch seine raum-zeitlichen Beziehungen und nicht durch seine innere Struktur, seinen inneren Mechanismus charakterisiert. Der Zusammenhang wird ja auch nur als raum-zeitlicher und nicht als inhaltlicher Zusammenhang, der das Einwirken eines Ereignisses mit einer bestimmten Struktur auf ein anderes mit einer anderen Struktur und deren wirkliche physikalische Wechselwirkung erfaßt, bestimmt.

Fünftens ist keine Zeitrichtung ausgezeichnet. Bei Berücksichtigung der [241] Gravitation in der allgemeinen Relativitätstheorie ändert sich jedoch die Form des Lichtkegels, und es können bestimmte Asymmetrien zur Definition einer Zeitrichtung genutzt werden. Treder schreibt dazu: „Wegen ihrer Homogenität und Isotropie ist jedes Gebiet der Minkowski-Welt jedem anderen Gebiet dieser Welt ähnlich. Insbesondere ist die Struktur des Kausalnexus und damit die Struktur der Lichtkegel im Infinitesimalen ähnlich der in endlichen Gebieten und auch ähnlich derjenigen im Großen.

Hingegen hat der Riemannsche V_4 der allgemeinen Relativitätstheorie nur im Infinitesimalen Minkowskische Struktur. Die Struktur der Lichtkegel und somit die Struktur des Kausalnexus zwischen den Ereignissen ergibt sich für endliche Bereiche jedoch erst aus den Einsteinschen Gleichungen ... Die Symmetrie der Vor- und Nachkegel bringt die Symmetrie der speziell relativistischen Gleichungen gegenüber den Spiegelungen $t \rightarrow -t$ der Zeit (Umkehrung der Zeitrichtung) zum Ausdruck ... In der Minkowski-Welt gilt diese Zeitsymmetrie global. Es gibt in ihr also keine ausgezeichnete Zeitrichtung und somit keinen mathematischen Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft – im Widerspruch zur physikalischen und allgemeinen Erfahrung.“[44] In diesen Voraussetzungen sind einige enthalten, die die philosophischen Aussagen zur Kausalität schärfen und präziser, aber damit auch eingeengter fassen, während bestimmte philosophische Aussagen nicht in der physikalischen Präzisierung enthalten sind. So schreibt die philosophische Kausalitätsauffassung keine punktuelle Lokalisierung der Prozesse vor, dagegen verlangt sie die zeitliche und inhaltliche Gerichtetheit kausaler Ereignisse.

[44] Ebenda, S. 57 f.

Auf solche Unterschiede weist auch Baraschenkow hin, wenn er schreibt: „Im allgemeinen wird das Kausalitätsprinzip als Anerkennung dessen formuliert, daß jede Erscheinung notwendig eine andere Erscheinung hervorbringt – ihre Wirkung, und umgekehrt: jede Erscheinung wurde unbedingt durch irgendeine andere Naturerscheinung hervorgerufen – ihre Ursache. Es gibt zur Zeit keine Gründe, an der Richtigkeit dieses Prinzips zu zweifeln, jedoch benutzt man in der Feldtheorie eine engere Formulierung von ihm, die in der Annahme besteht, daß in beliebig kleinen raumzeitlichen Gebieten die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Signale die Lichtgeschwindigkeit nicht übersteigt; dabei kann jedes beliebige Ereignis, das in einem physikalischen System vor sich geht, Einfluß auf den Lauf der Entwicklung dieses Systems nur in der Zukunft ausüben und keinen Einfluß auf das Verhalten dieses Systems in den Zeitmomenten erweisen, die der gegebenen Erscheinung vorangingen ... die Forderung dieser ‚Mikro-[242]kausalität' begrenzt wesentlich die Theorie und gibt damit aber die Möglichkeit, eine Reihe wesentlicher, an der Erfahrung überprüfter Resultate zu erhalten, darunter die Schlüsse der Dispersionsrelationen zu begründen."[45] Bei der Bemerkung zum philosophischen Kausalitätsprinzip ist der Unterschied zwischen dem Prinzip und der Kausalitätsrelation zu beachten, der im vorhergehenden Abschnitt dargelegt wurde. Die Formulierung, daß jede Erscheinung notwendig eine andere Erscheinung hervorbringt, kann richtig interpretiert werden, kann aber auch in bestimmten Konzeptionen zum mechanischen Determinismus führen. Aber für die angeführten Betrachtungen ist das nicht wesentlich, da der Hinweis auf den Unterschied zwischen philosophischen und engeren physikalischen Kausalitätsforderungen völlig berechtigt ist.

Heisenberg stellt die Frage nach dem Widerspiegelungscharakter unserer Kausalitätsauffassung gegenüber den objektiven Vorgängen in der Natur: „Der Begriff Kausalität ist hier gemeint im Sinne der speziellen Relativitätstheorie: Wirkungen werden von Punkt zu Punkt entlang dem Lichtkegel fortgepflanzt (Nahewirkung); die Zeitordnung von Ursache und Wirkung wird niemals in Frage gestellt. Es ist wohlbekannt, daß diese Art von lokaler Kausalität nicht mit dem statistischen Charakter der Quantenmechanik in Konflikt zu geraten braucht; und es wäre außerordentlich wichtig zu wissen, in welchem Umfang die wirklichen Vorgänge in der Natur diesem Kausalitätsschema folgen."[46] Es ist eine wichtige Aufgabe physikalischer Forschungsarbeit, solche Kausalitätsprinzipien zu formulieren, die den Vorgängen in der Natur immer besser angepaßt sind. Kausalität stellt keine a-priori-Forderungen an die Natur und ihre Erkenntnis, sondern ist im materialistischen Sinn eine Widerspiegelung der objektiven Kausalbeziehungen, die es immer besser zu erkennen gilt. Deshalb müssen auch die bereits aufgestellten Kausalitätsforderungen stets aufs neue analysiert werden. Eine gewisse theoretische Hilfe kann dabei die Untersuchung des Unterschieds zwischen allgemeinen philosophischen und speziellen physikalischen Forderungen geben, weil die Präzisierung physikalischer Kausalitätsauffassungen zugleich eine Annäherung an philosophische Forderungen darstellt, die im dialektischen Determinismus, ausgehend nicht nur von der Analyse der Physik, sondern auch anderer Wissenschaften und des gesellschaftlichen Lebens, formuliert werden.

[243] Hier geht es jedoch um die mit der lokalen Kausalität verbundenen Probleme, die immer unter dem Aspekt betrachtet werden, daß philosophische und physikalische Kausalitätsforderungen sich voneinander unterscheiden. Heisenberg zieht aus den bisherigen Experimenten für die lokale Kausalität folgende Schlüsse: „1. Vorgänge können nur mit einer Ungenauigkeit von $\sim 0{,}5 \times 10^{-13}$ cm lokalisiert werden. Dies ergibt sich aus der Tatsache, daß in Streuprozessen die größeren transversalen Momente offenbar nach einer Gauß-Verteilung von der Form $e = \frac{p^2}{p^2 0}$ verteilt sind mit $p_0 \sim 400$ MeV/c; dies scheint selbst für die höchsten

[45] W. S. Baraschenkow, Dispersionsanalyse elastischer Streuung der Teilchen im Gebiet hoher Energie, S. 4.
[46] W. Heisenberg, Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen, S. 10.

Primärenergien bis herauf zu 10^5 GeV zu gelten. Dann begrenzt auf Grund der Unbestimmtheitsrelationen p_0 die erreichbare Genauigkeit der Ortsmessungen.

2. Trotz dieser Begrenzung sind die Voraussagen, die man aus der Annahme einer genauen lokalen Kausalität im relativistischen Sinne (Dispersionsrelationen usw.) ableitet, niemals durch die Erfahrung widerlegt worden. Man kann natürlich argumentieren, daß wegen der eben besprochenen Begrenzung die Experimente die lokale Kausalität auch nicht beweisen. Aber vom mathematischen Standpunkt aus ist die lokale Kausalität ein besonders einfacher Begriff und es ist wichtig, sich klarzumachen, daß in den Experimenten bisher kein Widerspruch gegen diese Annahme aufgetreten ist.“[47] Heisenberg bemerkt zu den experimentellen Ergebnissen im Punkt 1, daß die Streuung von Leptonen mit äußerst hoher Energie, worunter er mindestens einige GeV versteht, noch nicht beobachtet worden ist. Deshalb kann man die Möglichkeit nicht ausschließen, daß dort eine andere Verteilung eine Rolle spielt und damit eine neue Situation entsteht. Darüber kann aber noch nichts gesagt werden.

Nach Heisenberg verweisen die Experimente also einerseits auf mögliche Grenzen der Lokalisierbarkeit und widersprechen andererseits nicht den Ergebnissen, die sich aus den Theorien ergeben, denen die Annahme der lokalen Kausalität zugrunde gelegt wird. Da jedoch bisher keine Grenzen der Lokalisierbarkeit experimentell direkt aufgewiesen worden sind oder anders ausgedrückt, nichtlokale Effekte bisher nicht gefunden wurden, ist die Scheu mancher Physiker vor nichtlokalen Theorien zu verstehen. In den bisher untersuchten Bereichen müssen die Folgerungen aus nichtlokalen Theorien mit denen aus lokalen übereinstimmen. Andere Effekte wurden aber bisher nicht festgestellt. Trotzdem kann man die möglichen Grenzen für die Anwendbarkeit der Lokalität nicht von vornherein aus den Überlegungen ausschließen. Schon gar nicht kann man sich dabei auf philoso-[244]phische Gründe berufen, da die Forderung der Lokalität enger ist als die philosophische Kausalitätsforderung. Um das noch genauer darlegen zu können, müssen wir uns kurz mit der mathematischen Darstellung von Wechselwirkungsprozessen befassen, wie sie in der *S*-Matrix vorliegt.[48] Heisenberg bemerkt dazu: „Die *S*-Matrix stellt in einem Streuprozeß eine Beziehung zwischen Anfangs- und Endzustand, zwischen den ankommenden und den auslaufenden Teilchen her. Deshalb ist die *S*-Matrix ein erstes und besonders wichtiges mathematisches Werkzeug für eine wenigstens phänomenologische Beschreibung der Wechselwirkung. Vom mathematischen Standpunkt aus ist die *S*-Matrix eine unitäre Transformationsmatrix, die von dem asymptotischen Anfangszustand zu dem asymptotischen Endzustand transformiert:

$$| \text{ein} > = S \, | \text{aus} > \, , \; | \text{aus} > = S^{-1} \, | \text{ein} >$$

oder in etwas verschiedener Bezeichnung

$$S = | \text{ein} > < \text{aus} |.\text{“}$$[49]

Die *S*-Matrix erfüllt die Bedingung der Unitarität. Dadurch werden Anfangs- und Endzustand miteinander verknüpft, und die *S*-Matrix-Elemente können mit dem Experiment verglichen werden. Außerdem muß die *S*-Matrix invariant gegenüber der gleichen Gruppe sein, gegenüber der auch das zugrunde liegende Naturgesetz invariant ist. „Außer der Unitarität und der Invarianz gegenüber den fundamentalen Gruppen“, schreibt Heisenberg, „muß die *S*-Matrix auch eine mathematische Darstellung der Kausalität enthalten, d. h. jener Beziehung zwischen Ursache und Wirkung, die aus der speziellen Relativitätstheorie folgt. Dies ist notwendig, da die *S*-Matrix ja eine vollständige Konstruktion der auslaufenden Zustände aus den

[47] Ebenda, S. 10 f.
[48] Zur Entwicklung der *S*-Matrix-Theorie und nichtlokaler Theorien vgl. A. N. Vjalzew, Diskrete Raum-Zeit, Moskau 1965 (russ.).
[49] W. Heisenberg, Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen, S. 14.

einlaufenden Zuständen gestattet.“[50] Da nach der Kausalitätsforderung die Wechselwirkung nur von einem Punkt zum Nachbarpunkt führt, sind vor allem Lösungen der Differentialgleichungen interessant, die für kurze Zeit im kleinen Raumgebiet konzentriert sind. Dabei treten positive und negative Frequenzen in der Fouriertransformierten dieser Lösungen auf, weshalb die asymptotischen Operatoren sowohl als Erzeugungs- als [245] auch als Vernichtungsoperatoren interpretiert werden. Wenn man nun einen der asymptotischen Operatoren aus einem Erzeugungs- zu einem Vernichtungsoperator macht und ihn von einem Ein- in einen Aus-Operator verwandelt, kommt man zu einem verschiedenen *S*-Matrix-Element mit derselben Zahl von Operatoren. Heisenberg schreibt dazu: „Im Falle einer strengen lokalen Kausalität sind diese beiden Matrix-Elemente, wenn man sie als analytische Funktionen der Koordinaten in den asymptotischen Operatoren betrachtet, durch analytische Fortsetzung miteinander verknüpft. Diese Beziehung wird gewöhnlich als ‚Kreuz-Symmetrie‘ (crossing symmetry) bezeichnet und scheint gut mit den vorhandenen Beobachtungen übereinzustimmen. Mathematisch kann sie aber erst analysiert werden, wenn man für die Berechnung der *S*-Matrix-Elemente eine allgemeinere theoretische Grundlage besitzt ... Das relativistische Kausalitätspostulat findet also eine angemessene mathematische Darstellung im analytischen Charakter der *S*-Matrix-Elemente, die dabei als Funktionen der Koordinaten der ein- und auslaufenden Teilchen betrachtet werden. Andererseits ist die Theorie der analytischen Funktionen vieler komplexer Variablen außerordentlich kompliziert. Deshalb wäre es wahrscheinlich sehr schwierig, in dieser Weise allgemeine mathematische Sätze abzuleiten, die das Verhalten der *S*-Matrix-Elemente bestimmen, die von vielen Variablen abhängen.“[51]

Wir hatten bei der Diskussion der Voraussetzungen für die lokale Kausalität schon darauf hingewiesen, daß durch den Minkowskischen Kausalitätskegel die kausalen Ereignisse von den nicht-kausalen, die außerhalb des Kegels liegen, getrennt werden. Damit ist noch keine Aussage über inhaltliche und zeitliche Richtung eines bestimmten Kausalitätsverhältnisses verbunden. Es gehörte jedoch zu den weiteren Voraussetzungen, eine genaue räumliche Unterscheidung der Ereignisse vornehmen zu können, wobei die Ereignisse punktualisiert sind. Wenn wir die Voraussetzungen der lokalen Kausalität mit der philosophischen Kausalitätsauffassung vergleichen, dann ergeben sich gewisse Unterschiede. Kausalität als die direkte, konkrete und fundamentale Vermittlung des Zusammenhangs wird nicht als Elementarvorgang in seiner Reinheit erkannt, wie das der mechanische Determinismus erwartete. Nach ihm sind die Beziehungen zwischen letzten unteilbaren Teilchen die elementaren Kausalbeziehungen. Eine solche Kausalitätskonzeption erwies sich aus den verschiedensten Gründen als nicht durchführbar. Wenn wir deshalb bei unseren Betrachtungen die Unerschöpflichkeit der Materie berücksichtigen, dann gibt es [246] keine elementarsten Kausalbeziehungen. Es wird stets die Einwirkung einer definierten Ursache auf ein System von Kausalbeziehungen, d. h. ein objektives relativ isoliertes System mit definierten Objekten und Beziehungen zwischen ihnen, untersucht, wobei eine definierte Wirkung auftritt, die Rückschlüsse auf die Beziehungen zwischen den Objekten des Systems zuläßt. Zwischen der Eingabe (Ursache) und der Ausgabe (Wirkung) besteht ein allgemein-notwendiger und wesentlicher Zusammenhang, den es zu entdecken gilt und der sich in der Vielzahl der Kausalbeziehungen durchsetzt. Damit haben wir eben gerade nicht alle Kausalbeziehungen zwischen der definierten Ursache und der definierten Wirkung gefunden, sondern das Gesetz für den Anfangs- und Endzustand eines Prozesses. Man kann hier von „Anfangs“ursache und „End“wirkung sprechen, für die nicht alle dazwischenliegenden Kausalbeziehungen untersucht werden können.

[50] Ebenda, S. 16.
[51] Ebenda, S. 17.

In dieser Konzeption des dialektischen Determinismus wird nicht vorausgesetzt, daß die Systeme, auf die eingewirkt wird und die bestimmte Wirkungen zeigen, letzten Endes auf unteilbare Objekte mit genau definierten Beziehungen zu reduzieren sind, die als elementare Kausalrelationen dann erst den Aufbau von komplizierteren Systemen gestatten. Es ist deshalb auch fraglich, ob die punktualisierten Ereignisse nicht eine zu große Idealisierung darstellen, da sie letzten Endes die Reduktion der objektiven Systeme auf punktuale Ereignisse im Sinne der Elementarbeziehungen, Elementarobjekte und damit der Elementarreaktionen sind, die mit der Konzeption der elementarsten Kausalrelationen verbunden werden können. Um die philosophischen Kausalitätsforderungen zu erfüllen, ist es vor allem wichtig, die inhaltliche und zeitliche Richtung des Kausalverhältnisses zu beachten. Dabei lösen wir mit der Kausalität den objektiven Zusammenhang in gerichtete Prozesse auf. Wir heben die Richtung in der Wechselwirkung hervor. In diesem Sinne wäre die Frage zu stellen: Gibt es eine zeitliche Richtung des kausal ablaufenden Prozesses ohne räumliche lokale Unterscheidbarkeit des Anfangs- und Endzustands dieses Prozesses? Wir wissen, daß in der Wirklichkeit kein Ereignis punktualisiert ist. Wenn wir nun noch die Überlegung dazu nehmen, daß mit dem Wirken der Ursache die Existenz der Wirkung beginnt, dann muß der kausal ablaufende Prozeß räumlich unterscheidbar von anderen Prozessen sein, aber nicht unbedingt die Elemente des Prozesses selbst. Die Zeitrichtung ergibt sich dann durch die Untersuchung der Geschichte des Prozesses, wenn nämlich das Entstehen der Ursache und die weitere Bewegung der Wirkung berücksichtigt werden. Die Zeitrichtung ergibt sich damit nicht aus dem einzelnen Kausalverhältnis, sondern aus seiner Einordnung in den objektiven Zu-[247]sammenhang, bei der sich der Anfangszustand als zeitlich dem Endzustand vorausgehend erweist. Man könnte nun idealisiert sogar ein solches zeitlich gerichtetes kausal ablaufendes Ereignis selbst als einen Punkt darstellen und die Beziehung zu anderen Punkten als gesetzmäßige Verbindung zwischen kausal ablaufenden verschiedenen Ereignissen betrachten. Da diese gesetzmäßigen Beziehungen selbst wieder nur auf der Grundlage eines Komplexes von Kausalbeziehungen existieren können, könnte man verschiedene Punkte wiederum als kausal ablaufende Ereignisse in einem Punkt lokalisieren, um die Beziehung dieses komplexen Ereignisses zu anderen Ereignissen zu betrachten. Damit wird die objektiv existierende Systemhierarchie mit ihren inneren und äußeren Beziehungen berücksichtigt. Die Kausalität erweist sich dann immer als die Grundlage für die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen den Ereignissen, die kausal ablaufen, aber lokalisiert werden, weil ihre inneren Beziehungen zwar auch kausal sind, aber für die gesetzmäßigen Zusammenhänge vernachlässigt werden können. Die Lokalisierung von Ereignissen in Weltpunkten bringt dann zum Ausdruck, daß der kausale Ablauf unberücksichtigt bleibt. Mehr noch, indem wir die Lokalisierung des Ereignisses aufheben und seine innere Struktur untersuchen, machen wir auf niederem Niveau erneut dieselbe Abstraktion. Wir versuchen zwar in dem vorher punktförmig betrachteten Ereignis Anfangs- und Endzustand räumlich zu unterscheiden, stellen aber zwischen den beiden Zuständen nicht alle Kausalbeziehungen fest, sondern die Gesetze oder das Gesetz. Damit wird das System, auf das eingewirkt und dessen Wirkung untersucht wird, wieder vernachlässigt und der Komplex von Kausalbeziehungen, den das System darstellt, nicht berücksichtigt. Es erscheint so, als ob zwischen zwei punktförmigen Ereignissen, nämlich dem Anfangs- und dem Endzustand, Gesetze ohne weitere Vermittlung existieren, was in der Wirklichkeit nicht der Fall ist. Es ist deshalb bei der Untersuchung von Kausalbeziehungen stets zweierlei zu beachten. Einerseits suchen wir zwischen zwei oder mehreren Ereignissen Kausalbeziehungen herzustellen oder die objektiven Kausalbeziehungen zu untersuchen und erkennen dabei nicht die Kausalität, sondern die auf Komplexen von Kausalbeziehungen basierenden Gesetze. Andererseits versuchen wir komplexe Ereignisse stets auf Kausalbeziehungen eines niederen Niveaus zurückzuführen, wobei wir den inneren Mechanismus, die innere Struktur bisher als punktförmig betrachteter Ereignisse erforschen wollen. Dabei kommen wir auf neue Gesetze, die das Verhalten von Objekten auf dem niederen Niveau charakterisieren.

Wenn wir nun die Unerschöpflichkeit der Materie so verstehen, daß kein niederstes Niveau existiert, dann ist die Idealisierung der Ereignisse als [248] punktförmig immer möglich, wobei die Beziehungen zwischen zwei Ereignissen immer als allgemein-notwendige und wesentliche erkannt werden müssen. Nehmen wir dagegen an, daß ein niederstes Niveau existiert, dann muß auf diesem Niveau die Lokalisierung der Ereignisse aufgegeben werden, und ihre wirkliche Ausdehnung findet Beachtung. Die auf diesem Niveau auftretenden Beziehungen hätten dann den Charakter von elementarsten Beziehungen. Da die Unerschöpflichkeit der Materie sich hier aber in der Unerschöpflichkeit der Beziehungen zeigt, müßten wiederum bestimmte Beziehungen ausgesondert werden, die als allgemein-notwendige und wesentliche Zusammenhänge die Gesetze für das Verhalten der Objekte sind.

Beiden Annahmen steht zur Zeit nichts im Weg. Die Existenz eines Subquantenniveaus, eines Fundamentalteilchenniveaus usw. würde durch die nachzuweisende Existenz der Quarks nahegelegt. Die Existenz eines niedersten Niveaus mit unerschöpflich vielen Beziehungen könnte aus dem bisherigen Scheitern der Experimente für den Nachweis der Quarks, wenn man die Ergebnisse von McCusker noch als fragwürdig bezeichnet, abgeleitet werden. Die bisherige Geschichte des Denkens und insbesondere der physikalischen Erkenntnis läßt vor allem den Gedanken an ein niederes Niveau aufkommen.

Wir sehen, wie die philosophische Analyse der Kausalitätsbetrachtungen in der modernen Physik zu weiteren philosophischen Konzeptionen führt, die in bestimmten Kausalitätsforderungen mit angelegt sind. Während für die Erkenntnis der Gesetze die räumliche Unterscheidung von Ereignissen unbedingt erforderlich ist, reicht für die Darstellung des Komplexes von Kausalbeziehungen, die dem Gesetz zugrunde liegen, möglicherweise die zeitliche und inhaltliche Gerichtetheit der Ereignisse aus. Über die inhaltliche Gerichtetheit kann nur die konkrete Erforschung physikalischer Prozesse Auskunft geben. Dafür reicht eine Betrachtung des raum-zeitlichen Rahmens für Kausalabläufe nicht aus. Sie ist wahrscheinlich in solchen Gesetzen angedeutet, die eine Durchbrechung der Symmetrie zum Ausdruck bringen. Darüber wird jedoch in dem Kapitel, das sich mit Symmetrieproblemen befaßt, noch zu sprechen sein. Die zeitliche Gerichtetheit dagegen spielt im Kausalprozeß eine Rolle, wird jedoch im Gesetz vernachlässigt. Eine andere Seite dessen, was wir über die philosophische Kausalitätsbetrachtung sagten, spielt in den physikalischen Überlegungen kaum eine Rolle. Es geht um die durch Komplexe von Kausalbeziehungen oder anders ausgedrückt durch Systeme vermittelten Beziehungen zwischen Anfangs- und Endzustand. Wird die Kausalität mit dem Gesetz identifiziert, dann erscheint es so, als ob das Gesetz den direkten [249] Zusammenhang zwischen zwei punktualisierten Ereignissen umfaßt. Eigentlich benutzen wir aber zwei verschiedene Nahwirkungsprinzipien: Einerseits geht es um die in der Kausalität zum Ausdruck gebrachte direkte Vermittlung des objektiven Zusammenhangs zwischen zwei Ereignissen. Diese direkte Vermittlung wird aber nicht in allen ihren Aspekten und auf allen existierenden Systemniveaus untersucht. Andererseits gibt es allgemein-notwendige und wesentliche Zusammenhänge, die auf der Grundlage von Kausalbeziehungen existieren und die Beziehungen zwischen dem Anfangs- und Endzustand eines Prozesses bestimmen, wobei die dazwischenliegenden konkreten und direkten Vermittlungen nicht beachtet werden. In beiden Fällen handelt es sich um Nahwirkung. Der Zusammenhang zwischen beiden Prinzipien in der Erkenntnis besteht darin, daß wir stets versuchen, in der Kausalforschung den direkten Zusammenhang zwischen Ereignissen zu erforschen und dabei die Gesetze entdecken. Das wiederum zwingt uns, zur Erklärung von Gesetzen eines Systems im höheren Niveau zum niederen Niveau überzugehen, wobei wir dieselbe Feststellung treffen können. Das Fernwirkungsprinzip dagegen stellt Beziehungen zwischen Ereignissen her, die physikalisch nicht miteinander verbunden sein können. Manchmal wird jedoch schon das zweite Nahwirkungsprinzip als Fernwirkungsprinzip bezeichnet, weil unter Nahwirkung nur die direkte Vermitt-

lung des Zusammenhangs angesehen wird, die, wie wir gesehen haben, nur die Grundlage für die Existenz von Gesetzen ist. Wenn wir den materialistischen Standpunkt zugrunde legen, dann muß jede Beziehung zwischen verschiedenen Ereignissen, soweit sie als allgemeinnotwendiger und wesentlicher Zusammenhang erkannt ist, einen Komplex direkter Vermittlungen zur Grundlage haben, die im Laufe der Zeit immer genauer erkannt werden. Insofern ist die Aufdeckung von objektiven Gesetzen zugleich die Aufforderung an die Forschung, sich mit den zugrunde liegenden direkten Zusammenhängen zu befassen, um Gesetze auf dem niederen Niveau zu finden. Das Nahwirkungsprinzip im engeren Sinne betrifft deshalb die kausalen Zusammenhänge, während das Nahwirkungsprinzip im weiteren Sinne die auf der Grundlage von Komplexen von Kausalbeziehungen existierenden Gesetze betrifft. Im Gesetz wird vom direkten Zusammenhang abstrahiert und der allgemein-notwendige und wesentliche Zusammenhang zwischen zwei Ereignissen hervorgehoben.

Wir können also den Unterschied zwischen der philosophischen Kausalitätsauffassung und den strengen Forderungen der lokalen Kausalität in folgenden Punkten formulieren:

Erstens faßt der dialektische Determinismus die Kausalität als objektive, [250] direkte, konkrete und fundamentale Vermittlung des Zusammenhangs zwischen Prozessen, wobei der eine Prozeß den anderen hervorbringt. Daraus ergibt sich eine inhaltliche und zeitliche Richtung. Die lokale Kausalität ist eine Präzisierung und Einengung dieser Forderungen, die auf der Lokalisierung der Ereignisse, ihrem Aufeinandereinwirken von Punkt zu Punkt und auf der Trennung des Gebietes möglicher kausaler Wirkungen von dem nicht-möglicher Wirkungen beruht.

Zweitens unterscheidet der dialektische Determinismus die Kausalität vom Gesetz, d. h. dem allgemein-notwendigen und wesentlichen Zusammenhang. Die lokale Kausalität dagegen bestimmt die raum-zeitlichen Bedingungen für kausale Beziehungen, muß jedoch in ihrer Bedeutung für physikalische Gesetze überprüft werden. Streitpunkt ist dabei vor allem die Lokalisierung von Ereignissen, die stets durchführbar ist, wenn man noch ein niedereres Niveau von physikalischen Vorgängen annimmt, als es das untersuchte darstellt.

Drittens fordert die philosophische Auffassung keine lineare Beziehung zwischen dem Anfangs- und Endzustand, da für die Beziehung zwischen beiden Gesetze formuliert werden, wobei der Komplex von Kausalbeziehungen, der den Gesetzen zugrunde liegt, nicht vollständig erforscht wird. Der Anfangszustand kann auch als definierte Einwirkung auf ein System und der Endzustand als definierte Wirkung auf diese Einwirkung gefaßt werden. Dann wird mit dem Gesetz gerade nicht die direkte Vermittlung des Zusammenhangs erfaßt.

Viertens unterscheiden wir deshalb zwischen dem Nahwirkungsprinzip im engeren und dem im weiteren Sinne. Das Nahwirkungsprinzip im engeren Sinne betrifft die direkte, konkrete und fundamentale Vermittlung des Zusammenhangs, das im weiteren Sinne den allgemeinnotwendigen und wesentlichen Zusammenhang zwischen Ereignissen, der nur auf der Grundlage des direkten Zusammenhangs existieren kann.

Fünftens muß überlegt werden, ob es eine zeitliche Richtung gibt ohne räumliche lokale Unterscheidbarkeit von Ereignissen. Für die philosophische Auffassung reicht die inhaltliche und zeitliche Gerichtetheit der Ereignisse aus. Die Lokalisierbarkeit ist nicht gefordert. Sie ist eine für die physikalische Erkenntnis wichtige Idealisierung, die die Ausdehnung der Objekte nicht berücksichtigt. Damit wird auch ihre innere Struktur vernachlässigt. Das ist jedoch für die Aufdeckung physikalischer Gesetze möglich, da die Struktur für wechselwirkende Objekte bis zu gewissen Grenzen vernachlässigt werden kann. Erst wenn sie zu neuen Effekten in der Wechselwirkung führt, muß die Idealisierung des punktförmigen Objekts aufgegeben werden.

[251] Wie wir sehen, ist die lokale Kausalität nicht mit der philosophischen Auffassung identisch, auch bestimmte nichtlokale Auffassungen wären mit letzterer vereinbar. Die lokale Kausalität erweist sich aber als ein wichtiges Erkenntnismittel in der Physik.

5. Nichtlokale Theorien und Elementarlänge

Die zuletzt aufgestellte Behauptung, daß auch bestimmte nichtlokale Theorien mit der philosophischen Kausalitätsauffassung vereinbar sind, muß noch genauer untersucht werden. Es geht dabei zugleich um das philosophische Verständnis der Existenz von Naturkonstanten, zu denen einige Theoretiker auch eine Elementarlänge rechnen wollen.[52] So diskutiert Heisenberg die Beziehungen zwischen Quanten- und Relativitätstheorie und verweist auf die theoretische Schwierigkeit, die Forderungen der Relativitätstheorie nach einer scharfen Trennung der Gebiete, in denen Wirkungen erfolgen und in denen keine erfolgen können, mit den Unbestimmtheitsrelationen in Einklang zu bringen.[53] Er zeigt die in den Theorien auftretenden mathematischen Widersprüche, die durch Renormierung oder andere Methoden vermieden werden sollen. Für unsere Betrachtung des Kausalitätsproblems mit der philosophischen Forderung nach der zeitlichen Gerichtetheit der kausalen Beziehungen ist der Standpunkt von Heisenberg zur Zeitumkehr interessant. Er schreibt: „Die Art, in der die an sich konvergenten mathematischen Schemata Forderungen der Relativitätstheorie oder der Quantentheorie nicht erfüllten, war in sich selbst schon sehr interessant. Ein solches Schema z. B. führte, als man versuchte, es durch tatsächliche Vorgänge in Raum und Zeit zu interpretieren, zu einer Art von Zeitumkehr; es beschrieb Prozesse, bei denen plötzlich in einem bestimmten Punkt Elementarteilchen erzeugt wurden, für die die Energie erst später durch irgendwelche anderen Stoßprozesse zwischen Elementarteilchen zur Verfügung gestellt wurde. Die Physiker sind von ihren Experimenten her überzeugt, daß Prozesse solcher Art in der Natur nicht vorkommen – wenigstens nicht dann, wenn die beiden Prozesse durch einen [252] meßbaren Abstand in Raum und Zeit voneinander getrennt sind.“[54] Aus unseren bisherigen Betrachtungen ergibt sich die notwendige Forderung der zeitlichen Richtung im Kausalablauf. Wir hatten aber die Frage nach der möglichen Nichtunterscheidbarkeit von Ereignissen als räumliche Punkte bejahend für den Kausalablauf und verneinend für die Gesetze beantwortet. Das ergab sich daraus, daß jede Punktualisierung oder Lokalisierung von Ereignissen eine mögliche Idealisierung bedeutet, die in bestimmten Grenzen berechtigt und notwendig ist.

Eigentlich ist es das Problem solcher Grenzen, das Heisenberg unter einem anderen Aspekt untersucht. Die Forderung der Lokalität als berechtigt in bestimmten Grenzen anerkennen heißt, auch die Nichtlokalisierbarkeit außerhalb dieser Grenzen zuzulassen. Von dieser zweiten Seite, der möglichen Nichtlokalität in kleinen raum-zeitlichen Maßstäben, geht Heisenberg an das Problem heran. Ob das für die physikalische Theorie fruchtbar ist, muß erst noch weiter diskutiert werden. Heisenberg befaßt sich mit den möglichen Lösungen für die mathematischen Schwierigkeiten: „Wenn man sich nach möglichen Lösungen für diese Schwierigkeiten umsieht, so sollte man sich vielleicht daran erinnern, daß solche Prozesse mit scheinbarer Zeitumkehr, die vorher erörtert wurden, dann experimentell nicht ausgeschlossen werden könnten, wenn sie nur innerhalb ganz kleiner Raum-Zeit-Gebiete stattfänden, in denen man mit unserer bisherigen experimentellen Ausrüstung doch die Vorgänge nicht im einzelnen verfolgen kann. Natürlich wäre man beim jetzigen Stand unseres Wissens kaum bereit, solche Prozesse mit Zeitumkehr für möglich zu halten, wenn daraus in irgendeinem späteren Stadium

[52] Zur Geschichte und zum Platz der Elementarlänge in der Physik vgl. A. N. Vjalzew, Diskrete Raum-Zeit, S. 60 ff.
[53] Auf diese Problematik wurde vom Verfasser in seinem Buch „Werner Heisenberg und die Philosophie“, Berlin 1968, S. 232 ff., hingewiesen. Bestimmte Grundgedanken spielen auch hier eine Rolle. Das Problem der Zeitumkehr wurde jedoch dort nicht weiter beachtet.
[54] W. Heisenberg, Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen, S. 134.

der Physik die Möglichkeit resultierte, derartige Vorgänge in der gleichen Weise zu verfolgen, wie man gewöhnliche Atomvorgänge beobachtet."[55] Die Naturkonstante, die Heisenberg einführt, um dieses Gebiet zu begrenzen, ist die Elementarlänge $l_0 = 10^{-13}$ cm. Damit wäre unter dieser Grenze ein Gebiet, in dem die Vorgänge keine zeitliche Richtung haben, also wesentliche Merkmale der Kausalität nicht aufweisen. Sie sind damit nicht nur als nichtlokal, sondern auch nicht als kausale Abläufe zu bestimmen. Das muß aber nicht von vornherein bedeuten, daß sie als akausal angesehen werden. In gewisser Weise verwahrt sich Heisenberg dagegen, wenn er schreibt: „Das Phänomen der Zeitumkehr, ... das einstweilen ja nur als Möglichkeit aus theoretischen Überlegungen abgeleitet worden ist, könnte daher zu diesen [253] kleinsten Raum-Zeit-Gebieten gehören. Wenn dies zutrifft, so könnte es wahrscheinlich nicht in einer solchen Weise beobachtet werden, daß man daraus den Vorgang in den klassischen Begriffen beschreiben könnte. Selbst solche Vorgänge müßten, insofern sie mit den klassischen Begriffen beschrieben werden können, auch die klassische Zeitordnung zeigen. Aber einstweilen ist über die Vorgänge in kleinsten Raum-Zeit-Gebieten ... noch viel zu wenig bekannt."[56]

Wenn wir den von Heisenberg und anderen Physikern eingenommenen Standpunkt zur Existenz eines Gebiets nichtlokaler Vorgänge, das durch eine Elementarlänge begrenzt ist, im Zusammenhang mit dem über das Verhältnis von Kausalität und Gesetz aus philosophischer Sicht Gesagten betrachten, dann ergeben sich verschiedene Interpretationsmöglichkeiten, die nicht immer klar ausgesprochen werden: *Erstens* könnte es sich bei der Elementarlänge um eine absolute Naturkonstante handeln, die die Existenz von Längen unter 10^{-13} cm und damit auch die Erkenntnis von physikalischen Vorgängen in Bereichen, die unterhalb dieser Länge liegen, ausschließen. Dagegen spricht sowohl die bisherige Erfahrung als auch die theoretische und experimentelle Entwicklung der Physik. Die bisherige Erfahrung zeigt, daß solche willkürlich angenommenen Grenzen, die sich nicht aus der Theorie ergeben, nur Grenzen für unser bisheriges Wissen sind und durch die weitere Entwicklung als historisch gültige Erkenntnisgrenzen erkannt und verschoben werden. Das trifft selbst auf die verschiedensten Naturkonstanten zu, die sich aus der Theorie ergeben und die Anwendbarkeit der Theorie begrenzen. Sollten sich die Quarks auffinden lassen, dann wäre damit die relative Gültigkeit der Elementarladung als Naturkonstante erwiesen. Hier handelt es sich sogar um eine Konstante, die wesentlicher Bestandteil einer durch die Experimente bestätigten Theorie ist. Als Elementarlänge bieten sich aus der Theorie jedoch bereits heute andere Größen an. So hatten wir auf die Plancksche Elementarlänge von 10^{-33} cm verwiesen. Auch der bisherige Stand der experimentellen Forschung kann nicht zur Begründung einer Elementarlänge dienen, da der Bau neuer und größerer Beschleuniger zur Beseitigung solcher Grenzen führt.

Zweitens kann es sich um eine Naturkonstante handeln, die eine relative Grenze für die Gültigkeit unserer derzeitigen Theorie darstellt. In diesem Sinne charakterisieren Naturkonstanten uns in der Theorie bestimmte objektive Bereiche, die durch charakteristische Gesetze gekennzeichnet sind. Die Bereiche müssen von anderen in der Theorie durch einen voll-[254]ständigen Satz von Konstanten abgegrenzt sein. Die Konstanten erweisen sich hier als Umschlagspunkte für die Existenz qualitativ anderer und neuer Gesetze in anderen Bereichen. Dabei kann sich die Erkenntnis der neuen Gesetze in zweifacher Richtung vollziehen. Erweisen sich einerseits die Naturkonstanten als absolut, dann vollzieht sich der Umschlag in der Nähe der Konstanten. Wir finden dort neue Forschungsbereiche, in denen qualitativ neue Gesetze existieren. Wenn wir die Geschwindigkeit *c* und den absoluten Nullpunkt der Temperatur als absolute Konstanten betrachten, was zutrifft, selbst wenn nicht die Lichtgeschwindigkeit, sondern eine andere Grenzgeschwindigkeit als höchste Geschwindigkeit für

[55] Ebenda, S. 135.
[56] Ebenda, S. 137.

die Ausbreitung materieller Signale gefunden werden könnte, dann finden wir bei der Annäherung an diese Konstanten Bereiche, in denen mehr Parameter und andere Gesetze berücksichtigt werden müssen. Dagegen erweisen sich meist die bisher bekannten Gesetze als Grenzfälle der neuen. Insofern ist die Annäherung an absolute Naturkonstanten ein tieferes Eindringen in die Materiestruktur und führt uns von der Erkenntnis des Wesens niederer Ordnung zu dem höherer Ordnung. Sind die Naturkonstanten andererseits relativ, dann erfolgt der Erkenntnisfortschritt durch den Nachweis ihres relativen Charakters und durch das Überschreiten der bisher durch sie gesetzten Grenzen. In diesem Sinne kann sich durch die Entdeckung der Quarks die Elementarladung als relative Konstante erweisen. Wenn es sich bei der Elementarlänge überhaupt um eine Naturkonstante handelt, dann zeigen die bisherigen Überlegungen, daß es sich auf jeden Fall um eine relative Konstante handeln muß. *Drittens* soll die Elementarlänge das bisher erforschte Gebiet lokaler Prozesse vom Gebiet nichtlokaler Prozesse trennen. Das kann einerseits bedeuten, daß in dem Gebiet, das unterhalb der Elementarlänge liegt, neue Gesetze und Verhaltensweisen der physikalischen Prozesse zu erwarten sind. Hier könnte Nichtlokalität nicht mehr bedeuten als anders zu sein, als die bisher untersuchten lokalen Prozesse. Mit dieser Auffassung sind noch keine weiteren physikalischen Konsequenzen verbunden. Andererseits aber werden von Heisenberg und anderen Physikern Aussagen über den Bereich unterhalb der Elementarlänge gemacht. Es sollen dort Prozesse ohne zeitliche Richtung mit Überlichtgeschwindigkeit usw. möglich sein. Während die einfache Unterscheidung zwischen dem Bereich der lokalen Wirkungen bis zu l_0 und dem darunter liegenden Bereich keine neuen physikalischen Effekte liefert, müßte die Theorie, die Aussagen über den Bereich unterhalb von 1_0 macht, zu neuen nichtlokalen Effekten führen, die überprüfbar sein müssen. Heisenberg verweist aber gerade darauf, daß die Überprüfung in Bereichen unterhalb von l_0 nicht möglich ist und nur deshalb die Annahme gestattet sei, daß [255] dort Prozesse existieren ohne Zeitrichtung. Das muß noch weiter untersucht werden, da es uns erst auf das eigentliche Kausalitätsproblem bringt. Die Annahme lokalisierter Ereignisse abstrahiert, wie wir im vorigen Abschnitt hervorgehoben haben, gerade von den Kausalbeziehungen im Ereignis selbst. Das ermöglicht aber auch die Annahme von irgendwelchen Strukturbeziehungen innerhalb des Ereignisses, solange keine Widersprüche zu den Schlußfolgerungen auftreten, die mit Hilfe lokaler Theorien gezogen wurden. Ist das der Fall, dann ist die Annahme über die Struktur des Ereignisses so lange überflüssig und man kann die Lokalisierung anerkennen, solange die Struktur vernachlässigbar ist. Muß jedoch die Struktur berücksichtigt werden, dann ist es auch nicht mehr möglich, irgendwelche Annahmen zu machen, sondern es müssen solche sein, deren Richtigkeit experimentell überprüft werden kann. Es würde sich also folgendes ergeben: Entweder liefern nichtlokale Theorien keine anderen Effekte als lokale Theorien, dann ist ihre physikalische Bedeutung nicht einzusehen, da sie nur die Abstraktion von der wirklichen Ausdehnung der physikalischen Objekte dazu benutzen, nicht überprüfbare Annahmen über die Struktur der Objekte oder über den Bereich unterhalb von l_0 zu machen, oder sie ergeben überprüfbare nichtlokale Effekte, dann muß von der philosophischen und physikalischen Theorie her mindestens die Zeitrichtung kausal ablaufender Ereignisse gesichert sein.

In dieser Alternative bewegen sich bisherige Überlegungen fast immer. Es ist jedoch auch denkbar, nichtlokale Theorien aufzubauen, die die Nichtlokalität von Ereignissen unterhalb von l_0 anerkennen, aber zu neuen Effekten im Bereich oberhalb von l_0 kommen, die überprüfbar sind und in den bisherigen lokalen Theorien nicht enthalten sind. Wenn das der Fall ist, haben nichtlokale Theorien physikalisches und philosophisches Interesse zu beanspruchen. Von philosophischer Seite wäre dann zu klären, ob damit ein Widerspruch zur philosophischen Kausalitätsauffassung auftritt. Für Ereignisse, deren Kausalablauf überprüfbar ist, muß die Zeitrichtung berücksichtigt werden. Wir hatten jedoch bei der Unterscheidung von Gesetz und Kausalität darauf verwiesen, daß Gesetze auf der Grundlage eines Komplexes

von Kausalbeziehungen existieren. Nehmen wir nun an, dieser Komplex von Kausalbeziehungen existiert unterhalb von l_0, dann wird er zwar später untersucht werden, und es können neue Gesetze in diesem Bereich gefunden werden. Für die Untersuchung der Gesetze des Verhaltens physikalischer Objekte oberhalb von l_0 kann jedoch die Aufgliederung des Komplexes von Kausalbeziehungen außer acht gelassen werden. Da inhaltlich gerichtete physikalische Prozesse z. B. bei der Energieübertragung unter bestimmten Bedingungen auch inhaltlich in der anderen Richtung [256] verlaufen, die Zeit aber von den materiellen Prozessen abhängig ist, könnte man für den undifferenzierten Komplex von Kausalbeziehungen als Grundlage der Existenz von Gesetzen annehmen, daß generell keine inhaltliche und zeitliche Richtung ausgezeichnet ist. Was also für jeden Kausalablauf gilt, trifft nicht auf einen Komplex von Kausalbeziehungen zu, in dem jede inhaltliche Richtung durch die entgegengesetzte inhaltliche Richtung aufgehoben wird, d. h., in dem jeder Prozeß auch umgekehrt verläuft. Hier könnte global für den Gesamtkomplex auch keine Zeitrichtung gefunden werden. Nimmt man das als theoretische Grundlage für weitere Schlußfolgerungen, dann steht die Annahme einer indefiniten Metrik oder nichtlokaler Prozesse noch nicht von vornherein im Widerspruch zur philosophischen Beziehung von Kausalität und Gesetz. Wenn nun auf dieser Grundlage überprüfbare Gesetze gefunden werden, dann entspricht das der von uns dargelegten Beziehung zwischen Kausalität und Gesetz. Die nicht differenzierten und nicht analysierten Kausalbeziehungen zum theoretischen Ausgangspunkt für eine physikalische Theorie zu nehmen, hat jedoch nur dann Sinn, wenn neue Gesetze gefunden werden, die in den lokalen Theorien nicht enthalten sind und für die die Zeitrichtung keine Rolle spielt. Ist das nicht der Fall, dann braucht nicht die komplizierte Abstraktion von der inhaltlichen und zeitlichen Richtung in einem Komplex von Kausalbeziehungen zu erfolgen, sondern es reicht die Vernachlässigung der Struktur physikalischer Objekte und Ereignisse durch ihre Lokalisierung und Punktualisierung.

Die Bedenken vieler Physiker gegen die nichtlokalen Theorien liegen gerade in dieser Richtung. Nichtlokale Theorien liefern auf umständliche Weise keine anderen Resultate als lokale Theorien. So heben Baraschenkow und Blochinzew hervor, daß die vielen Versuche, relativistisch invariante Theorien für ausgedehnte Teilchen aufzubauen, indem die Überlichtgeschwindigkeiten in kleinen Raum-Zeit-Intervallen durch die Einführung einer Elementarlänge lokalisiert werden, zu keinem Erfolg geführt haben. Als besonders schwierig bezeichnen sie die Erhaltung der makroskopischen Kausalität unter Berücksichtigung der Unitarität der Streumatrizen, wenn die Mikrokausalität verletzt ist. Sie schreiben: „Alle gegenwärtigen nichtlokalen Feldtheorien befinden sich auf dem Niveau mathematischer Modelle, die nicht in der Lage sind, reale physikalische Erscheinungen zu interpretieren oder vorherzusagen. Die allgemeine Situation kompliziert sich noch durch den Umstand, daß es im Experiment bisher gar keinen Hinweis auf die Existenz irgendwelcher nichtlokaler Effekte gibt; deshalb baut man die nichtlokalen Theorien in der Weise auf, daß sie in allen bisher vom Experiment erreichten Gebieten mit der gewöhnlichen lokalen [257] Theorie zusammenfallen. Nur daraus bestimmt sich auch die Größe der Konstanten *l*. Im wesentlichen sind die gegenwärtigen nichtlokalen Theorien die Erforschung einiger neuer mathematischer Formen mit altem physikalischem Inhalt.“[57]

Heisenberg versucht mit der Nichtlokalität seine einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen zu untermauern. Er definiert einen lokalen Feldoperator $\chi(x)$, der der bereits im zweiten Kapitel erläuterten Feldgleichung genügt, und bestimmt dann die lokale Kausalität durch die Annahme, daß der Kommutator oder bei einem Spinorfeld der Antikommutator für raumarti-

[57] Lenin und die moderne Naturwissenschaft, Moskau 1969, S. 173. Vgl. Philosophische Fragen der modernen Physik, Moskau 1968, S. 104 f.

ge Abstände der Koordinaten verschwindet. Der Hilbert-Raum enthält nach Heisenberg die asymptotischen Zustände, die aus dem Grundzustand durch die asymptotischen Operatoren gebildet werden, als die physikalischen Zustände. Daneben gibt es noch andere Zustände, die „als eine Art mathematischer Ergänzung, die für eine einfache Formulierung der Theorie notwendig oder wenigstens nützlich ist“, betrachtet werden.[58] Diese mathematische Ergänzung, die zu einem Dipol-Geist und Geisterzuständen führt, die jedoch keinen Einfluß auf die physikalische Interpretation haben, könnte in der diskutierten philosophischen Konzeption den Komplex von Kausalbeziehungen als Grundlage physikalischer Gesetze ausdrücken. Dazu müßte die Theorie jedoch noch neue Effekte liefern und die bekannten interpretieren. Ersteres ist noch gar nicht, letzteres nur in geringem Maße gelungen.

Über das von ihm aufgestellte Postulat der relativistischen Kausalität $\{ \chi(x) \chi^*(y) \} = 0$ für raumartige $(x–y)$ schreibt W. Heisenberg beim Vergleich seiner einheitlichen Feldtheorie mit anderen lokalen Theorien, vor allem mit den Dispersionsrelationen: „Die einheitliche Feldtheorie nimmt die Existenz asymptotischer Zustände und einer unitären *S*-Matrix an. Das analytische Verhalten der *S*-Matrix-Elemente ist durch die Bedingung eingeschränkt, daß es mit jenem Grad von relativistischer Kausalität verträglich sein muß, der aus der lokalen Differentialgleichung folgt (vgl. dazu Kap. III – H. H.). Dieser Grad von Kausalität scheint für eine Beschreibung der experimentellen Tatsachen ausreichend. Möglicherweise gibt er etwas mehr Freiheit für das analytische Verhalten als ... die übrigen bekannten Dispersionsrelationen, aber diese Freiheit ist wahrscheinlich nicht allzu wichtig. Daher erwarten wir, daß die Ergebnisse der üblichen [258] Dispersionstheorie auch aus der einheitlichen Feldtheorie folgen.“[59] Hier trifft das von anderen Physikern bereits betonte Zusammentreffen mit den lokalen Theorien zu. Der Versuch, eine einheitliche Elementarteilchentheorie durch neue mathematische Operationen zu gewinnen, ist legitim. Seine Nützlichkeit muß jedoch durch die Entdeckung neuer Effekte und Gesetze erst noch erwiesen werden. Für seine Beziehung zur philosophischen Kausalitätsauffassung ergibt sich folgendes:

Erstens sind nichtlokale Theorien mit der philosophischen Kausalitätskonzeption vereinbar, wenn man das Verhältnis von Kausalität und Gesetz berücksichtigt und die Nichtlokalität auf den undifferenzierten und nicht zu untersuchenden Komplex von Kausalbeziehungen beschränkt, der Grundlage der Existenz von Gesetzen ist. Dabei ist zu überprüfen, ob die Konzeption, die einen Bereich nichtlokaler Prozesse annimmt, mehr Effekte und Gesetze als die lokale Theorie liefert. Ist das nicht der Fall, ist es problematisch, anstelle der punktförmigen Ereignisse, in denen offen von der Struktur abstrahiert wird, irgendwelche Annahmen über diese Struktur einzuführen, die nicht überprüfbar sind.

Zweitens erweist sich nach den bisherigen Überlegungen eine Elementarlänge auf jeden Fall als relative Konstante. Deshalb wird auch die Untersuchung des Bereichs unterhalb von *l* interessant. Dabei muß für den kausalen Ablauf physikalischen Geschehens die Zeitrichtung und die inhaltliche Gerichtetheit der Prozesse berücksichtigt werden, die jedoch im Gesetz aufgehoben werden kann. Daraus ergibt sich schon, daß wir uns noch weiter mit der Raum-Zeit im Elementarteilchenbereich und mit dem Verhältnis von Symmetrie und Asymmetrie befassen müssen. Die bisher betrachtete mögliche Aufhebung der inhaltlichen und zeitlichen Gerichtetheit in einem Komplex von Kausalbeziehungen setzt absolute oder für die Abstraktion angenäherte Symmetrie voraus. Es ist jedoch möglich, daß Gesetze asymmetrischer Prozesse existieren.

Drittens ist die Linearität der Beziehungen zwischen Anfangs- und Endzustand eine berechtigte und für viele Theorien notwendige Idealisierung der wirklichen Wechselwirkungen. Sie

[58] W. Heisenberg, Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen, S. 19.
[59] Ebenda, S. 127.

muß aber nicht für alle Theorien gelten. Nichtlineare Theorien kommen den wirklichen Prozessen sicher näher, ob sie jedoch ohne mathematische Schwierigkeiten durchführbar sind, muß die Entwicklung der Physik erweisen. Die philosophische Kausalitätskonzeption enthält nicht die Forderung der Linearität, da eine Wirkung verschiedene Ursachen und eine Ursache verschiedene Wirkungen haben kann. Außerdem sind die physikalische „Anfangs"ursache und ihre [259] „End"wirkung durch allgemein-notwendige und wesentliche Zusammenhänge verbunden, bei denen von der Vielzahl der unwesentlichen Kausalbeziehungen abstrahiert wird.

Viertens ist die Lokalisierung von Ereignissen eine berechtigte Abstraktion, die in bestimmten Bereichen von der Ausdehnung physikalischer Objekte, ihrer inneren Struktur und dem inneren Mechanismus der Prozesse absieht. Die weitere Entwicklung der Theorie kann sowohl durch die Berücksichtigung der Ausdehnung mit Hilfe der Elementarlänge erfolgen, dann muß der relative Charakter dieser Konstante berücksichtigt werden, die sich als Bestandteil der heute als elementar angesehenen Ereignisse erweisen kann. Wenn sich die Elementarteilchen selbst wieder als Systeme mit Elementen erweisen, dann kann das Verhalten dieser Elemente lokalisiert werden. Dieses Vorgehen ist für die Erforschung der physikalischen Materiestruktur bisher typisch. Erst waren die Atome punktförmig, dann der Kern und nun die Elementarteilchen. Die philosophische These von der Unerschöpflichkeit der Materie und ihrer allgemeinen Strukturiertheit verlangt nicht die Aufhebung der lokalisierten Ereignisse, wohl aber den Übergang von den lokalisierten Ereignissen eines Strukturniveaus zur inneren Struktur dieser Ereignisse und damit zur möglichen Lokalisierung der Elementarereignisse dieser Strukturebene. Der Fortschritt der Wissenschaft kann sich deshalb als Übergang von der lokalen zur nichtlokalen Theorie ebenso vollziehen, obwohl dafür zur Zeit wenig Argumente sprechen, als auch als Übergang von einer lokalen Theorie einer bestimmten Strukturebene zu einer anderen in der niederen Strukturebene.

Fünftens unterscheiden sich die philosophischen und physikalischen Kausalitätsforderungen voneinander. Mit der philosophischen Konzeption sind verschiedene physikalische Konzeptionen vereinbar. Dabei ist vor allem die im dialektischen Determinismus untersuchte Beziehung zwischen Kausalität und Gesetz zu beachten, da sich daraus verschiedene Ansatzpunkte für physikalische Theorien ergeben können. Für die Kausalität wird von philosophischer Seite vor allem auf die inhaltliche und zeitliche Richtung der Vermittlung des Zusammenhangs verwiesen. [260]

Kapitel VI – Raum und Zeit als Existenzformen der Materie

1. Problemstellung

Über die mit der Elementarteilchenphysik verbundenen verschiedenen Raum-Zeit-Vorstellungen gibt es viele Diskussionen. Blochinzew stellte die Frage, ob Raum und Zeit die einzigen Existenzformen der Materie seien.[1] Baraschenkow verschärfte kürzlich diese Fragestellung noch durch die Feststellung, daß es völlig unzureichend sei, Raum und Zeit nur als allgemeine Existenzformen der Materie zu charakterisieren, da damit nicht geklärt sei, ob sie überhaupt existieren. Nach ihm kann es sein, daß die Existenzformen der Materie insgesamt von den konkreten Bedingungen abhängen und keine allgemeinen Merkmale für sie existieren.[2] Die Berechtigung solcher Fragen und Überlegungen ergibt sich aus dem Zustand der Elementarteilchentheorie. Manche Physiker neigen dazu, daß Raum und Zeit nur makroskopische Bedeutung besitzen und ihren Sinn in der Elementarteilchentheorie verlieren. Andere dagegen betrachten die raum-zeitlichen Beziehungen als grundlegend für alle physikalischen Prozesse. Sicher ist es notwendig, das physikalische Beziehungsgefüge in seiner ganzen Kompliziertheit zu untersuchen. Wir haben vorher schon auf die dialektischen Beziehungen zwischen Struktur und Prozeß hingewiesen, die sich auch als Einheit von Raum-Zeit und Bewegung materieller Objekte zeigen, ohne daß mit den raum-zeitlichen Beziehungen die Gesamtheit der strukturellen Beziehungen erfaßt wäre.

Andererseits ist es von Interesse, die Entwicklung der Raum-Zeit-Auffassungen als ein Beispiel dafür aufzufassen, wie es uns gelungen ist, tiefer in die physikalischen Strukturbeziehungen materieller Objekte einzudrin-[261]gen. Wenn Lenin hervorhob, daß der dialektische Materialist daran gebunden ist, das Primat der Materie anzuerkennen, wobei die Frage nach der Quelle unseres Wissens von der Frage nach der Materiestruktur unterschieden werden muß, so ergeben sich daraus für die Raum-Zeit-Problematik zwei Schlußfolgerungen: Erstens sind die bisher untersuchten objektiven Raum-Zeit-Strukturen in verschiedenen physikalischen Theorien widergespiegelt worden, und es ist interessant, die Entwicklung dieser Theorien zu verfolgen, da sie uns Hinweise auf allgemeine Merkmale der Raum-Zeit als Existenzform der Materie geben können. Daraus kann sich dann die Möglichkeit einer philosophischen Raum-Zeit-Theorie im Unterschied zur physikalischen ergeben, die neben den physikalischen Merkmalen von Raum und Zeit auch noch ihre Bedeutung in anderen Wissenschaften, wie der Biologie, der Geschichte usw. untersucht.[3] Selbstverständlich reicht dafür die Feststellung, daß Raum und Zeit Existenzformen der Materie sind, nicht aus, sondern es bedarf der Präzisierung dieser Aussage mit Hilfe des einzelwissenschaftlichen Materials. Aber diese Formulierung gibt schon eine Orientierung für die weitere Arbeit, indem sie auf den engen Zusammenhang von Raum-Zeit und materieller Bewegung hinweist. In diesem allgemeinen Sinne werden Raum und Zeit aber auch nur den Materieformen zugeordnet und ihre Spezifik ungenügend betont. Gerade die prinzipielle Wandlung unserer Raum-Zeit-Auffassung in der Physik beim Übergang zur Relativitätstheorie läßt uns mögliche zukünftige Umwälzungen ahnen. Dabei ist die Einbeziehung der Raum-Zeit in die Materieformen allgemein genug, um keine Sonderstellung gegenüber möglichen anderen Materieformen zu rechtfertigen. Wir hatten schon auf die Beziehung zur Kausalität und zum Gesetz als verschiedenen Formen des objektiven Zusammenhangs hingewiesen und werden noch auf die Notwen-

[1] Vgl. Die Kategorie der Struktur und die Entwicklung der Physik der Elementarteilchen, Dubna 1966, S. 4.
[2] Vgl. Philosophische Fragen der modernen Physik, Moskau 1969, S. 106.
[3] Materielle Systeme verschiedener Entwicklungsstufen haben ihre eigenen raum-zeitlichen Strukturen. Die Eigenzeit des Systems ist immer abhängig von den Bedingungen. Das gilt sowohl für die biologischen Rhythmen als auch für die Gesellschaftssysteme. Entscheidende Grundlage für die Raum-Zeit-Struktur in Entwicklungsprozessen sind die Entwicklungsgesetze.

digkeit zurückkommen müssen, das Verhältnis von Symmetrie und Asymmetrie in unsere Betrachtungen einzubeziehen. Zweitens kann sich die Raum-Zeit tatsächlich als eine Materieform erweisen, die vor allem im makroskopischen Bereich von Bedeutung ist. Wenn das der Fall ist, muß, da ihre makrokosmische Bedeutung nicht geleugnet werden kann, der Zusammenhang zu anderen mikroskopischen Materieformen hergestellt werden, wobei die Raum-Zeit mit anderen Strukturformen der Elementarteil-[262]chen verbunden wird. So muß die zeitliche Richtung materieller Prozesse, die in der Kausalitätsauffassung eine Rolle spielt, auch mikrokosmisch erklärt werden. Während manche Physiker und Philosophen dazu neigen, die Ursprünglichkeit der Zeit sogar gegenüber dem Raum zu betonen und die Zeitrichtung als primär im Mikrokosmos aufzuweisende Erscheinung ansehen, was die Hervorhebung der Zeit als besondere Existenzform der Materie rechtfertigen würde, kommen andere dazu, Raum und Zeit im Elementarteilchenbereich ihre Bedeutung völlig abzusprechen. Aus der materialistischen Grundhaltung, wie sie in der Feststellung ausgedrückt ist, daß Raum und Zeit Existenzformen der Materie sind, ergibt sich noch keine Antwort auf die Stellung der Raum-Zeit-Strukturen im Beziehungsgefüge des Elementarteilchenbereichs.

Auf den Zusammenhang zwischen mikro- und makrokosmischer Raum-Zeit-Auffassung macht Treder aufmerksam: „Zu fordern ist ..., daß alle aus der Elementarteilchentheorie sich ergebenden makroskopischen Konsequenzen, insbesondere also auch das Verhalten der (notwendig makroskopischen) Meßanordnungen, mit der Minkowskischen Raum-Zeit-Struktur verträglich sind. Dies gilt insbesondere für die ... Einsteinsche Kausalität. Daher ist die relativistische Theorie von Raum und Zeit sicher auch für die Theorie der Elementarteilchen grundlegend.“[4] Für Treder gibt es eine Hierarchie der Raum-Zeit-Vorstellungen der Physik, auf die wir schon eingegangen sind. Er sieht die mögliche Ergänzung durch die Elementarteilchentheorie vor allem im engen Zusammenhang mit der Art der Wechselwirkung: „Die Anwendbarkeit einer vollständigen raumzeitlichen Geometrie in der Physik scheint verknüpft zu sein mit der von weitreichenden Wechselwirkungen zwischen den Teilchen der Materie ... Hingegen sind die starken Wechselwirkungen ... nur dann wirksam, wenn anschaulich gesprochen die Elementarteilchen sich direkt berühren. Bei der mathematischen Behandlung solcher Wechselwirkungen wird man also überhaupt nicht auf die Struktur eines ausgedehnten raumzeitlichen Bereichs eingehen, so daß die starken Wechselwirkungen sehr viel weniger von der Raum-Zeit-Struktur abhängen als die weiterreichenden Kräfte. Daher kann es durchaus sein, daß in der Elementarteilchenphysik nicht alle Eigenschaften der Minkowski-Welt von Bedeutung sind, sondern nur einige ihrer geometrischen Strukturen.“[5] Aus den vorsichtigen Formulierungen von Treder ergibt sich die noch ungeklärte Lage in der Raum-Zeit-Theorie für den Elementarteilchenbereich Wir hatten schon auf die sich in nichtlokalen [263] Theorien ergebende Einführung einer Elementarlänge und auf die indefinite Metrik des Hilbert-Raums in der Heisenbergschen Theorie hingewiesen. Die Vereinbarkeit solcher Vorstellungen mit allgemeinen philosophischen Aussagen bedeutet nichts für den Wert solcher Theorien in der Physik. Es zeigt sich nur, daß die allgemeinen philosophischen Aussagen viele physikalische Konzeptionen umfassen. Deshalb reicht auch die Überprüfung der Vereinbarkeit einer physikalischen Konzeption mit einer philosophischen Aussage nicht aus. Sie ist bei der Zurückweisung des Idealismus von Bedeutung, muß jedoch für die philosophische Analyse weiter präzisiert werden. Dafür ergeben sich aus den Hinweisen von Treder Ansatzpunkte. Einerseits muß jede raum-zeitliche Vorstellung im Elementarteilchenbereich, und sei es auch die von Baraschenkow als Möglichkeit gesehene Nichtexistenz allgemeiner Merkmale der Raum-Zeit, mit den bisher erforschten Raum-Zeit-Strukturen korrespondieren. Andererseits muß die objektive Raum-Zeit-Struktur immer in Abhängigkeit von den materiellen Prozessen, also den bestimm-

[4] H.-J. Treder, Relativität und Kosmos, S. 9.
[5] Ebenda, S. 8 f.

ten Arten der Wechselwirkung, gesehen werden. Gerade mit der These von der Raum-Zeit als der Existenzform der Materie wird darauf verwiesen und die Absolutheit von Raum und Zeit aufgehoben. Dabei kann sich nach Treder die Raum-Zeit-Struktur gegenüber bestimmten Wechselwirkungen als unwesentlich erweisen, muß es aber nicht.

Mit der Absolutheit von Raum und Zeit wird jedoch nicht ihre Objektivität aufgegeben, wie Büchel meint, der die Ergebnisse der Physik kritisch-realistisch interpretiert. Zur Interpretation der Relativitätstheorie unterscheidet er zwischen quantitativen und qualitativen räumlichen und zeitlichen Beziehungen und stellt folgende Thesen auf: „Räumliche und zeitliche Beziehungen sind nur insoweit real, als sie in einem Realzusammenhang in der Ordnung des Nebeneinander bzw. Nacheinander begründet sind ... Durch einen derartigen Realzusammenhang werden nur qualitative, nicht dagegen quantitative räumliche und zeitliche Beziehungen begründet.“[6] Der richtige Gedanke vom Aufbau immer umfassenderer physikalischer Theorien wird nun von ihm kritisch-realistisch gegen die immer exaktere Widerspieglung objektiver Sachverhalte gerichtet, wenn er schreibt: „Es scheint daher, daß wir in derselben Weise, wie wir früher auf die Objektivität von Wärme und Kälte, von Farben und Klängen und von quantitativen rein räumlichen und zeitlichen Beziehungen verzichten mußten, nun auch die Objektivität qualitativer räumlicher und zeitlicher Beziehungen in der Mikrowelt preisgeben müssen – um dafür jene mathematisch-[264]physikalischen Formeln zu gewinnen, die wohl das eigentliche ‚intelligibile in sensibili‘ [Verständliche im Sinnlichen], das rational durchschaubare Element in der Flut der Sinneseindrücke, darstellen.“[7] Mit dieser Gleichsetzung von Absolutheit und Objektivität und der Relativität unserer Erkenntnis als Argument gegen die Objektivität hat sich Lenin schon auseinandergesetzt. Früher als absolut angenommene Eigenschaften der Objekte wurden als mit anderen zusammenhängend erkannt und in einheitlichen Theorien erfaßt. Damit wurde nicht ihr objektiver Charakter, sondern ihre bisherige isolierte Erfassung in unseren Begriffen kritisiert. Sicher meint Büchel in nichtlokalen Theorien Argumente für seine Auffassung zu finden. Obwohl wir die Berechtigung nichtlokaler Theorien anerkennen, kann damit nicht die Objektivität bestimmter materieller Eigenschaften und Materieformen geleugnet werden. Selbst die Einführung einer Elementarlänge kann die Grenzen unseres derzeitigen Wissens charakterisieren, muß aber nicht eine Erkenntnisschranke darstellen, wie Büchel schreibt: „Und wenn man eine Vermutung bezüglich der zukünftigen Entwicklung der Physik äußern darf, so sieht es vielleicht danach aus, als ob in der Physik der Zukunft eine ‚Elementarlänge‘ auftrete, die der Genauigkeit einer jeden Ortsmessung eine unübersteigbare Grenze setzt, welche die gegenwärtige Quantenphysik noch nicht kennt.“[8] Was die Zukunft der Physik sicher erweisen wird, ist die Beziehung zwischen Raum-Zeit und materieller Bewegung, die noch tiefer erfaßt werden wird, als das bisher der Fall ist. Daraus ergibt sich für die Ortsmessung die notwendige Berücksichtigung anderer Parameter der Bewegung, die mit dem Ort in Verbindung stehen. Daraus kann jedoch nicht folgender Schluß gezogen werden: Weil keine genauen Ortsmessungen möglich sind, gibt es keinen objektiven Ort, und wir müssen auf die Objektivität qualitativ räumlicher Beziehungen verzichten.

Unsere Begriffe sind Abstraktionen und Idealisierungen, aber sie widerspiegeln wesentliche Seiten der objektiven Realität. Sollte es sich erweisen, daß unsere raum-zeitlichen Begriffe die Wirklichkeit nicht exakt widerspiegeln, dann muß man sie durch neue Begriffe oder durch verallgemeinerte und präzisierte Begriffe ersetzen, die den wirklichen Zusammenhang besser zum Ausdruck bringen. Damit sind die bisher widergespiegelten Beziehungen und Eigenschaften nicht ihrer Objektivität beraubt, sondern in ihrer objektiven Struktur besser

[6] W. Büchel, Philosophische Probleme der Physik, Freiburg 1965, S. 209.
[7] Ebenda, S. 399.
[8] Ebenda, S. 398.

erfaßt worden. In diesem Sinne kann auch der Verzicht auf Raum-Zeit-Parameter in der Elementarteilchentheorie die objektive Existenz struktureller Zusammenhänge nicht antasten, wohl aber [265] auf den Zusammenhang raum-zeitlicher Parameter mit anderen Strukturelementen verweisen oder sie selbst als unwesentlich nachweisen für die Beschreibung bestimmter Wechselwirkungen.

Diese einführenden Betrachtungen zur Raum-Zeit-Problematik zeigen, daß die Diskussion auf verschiedenen Ebenen erfolgt:

Erstens wird die prinzipielle Frage gestellt, ob Raum und Zeit als Materieformen überhaupt existieren. Diese Frage wird von jedem Physiker für den Makrokosmos und die menschlichen Erfahrungen unbedingt bejaht, für den Mikrokosmos jedoch nicht eindeutig beantwortet. Hier kann sich die Physik als Geometrie erweisen, wie die Quantengeometrodynamiker meinen, oder die raum-zeitlichen Beziehungen können überhaupt keine Rolle mehr spielen. Unabhängig davon, welche Antwort die Physik auf die Frage nach der Rolle der raum-zeitlichen Beziehungen im Elementarteilchenbereich gibt, kann man die bisherige Entwicklung der Raum-Zeit-Auffassungen in der Physik untersuchen und die philosophischen Aussagen zur Raum-Zeit bestimmen.

Zweitens muß man dann aber die These von der Raum-Zeit als Existenzform der Materie für die Physik präzisieren. Dabei werden verschiedene Standpunkte vertreten, die der Diskussion bedürfen. So wird der mathematische Raum im Gegensatz zum anschaulichen Raum immer mehr zum Strukturgefüge materieller Prozesse verallgemeinert. Über die Unumkehrbarkeit der Zeit wird gestritten, ob es sich um eine abgeleitete makrokosmische oder um eine primäre mikrokosmische Erscheinung handelt. Außerdem geht es um die Kontinuität oder Diskretheit der Raum-Zeit. Die atomistische Vorstellung von der Raum-Zeit läßt die Existenz von Raum- und Zeitatomen zu. Eine solche Vorstellung ist sinnvoll, wenn sie die Forschung auf die Existenz unbekannter Materiearten orientiert. Sie wird problematisch, wenn Raum und Zeit nicht mehr als Materieformen, sondern als selbständige Materiearten betrachtet werden. Die Suche nach den materiellen Prozessen und Objekten, die Raum und Zeit konstituieren, ist völlig berechtigt, weil die Beschaffenheit von Raum und Zeit, ihr diskreter oder kontinuierlicher Charakter, besser ihre dialektische Einheit, nur dadurch erkannt werden kann.

Drittens zeigen sich Beziehungen zwischen der Elementarteilchentheorie, die, wie einige Physiker meinen, auf raum-zeitliche Beschreibungen verzichten kann, und der Kosmologie, für die die Raum-Zeit-Struktur wesentlicher Bestandteil ist. Vielleicht ergeben sich auch aus dieser Verbindung neue Einsichten in die objektiven Raum-Zeit-Strukturen. [266]

2. Philosophische und physikalische Raum-Zeit-Theorie

Unsere Vorstellungen von der Raum-Zeit haben seit der Entdeckung der Relativitätstheorie eine tiefgreifende Wandlung durchgemacht. Raum und Zeit sind zentrale Kategorien im dialektisch-materialistischen Weltbild. Im wesentlichen von Engels ausgearbeitet und von Lenin weiterentwickelt, hat sich die dialektisch-materialistische Auffassung von der Raum-Zeit auch in den neuen experimentellen und theoretischen Ergebnissen der modernen Physik über die Struktur der Raum-Zeit zu bewähren. Gegner des dialektischen Materialismus meinen, diese Ergebnisse würden zu erheblichen philosophischen Schwierigkeiten führen, weil nicht alle Ergebnisse der modernen Physik mit den Thesen des dialektischen Materialismus vereinbar wären. Wäre das der Fall, so müßten diese Thesen korrigiert werden, da der dialektische Materialist nicht das Primat der Prinzipien gegenüber den Tatsachen anerkennt, sondern seine Auffassung das Ergebnis einer richtigen Verallgemeinerung der einzelwissenschaftlichen Ergebnisse darstellen muß.

2.1. Dialektisch-materialistische Raum-Zeit-Auffassung

Wir wollen zuerst einige Bemerkungen zu den von den Klassikern des Marxismus-Leninismus ausgearbeiteten Grundvorstellungen über die Raum-Zeit machen. Zweifellos bedürfen viele Probleme heute noch der Diskussion. Wie in jeder Wissenschaft gibt es auch im dialektischen Materialismus bei der Deutung der modernen physikalischen Ergebnisse offene Fragen und Probleme. Auffassungen müssen präzisiert und die dialektisch-materialistische Raum-Zeit-Auffassung weiterentwickelt werden. Aber das darf uns nicht dazu führen, die bereits als richtig erkannten und durch die Tatsachen bestätigten philosophischen Erkenntnisse einfach über Bord zu werfen. Das wäre einfacher Relativismus, den man in keiner Wissenschaft betreibt. Der wissenschaftliche Fortschritt vollzieht sich nicht dadurch, daß man alles bisher Erkannte in Frage stellt. Die Enge bestimmter Auffassungen muß durchbrochen werden. Unzulässige Extrapolationen gilt es zurückzunehmen. Kritik überholter Präzisierungen fordert von uns auf jedem Gebiet, den dialektischen Materialismus nicht als ein Schema zu benutzen, das man an einzelwissenschaftliche Ergebnisse anlegt, sondern die Grundprinzipien des dialektischen Materialismus zur Behandlung neuer Probleme, zum Stellen neuer Fragen und damit zur Weiterentwicklung der marxistischen Philosophie zu benutzen. Einen dieser Grundgedanken entwickelte Lenin in der Auseinandersetzung mit Auffassungen, die nur die Veränderlichkeit der Begriffe Raum und Zeit hervorheben und dabei die [267] materialistische Haltung aufgeben. Diese Kritik Lenins hilft uns, die philosophischen von den einzelwissenschaftlichen Fragen zu trennen und keinen Widerspruch zwischen den einzelwissenschaftlichen und philosophischen Aussagen zuzulassen. Lenin schreibt über die Haltung von Engels zu Dühring: „Engels hält Dühring die allgemein anerkannte und für jeden Materialisten selbstverständliche These von der *Wirklichkeit*, d. h. der objektiven Realität der Zeit entgegen und meint, man könne sich durch Betrachtungen über die Veränderung der *Begriffe* Zeit und Raum einer eindeutigen Anerkennung oder Ablehnung dieser These *nicht entziehen*. Nicht etwa, daß Engels die Notwendigkeit und den wissenschaftlichen Wert der Untersuchungen über die Veränderung, über die Entwicklung unserer Zeit- und Raumbegriffe geleugnet hätte – es geht darum, daß wir die erkenntnistheoretische Frage, nämlich die Frage nach der Quelle und der Bedeutung alles menschlichen Wissens überhaupt, folgerichtig lösen.“[9] Die Frage nach der objektiven Realität von Raum und Zeit ist in der Geschichte des Denkens verschieden beantwortet worden. Von der Organisation unserer menschlichen Sinnesorgane her, die in der Lage sind, uns Raumvorstellungen zu vermitteln, drängte sich einigen Denkern die Meinung auf, daß Raum und Zeit den Menschen angeborene Formen sind, mit deren Hilfe wir Ordnung in das Chaos unserer Empfindungen bringen. So nannte Kant Raum und Zeit Anschauungsformen, die a priori im Menschen existieren. Für ihn waren die Axiome der Euklidischen Geometrie Urteile, die unabhängig von der Erfahrung sind.

Kant vertrat die idealistische Auffassung von Raum und Zeit. In seiner „Kritik der reinen Vernunft“ heißt es: „Raum und Zeit sind zwar Vorstellungen a priori, welche uns als Formen unserer sinnlichen Anschauung beiwohnen, ehe noch ein wirklicher Gegenstand unseren Sinn durch Empfindung bestimmt hat, um ihn unter jenen sinnlichen Verhältnissen vorzustellen.“[10] Der Idealismus dieser Auffassung besteht darin, daß Raum und Zeit als Anschauungsformen unabhängig von der Wirklichkeit genommen werden. Kant meinte die Bestätigung für seine Auffassung in der Euklidischen Geometrie gefunden zu haben. Der erste große Schlag gegen Kants Idealismus bestand deshalb in dem Nachweis der nur relativen Gültigkeit der Euklidischen Geometrie. Sie stammt aus der Erfahrung, was durch die Existenz nichteuklidischer Geometrien bewiesen wurde. Bereits im vergangenen Jahrhundert kritisierte Helmholtz die

[9] W. I. Lenin, Werke, Bd. 14, S. 172.
[10] I. Kant, Kritik der reinen Vernunft, Leipzig 1956, S. 457a/458a.

Kantsche Auffassung richtig in zwei Punkten: Erstens stammt unsere Raum-Zeit-Auffassung aus der [268] Erfahrung, was durch unsere Anpassung an neue Raumverhältnisse bestätigt wird. Zweitens ist die Euklidische Geometrie nur eine mögliche Geometrie. Es gelten auch andere Geometrien, die ohne das Parallelenaxiom aufgebaut sind.

Auch heute wird noch die Existenz eines A-priori-Raums behauptet. Im Prinzip werden zur Widerlegung dabei dieselben Argumente benutzt, die Helmholtz bereits brachte. Hinzu kommt jedoch, daß diese Argumente philosophisch durch die dialektisch-materialistische Raum-Zeit-Theorie untermauert werden können und die Entwicklung der Wissenschaften mehr beweiskräftiges Material zur Unterstützung einer materialistischen Auffassung von Raum und Zeit geliefert hat.

Kants Hauptthesen über den Raum bestehen in der Anerkennung des Raumes vor jeder Erfahrung: „Der Raum ist kein empirischer Begriff, der von äußeren Erfahrungen abgezogen worden." „Der Raum ist eine notwendige Vorstellung, a priori, die allen äußeren Anschauungen zugrunde liegt. Man kann sich niemals eine Vorstellung davon machen, daß kein Raum sei, ob man sich gleich ganz wohl denken kann, daß keine Gegenstände darin angetroffen werden. Er wird also als die Bedingung der Möglichkeit der Erscheinungen, und nicht als eine von ihnen abhängende Bestimmung angesehen, und ist eine Vorstellung a priori, die notwendigerweise äußeren Erscheinungen zugrunde liegt."[11]

Besonders im vergangenen Jahrhundert hatten sich die Psychologen mit dem Problem des Raumes beschäftigt. Die Nativisten nahmen die Wahrnehmung des Raumes als angeboren an, während die Empiristen sie als Produkt der persönlichen Erfahrungen betrachteten. Die moderne Psychologie verweist auf die Kompliziertheit der Raumwahrnehmung. Sie „ist ein komplizierter Prozeß, in dem sich sinnliche und gedankliche Komponenten in einer komplizierten Einheit gegenseitig durchdringen"[12].

Die Argumentation von der a-priori-Existenz des Raumes ist einseitig. Sie berücksichtigt nicht die für die Raumwahrnehmung notwendige Komponente der Erfahrung. Sie beachtet nur die im Menschen vorhandenen Anlagen zur Raumwahrnehmung. Deshalb gelten für diese Auffassung noch die Argumente von Helmholtz, der auf die Bedeutung der Erfahrung verwies. Helmholtz bezeichnete Kants Annahme von den Axiomen der Geometrie als synthetisches Urteil a priori, als eine unerwiesene, unnötige und für die Erklärung der Welt unbrauchbare Hypothese.[13]

[269] Er untersucht die Herkunft der Axiome, ausgehend von Riemann, der in seinem Habilitationsvortrag „Über die Hypothesen, die der Geometrie zugrunde liegen" folgendes dazu sagte: „Bekanntlich setzt die Geometrie sowohl den Begriff des Raumes, als die ersten Grundbegriffe für die Konstruktionen im Raume als etwas Gegebenes voraus. Sie gibt von ihnen nur Nominaldefinitionen, während die wesentlichen Bestimmungen in Form von Axiomen auftreten. Das Verhältnis dieser Voraussetzungen bleibt dabei im Dunkeln; man sieht weder ein, ob und inwieweit ihre Verbindung notwendig, noch a priori, ob sie möglich ist."[14] Helmholtz geht nun in seiner Arbeit „Über die Tatsachen, die der Geometrie zugrunde liegen" genauer auf diese Voraussetzungen ein. Das Wichtigste der Arbeit bringt er nochmals in seinem Vortrag „Über den Ursprung und die Bedeutung der geometrischen Axiome", den er 1870 vor dem Dozentenverein hielt. Er geht davon aus, daß die Geometrie immer als Beispiel dafür diente, daß Erkenntnis ohne reale Erfahrungsgrundlage möglich sei. Dann stellt er die Frage, woher die Axiome kom-

[11] Ebenda, S. 96
[12] A. L. Rubinstein, Grundlagen der allgemeinen Psychologie, Berlin 1959, S. 328.
[13] Vgl. H. Helmholtz, Wissenschaftliche Abhandlungen, Leipzig 1883, S. 659.
[14] B. Riemann, Über die Hypothesen, die der Geometrie zugrunde liegen, Berlin 1921, S. 1.

men, die zweifellos richtig, aber nicht beweisbar seien. Er will nachweisen, daß sie aus der Erfahrung stammen. Am Beispiel der Kongruenz zeigt er, daß man nicht Erfahrungssätze als allgemeine Denknotwendigkeiten nehmen darf. Der Kongruenzbeweis beruht darauf, daß man annimmt, daß alle Figuren, ohne ihre Form zu ändern, aufeinander zubewegt werden. Schließt dieser Beweis eine logisch unerwiesene Voraussetzung ein, so ist er auf eine aus der Erfahrung genommene Tatsache gestützt. Das ist aber der Fall. Am Beispiel der Riemannschen Geometrie zeigt Helmholtz, daß auf einer eiförmigen Oberfläche Dreiecke nur unter Änderung ihrer Form fortbewegt werden können. Der Kongruenzbeweis der Euklidischen Geometrie beruht also auf der Erfahrung. Damit wurde auch die Behauptung Kants, daß die Axiome synthetische Urteile a priori sind, zurückgewiesen. Helmholtz bemerkt zu dem geführten Nachweis: „Ich schließe daraus, daß die Wissenschaft, welche ich physische Geometrie genannt habe, Sätze von realem Inhalt enthält, und daß ihre Axiome bestimmt werden, nicht durch bloße Formen des Vorstellens, sondern von Verhältnissen der realen Welt.“[15] Helmholtz wendet sich damit gegen den Apriorismus Kants mit dem materialistischen Argument von der objektiv-realen Existenz des Raumes und der notwendigen Erkenntnis des objektiv-realen Raumes.

Die Historizität der Raumwahrnehmung kommt bei Anerkennung des [270] objektiv-realen Raumes in doppeltem Sinne zum Ausdruck. Einmal muß die Komponente der persönlichen Erfahrung berücksichtigt werden. Zum anderen hat sich jedoch der Apparat der Raumwahrnehmung im Menschen ebenfalls entwickelt.

Die Klassiker des Marxismus-Leninismus knüpfen an der materialistischen Haltung der Naturwissenschaftler zur Existenz des Raumes an. Lenin schrieb in der Auseinandersetzung mit dem Kantianismus: „Da der Materialismus die von unserem Bewußtsein unabhängige Existenz der objektiven Realität, d. h. der sich bewegenden Materie, anerkennt, so muß er unvermeidlich auch die objektive Realität von Zeit und Raum anerkennen, zum Unterschied vor allem vom Kantianismus ...“[16]

Hier interessiert uns vor allem die Konsequenz für die Raum-Zeit-Theorie, die Lenin hervorhebt. Die Anerkennung des Primats der Materie gegenüber dem Bewußtsein führt notwendig zur Anerkennung der objektiven Realität von Raum und Zeit. Dabei ergeben sich zwei Möglichkeiten: Entweder man nimmt einen von der Materie unabhängigen objektiven Raum und eine davon unabhängige Zeit an, oder man hebt den engen Zusammenhang zwischen Materie, Raum und Zeit hervor. Die erste Auffassung würde sowohl der beispielsweise bei Demokrit vertretenen Auffassung vom Vollen und Leeren als auch dem Mechanismus Newtons entsprechen. Es ist das Verdienst von Engels und Lenin, diese Auffassung kritisiert zu haben, als (vor allem zur Zeit von Engels) die mechanistische Trennung der Materie von Raum und Zeit unter den Physikern vorherrschend war. Auch der nicht vom mechanischen Denken beeinflußte Tschernyschewski schrieb noch 1878 zur Arbeit von Helmholtz über nichteuklidische Geometrien: „Das ist das wilde Hirngespinst eines Ignoranten, der nicht versteht, was er denkt und worüber er denkt.“[17]

Engels und Lenin entwickelten den Gedanken von der Einheit von Materie, Raum und Zeit, indem sie Raum und Zeit als Existenzformen der Materie faßten. Die objektiv-reale raumzeitliche Struktur der physikalischen Prozesse wird in der einzelwissenschaftlichen Raum-Zeit-Auffassung widergespiegelt. Wären Raum und Zeit angeborene Anschauungsformen, wie Kant meinte, dann dürften sich unsere Vorstellungen nicht verändern. Der wirkliche Grund für die tatsächliche Änderung unserer Raum-Zeit-Auffassung ist die objektiv-reale Existenz der Raum-Zeit.

[15] H. Helmholtz, Wissenschaftliche Abhandlungen, S. 658.
[16] W. I. Lenin, Werke, Bd. 14, S. 171.
[17] N. G. Tschernyschewski, Ausgewählte philosophische Schriften, Moskau 1953, S. 669.

Eben diese dialektisch-materialistische These verbindet alte und neue Raum-Zeit-Theorien. Jede von ihnen erfaßt mehr oder weniger genau die [271] objektiv-reale Raum-Zeit-Struktur. Unsere Erkenntnisse werden uns immer neuere Ergebnisse liefern. Heute wird bereits über mögliche neue raum-zeitliche Beziehungen im Inneren der Elementarteilchen diskutiert. Aber diese Verwandlung und Entwicklung unserer Raum-Zeit-Begriffe kann nur dann nicht in den Relativismus führen, wenn man die philosophische Antwort auf die Frage nach den Quellen unseres Wissens, die in der objektiven Realität liegen, berücksichtigt.

Wenn man begreift, daß mit den einzelwissenschaftlichen Kenntnissen über Raum und Zeit Widerspiegelungen der objektiv-realen Raum-Zeit-Struktur existieren, dann setzt man nicht die philosophische Aussage über die objektive Realität der Raum-Zeit mit Erkenntnissen über die Struktur der Raum-Zeit gleich. Man mag dieses Ergebnis für das wissenschaftliche Weltbild gering achten, sollte es aber nicht. Gerade das Verständnis für die Probleme, die sich aus der Anerkennung der objektiven Realität der Raum-Zeit ergeben, macht den Wissenschaftler aufgeschlossen gegenüber neuen wissenschaftlichen Ergebnissen. Das ist nicht von vornherein selbstverständlich. In jeder Wissenschaft gibt es Perioden des dogmatischen Festhaltens an einmal erreichten Ergebnissen ohne Berücksichtigung neuer Aspekte. Die Kantsche Auffassung von der vor jeder Erfahrung vorhandenen raum-zeitlichen Anschauungsform förderte nicht die Entwicklung neuer Ideen. Die Anerkennung der objektiven *Raum-Zeit-Struktur* berücksichtigt aber stets auch die relative Gültigkeit unserer Kenntnisse und ist damit ein Ansporn zu neuen Forschungen. Für die dialektisch-materialistische Raum-Zeit-Auffassung ist die Anerkennung der objektiven Realität der Raum-Zeit zwar der Ausgangspunkt für die Behandlung weiterer Probleme, aber darin beschränkt sich die Auffassung nicht. Wir wollten nur an dieser Grundproblematik andeuten, daß es sich bei der Beantwortung philosophischer Fragen nicht um eine Einmischung in die inneren Angelegenheiten der physikalischen Forschung handelt, aber auch keine unüberbrückbare Kluft philosophische und physikalische Aussagen trennt.

Engels und Lenin entwickelten den Gedanken von der Einheit von Materie, Bewegung, Raum und Zeit, indem sie Raum und Zeit als Existenzformen der sich bewegenden Materie faßten. Dabei wird von den konkreten räumlichen und zeitlichen Beziehungen und dem bisherigen Erkenntnisstand über die konkrete Raum-Zeit-Struktur abstrahiert und nur das allgemeine Merkmal hervorgehoben, daß es sich um die Formen handelt, die abhängig von der materiellen Bewegung sind. Diese konkrete Abhängigkeit wird von der Einzelwissenschaft untersucht. Das geht weit über den Kompetenzbereich der Philosophie hinaus. Sie muß die gefundenen Ergebnisse zur Präzisierung ihres Standpunktes berücksichtigen. Lenin schreibt, daß Raum und Zeit [272] die objektiv-realen Formen des Seins sind. „In der Welt existiert nichts als die sich bewegende Materie, und die sich bewegende Materie kann sich nicht anders bewegen als im Raum und in der Zeit. Die menschlichen Vorstellungen von Raum und Zeit sind relativ, doch setzt sich aus diesen relativen Vorstellungen die absolute Wahrheit zusammen, diese relativen Vorstellungen entwickeln sich in der Richtung der absoluten Wahrheit, nähern sich dieser. Die Veränderlichkeit der menschlichen Vorstellungen von Raum und Zeit widerlegt die objektive Realität beider ebensowenig, wie die Veränderlichkeit der wissenschaftlichen Kenntnisse über Struktur und Bewegungsformen der Materie die objektive Realität der Außenwelt widerlegt.“[18] Lenin bestimmt damit den Platz der Raum-Zeit-Problematik in der dialektisch-materialistischen Weltanschauung. Sie kann nicht unabhängig von den Thesen über die Materie, die Erkenntnis der Materie usw. behandelt werden. Die Stellung des marxistischen Philosophen zu Raum und Zeit ergibt sich aus seiner materialistischen Grundhaltung.

Wir wollen noch einmal die Grundprinzipien der dialektisch-materialistischen Raum-Zeit-Auffassung hervorheben:

[18] W. I. Lenin, Werke, Bd. 14, S. 171 f.

1. Aus der Anerkennung der Existenz der objektiven Realität folgt die Anerkennung der objektiven Realität von Raum und Zeit. Die Widerlegung der idealistischen Auffassung erfolgt sowohl durch die Begründung der materialistischen Weltanschauung überhaupt, als auch durch den speziellen Nachweis, daß die Raum-Zeit-Anschauung aus der Erfahrung stammt und sich mit der Erfahrung ändert. Dabei ist der Erkenntnisapparat des Menschen historisch entstanden, heute existiert er jedoch als notwendige Bedingung für die Erkenntnis der objektiven Raum-Zeit.
2. Raum und Zeit sind die Existenzformen der Materie. Das ist die allgemeinste philosophische Bestimmung, die erst auf einer hohen Stufe der Erkenntnis über die Raum-Zeit möglich war. Dabei wird von den konkreten Lagebeziehungen (Raum) und der an objektive Prozesse gebundenen Maße für die Dauer von Veränderungen (Zeit) abstrahiert, wobei wir die allgemeinste Formulierung erhalten. Sie bewahrt uns davor, einerseits unsere bisherigen Kenntnisse als die überhaupt möglichen zu bezeichnen, denn der Begriff *Form* kann auch bisher unbekannte Ergebnisse begrifflich umfassen. Andererseits heben wir den engen Zusammenhang mit der Materie hervor, womit wir betonen, daß neue Erkenntnisse über die objektive raum-zeitliche Struktur auch neue Erkenntnisse über die materiellen Objekte darstellen. [273] Manchmal hört man die Meinung, daß man nicht von der Bewegung im Raum sprechen könne, da damit ein absoluter Raum postuliert wäre. Nimmt man die Bestimmung des Raums als Existenzform der Materie, dann gehört auch ein konkreter materieller Bereich, in dem sich die Bewegung abspielt, zum Raum. Ein Zimmer, in dem wir uns bewegen, ist ein Raumbereich, der durch bestimmte materielle Objekte und Prozesse charakterisiert ist. Man kann aber den Raum nicht auf den Raumbereich beschränken. Erst die Verabsolutierung des Raumbereichs würde zur Annahme eines der Materie losgelösten absoluten Raums führen. Die in bestimmter Art und Weise vor sich gehenden Elementarteilchenprozesse konstituieren ebenfalls einen Raumbereich, in dem sich diese Bewegung vollzieht. Wie wir bereits bemerkten, sollten in Bereichen, die kleiner als 10^{-13} cm sind, neue räumliche Beziehungen gelten. Die Prozesse, die sich in einem bestimmten Raumbereich abspielen, haben selbst aber auch bestimmte Lagebeziehungen zueinander. Auch diese Beziehungen werden vom allgemeinen Begriff des Raumes umfaßt. Raum als Existenzform umfaßt begrifflich die durch materielle Prozesse charakterisierten Raumbereiche, die Lagebeziehungen in diesen Bereichen und die durch die Bewegung sich ergebenden Veränderungen des Raumes.
3. Die menschlichen Vorstellungen über Raum und Zeit sind relativ. Durch das Eindringen in neue Raumbereiche entdeckten wir neue dort wirkende Gesetze. Wir finden auch neue dort raum-zeitliche Beziehungen. Das machte vor allem die Entwicklung in der klassischen Physik und der euklidischen Geometrie zur modernen Physik und der Ausarbeitung nichteuklidischer Geometrien deutlich.
4. Aus den relativen menschlichen Vorstellungen setzt sich die absolute Wahrheit zusammen, die wir nie vollständig erreichen, der wir uns aber ständig nähern. Lenin bemerkte zu dem Argument der Relativisten, die meinen, daß wegen der Veränderung unserer Kenntnisse überhaupt keine gültige Aussage gemacht werden könne: „Wenn die Zeit- und Raumempfindungen dem Menschen eine biologisch zweckmäßige Orientierung geben können, so ausschließlich unter der Bedingung, daß diese Empfindungen die *objektive Realität* außerhalb des Menschen widerspiegeln: Der Mensch würde sich nicht biologisch einer Umgebung anpassen können, wenn seine Empfindungen ihm nicht eine *objektiv richtige* Vorstellung von dieser Umgebung gäben.“[19] Mit diesen Grundprinzipien der dialektisch-materialistischen Raum-Zeit-Auffassung ist [274] einerseits die Frage nach den Quellen unserer Kenntnisse, nach der materialistischen Auffassung von der

[19] Ebenda, S. 175.

Einheit der Welt und nach der Richtung unserer Erkenntnis beantwortet. Andererseits wird jeder Dogmatismus, der an einmal erkannten raum-zeitlichen Strukturen als den allgemeingültigen Strukturen überhaupt festhalten will, zurückgewiesen.

2.2. Die Entwicklung der Raum-Zeit-Auffassung

Die Entwicklung der Raum-Zeit-Auffassung in Philosophie und Physik bestätigt die Richtigkeit des Gedankens von der objektiven Realität des Raumes und der Widerspiegelung im Bewußtsein. Hatten wir vorher auf die Fähigkeit zur Raumwahrnehmung verwiesen, so geht es uns jetzt um die Entwicklung unserer Kenntnisse über die Raum-Zeit: Beide Probleme sind miteinander verbunden. Wenn Rubinstein auf die sinnlichen und rationalen Faktoren in der Raumwahrnehmung verwies, so zeigt das, wie notwendig die Untersuchung der Veränderung unserer Raum-Zeit-Vorstellungen ist. Sie gehen ja als gedankliche Faktoren in die Betrachtung mit ein.

Der Mensch ist mit einem in bestimmter Weise organisierten Apparat zur Raum-Zeit-Wahrnehmung ausgerüstet. Die Wahrnehmung wird durch die Wirkungen der materiellen Prozesse hervorgerufen. Dabei sind die Formen der Existenz dieser Prozesse Raum und Zeit. Beide Begriffe sind Abstraktionen hohen Grades. Der Begriff des Raumes umfaßt: a) den materiellen Bereich, in dem sich Prozesse vollziehen; b) Lagebeziehungen verschiedener materieller Prozesse, Teilprozesse zueinander (z. B. Abstände); c) Bahnkurven einzelner Prozesse. Die Vorstellungen darüber haben eine komplizierte Entwicklung durchgemacht. Unproblematischer erschien lange der Begriff der Zeit. Er umfaßt alle Maße für die Dauer und kann nicht anders denn als reine Dauer gefaßt werden. Die Richtung der Zeit kann aus den konkreten Veränderungen, aus der Asymmetrie des Kausalverhältnisses abstrahiert werden. Auf vergangene Ereignisse können wir nicht mehr einwirken. Zukünftige Ereignisse können beeinflußt werden. Diese Formulierung würde jedoch zu einer Subjektivierung der Zeit führen. Genauer muß man sagen: Vergangene Ereignisse sind auf Grund der Gesamtheit der Bedingungen notwendig eingetroffen, zukünftige Ereignisse sind abhängig vom Zusammenwirken der Bedingungen.

Wir wollen nun einige wesentliche Punkte in der Entwicklung der Raum-Zeit-Auffassung hervorheben. Eine umfassende Theorie der Raumverhältnisse liegt uns in den Elementen Euklids (etwa 300 v. u. Z.) vor. Es handelt sich bei der Euklidischen Geometrie um eine Geometrie des dreidimen-[275]sionalen Raumes, die mit geradlinigen Koordinaten erfaßt wird. Das Wesen dieser Raumauffassung besteht in folgendem: Der Raum ist dreidimensional. Die Koordinaten des Raumes sind geradlinig. Die Winkelsumme im Dreieck ist 180°.

Mit dieser Raumauffassung ist die klassische Physik verbunden. Physik und Geometrie sind in diesem Stadium getrennt. Die Physik untersucht die Bewegung der realen Körper und die Geometrie die Struktur des Raumes. Der Zusammenhang beider besteht nur darin, daß die Physik zur Darstellung der Bewegung die Lehre von der Struktur des Raumes ausnutzt. Philosophisch wesentlich in dieser Auffassung ist deshalb noch die Absolutheit des Raumes, d. h. seine Unabhängigkeit von der materiellen Bewegung.

Der Angriff auf diese Raumauffassung erfolgte im vergangenen Jahrhundert. Philosophisch wurde durch Marx und Engels die Absolutheit des Raumes verworfen. Wenn Raum und Zeit Existenzformen der Materie sind, dann ergibt sich für die Einzelwissenschaft die Aufgabe, sowohl den Zusammenhang zwischen Raum und Zeit als auch ihre Abhängigkeit von der Materie nachzuweisen. Das ist ein Programm für die Entwicklung der Einzelwissenschaft, das heute noch nicht vollständig realisiert ist.

Einzelwissenschaftlich wurde im vergangenen Jahrhundert die Ungültigkeit des Parallelenaxioms und die Möglichkeit nichteuklidischer Geometrien behauptet. Die neue Geometrie

übernahm die Dreidimensionalität und die Absolutheit des Raumes. Neu war, daß die Winkelsumme im Dreieck ungleich 180° ist und die Koordinaten nicht geradlinig sind. Noch hatten aber die Gedanken der nichteuklidischen Geometrie nur den Charakter einer logischen Erweiterung der Raumauffassung. Sie fanden zuerst keine Anwendung in der Physik. Den Weg zur Weiterentwicklung wies, von den Naturwissenschaftlern leider unbeachtet, die marxistische Philosophie. Sie verwarf die Absolutheit des Raums und stellte eine völlig neue Aufgabe, indem sie auch die Absolutheit der Zeit verwarf.

Gemessen wurde die Zeit durch die Dauer objektiver Veränderungen. Die klassische Zeitauffassung verlangte die Eindimensionalität der Zeit (d. h., sie läßt sich nicht in verschieden gerichtete Komponenten aufspalten. Sie ist kein Vektor, sondern ein Skalar). Außerdem wurde die Unumkehrbarkeit der Zeit betont. Die Zeit war dabei in allen Systemen gleich, d. h. unabhängig von der sich bewegenden Materie.

Sowohl die klassische Raum- als auch die klassische Zeitauffassung wurde von der marxistischen Philosophie wegen ihres absoluten Charakters kritisiert. Diese Absolutheit hatte zwei Seiten: Erstens die Unabhängigkeit des Raumes von der Zeit und umgekehrt. Zweitens die Unabhängigkeit [276] von Raum und Zeit von der sich bewegenden Materie und umgekehrt. Die marxistische Philosophie hob dagegen den Zusammenhang von Materie, Bewegung, Raum und Zeit hervor.

In der zu Beginn unseres Jahrhunderts von Einstein ausgearbeiteten und heute praktisch bestätigten Speziellen Relativitätstheorie (SRTh) wurde vor allem der Zusammenhang zwischen Raum und Zeit ausgearbeitet. Die Annahme einer absoluten Zeitskala ist falsch. Voraussetzung für diese neue Auffassung ist die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. In der Lorentztransformation wird die Abhängigkeit des Raumes von der Zeit und umgekehrt mathematisch gefaßt. Minkowski benutzte zur Darstellung eines Ereignisses ein vierdimensionales Schema (Lichtkegel). Ein Ereignis erforderte damit zu seiner Bestimmung sowohl die räumlichen als auch die zeitlichen Angaben. Die neue Raum-Zeit-Auffassung, obwohl noch klassisch mit geradlinigen Koordinaten arbeitend, lieferte das philosophisch interessante Ergebnis, daß die Eindimensionalität der Zeit und die Dreidimensionalität des Raumes erhalten blieben, aber der Zusammenhang zwischen Raum und Zeit bestätigt wurde. Die philosophische Schwäche war die noch verbliebene Unabhängigkeit der Raum-Zeit von der sich bewegenden Materie.

Der weitere Fortschritt mußte im Nachweis dieses Zusammenhangs liegen. Das geschieht in der Allgemeinen Relativitätstheorie (ARTh). Ist die SRTh eine bestätigte einzelwissenschaftliche Theorie, so kann man das von der ARTh noch nicht in allen Einzelheiten sagen. Unabhängig davon, ob sie in allen Einzelheiten bestätigt wird oder nicht, liegt ihr philosophisch richtiger Gesichtspunkt im Zusammenhang von Raum-Zeit und bewegter Materie. Dieser richtige Gesichtspunkt muß auch von einer eventuellen anderen Theorie berücksichtigt werden. In der ARTh bestimmt die Masseverteilung die Bewegungsgleichungen der Körper. Die Verteilung der sich bewegenden Materie bestimmt die Geometrie. Diese wechselt aber ständig, entsprechend der sich ändernden Masseverteilung. Die materiellen Körper bewegen sich entsprechend der durch sie bestimmten Geometrie. Sie verändern dadurch die Masseverteilung, d. h. auch die Geometrie. So haben wir es mit der von der Philosophie aufgedeckten und der Physik bestätigten wechselseitigen (dialektischen) Bestimmung von Raum, Zeit, Bewegung und Materie zu tun. Die Entwicklung bestätigte also die Richtigkeit der dialektisch-materialistischen Auffassung von Raum und Zeit als Existenzformen der Materie.

Die Philosophie hat im wesentlichen folgende theoretische Aufgaben zu lösen, die in dem von uns betrachteten Zusammenhang von Interesse sind: Erstens muß sie den Kampf gegen idealistische und agnostische Auffassun-[277]gen führen. Dabei setzt sie sich mit den Hauptvertretern einer reaktionären Auffassung auseinander. Die Verbindung der Naturwissenschaft

mit einer idealistischen Auffassung ist nicht dauerhaft. Das zeigte sich auch in der Haltung Laues zu Raum und Zeit.[20] Er anerkannte den materialistischen Standpunkt, daß es kein physikalisches Geschehen unabhängig von Raum und Zeit gibt, daß uns die Natur ein Maßsystem für Raum und Zeit vorschreibt. Damit hat er den Kantschen Idealismus verlassen. Wieso hält er aber an der Formulierung fest, daß er erst durch Kant die moderne Raum-Zeit-Auffassung verstanden hätte? Raum und Zeit sind Abstraktionen von den wirklichen räumlichen und zeitlichen Verhältnissen. Wer vergißt, daß es Abstraktionen sind, und ihre Existenz a priori behauptet, geht zum Idealismus über. Andererseits ist das menschliche Bewußtsein in der Lage, räumliche und zeitliche Verhältnisse mit Hilfe der Sinnesorgane wahrzunehmen. Dabei wird die Raum- und Zeitanschauung durch die wirklichen Verhältnisse bestimmt. Wer die Fähigkeit zur Widerspiegelung der Raum-Zeit-Verhältnisse zur a priori Raum-Zeit-Anschauung verabsolutiert, kommt ebenfalls zum Idealismus. Eine dieser beiden erkenntnistheoretischen Wurzeln mag Laue zu seiner Behauptung geführt haben. Offensichtlich ist jedoch sein prinzipiell materialistischer Standpunkt in dieser Frage.

Das verweist uns auf eine sehr gründliche und exakte Einschätzung idealistischer Thesen. Die Auseinandersetzung muß die Klärung des entsprechenden Problems zur Voraussetzung haben.

Die zweite Aufgabe der marxistischen Philosophie ist die Verallgemeinerung des vorliegenden einzelwissenschaftlichen Materials. Diese Aufgabe löste Engels mit der allgemeinen Bestimmung von Raum und Zeit als den Existenzformen der Materie. Er verallgemeinerte, indem er herrschende Auffassungen kritisierte und Tendenzen der weiteren einzelwissenschaftlichen Entwicklung aufdeckte.

Wenn wir heute verallgemeinern, dann kann das nicht nur bedeuten, die ausgearbeiteten Thesen wieder bestätigt zu finden. Dann kämen wir zu einer Beispielsammlung für vorhandene Thesen. Unsere Aufgabe ist es, vom heutigen Stand der Wissenschaft aus zu verallgemeinern unter Ausnutzung des gesamten vorliegenden Materials der marxistischen Philosophie. Dabei ergeben sich Fragestellungen, die über das von Engels Gesagte hinausgehen. Zwar übernahm die moderne Raumauffassung die Dreidimensionalität des Raumes. Aber dieses Merkmal des Raumes wurde wesentlich tiefer begriffen. Es wird oft behauptet, daß die Dreidimensionalität bei gekrümmten Koordinaten nicht mehr gelte. Zweifellos muß [278] eine moderne Raum-Zeit-Theorie die Auffassung von einem dreidimensionalen Raum mit konstantem Krümmungsradius ablehnen. Aber selbst bei ständig wechselnder Krümmung haben wir an jedem Punkt des Raumes drei Dimensionen (Länge, Breite, Höhe). Da der Raum nur in seinen konkreten, von der Materie bestimmten Raumstrukturen existiert, bedeutet die Dreidimensionalität des Raumes nicht die Annahme eines absoluten dreidimensionalen Raumes, sondern die Existenz dreier Dimensionen in jedem Punkt des Raumes.

Wir haben auch die Bedeutung räumlicher und zeitlicher Zusammenhänge für die Konkretisierung des Verhältnisses von Kausalität und Gesetz auszuarbeiten. Aus dem Lichtkegel ergibt sich, daß der universelle Zusammenhang nicht ein Zusammenhang jedes mit jedem ist. Es muß also das konkrete Wirken der Kausalität untersucht werden.

Auch die Unumkehrbarkeit der Zeit muß in ihrem Zusammenhang zu bestimmten Erhaltungssätzen und zur Kausalität bestimmt werden. Diese Aufzählung der Probleme zeigt, wie notwendig die Verallgemeinerung des vorliegenden einzelwissenschaftlichen Materials ist.

Eine richtige Verallgemeinerung liefert (hier haben wir die dritte Aufgabe der Philosophie) eine Grundlage zur Diskussion um die Weiterentwicklung der Wissenschaft. Engels hatte mit seiner Raum-Zeit-Theorie die Richtung für die Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Forschung gewiesen. Einstein mußte jedoch diese theoretischen Überlegungen neu anstellen.

[20] Vgl. Naturwissenschaft und Philosophie, Berlin 1960, S. 61 ff.

Heute besteht dagegen die Möglichkeit einer gemeinsamen Diskussion zwischen marxistischen Philosophen und Naturwissenschaftlern zur Weiterentwicklung der entsprechenden Theorie. Diese Möglichkeiten werden von uns genutzt. Dabei ergeben sich aus der bereits skizzierten Analyse die verschiedensten offenen Probleme, die philosophischen Charakter tragen. Die der Raum-Zeit von der Materie ist noch nicht völlig beseitigt. Wir haben zwar eine allgemeine Raum-Zeit-Theorie, die die Abhängigkeit von der Masseverteilung berücksichtigt. Aber es ist noch nicht klar, wie diese Theorie bei der Untersuchung der Elementarobjekte berücksichtigt werden kann. Wir kennen den Wellen-Korpuskularcharakter der Elementarobjekte, aber diese Einheit von Kontinuität und Diskontinuität materieller Objekte verlangt die Einheit von Kontinuität und Diskontinuität der Existenzformen dieser Objekte. Hierfür gibt es theoretische Ansätze.[21] Allein die Hervorhebung dieser Problemstellung [279] zeigt, daß die Betonung der notwendigen Zusammenarbeit zwischen Philosophen und Naturwissenschaftlern keine leere Phrase, sondern notwendig im Interesse der Entwicklung der Wissenschaft ist. Der Philosoph ist dabei gleichberechtigter Diskussionspartner. Er kann auf der Grundlage umfangreicher Forschungsarbeit wertvolle Gedanken beitragen, die die Naturwissenschaft schneller bei der theoretischen Fragestellung voranbringen. Der Naturwissenschaftler wirft allgemeine Probleme auf Grund der experimentellen und theoretischen einzelwissenschaftlichen Forschung auf. Der Philosoph untersucht einzelwissenschaftliche Fragestellungen von seiner Kenntnis der allgemeinsten Beziehungen und Gesetze her. Dabei wird sowohl die Einzelwissenschaft als auch die Philosophie bereichert.

Betrachtet man die genannten drei Aufgaben des marxistischen Philosophen, so sieht man das gewollte Unverständnis des Jesuiten Wetter für die Bedeutung der marxistischen Philosophie. Wetter tut die Beziehung zwischen Relativitätstheorie und dialektischem Materialismus mit folgender Bemerkung ab: „Aufs Sachliche gesehen, handelt es sich höchstens um die Bestätigung einiger Thesen, die der dialektische Materialismus mit manchen anderen philosophischen Systemen gemein hat ...“[22]

Es geht hier nicht um nebensächliche Thesen, sondern um die Grundthese von der objektiven Realität der Existenzformen der Materie, die durch die Physik bestätigt wird. Wetter leugnet aber vor allem die wissenschaftliche Leistung der dialektischen Materialisten, die in allgemeiner Form die für die moderne Physik wichtigen Beziehungen zwischen Materie, Bewegung, Raum und Zeit untersuchten.[23]

[280] Eine solche Haltung widerspricht der sachlichen wissenschaftlichen Diskussion. Davon ausgehend kann Wetter auch nicht die Bedeutung der marxistischen Philosophie für die Wei-

[21] Vgl. I. S. Schapiro, Über die Quantisierung des Raumes und der Zeit, Fragen der Philosophie, Heft 5, 1962, S. 84 ff. (russ.), A. N. Vlalzew, Diskrete Raum-Zeit, Moskau 1965 (russ.).
[22] G. A. Wetter, Philosophie und Naturwissenschaft in der Sowjetunion, Hamburg 1958, S. 46.
[23] R. J. Steinmann, Raum und Zeit, Moskau 1962 (russ.), A. D. Alexandrov, Raum und Zeit in der modernen Physik im Licht der philosophischen Ideen Lenins, in: Lenin und die moderne Naturwissenschaft, Moskau 1969, S. 202 ff., Philosophische Probleme der Gravitationstheorie Einsteins und die relativistische Kosmologie, Kiew 1965, S. Dyschlewi, W. I. Lenin und die philosophischen Probleme der relativistischen Physik, Kiew 1969. Diese Auswahl soll nur die Anstrengungen verdeutlichen, die marxistisch-leninistische Philosophen und Naturwissenschaftler unternehmen, um die philosophischen Probleme der physikalischen Raum-Zeit-Auffassung zu klären. Auch in westlichen Ländern spielt bei der Diskussion philosophischer Fragen der Wissenschaft die Raum-Zeit-Problematik eine große Rolle. Erwähnt seien hier folgende Arbeiten: A. Grünbaum, Philosophical Problems of Space and Time, 1964, D. Larson, New Light on Space and Time, Portland 1965, S. A. Bassi, A Deductive Theory of Space and Time, Amsterdam 1966, Scientific Explanation, Space and Time, ed [280] by H. Feigl, G. Maxwell, Minneapolis 1962, M. Whitemann, Philosophy of Space and Time 1967, Boston Studies in the Philosophy of Science, 1966/1968, Dordrecht 1969.
Eine Reihe weiterer Arbeiten wird in den folgenden Anmerkungen noch auftauchen. Nicht genannt sind hier die vielen physikalischen Arbeiten zu Raum-Zeit-Problemen, die in sich philosophische Aussagen enthalten.

terentwicklung der Einzelwissenschaft begreifen. Er bezeichnet ihre Thesen als „Binsenwahrheiten“. Er befindet sich also in der Lage eines Menschen, der die Entwicklung der Wissenschaft nicht begreift, als Jesuit nicht begreifen darf.

Gerade die Untersuchung der Entwicklung der physikalischen Raum-Zeit-Auffassung bestätigt die objektive Realität der Raum-Zeit als Existenzform der Materie. Daraus ergibt sich die relative Wahrheit unserer konkreten Kenntnisse über die Raum-Zeit. Diese relativen Wahrheiten sind Annäherungen an die philosophische Raum-Zeit-Theorie. Dabei werden die allgemeinsten philosophischen Kategorien präzisiert und erweitert. Die bisherige Entwicklung hat die Engelssche Bestimmung von den Existenzformen bestätigt. Es sind jedoch noch weitere Schlußfolgerungen aus der dialektisch-materialistischen Raum-Zeit-Theorie und den experimentellen und theoretischen Ergebnissen der modernen Physik zu ziehen, um heuristische Hinweise für die Weiterentwicklung der Theorie zu erhalten. Viele Fragen über die Elementarlänge, über relativistische Effekte der Elementarteilchen usw. sind noch zu klären.

Philosophisch interessant ist die Änderung der Vorstellungen über das Vakuum. Unter der Voraussetzung der Existenz identischer kleinster Teilchen, aus denen die Welt aufgebaut ist, muß für die Bewegung dieser Teilchen notwendig der leere Raum zur Erklärung herangezogen werden. Betrachtet man nur die Ortsveränderung undurchdringlicher Körper, so können sie nicht konzentriert den Raum (Bereich, in dem sich die Bewegung vollzieht) erfüllen. Das war auch der Gedanke Demokrits, der zur Erklärung der Bewegung das Volle und das Leere benutzte.

Mit dem Fortschritt der Wissenschaft wurde die Unhaltbarkeit der Hypothese gezeigt, daß man alles auf identische, kleinste Teile reduzieren kann. Die moderne Physik zeigt nicht nur die Abhängigkeit der Elementarteilchen voneinander, sondern auch ihre gegenseitige Verwandelbarkeit. Damit fällt die Notwendigkeit der Hypothese vom leeren Raum zur Erklärung der Bewegung. Bewegung ist nicht einfach Ortsveränderung von Körpern, [281] Bewegung ist Veränderung im allgemeinsten Sinne. Zu ihr gehören die Ortsveränderung, die äußere und innere Wechselwirkung, die Umwandelbarkeit einer Materieart in eine andere und die Entwicklung. Da die materiellen Prozesse sich gegenseitig durchdringen können, bedarf es für die Vielfalt der Bewegung keines materiefreien Raumes. Die Untersuchung der Materiefelder zeigte auch, daß nicht die äußere Form eines Körpers oder einer Korpuskel die Grenze ihrer Wirksamkeit darstellt. Elementarobjekte haben die Möglichkeit zur Wirkung in einem größeren Bereich als sie dann direkt wirken. Wir müssen die Felder der Objekte berücksichtigen.

Dabei versuchen wir die Wechselwirkung beispielsweise im Atomkern durch den Austausch virtueller Teilchen zu erfassen. Mesonen vermitteln die Kräfte zwischen Neutron und Proton. Die Prozesse mit virtuellen Teilchen sind gedachte Prozesse. Sie sind experimentell nicht überprüfbar. Jedoch können virtuelle Prozesse unter bestimmten Bedingungen zu realen werden. Die Hypothese der virtuellen Prozesse hilft dabei, eine Theorie für die realen Prozesse aufzustellen. Sie bringt einerseits die Möglichkeit der Umwandlung der Elementarteilchen durch den Austausch von Teilchen zum Ausdruck. Verwirklicht sich eine Möglichkeit, dann haben wir es mit der Umwandlung eines virtuellen Prozesses in einen realen zu tun. Andererseits widerspiegelt die Theorie einen komplizierten Mechanismus der Umwandlung der Teilchen, der uns nicht völlig bekannt ist.

Betrachtet man den Raum als Bereich, in dem sich Bewegung vollzieht, dann stellt man die Erfülltheit dieses Bereichs mit Materie fest. Mehr noch, die Angabe des Bereiches muß durch die Angabe materieller Prozesse erfolgen. Damit kann man sich aber auch, entgegen der Auffassung Kants, den Raum nicht mehr ohne Materie vorstellen. Die Entwicklung der Zeit-Auffassung hat die These vom absoluten Raum widerlegt. Die Redewendung, die Materie befindet sich im Raum, ist unexakt.

Im Raum befinden kann nur bedeuten, daß wir einen bestimmten Bereich angeben, der durch materielle Prozesse charakterisiert ist. Wir können beispielsweise sagen: auf der Erde, auf der Sonne, in der Atmosphäre. Alle diese Angaben beziehen sich auf eine Gesamtheit materieller Prozesse, die sich relativ von anderen unterscheiden. Wir finden damit die Bestätigung für die Materialität des Raumes nicht in einem neben der Materie existierenden Raum, in dem die Materie existiert. Materialität des Raumes bedeutet die Anerkennung der Einheit von Materie und Raum. Qualitativ verschiedene Prozesse lassen uns die Möglichkeit, von verschiedenen Räumen zu sprechen. Dabei interessiert uns bei der Bestimmung des Raumes nicht der materielle Prozeß, der einen Bereich begrenzt, sondern nur die Möglichkeit, solche Grenzen anzugeben.

[282] Die Betonung der Abhängigkeit des Raumes vom materiellen Prozeß wird bestätigt durch die Änderung der Beziehungen zwischen Raum-Zeit und Materie in verschiedenen Bereichen. In der Größenordnung 10^{-13} cm und kleiner sind neue Raum-Zeit-Beziehungen gegenüber den bekannten zu erwarten. Die Unabhängigkeit des Raumes von der Materie wäre nur durch den absolut leeren Raum (absolutes Vakuum) oder durch unabhängig von den materiellen Prozessen wirkende Raumatome zu verwirklichen. Da die Einheit von Raum und Materie nachgewiesen ist, ergibt sich die Fehlerhaftigkeit beider Hypothesen. Die Einheit von Raum und Materie verweist auf die qualitativ verschiedenen Raumbeziehungen in Abhängigkeit von den materiellen Prozessen. Sie zeigt auch die Relativität des Vakuums. Das relative Vakuum erweist sich als der materielle Raum, d. h. als Bereich, in dem sich auch materielle Veränderungen vollziehen, die unwesentlich sind. Dabei kann es sich um noch unbekannte oder um für die in diesem Vakuum untersuchten Erscheinungen unwichtige Prozesse handeln.

Zukünftige Theorien müssen diese Einheit von Materie und Raum immer besser zum Ausdruck bringen. Das widerspricht nicht einer möglichen allgemeinen Raum-Zeit-Theorie. Eine solche allgemeine Theorie muß die Beziehungen zwischen Raum-Zeit und materieller Bewegung untersuchen, indem von den konkreten materiellen Veränderungen abstrahiert wird. Dabei müßte jedoch in eine solche Theorie eine Größe eingehen, die abhängig von den materiellen Veränderungen ist.

Welche Schwierigkeiten noch mit der Beziehung von Raum-Zeit und Materie verbunden sind, zeigen die Theorien über Elementarteilchen bei der Berücksichtigung der Ausgedehntheit der Elementarteilchen.

Das Verhältnis von Raum-Zeit, Vakuum und Materie steht im Zusammenhang mit der philosophischen These von der Einheit der Welt in der Materialität. Diese These besagt im Zusammenhang mit den modernen Forschungen folgendes:

1. Vakuum oder leerer Raum sind Abstraktionen, die objektiv-real im relativ leeren Raum verwirklicht sind. Im Vakuum vollziehen sich materielle Prozesse, die entweder unbekannt oder unwesentlich sind.
2. Die Raum-Zeit ist die Existenzform der Materie. Sie ist abhängig von der materiellen Bewegung. Dabei abstrahieren wir in der Raum-Zeit von den wirklichen Vorgängen. Wir nutzen die materiellen Vorgänge zur Bestimmung eines Bereichs, Abstands oder einer Bahnkurve sowie zur Bestimmung der Dauer eines Vorgangs, des Nacheinander verschiedener Vorgänge. Damit kann jeder materielle Vorgang zur Bestimmung der Metrik der Raum-Zeit herangezogen werden. Die Metrik [283] ist abhängig von den Vorgängen, die ihre Grundlage bilden. Beim Übergang von einem System zum anderen müssen die Änderungen der Metrik berücksichtigt werden.
3. Jeder existierende Zusammenhang ist durch materielle Prozesse, d. h. materielle Bewegung vermittelt. Die menschliche Erkenntnis geht von der Konstatierung äußerer Zusammenhänge zur Untersuchung des inneren Mechanismus des Zusammenhangs über.

So wird jedes relative Vakuum, jeder relativ leere Raum immer neue materielle Prozesse aufweisen, die nach und nach genauer erforscht werden müssen.

2.3. Unendlichkeit der Materie und physikalische Forschung

Die philosophische These von der Unendlichkeit der Materie hat große Bedeutung in der weltanschaulichen Auseinandersetzung des dialektischen Materialismus mit dem Idealismus. Durch die Diskussion räumlich-endlicher Modelle des Weltalls und die Forschungen über die Gesetze der kosmischen Prozesse wurde die Frage nach der Verbindung der philosophischen Aussage mit den einzelwissenschaftlichen Ergebnissen gestellt: Erstens anerkennt der dialektische Materialismus voll und ganz die bestätigten Ergebnisse der modernen Physik und die Notwendigkeit des wissenschaftlichen Meinungsstreits um die Aufstellung von Theorien und Modellen, die der Wirklichkeit adäquat sind. Dabei kann es keine Hypothese geben, die aus philosophischen Gründen ausgeschlossen wäre, wenn man die für die wissenschaftliche Forschung unnütze Behauptung von der Existenz von Wundern von vornherein ausläßt. Auch die Beziehung zwischen Endlichkeit und Unendlichkeit unterliegt der wissenschaftlichen Diskussion, und besonders Mathematik und Physik haben interessante Probleme dabei aufgedeckt, die bisher ungenügend philosophisch analysiert wurden. Dazu gehört die Diskussion über endliche, aber unbegrenzte Weltmodelle und über die verschiedenen Mächtigkeiten der Unendlichkeit.

Zweitens wird jedoch in diesen Diskussionen über das Verhältnis von Endlichkeit und Unendlichkeit nicht klar zwischen der einzelwissenschaftlichen Aussage über die konkrete bisher erkannte Struktur des Weltalls in dem von der Wissenschaft untersuchten Bereich und den allgemeinen erkenntnistheoretischen Problemen, die sich aus dem Verhältnis des erkennenden Menschen zur zu erkennenden Natur ergeben und die von der marxistischen Philosophie untersucht werden, unterschieden. Das erschwert es, die Vereinbarkeit der philosophischen These von der Unendlichkeit mit der Aufstellung endlicher Weltmodelle zu sehen. Erst aus der Klärung [284] des Verhältnisses von einzelwissenschaftlicher und philosophischer Aussage kann dann drittens die Bedeutung der philosophischen These von der Unendlichkeit der Materie für den weiteren Erkenntnisfortschritt abgeleitet werden.

Wichtig für die These von der Unendlichkeit der Materie sind auch heute noch die entwickelten Gedanken. In der Auseinandersetzung mit Dühring, der sich auf Kant stützt, ihn aber einseitig interpretiert, betont Engels die Widersprüchlichkeit von Aussagen über die Unendlichkeit: „Die Unendlichkeit *ist* ein Widerspruch und voll von Widersprüchen. Es ist schon ein Widerspruch, daß eine Unendlichkeit aus lauter Endlichkeiten zusammengesetzt sein soll, und doch ist dies der Fall. Die Begrenztheit der materiellen Welt führt nicht weniger zu Widersprüchen als ihre Unbegrenztheit, und jeder Versuch, diese Widersprüche zu beseitigen, führt ... zu neuen und schlimmeren Widersprüchen. Eben *weil* die Unendlichkeit ein Widerspruch ist, ist sie unendlicher, in Zeit und Raum ohne Ende sich abwickelnder Prozeß. Die Aufhebung des Widerspruchs wäre das Ende der Unendlichkeit.“[24] Dabei darf man sich die aus lauter Endlichkeiten zusammengesetzte Unendlichkeit nicht als ein ständiges Aneinanderreihen von Körpern oder Punkten vorstellen. Auch in einem begrenzten Körper finden wir die Unendlichkeit in der Vielfalt von Beziehungen und Bestandteilen, die den Körper erst konstituieren.

Nicht um eine absolute Aussage über die Existenz der Unendlichkeit geht es Engels, sondern um die wirkliche Einheit von Endlichkeit und Unendlichkeit, die sich auch in der Erkenntnis zeigt: „Wenn ich nun sage, daß dies in meiner Vorstellung zusammengefaßte Denken aller dieser Menschen, die zukünftigen eingeschlossen, *souverän*, imstande ist, die bestehende Welt zu erkennen, sofern die Menschheit nur lange genug dauert und soweit nicht in den Erkenntnisorganen und den Erkenntnisgegenständen diesem Erkennen Schranken gesetzt sind,

[24] K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 20, S. 48.

so sage ich etwas ziemlich Banales und zudem ziemlich Unfruchtbares. Denn das wertvollste Resultat dürfte dies sein, uns gegen unsere heutige Erkenntnis äußerst mißtrauisch zu machen, da wir ja aller Wahrscheinlichkeit nach so ziemlich am Anfang der Menschheitsgeschichte stehn, und die Generationen, die *uns* berichtigen werden, wohl viel zahlreicher sein dürften als diejenigen, deren Erkenntnis wir ... zu berichtigen im Falle sind.“[25] Aus der Einsicht in den wirklichen Widerspruch zwischen Endlichkeit und Unendlichkeit erwächst bei Engels die notwendige Erkenntniskritik. Auch heute gilt für uns, trotz des großen [285] Fortschritts der Wissenschaften seit dem vergangenen Jahrhundert, die von Engels geratene Vorsicht gegenüber unseren Erkenntnissen. Die philosophische These von der Unendlichkeit der Materie erweist sich bei Engels als eine Vorschrift für die zu entdeckende *Struktur* der materiellen Prozesse im Kosmos, sondern als eine erkenntniskritische Feststellung, die sich aus der Verallgemeinerung der bisherigen einzelwissenschaftlichen Erkenntnisse ergibt. Dort, wo Engels naturphilosophische Aussagen auf Grund der wissenschaftlichen Ergebnisse seiner Zeit machte, muß man heute genau die Richtigkeit oder Falschheit überprüfen. So heißt es bei Engels: „Ewigkeit in der Zeit, Unendlichkeit im Raum, besteht schon von vornherein und dem einfachen Wortsinne nach darin, nach *keiner* Seite hin ein Ende zu haben, weder nach vorn oder nach hinten, nach oben oder nach unten, nach rechts oder nach links.“[26]

Diese Aussagen, verbunden mit der Existenz eines euklidischen Raums, in dem sich materielle Bewegung vollzieht, führen zu einer vereinfachten Auffassung von der wirklichen Raum-Zeit-Struktur als einem unendlichen Fortschreiten im Raum. Eben daraus entstand dann die manchmal gestellte Frage an die Vertreter der Endlichkeit der Welt: Was kommt nach dieser endlichen Welt? Die moderne Physik zeigt bei der Diskussion endlicher Weltmodelle, daß unter bestimmten Bedingungen ein Modell möglich wäre, das räumlich endlich und, um mit den Worten von Engels zu sprechen, nach keiner Seite hin ein Ende hat. Vorstellen kann man sich ein solches Modell im zweidimensionalen Bereich: Eine Kugel hat, wenn man nur die zweidimensionale Oberfläche betrachtet, kein Ende. Sie ist grenzenlos, aber doch endlich. Dieser Begriff der Grenzenlosigkeit spielt seit den Diskussionen um die Existenz nichteuklidischer Geometrien eine große Rolle. Engels vereinfacht die philosophische These von der Unendlichkeit, wenn er räumliche Unendlichkeit einfach mit räumlicher Grenzenlosigkeit gleichsetzt. Das war noch im vergangenen Jahrhundert berechtigt, weil die objektive räumliche Struktur mit der euklidischen Raumstruktur identifiziert wurde. Die heutigen dialektischen Materialisten müssen jedoch die Ergebnisse der modernen Physik über die Krümmung des Raumes unter bestimmten Bedingungen und damit die Möglichkeit eines grenzenlosen, aber endlichen Modells berücksichtigen.

Man könnte nun erstens die These von der Unendlichkeit überhaupt fallenlassen oder zweitens nur die von Engels vertretene Einheit von Unendlichkeit des Raums und Grenzenlosigkeit. Wenn man die Auffassung von Engels dazu genau untersucht, dann zeigt sich, daß die These von der [286] Unendlichkeit der Materie für die marxistische Philosophie weltanschaulich wichtig ist, weil sie etwas über die Gesetze unserer Erkenntnis aussagt, während die Einheit von Grenzenlosigkeit und Unendlichkeit für diese weltanschauliche Aussage ohne Bedeutung ist. Deshalb meine ich, muß der dialektische Materialist diese Gleichsetzung aufgeben und die These von der Unendlichkeit der Materie in ihrem Aussagengehalt genau bestimmen. Engels versucht selbst in der „Dialektik der Natur“ das Verhältnis von Endlichkeit und Unendlichkeit begrifflich genauer zu erfassen. Die These, daß wir nur das Endliche erkennen, ergänzt er durch die Feststellung, daß wir nur das Unendliche erkennen, indem wir das einzelne in die Allgemeinheit erheben: „Die Form der Allgemeinheit ist aber Form der Insichabgeschlossenheit,

[25] Ebenda, S. 80.
[26] Ebenda, S. 46.

damit Unendlichkeit, sie ist die Zusammenfassung der vielen Endlichen zum Unendlichen. Wir wissen, daß Chlor und Wasserstoff innerhalb gewisser Druck- und Temperaturgrenzen und unter Einwirkung des Lichts sich unter Explosion zu Chlorwasserstoff verbinden, und sobald wir dies wissen, wissen wir auch, daß dies *überall* und *immer* geschieht, wo obige Bedingungen vorhanden, und es kann gleichgültig sein, ob sich dies einmal oder millionenmal wiederholt und auf wieviel Weltkörpern. Die Form der Allgemeinheit in der Natur ist *Gesetz*, und niemand mehr als die Naturforscher führen die *Ewigkeit der Naturgesetze* im Mund.“[27] Bei der Erkenntnis der Unendlichkeit geht es Engels also gar nicht in erster Linie um das Fortschreiten im Raum, um die räumliche Grenzenlosigkeit, sondern um die Gültigkeit der objektiven Gesetze, die vom Menschen unter bestimmten Bedingungen erkannt werden. Zweifellos verändern sich die Erkenntnisse der Menschen, deshalb hebt Engels auch die Einheit von Irrtum und Wahrheit im wirklichen Erkenntnisprozeß hervor. Aber ein in der Praxis überprüftes Naturgesetz kann zwar in einer allgemeineren Theorie aufgehoben werden, indem es dort als Grenzfall erscheint, aber es erweist sich nicht als völlig falsch. In diesem von Engels entwickelten Zusammenhang zwischen Unendlichkeit, Allgemeinheit und Gesetz kann man die These von der Unendlichkeit der Materie auch als Anerkennung der Existenz objektiver Gesetze unter bestimmten Bedingungen verstehen, wobei neue Gesetze im Entwicklungsprozeß entstehen können und die Vielzahl der vorhandenen objektiven Gesetze vom Menschen nie vollständig erkannt werden kann, obwohl er sich immer mehr Kenntnisse über die objektive Realität aneignet. Eben weil sowohl die Entwicklung im Kosmos als auch die Erkenntnis des Menschen nicht abgeschlossen sind, bemerkt Engels: „Das Erkennen des Unendlichen ist daher mit [287] doppelten Schwierigkeiten umschanzt und kann sich, seiner Natur nach, nur vollziehen in einem unendlichen asymptotischen Progreß. Und das genügt uns vollständig, um sagen zu können: Das Unendliche ist ebenso erkennbar wie unerkennbar, und das ist alles, was wir brauchen.“[28]

Wir hatten betont, daß man sich zwar von einigen unrichtigen naturphilosophischen Ansichten von Engels, die historische Berechtigung besaßen, aber heute überholt sind, distanzieren muß, aber der weltanschauliche Gehalt der Aussagen von Engels über die Unendlichkeit erhalten bleibt. An anderer Stelle bin ich ausführlich auf die in der These von der Unendlichkeit der Materie enthaltenen Aspekte eingegangen.[29] Hier möchte ich nur das hervorheben, was in unserem Zusammenhang interessant ist. Die philosophische Aussage über die Unendlichkeit der Materie ist sehr allgemein und umfaßt selbst eine ganze Reihe allgemeiner philosophischer Erkenntnisse, die wir nicht im einzelnen begründen wollen: Der dialektische Materialismus geht von der Einheit von Materie und Bewegung aus. Er faßt die Bewegung als Daseinsweise der Materie. Daraus ergibt sich das Entstehen neuer Beziehungen, Prozesse und Eigenschaften in jedem materiellen Bereich qualitativ verschiedener Objekte. Besonders die Astrophysik hat mit ihren Untersuchungen über die Sternentstehung gezeigt, wie auch in der anorganischen Natur sich die Entwicklung durch das Entstehen neuer Sterne und das Explodieren von Sternen vollzieht. In jedem zu untersuchenden Bereich kann man im Prozeß der Veränderung neue Zusammenhänge entdecken. So ist auch die Existenz oder der Aufbau eines Antistoffs aus Antiteilchen nicht ausgeschlossen. Alle diese Beziehungen, Eigenschaften und Prozesse unterliegen der einzelwissenschaftlichen Analyse. Die marxistische Philosophie hält nur fest, daß sich aus der Bewegung der Materie, aus ihrer Veränderung und Entwicklung eine Mannigfaltigkeit von Beziehungen, Eigenschaften und Prozessen ergibt. Da die Raum-Zeit als Existenzform der Materie von den konkreten materiellen Vorgängen abhängig ist, ergibt sich daraus nun wieder die Unendlichkeit der Raum-Zeit. Diese Aussage bedeutet die Anerkennung der Existenz unendlich vieler möglicher Raum-Zeit-Strukturen, von denen bisher nur wenige erforscht sind.

[27] Ebenda, S. 501.
[28] Ebenda, S. 502.
[29] Vgl. H. Hörz, Die Unendlichkeit der Materie, in: DZfPh, Heft 12, 1961

Es besteht also ein Zusammenhang zwischen verschiedenen allgemeinen Aussagen des dialektischen Materialismus über die allgemeinsten Beziehungen der objektiven Realität. Wenn man die Einheit von Materie und Bewegung anerkennt, dann muß man die Mannigfaltigkeit der Eigenschaf-[288]ten, Beziehungen und Prozesse anerkennen, wenn man dabei die vom dialektischen Materialismus hervorgehobene Einheit von quantitativen und qualitativen Veränderungen berücksichtigt. Da jede qualitativ verschiedene Materieart ihre von ihrer spezifischen Bewegungsform abhängige Raum-Zeit besitzt, ergibt sich daraus die Unendlichkeit der Raum-Zeit. Dieser innere systematische Zusammenhang verschiedener Aussagen des dialektischen Materialismus ist nun kein Beweis für die Richtigkeit seiner Thesen. Wir verweisen nur darauf, weil ein Kennzeichen für eine wissenschaftliche Theorie auch darin besteht, daß ihre verschiedenen Aussagen einen inneren logischen Zusammenhang besitzen. Der Beweis für die Richtigkeit der Thesen des dialektischen Materialismus muß durch wissenschaftliche Analyse des vorliegenden einzelwissenschaftlichen Materials erbracht werden. Dabei kann man auch von der Existenz qualitativ verschiedener Objekte auf den objektiven inneren Zusammenhang zwischen ihnen schließen. Sowohl die Existenz von Objekten auf verschiedener Entwicklungsstufe, wie der lebende Organismus im Vergleich mit den physikalischen Körpern, als auch die Umwandlung der Elementarteilchen ineinander stellt die Aufgabe, diesen inneren Zusammenhang als Veränderung materieller Objekte aufzudecken. Wir können also erst einmal drei wesentliche Aspekte der Aussage über die Unendlichkeit der Materie festhalten, die miteinander in einem logischen Zusammenhang stehen, ohne daß einer von ihnen das absolute Primat hätte: Erstens die Einheit von Materie und Bewegung; zweitens die Einheit der mannigfaltigen Beziehungen, Eigenschaften und Prozesse; drittens die Unendlichkeit der Raum-Zeit.

Die sich aus diesen Erkenntnissen konstituierende allgemeine Aussage über die Unendlichkeit der Materie hat nun insofern Bedeutung für die Erkenntnis, als sie uns zeigt, daß wir mit den objektiven Gesetzen zwar nicht die absolute Unendlichkeit, aber doch allgemeingültige objektive Beziehungen erkennen können, wobei unter anderen Bedingungen andere objektive Beziehungen existieren, die es wiederum zu finden gilt. Die philosophische These von der Unendlichkeit der Materie ist die Anerkennung von objektiven Prozessen, Beziehungen usw., die vom Menschen bisher nur zu einem sehr kleinen Teil erkannt wurden. Sie macht also keine Aussage über die konkrete Struktur des von uns erkannten Teils des gesamten Weltalls, sondern zeigt uns, daß jede Erkenntnis auch auf ihre Grenzen hin überprüft werden muß und es für die menschliche Erkenntnis keinen absoluten Abschluß gibt. Mißdeutig ist hier nun oft der Begriff Weltall. Wenn der Physiker Modelle des Weltalls untersucht, so versteht er meist unter Weltall nur die Vorgänge im Kosmos, die er bisher untersucht hat, worüber auch bestimmte Experimente oder Beobachtungen vorliegen. Man kann [289] aber auch den Begriff des Weltalls für alle vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen Beziehungen, Eigenschaften, Prozesse und Objekte benutzen, obwohl Aussagen über ein so verstandenes Weltall leicht in den Geruch von Spekulationen und voreiligen Extrapolationen kommen können. Hier gilt das, was Engels sagt: „Das Sein ist ja überhaupt eine offene Frage von der Grenze an, wo unser Gesichtskreis aufhört.“[30]

Der Materialist kann keine Aussagen über das machen, was dort existiert, wohin er mit seiner Erkenntnis noch nicht gedrungen ist. Nur Experimente, Beobachtungen und die gesamte Tätigkeit des Menschen sind die Grundlage für seine Erkenntnisse. Eben das drückt auch die These von der Unendlichkeit der Materie aus. Das, was außerhalb und unabhängig von unserem Bewußtsein existiert, eben die Materie, ist eine dialektische Einheit von Endlichkeit und Unendlichkeit, weil jeder Körper, jedes Objekt sich ständig verändert und dadurch neue Beziehungen entstehen und andere verschwinden.

[30] K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 20, S. 41.

Die Erkenntnis des Menschen selbst ist in doppeltem Sinne unabgeschlossen. Einmal verändert sich die zu erkennende objektive Realität, zum anderen sind die Erkenntnisse über die Objekte nie vollständig. So verlangt die philosophische These der Unendlichkeit nicht etwa, daß keine Diskussionen über endliche Modelle des Weltalls durchgeführt werden, sondern sie fordert, den gegenwärtigen Wissensstand nicht zu verabsolutieren, ständig weiter zu suchen, unsere Erkenntnisse zu erweitern und damit von einem Modell zu einem adäquateren Modell überzugehen.

Die weltanschauliche Bedeutung der These von der Unendlichkeit der Materie besteht jedoch nicht nur in ihrem erkenntniskritischen Aspekt, sondern auch in ihrer Wendung gegen idealistische Spekulationen. Die charakterisierten Aspekte der dialektisch-materialistischen Auffassung von der Unendlichkeit der Materie schließen die Existenz eines behaupteten ersten Bewegens aus, heben den objektiven Zusammenhang der Objekte und Beziehungen hervor und lassen keinen Raum für ein Eingreifen eines ideellen Schöpfers im Raum und in der Zeit. Für diese weltanschauliche Seite ist nicht das ständig weitere Vordringen im Raum entscheidend, sondern der materialistische Grundstandpunkt, eben die Anerkennung einer außerhalb und unabhängig vom Bewußtsein existierenden objektiven Welt. Dieser Standpunkt ergibt sich aus der bisherigen Erkenntnis der Menschen als richtig, während die Annahme einer außer der Welt existierenden Idee reine Spekulation ist.

Das Verhältnis von endlichen Modellen des Weltalls zu der These von der [290] Unendlichkeit der Materie konnte durch Engels beim Stand der naturwissenschaftlichen Entwicklung seiner Zeit nicht untersucht werden. Heute wird eine Reihe von Vorstellungen über die Struktur unseres Alls entwickelt. Wir schließen uns hier der Meinung vieler Astronomen an, die große Vorsicht bei unbewiesenen Extrapolationen verlangen. Es ist nach ihrer Meinung leichter, im heutigen Stadium der Entwicklung spekulativ kosmologische Theorien vorzuschlagen, als die Forderung nach der exakten Untersuchung der kosmischen Gesetze zu erfüllen. Dabei fordert die stürmische Entwicklung der Wissenschaft kühne und neue Ideen, um das vorliegende Material besser verstehen zu können und um Anregungen für neue Experimente zu erhalten.

Von der These der Unendlichkeit der Materie ausgehend könnte man eine ganze Reihe möglicher und nicht nur endlicher Modelle des Weltalls, sondern auch Modelle eines offenen Weltalls diskutieren. So wäre es denkbar, daß unser Teil des Universums selbst ein Mikrokosmos in einem umfassenderen Kosmos ist, wobei wir selbst eine relativ selbständige Existenz besitzen und der Zusammenhang mit dem „Makrokosmos“ vernachlässigt werden kann. Wir würden dann einen selbständigen, räumlich endlichen Bereich des Universums untersuchen. Die erkenntnistheoretische Bedeutung der These von der Unendlichkeit der Materie würde ich hier in zweifacher Hinsicht sehen: Erstens findet auch in dieser relativ selbständigen Zelle eines umfassenden Kosmos, die unser Teil des Universums darstellen soll, eine ständige Umwandlung von einer Materieart in andere statt. Das ist das, was wir bereits untersucht haben. Außerdem existieren die Einheit der mannigfaltigen Beziehungen, Eigenschaften und Objekte und die damit verbundene Vielzahl von Raum-Zeit-Strukturen. Die These von der Unendlichkeit würde verlangen, daß diese neuen Objekte und Beziehungen untersucht, in das Innere der Elementarteilchen eingedrungen, neue kosmische Prozesse entdeckt werden und auf jedem wissenschaftlichen Gebiet, einschließlich der Gesellschaftswissenschaft, in der Erkenntnis weitergegangen wird.

Dabei existiert in dem von uns bisher entdeckten Bereich tatsächlich ein relativer Abschluß in der Entwicklung von der anorganischen Natur bis zur menschlichen Gesellschaft. Der Fortschritt vollzieht sich nicht zu einem Übermenschen, sondern als Entwicklung der menschlichen Gesellschaft, ihrer Wissenschaft und Technik, ihrer Formen des Zusammenlebens. Man

kann hier die Frage diskutieren, ob sich auch im anorganischen Bereich ebenso wie in der menschlichen Gesellschaft noch neue anorganische Verhältnisse entwickeln können. Die Antwort auf diese Frage ist ungeklärt. Es gibt viele unbekannte Formen, aber ob es auch noch mögliche Formen [291] anorganischer Objekte gibt, die heute noch nicht existieren, sondern erst entstehen, ist vom heutigen Wissensstand aus nicht zu beantworten. Das würde ein sehr viel tieferes Eindringen in die Entwicklung der anorganischen Natur verlangen. Aber auch die nicht bekannten und existierenden Formen der Materie müssen erst gefunden werden. Zweitens würde auf einer bestimmten Stufe des Erkenntnisprozesses die Frage nach den Beziehungen zwischen unserem Teil des Universums und dem „Makrokosmos“ auftreten. Dann würde das, was wir für den Teil des Universums gesagt haben, auf die Beziehungen zwischen dem Teil und dem Ganzen oder einem weiteren Teil des Ganzen zutreffen. Die These von der Unendlichkeit der Materie schließt auch im Stadium der Erkenntnis, in dem nur die Zelle und nicht die Beziehungen zum Ganzen untersucht werden, diese Beziehungen als mögliche Erkenntnisobjekte bereits ein. Sie weist auch bei der von uns diskutierten möglichen Struktur des Alls über unser bisheriges Wissen hinaus.

Man könnte auch statt dieses Modells einer Zelle im All das Modell eines pulsierenden Weltalls diskutieren, das räumlich endlich und grenzenlos ist, sich jedoch in der Zeit mit Lichtgeschwindigkeit ausdehnt. Auch dafür gilt die These von der Unendlichkeit der Materie: In diesem All existiert die Einheit von Materie und Bewegung, der Zusammenhang qualitativ verschiedener Objekte, wobei ständig neue Objekte entstehen und durch die Ausdehnung sich die Beziehungen verändern, und es gibt eine Vielzahl von raum-zeitlichen Strukturen. Solche Modelle haben wissenschaftlichen Wert für die weitere Erforschung der kosmischen Gesetze. Die These von der Unendlichkeit der Materie verlangt ganz generell: Wir dürfen nicht am bisherigen Stand der Erkenntnis festhalten und ihn verabsolutieren. Ständig entwickeln sich neue Formen, durch die Veränderung entstehen neue Beziehungen, die es zu untersuchen gilt. Außerdem ist unsere Erkenntnis auch über die existierenden Objekte und ihre Beziehungen nicht vollständig. Wir haben es dabei stets mit Unendlichkeiten verschiedener Mächtigkeit zu tun, die beim bloßen Fortschreiten im Raum vernachlässigt würden. Selbst in einem räumlich endlichen Bereich, sagen wir auf unserer Erde, in einem wissenschaftlich zu erforschenden Gebiet, nehmen wir die Makrokörper, gibt es durch die ständig sich verändernden Objekte potentiell unendlich viele Beziehungen. Dringen wir dann in den Bereich der Atome, der Elementarteilchen usw. vor, so gilt für diesen Bereich dasselbe. So geht eigentlich in den Bereich der Makroobjekte auch die potentielle Unendlichkeit der Mikroobjekte ein, wobei die möglichen Bereiche selbst nicht alle erforscht sind, sondern selbst wieder potentiell unendlich sind. Auch die Elementarteilchen sind nicht die letzte Substanz. Die Elementar-[292]teilchen besitzen eine Struktur, wodurch sich ein neuer Forschungsbereich erschließt.

Man könnte nun auch die Galaxis und die intergalaktische Materie untersuchen. In die potentielle Unendlichkeit ihrer Beziehungen geht die potentielle Unendlichkeit jedes ihrer Teilbereiche ein. Die Erkenntnis der Beziehungen der verschiedenen Bereiche ist uns möglich durch die Hervorhebung allgemein notwendiger und wesentlicher Beziehungen für bestimmte Bereiche, eben der Gesetze, die von der Wissenschaft entdeckt werden.

Wir sehen also, daß die These von der Unendlichkeit der Materie mit der Annahme endlicher Weltmodelle vereinbar ist, sie sogar verlangt und doch auch darüber hinausweist, ohne in spekulative Extrapolationen zu verfallen.

Wir haben bisher allgemein von neuen Beziehungen gesprochen, die durch die Veränderung entstehen und worin sich die potentielle Unendlichkeit zeigt. In der Diskussion wird aber auch oft direkt auf die räumlichen und zeitlichen Beziehungen verwiesen. Zweifellos sind das Alter und die räumliche Ausdehnung eines qualitativ bestimmten physikalischen Objekts

endlich. Sterne entstehen und vergehen, und selbst das Auffinden noch älterer Sterne oder Sterngebilde, das weitere Eindringen in den Kosmos verliert nicht den Charakter endlicher Entfernungen und endlicher Lebensdauer. Hier zeigt sich die Unendlichkeit in einem anderen Sinn: Unendlich ist der ständige Formwandel der Materie, ihre ständige Qualitätsänderung. Zwar explodiert ein Stern, oder es entsteht ein anderes Objekt, das wiederum vergeht, aber die Materie verschwindet nicht in Nichts. Ewigkeit der Materie verlangt ständige Qualitätsänderung und damit Endlichkeit der räumlichen und zeitlichen Beziehungen bestimmter materieller Formen und Qualitäten.

Die Behauptung von der Ewigkeit in der Zeit bedeutet eben nicht die Forderung nach einem unendlichen Alter bestimmter materieller Objekte oder die unendliche Existenz bestimmter Objekte und Prozesse. Gerade die Erdgeschichte zeigt, daß bestimmte Tierformen existierten und verschwunden sind. Unendlichkeit der Zeit bedeutet die Anerkennung der ewigen Dauer der Veränderungen. Unter Unendlichkeit des Raumes verstehen wir nicht das einfache Fortschreiten im Raum, d. h. die Grenzenlosigkeit, diese wäre auch in einem endlichen Weltall mit gekrümmtem Raum gegeben, sondern die Existenz unendlich vieler räumlicher Beziehungen. Die Philosophie behauptet mit der Anerkennung der Unendlichkeit der Raum-Zeit die Existenz potentiell unendlich vieler Raum-Zeit-Strukturen, die von der Wissenschaft erforscht werden müssen. Die Erforschung einer bestimmten Struktur ist dabei Aufgabe der Einzelwissenschaft.

[293] So wendet sich die These von der Unendlichkeit der Materie nicht gegen gesicherte einzelwissenschaftliche Ergebnisse. Ihre Bedeutung liegt in ihrer weltanschaulichen Konsequenz, die ein der Welt als Schöpfer vorgesetztes geistiges Prinzip, einen ersten Beweger ausschließt. Die These wendet sich gegen die Annahme, daß die Veränderung der Materie aufhört und die Entwicklung zum Stillstand kommt, wobei noch über die Form der Veränderung diskutiert werden muß. Sie wendet sich vor allem gegen den Stillstand der Erkenntnis und fordert, stets über bisher Bekanntes hinauszugehen.

3. Der Raum als Struktur

Wir haben schon auf die Entwicklung der Raumauffassung von der Annahme des absoluten Raumes, unabhängig von der materiellen Bewegung, bis zum Nachweis der Raum-Zeit als Existenzform der Materie, hingewiesen. Sie vollzog sich einerseits im Nachweis der Einheit von Physik und Geometrie, indem die physikalische Bedeutung nichteuklidischer Geometrien erkannt und die Kantsche Behauptung von der a-priori-Gültigkeit der Euklidischen Geometrie zurückgewiesen wurde. Andererseits wurde der Raumbegriff in der Mathematik immer weiter verallgemeinert, so daß abstrakte Räume eine Menge von Elementen mit definiertem Grenzübergang in der Funktionalanalysis darstellen. Innerhalb dieser abstrakten Räume kann man Ergebnisse von Messungen definieren. Sie existieren also nicht unabhängig von den materiellen Prozessen und widerspiegeln objektiv-reale Beziehungen, wenn sie zur Darstellung von Ergebnissen physikalischer Messungen benutzt werden. In diesem Sinne ist der Streit um die indefinite Metrik des Hilbert-Raums in der Heisenbergschen Theorie keine Meinungsverschiedenheit über die Existenz abstrakter Räume, sondern über ihre Ausnutzung bei der theoretischen Erfassung physikalischer Prozesse. Deshalb ist philosophisch auch die Beziehung zwischen mathematischen und physikalischen Räumen interessant, weil die mathematische Verallgemeinerung des Raumbegriffs eine immer bessere Widerspiegelung der objektiv-realen Struktur physikalischer Prozesse erlaubt und der objektiv-reale Raum sich immer mehr als objektiv-reale Struktur erweist, wobei der von uns von der allgemeinen Struktur getrennt betrachtete Anschauungsraum mit seinen drei Dimensionen ein Spezialfall der abstrakten Räume ist. „Die Mathematik erforschte verschiedene mögliche Räume als allgemeine Formen der Vielfalt von Erscheinungen und Zuständen gleichen Typs (als Konfigu-

rationsraum des mechanischen Systems, als Farbenraum [294] u. dgl. m.)“, schreibt A. D. Alexandrow. Er fährt fort: „Für sie ist das, was man gewöhnlich unter Raum versteht, nur eine dieser Formen. Die Erforschung seiner besonderen Eigenschaften ist schon Sache der Physik und nicht der Mathematik. Der Begriff des Raumes erlangte auf diese Weise zwei verschiedene Bedeutungen – eine mathematische und eine physikalische.“[31] Die Mathematik befaßt sich mit möglichen Strukturen in Systemen mathematischer Objekte, unabhängig von objektiv-realen Eigenschaften dieser Objekte. Beim Aufbau ihrer Theorien muß sie den logischen Kriterien, wie Widerspruchsfreiheit und anderen, genügen, in bestimmten philosophischen Richtungen auch der Entscheidbarkeit oder der Angabe einer Meßvorschrift.[32] Sie ist aber nicht beziehungslos zum objektiven Raum, da ihre denkmöglichen Strukturen zur Widerspiegelung objektiv-realer wirklicher oder möglicher Strukturen dienen und die Interpretation von mathematischen Objekten in einer mathematisch dargestellten physikalischen Theorie eine wichtige Aufgabe der physikalischen Erkenntnis ist. Hier sei nur an die Diracsche Löchertheorie und ihre Bedeutung zur Entdeckung der Positronen erinnert. Der mathematische Raum beansprucht Interesse für Physik und Philosophie als physikalisch interpretierte Struktur, als Bestandteil des tieferen Eindringens in die Materiestruktur. Insofern haben zwar die Theoretiker Recht, die den Unterschied zwischen dem mathematischen und dem physikalischen Raum betonen, zugleich ist für uns aber die immer bessere Widerspiegelung der objektiv-realen Strukturen in mathematischen Räumen wesentlich. Mathematische Theorien können sich zwar unabhängig von der Physik und anderen Wissenschaften entwickeln, wie sie auch als mathematische Lösungen wissenschaftlicher und praktischer Probleme entstehen können, entscheidend für den materialistischen Philosophen ist der Widerspiegelungscharakter mathematischer Theorien, der sich bei der Interpretation erweist. Die Forderung nach neuen mathematischen Theorien ist deshalb mit der Forderung nach neuen theoretischen Möglichkeiten zur Erfassung der Materiestruktur in mathematisch formulierten wissenschaftlichen Theorien identisch. Daraus ergibt sich auch der heuristische Wert der Mathematik. Da neue Denkmöglichkeiten nicht nur bessere Theorien erlauben, sondern auch zu noch nicht interpretierten Beziehungen führen, ist die Suche nach dem objektiv-realen Inhalt [295] bestimmter mathematischer Formen von der mathematischen Theorie, die zur Darstellung bekannter physikalischer Sachverhalte benutzt wird, ausgelöst worden. Ohne die Beachtung logischer und innermathematischer Kriterien beim Aufbau der Theorie könnte die Mathematik diese Rolle nicht spielen. Neue Denkmöglichkeiten werden gefunden, man löst sich von bisherigen Vorstellungen über existierende Objekte mit bestimmten Eigenschaften und betrachtet mögliche Beziehungen zwischen abstrakten Objekten. Neben dem Unterschied zwischen den denkmöglichen und den objektiv-realen Strukturen muß deshalb auch die Beziehung zwischen beiden beachtet werden, die in folgenden Punkten ausgedrückt werden kann: Erstens gestatten es die abstrakten Räume der Mathematik, physikalische Meßergebnisse zu formulieren und so zu einem System von Aussagen zu kommen, die in ihren Folgerungen überprüft werden können und Beschreibungen von Beobachtungen durch wesentliche funktionale qualitative und quantitative Abhängigkeiten ersetzen. Man kann das die Darstellungsfunktion der Mathematik nennen, die es gestattet, physikalische Erkenntnisse in mathematischer Form darzustellen. Zweitens ergeben sich bei der Überprüfung der Folgerungen nicht interpretierte mathematische Objekte und Beziehungen, die entweder auf die Unzulänglichkeiten des mathematischen Formalismus für die entsprechende physikalische Theorie verweisen, was noch die Darstellungsfunktion betreffen würde, da die mathematische Theorie durch eine andere zur besseren

[31] Lenin und die moderne Naturwissenschaft, S. 206, Zur Geschichte der Raumauffassung vgl. M. Jammer, Concepts of Space, New York 1960.

[32] Diese Problematik muß bei einer Untersuchung der philosophischen Probleme der Mathematik eingehender analysiert werden, als das hier geschehen kann, wo das Verhältnis von mathematischem und objektivem Raum im Mittelpunkt steht.

Darstellung ersetzt werden muß, oder auf noch zu suchende physikalische Objekte und Beziehungen hinweist, die es erst zu finden gilt. Wie schwierig es ist, beides auseinanderzuhalten, zeigt das Beispiel Schrödingers, der seine zeitabhängige Gleichung nicht mit den Experimenten in Einklang bringen konnte, sie ein halbes Jahr liegenließ und mit der zeitunabhängigen Gleichung arbeitete, während dann die Entdeckung des Spins die Richtigkeit seiner zeitabhängigen Gleichung nachwies. Um die heuristische Funktion der Mathematik zu erkennen, um die es sich handelt, wenn mathematische Objekte und Beziehungen erst noch in ihrem physikalischen Gehalt gefunden werden müssen, bedarf es umfangreicher Arbeiten, Diskussionen und eines gewissen Spürsinns des Theoretikers, der Hinweise für Experimente geben muß.

Drittens sind die mathematischen abstrakten Räume Widerspiegelungen der objektiv-realen Strukturen, wenn sie mit physikalischem Inhalt erfüllt werden. Die Darstellungs- und die heuristische Funktion der Mathematik finden deshalb ihre Vereinigung in der Widerspiegelungsfunktion. Dienen abstrakte Räume zur Darstellung von objektiv-realen Beziehungen, die sich aus Meßergebnissen ergeben, und erweisen sich bestimmte mathematische Objekte und Beziehungen dann als theoretische Voraussagen von zu [296] entdeckenden objektiven Prozessen, dann kann man diesen mathematischen Raum als Widerspiegelung der objektiv-realen Struktur fassen. In diesem Sinne sind objektiver Raum und objektive Struktur vom mathematischen Raum in der Erkenntnis nicht zu trennen. Zwar existieren objektiver Raum und objektive Struktur vor dem mathematischen Raum, auch wenn sie noch nicht erkannt sind; aber der mathematische Raum, der vom Menschen erdacht wurde, bringt die Schöpferkraft des menschlichen Bewußtseins zum Ausdruck, das sich mögliche Beziehungen erdenkt, die zur Widerspiegelung gefundener und noch zu findender Strukturen geeignet sind. Viertens entwickelt sich unsere Kenntnis über die objektiv-realen Strukturen in zweifacher Hinsicht. Einerseits erhalten wir aus den Experimenten neue Meßdaten, die es zu deuten gilt. Dazu brauchen wir die mathematischen Räume. Andererseits werden durch die Mathematik neue Denkmöglichkeiten erforscht, um bessere Voraussetzungen für die Widerspiegelung komplizierter objektiver Sachverhalte in mathematischen Räumen zu gewinnen. Dieser Erkenntnisprozeß begann mit allgemeinen Raumvorstellungen in der Philosophie und hatte seinen ersten Höhepunkt in der Aufstellung der Euklidischen Geometrie. Als Raumvorstellung diente sie lange Zeit zur Darstellung physikalischer Prozesse, wobei der Raum als absolut existierend angesehen wurde. Die Kritik dieser Auffassung und der Nachweis, daß Raum und Zeit Existenzformen der Materie sind, verlangte noch nicht die Beseitigung allgemeiner Eigenschaften der Raum-Zeit, wie die Größer-und-Kleiner-Beziehung, das Neben- und Nacheinander usw. In der Elementarteilchenphysik zeigt sich jedoch schon die Schwierigkeit, Elementarteilchen räumlich zu teilen. Hier kann vorerst nicht bestimmt werden, was räumlich kleiner bedeuten soll, wohl aber kann die Teilung von Quantenzahlen vorgenommen werden, die zur Hypothese der Quarks führt, wenn man die Elementarladung teilt. Der Raum erweist sich hier im eigentlichen Sinne als Struktur materieller Prozesse, für die die allgemeinen Charakteristika entweder zu abstrakt sind oder nicht mehr bestimmt werden können. Insofern kann man bei der Charakteristik der Entwicklung unserer Raumauffassung dazu kommen, den Raum als Nebeneinander materieller Prozesse zu betrachten, wie das viele Philosophen schon taten, aber man darf nicht dabei stehenbleiben, sondern muß dieses Nebeneinander inhaltlich durch die Aufdeckung der Gesetze und Beziehungen materieller Prozesse bestimmen. Dann erweist sich aber auch der objektiv-reale Raum als Struktur der materiellen Prozesse, wobei unter bestimmten Bedingungen Entfernungen, Bereiche und Bahnkurven bestimmt werden können. In diesem Sinne nähert sich unsere philosophische Raumauffassung der Allgemeinheit topologischer Räume, die zur Darstellung physikalischer Sach-[297]verhalte mit bestimmten Eigenschaften versehen werden müssen, so wie die allgemeine These vom Raum als Existenzform der Materie präzisiert werden muß.

Der Zusammenhang zwischen mathematischen und objektiven Räumen erweist sich damit in der relativ exakten Widerspiegelung der objektiven Räume durch die mathematischen, wobei der objektive Raum durch die objektiv-realen Strukturen materieller Prozesse bestimmt wird und vielleicht sogar identisch mit ihnen ist. Der hier dargestellte Zusammenhang wird manchmal ungenügend in der Literatur gesehen, was in gewisser Weise eine Rückkehr zur Auffassung von Kant ermöglicht und den auch heute noch existierenden Einfluß der Kantschen Philosophie teilweise erklärt. So schreibt S. Körner: „Zuweilen wird behauptet, daß der Gebrauch einer vierdimensionalen ‚euklidischen' Geometrie in der speziellen Relativitätstheorie und der Gebrauch der nicht-euklidischen Geometrie in der allgemeinen Relativitätstheorie den Beweis für die Irrigkeit der Meinung Kants erbracht haben, daß der wahrnehmbare Raum euklidisch sei. Dies ist eine schwierige Frage. Ich werde den Standpunkt vertreten, daß Kant tatsächlich in der Annahme irrte, daß man den wahrnehmbaren Raum durch die dreidimensionale euklidische Geometrie beschreiben kann. Jedoch werde ich ebenso den Standpunkt vertreten, daß man den wahrnehmbaren Raum weder durch die euklidische noch durch eine nicht-euklidische Geometrie beschreiben kann."[33]

Die Kritik, die m. E. an Kant zu üben ist, besteht nicht darin, daß er die Euklidizität des wahrnehmbaren Raumes annahm, sondern ihre von der damaligen Physik nachgewiesene Existenz zu einer a-priori-Gegebenheit verabsolutierte. Unsere Raumauffassungen sind immer Idealisierungen der objektiv-realen Strukturen. Wenn wir von diesem Standpunkt ausgehen und damit die Raumvorstellungen als Widerspiegelungen des objektiven Raumes auffassen, womit wir uns gegen Kants Apriorismus wenden, dann stellt die Entwicklung unserer Raumvorstellungen ein tieferes Eindringen in die objektiven Raumstrukturen dar.

Körner hält aber am Apriorismus in gewisser Weise fest, wenn er schreibt: „Kants Antwort auf unsere Fragen nach dem Wesen der reinen und der angewandten Mathematik kann nun in groben Umrissen formuliert werden. Die Sätze der reinen Arithmetik und der reinen Geometrie sind notwendige Sätze. Nichtsdestoweniger sind sie synthetische Urteile a priori, nicht analytische. Sie sind synthetisch, weil sie etwas über die Struktur von Raum und Zeit aussagen, die durch das offenbart wird, was man in ihnen konstruieren [298] kann. Und sie sind apriorisch, weil Raum und Zeit invariante Bedingungen jeglicher Wahrnehmung physischer Objekte darstellen. Die Sätze der angewandten Mathematik sind aposteriorisch insoweit, als sie etwas über empirische Wahrnehmungsgegenstände aussagen, und sie sind apriorisch insoweit, als sie etwas über Raum und Zeit aussagen. Der Gegenstand der reinen Mathematik ist die von empirischen Gegenständen losgelöste Struktur von Raum und Zeit. Der Gegenstand der angewandten Mathematik ist die Struktur von Raum und Zeit zusammen mit den Gegenständen, die diese füllen."[34]

Hier wird die Konstruktion denkmöglicher Geometrien, auf die wir ebenfalls hingewiesen haben, von der Widerspiegelung der objektiven Raumstrukturen getrennt. Die relativ richtige theoretische Erfassung der objektiven Raumstrukturen in der Euklidischen Geometrie erwies sich in ihrer Bedeutung für die Theorie physikalischer Prozesse. Ihre relative Wahrheit zeigte sich auch in der Minkowskischen Raum-Zeit-Auffassung, aus der sie sich als Grenzfall für kleine Geschwindigkeiten gegenüber *c* oder aus der Annahme, daß *c* gegen Unendlich geht, ergibt. Die Minkowskische Geometrie ist wiederum ein Spezialfall allgemeiner Geometrien. Wenn man die räumlichen Beziehungen als Existenzformen materieller Prozesse auffaßt, dann muß die bestimmende Rolle der materiellen Prozesse auf die Raumstruktur und die Raumstruktur als Rahmen für den Ablauf der materiellen Prozesse erfaßt werden. Mit der Einheit von Physik und Geometrie wurden die nichteuklidischen denkmöglichen Geometrien

[33] S. Körner, Philosophie der Mathematik, München 1968, S. 34.
[34] Ebenda.

als Widerspiegelung objektiv-realer Strukturen erfaßt. Man kann die Bedeutung der Mathematik und Geometrie nur richtig erklären, wenn man ihre Beziehungen zur Physik und zur Wirklichkeit nicht vernachlässigt.

Körner meint, daß geometrische Sätze nicht ausschließlich sind. Dabei ist eine Aussage nach ihm nicht ausschließlich bestimmt, wenn aus ihrer Unvereinbarkeit mit einer anderen Aussage nicht logisch folgt, daß eine der unzuvereinbarenden Aussagen falsch ist. Bei der Untersuchung des Erkenntnisprozesses reicht es gerade nicht aus, die kontradiktorische Entgegensetzung von Aussagen zu untersuchen, wie Körner das macht. Uns interessierte vor allem die relative Wahrheit unserer Raumvorstellungen, die wesentliche Seiten des objektiven Raums theoretisch erfassen. Die Gültigkeit nichteuklidischer Geometrien zur Darstellung von physikalischen Sachverhalten in der allgemeinen Relativitätstheorie schließt die relative Wahrheit der Euklidischen Geometrie nicht aus, sondern bestätigt sie unter den vorher genannten Bedingungen. Sie besitzt keine Krümmung und ist unter der An-[299]nahme von unendlichen Geschwindigkeiten gültig. Solche Annahmen haben aber für die Erkenntnis große Bedeutung und stellen in bestimmten Situationen berechtigte Abstraktionen dar. Körner schreibt nun: „Daß geometrische Sätze nicht ausschließlich sind, wurde durch Wahrnehmungssätze – insbesondere über den wahrnehmbaren Raum – bestätigt oder als falsch erwiesen. Was mit Hilfe von Wahrnehmungen – Experimenten und Beobachtungen – bestätigt oder als falsch erwiesen werden kann, ist nicht eine Geometrie, eine Sammlung von apriorischen Sätzen, sondern eine physikalische Theorie, welche diese Geometrie verwendet. Nicht die euklidische Geometrie, sondern eine physikalische Theorie, die diese verwendete, wurde durch das Michelson-Morley-Experiment als falsch erwiesen. Was durch ein Experiment bestätigt wird, ist nicht eine besondere nichteuklidische Geometrie, sondern wiederum eine physikalische Theorie, die diese verwendet. Kants These, die euklidische Geometrie sei *die* Geometrie des wahrnehmbaren Raumes, ist ebenso falsch, wie die, daß die Geometrie des wahrnehmbaren Raumes nicht-euklidisch sei.“[35] Der rationelle Kern dieser Aussagen besteht darin, daß die Bestätigung oder Widerlegung einer physikalischen Theorie, die eine bestimmte Geometrie benutzt, nichts daran ändert, daß es sich bei der Geometrie auch um eine Denkmöglichkeit handelt. Wird die physikalische Theorie widerlegt, bleibt die Geometrie als Denkmöglichkeit bestehen und erlangt vielleicht später sogar wieder Bedeutung, wie das bei dem Versuch der Fall ist, dem Weltall global eine euklidische Struktur zuzuschreiben. Wird jedoch eine physikalische Theorie mit einer bestimmten Geometrie durch Experimente bestätigt, dann ist diese Geometrie nicht mehr nur eine Denkmöglichkeit, sondern die Widerspiegelung objektiver Raumstrukturen. Im Verlaufe der physikalischen Erkenntnis gelangen wir dabei zu immer besseren Widerspiegelungen, für die die vorher bestätigten Grenzfälle darstellen. Geometrien stehen als Denkmöglichkeiten nicht einfach nebeneinander, sondern in einer bestimmten Beziehung zueinander. Die Bestätigung einer physikalischen Theorie mit nichteuklidischen Geometrien weist tatsächlich die euklidische Geometrie nicht als falsch nach, weshalb sich die zwei Aussagen über die Gültigkeit der euklidischen und der nichteuklidischen Geometrie nicht kontradiktorisch gegenüberstehen, also nicht ausschließlich sind, wie Körner betont. Die nichteuklidische Geometrie schließt im Gegenteil die euklidische Geometrie ein, weshalb beide Aussagen unter verschiedenen Bedingungen richtig sind. Das kann aber nicht erklärt werden, wenn man die Geometrie nur als Sammlung von apriorischen Sätzen betrachtet.

[300] In der bisher geschilderten Auseinandersetzung mit Auffassungen, die den Widerspiegelungscharakter unserer Raumauffassung leugnen, sind sich dialektische Materialisten einig. Daraus ergibt sich jedoch noch keine einheitliche Auffassung über die Richtung, in der sich unsere Raum-Zeit-Auffassungen entwickeln werden. Das hängt von der Entwicklung unserer

[35] Ebenda, S. 82.

Kenntnisse über die Materiestruktur und vor allem über die Materieformen ab. Es finden Diskussionen über die Raum-Zeit-Problematik statt, wobei das Verhältnis von Relativem und Absolutem eine Rolle spielt. Der berechtigte Kampf gegen den Relativismus darf nicht zur Annahme eines absoluten Raums führen. Alexandrow betont die Bedeutung der Dialektik von Relativem und Absolutem in der Auseinandersetzung mit dem Subjektivismus und Positivismus. Er hebt zwei Arten des Herangehens an die Relativitätstheorie hervor: „Das erste ist das Herangehen von Minkowski, dem die Vorstellung über die Raum-Zeit als reale absolute Existenzform der materiellen Welt zugrunde liegt. Das zweite Herangehen ist rein relativistisch; die Hauptsache ist dafür dieses oder jenes Koordinatensystem. Es ist verständlich, daß das erste Herangehen materialistisch ist und der natürlichen Logik des Gegenstandes entspricht: seine Form bestimmt ihre relativen Erscheinungen. Das zweite Herangehen aber, wenn es bis zur Absage führt, der vierdimensionalen Welt und den vierdimensionalen Größen Realität zu geben, erweist sich als positivistisch, da verneint wird, daß das Relative nur eine Grenze, die Erscheinung des Absoluten ist.“[36] Die Kritik Alexandrows am Positivismus muß voll unterstützt werden, wenn es um die positivistische Leugnung des Widerspiegelungscharakters unserer Raum-Zeit-Auffassungen geht. Sie sind dabei relativ exakte Widerspiegelungen des objektiven Raumes, der nicht absolut und unveränderlich ist, sondern sich immer als abhängig von den materiellen Prozessen erweist. Durch den Nachweis von der Existenz relativer Raum-Zeit-Strukturen, die nicht Ausdruck eines absoluten Raums, sondern der jedem materiellen System eigenen raum-zeitlichen Beziehungen sind, wird gerade auf die Absolutheit der Bewegung im philosophischen Sinn hingewiesen, d. h., die Ruhe ist bedingt, die Bewegung unbedingt, die Bewegung ist Daseinsweise der Materie. Die ständige Veränderung läßt keine absolute Raum-Zeit-Struktur zu. Es ergeben sich jedoch auch erkenntnistheoretische Probleme bei der Entwicklung unserer Raum-Zeit-Auffassungen, auf die wir bei der Behandlung des Standpunkts von Körner hingewiesen haben. Unsere Auffassungen haben den Charakter relativer Wahrheiten, die sich der absoluten, d. h. objektiven Wahrheit nähern. Dieser Erkenntnisprozeß kann nicht als eine [301] Annäherung unserer Vorstellungen an einen objektiv existierenden absoluten Raum verstanden, sondern muß als eine immer bessere Widerspiegelung der objektiv existierenden Strukturen in unseren Theorien erfaßt werden. Lenin hatte auf die beiden Fragen nach der Quelle unseres Wissens und nach der Materiestruktur verwiesen, die voneinander unterschieden werden müssen. In der hier behandelten Raumproblematik bedeutet das, die Quelle unseres Wissens sind die außerhalb und unabhängig vom menschlichen Bewußtsein existierenden Strukturen materieller Prozesse, die wir theoretisch immer besser erfassen müssen. Über die Materiestruktur und damit über die raum-zeitlichen Beziehungen können nach Ansicht des dialektischen Materialismus keine apriori-Aussagen gemacht werden, sondern müssen sorgsam die Ergebnisse der Wissenschaften bei der Erforschung der Materiestruktur studiert und analysiert werden. Dabei hatte es sich als möglich herausgestellt, den Raum allgemein als Gesamtheit struktureller Beziehungen zu fassen und damit die These vom Raum als Existenzform der Materie für jeden Bereich so zu präzisieren, daß die Ergebnisse über die Struktur dieses Bereiches berücksichtigt werden.

In die physikalischen Gleichungen gehen nach Alexandrow Größen ein, wie der metrische Tensor g_{i_k}, die gleichzeitig zwei verschiedene Dinge ausdrücken, nämlich „die Struktur der Raum-Zeit, d. h. etwas ‚Absolutes‘, das nicht vom Koordinatensystem abhängt und die Eigenschaft des Koordinatensystems selbst, d. h. etwas Relatives“[37]. Mir scheint, daß hier das genannte erkenntnistheoretische Problem, nämlich die Relativität unserer Erkenntnisse über den objektiven Raum, nicht klar genug formuliert wird. Es müßte doch die Frage beantwortet

[36] Lenin und die moderne Naturwissenschaft, S. 212.
[37] Ebenda, S. 218.

werden, wie die Struktur der Raum-Zeit erkannt wird. Das geschieht über die Koordinatensysteme und nicht unabhängig von ihnen. Insofern sind sie unsere relativen Kenntnisse über die objektive Raum-Zeit-Struktur, und es muß nichts Absolutes noch zusätzlich angenommen werden. Jede raum-zeitliche Struktur eines Systems oder Objekts muß von einer anderen unterscheidbar und feststellbar sein. Wir stellen ihre unterschiedliche Existenz mit Hilfe der Koordinatensysteme fest, die Abstraktionen von den objektiv-realen Strukturen sind. Unsere Erkenntnis muß auf eine adäquatere Widerspiegelung der objektiven Strukturen gerichtet sein, wobei wir notwendig die mathematischen Räume brauchen, aber nicht von vornherein feststeht, daß räumliche Beziehungen des Größer und Kleiner immer von anderen Beziehungen zwischen physikalischen Objekten wohl unterschieden werden können. Das wäre für die Elementarteilchenphysik eine zu weitgehende Forderung.

[302] Alexandrow schreibt zu den bereits genannten Standpunkten: „Der eine – der relativistische – nimmt jede Erscheinung, darunter auch die raum-zeitlichen Beziehungen und Eigenschaften, nur in der Beziehung zu diesem oder jenem Koordinatensystem, weshalb für ihn jede beliebige Bewegung nur relativ ist. Der zweite ist der Standpunkt, der von Minkowski ausgeht und als Grundlage die Raum-Zeit selbst nimmt, die Prozesse selbst in ihrer eigenen raum-zeitlichen vierdimensionalen Form, weshalb für ihn der Bezug der Erscheinungen zu diesem oder jenem Koordinatensystem etwas Sekundäres ist. Die Bewegung des Körpers wird als seine Daseinsweise, seine vierdimensionale, raumzeitliche Trajektorie verstanden, weshalb sie auch absolut ist. Nur ihre ‚Projektion' in verschiedenen Koordinatensystemen ist relativ."[38] Diesen Gedanken hat Alexandrow auch kurz in bezug auf die allgemeine Relativitätstheorie formuliert: „... Das Wesen besteht nicht in der Relativität, sondern im Absoluten – in den Eigenschaften der Raum-Zeit unabhängig vom Koordinatensystem und den Koordinaten."[39] Er unterscheidet also die relativen Koordinatensysteme von den absoluten Eigenschaften von Raum und Zeit. Damit taucht natürlich die Frage auf, was unter absolut verstanden werden soll. In philosophischem Sinne kann das nur die bedingungslose Existenz bedeuten, während die Relativität das Bedingt- und Bezogensein von Eigenschaften, Zusammenhängen usw. hervorhebt. Die dialektische Beziehung zwischen Relativem und Absolutem besteht gerade darin, daß es keine Materieart und Materieform gibt, die bedingungslos existiert, wir aber bei der Erkenntnis der Relativität uns der absoluten Wahrheit in dem Sinne nähern, daß wir das Wesen immer höherer Ordnung der materiellen Prozesse erkennen, die selbst keine absolute Struktur besitzen. Die Beziehung zwischen Relativem und Absolutem ist einer der erkenntnistheoretischen Brennpunkte der Auseinandersetzung mit dem Subjektivismus. In dieser Beziehung hat Alexandrow völlig recht. Lenin schreibt dazu: „Der Unterschied zwischen Subjektivismus (Skeptizismus und Sophistik etc.) und Dialektik besteht unter anderem darin, daß in der (objektiven) Dialektik auch der Unterschied zwischen Relativem und Absolutem relativ ist. Für die objektive Dialektik ist *im* Relativen Absolutes *enthalten*. Für den Subjektivismus und die Sophistik ist das Relative nur relativ und schließt das Absolute aus."[40] Im Relativen ist das Absolute zu erkennen, weil es im Relativen existiert. Bezogen auf die hier behandelte Raum-Zeit-Problematik und den Standpunkt von Alexandrow sind in der [303] Auseinandersetzung mit dem Subjektivismus zwei Deutungen der Stellung des Absoluten in dieser dialektischen Beziehung möglich. Einerseits kann das im Relativen existierende Absolute als absolute Raum-Zeit verstanden werden, weshalb die Suche auf einen absoluten Raum und eine allgemeine Weltzeit orientiert werden müßte. Auf das Problem der Zeit werden wir noch einmal zurückkommen, aber für den Raum als Struktur würde das die Existenz einer absoluten Struktur, d. h. einer nicht bedingten Struktur bedeuten. Das ist jedoch nicht

[38] Ebenda, S. 219.
[39] Ebenda.
[40] W. I. Lenin, Werke, Bd. 38, S. 339.

mit der These vom objektiven Zusammenhang zu vereinbaren. Dieser Zusammenhang hat prozessualen Charakter, theoretisch in der These von der Bewegung als Daseinsweise der Materie ausgedrückt. Der Zusammenhang ist nicht statisch, sondern als Aufeinandereinwirken zu verstehen. In diesem Sinne hatten wir schon bei der Betrachtung der Kausalität die kausale Veränderung als das Bestimmende gegenüber der Struktur hervorgehoben, die auch zu ständigen Strukturänderungen führt. Daraus ergibt sich mit Konsequenz auch die These von der Raum-Zeit als der Existenzform der Materie, was die Abhängigkeit der raum-zeitlichen Strukturen von den materiellen Prozessen und damit ihre Bedingtheit zum Ausdruck bringt. Um die Existenz bestimmter raum-zeitlicher Strukturen begründen zu können, müssen die Systemgesetze für das Verhalten der Elemente in einem System gefunden werden, weil sie die Grundlage für die Existenz bestimmter raum-zeitlicher Beziehungen sind. Die Entdeckung neuartiger raum-zeitlicher Beziehungen verweist deshalb auch auf neuartige Systemgesetze. Die Annahme von der Existenz eines absoluten Raums und einer absoluten Zeit würde diese objektiven dialektischen Beziehungen nicht berücksichtigen und deshalb zwar gegen den Subjektivismus gerichtet sein, aber das Absolute als etwas Selbständiges anerkennen. Damit wird die Relativität der Beziehung zwischen Absolutem und Relativem, von der Lenin spricht, von einer anderen Seite nicht beachtet. Es wird etwas absolut Absolutes postuliert und die Relativität des Absoluten nicht beachtet.

Andererseits kann bei der Kritik des Relativismus auf das Absolute im Relativen hingewiesen werden, wenn darunter die immer genauere Erkenntnis der objektiven Realität verstanden wird, also auch die Abhängigkeit der Raum-Zeit von der Materie. Lenin erläutert für das Wahrheitsproblem die Beziehungen zwischen Relativem, d. h. Bedingtem und Absolutem, d. h. Unbedingtem: „Vom Standpunkt des modernen Materialismus, d. h. des Marxismus, sind die *Grenzen* der Annäherung unserer Kenntnisse an die objektive, absolute Wahrheit geschichtlich bedingt, *unbedingt* aber ist die Existenz dieser Wahrheit selbst, unbedingt ist, daß wir uns ihr nähern. Geschichtlich bedingt sind die Konturen des Bildes, unbedingt aber ist, [304] daß dieses Bild ein objektiv existierendes Modell wiedergibt. Geschichtlich bedingt ist, wann und unter welchen Umständen wir in unserer Erkenntnis des Wesens der Dinge bis zu der Entdeckung des Alizarins im Kohlenteer oder bis zur Entdeckung der Elektronen im Atom gelangt sind, unbedingt aber ist, daß jede solche Entdeckung ein Schritt vorwärts auf dem Wege der ‚unbedingt objektiven Erkenntnis' ist."[41] Die Relativität unserer Raum-Zeit-Auffassungen muß also in doppelter Weise berücksichtigt werden. Einmal geht es um die Erkenntnis der objektiven Relativität, d. h. der Beziehung der Raum-Zeit zu den materiellen Prozessen. Auch die Erkenntnis des absoluten Raums und der absoluten Zeit barg ein Moment der absoluten, objektiven Wahrheit in sich, nämlich die Gültigkeit dieser Vorstellungen zur Erklärung materieller Bewegungen unter den Bedingungen für die Gültigkeit der klassischen Massenpunktmechanik. Zum anderen haben unsere Erkenntnisse über die Raum-Zeit, und sei es über die Relativität der Raum-Zeit, bezogen auf materielle Prozesse, selbst relativen Charakter. Der in ihnen enthaltene Kern absoluter, objektiver Wahrheit berechtigt uns zu der Feststellung, die Lenin getroffen hat, daß in unserer Erkenntnis unbedingt die Annäherung an die immer adäquatere Widerspiegelung der objektiven Realität erfolgt. Dieser Prozeß führt uns zugleich zu einer immer tieferen Einsicht in die objektive Relativität der Raum-Zeit, weshalb die Annahme einer objektiv existierenden absoluten Raum-Zeit aus der Analyse der bisherigen Erkenntnisse zu verwerfen ist. Das Absolute im Relativen besteht hier darin, daß raum-zeitliche Strukturen objektiv-real existieren und sie von uns immer besser erkannt werden. Die Dialektik leugnet eben auch die Existenz des Relativen im Absoluten nicht und anerkennt die Bedingtheit der raum-zeitlichen Strukturen an. Allgemein charakterisiert Lenin das Verhältnis von Relativismus und Dialektik, wenn er schreibt: „Die Dialektik schließt in sich, wie schon

[41] W. I. Lenin, Werke, Bd. 14, S. 130 f.

Hegel erläuterte, ein Moment des Relativismus, der Negation, des Skeptizismus ein, aber sie reduziert sich nicht auf den Relativismus. Die materialistische Dialektik von Marx und Engels schließt unbedingt den Relativismus in sich ein, reduziert sich aber nicht auf ihn, d. h. sie erkennt die Relativität aller unserer Kenntnisse an, nicht im Sinne der Verneinung der objektiven Wahrheit, sondern in dem Sinne, daß die Grenzen der Annäherung unserer Kenntnisse an diese Wahrheit geschichtlich bedingt sind.“[42] Unsere relativen Erkenntnisse über die Raum-Zeit führen uns zur immer besseren Erkenntnis der objektiven raum-zeitlichen Strukturen, die damit auch in ihrer Relativi-[305]tät, d. h. in ihrer Abhängigkeit von den materiellen Prozessen erkannt werden. Die Annäherung an die absolute Wahrheit, d. h. an die immer allseitigere, umfassendere Erkenntnis der objektiven Realität, weshalb Lenin von absoluter Wahrheit immer im Zusammenhang mit der objektiven Wahrheit spricht, läßt keinen Schluß auf die Existenz einer absoluten Raum-Zeit zu. Die objektiv-real existierenden Strukturen, darunter auch die raum-zeitlichen, sind relativ. Faßt man nun den Raum, wie wir das hier getan haben, in seiner sich herausbildenden Bedeutung als Struktur, dann ist er einmal als materieller Bereich, bestimmt durch die Existenz von Systemgesetzen, der Rahmen, in dem kausale Abläufe vor sich gehen können. In diesem Sinne ist die Raum-Zeit-Struktur notwendige Bedingung der Kausalstruktur. Zum anderen weisen Kausalbeziehungen selbst eine bestimmte Raum-Zeit-Struktur auf. Während also einerseits die globale Raumstruktur den Rahmen für die Kausalabläufe abgibt, ist andererseits die Raumstruktur des kausalen Vorgangs durch den materiellen Prozeß bedingt. Wie kompliziert das Verhältnis von Raum und objektivem Prozeß ist, zeigte die Diskussion der sich aus der Lokalität ergebenden Forderungen. Die durch die Massenverteilung bestimmten globalen Raum-Zeit-Strukturen sind notwendige Voraussetzungen einzelner Kausalabläufe, ohne daß immer eine direkte Auswirkung einer bestimmten Raum-Zeit-Struktur festzustellen ist. Wir sehen hier den schon früher betonten engen Zusammenhang der Raum-Zeit mit der Kausalität als zwei wesentliche Materieformen, wobei in der ersten, speziell im Raum, der strukturelle Aspekt und in der zweiten der Bewegungsaspekt dominiert. Diesen Unterschied darf man nicht vergessen, wenn man Gemeinsamkeiten hervorhebt, wie das Alexandrow macht: „Die Raum-Zeit ist die Menge aller Ereignisse in der Welt, abstrahiert von allen ihren Eigenschaften, außer denen, die sich durch die Beziehungen des Aufeinandereinwirkens der einen Ereignisse auf andere bestimmen ... Die raum-zeitliche Struktur der Welt ist nichts anderes, als ihre Ursache-Wirkung-Struktur, nur in der entsprechenden Abstraktion genommen.“[43] Die hier richtig hervorgehobene Gemeinsamkeit zwischen den verschiedenen Materieformen muß durch ihre Unterschiede ergänzt werden, von denen Alexandrow abstrahierte. Die bisherigen Betrachtungen bestätigen die Auffassung, daß der Raum immer mehr mit bestimmten allgemeinen Eigenschaften der Struktur ausgestattet wird und sich der Raumbegriff immer mehr dem Strukturbegriff annähert. Das entspricht der erkannten Bedingtheit der Raumstrukturen durch die materiellen Prozesse und der Kritik der Annahme von der Existenz eines absoluten Raums. Da [306] in die Raumauffassung immer mehr, entsprechend dieser Relativität, die bestimmenden Komponenten für die Raumstruktur mit eingehen, die in verschiedenen Eigenschaften der materiellen Objekte bestehen, wird der Prozeß der Lösung von der Vorstellung des absoluten Raums zu einem Prozeß der ständigen Erweiterung des Raumbegriffs, abstrakt in der mathematischen Raumauffassung und konkret in der Entwicklung bestimmter Raumauffassungen für verschiedene physikalische Bereiche, repräsentiert. Insofern kann die Feststellung in der Elementarteilchenphysik, daß es keine räumlichen Beziehungen gäbe, bedeuten, daß die Struktur noch ungenügend erkannt ist. Berücksichtigt werden muß dabei aber, daß die philosophische Analyse des Strukturbegriffs selbst noch nicht sehr weit fortgeschritten ist. Auch kann in der

[42] Ebenda, S. 131 f.
[43] Lenin und die moderne Naturwissenschaft, S. 227.

allgemeinen Strukturauffassung der dreidimensionale Anschauungsraum einen bestimmten Spezialfall der allgemeinen Raum- und Strukturauffassung darstellen. Deshalb muß der hypothetische Charakter der hier aufgestellten Überlegungen zum Verhältnis von Struktur und Raum besonders betont werden.

4. Umkehrbarkeit und Unumkehrbarkeit der Zeit

Auch in der Raum-Zeit-Union der Relativitätstheorie behalten Raum und Zeit ihre Spezifik. Bei vielen Fragen kann die Antwort nur erfolgen, wenn wir die Einheit berücksichtigen. Deshalb führte uns die Behandlung des Raumes als Struktur in vielen Fällen auf die Raum-Zeit. Trotzdem ist die Hervorhebung der Spezifik dieser Existenzformen der Materie wichtig. Von manchen Physikern und Philosophen wird sogar die Auffassung vertreten, daß die Zeit gegenüber dem Raum die grundlegendere Existenzform der Materie sei. In seiner Arbeit zur Naturphilosophie der Zeit kommt G. J. Whitrow zu der Auffassung, daß die Zeit nicht nur real in dem Sinne sei, Erscheinung unserer Erfahrung zu sein, sondern die zeitlichen Beziehungen werden als durch nichts anderes hervorgebracht angesehen. Sie sind ebenso bedeutend wie die räumlichen Beziehungen, vielleicht sogar fundamentaler.[44] Zu seiner Unterstützung zitiert Whitrow die Meinung von J. L. Synge, daß von allen physikalischen Messungen die Zeitmessungen die fundamentalsten seien und die Theorie, die diese Messungen begründet, die wichtigste sei.[45] Nach Synge ging Euklid den falschen Weg, indem er [307] als ursprünglichen Begriff der Wissenschaft den des Raumes und nicht den der Zeit nahm. So gibt es heute noch nicht einmal einen allgemein angenommenen Ausdruck für die Zeituntersuchungen. Man könnte dafür, meint Synge, den Begriff Chronometrie einführen, der für allgemeine Untersuchungen der Zeit stehen soll, wobei die theoretische Chronometrie von der angewandten unterschieden werden muß. Ebenso wie die Geometrie für Untersuchungen des Raumes steht, soll die Chronometrie einen besonderen Wissenschaftszweig zur Untersuchung der Zeit bezeichnen.

Whitrow wendet sich in seiner Arbeit gegen die Trennung der Zeit vom Universum. Nach ihm entstand bei Archimedes die Auffassung, nach der die Zeit keine wesentliche Eigenschaft der letzten Grundlagen der Dinge und das Ideal der Naturwissenschaft die Rückführung der Physik auf Geometrie sei. Er verfolgt diese Linie bis in die Gegenwart, in der die Zeit nicht geleugnet wird, aber auf den Raum zurückgeführt werden soll. Den Physikern und Mathematikern, die das versuchen, helfen vor allem die idealistischen Philosophen, meint Whitrow.[46] Er verteidigt die objektiv-reale Existenz der Zeit und untersucht ihre allgemeinen Eigenschaften. Er verteidigt vor allem die Zeitrichtung oder die Unumkehrbarkeit der Zeit, die von der Vergangenheit über die Gegenwart zur Zukunft führt. Die Analyse der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse über die Zeit veranlassen ihn dazu, eine absolute Zeit abzulehnen und ihre Relativität anzuerkennen. Er wendet sich aber auch gegen vereinfachte Auffassungen von der objektiv-realen Zeit. Wir nehmen die Zeit nicht unmittelbar wahr, sondern nur in der Art konkreter Aufeinanderfolgen und Rhythmen. Unsere individuelle Zeit ist damit keine einfache Empfindung, sondern eine Konstruktion des Verstandes.[47]

Damit gelangen wir zu dem so wichtigen Verhältnis von objektiver und subjektiver Zeit. Wir hatten bei der Analyse der Kausalitätsauffassungen in der Elementarteilchenphysik schon darauf hingewiesen, daß die Zeitrichtung der Kausalabläufe erhalten bleiben muß, weil der objektive Zusammenhang uns vergangene Ereignisse nicht ändern läßt, aber die Zukunft be-

[44] G. J. Whitrow, The Natural Philosophy of Time, London 1961, zitiert nach der russischen Übersetzung, Moskau 1964.
[45] Ebenda, S. 7.
[46] Ebenda, S. 13.
[47] Ebenda, S. 107.

einflußt werden kann. Unsere Erfahrung lehrt uns die Einteilung der Ereignisse in vergangene und zukünftige und bringt damit die objektive Zeitrichtung zum Ausdruck. Unter den angenommenen Bedingungen der Existenz unendlicher Geschwindigkeiten, die den objektiven Zusammenhang zum gleichzeitigen universellen Zusammenhang machen, kann die Zeitrichtung nur als absolute Zeit des Universums gefaßt werden. Die Rela-[308]tivität der Zeit in ihrer Abhängigkeit von den materiellen Prozessen konnte erst erkannt werden, als für die Ausbreitung von Signalen eine Grenzgeschwindigkeit angenommen wurde und damit der Begriff der Gleichzeitigkeit kritisch analysiert wurde. Man könnte deshalb die Relativität der Zeit so fassen, daß in jedem System, das durch den Lichtkegel bestimmt wird, die zeitartigen Ereignisse von der Vergangenheit in die Zukunft verlaufen und die raumartigen Ereignisse aus der Analyse ausgeschaltet werden können. Es gibt in diesen Systemen also eine engere Umgebung, für die die Zeitrichtung nachzuweisen ist, und eine weitere Umgebung, die zu der Zeit nicht analysiert werden kann. In dem Moment, wo die Analyse möglich ist, wird auch die Zeitrichtung offensichtlich. Das veranlaßt uns zu der Schlußfolgerung, daß in jedem objektiven System eine Zeitrichtung vorhanden ist.

Für Whitrow ist das Studium der Zeit das Studium der Prozesse, des Werdens und des Zusammenhangs zwischen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Dabei stimmen die von ihm angestellten Überlegungen zur Zeitrichtung von der Vergangenheit in die Zukunft mit unseren überein. Bisher wurde die Gegenwart aber nur als Trennpunkt zwischen beiden behandelt, obwohl sie für die Zeitrichtung eine wesentliche Rolle spielt und sicher in sich die Richtung auch zum Ausdruck bringen muß. Wir haben auf dieses Problem bei der Behandlung der Zeitrichtung im Kausalablauf hingewiesen. Mit der Existenz der Ursache beginnt bereits die Wirkung zu existieren, aber die Entstehung der Ursache und die weitere Veränderung der Wirkung bestimmen für das Kausalverhältnis die zeitliche Richtung. Insofern kann auch die Gegenwart nicht losgelöst von Vergangenheit und Zukunft betrachtet werden. Ebenso, wie das Kausalverhältnis in einem konkreten Prozeß eine Struktur besitzt und nicht als punktförmig betrachtet werden kann, muß auch die Gegenwart in ihrer Struktur untersucht werden. Whitrow charakterisiert fünf Erwägungen, die auf die Kompliziertheit der zeitlichen Analyse der Gegenwart verweisen, die in der Auffassung Newtons nur als Trennstrich zwischen Vergangenheit und Zukunft zu bestimmen war.[48] Erstens kann das geradlinige Kontinuum der Zeitmomente nur als eine logische Abstraktion in der mathematischen Physik verstanden werden, wie die gerade Linie in der Geometrie. Die Gegenwart ist kein nicht ausgedehnter Augenblick, kein streng punktförmiges momentanes Jetzt. Sicher kann man mit der Abstraktion der Zeitpunkte gut arbeiten, und das Kontinuum bringt den ständigen Übergang, das Werden zum Ausdruck. In gewisser Weise wird damit die Gegenwart aber punktualisiert [309] und ihre Struktur nicht beachtet. Es gibt nur ein punktförmiges Jetzt, alles andere ist Vergangenheit oder Zukunft.

Zweitens verweist Whitrow darauf, daß die bisherigen Forschungen mit einiger Berechtigung erlauben, die Möglichkeit einer begrenzten Zeitteilung ins Auge zu fassen. Das spekulative Zeitatom, das Chronon, kann sich als 10^{-24} s erweisen. Sicher ist das eine Überlegung, die eine Erklärung für die Struktur der Gegenwart geben würde, da danach jede Zeit aus Zeitatomen aufgebaut wäre. Der spekulative Charakter dieser Annahme wird jedoch zu Recht hervorgehoben. Zur philosophischen Analyse verweisen wir auf die Ausführungen zu den Naturkonstanten am Beispiel der Elementarlänge. Elementarlänge und Elementarzeit hängen eng miteinander zusammen ($t_0 = l_0/c$; t_0 = Elementarzeit; l_0 = Elementarlänge; c = Lichtgeschwindigkeit). Insofern kann sich die Elementarzeit auch als Grenze unseres bisherigen Wissens erweisen, die durch weitere Forschungen überschritten wird und bisher unbekannte

[48] Ebenda, S. 399 f.

Gesetze des Elementarteilchenverhaltens mit einer eigenen Raum-Zeit-Struktur offenbart. Drittens führt Whitrow an, daß das Jetzt des Beobachters nicht allumfassend sein kann, obwohl die Kosmologen von einer allgemeinen kosmischen Zeit sprechen. Die Relativität der Zeit drückt sich hier darin aus, daß die Gegenwart des Beobachters Prozesse nicht umfassen kann, die gegenüber seinem Lichtkegel raumartig sind. Viertens zeigt die Quantentheorie die Bedeutung der Gegenwart für die Zukunft. Durch Einwirkung des Beobachters auf physikalische Objekte verändert sich die Zukunft. Der zukünftige physikalische Zustand ist eine von der Gegenwart abhängige mathematische Konstruktion.

Fünftens ist das Gebiet der „potentiellen Gleichzeitigkeit" in der Minkowskiwelt genauer bestimmt, als das bei Newton der Fall war. Trotzdem bleibt auch hier die Gegenwart noch der Trennpunkt zwischen Vergangenheit, und Zukunft, ohne daß die Ausdehnung der Gegenwart berücksichtigt wird. Wir haben die von Whitrow genannten Richtungen deshalb erläutert und kommentiert, weil sie auf ein Problem der modernen Zeitauffassung verweisen, das bisher ungenügend untersucht worden ist, nämlich die Ausdehnung und innere Struktur der Gegenwart. Wenn wir die Zeit als abhängig von den materiellen Prozessen betrachten, dann ist eine Wechselwirkung kein Zeitmoment, sondern als Gegenwart selbst zeitlich gerichtet. Zweifellos kann die Zeitrichtung nicht ohne Vergangenheit und Zukunft definiert werden. Aber bei ihrer Analyse kann die Gegenwart nicht unanalysiert bleiben. Für Whitrow ist die Zeit „keine geheimnisvolle Illusion des Intellektes", sondern „wesentliche Eigenschaft des Universums".[49]

[310] Wir wollen uns dazu noch genauer mit der Besonderheit der Zeit befassen, die kein räumliches Analogon hat, nämlich mit ihrer Unumkehrbarkeit.[50] Die Definition der Zeitrichtung bringt jedoch in der Physik einige Schwierigkeiten mit sich. In der Minkowskischen Raum-Zeit ist keine Zeitrichtung ausgezeichnet, und es gibt damit „keinen mathematischen Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft – im Widerspruch zur physikalischen und allgemeinen Erfahrung", betont Treder.[51] In der allgemeinen Relativitätstheorie besteht die Möglichkeit von Asymmetrien zwischen Vor- und Nachkegel, was zur Definition einer Zeitrichtung ausgenutzt werden kann. Von vielen Theoretikern wurde dabei auf die Expansion des Weltalls verwiesen, die als physikalische Realität zur Grundlage für die theoretische Bestätigung einer Zeitrichtung genommen werden soll. Treder weist bei der Schilderung dieser Versuche einschränkend auf folgendes hin: „Allerdings ist zu berücksichtigen, daß in genügend allgemeinen Riemann-Einsteinschen Räumen eine universelle Zeit nicht unbeschränkt definierbar ist."[52]

Einerseits lehrt uns die allgemeine und die physikalische Erfahrung, daß die Zeit nicht umkehrbar ist. Andererseits betrachten wir sie als Existenzform der Materie und damit in ihrer Abhängigkeit von den materiellen Prozessen. Hier lehrt uns die Physik die Existenz reversibler Prozesse, die Grundlage für die in den Gesetzen enthaltene Invarianz gegenüber Zeitspiegelungen ist. Die bisherige Diskussion des Kausalitätsproblems zeigte bereits diese zwei Momente der Zeitproblematik. Im Kausalablauf muß die zeitliche Gerichtetheit berücksichtigt werden. Ursache und Wirkung können nicht willkürlich bestimmt werden. Vergangenheit und Zukunft sind dadurch unterschieden, daß vergangene Ereignisse existieren und analysiert werden müssen, aber nicht mehr beeinflußt werden können, auf zukünftige Ereignisse kann dagegen noch eingewirkt werden. Im Gesetz abstrahieren wir im allgemeinen von der Zeitrichtung und heben die Invarianz gegenüber der Zeitspiegelung hervor. Treder schreibt dazu:

[49] Ebenda, S. 400.
[50] Vgl. G. Uhlenbeck, Gibt es eine Richtung im Ablauf der Zeit?, in: Umschau 8/1967, S. 237 ff., H. A. C. Dobbs, The „Present" in Physics, in: Brit. Journal f. the Phil. of Science 19/1965, S. 317 ff., W. Büchel, Messung, Näherung und Zeitrichtung, in: Philosophia naturalis 2/1969, S. 162 ff.
[51] H.-J. Treder, Relativität und Kosmos, S. 58.
[52] Ebenda, S. 59.

„Eine eindeutige Orientierung der Zeit besteht erfahrungsgemäß sowohl für mikrokosmische als auch für makrokosmische Prozesse. Die Gerichtetheit der Zeit ist eine fundamentale Tatsache, die physikalisch zunächst aber schwer verständlich erscheint, weil diejenigen Grundgleichungen der Physik, die wie die Ein-[311]steinschen Gravitationsgleichungen und die Maxwellschen Gleichungen des elektromagnetischen Feldes die geometrische Struktur und den physikalischen Inhalt von Raum und Zeit in gewöhnlichen und in kosmischen Größenordnungen bestimmen, invariant gegenüber Spiegelungen der Zeitkoordinate $x^0 = ct$, d. h. symmetrisch in bezug auf ‚Vergangenheit' und ‚Zukunft' sind. Das gleiche gilt zumindest für diejenigen Gesetze der Physik der Elementarteilchen, welche die starken Wechselwirkungen und damit die Struktur und die Prozesse in den Atomkernen bestimmen."[53] Um die Zeitrichtung in physikalischen Gesetzen erfassen zu können, müßte es irreversible physikalische Prozesse geben, deren Gesetze nicht invariant gegenüber der Zeitspiegelung sind. Bisher wurden dafür die Entropiezunahme eines Systems nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik genommen und die Expansion des Weltalls. Treder macht darauf aufmerksam, daß für Elementarprozesse und für beliebig große kosmische Bereiche die auf der Entropiezunahme aufbauende Zeitrichtung wegen des statistischen Charakters des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik versagt. Er diskutiert jedoch ausführlich, „daß und wie die Gerichtetheit der Zeit tatsächlich nicht nur mit der Spiegelungsinvarianz verträglich ist, sondern sogar aus der globalen Invarianz der Einsteinschen, Maxwellschen etc. Gleichungen gegenüber den Zeitspiegelungen folgt"[54]. Zwar sind bei gleichzeitiger symmetrischer Existenz retardierter und avancierter Felder Vergangenheit und Zukunft in der speziellen Relativitätstheorie nicht zu unterscheiden, aber Treder benutzt die experimentell überprüfbare Tatsache, daß in der Realität nur retardierte Wirkungen auftreten, was subjektiv als gerichteter Ereignisstrom empfunden wird. Alle avancierten Wirkungen lassen sich als Folge der Nichtstationarität des Universums eliminieren. Diese ergibt sich aus der Einsteinschen Gravitationstheorie, die keinen stabilstationären Kosmos erlaubt. Die mit der Expansion des Weltalls verbundene zeitliche Richtung, die zugleich die Geschichtlichkeit des Universums ausdrückt, führt zur Existenz eines Welthorizonts, über den Treder schreibt: „In einem expandierenden Kosmos bedeutet dieser *Welt*horizont, daß ein vorgegebener Weltpunkt P_0 des dreidimensionalen kosmischen Raumes V_3 durch retardierte Wirkungen, die sich mit einer Geschwindigkeit a kleiner oder gleich der Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, nur dann erreicht werden kann, wenn diese Wirkungen von einer Quelle ausgehen, die innerhalb einer bestimmten dreidimensionalen Umgebung von P_0 liegt. Diese Umgebung wird durch eine Sphäre, den Welthorizont P_0 begrenzt. Ereignisse, die [312] außerhalb dieser Sphäre stattfinden, können keine retardierte Wirkung auf P_0 ausüben."[55] Hier wird in der physikalischen Konzeption die philosophische Kausalitätsauffassung bestätigt, die mit der zeitlichen Richtung vor allem die konkrete und direkte Vermittlung des Zusammenhangs verband und Fernwirkungen mit unendlicher Geschwindigkeit oder den universellen gleichzeitigen Zusammenhang aller Objekte und Ereignisse ausschloß.

Die bisher genannten Probleme spielen auch in den Ausführungen von C. F. v. Weizsäcker zur Zeit eine große Rolle. Es ist deshalb interessant, seine Argumentation zur Unumkehrbarkeit der Zeit genauer zu untersuchen. Es zeigt sich, daß auch er bei der Begründung auf philosophische Überlegungen zurückgreifen muß, die als Verallgemeinerungen unserer Erfahrung zu betrachten sind. Schon die Frage, was Zeit ist, betrachtet Weizsäcker als problematisch, weil sie nicht durch die Angabe der Struktur des zu bestimmenden Objekts beantwortet werden kann, wie das der Fall ist, wenn ich frage, was Papier ist. Er meint eine Antwort dadurch zu finden, „daß wir uns deutlicher machen, was wir alle immer schon über die Zeit

[53] Ebenda, S. 77.
[54] Ebenda, S. 78.
[55] Ebenda, S. 82.

wissen, und daß wir höchstens dieses, was wir alle immer schon über die Zeit wissen, dann noch einmal verschärfen können, indem wir präzise Strukturen angeben, die der Zeit immer und überall zukommen. Die Untersuchung würde dann also auf eine schärfere Bezeichnung der Struktur der Zeit hinauslaufen.“[56] Damit wird die philosophische Verallgemeinerung der Erkenntnisse über die Zeit als Grundlage für die Antwort auf die genannte Frage genommen. Über diesen Weg gingen Engels und Lenin, als sie zu der Feststellung kamen, die Zeit als Existenzform der Materie zu fassen. Weizsäcker betrachtet die Versuche, in der Geschichte der Philosophie die Zeit als Kreisprozeß zu sehen, wobei die Welt ewig ist und nichts Neues in ihr entsteht. Aber gegenüber allen theoretischen Versuchen, die Irreversibilität der Zeit zu beseitigen, setzt sie sich als Tatsache, die in der Erfahrung berücksichtigt werden muß, immer wieder durch. Weizsäcker schreibt dazu: „Damit wende ich mich nun der neuzeitlichen Darstellung zu, in der, wie mir scheint, gewisse Züge der Welt ..., die man in der griechischen Philosophie mit einer gewaltigen Denkanstrengung zu eliminieren versucht hat, wieder in ihr Recht eingesetzt werden und in der sich sogar zeigt, daß sie fundamental sind, nämlich alle die, die damit zusammenhängen, daß die Zeit ein unumkehrbarer Ablauf ist. Ich will es gleich noch etwas schärfer sagen: die Zeit ist nicht nur unumkehrbar, [313] sondern es besteht ein qualitativer Unterschied zwischen Zukunft und Vergangenheit, und die Gegenwart ist, wie wir alle wissen, nie dieselbe.“[57] Die Argumente, die Weizsäcker für seine Thesen anführt, stammen alle aus der Erfahrung. Die Entwicklung der Wissenschaft und die allgemeine Erfahrung lehren, daß wir aus der Vergangenheit für die Zukunft lernen. Die Vergangenheit ist unabänderlich. „Auf der anderen Seite liegt die Zukunft“, schreibt er, „sie ist das Feld des Möglichen. Die Zukunft ist nicht bestimmt.“[58] Die Argumentation für die objektiv-reale Existenz der Zeitrichtung wird aus der Kausalitätsauffassung entnommen, die bei Weizsäcker spezifisch auf die menschlichen Erfahrungen zugeschnitten wird, nach denen die Vergangenheit unabänderlich und die Zukunft das Feld von Möglichkeiten ist.

Weizsäcker will diese Gedanken für die Physik fruchtbar machen: „Nun ist die These, die ich hier vertreten will“, heißt es bei ihm, „daß diese Struktur der Zeit für gewisse Theorien der modernen Physik fundamental ist, nämlich insbesondere für alle die, in denen der Begriff der Wahrscheinlichkeit eine Rolle spielt. Ich meine, daß man anders als unter Bezugnahme auf diese Struktur diese Theorien der neuzeitlichen Physik überhaupt nicht verstehen kann und daß diese Struktur innig zusammenhängt mit der Irreversibilität, und das alles, meine ich, kann ich an der existierenden Physik einfach ablesen. Darüber hinaus habe ich die Vermutung, daß die Zeit, so, wie ich sie jetzt geschildert habe, der fundamentale Begriff der Physik überhaupt ist, daß man vielleicht in der letzten Phase, in der letzten Form, die die Physik annehmen wird, außer diesem Zeitbegriff und dem Begriff des Begriffs oder des Gesetzes überhaupt, also dem, daß es überhaupt allgemeine Gesetzmäßigkeiten gibt, keinen anderen Fundamentalbegriff mehr brauchen wird.“[59] Auf die dazu von Weizsäcker entwickelte physikalische Konzeption als Antwort auf die Frage, wie Physik überhaupt möglich ist, gehen wir im nächsten Kapitel ein, weil dazu einige Überlegungen zu den Symmetrien in der Physik erforderlich sind. Wie wir überhaupt sehen, ist der eine Angelpunkt zum Verständnis der Zeitproblematik das Verhältnis von Kausalität und Gesetz, was auch Weizsäcker hervorhebt, indem er auf die Erfahrung verweist und die These aufstellt, daß der Zeit- und Gesetzesbegriff fundamentale Begriffe der Physik sind. Der Gesetzesbegriff führt dann schon zum anderen Angelpunkt der Zeitproblematik, zum Verhältnis von Symmetrie und Asymmetrie. Es können nämlich [314] zwei Lösungen des Symmetrieproblems zur Fundierung der These von der Existenz einer Zeitrich-

[56] C. F. v. Weizsäcker, Das Problem der Zeit als philosophisches Problem, Berlin 1963, S. 8.
[57] Ebenda, S. 16.
[58] Ebenda, S. 17.
[59] Ebenda, S. 17 f.

tung führen. Einerseits ist die Annahme der absoluten Symmetrie der physikalischen Fundamentalprozesse möglich, aus denen sich komplexe und komplizierte Systeme aufbauen, in denen Asymmetrien auftreten, die durch die Statistik erfaßt werden und eine Zeitrichtung definieren lassen. Danach wären die Fundamentalprozesse nicht zeitlich gerichtet, sondern nur die Systeme, deren Elemente Fundamentalprozesse sind. Die Suche nach neuen Symmetrien bei der Durchbrechung bestimmter Symmetrien bei bestimmten Wechselwirkungen wäre danach gerechtfertigt. Andererseits kann auch die Unumkehrbarkeit der Zeit als fundamental und den Elementarprozessen eigen betrachtet werden. Dann wären physikalische Prozesse aufzudecken, die diese fundamentale Eigenschaft aufweisen. Von manchen Physikern wurde die Verletzung der CP-Invarianz durch den Zerfall des K_2^0-Mesons so gedeutet.

Beide Möglichkeiten, die Zeitunumkehrbarkeit physikalisch fruchtbar zu machen, führen uns zur Analyse des Verhältnisses von Symmetrie und Asymmetrie, das wir im nächsten Kapitel behandeln wollen. Damit bestätigt sich auf neue Weise die Bedeutung der These von der Raum-Zeit als Existenzform der Materie. Die von uns hier behandelte spezifische Zeitproblematik kann nicht gelöst werden, ohne daß philosophisch die Materieformen, speziell die Kausalität, analysiert wird und die Ergebnisse der physikalischen Forschung zum Verhältnis von Symmetrie und Asymmetrie berücksichtigt und gedeutet werden. Weizsäcker geht nicht so weit, wie wir es im folgenden Kapitel als philosophische Hypothese formulieren werden, nach der es Gesetze asymmetrischen Verhaltens gibt. Er übernimmt den Grundgedanken aus der Thermodynamik und ihrer Deutung, nach der die fundamentale Physik reversibel ist und die Irreversibilität ein Vordergrundphänomen darstellt. Die Irreversibilität des makroskopischen Geschehens wird nach ihm durch die Einführung des Begriffs der Wahrscheinlichkeit befriedigend erklärt. Der Begriff der Wahrscheinlichkeit verweist auf die Zukunft, die ja als Feld der Möglichkeiten betrachtet wird. Reversibilität und Statistik sind nach Weizsäcker die Grundforderungen, um die Gesetze der Quantenmechanik zu gewinnen, die „das beste heute verfügbare Gesetzesschema der Physik überhaupt“ sind.[60] Reversibilität ist also die fundamentale Eigenschaft der physikalischen Gesetze, und ihr statistischer Charakter entsteht dadurch, daß Physik die Zukunft erfassen soll. Damit wird sowohl die Frage nach dem fundamentalen Charakter der physikalischen Prozesse beantwortet, als auch die Irreversibilität der Zeit [315] begründet. „Dabei ist die Forderung des statistischen Charakters meinem Eindruck nach nichts anderes als der Ausdruck davon“, schreibt Weizsäcker, „daß dieses eine Theorie ist, die sich auf die wirkliche Zeit bezieht.“[61] Obwohl diese theoretische Begründung für die Reversibilität des physikalischen Fundamentalgeschehens und die Irreversibilität der Zeit vieles für sich hat, gibt es meines Erachtens auch die andere Möglichkeit, von der Irreversibilität des physikalischen Grundgeschehens auszugehen und daraus die Irreversibilität der Zeit zu bestimmen. Die Bestimmung der Quantenmechanik ist eine Konsequenz der Auffassung von Weizsäcker: „Die Quantenmechanik scheint mir ein System von allgemeinen Gesetzen zu sein, welche formulieren, wie Objekte als Objekte in der wirklichen Zeit derart beschrieben werden können, daß man über ihr zukünftiges Verhalten Wahrscheinlichkeitsvoraussagen machen kann und daß die Gesetze, mit deren Hilfe man die zukünftigen Wahrscheinlichkeiten beschreibt, reversibel sind.“[62] Die Elementarteilchentheorie soll nach Weizsäcker angeben, welche Objekte es überhaupt gibt. Sie kann nach seiner Meinung auf ähnliche abstrakte Begriffe wie die Quantenmechanik zurückgeführt werden.[63] Hier scheint mir doch die Beziehung zwischen Reversibilität und Irreversibilität im Zusammenhang mit dem Gesetzesbegriff und den Erhaltungssätzen noch einmal durchdacht werden zu müssen.

[60] Ebenda, S. 31.
[61] Ebenda, S. 33.
[62] Ebenda, S. 34 f.
[63] Ebenda, S. 35.

Sicher werden sich aus der Elementarteilchentheorie auch neue Beziehungen für das Verhalten der physikalischen Objekte ableiten lassen. Wir werden deshalb im nächsten Abschnitt noch auf einige Fragen nach der Raum-Zeit-Struktur im Elementarteilchenbereich eingehen. Dabei erweist es sich auch als problematisch, die Elementarteilchentheorie nur als Theorie möglicher Objekte zu sehen. Sie ist nicht nur eine Theorie über eine bestimmte Materieart, sondern läßt auch Aussagen über Materieformen zu, die uns zwingen, heutige Auffassungen zu präzisieren. Die Quantentheorie als Theorie der Materieformen philosophisch zu sehen und die Elementarteilchentheorie als Theorie der Materieart, würde Formen und Arten auseinanderreißen und den Blick für neue Einsichten der Elementarteilchentheorie in die Materieformen trüben.

Unsere Darstellung der Auffassung von Weizsäcker macht einen Standpunkt deutlich, den viele Physiker teilen. Er kann jedoch eine Reihe von Problemen nicht klären. Zumindest erscheint es inkonsequent, wenn die physikalischen Fundamentalprozesse als reversibel angesehen werden. Hier muß [316] mindestens das Verhältnis von irreversiblen Kausalabläufen und reversiblen gesetzmäßigen Zusammenhängen berücksichtigt werden. Außerdem sind die Durchbrechungen verschiedener Erhaltungssätze nicht als Hinweis auf eine irreversible Grundstruktur physikalischen Geschehens gedeutet worden, was aber immerhin möglich ist.

Wenn wir die bisherige Diskussion verschiedener Auffassungen zur Unumkehrbarkeit der Zeit zusammenfassen, dann ergeben sich folgende wesentliche Aspekte: Erstens bestätigt die Physik den materialistischen Standpunkt von der objektiv-realen Existenz der Zeit und ihrer Unumkehrbarkeit. Diese Eigenschaft macht sich immer wieder bemerkbar gegenüber allen Versuchen, sie theoretisch zu beseitigen. Sie erweist sich als durch die Alltagserfahrung begründet. Zweitens handelt es sich dabei nicht um eine Eigenschaft der absoluten Zeit. Die Zeit ist relativ. Sie ist als Existenzform der Materie abhängig von den materiellen Prozessen, deren Zeit sie ist. Damit ergibt sich drittens das Problem der Eigenzeit. Jedes materielle System hat in Abhängigkeit von seinen Systemgesetzen seine eigene Zeitmetrik, seinen Zeitrhythmus. Der Zusammenhang mit anderen Eigenzeiten muß durch Transformation hergestellt werden. Sicher wäre es interessant, die Zeit in gesellschaftlichen, biologischen und anderen Systemen zu untersuchen, hier geht es aber nur um die Physik. Physikalische Systeme haben ebenfalls ihre Eigenzeit. Das hebt aber die Zeitrichtung nicht auf. Viertens muß die Zeitrichtung einmal in Abhängigkeit vom Kausalgeschehen betrachtet werden. Reversible gesetzmäßige Zusammenhänge heben die Zeitrichtung des Kausalablaufs nicht auf. Zum anderen muß das Verhältnis von Symmetrie und Asymmetrie im physikalischen Geschehen analysiert werden, um die Frage zu beantworten, ob das physikalische Fundamentalgeschehen reversibel oder irreversibel ist. Irreversibles Geschehen würde die Definition einer Zeitrichtung erleichtern.

5. Zur Raum-Zeit-Problematik in der Elementarteilchenphysik

Bei der präziseren Bestimmung von Raum und Zeit als den Existenzformen der Materie erwies sich der Raum als Struktur und die Zeit als Ausdruck der Prozeßrichtung von der Vergangenheit in die Zukunft. Diese allgemeinen Merkmale haben auch Bedeutung für die Elementarteilchenphysik. In der Diskussion um die Raum-Zeit-Problematik im Elementarteilchenbereich werden verschiedene Standpunkte vertreten, auf die teilweise schon hingewiesen wurde: Erstens bedeutet die Einführung einer Elemen-[317]tarlänge und damit auch einer Elementarzeit, daß räumliche und zeitliche Parameter unterhalb dieser Grenzen ihre Bedeutung verlieren könnten. Bei der Diskussion der Bedeutung von Naturkonstanten haben wir verschiedene Aspekte hervorgehoben. Handelt es sich bei der Konstante um einen aus den objektiven Prozessen sich ergebenden Umschlagspunkt für qualitative Veränderungen oder für die Existenz anderer Gesetze, dann kann dieser Umschlagspunkt entweder bei der Annä-

herung an die Konstante erreicht werden, wobei sie den Grenzpunkt bildet, der nie vollständig erreicht wird, oder sie wird als Grenze überschritten. Es gibt aber auch subjektiv eingeführte hypothetische Konstanten, die nur die Grenze unseres bisherigen Wissens charakterisieren, aber sich nicht als objektive Umschlagspunkte für qualitativ neues Verhalten der zu untersuchenden Objekte erweisen. Bisher ist noch nicht voll geklärt, ob es sich bei der Elementarlänge um eine solche subjektive Konstante oder um eine objektive Konstante handelt, die zu überschreiten wäre. Die Behandlung dieser Problematik hatte ja schon gezeigt, daß wir nicht bei einer Elementarlänge von 10^{-13} cm stehenbleiben können. Sie kann als ein Hinweis auf die innere Struktur der Elementarteilchen aufgefaßt werden. Von dieser Position her kritisiert Baraschenkow die Physiker, die meinen, auf raum-zeitliche Vorstellungen im subatomaren Bereich verzichten zu müssen. Er hält das für eine unbegründete theoretische Spekulation.[64] Zweitens wird die innere Struktur und die Ausdehnung der Teilchen berücksichtigt. Man betrachtet dazu die Streuung eines Elektrons an einem Proton, das von einer Wolke virtueller Teilchen umgeben ist. Diese kann bei der Wechselwirkung als relativistisch invariante Struktur der wechselwirkenden Teilchen gefaßt und mathematisch mit Hilfe von Formfaktoren beschrieben werden. Aus der Fourier-Transformation der Formfaktoren, die aus Vergleichen zwischen Theorie und Experiment gewonnen werden, ergeben sich räumlich Verteilungen der elektrischen Ladung, des magnetischen Moments oder der Masse innerhalb der Teilchen.[65] Die Erfassung der inneren Struktur mittels virtueller Prozesse bietet für die philosophische Deutung keine Schwierigkeiten.[66] Die durch die Experimente überprüften Schlußfolgerungen aus der Annahme virtueller Prozesse zeigen, daß in der Theorie die objektiv-realen Vorgänge annähernd richtig erfaßt werden. Soweit die experimen-[318]telle Überprüfung reicht, muß man die Zuverlässigkeit der Theorie anerkennen. Da in der Theorie aus den wirklichen Vorgängen auch mögliche Beziehungen abgeleitet werden, kann man die virtuellen Prozesse als Möglichkeiten des realen Verhaltens der Elementarteilchen betrachten. Obwohl es immer die objektive Möglichkeit zum realen Austausch von Teilchen in der Wechselwirkung und zu seiner Umwandlung hat, realisiert das Elementarteilchen die in den virtuellen Prozessen vorgegebenen Möglichkeiten erst unter bestimmten objektiven Bedingungen. Dabei verweist die Annahme virtueller Prozesse auf den inneren komplizierten Mechanismus der Teilchenumwandlung, der mit der Struktur der Teilchen verbunden ist.

In diesem Zusammenhang diskutieren Blochinzew und Baraschenkow die Bedeutung der These von der Raum-Zeit als Existenzform der Materie im Elementarteilchenbereich. Sie heben hervor, daß die Berücksichtigung der Teilchenstruktur mit Hilfe der Formfaktoren keinen Anlaß gibt, zu nichtlokalen Theorien überzugehen. Ist bei der Wechselwirkung die Energieabgabe nicht zu vernachlässigen, dann erweist sich die Fouriertransformation der Formfaktoren als nicht nur von den räumlichen Koordinaten, sondern auch als von der Zeit abhängig, und man kann sie dann nicht mehr auf einfache Weise durch das Quadrat der Wellenfunktion ausdrücken, um eine räumliche Verteilung zu erhalten. Berücksichtigt man bei hohen Energien die virtuellen Prozesse, dann steigt die Zahl der Formfaktoren so an, daß theoretische Schwierigkeiten entstehen.[67] Das würde die Feststellung bestätigen, daß die Berücksichtigung der inneren Struktur der Teilchen und der ausgedehnten Wechselwirkung durch virtuelle Prozesse und Formfaktoren nur ein erster Schritt zur wirklichen Erfassung der objektiven Umwandlung und Wechselwirkung der Teilchen ist. Einerseits liefert uns die Existenz einer Elementarlänge und die Einführung einer indefinitiven Metrik durch Heisenberg

[64] Vgl. W. S. Baraschenkow, Aktuelle philosophische Fragen der Physik der Elementarteilchen, in: Fragen der Philosophie, Heft 9, 1965, S. 84 ff.
[65] Vgl. Erfolge der physikalischen Wissenschaften, Bd. LXVIII (1959), H. 3, S. 417.
[66] Vgl. H. Hörz, Atome, Kausalität, Quantensprünge, Berlin 1964, S. 100 ff. Einige Kerngedanken der Ausführungen werden hier kurz referiert.
[67] Lenin und die moderne Naturwissenschaft, S. 175.

Schwierigkeiten bei der kausalen Interpretation der Elementarteilchenprozesse. Andererseits weisen Formfaktoren und virtuelle Prozesse als Deutungen wirklicher Vorgänge auf die innere Strukturiertheit der Teilchen hin, lassen sie aber nicht voll erfassen. Blochinzew und Baraschenkow als Gegner nichtlokaler Theorien kommen ebenfalls, wie die Verteidiger der Nichtlokalität, zu der Auffassung, daß unsere Begriffe überprüft werden müssen. Sie schreiben: „Wir sehen, daß der gegenwärtigen relativistischen Quantentheorie das räumliche Muster des ausgedehnten Teilchens angenähert ist und mehr dynamischen als geometrischen Charakter hat. Man kann sich schwer von dem Eindruck befreien, daß die grundlegenden physikalischen Begriffe – die Begriffe der Raum-Zeit, der [319] Felder und Teilchen, mit deren Hilfe wir jetzt die Struktur der Elementarteilchen analysieren – sich als nicht entsprechend ‚innerhalb' der Teilchen erweisen, die eine Struktur besitzen."[68] Obwohl sie keine experimentellen Gründe dafür sehen, von den gewöhnlichen raum-zeitlichen Vorstellungen in Gebieten $\Delta x \leq 10^{-13}$ cm und $\Delta t \leq 10^{-23}$ s abzuweichen, halten sie doch die Frage nach der „Möglichkeit sogenannter außerräumlicher und außerzeitlicher Existenzformen der Materie bei weitem nicht für sinnlos"[69]. Sie grenzen sich dabei von idealistischen Auffassungen dadurch ab, daß sie die materielle Bewegung, Raum und Zeit als allgemeine Existenzformen der Materie anerkennen, wenn Raum und Zeit als Ausdruck der Beständigkeit und Veränderlichkeit der Materie gefaßt werden. Drücken Raum und Zeit jedoch bestimmte strukturelle Beziehungen der Materie aus und werden sie nicht in ihrer Allgemeinheit genommen, dann bedürfen sie der ständigen Überprüfung. Dieser Standpunkt ist völlig berechtigt. Im zweiten Abschnitt dieses Kapitels haben wir den Standpunkt Lenins kennengelernt, der unsere Vorstellungen von Raum und Zeit als relative Wahrheiten betrachtete, die im historischen Erkenntnisprozeß immer besser Raum und Zeit als Existenzformen der Materie erfassen. In diesem Sinne sollte man vielleicht nicht von außerräumlichen und außerzeitlichen Existenzformen der Materie sprechen, sondern die Erweiterung der Vorstellungen über die Raum-Zeit berücksichtigen. Wenn der Raum, wie wir das getan haben, immer mehr als Struktur gefaßt wird, dann gibt es keine außerräumlichen Strukturen, wohl aber bisher nicht erkannte oder neu entdeckte Strukturen, die unsere Raumauffassung erweitern. Deshalb betont der marxistische Philosoph nur die materialistische Auffassung von der Raum-Zeit als Existenzform der Materie in der Auseinandersetzung mit dem Idealismus, der ideelle Existenzformen der Materie zulassen will. Materiestruktur im Leninschen Sinne umfaßt die materiellen Beziehungen zwischen materiellen Objekten und lehnt jeden geistigen Ursprung materieller Prozesse, ihre Beseeltheit usw. ab. Versucht man aber die Auffassung von der Raum-Zeit als Existenzform der Materie erkenntnistheoretisch und methodologisch fruchtbar zu machen, dann geht es um eine Präzisierung der allgemeinen Bestimmungen, die in der Auseinandersetzung mit dem Idealismus eine Rolle spielen. Dabei kann man einerseits den Raum mit einer spezifischen Struktur versehen und alle anderen Strukturen als außerräumlich bezeichnen. Andererseits wird der Raum als Struktur gefaßt und nach neuen Strukturelementen gesucht. Beide Arten des Herangehens orientie-[320]ren auf die Entdeckung neuer Strukturen, die einmal vom Raumbegriff mit erfaßt werden, wenn er allgemein als Struktur gefaßt wird, oder als außerräumlich bezeichnet werden, wenn er mit einer bestimmten Struktur verbunden ist.

Wogegen wenden sich nun Blochinzew und Baraschenkow? Sie betonen, daß entgegen der allgemeinen philosophischen Auffassung, „man unter Raum und Zeit oft (und in der Physik praktisch immer) die Formen versteht, die Strukturbeziehungen der Koexistenz der Erscheinung und des Wechsels der Zustände ausdrücken. Dieses Herangehen setzt voraus, daß auf einem gegebenen materiellen Niveau der Unterschied zweier benachbarter Punkte (Objekte) x_1 und x_2 und zweier aufeinanderfolgender Momente (Zustände) t_1 und t_2 einen Sinn hat. Die

[68] Ebenda.
[69] Ebenda, S. 176.

Eigenschaft der ‚Nachbarschaft' und der ‚Aufeinanderfolge' sind jedoch konkrete und ganz spezifische Struktureigenschaften, die bei weitem nicht immer existieren brauchen. Von diesem Standpunkt aus kann man die Frage nach den ‚außerräumlichen' und ‚außerzeitlichen' Existenzformen der Materie stellen: mikro- und makroskopische Formen ihrer Existenz können sich wesentlich voneinander unterscheiden. Mit anderen Worten, es geht hier um einen neuen möglichen Schritt in der Erkenntnis des Raums und der Zeit als objektiv-realer Formen allen Seins."[70]

Unsere bisherigen Erörterungen haben schon bei der Kausalität und auch bei anderen Existenzformen der Materie gezeigt, daß die philosophische Bestimmung dieser Kategorien mit Hilfe des einzelwissenschaftlichen Materials präzisiert werden muß. Solche Präzisierungen müssen stets aufs Neue überprüft werden, ob sie dem Stand des Wissens noch entsprechen. Die Entwicklung der Physik zwang zur Präzisierung vieler philosophischer Kategorien und Beziehungen, ohne daß die weltanschauliche Aussage damit verändert worden wäre. Für die Elementarteilchenphysik ist die Diskussion der Begriffe Raum und Zeit unerläßlich, weil das Neben- und Nacheinander materieller Prozesse auf neue Weise verstanden werden muß. Nach unseren bisherigen Erörterungen müssen wir aus philosophischer Sicht den Raum als Struktur fassen, womit die Nachbarschaft von Objekten in keiner Weise festgelegt ist. Daraus ergibt sich auch nicht die notwendige Punktualisierung von Objekten und ihre punktuelle Unterscheidbarkeit. Das sind Abstraktionen, die unter bestimmten Bedingungen die Erkenntnis ermöglichen, aber nicht unbedingt notwendig sind, sondern durch bessere ersetzt werden können. Gerade die Wechselwirkung läßt die wechselwirkenden Objekte nicht immer in ihrer Individualität unterschei-[321]den, was aber eine wesentliche Voraussetzung für die Punktualisierung ist. Die Erkenntnis verlangt nicht die Punktualisierung von Ereignissen, wohl aber die Anerkennung der Existenz relativ abgeschlossener Systeme, die in ihrer inneren Struktur untersucht werden. Deshalb kann die Nachbarschaft auch als räumliche Beziehung zwischen voneinander unabhängigen Systemen gefaßt werden, wobei für die Wechselwirkung die innere Struktur entscheidend ist, zu deren Charakterisierung nicht unbedingt räumliche Charakteristika im engeren Sinne, nämlich unterscheidbare Punkte, sondern auch andere Strukturbeziehungen herangezogen werden können. Hier stimmen wir voll mit Blochinzew und Baraschenkow überein.

Für die Zeit ist ebenfalls nicht die Punktualisierung der Zustände und deren Aufeinanderfolge entscheidend, wohl aber müssen Anfangs- und Endzustände von Wechselwirkungen zeitlich gerichtet sein, d. h., Vergangenheit und Zukunft müssen zwar nicht absolut durch eine Weltzeit, aber doch relativ, bezogen auf den Aus- und Einwirkungsbereich der Gegenwart, bestimmt werden können. Die zeitartigen Ereignisse müssen zeitlich gerichtet sein. Diese allgemeinen Merkmale ermöglichen verschiedene physikalische Konzeptionen für die Raum-Zeit oder für die Koexistenz und Aufeinanderfolge physikalischer Prozesse. Neben den lokalen Theorien gibt es dazu nichtlokale theoretische Ansätze, und neben der für große Abstände und für große Zeiträume geltenden Auffassung von den raum-zeitlichen Koordinaten wird auf der Grundlage der Quantisierung der Raum-Zeit im gekrümmten Impulsraum die Idee der diskontinuierlichen Struktur der Raum-Zeit weiter ausgearbeitet. Wie die nichtlokale Theorie begegnet auch die Auffassung von der Diskretheit der Raum-Zeit großen theoretischen Schwierigkeiten. Dabei möchten wir darauf hinweisen, daß sie nicht unbedingt als adäquater Ausdruck der wirklichen Ausdehnung der Teilchen gefaßt werden kann. Ob wir die Kontinuität oder die Diskretheit der Raum-Zeit betonen, stets versuchen wir für die Erkenntnis solche Abstraktionen und damit begriffliche Annäherungen an die objektive Situation zu schaffen, die es uns gestatten, theoretisch immer besser die Wirklichkeit zu erfassen. Die dialektische Einheit von

[70] Ebenda.

Kontinuität und Diskontinuität bringt sowohl die Möglichkeit des Übergangs von einem Zustand in den anderen als auch den wirklichen Übergang zum Ausdruck. Sie erfaßt die Einheit von erreichtem Bewegungs- und Wechselwirkungsresultat und wirklicher Bewegung und Wechselwirkung. Die Punktualisierung von Ereignissen ist die Hervorhebung der diskreten Seite, der Grenzübergang selbst zeigt den kontinuierlichen Aspekt der materiellen Veränderung. Bezogen auf die innere Struktur und den äußeren Zusammenhang materieller Objekte bedeutet die Diskretheit der Raum-Zeit, der inneren Strukturiert-[322]heit Grenzen zu setzen und den Zusammenhang nicht als Prozeß zu fassen. Letzten Endes geht es darum, die dialektische Einheit von Kontinuität und Diskontinuität in der raum-zeitlichen Struktur physikalischer Prozesse mit physikalischen Konzeptionen noch besser zu erfassen. Die Raum-Zeit-Problematik in der Elementarteilchenphysik ist noch nicht gelöst; ihre Lösung ist mit neuen Erkenntnissen über die materielle Bewegung verbunden und nicht losgelöst davon zu finden.

Eine Möglichkeit zur Lösung der Zeitproblematik und zur physikalischen Begründung der Asymmetrie der Zeit bot die Entdeckung des Zerfalls des neutralen Kaons in zwei Pionen, was die Nichterhaltung der CP-Invarianz bei schwachen Wechselwirkungen nachwies. (C Ladungskonjugation; P Parität) Neben dem Versuch, dieses Ergebnis mit Hilfe einer ultraschwachen Wechselwirkung zu klären, gab es auch die Möglichkeit, es als Verletzung des CPT-Theorems (T Zeit) zu fassen, nach dem in Systemen, für die die Relativitätstheorie gilt, alle Prozesse automatisch invariant gleichzeitig gegenüber Raumspiegelung (P), Ladungskonjugation (C) und Zeitumkehr (T) sind. Die Verletzung der CP-Invarianz deutet damit auf eine Verletzung der Zeitumkehr hin. Das würde zu einer prinzipiellen Änderung unserer Raum-Zeit-Auffassung führen, deren Konsequenzen noch nicht voll abzusehen sind. Geklärt werden kann dieses Problem jedoch nur durch die weitere physikalische Entwicklung. Seine philosophische Untersuchung erfordert die Berücksichtigung des Verhältnisses von Symmetrie und Asymmetrie. In ähnlicher Weise sind Raum-Zeit-Probleme mit der Klärung anderer Sachverhalte verbunden. Zum Abschluß sollen einige davon genannt werden: Erstens kann die Präzisierung der Auffassung von der Raum-Zeit als Existenzform der Materie in physikalischen Konzeptionen auf verschiedene Weise erfolgen. Für die philosophische Interpretation müssen stets die auf anderen als den physikalischen Erfahrungen allein beruhenden philosophischen Aussagen für die Deutung mit herangezogen werden, ohne aus der Philosophie damit ein notwendig zu erfüllendes Schema zu machen. In diesem Sinne müßte, wie wir es schon angedeutet haben, die Raum-Zeit-Struktur für biologische und gesellschaftliche Systeme erforscht werden. Unabhängig davon kann man jedoch für die Zeit die aus der Alltags- und der wissenschaftlichen Erfahrung stammende Gerichtetheit der Zeit nicht vernachlässigen, die in der philosophischen Kausalitätsauffassung zum Ausdruck gebracht wird. Ebenso muß der Prozeß der Entwicklung unserer Raumauffassung zu einer allgemeinen Strukturauffassung berücksichtigt werden. Hier geht es also um die wechselseitige Beziehung zwischen Physik und Philosophie bei der Klärung philosophischer Probleme der Elementarteilchenphysik in bezug auf die Raum-Zeit-Problematik.

[323] Zweitens kann die mit der physikalischen Konzeption nichtlokaler Effekte verbundene Änderung unserer physikalischen Raum-Zeit-Auffassung nur erfolgen, wenn solche Effekte gefunden werden. Ist das nicht der Fall, ist die Einführung nichtlokaler Terme in die Theorie gekünstelt. Zugleich ist das physikalische Raum-Zeit-Problem mit der Klärung des physikalischen Kausalitätsproblems verbunden, was die weitere Untersuchung des Verhältnisses von Elementarteilchenphysik und Relativitätstheorie erfordert und die kritische philosophische Analyse der physikalischen und philosophischen Kausalitätsforderungen verlangt.

Drittens kann die Gerichtetheit der Zeit als makroskopische Erscheinung auf der Grundlage reversibler physikalischer Prozesse im mikrokosmischen Bereich oder als Existenz irreversibler Prozesse im Mikrokosmos, die die Zeitrichtung direkt zum Ausdruck bringen, verstanden

werden. Die Entscheidung darüber erfordert die Analyse des Verhältnisses von Symmetrie und Asymmetrie und die philosophische Deutung der dazu vorliegenden physikalischen Konzeptionen zur Deutung von Experimenten. Wir werden im nächsten Kapitel sehen, daß viele Schlußfolgerungen hier noch hypothetischen Charakter haben, was Rückwirkungen auf unsere Auffassung von der Raum-Zeit hat.

Das bisher Gesagte macht die Verselbständigung der Raum-Zeit gegenüber der materiellen Bewegung problematisch. Trotzdem hat die Suche nach dem Chronon und dem Graviton heuristische Bedeutung. Sollten sie gefunden werden, dann zeichnen sie sich sicher durch mehr Eigenschaften als nur durch räumliche und zeitliche Charakteristika aus. Gesucht werden deshalb materielle Objekte, die uns Aufschluß über die raum-zeitliche Struktur in der Elementarteilchenphysik geben. Jede neue Entdeckung in dieser Richtung muß uns zur Präzisierung unserer Raum-Zeit-Auffassungen veranlassen, und hier ist noch einiges von der Elementarteilchenphysik zu erwarten.

6. Elementarteilchenphysik und Kosmologie

Zweifellos sind die Beziehungen zwischen Elementarteilchenprozessen und astronomischen Vorgängen sehr eng. Ambarzumjan verweist darauf, daß wir mit Hilfe von Elementarteilchen viele Nachrichten aus dem Kosmos erst erhalten. Auch die Struktur der kosmischen Materie besteht aus Elementarteilchen. Vorgänge innerhalb der Sterne, die Sternentstehung und -vernichtung können nur mit Hilfe von Vorstellungen aus dem Elementarteilchenbereich erklärt werden usw. Ambarzumjan betont jedoch zugleich [324] die qualitativ neuartigen Effekte, die in der Astronomie durch Zusammenballung von vielen Elementarteilchen entstehen. Das sind statistische Gesetze, die die physikalischen Eigenschaften der kosmischen Materie bestimmen, wobei thermodynamische Erscheinungen auftreten und Effekte, die mit den Anziehungskräften verbunden sind.[71] Das soll wiederum nur das bestätigen, was wir über die Einheit und den Unterschied zwischen qualitativ verschiedenen Prozessen sagten. Zugleich wird damit das Problem gezeigt, die wirkliche Verbindung zwischen Elementarteilchentheorie und Kosmologie zu finden. Es ist die alte erkenntnistheoretische Frage, ob man Systeme mit inneren Gesetzen aus dem Zusammenhang herauslösen und damit relativ richtig erkennen kann. Ginge das nicht, dann wäre keine Erkenntnis möglich. Zwar drückt sich in jedem Elementarteilchen der Zustand des Kosmos aus, aber wir brauchen nicht jede Beziehung des Elementarteilchens zu erkennen, um etwas über die Elementarteilchen aussagen zu können. Sind die im System vorhandenen Beziehungen stark genug, dann schaffen sie eine relative Isolierung des Systems von anderen materiellen Bereichen. Es gibt aber bestimmte wesentliche Beziehungen, die nur aus der Beziehung mit anderen Vorgängen erklärt werden können. Dazu gehört die Asymmetrie in bezug auf Teilchen und Antiteilchen.

Philosophisch interessant ist dabei, daß man offensichtlich kein System nur aus sich heraus erklären kann. Immer wieder treten Effekte auf, die nur aus tieferliegenden Strukturen oder mit Kräften erklärt werden können, die außerhalb des Systems existieren. Denken wir nur an die bereits vor Einstein stehende Problematik. Im rotierenden Koordinatensystem existieren gegenüber den Inertialsystemen neue Kräfte, Zentrifugal- und Corioliskräfte. Zu ihrer Erklärung wird zwischen der Rotation bestimmter Systeme und der Rotation des Universums unterschieden. Im letzteren Fall treten keine physikalischen Wirkungen auf, während bei der Rotation von einzelnen Systemen die Entstehung von Coriolis- und Zentrifugalkräften durch die Einwirkung der nicht mit dem System rotierenden entfernten Massen erklärt wird. Damit werden auftretende Effekte im System durch die Beziehung des Systems mit anderen Systemen erklärt.

[71] Vgl. W. A. Ambarzumjan, Probleme der modernen Astronomie und die Mikrophysik, in: Philosophische Probleme der Elementarteilchenphysik, Berlin 1965.

Heisenberg schließt an diesen Gedankengang folgende Überlegung für die Elementarteilchentheorie an. Die Verletzung von Symmetrien, beispielsweise die Nichterhaltung des Isospins bei elektromagnetischer Wechselwirkung, will er auf ähnliche Weise erklären wie Einstein. Da der Isospin bei starker Wechselwirkung erhalten bleibt, muß in seiner nichtlinearen [325] Spinortheorie einerseits die Invarianz gegenüber der Isospingruppe gesichert und andererseits verletzt sein. Da die Verletzung der Invarianz gerade bei den Kräften mit großem Wirkungsradius auftritt, betrachtet Heisenberg das als Einwirkung entfernter Massen des Universums. Er erhält also auch durch die Beziehung mit dem Universum eine Erklärung für bestimmte Effekte im Elementarteilchenbereich. Er schließt daraus, daß man die Kosmologie auf jeden Fall in der Elementarteilchentheorie berücksichtigen müsse.[72]

Auch bei Iwanenkow finden wir den Gedanken, eine einheitliche Elementarteilchentheorie unter Beachtung kosmologischer Bedingungen aufzubauen. Dazu gehören vor allem die Asymmetrie zwischen Teilchen und Antiteilchen in unserem Bereich des Universums und die Expansion des Weltalls. Er meint, beide Erscheinungen besitzen vielleicht einen inneren Zusammenhang und erklären sich gegenseitig.[73]

Wir kommen jetzt wieder zu unserer Frage nach der Rolle relativ selbständiger materieller Systeme zurück. Früher wurde die philosophische These vom universellen Zusammenhang unkritisch als gleichzeitiger Zusammenhang von allem mit allem verstanden. Die Einsteinsche Kritik an der Gleichzeitigkeit verlangte, in den Begriff des Zusammenhangs die Zeit mit einzuführen, wodurch nur das in der Zeit miteinander zusammenhängt, was durch materielle Prozesse aufeinander einwirken kann. Daraus ergibt sich auch die Möglichkeit, daß materielle Systeme nur in unendlicher Zeit miteinander zusammentreffen bzw. aufeinander einwirken können. Man muß deshalb die These vom objektiven Zusammenhang dahingehend präzisieren: Es gibt keinen Bereich materieller Prozesse, der nicht mit anderen Bereichen durch Wechselwirkung verbunden wäre. Hier wird nur etwas über die direkte Umgebung ausgesagt. Falsch wäre es zu sagen: Jeder Bereich ist mit allen anderen Bereichen verbunden. Hinzu kommt nun noch ein neues Moment durch die Einsteinschen und Heisenbergschen Gedanken. Betrachtet man ein relativ isoliertes System, dann kann man das übrige Universum als die außerhalb des Systems existierenden Beziehungen zusammenfassen. Der objektive Zusammenhang äußert sich im System nur durch Effekte, die nicht im System selbst geklärt werden können. Heisenberg versucht, die Erklärung im Universum zu finden. Offensicht-[326]lich ist das ein Ausdruck dafür, daß wir die Ursachen für die Effekte nicht kennen. Es ist deshalb nur ein erster Schritt wissenschaftlicher Erkenntnis, Wirkungen des Universums auf das System der Elementarteilchen anzunehmen, um die Verletzung der Invarianz zu erklären.

Sicher gibt es auch noch andere Wege, um diese Effekte zu erklären. Man kann im System selbst vorhandene tieferliegende Symmetrien suchen. Auch das wird gemacht. Aber mir scheint, daß noch viel zuwenig die Möglichkeit ins Auge gefaßt wurde, die Symmetrie als eine Idealisierung aufzufassen, die dem Stand unserer heutigen Erkenntnisse nicht voll gerecht wird. Der Versuch, das Universum mit relativ isolierten Systemen zu konfrontieren, ist nichts anderes als eine mögliche Erklärung für auftretende Asymmetrien. Die Richtung der Einzelprozesse kann im Gesetz vernachlässigt werden. Aber seit dem Entropiesatz und der Auffassung von der Expansion des Weltalls wird das Suchen nach Gesetzen für die Asymmetrie, für die Gerichtetheit von Prozessen immer mehr zur Notwendigkeit. Sie können uns die mögliche Klärung der Einheit von Symmetrie und Asymmetrie des objektiven Zusammen-

[72] Vgl. W. Heisenberg, Bemerkungen zur Einsteinschen Konzeption einer einheitlichen Feldtheorie, in: Einstein und die Entwicklung des physikalisch-mathematischen Denkens, Moskau 1962, S. 67 f.
[73] Vgl. D. D. Iwanenkow, Gravitation und die Möglichkeit einer einheitlichen Theorie, in: Probleme der Gravitation, Tbilissi 1965.

hangs liefern. Die Symmetrieforderung ist für die Entwicklung der Wissenschaft ein heuristisches Prinzip, das stets zu erstaunlich neuen Einsichten geführt hat und führen wird. Aber die anwachsende Verletzung von Symmetrieprinzipien macht doch eine eingehende Analyse des Verhältnisses von Symmetrie und Asymmetrie erforderlich. Auch hier könnte sich der objektive Zusammenhang als komplizierter erweisen, als wir das bisher annahmen. Die Erklärung für Asymmetrien allein in der Einwirkung des Universums auf spezielle Systeme zu sichern, kann nur der Ausgangspunkt für weitere Betrachtungen sein, die uns das Verhalten der Elementarteilchen besser begreifen lassen.

Wir wollen neben der notwendigen Präzisierung unserer Auffassung vom objektiven Zusammenhang im Hinblick auf das Verhalten von Symmetrie und Asymmetrie noch eine andere philosophische Beziehung betrachten. Die Relativitätstheorie brachte durch die Untersuchung des Verhältnisses zwischen Massen und der Raum-Zeit eine prinzipielle Änderung unserer Raum-Zeit-Vorstellungen mit sich. Heute wird durch die Beziehung zwischen Kosmologie und Elementarteilchentheorie die Raum-Zeit-Problematik noch interessanter. Es gilt, das Gemeinsame und den Unterschied in den raum-zeitlichen Beziehungen im Kosmos und im Elementarteilchenbereich zu finden. Dabei könnte eine primitiv verstandene Auffassung der Raum-Zeit als Existenzform der Materie hemmen, wenn man diese Engelssche und Leninsche These mit Hilfe des Inhalt-Form-Verhältnisses interpretiert. Hier geht es nicht um die Inhalt-Form-Dialektik, die die Beziehung zwischen Materie und Raum-Zeit nicht richtig wiedergibt, da der Inhalt dann eine [327] materielle Substanz sein müßte. Die alte Inhalt-Form-Dialektik tritt uns heute teilweise präzisiert in der Beziehung zwischen Element-Struktur-System-Funktion entgegen.[74] Uns interessiert dabei nur die Beziehung zwischen Element und System. Einerseits haben wir es in der Kosmologie mit dem Kosmos als System und den kosmischen Objekten als Elementen, andererseits mit dem Elementarteilchensystem zu tun. Vom Elementarteilchensystem haben wir schon betont, wie eng das Beziehungsgefüge ist, das wir erkennen müssen, um die Struktur dieses Systems zu begreifen. Zu dieser Struktur gehören auch die raum-zeitlichen Beziehungen. Wurde bis ins vergangene Jahrhundert noch die Idee von dem absoluten Raum und der absoluten Zeit vertreten, so hat die Relativitätstheorie unsere Vorstellungen revolutioniert. Sie erkannte die Abhängigkeit der Raum-Zeit von materiellen Systemen. Insofern können wir heute jedem materiellen System, dem bekannten Teil des Universums, den Elementarteilchen, den Bereichen unter 10^{-13} cm usw. eigene raum-zeitliche Beziehungen zuordnen. Ob wir sie schon kennen, spielt dabei keine Rolle. Die Revolution unserer Raum-Zeit-Vorstellung ist damit meines Erachtens nicht vollendet. Wir brauchen eine einheitliche Raum-Zeit-Theorie, die die Veränderung der Raum-Zeit im entsprechenden System sowie den Übergang von einem System zum anderen berücksichtigt. Eben darum wird auch unter den Physikern gestritten. Dabei muß der Ansatz der Quantengeometrodynamik nicht unbedingt Erfolg bringen. Aber er ist zu beachten und könnte die Beziehung zwischen Bewegung, Materie und Raum-Zeit neu klären, was philosophisch sehr interessant wäre.

Wir fassen die Raum-Zeit als Teil des Beziehungsgefüges in materiellen Systemen, als Struktur eines Systems, wobei der Raum die Bahnkurven und Lagebeziehungen im System und den materiellen Bereich des Systems kennzeichnet, dessen Grenzen durch das Wirken der Systemgesetze bestimmt sind. Die Zeit ist dagegen die Dauer der Veränderungen im System. Diese Seite des Beziehungsgefüges kann, wie wir schon betonten, Grundlage zur theoretischen Erfassung anderer Seiten, beispielsweise der Bewegung sein. Die Bewegung materieller Objekte könnte dann als Veränderung der raum-zeitlichen Struktur des Systems erfaßt werden.

[74] Vgl. dazu H. Hörz, Zur dialektischen Beziehung zwischen Inhalt und Form, in: DZfPh, Heft 3, 1966, S. 301 ff.

Wir hatten dabei vor allem die Einheit von raum-zeitlichen Beziehungen im Kosmos und im Elementarteilchenbereich und die Einheit von Bewegung und Raum-Zeit in einem System im Auge. Diese Einheitsbetrachtung kann erkenntnisfördernd wirken. Man darf jedoch trotz allem nicht [328] den qualitativen Unterschied zwischen den Systemen und den verschiedenen Strukturelementen vernachlässigen.

Uns ging es hier in erster Linie um die Raum-Zeit als Teil der Struktur eines Systems, wobei sie auch Existenzform des Systems ist. Hier wird Form nicht als Gestalt des Inhalts verstanden, sondern als Art und Weise der Beziehungen von Elementen in einem System. [329]

Kapitel VII – Symmetrie, Gesetz, Struktur

1. Problemstellung

Als in den fünfziger Jahren die Nichterhaltung der Parität bei schwachen Wechselwirkungen durch Yang und Lee vorausgesagt und dann auch bestätigt wurde, trat das Problem der Symmetrie des Verhaltens von Objekten in den Mittelpunkt allgemeinen Interesses. Es wurde nicht nur über das Verhältnis von Symmetrie und Asymmetrie im Elementarteilchenbereich diskutiert, sondern auch die Frage nach dem Verhältnis von rechts und links in allen Bereichen menschlicher Tätigkeit gestellt. Hatte H. Weyl in seiner Arbeit die Bedeutung der Symmetrie herausgearbeitet[1], die den Auffassungen der Physiker und Mathematiker entsprach, so lieferte nun die Physik selbst ein Beispiel für die Durchbrechung von Symmetrien. V. Fritsch schreibt über den Eindruck, den diese Entdeckung machte: „Viele von uns stellten sich damals zum ersten Mal Fragen hinsichtlich der Bedeutung von rechts und links. Was meinen wir, wenn wir von rechts und links sprechen? Haben diese Begriffe überhaupt eine Bedeutung? Ganz ‚leer' können sie wohl nicht sein; im täglichen Leben orientieren wir uns nach rechts und links; Biologe und Arzt sprechen von rechts- und linkshändigen Menschen, der Mathematiker von der rechten und linken Seite einer Gleichung. Es gibt keine Wissenschaft, die nicht von ihnen Gebrauch machte."[2] Sie gibt in ihrer Arbeit einen Überblick über das Verhältnis von Symmetrie und Asymmetrie in Biologie, Psychologie, Medizin usw. Vorherrschend ist der Gedanke, der immer wieder auch in der Physik auftaucht, von den tieferliegenden Symmetrien, die durchbrochene Symmetrien in einer umfassenderen erhalten. Es werden jedoch auch andere Standpunkte erwähnt. „Aus dem vorliegenden Band sollte hervorgehen", schreibt [330] V. Fritsch, „daß es sich, wenn auch die letzten Synthesen vielleicht philosophisch sind, immer lohnt, zunächst der Naturwissenschaft das Wort zu lassen."[3] Für die philosophische Behandlung des Verhältnisses von Symmetrie, Gesetz, Struktur, das in allen Naturwissenschaften eine Rolle spielt, hat besonders die Elementarteilchenphysik interessantes Material geliefert, da hier die Symmetrie als grundlegend angesehen wurde und nun Durchbrechungen erkannt werden. Immer mehr wird deutlich, daß die Stärke der Wechselwirkung im Zusammenhang mit der Gültigkeit von Erhaltungssätzen steht. Je stärker die Wechselwirkung, desto mehr Erhaltungssätze gelten.

Marxistisch-leninistische Philosophen und Naturwissenschaftler haben sich ebenfalls intensiv mit dem Verhältnis von Symmetrie und Asymmetrie befaßt.[4] Symmetrie wurde dabei im Ergebnis der Diskussion um das Noether-Theorem, das Erhaltungssätze mit Invarianzen gegenüber Raum- und Zeittransformationen verband, als Invarianz gegenüber Transformationen gefaßt.[5] Zweifellos birgt diese Definition auch Probleme in sich.[6] So un-[331]terscheidet P.

[1] Vgl. H. Weyl, Die Symmetrie, Basel und Stuttgart 1955.
[2] V. Fritsch, Links und Rechts in Wissenschaft und Leben, Stuttgart 1964, S. 5.
[3] Ebenda, S. 7.
[4] Erwähnt seien nur folgende Arbeiten: W. S. Gott, Die philosophische Bedeutung der Erhaltungssätze in der modernen Physik, Kiew 1959, ders., Symmetrie und Asymmetrie, Moskau 1965, N. F. Owtschinnikow, Prinzipien der Erhaltung, Moskau 1966, Symmetrie, Invarianz, Struktur, Moskau 1966, A. S. Kompaneez, Über Symmetrie, Moskau 1965. Außerdem erschien eine Reihe von Arbeiten in Sammelbänden und philosophischen Zeitschriften zur Symmetrieproblematik von W. I. Swiderski, G. A. Sokolik, I. S. Schapiro, I. A. Aktschurin, G. I. Naan, N. P. Dementschuk, J. W. Satschkow, A. F. Pereturin usw. In der Deutschen Zeitschrift für Philosophie gab es eine Diskussion zum Verhältnis von Symmetrie und Erhaltung. Vgl. dazu die Beiträge von B. Wenzlaff, DZfPh, Heft 10, 1963, H. Wendt und F. Richter, DZfPh, Heft 2, 1964, W. Heitsch, DZfPh, Heft 3, 1964.
[5] Zu dem philosophischen Problem des Noether-Theorems vgl. auch A. F. Pereturin/ W. G. Sidorow, Die Unerschöpflichkeit der Eigenschaften des Raumes und der Zeit und das Theorem E. Noethers, in: Philosophische Fragen der modernen Physik, Moskau 1965, S. 157 ff. Für die von uns behandelte Problematik ist die Unterscheidung von Symmetrie und Antisymmetrie, Asymmetrie und Dissymmetrie nicht entscheidend. Vgl. dazu A. W. Schubaikow, Probleme der Dissymmetrie materieller Objekte, Moskau 1961 (russ.). Man kann den Bemer-

Roman zwischen dem allgemeinen Begriff der Symmetrie einerseits und der Invarianz andererseits. Die allgemeine Symmetrie kann nach ihm als der Ausdruck einer kanonischen Transformation definiert werden, die von einer möglichen Beschreibung eines gegebenen Systems zu einer anderen gleich möglichen Beschreibung desselben Systems führt. Invarianz dagegen ist nur eine Teiloperation der Symmetrie, bei der die Strukturgesetze unverändert bleiben.[7] Hier bezieht sich die Symmetrie auf die Beschreibung objektiver Systeme. Es geht uns aber auch um die objektiv existierende Symmetrie, deren Widerspiegelungen diese Beschreibungen sind. Auch dabei unterscheiden wir zwischen der weiteren Fassung der Symmetrie, die die Identität von bestimmten Beziehungen in Objekten und Prozessen zum Ausdruck bringt, die in bestimmten Aspekten entgegengerichtet sind. Das kann sich auf räumliche Spiegelung, auf die Umkehrbarkeit der Zeit, auf den Übergang von Teilchen zu Antiteilchen usw. beziehen. Symmetrie verlangt hier für jedes Objekt und jeden Prozeß ein Spiegelbild zu finden, in dem bestimmte Beziehungen gleich und andere gespiegelt sind. In dieser allgemeinen, etwas verschwommenen Fassung des Begriffs stoßen wir auf die Dialektik von Einheit und Unterschied in den Beziehungen symmetrischer Objekte.

Die engere Fassung des Begriffs Symmetrie als Invarianz gegenüber Transformationen setzt die mathematische Formulierung der Theorie voraus, für die Symmetriebetrachtungen erfolgen sollen.

Symmetriebetrachtungen spielen aber auch da eine Rolle, wo wir noch keine mathematisch formulierte Theorie haben. Dort muß die aus der gegebenen Definition abgeleitete Fragestellung berücksichtigt werden, die zur allgemeinen Fassung der Symmetrie hinführt: In bezug auf welche Aspekte sind Objekte und Prozesse symmetrisch? Welche Parameter bleiben erhalten? Welche Unterscheidungsmerkmale gibt es zwischen den in bestimmten Aspekten symmetrischen Objekten und Prozessen? Gerade die Antwort auf die letzte Frage bringt uns wieder auf die von uns zu behandelnde Problematik.

[332] Wie wir schon gesehen haben, hat die philosophische Analyse naturwissenschaftlicher Probleme verschiedene Aspekte. Im Vordergrund stand in der Vergangenheit die philosophische Deutung der durch die Praxis bestätigten Theorien. Das bleibt auch weiterhin ein wichtiges Anliegen der philosophischen Forschung, da es dabei um die Hervorhebung der weltanschaulichen Bedeutung prinzipiell neuer naturwissenschaftlicher Theorien geht. So lieferte die Physik des 20. Jahrhunderts mit der Relativitätstheorie und der Quantenmechanik Voraussetzungen für die Überprüfung von philosophischen Ansichten über die Bewegung, den Determinismus, Raum-Zeit usw. Aus der philosophischen Durchdringung neuer bestätigter Theorien ergeben sich Hinweise für die Entwicklung der Erkenntnistheorie und Methodologie. Das traf vor allem auf die Diskussion um die Rolle der Geräte im Erkenntnisprozeß, ausgehend von der Quantenmechanik, zu.

Der marxistische Philosoph hat aber auch die Aufgabe, ausgehend von der philosophischen Analyse neuer Hypothesen, Teiltheorien der Naturwissenschaft usw., neue Denkmöglichkeiten, neue philosophische Einsichten herauszuarbeiten. Es ist nicht die Aufgabe des Philoso-

---

kungen von Owtschinnikow zustimmen, der die Dissymmetrie nicht als völliges Fehlen von Elementen der gewöhnlichen Symmetrie betrachtet. (N. F. Owtschinnikow, Prinzipien der Erhaltung, S. 171.) Da es uns auf die Dialektik von Symmetrie und Asymmetrie in der Elementarteilchenphysik ankommt, können wir zur Symmetrie auch die Antisymmetrie und zur Asymmetrie auch die Dissymmetrie rechnen. (Vgl. W. S. Gott, [331] Philosophische Fragen der modernen Physik, S. 269.) Zum Verhältnis von Symmetrie, Antisymmetrie usw. vgl. auch N. F. Owtschinnikow, Symmetrie als Prinzip der Wissenschaft, in: Priroda, Heft 11, 1969, S. 79 ff.

[6] N. O. Osmanow, über die philosophische Bedeutung der Begriffe Symmetrie und Asymmetrie in der Elementarteilchenphysik, in: Philosophische Fragen der modernen Physik, S. 182 ff.

[7] P. Roman, Symmetrie in der Physik, in: Boston Studies in the Philosophy of science, Dordrecht 1969, S. 363 ff. (Hrsg. R. S. Cohen/M. W. Wartofsky).

phen, direkte einzelwissenschaftliche Ansätze für die Weiterentwicklung der Naturwissenschaft zur Diskussion zu stellen. Soweit ihm das gelingt, arbeitet er als Einzelwissenschaftler, was sicher kein Nachteil für das Ansehen der Philosophie wäre. Die Hauptaufgabe des Philosophen besteht jedoch darin, die vorliegenden methodologischen und erkenntnistheoretischen Einsichten für die Diskussion einzelwissenschaftlicher Probleme nutzbar zu machen, um mitzuhelfen, daß Stillstand und Rückschritt im Denken der Wissenschaftler ausgemerzt werden und ein gesunder und ständiger Entwicklungsprozeß Naturwissenschaft und Philosophie durch gegenseitige Befruchtung voranbringt.

In diesem Sinne kann die Diskussion um das Verhältnis von Symmetrie, Gesetz und Struktur heute noch nicht zu einer abschließenden philosophischen Stellungnahme führen, da das Material für die philosophische Verallgemeinerung selbst noch nicht zur Verfügung steht. Es handelt sich um ein physikalisch und philosophisch noch nicht geklärtes Problem. Sowohl die Physik als auch die Philosophie liefern jedoch bereits eine ganze Reihe wertvoller Einsichten in die weitere Entwicklung dieser Problematik. Damit wollen wir uns beschäftigen. Viele Fragen können nur gestellt werden, ohne eine Antwort zu geben. Wir möchten eine Reihe von Problemen erwähnen, die eine tiefgreifende philosophische Analyse erfordern, da sie enorme philosophische Bedeutung haben. Von den Physikern werden diese Probleme seit Jahren diskutiert, aber auch sie berücksichtigen oft noch ungenügend, daß hinter ihren Diskussionen philosophische Fragestellungen sicht-[333]bar werden. Es ist überhaupt ein Kennzeichen für die Periode der stürmischen Diskussion um eine oder mehrere grundlegende Hypothesen, daß eine Vielzahl philosophischer Probleme (ob bewußt oder unbewußt) mitdiskutiert werden. Auch hinter den verschiedenen Ansätzen der Physiker zur Lösung der Symmetrieproblematik stecken verschiedene philosophische Gesichtspunkte, die meist nicht explizit diskutiert werden. Das trifft zu auf die Versuche, eine nichtlineare Feldtheorie aufzubauen, und ebenso auf die Theorie der Dispersionsrelationen. Dahinter steckt einmal das allgemeine Problem der Effektivität des verschiedenen Herangehens: Wer liefert schneller entsprechende praktische Resultate? Wer vermittelt tiefere Einsichten in die Struktur der Materie? Das sind Fragen, die nur durch die Entwicklung der Physik selbst entschieden werden können.

Dazu gehören aber auch solche Teilprobleme: Was ist ein Gesetz? Welche Arten von Gesetzen gibt es? Wodurch ist unsere Annahme von der Symmetrie von Naturvorgängen begründet? Welche Bedeutung haben die Erhaltungssätze in der Physik? Warum wird bei bestimmten Arten der Wechselwirkung die Erhaltung bestimmter Größen durchbrochen? usw.

Die mit solchen Problemen verbundene philosophische Analyse würde auch Nutzen für die Diskussion in anderen Wissenschaften bringen.

Mehrere Umstände behindern noch eine effektive Diskussion:

1. Der Rückstand der philosophischen Forschung gegenüber den modernsten Problemen der Elementarteilchenphysik.
2. Die ungenügende philosophische Aufbereitung des vorliegenden Materials, der diskutierten Hypothesen und theoretischen Einsichten.
3. Die ungenügende Klarheit über die Aufgaben der Philosophie bei der Analyse noch nicht durch die Praxis bestätigter Theorien. Dabei wird der Prozeß der Klärung dieser Fragen noch durch viele Voreingenommenheiten beeinträchtigt, die jedoch immer mehr abklingen.

Der Philosoph ist Diskussionspartner des Physikers bei der Erörterung moderner Probleme, um einerseits aus seiner Kenntnis der erkenntnistheoretischen und methodologischen Probleme, aus der Kenntnis der allgemeinsten Beziehungen und Gesetze neue Fragen zu stellen, und andererseits, um aus der konkreten Lösung erkenntnistheoretischer und methodologi-

scher Probleme durch ihn für die Weiterentwicklung der Philosophie zu gewinnen. Sicher sind verschiedene philosophische Hypothesen über die objektive Dialektik von Symmetrie und Asymmetrie möglich. Die Forschung verläuft dazu in verschiedenen Richtungen. Hier soll kurz der Grundgedanke charakterisiert werden, der nachher ausführlich betrachtet wird, daß die dialektische Einheit von Symmetrie und Asymmetrie noch mehr in den Mittelpunkt wissenschaftlichen Interesses rücken müßte.

[334] Trotz der verschiedenen Arten der Wechselwirkung, die verschiedenes Verhalten der Teilchen bedingen, wird von manchen Physikern der Versuch unternommen, eine einheitliche Theorie für alle Teilchen zu schaffen. Man könnte nun annehmen, daß die schwache und starke Wechselwirkung zwei einheitliche Seiten des Systemverhaltens der Teilchen darstellen. Einerseits ist die starke Wechselwirkung der Teilchen durch die Herausbildung eines relativ abgeschlossenen Systems charakterisiert. In diesem System gelten alle Erhaltungssätze für starke Wechselwirkungen, weil die Bindungskräfte im System keine Verletzung der Symmetrie gestatten. Andererseits würde dann die schwache Wechselwirkung als die Veränderung dieses symmetrischen Systems gefaßt werden können. Dabei geht die Symmetrie verloren. Es kommt zu gerichteten Prozessen. Die starke Wechselwirkung zwischen Protonen und Neutronen kann dabei ebenfalls als ein ständiger Umwandlungsprozeß von Protonen und Neutronen ineinander mit Hilfe des virtuellen π-Mesonenfeldes gefaßt werden, aber eben als gleichberechtigter Umwandlungsprozeß, ohne daß eine Seite dabei ausgezeichnet ist. Bei dem Verhalten des Neutrons bei schwacher Wechselwirkung ist jedoch die Richtung des Prozesses entscheidend. Hier liegt keine ständige Wechselwirkung und Umwandlung zwischen Proton und Neutron vor, sondern der Zerfall des Neutrons. So würden sich starke und schwache Wechselwirkung als zwei Seiten des Systemverhaltens der Elementarteilchen erweisen, als Wechselwirkung, die den Erhalt des Systems charakterisiert, und als Wechselwirkung, die zur Veränderung des Systems führt. Dabei sind offensichtlich die Bedingungen, unter denen sich die Teilchen befinden, entscheidend für das unterschiedliche Verhalten. Das ist noch ungeklärt. Offensichtlich können zwei Arten von Bedingungen eine Rolle spielen: äußere und innere. Geht man von äußeren Bedingungen aus, so könnte man sagen, daß das Verhalten der Teilchen bei starker Wechselwirkung ein solches System der Teilchen schafft, für das andere äußere Bedingungen keine Rolle mehr spielen, so daß es zu keiner Verletzung von Erhaltungssätzen kommt. Die schwache Wechselwirkung würde jedoch durch die etwa 10^{14} schwächere Kraft gegenüber der starken Wechselwirkung den Einfluß äußerer Bedingungen gestatten, die zur Verletzung der Symmetrie führen. Geht man dagegen von inneren Bedingungen aus, dann muß man auch bei starker Wechselwirkung die potentielle Möglichkeit zur Verletzung der Symmetrie anerkennen, die jedoch durch die starken Bindungen zwischen den stark wechselwirkenden Teilchen nicht verwirklicht werden kann. Fehlen diese Kräfte, dann setzt sich die Tendenz zur Veränderung des symmetrischen Systems von Teilchen durch, und es kommt zur Verletzung von Erhaltungssätzen.

[335] Das Verhältnis von Symmetrie und Wechselwirkung ist weder physikalisch noch philosophisch gelöst. Mehrere Ergebnisse der Forschung der letzten Zeit lassen es zu einem der wesentlichsten Probleme werden. Die Idee vom symmetrischen Verhalten der Teilchen, von der Existenz von Symmetrien, besitzt große heuristische Bedeutung. Symmetrien und Erhaltungssätze bedingen sich gegenseitig. Erhaltungssätze sind die Grundlage für die Erfassung möglicher Reaktionskanäle der Teilchen. Gerade die Aufdeckung von Symmetrien brachte die Theorie ein Stück weiter. So hat auf der Konferenz in Dubna 1964 die Symmetrie SU(3) eine große Rolle gespielt, da sie durch die Entdeckung des Λ-Hyperons bestätigt wurde.

Aber gleichzeitig haben andere Ergebnisse auf die Problematik des Symmetriegedankens verwiesen. Die erste wichtige Entdeckung war die in den fünfziger Jahren von Yang und Lee vorhergesagte und später experimentell bestätigte Verletzung der Parität bei schwacher

Wechselwirkung. Damals wurde sofort der Gedanke geäußert, daß diese Verletzung der Symmetrie durch eine kombinierte Symmetrie aufgehoben werden könne. In dieser Richtung wurde auch viel gearbeitet, und es schien sich zu bestätigen, daß die Verletzung der Parität noch kein besonderes Problem der Symmetrie und ihrer Verletzung überhaupt darstellt. Aber 1964 kam nun eine weitere Entdeckung, die möglicherweise auf die Verletzung der kombinierten Parität verweist. In seinem Konferenzbericht schreibt W. S. Baraschenkow: „Eine echte Sensation war die Arbeit der Physikergruppe aus dem Laboratorium in Brookhaven (USA), die über den von ihnen entdeckten Fall des Zerfalls des K_2^0-Mesons in ein Paar π-Mesonen berichteten. ... (Es) verweist die Entdeckung dieses Zerfallstyps auf die Verletzung der kombinierten Parität bei schwachen Wechselwirkungen. Ein Resultat, das nicht weniger erschüttert als die Aufstellung der Verletzung der räumlichen Parität bei schwachen Wechselwirkungen einige Jahre vorher. Natürlich erfordert diese Interpretation der entdeckten Erscheinung noch ihre Bestätigung. Ungeachtet dessen, daß der beobachtete Effekt sehr klein ist und nur zwei Tausendstel von der ganzen Wahrscheinlichkeit aller möglichen Zerfallstypen des K_2^0-Mesons ausmacht, zeigte eine ausführliche Erörterung der experimentellen Seite der Arbeit, daß man diesen Effekt nicht mit irgendwelchen methodischen Fehlern erklären kann. Zweifellos werden in der nächsten Zeit eine große Zahl experimenteller und theoretischer Arbeiten erscheinen, die der weiteren Erforschung dieser Frage gewidmet sind.“[8]

[336] Dieses Experiment verwies wiederum auf die noch zu erforschende Problematik der Gültigkeit und Nichtgültigkeit von Symmetrien. Der Versuch vieler Physiker läuft darauf hinaus, tieferliegende Symmetrien zu finden, die dann auch vom neuen Standpunkt aus die Nichterhaltung der Symmetrien erklären lassen. Bei einer Umfrage der „Priroda“ aus Anlaß der Konferenz in Dubna 1964 hob die Mehrheit der Physiker als wichtiges Ergebnis der letzten Zeit die Erfolge der Theorie der SU(3)-Symmetrie für stark wechselwirkende Teilchen und den Zerfall des K_2^0-Mesons in ein Paar π-Mesonen hervor. Gerade diese beiden Ergebnisse brachten uns einerseits die Bestätigung der großen Rolle der Symmetrie und zeigten andererseits eine Durchbrechung der Symmetrie. Trotzdem betrachtet man die Symmetrie als das Wesentliche. Der ungarische Physiker Marks meinte bei der erwähnten Umfrage: „In der Natur gibt es viele angenäherte Symmetrien. Es besteht kein Zweifel, daß die fundamentalen Gesetze der Natur einfach und symmetrisch sind. Die Aufdeckung der Ursache der inneren Verletzung der Mehrheit von Symmetrien wäre ein wesentlicher Schritt zum Verständnis der mathematischen Grundlagen der beobachteten Vielfalt physikalischer Erscheinungen.“[9]

Zweifellos hat dieser Glaube an die Symmetrie viel Bestechendes für sich. Das unsymmetrische Verhalten des Einzelobjekts in seiner Umgebung im Einzelfall wird im Gesetz durch die Hervorhebung der Symmetrie erfaßt. Jedoch schon aus dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik ergab sich für die wissenschaftliche Forschung die Aufgabe, nach weiteren Gesetzen zu suchen, die die Nichtumkehrbarkeit von Ereignissen ausdrücken, besser: die die Verletzung der Symmetrie erfassen. Ist nicht die Diskussion um die Verletzung der Erhaltungssätze in der Elementarteilchenphysik auch ein Hinweis darauf, daß solche Gesetze existieren, die das wesentliche Verhalten von sich verändernden symmetrischen Systemen ausdrücken? Befriedigender, auch philosophisch einfacher, wäre zweifellos eine Theorie, die sich aus Symmetriegesetzen zusammensetzt. Aber schon die bisherigen Experimente zeigen die Einheit von Symmetrie und Asymmetrie in der materiellen Welt. Man kann drei weitere Forschungsmöglichkeiten heute als Tendenz erkennen: Erstens wird auf der Grundlage der angenäherten Symmetrie die Asymmetrie der Welt beseitigt und Symmetriegesetze als das erkenntnistheoretisch Grundlegende angesehen. Zweitens kann man in der Theorie asymmetri-

[8] W. S. Baraschenkow, Erfolge der Elementarteilchenphysik, in: Priroda, Heft 1, 1965, S. 51 f.
[9] Priroda, Heft 1, 1965, S. 63.

sche Zustände anerkennen, aber die Gesetze des Verhaltens der Elementarteilchen als symmetrisch annehmen. Drittens wird versucht, in der Theorie die Einheit von Symmetrie und Asymmetrie aus-[337]zudrücken und damit auch Gesetze des asymmetrischen Verhaltens der wirklichen Prozesse zu formulieren.

Diese drei philosophischen Standpunkte sind bisher gleichberechtigt und nicht durch Experimente voneinander ausgezeichnet. Der erste Standpunkt tritt für eine Beseitigung der Asymmetrien mit Hilfe von tieferliegenden Symmetrien ein. In dieser Richtung arbeitet die Mehrheit der Physiker. Dazu gehören die Arbeiten über die Systematik und das Verhalten der Teilchen, deren Erklärung mit Hilfe von Multipletten.

Der zweite Standpunkt berücksichtigt in der Theorie die Asymmetrie der Welt, indem asymmetrische Zustände berücksichtigt werden. In der Theorie von Heisenberg wird dabei die Idee von der Existenz der Teilchen durch die Wechselwirkung mit der Idee von der Entartung des Grundzustandes verbunden. C. F. von Weizsäcker schreibt zu den Divergenzen bei der Lösung von Feldgleichungen: „Die vorläufige Vermeidung von Divergenzen durch Renormierung zeigt einen wesentlichen Zug aller Wechselwirkungstheorien. Es erweist sich als sinnlos, z. B. von einem isolierten (‚nackten') Elektron, wie es ohne Wechselwirkung mit dem Strahlungsfeld wäre, überhaupt zu sprechen. ... Das, was wir empirisch als isoliertes Teilchen ansprechen, ist in Wahrheit selbst schon ein Ergebnis seiner Wechselwirkung mit der stets vorhandenen Umwelt. Solche Überlegungen legen es nahe, die Eigenschaften der isolierten Teilchen grundsätzlich als Ergebnisse der Wechselwirkung aufzufassen."[10]

Das wird konsequent auch auf den Grundzustand ausgedehnt. Der Grundzustand oder das Vakuum ist teilchenfrei. Das Vakuum bildet aber dann die Umgebung, in dem das Teilchen wirkt. Weizsäcker schreibt zum Vakuum: „Man kann zeigen, daß die Anwendung endlich vieler Feldoperatoren auf das absolute (‚nackte') Vakuum der Heisenbergschen Theorie niemals die – empirisch ja vorhandenen – Teilchen endlicher Ruhmasse erzeugen kann. Wiederum erscheint dies nicht unnatürlich. Das absolute Vakuum bedeutet die leere Welt. Läßt hingegen ein Experimentator ein einzelnes Teilchen in ein Vakuum eintreten, so ist dieses Vakuum in einer Röhre, in einem Laboratorium oder allenfalls im Weltraum zwischen den Sternen. Das ‚physikalische Vakuum' setzt als Randbedingung die Existenz einer wohldefinierten, wenn gleich nur roh beschriebenen Welt voraus (z. B. sieht Heisenberg sich genötigt, ihr einen endlichen, aber sehr großen Isospin zuzuschreiben)."[11]

[338] Für Heisenbergs Feldtheorie ist der entartete Grundzustand wesentlich. Er selbst sieht die empirische Begründung darin, daß die Anzahl der Neutronen in der Welt von der der Protonen wesentlich verschieden ist. Es ist klar, daß diese Annahme Einwände von Vertretern der Symmetrieauffassung hervorrufen muß, die ja die Symmetrie als das Grundlegende in der Welt betrachten. Beide Richtungen haben jedoch die Frage zu beantworten, wie die tatsächlich vorhandenen Asymmetrien zu erklären sind. Zweifellos ist es ein möglicher Lösungsweg, für eine Feldtheorie bereits den Grundzustand als entartet anzunehmen. Sicher kann keine zukünftige Theorie das Problem der Asymmetrie überhaupt umgehen. Es bietet sich aus philosophischen Erwägungen die Betrachtung aller Vorgänge in der Welt als eine Einheit von Symmetrie und Asymmetrie an. Aber selbst unter diesem Gesichtspunkt ist noch nichts über die Erfassung dieser Einheit von Symmetrie und Asymmetrie in der physikalischen Theorie gesagt. Es ist interessant, daß auch Dirac als eine seiner Ideen zur Überwindung der Schwierigkeiten in der Elementarteilchentheorie die Annahme von der Existenz eines Äthers hervorhebt. Er betont den Unterschied zur klassischen Ätherauffassung und hält als wesentliches

[10] C. F. v. Weizsäcker, Die Einheit der Physik, in: Werner Heisenberg und die Physik unserer Zeit, Braunschweig 1961, S. 42.
[11] Ebenda, S. 43.

Merkmal seiner Auffassung fest, daß unser Begriff des Vakuums sich verändern muß. Die strenge Erfüllung der von der speziellen Relativitätstheorie geforderten raum-zeitlichen Symmetrie im Vakuum ist nach ihm unmöglich.[12] Auch bei Dirac finden wir als wesentliches Problem die Erfassung der Asymmetrie.

Zweifellos haben streng symmetrische Theorien weiter ihre große Bedeutung. Nach dem, was wir bisher dargelegt haben, träfen sie vor allem für die Art der Wechselwirkung zu, die ein stabiles System von wechselwirkenden Teilchen schafft, bei dem es keine ausgezeichnete Reaktion und Richtung gibt. Die weitere Forschung muß jedoch der Veränderung solcher Systeme großes Augenmerk widmen. Die Veränderung führt zur Verletzung der Symmetrie, die selbst sicher auch gesetzmäßig erfolgt. Jedoch wurde bisher dieser dritten Forschungsrichtung, die das Verhältnis von Symmetrie und Asymmetrie untersucht, wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Sicher wäre es möglich, in dieser Richtung etwas zu erreichen, wenn man die Existenz von Symmetrie und Asymmetrie als zwei Seiten der wirklichen Prozesse erfaßt und versucht, Gesetze für das asymmetrische Verhalten, z. B. auch für die Verletzung von Erhaltungssätzen, zu formulieren.

Dieses Problem ist aber offensichtlich noch zu wenig diskutiert. Vielleicht stehen wir hier wiederum an der Schwelle neuer Einsichten in die Dialektik [339] der Natur. Half uns die Einführung des Planckschen Wirkungsquantums, das Bohrsche Atommodell und die Quantenmechanik bei der Erfassung der Einheit von Kontinuität und Diskontinuität im Bereich der Mikroobjekte bei der Erhaltung von Zahl und Art der Teilchen, so führt uns die Untersuchung der sich ineinander umwandelnden Elementarteilchen immer wieder auf dieses Problem von Symmetrie und Asymmetrie. Vielleicht wäre es deshalb tatsächlich angebracht, die Asymmetrie in den Mittelpunkt der Forschung zu stellen, neues Material zu sammeln, Gesetze zu formulieren, um zu einer besser begriffenen Einheit von Symmetrie und Asymmetrie zu kommen. In jedem System ist die absolute Symmetrie verletzt, aber es existiert eine annähernde. Symmetrie ist Idealisierung. Symmetrisches Verhalten der Objekte ist theoretisch idealisiertes Verhalten. Die Frage ist die: Reicht diese Idealisierung zum Verständnis der Struktur der physikalischen Objekte aus? In bestimmten Bereichen sicher. Aber die Untersuchung anderer Bedingungen, besonders der schwachen Wechselwirkung, bringt immer neue Beweise für die wirkliche Einheit von Symmetrie und Asymmetrie.[13]

Auch hierüber können natürlich nur die weiteren Ergebnisse der Forschung entscheiden, die uns sicher noch viele unerwartete Ergebnisse liefern wird. Mit den bisher bekannten wollen wir uns jetzt näher befassen.

Um den genannten Grundgedanken begründen zu können, müssen wir uns noch einmal mit dem Verhältnis von Gesetz und Wechselwirkung befassen, da Symmetrien in der Wechselwirkung existieren und im Gesetz zum Ausdruck kommen. Danach geht es um die Beziehung zwischen Erhaltung und Wechselwirkung, Symmetrie und Wechselwirkung. Den Abschluß bildet eine Untersuchung zum Verhältnis von Struktur und Symmetrie in Physik und Philosophie.

2. Gesetz, Wechselwirkung und Erhaltungssätze

Unter Gesetz verstehen wir einen objektiv existierenden allgemein notwendigen und wesentlichen Zusammenhang. Diese Definition charakterisiert das Gesetz, das seine Widerspiegelung in den Gesetzen der Wissenschaft findet. Wir sprechen im weiteren von Gesetz, wenn wir die Widerspiegelung der objektiven Gesetze in wissenschaftlich formulierten Gesetzen meinen. Wo es auf den Unterschied zwischen objektivem Tatbe-[340]stand und seiner Wi-

[12] Vgl. P. A. M. Dirac, Die Entwicklung der Ansichten der Physiker über das Naturbild, in: Fragen der Philosophie, Heft 12, 1963, S. 91.
[13] Darauf verweist auch W. S. Gott, Philosophische Fragen der modernen Physik, Moskau 1967, S. 269 ff.

derspiegelung ankommt, benutzen wir den Terminus „objektives Gesetz“. Damit nähern wir uns dem üblichen Sprachgebrauch an. Nur für die Diskussion bestimmter erkenntnistheoretischer Probleme, beispielsweise in der Auseinandersetzung mit dem Agnostizismus und Dogmatismus, ist die Unterscheidung wichtig. Durch die Praxis überprüfte wissenschaftliche Gesetze sind im Rahmen der Überprüfung adäquate Widerspiegelungen der objektiven Gesetze. Da jedoch unsere Praxis nie absolut ist, werden stets auch neue Bedingungen erkannt, unter denen die Gesetze nicht gelten. Dort existieren dann neue Gesetze, die von der Wissenschaft aufgedeckt werden. So falsch es ist, eine Kluft zwischen erkanntem und objektivem Gesetz aufzureißen, so falsch ist es aber auch, beide einfach zu identifizieren. Die erste Feststellung wendet sich gegen den Agnostizismus. Die Wissenschaft zeigt, daß wir in der Lage sind, die objektive Realität zu erkennen. Die zweite Feststellung wendet sich gegen die Dogmatisierung von Erkenntnissen. Überprüfte Gesetze gelten für die Bedingungen, unter denen sie überprüft werden.

Meist beginnt der Fortschritt in der Gesetzeserkenntnis damit, daß die Gültigkeit bisher erkannter Gesetze eingeschränkt werden muß, weil unter anderen Bedingungen andere Gesetze existieren. Das traf beispielsweise auf die Konstanz der Masse zu, die unter der Bedingung, daß sich Körper mit annähernder Lichtgeschwindigkeit bewegen, nicht gilt. Sie wurde aber vorher als allgemein notwendiger und wesentlicher Zusammenhang für das Verhalten von Körpern allgemein bestätigt. Nun bestanden die bekannten und überprüften Bedingungen in der Bewegung von Körpern, die sich mit Geschwindigkeiten bewegten, die klein gegenüber der Lichtgeschwindigkeit waren. Die Relativität der Praxis bestand darin, daß nur das Verhalten der Körper unter den experimentell zugänglichen Bedingungen überprüft werden konnte.

Das stellt jedoch für den Philosophen die Aufgabe, besonders den Prozeß der weiteren Gesetzeserkenntnis zu beachten, aufmerksam das Verhältnis von Gesetz und Bedingungen in jedem konkreten wissenschaftlichen Bereich zu analysieren, um die dabei auftretenden erkenntnistheoretischen und methodologischen Probleme herauszuarbeiten.

Neben dieser Problematik tritt jedoch eine weitere Frage auf, die durch die moderne Wissenschaft immer wieder gestellt wird: Welche Arten von Gesetzen gibt es? Das klassische Ideal bestand in der Rückführung aller Erscheinungen auf die Bewegung klassischer Körper und damit auf einen bestimmten Typ von Differentialgleichungen, die den zukünftigen Zustand aus dem gegenwärtigen Zustand eindeutig voraussagen lassen. Das war zugleich das Ideal für die Gesetzeserkenntnis, wobei besonders zwei [341] Umstände wesentlich waren: erstens die mathematische Formulierung als höchste Stufe der Gesetzeserkenntnis und zweitens die *eindeutige* Voraussagbarkeit des zukünftigen Zustands aus dem gegenwärtigen. Alle anderen Gesetze werden als Übergangsformen angesehen, die es weiter zu präzisieren gilt. Gerade die Physik des 20. Jahrhunderts half mit, die Vielfalt gesetzmäßiger Beziehungen zu zeigen. Dabei unterscheiden wir verschiedene Arten von Gesetzen. Sehen wir einmal von der qualitativen Unterscheidung der Gesetze verschiedener Wissenschaften ab, so gibt es auch innerhalb der Physik verschiedene Gesetzestypen. Große Diskussionen hat das Verhältnis von dynamischen und statistischen Gesetzen ausgelöst. Daneben ist es aber auch möglich, als ein entgegengesetztes Paar von Gesetzen diejenigen zu betrachten, die die Beziehungen in einem relativ stabilen System von wechselwirkenden Objekten zum Ausdruck bringen, und diejenigen, die die Veränderungen dieses Systems ausdrücken. Insgesamt ist die Problematik der Klassifizierung der Gesetze noch zuwenig untersucht und die verschiedenen Typen von Gesetzen in der marxistischen Philosophie noch ungenügend ausgearbeitet, obwohl es schon eine ganze Reihe von Arbeiten dazu gibt.

Offensichtlich können wir in beiden Fällen, ob es sich um Gesetze handelt, die die Beziehungen im System, oder um solche, die die Veränderung des Systems bestimmen, nicht die Wechsel-

wirkung vernachlässigen. Wir hatten Komplexe von Kausalbeziehungen, also Wechselwirkung als Grundlage für die Existenz von Gesetzen bezeichnet. Wenn es nun nicht möglich ist, wie dies das Ideal der klassischen Mechanik vorsah, Systeme aus Elementarprozessen aufzubauen, deren raum-zeitliche Parameter das Verhalten des Systems erfassen, dann drücken die Gesetze allgemein-notwendige und wesentliche Zusammenhänge des Systems in Systemparametern, wie Temperatur usw., aus, die nicht auf Einzelvorgänge reduzierbar sind. Das tiefere Eindringen in die Struktur des Systems verlangt die immer bessere Berücksichtigung der wesentlichen Systemparameter. Insofern zeigte die physikalische Erkenntnis ein Vordringen von solchen Systemparametern, die mit raum-zeitlichen Beziehungen verknüpft sind, zu solchen in der Elementarteilchenphysik, die nicht raum-zeitlich bestimmbar sind, wie etwa die Barionenzahl.

Die Erweiterung der Gesetzeserkenntnis vollzieht sich in verschiedenen Richtungen:

Erstens werden zur Charakteristik des Systemverhaltens neue wesentliche Systemparameter gesucht. In diese Richtung geht auch die Aufstellung immer neuer Erhaltungssätze in der Elementarteilchenphysik. Erhaltungssätze sind Gesetze des Typs, die in einem System wechselwirkender Objekte [342] die Stabilität des Systems ausdrücken. Je stabiler das System, desto mehr Erhaltungssätze gelten. Die Vielzahl wesentlicher Systemparameter macht die Aufstellung einer einheitlichen Theorie problematisch. Dabei taucht die Frage auf, ob sie auf wenige oder gar ein Prinzip reduziert werden können. Diese Frage stellt W. S. Gott im Zusammenhang mit den Erhaltungssätzen: „Das Studium der Wechselbeziehungen der Erhaltungssätze führt natürlich zur allgemeinen Frage: Haben nicht alle Erhaltungssätze eine allgemeine Grundlage? Existiert nicht ein Prinzip, aus dem man alle bisher bekannten Erhaltungssätze folgern kann?“[14] Er führte Gründe dafür an, daß es zweifelhaft ist, diese Frage positiv zu beantworten. So gibt es Erhaltungssätze, die nicht mit entsprechenden geometrischen Symmetrien verbunden sind, wie die Erhaltung der Leptonenzahl usw. Er meint auch, daß bei den Erhaltungssätzen, die mit geometrischen Symmetrien verbunden sind, nicht alle Aspekte aus der Symmetrie erschlossen werden können. So kann beim Impulserhaltungssatz nach ihm nicht aus der Homogenität des Raumes die Wechselbeziehung zwischen mechanischem und elektromagnetischem Impuls, zwischen Impuls und Energie usw. abgeleitet werden.[15] Er kommt zu dem Schluß: „Das bedeutet, daß das Symmetrieprinzip, auch wenn man alle bekannten Formen der Symmetrie und Asymmetrie einschließt, nicht als das fundamentale Prinzip in bezug auf die Erhaltungssätze betrachtet werden kann.“[16] Es geht ihm dabei um die ebenfalls zu berücksichtigenden Beziehungen der Erhaltungssätze und der Struktur der Felder zu solchen allgemeinen Beziehungen wie Materie und Bewegung usw. Das ist sicher richtig, schließt aber nicht aus, die Dialektik von Symmetrie und Asymmetrie wenn nicht als grundlegendes Prinzip, so doch als ein System von Prinzipien mit eigenen Systemgesetzen zu fassen.

Die Suche nach neuen Systemparametern führt zur Einsicht in die Grenzen bereits bekannter Erhaltungssätze. Insofern ist die Forderung wichtig, allgemeine philosophische Prinzipien in ihrer Beziehung zu den Erhaltungssätzen zu betrachten. Oft wurde z. B. der Energieerhaltungssatz mit der Einheit von Materie und Bewegung identifiziert. Baraschenkow betont hier zu Recht, daß die begrenzte Gültigkeit von Erhaltungssätzen, auch des Energieerhaltungssatzes, nicht den Grundthesen des dialektischen Materialismus von der Unerschaffbarkeit und Unzerstörbarkeit der Materie widerspricht. Er schreibt: „... die Anerkennung der begrenzten Gültigkeit uns bisher bekannter Erhaltungssätze widerspricht keinen Aussagen des [343] dialektischen Materialismus. Im Gegenteil, der Standpunkt, nach dem ein Teil der bisher bekannten Erhaltungssätze unbedingt in allen, ohne Ausschluß, Materieniveaus gelten muß, ist

[14] Ebenda, S. 289.
[15] Vgl. ebenda, S. 290.
[16] Ebenda.

völlig einseitig und bedarf auf alle Fälle einer sorgfältigen Überprüfung.“[17] In der weltanschaulichen Auseinandersetzung mit dem Idealismus kann man deshalb physikalische Erhaltungssätze nicht mit Grundthesen des philosophischen Materialismus identifizieren. Die erkenntnistheoretisch und methodologisch interessante Frage bleibt dabei die nach dem inneren Zusammenhang der wesentlichen Systemparameter, besonders der Erhaltungssätze.

Zweitens erfolgt die Erforschung der Gesetze, die die Veränderung von Systemen erfassen. Hier taucht vor allem die noch weiter zu betrachtende Problematik auf, ob es Gesetze asymmetrischen Verhaltens gibt. Wenn man die Ergebnisse beim Zerfall des K_2^0-Mesons als Durchbrechung der kombinierten Parität und damit nach dem CPT-Theorem auch als Durchbrechung der Zeitsymmetrie betrachtet, dann müßte man nach Gesetzen suchen, die dieses asymmetrische Verhalten erfassen.

Die Asymmetrie der Zeit wäre danach kein sich aus der Statistik ergebendes Phänomen für Makroprozesse, sondern selbst grundlegend für die materielle Bewegung. In diese Richtung deuten bisher nur die Diskussionen um den Entropiesatz und die Expansion des Weltalls. Da das ein wesentlicher Punkt unserer Betrachtungen ist, werden wir auf diese Seite der Gesetzeserkenntnis noch ausführlich eingehen.

Drittens muß in der Gesetzeserkenntnis die Beziehung zwischen Systemparametern und dem Verhalten der Elemente hergestellt werden. Hier sehen wir die Beziehung zwischen den statistischen Gesetzen als den Systemgesetzen und den Gesetzen des Elementverhaltens, die es uns ermöglicht, in der Theorie ein System von Gesetzen aufzubauen, das aus allgemeinen und besonderen, ergänzenden und sich bedingenden Gesetzen besteht.[18] Die statistischen Gesetze erfassen durch ihre Beziehung zwischen System- und Elementparametern und die Wahrscheinlichkeit für zufällig sich verwirklichende Möglichkeiten die Struktur eines Systems besser als dynamische Gesetze, die nur eine Möglichkeit für das System angeben, die notwendig verwirklicht wird. Damit setzt die Erkenntnis statistischer Gesetze auch ein tieferes Eindringen in die Systemstruktur voraus. Da die Struktur die Einheit von Systembeziehungen und -elementen darstellt, wird [344] auch über die Struktur die Dialektik von System und Element besser erfaßt. Dazu wird im letzten Abschnitt des Kapitels noch einmal Stellung genommen.

Wir sehen also, wie die Gesetzesproblematik eng mit der zu behandelnden Symmetrieproblematik und der philosophischen Deutung der Rolle der Erhaltungssätze zusammenhängt.

Ein weiteres wesentliches Problem ist die Einheit von quantitativen und qualitativen Seiten eines Gesetzes, das auch zu einer Differenzierung unserer Symmetriebetrachtungen führt. Symmetrie als Invarianz gegenüber Transformation zu fassen, heißt den Symmetriebegriff auf mathematisch formulierbare Gesetze einschränken. Jedes Gesetz, das nur qualitative Aussagen macht, muß weiter erforscht werden, bis es zu quantitativen Aussagen geführt wird. Das trifft vor allem auch auf viele Gesetze in der Gesellschaftswissenschaft zu. Die marxistische Philosophie schränkt jedoch den Gesetzesbegriff nicht auf die letzte Stufe der Gesetzeserkenntnis, auf eine mathematisch formulierte Einheit von qualitativ und quantitativ bestimmten allgemein notwendigen und wesentlichen Beziehungen ein. Dafür sprechen folgende Argumente:

1. Es gibt unterschiedlich entwickelte Wissenschaften. In der Physik beispielsweise ist die Mathematisierung weiter entwickelt als in der Biologie und der Gesellschaftswissenschaft. Die Hervorhebung allgemein notwendiger und wesentlicher Seiten bei der Erkenntnis der objektiven Realität hilft jedoch bei der Orientierung der Handlungen der Menschen. Es wäre aber verkehrt, wollte man sich beispielsweise mit qualitativen Zusammenhängen zufriedengeben, ohne ihre quantitativen Proportionen zu erforschen. Wir haben es also bei qualitativen

[17] W. S. Baraschenkow, Struktur des Raumes und der Zeit in der Physik der Mikrowelt, Moskau 1960, S. 30.
[18] Vgl. dazu H. Hörz, Der dialektische Determinismus in Natur und Gesellschaft, Berlin 1971, S. 51 ff.

Aussagen mit einer niederen Stufe der Gesetzeserkenntnis zu tun. Auch qualitative Aussagen können Widerspiegelung allgemein notwendiger und wesentlicher Beziehungen sein und sind deshalb als Gesetze zu bezeichnen. Aber die Erkenntnis muß zu einer allseitigen Gesetzeserkenntnis weiterschreiten, die sich gerade in der Einheit von qualitativer Seite und quantitativer Beziehung ausdrückt.

Das bedeutet noch nicht, daß schon eine mathematische Formulierung möglich ist. Dazu ist eine weitere Erforschung der Gesetze notwendig, die eine solche Verallgemeinerung erlauben, daß sehr wenige Randbedingungen notwendig sind und die gesetzmäßigen Beziehungen als funktionale Abhängigkeit von Variablen gefaßt werden können. Solange das Gesetz den Zusammenhang zwischen Erscheinungen darstellt, die nicht zu einer Klasse von Objekten zusammengefaßt werden können, ist die mathematische Formulierung schwierig.

Aber auch hier geht die Gesetzeserkenntnis in der Richtung weiter, daß [345] die Voraussetzungen zur Mathematisierung der Gesetze durch weitere Erkenntnis geschaffen werden.

2. Es entwickeln sich ständig neue Wissenschaften, die im Anfangsstadium aus qualitativen Aussagen bestehen. Diese Aussagen werden erst nach und nach auch nach ihrer quantitativen Seite hin untersucht. Deshalb wäre es sicher nicht richtig, die Gesetzeserkenntnis nur mit der Mathematisierbarkeit der Zusammenhänge zu verbinden. Das würde die Gesetzeserkenntnis in neuen Wissenschaften abwerten. Die Gesetzeserkenntnis beginnt dort auch meist mit ganz allgemeinen qualitativen Aussagen. Wesentlich für den Charakter solcher Aussagen ist, ob darin allgemein notwendige und wesentliche objektive Zusammenhänge ausgedrückt werden. Ist das der Fall, dann werden die weiteren Forschungen zu einer allseitigen Erkenntnis der objektiven Gesetze in ihrer Einheit von qualitativen und quantitativen Seiten, in ihrem Zusammenhang mit allgemeineren Beziehungen und ihrer mathematischen Formulierbarkeit führen.

3. In jeder Wissenschaft selbst werden ständig neue Gesetze aufgedeckt, die zuerst nur qualitative Aussagen sind. Das trifft auch für die mathematisch durchdrungene Physik zu. In der Elementarteilchentheorie existieren viele qualitative Aussagen, die erst weiter untersucht werden müssen. Auch hier gilt also selbst für die Entwicklung einer Wissenschaft, daß sie nicht in ihrer Gesamtheit schon auf höchster Stufe der Gesetzeserkenntnis steht, sondern die verschiedenen Stufen der Erkenntnis der Gesetze auftreten. Wir finden qualitative Aussagen, die nur eine Seite der objektiven allgemein notwendigen und wesentlichen Zusammenhänge ausdrücken, bis hin zu mathematisch formulierten Gesetzen, die in einer Theorie in ihrem Zusammenhang dargestellt werden. Die Theorie der Elementarteilchen befindet sich selbst noch nicht im letzteren Zustand. Hier ist auch das Verhältnis von System und Elementen zu beachten, auf das wir schon hingewiesen haben. Denken wir an die Durchbrechung des Erhaltungssatzes von der Parität bei schwachen Wechselwirkungen. Offensichtlich kann man die Erhaltungssätze zu den Gesetzen rechnen, die ein relativ stabiles System charakterisieren. Wenn nun die Erhaltung durchbrochen wird, dann bedeutet das in diesem Falle die Auszeichnung einer bestimmten Richtung. Das ist aber nur ein qualitatives Resultat, das auf die Veränderung des wechselwirkenden Systems verweist. Nicht geklärt ist mit der Feststellung von der Nichterhaltung der Parität der Mechanismus, der diese Durchbrechung hervorruft, und damit auch nicht der Mechanismus der Veränderung. Die Nichterhaltung der Parität drückt eine wichtige Erkenntnis über die Veränderung des Systems aus, charakterisiert aber nicht quantitativ diese Veränderung. Die Nichterhaltung kann in der Theorie berück-[346]sichtigt werden, aber der Fortschritt der Erkenntnis muß auch zur Aufdeckung der Ursachen für die Durchbrechung führen. Offensichtlich ist unsere Erkenntnis der Elementarteilchen bei schwachen Wechselwirkungen noch mit vereinfachten Voraussetzungen verbunden. Die Annahme der Erhaltung der Parität und andere Erhaltungssätze sind vereinfachte, idealisierte Aussagen über das Verhalten der Elementarobjekte. Für die Forschung sind solche Abstrak-

tionen von unwesentlichen Beziehungen wichtig. Die Gesetzeserkenntnis geht über Experimente vor sich, die solche vereinfachten Bedingungen enthalten, die uns die Überprüfung von Hypothesen über das Verhalten der Teilchen gestatten. Je komplizierter die Bedingungen im Experiment sind, desto mehr theoretische Vorstellungen über diese Bedingungen gehen bereits in die Auswertung der Ergebnisse des Experiments ein. Das macht die Deutung von Experimenten und damit die Überprüfung von Theorien durch die Praxis immer komplizierter.

Es ist deshalb wesentlich, daß einerseits sehr allgemeine Theorien, wie die nichtlineare Spinortheorie, bis zu überprüfbaren Aussagen geführt werden, und andererseits auch solche Theorien, wie die der Dispersionsrelation, die mit vereinfachten Voraussetzungen arbeiten, auf die Richtigkeit der Vereinfachung überprüft werden.

Die Existenz von Erhaltungssätzen vereinfacht die komplizierte physikalische Bewegung und gestattet deshalb Aussagen über das Verhalten der Elementarteilchen leichter als der komplizierte Mechanismus des Elementarprozesses bei Nichterhaltung. Große Bedeutung für die vereinfachte Untersuchung hat die Physik der hohen Energien in bestimmten Fällen, wie Blochinzew hervorhob: „Es zeigt sich, daß, wenn die Energie der Teilchen besonders hoch ist, in einer Reihe von Fällen einfachere physikalische Situationen entstehen, die die Möglichkeit geben, im Versuch die Folgen aus allgemeinen theoretischen Vorstellungen zu beachten.“[19]

In diesem Zusammenhang ist es interessant, daß auf der Konferenz zur Physik hoher Energien von Blochinzew auf die Ergebnisse zur Überprüfung von Dispersionsrelationen verwiesen werden konnte. Diese Theorie geht ebenfalls von vereinfachten Voraussetzungen über das Verhalten der Elementarteilchen aus, die es ermöglichen, zu überprüfbaren Aussagen zu gelangen.

Blochinzew stellt in seinen Schlußbemerkungen fest: „Wesentlich nun ist die Messung der Streuung der Nukleonen und π-Mesonen für kleine Winkel und der Beweis der Existenz des Realteils der Streuamplituden bei hohen Energien ... diese Ergebnisse erlauben zur [347] Überprüfung der Dispersionsbeziehungen auf dem Gebiet der hohen Energien überzugehen.“[20]

Diese Überprüfungen führten zu Unterschieden zwischen den Ergebnissen der Experimente und den theoretischen Vorhersagen im Falle der $\pi^{\pm}$–p-Streuung.[21] Auf der Konferenz in Kiew 1970 hat sich gezeigt, daß theoretische und experimentelle Werte sich nähern. Es verwundert, daß die Experimente mit der einfachen Theorie verstanden werden. Die Erforschung der starken Wechselwirkung mit Hilfe der Dispersionsrelationen geht weiter. Das schließt erstens nicht aus, daß von einem allgemeinen Standpunkt an die Erforschung der Elementarteilchen herangegangen wird, wie das die Vertreter der nichtlinearen Spinortheorie tun. Zweitens bestätigt sich auch hier wieder die Relativität der Praxis. Wir kommen zu überprüfbaren Aussagen mit Hilfe einer vereinfachten Theorie. Der weitere Fortschritt der Erkenntnis wird dann über die Aufhebung dieser Vereinfachungen vor sich gehen müssen.

Da jedoch eine umfassende Theorie die ganze komplizierte Situation in der Elementarteilchenphysik ausdrücken muß, die Erkenntnis aber noch nicht das Wesen aller dieser Prozesse aufgedeckt hat, sind noch keine Entscheidungen über die Effektivität des einen oder anderen Herangehens möglich.

Die Durchbrechung der Erhaltungssätze bei schwachen Wechselwirkungen kann deshalb als Hinweis auf den komplizierten Mechanismus der Elementarteilchenprozesse gedeutet werden, was die Schranken dieser vereinfachten Auffassung von der Symmetrie des Raumes und anderer Symmetrien bei diesen Prozessen zeigen würde.

[19] Internationale Konferenz über Beschleuniger, Dubna 1963, S. 25 (russ.).
[20] Internationale Konferenz zur Physik hoher Energien. Schlußbemerkungen D. I. Blochinzews, Dubna 1964, S. 3.
[21] Vgl. W. S. Baraschenkow: Dispersionsanalyse elastischer Streuungen der Teilchen im Bereich hoher Energien, Dubna 1966.

Deshalb steht als Aufgabe für die Forschung, die qualitative Aussage von der Nichterhaltung der Parität dadurch zu präzisieren, daß der Mechanismus der Prozesse, die zur Nichterhaltung führen, weiter erforscht wird. Zu dem Weg, die Symmetrie durch Kombination verschiedener Parameter wieder herzustellen, wie das im Gesetz der Erhaltung der kombinierten Parität geschieht, werden wir noch Stellung nehmen.

Verletzung der Parität deutet also auf gerichtete Veränderung des Systems schwach wechselwirkender Objekte hin. Wäre es möglich, diesen Mechanismus der Veränderung im Gesetz zu erfassen mit Parametern, die quantitativ die Veränderung des Systems charakterisieren, dann hätten wir mit [348] Erhaltungssätzen und Gesetzen für die Veränderung des Systems diese zwei Arten von Gesetzen, von denen vorher die Rede war.

Dabei ist jedoch die Wechselwirkung physikalischer Prozesse noch ein Gegenstand der Forschung. Weizsäcker hob vor einigen Jahren hervor, was auch heute noch gilt: „Mit der Einführung der Wechselwirkung treten wir in den Bereich der ungeklärten Probleme der heutigen Forschung ein.“[22]

J. W. Tschuwilo charakterisierte 1964 die Situation folgendermaßen: Es ist möglich, nur einige Grundgesetze zu formulieren, die die Prozesse in der Welt der Elementarteilchen bestimmen. Fortschritte gibt es bei der Theorie der elektromagnetischen Prozesse und bei schwachen Wechselwirkungen ohne die Teilnahme „fremder“ Teilchen. Am wenigsten ausgearbeitet sind heute die Probleme der starken Wechselwirkung der Elementarteilchen. Wörtlich sagt er: „Ohne sogar vom theoretischen Aspekt des Problems zu sprechen, ist sichtbar, daß, obgleich uns im großen Umfang experimentelle Tatsachen über die stark wechselwirkenden Elementarteilchen bekannt sind, heute keine Möglichkeit besteht, sogar in einem bestimmten phänomenologischen Sinn eine Systematik der stark wechselwirkenden Elementarteilchen zu vollenden. Umsoweniger kann die Rede von der Durchführung einer Art Programm für die Beschreibung des ganzen Komplexes der Erscheinungen in der Welt der Elementarteilchen sein.“[23]

Einiges hat sich inzwischen an dieser Situation geändert. Die Klassifizierung der Teilchen ist vorangeschritten, aber auch heute können wir noch nicht von einem einheitlichen Programm für die theoretische Erfassung der gesamten Elementarteilchenproblematik sprechen, das bei seiner Durchführung eine einheitliche Theorie garantiert. Viele widersprüchliche Modelle für starke Wechselwirkungen werden entwickelt.

Hier gibt es eine ganze Reihe offener Probleme, deren Diskussion auch großen Nutzen für die philosophischen Probleme der Wechselwirkung, des Gesetzes usw. bringt.

Offensichtlich vollzieht sich die Gesetzeserkenntnis in bestimmten Stufen, die sich zwar gegenseitig durchdringen, aber doch relativ selbständige Seiten bei der Erkenntnis darstellen. Die erste Stufe ist die Entdeckung neuer experimenteller Fakten oder theoretischer Schlußfolgerungen, die nicht mit der bisher vertretenen Theorie übereinstimmen. Es gelingt nicht, diese Er-[349]scheinungen in das bisher vorhandene theoretische Gebäude einzuordnen. Das war der Fall bei Plancks Forschungen über die Hohlraumstrahlung, die ihn zu einer Strahlungsformel mit dem Wirkungsquantum *h* führte. Die neue Formel wurde zur Grundlage einer neuen Theorie. Das trifft heute besonders auf die schwachen Wechselwirkungen unter der Teilnahme „fremder“ Teilchen und auf die starken Wechselwirkungen zu. Dabei ist die zweite Stufe der Erkenntnis der Versuch, die neuen Erkenntnisse entweder in das alte System doch noch einzuordnen oder völlig neue Wege zu beschreiten. In diesem Stadium der Erkenntnis ist es notwendig, auf verschiedenen Wegen vorwärtszuschreiten. So existieren auch heute bei der Entwicklung einer Elementarteilchentheorie verschiedene Physikerschulen, wie beispielsweise

[22] Werner Heisenberg und die Physik unserer Zeit, Braunschweig 1961, S. 41.
[23] J. W. Tschuwilo, Forschungen zur Physik der Elementarteilchen, Dubna 1964, S. 3.

die Vertreter einer nichtlinearen Spinortheorie und die Vertreter der Theorie der Dispersionsrelationen. Dieses Stadium ist gekennzeichnet durch umfassende und intensive experimentelle und theoretische Forschungen auf verschiedenen Wegen, durch harte Diskussionen. Dabei geht jede dieser Gruppen von verschiedenen philosophischen Voraussetzungen aus, die meist unbewußt sind. Das bezieht sich nicht auf verschiedene weltanschauliche Gesichtspunkte, die hier nicht zur Diskussion stehen. Man kann bei Anerkennung der objektiven Dialektik über den Mechanismus dialektischer Prozesse verschiedene Auffassungen haben. Kriterium für die Richtigkeit einer Auffassung ist die Praxis, das Experiment. Um solche spontan materialistischen, aber nicht miteinander übereinstimmenden Ansichten der Physiker über den Mechanismus objektiver Prozesse geht es uns. Bei Heisenberg liegt der Gedanke an eine mögliche einheitliche Theorie der Materie zugrunde, die uns alle Parameter aus der Theorie heraus liefert. Die Vertreter der Dispersionsrelationen verwenden bereits einige experimentelle Ergebnisse, die als Randbedingungen in die Theorie eingehen und so die Aufstellung der theoretischen Erfassung der Elementarteilchen erleichtern. In diesem Stadium der Gesetzeserkenntnis ist philosophische Hilfe für den Naturwissenschaftler nur durch die Analyse der vorhandenen philosophischen Probleme möglich. Das letzte Stadium der Gesetzeserkenntnis ist dann die Formulierung der Theorie, ihre weitere Ausarbeitung und Überprüfung. Ist dieses Stadium erreicht, tritt für den Philosophen die Ausarbeitung der weltanschaulichen Konsequenzen der bestätigten Theorie in den Vordergrund, ihre Verallgemeinerung, um die Kategorien der Philosophie auf Grund der neuesten Erkenntnisse zu präzisieren.

Eine weitere Aufgabe der Philosophie, die hier noch nicht enthalten ist, ist die Ausarbeitung der logischen Seite der Gesetzeserkenntnis. Es gibt bereits erste Ansätze zur exakten Fassung des Gesetzesbegriffs mit Hilfe logischer [350] Kriterien. Hierbei gilt es, die Ergebnisse der mathematischen Logik auszunutzen, um die neuen erkenntnistheoretischen Probleme besser herausarbeiten zu können.

Bei der Physik der Elementarteilchen befinden wir uns noch im zweiten Stadium der Gesetzeserkenntnis. Das macht es möglich, zu dem bereits angedeuteten Problem des Verhältnisses von Gesetzen der Veränderung und der wechselwirkenden stabilen Systeme einige philosophische Gedanken zu äußern, die als Diskussionsbeitrag zu philosophischen Problemen gedacht sind, die mit den Ergebnissen der Elementarteilchentheorie auftauchen.

Die Wechselwirkung der Objekte und der Teile eines Objektes tritt uns bei der Untersuchung der objektiven Realität ständig entgegen. Unter Wechselwirkung verstehen wir 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 werden.

Die Erkenntnis der Wechselwirkung verlangt von uns die Abstraktion von unwesentlichen Beziehungen innerhalb eines Systems, in dem sich die Wechselwirkung vollzieht. So versuchte die klassische Physik bei einem Stoßvorgang, an dem zwei Körper beteiligt sind, die wesentlichen Parameter für die Charakteristik des Ergebnisses der Wechselwirkung herauszufinden. Das geschah, indem sie die Impulse beider Körper als wesentlich für die Bewegung dieser Körper hervorhob und als Kennzeichen für dieses wechselwirkende System die Impulserhaltung erkannte. Dabei braucht die Einschränkung des wechselwirkenden Systems auf zwei Körper nicht aufrechterhalten zu werden, sondern es können beliebig viele Körper an der Wechselwirkung beteiligt sein. Mit dem Erhaltungssatz ist jedoch nichts über den inneren Mechanismus der Wechselwirkung ausgesagt. Charakteristisch für die Wechselwirkung selbst ist gerade die Veränderung einzelner physikalischer Parameter, wie Impuls und Energie. Gerade durch sie zeichnet sich die Wechselwirkung aus. Zugleich gelten aber Gesetze für das gesamte wechselwirkende System, die u. a. in Form von Erhaltungssätzen gefaßt werden können.

Die Entwicklung des Feldbegriffs und der damit verbundenen Theorien war ein weiterer wesentlicher Schritt bei der Untersuchung der Wechselwirkung. Die Feldtheorie erlaubte es, nicht nur das Einwirken eines Objekts auf das andere zu untersuchen, sondern die Wechselwirkung eines Objekts mit seiner materiellen Umgebung zu betrachten und dann die Einwirkung der veränderten Umgebung auf das andere Objekt zu berücksichtigen. Damit wurde der Mechanismus der Wechselwirkung selbst Gegenstand der Forschung.

[351] Die durch die moderne Physik untersuchte Quantisierung der Felder bringt uns jedoch wieder auf ein altes nicht geklärtes Problem der Wechselwirkung zurück. Bei der in der klassischen Physik untersuchten Wechselwirkung wurde von der Struktur der wechselwirkenden Objekte abgesehen. Sie ging nicht als wesentlicher Parameter in die Betrachtung des wechselwirkenden Systems ein. Durch den Übergang zur Beziehung Objekt – Feld – Objekt wurde der Mechanismus der Wechselwirkung zwischen Objekt und Objekt selbst als materieller Prozeß gefaßt. Das Feld vermittelte die Veränderung des einen Objekts durch das andere. Mit der Quantisierung der Felder zeigt sich aber die Einheit von Objekten und materieller Beziehung im Feld selbst. Man könnte diese Beziehung zwischen Feldern und materieller Wirkung auch als Verhältnis Individuum und Umgebung fassen. Allgemein tritt uns hier das alte philosophische Problem der Einheit von Kontinuität und Diskontinuität entgegen. In der klassischen Feldtheorie könnte man, verallgemeinert ausgedrückt, sagen, daß im wesentlichen die materiellen Beziehungen zwischen Objekten im Feldbegriff erfaßt werden. Werden jedoch das Feld quantisiert und die Quanten des Feldes untersucht, dann taucht wieder die alte Frage auf: Wie steht es mit dem Mechanismus der Wechselwirkung der Quanten des Feldes untereinander? Verbunden ist die Frage in der Elementarteilchentheorie noch mit der experimentell nachgewiesenen Tatsache des Entstehens und Verschwindens von Feldern, mit ihrer gegenseitigen Umwandelbarkeit.

Die Problemlage ist also: Erstens wurde die Wechselwirkung zwischen Objekten durch die Felder genauer untersucht, aber damit ist noch nicht die Struktur des Objektes selbst in die Betrachtung einbezogen. Zweitens werden die Quanten der verschiedenen Felder untersucht. Damit ist nun die Struktur der klassischen Objekte durch die Aufdeckung der Atomstruktur zwar erkannt, aber die Struktur der Elementarteilchen als Quanten von Feldern ist noch Erkenntnisgegenstand.

Die Struktur der physikalischen Objekte ist offensichtlich eng mit der Wechselwirkung verbunden. Solange man ein klassisches Objekt als isoliert von seiner Umgebung betrachten kann, ist die Wechselwirkung äußeres Attribut, das durch den Zusammenstoß mit anderen Objekten erst auftritt. Untersucht man jedoch die materiellen Wirkungen, die Körper aufeinander ausüben, und faßt diese materiellen Wirkungen oder die Wirkungssphäre des Körpers im Begriff Feld zusammen, dann tritt eben schon das Problem der ständigen Wechselwirkung zwischen physikalischem Objekt und Feld auf. Diese Wechselwirkung ist notwendig, da Feld ohne Objekt und Objekt ohne Feld nicht existiert. Geht man dann weiter und untersucht die Struktur der Elementarobjekte, dann zeigt sich in den verschie-[352]denen Äußerungen des Elementarobjekts beim Zusammenstoß die innere Beschaffenheit der Objekte. Man erkennt deshalb die inneren Strukturbeziehungen über die Wechselwirkung der Objekte.

Solange man mit punktförmigen Teilchen arbeitet, die Massenpunkte als Idealisierung wirklicher ausgedehnter Körper darstellen, wird die Wechselwirkung der Objekte selbst noch vereinfacht gefaßt. Diese Vereinfachung zeigt sich vor allem darin, daß die Wechselwirkung der Objekte noch nicht als Verwirklichung der inneren Strukturunterschiede gefaßt wurde. Punktförmige Teilchen haben keine Struktur. Unter bestimmten Bedingungen, solange die innere Struktur nicht wesentlich das Verhalten der Elementarobjekte bestimmt, kann diese Struktur auch vernachlässigt werden. Aber heute ist offensichtlich, daß der weitere Fortschritt der

Physik auch eine Antwort auf die Frage geben muß: Von welcher Art ist die Struktur der Elementarobjekte und wie kann man sie theoretisch erfassen?

Dieses Problem wurde sofort deutlich durch die Ergebnisse der Elementarteilchenphysik, die die Vielzahl und Umwandelbarkeit der Teilchen ineinander zeigte.

In seiner Einschätzung des Einsteinschen Ansatzes zur Entwicklung einer allgemeinen Feldtheorie macht Heisenberg auf folgendes Problem aufmerksam: „In der Zeit, als Einstein sich mit dem Problem der einheitlichen Feldtheorie beschäftigte, wurden ständig neue Elementarteilchen entdeckt und mit ihnen ... neue Felder. Infolgedessen fehlte für die Durchführung des Einsteinschen Programms die feste empirische Grundlage, und der Versuch Einsteins führte zu keinem einleuchtenden Erfolg. Jedoch der Mißerfolg, der Einsteins Programm traf, hatte auch eine tiefere Begründung, als nur die Unsicherheit in den empirischen Fakten; diese Begründung liegt in dem Verhältnis der theoretischen Feldvorstellungen Einsteins zur Quantentheorie.“[24]

Heisenberg hebt das Moment der Diskretheit der Elementarteilchen hervor, das gegen die Anwendung einer Feldtheorie klassischen Typs spricht. Er betont jedoch, daß eine einheitliche Feldtheorie der Materie wegen der Umwandlung der Teilchen ineinander möglich ist. Heisenberg will ein einfaches Gesetz finden, aus dem sich Struktur und Umwandlung der Teilchen ergeben.[25]

[353] Heisenberg hebt verschiedene Ausgangspunkte für die Theorie der Elementarteilchen hervor. Neben seinem Versuch des Aufbaus einer nicht-linearen Spinortheorie gibt es Versuche, mit Hilfe der *S*-Matrix durch Grenzbedingungen zu Dispersionsbeziehungen zu kommen, die eine Beschreibung der Elementarteilchenprozesse erlauben. Heisenberg meint zur *S*-Matrix, da die Bestimmung der Masse und der Symmetrieeigenschaften vorher notwendig ist, kann das kein Ausgangspunkt für die Theorie der Elementarteilchen sein. Er schreibt: „Angesichts dessen scheint es völlig zweifelhaft, daß die *S*-Matrix ein genügend einfaches mathematisches Objekt für die Formulierung der Gesetze der Natur ist.“[26]

Der durch seine Klassifizierung der Elementarteilchen bekannte Physiker Gell-Mann hob in einer Diskussion zu diesem Streitproblem hervor, daß es drei Wege gibt, um zu theoretischen Aussagen über die Elementarteilchen zu kommen: Erstens kann man von einem Satz von Postulaten einer lokalen Feldtheorie ausgehen. Zweitens ist es möglich, aus den Feynman-Diagrammen die nötigen Voraussetzungen zu bekommen. Drittens kann man einfach herumsuchen, um zu einem Ergebnis zu kommen. Heisenberg selbst wandte sich in der Diskussion mit Chew gegen die alleinige Ausnutzung der *S*-Matrix, da dafür zuviel empirische Voraussetzungen notwendig sind. Nach Meinung Heisenbergs wäre es von großem praktischem Nutzen, einen lokalen Feldoperator zu besitzen.[27]

Diese Diskussion um die Entwicklung einer einheitlichen Theorie der Elementarteilchen und damit um die theoretische physikalische Fassung der Wechselwirkung ist auch heute noch nicht endgültig entschieden. Bei Heisenberg liegt das Bestreben vor, eine wirklich umfassende Theorie vorzulegen, bei der sich beispielsweise auch die Masse der Teilchen aus der Theorie ergibt. Sie soll nicht als empirische Tatsache vorausgesetzt werden. Zugleich wird aber deutlich, daß der Feldoperator Ausdruck der komplizierten objektiven Wechselwirkung sein muß. Dazu ist es aber notwendig, den Charakter dieser Wechselwirkung aus den Experimen-

[24] W. Heisenberg, Bemerkungen zum Einsteinschen Entwurf einer einheitlichen Feldtheorie, in: Einstein und die Entwicklung des physikalisch-mathematischen Denkens, Moskau 1962, S. 63 (russ.).
[25] Ebenda, S. 64.
[26] Ebenda, S. 66.
[27] Gekürzter Text der Diskussion am 7. Juli 1962 auf der internationalen Konferenz zur Physik hoher Energien, Dubna 1963, S. 9 f.

ten noch näher zu bestimmen und die Teilchen stets mit ihrer Wechselwirkung zu verbinden, da es, wie vorher schon dargelegt wurde, kein isoliertes Teilchen an sich gibt.

Dieser Gedanke muß jedoch ergänzt werden durch die Feststellung, daß die Wechselwirkung nicht die Individualität des Objekts völlig beseitigt. [354] Zweifellos erkennen wir das einzelne Elementarobjekt durch die Wechselwirkung mit seiner Umgebung. Im Zusammentreffen mit anderen Teilchen, mit seiner Umgebung, in seiner Umwandlung offenbart es seine Eigenschaften. Insofern muß man tatsächlich den Begriff des absolut isolierten Objekts, das seine Eigenschaften unabhängig von seiner Umgebung besitzt, aufgeben. Aber zugleich muß uns die Untersuchung der Wechselwirkung dazu bringen, daß wir Aufschlüsse über die komplizierte Struktur der Elementarteilchen erhalten.

Es ist interessant, daß die von der Physik untersuchten verschiedenen Formen der Wechselwirkung verschiedenes Verhalten der Teilchen zeigen. Es existieren starke, elektromagnetische, schwache und Gravitationswechselwirkungen. Einige Physiker vertreten die Hypothese, daß eine fünfte Kraft existiert, die schwächer als die Gravitationswechselwirkung ist. Wie wir schon betonten, kann man die Wechselwirkung eines Systems durch Erhaltungssätze charakterisieren. Es ist jedoch durch die moderne Physik immer deutlicher geworden, daß die meisten Erhaltungssätze bei den starken Wechselwirkungen gelten. Je schwächer die Wechselwirkungen werden, desto mehr Erhaltungssätze werden verletzt. Da Erhaltungssätze sich vor allem aus verschiedenen Symmetrieeigenschaften bestimmen lassen, kann man die Verletzung der Erhaltung auch als Verletzung der Symmetrie ansehen. Das bringt uns zu dem philosophisch interessanten Problem des Verhältnisses von Erhaltung, Wechselwirkung und Symmetrie, auf das wir später eingehen werden.

Hier interessiert uns erst das Verhältnis von Erhaltung und Wechselwirkung allein. Offensichtlich ist die Erhaltung von Parametern daran gebunden, daß ein relativ isoliertes System wechselwirkender Objekte existiert, das keinen wesentlichen Einwirkungen von außen unterliegt. Nun kann man davon ausgehen, daß das System gerade durch seine Wechselwirkung charakterisiert wird. In diesem Falle bestimmt die Stärke der wechselwirkenden Kräfte die Stabilität des Systems. Anders ausgedrückt, die Stärke der Kräfte, die zwischen den Objekten wirken, ist umgekehrt proportional der Stabilität des betrachteten wechselwirkenden Systems. Dafür spricht auch die Betrachtung des Abstands zwischen den wechselwirkenden Objekten. Starke Wechselwirkungen sind nur bei sehr kleinen Abständen möglich. Sobald beispielsweise Nukleonen weiter voneinander entfernt sind, als es die Grenze für das Wirken der starken Wechselwirkungen vorsieht, wirken sie nicht mehr mit Kernkräften aufeinander ein.

Deshalb kann man die starken Wechselwirkungen tatsächlich als systemerhaltende Kräfte erfassen, die die stark wechselwirkenden Objekte zu einem relativ stabilen System zusammenschließen.

[355] Offensichtlich reicht für die Erkenntnis schwach wechselwirkender Systeme die Charakteristik durch Erhaltungssätze nicht aus.

Als die Verletzung des Erhaltungssatzes der Parität bekannt wurde, sprachen Yang und Lee mit der Begründung der Verletzung der Paritätserhaltung auch den Gedanken von der Erhaltung der kombinierten Parität aus. In seinem zusammenfassenden Schlußwort zur Konferenz der Physik hoher Energien im August 1964 hob Blochinzew folgendes hervor: „Das Studium der schwachen Wechselwirkungen bringt uns immer neue erregende Resultate. Dieses Mal rief besondere Aufmerksamkeit der Konferenzteilnehmer die Arbeit hervor, in der der Zerfall des K_2^0-Mesons in zwei π-Mesonen aufgedeckt wurde. Soweit ich beurteilen kann, ruft der Versuch selbst keinen Zweifel hervor, und wenn seine Interpretation sich bestätigt, so entsteht ein ernstes theoretisches Problem. Die direkte Erklärung dieses Versuchs wäre die An-

erkennung der Nichteinhaltung der kombinierten Parität und würde die Nichtumkehrbarkeit der Elementarerscheinungen bedeuten.“[28]

Unabhängig davon, ob sich die von Blochinzew angegebene Deutung so bestätigt oder nicht, ergibt sich auch aus den bisherigen Erkenntnissen eine Tendenz der Nichterhaltung bei schwächeren Wechselwirkungen, was von vielen Physikern zum Ausdruck gebracht wird. Betrachtet man nur in diesem Zusammenhang das Verhältnis von starken und schwachen Wechselwirkungen, die eigentlich nur vergleichbar miteinander sind, so tritt folgender interessanter Umstand auf (die elektromagnetischen Wechselwirkungen haben bestimmte Besonderheiten, da sie nur für geladene Teilchen gelten, und die Gravitationswechselwirkungen sind bei den Elementarteilchen zu vernachlässigen): Zwischen starken und schwachen Wechselwirkungen zeigt sich ein erheblicher Unterschied in der Gültigkeit von Erhaltungssätzen. Man muß deshalb die Frage stellen, ob es sich bei der schwachen Wechselwirkung überhaupt um eine Wechselwirkung in dem Sinne handelt, daß durch die Stärke der Kräfte ein relativ isoliertes stabiles System der wechselwirkenden Objekte geschaffen wird. Wenn man die schwache Wechselwirkung gerade als Aufhebung der Wechselwirkung, als Aufhebung des relativ abgeschlossenen Systems betrachtet, dann tritt die Veränderung des Systems mehr in den Vordergrund. Die starke Wechselwirkung wird dann zu einem Grenzfall der schwachen, bei der die Parameter für die Veränderung des Systems nicht berücksichtigt zu werden brauchen, sondern das wechselwirkende System stabil ist. Durch die Stärke der Kräfte bei starken Wechselwirkungen werden die verschiedenen Pa-[356]rameter der wirkenden Objekte erhalten, während die schwachen Wechselwirkungen ein sich veränderndes System darstellen, bei dem Verletzungen der Erhaltung vorliegen. Erhaltung ist immer eine Vereinfachung, wie wir schon anfangs feststellten, gegenüber den wirklichen Veränderungen der wechselwirkenden Objekte. Aber Erhaltung bestimmter Parameter ist zugleich Ausdruck für das Wirken von Gesetzen in einem System wechselwirkender Objekte. Löst sich jedoch dieses System auf, sind die Kräfte für die Erhaltung des Systems nicht stark genug, so verschwinden damit auch die Bedingungen für die Gültigkeit der Gesetze des Gesamtsystems.

Dabei ist diese Feststellung nicht an das Vorhandensein bestimmter Teilchen, sondern nur an das Vorhandensein bestimmter Kräfte gebunden. Darauf verweisen folgende Tatsachen: Viele Teilchen sind mit vier Wechselwirkungen verbunden. Gell-Mann u. a. schrieben dazu: „Betrachten wir beispielsweise das Proton. Das ist ein schwer wechselwirkendes Teilchen, und soweit es elektrisch geladen ist, muß es die elektromagnetische Kraft ‚fühlen‘. Weil das Proton auch beim β-Zerfall des Neutrons auftreten kann ..., so muß es auch Beziehung zur schwachen Wechselwirkung haben. Das Proton ist ebenso, wie die ganze übrige Materie, der Wirkung der Gravitationsanziehung unterworfen. Das Neutrino, wie auch andere Leptonen, sind nicht an der starken Wechselwirkung beteiligt.“[29]

Es gibt also Teilchen, die nicht an allen Wechselwirkungen beteiligt sind. Für unsere Betrachtung des Zusammenhangs von schwacher und starker Wechselwirkung in Verbindung mit den wirkenden Kräften in einem System sind jedoch gerade die Teilchen interessant, die beiden Arten der Wechselwirkung unterliegen. Das trifft auf Proton und Neutron zu. Das Neutron geht beim β-Zerfall in das Proton über und sendet Elektron und Antineutrino aus. Offensichtlich liegen hier zwei Seiten des Wechselwirkungsprozesses vor: Einerseits ist die starke Wechselwirkung zwischen Protonen und Neutronen, vermittelt durch das π-Mesonenfeld, Ausdruck der Systemerhaltung. Andererseits unterliegt das System aber auch Wechselwirkungen, die einen β-Zerfall gestatten. Das wäre ein Ausdruck für die Veränderung des Systems. Die Gesamtheit der wirkenden Kräfte ruft also sowohl die Veränderung als

[28] Internationale Konferenz zur Physik hoher Energien, S. 6.
[29] Priroda, Heft 10, 1964, S. 65.

auch die Erhaltung des Systems der wechselwirkenden Objekte hervor. Dabei sind nicht alle wechselwirkenden Objekte in der Lage, stabile Systeme zu bilden mit starker Wechselwirkung, die durch ihre relative Stabilität zur Erhaltung bestimmter Parameter führen, die bei schwacher Wechselwirkung nicht erhalten bleiben.

[357] Da die Nukleonen auch schwach wechselwirken, ist das für stark wechselwirkende Systeme geltende Gesetz der Erhaltung der Parität nicht voll erhalten. M. Preston schreibt dazu: „Wir nehmen an, daß alle Kerne sich im Zustand mit bestimmter Parität befinden und daß bei allen ihren Reaktionen, bedingt durch Kern- oder elektromagnetische Wechselwirkungen, die gesamte Parität des Systems erhalten bleibt. Diese Annahme basiert auf dem experimentellen Fakt, daß bei allen ähnlichen Reaktionen, wenn man die Winkelkorrelationen der Kaskaden-γ-Quanten und die Prozesse mit polarisierten Nukleonen einbezieht, keine merkliche Links-Rechts-Asymmetrie aufgedeckt wurde. Obgleich die Genauigkeit der entsprechenden Resultate noch nicht so groß ist (wegen der Ungenauigkeit des Experiments), kann man jedoch die relative Amplitude der Komponente mit entgegengesetzter Parität in der Wellenfunktion des Kernzustands bestimmen mit kleiner als 10^{-3}. Streng gesprochen hat der Kernzustand keine bestimmte Parität, weil zwischen den Nukleonen Kräfte wirken, bedingt durch Wechselwirkungen des β-Zerfalls, denen Links-Rechts-Asymmetrie eigen ist. Jedoch stellen diese Kräfte beispielsweise in der Intensität den 10^{-20} Teil der Kernkräfte dar, die relative Amplitude der Komponente der entgegengesetzten Parität in der Wellenfunktion, bedingt durch diese Kräfte, hat, wie die Einschätzung zeigt, die Ordnung 10^{-7}. Deshalb kann man in allen Kernprozessen (ausgeschlossen den β-Zerfall selbst) diesen Umstand vernachlässigen.“[30]

Wir sehen, was wir schon vorher betonten, daß wir bei der Gültigkeit von Gesetzen zwar von den bekannten Bedingungen für die Gültigkeit ausgehen müssen, aber die bekannten Umstände auch vereinfachen können. Diese Vereinfachung ist möglich, solange keine wesentliche Einwirkung der vernachlässigten Bedingungen auf die untersuchten Beziehungen vorliegt. Gerade die Abschätzung der Stärke der Kräfte läßt uns jedoch die Nichterhaltung der Parität bei stark wechselwirkenden Systemen vernachlässigen. Das verweist auf die Rolle der Kräfte im System, die der Systemerhaltung dienen. Systemerhaltung heißt eben hier mögliche Vernachlässigung von Veränderungen des Systems. Das System verändert sich bei dem β-Zerfall des Neutrons durch die Aussendung eines Elektrons. Hier muß auch die Durchbrechung des Erhaltungssatzes berücksichtigt werden. Betrachten wir jedoch nur das stark wechselwirkende System, dann können wir die Erhaltung als Gesetz dieses Systems annehmen. Dabei sind die Bedingungen für das Wirken dieses Gesetzes eben die Stärke der Kernkräfte gegenüber [358] der Stärke der Kräfte beim β-Zerfall. Auch hierbei erweist sich der Erhaltungssatz als eine Idealisierung, die nur unter bestimmten Bedingungen möglich ist. Das wirklich existierende System wechselwirkender Objekte unterliegt sowohl dem Gesetz der Erhaltung physikalischer Parameter als auch dem Gesetz der Veränderung dieser Parameter. Beide Gesetze, besser beide Typen von Gesetzen, bringen zwei Seiten der wirklichen Prozesse zum Ausdruck, die Erhaltung des Systems und seine Veränderung. Die Erkenntnis zeigt uns die eine Seite als Erhaltungssatz und die andere Seite als Durchbrechung der Erhaltung. Der eine Weg zum weiteren Erkenntnisfortschritt besteht nun in dem Suchen neuer Erhaltungssätze. Durch die Auswahl umfassender Systeme kann man zu solchen Erhaltungssätzen gelangen, indem man beispielsweise mit der räumlichen Spiegelung weitere Transformationen vornimmt, u. a. auch den Übergang von den Teilchen zu den Antiteilchen. Aber auch in solchen umfassenden Systemen gilt auf neuer Stufe wieder das, was wir über das Verhältnis von Erhaltung und Veränderung sagten. Auch die dort gefundene Erhaltung ist gegenüber den Veränderungen des Systems wiederum eine Idealisierung, die nur unter bestimmten Bedingungen gilt. Diese Bedingung gilt es herauszuarbeiten.

[30] M. Preston, Kernphysik, Moskau 1964, S. 21 (russ. Übersetzung aus dem Englischen).

Der andere Weg besteht in der qualitativen und quantitativen Erfassung der Veränderung, möglicherweise in Gesetzen, die die Asymmetrie als allgemeines, notwendiges und wesentliches Merkmal enthalten. Hier steht nicht die Erhaltung des Systems wechselwirkender Objekte, sondern seine Veränderung im Vordergrund. Zweifellos durchdringen in der physikalischen Forschung sich beide Wege. Wir haben sie nur auseinandergehalten, weil für die philosophische Betrachtung sowohl die eine Seite, die Erhaltung des Systems, als auch die andere Seite, die Veränderung des Systems, Idealisierungen darstellen, die unter bestimmten Bedingungen gelten. Veränderung ohne Erhaltung ist unmöglich. Das würde bedeuten, daß keine relativ stabilen Systeme wechselwirkender Objekte existieren würden, in denen bestimmte Parameter erhalten bleiben. Das ist aber durch die Überprüfung der Erhaltungssätze bestätigt. Andererseits gibt es keine Erhaltung ohne Veränderung. Die Erhaltung gilt aus der Veränderung heraus. Weil ein Objekt seine Parameter in der Wechselwirkung verändert und auch das andere Objekt sie verändert, gelten für beide Objekte Erhaltungssätze. Die Existenz der Veränderung wird auch durch die neue relative Gültigkeit der Erhaltungssätze, durch ihre Durchbrechung bestätigt. Das hatten wir mit der Relativität der stabilen Systeme angedeutet.

Das führt uns zu einer wichtigen Aussage über das Gesetz: Die vom Menschen erkannten Gesetze sind Widerspiegelungen der objektiven Realität, aber nicht ihrer Gesamtheit, sondern der allgemein notwendigen und we-[359]sentlichen Beziehungen. Die uns nun immer wieder entgegentretende Erkenntnis neuer Gesetze ist nicht nur ein Problem des Erkenntnisprozesses, sondern auch ein Ergebnis der objektiven Wechselwirkung. Wir erkennen Gesetze, die das Verhalten von relativ stabilen Systemen ausdrücken. Aber diese Systeme unterliegen objektiv der Veränderung. Dort, wo die Veränderung wesentlich wird, verliert das Gesetz nun nicht seine Objektivität, sondern es wirken andere Gesetze unter anderen Bedingungen. Der Erkenntnisfortschritt vollzieht sich nun sowohl in der Präzisierung erkannter Gesetze als auch in der theoretischen Erfassung des Zusammenhangs zwischen verschiedenen Gesetzen, die unter entgegengesetzten Bedingungen wirksam sind. So ist die Erforschung des Zusammenhangs zwischen Erhaltung und Nichterhaltung auf der Grundlage der objektiven Wechselwirkung eine wichtige Aufgabe der weiteren Forschung. Nicht nur die Gegenüberstellung von Erhaltung und Nichterhaltung gilt es deshalb zu sehen, sondern ihren Zusammenhang. Starke Wechselwirkung zeigte die Erhaltung der Parität als Gesetz, schwache Wechselwirkung dagegen nicht.

Faßt man nun die schwache Wechselwirkung gerade als das Verschwinden der starken wechselwirkenden Kräfte, als die Auflösung des wechselwirkenden Systems auf, dann wird folgendes deutlich:

1. Immer weniger Erhaltungssätze gelten.

2. Auch kombinierte Erhaltungssätze werden durchbrochen.

3. Die starke Wechselwirkung wird zu einem Grenzfall (von der Systemerhaltung oder -veränderung her gesehen) der schwachen Wechselwirkung, da die systemerhaltenden Kräfte nicht mehr überwiegen, sondern die Veränderung des Systems in den Vordergrund tritt.

4. Die Stabilität des wechselwirkenden Systems ist abhängig von der Stärke der Kräfte.

Diese mit der Untersuchung der Wechselwirkung verbundenen Probleme sollen uns andeuten, wie die weitere Forschung der Physik direkt unser Verständnis des inneren Mechanismus der Wechselwirkung erweitern wird. Offensichtlich sind die Bedingungen bei starker und schwacher Wechselwirkung also unterschiedlich. Die wechselwirkenden Kräfte sind nicht nur bestimmend für die Erhaltung von Parametern, sondern auch für ihre Nichterhaltung. Die Kräfte erhalten einerseits relative Systeme mit wechselwirkenden Objekten, in denen Gesetze des Systems wirken (Erhaltungssätze) und rufen andererseits den Zerfall solcher stabilen Systeme hervor, was zur Verletzung des Erhaltungssatzes, der Symmetrie und damit des Geset-

zes für das System führt. Hier wirken offensichtlich andere Gesetze, die asymmetrischer Natur sind, die die Veränderung des Systems ausdrücken. Offensichtlich bilden aber beide Typen von Gesetzen eine Einheit.

[360] Aber über solche Fragen und Probleme muß die weitere Forschung entscheiden, die damit auch weiteres Material für die philosophische Verallgemeinerung liefern und es gestatten wird, die philosophischen Thesen zur Wechselwirkung weiter zu präzisieren.

3. Symmetrie und Wechselwirkung

Wir möchten nun zu einem weiteren Problem einige Gedanken äußern, nämlich zum Verhältnis von Symmetrie und Wechselwirkung.

Die physikalische und philosophische Analyse des Verhältnisses von Symmetrie und Wechselwirkung wirft eine Reihe neuer Probleme auf. Dabei ist es zugleich erforderlich, klassische, verallgemeinert mechanisch-materialistische Auffassungen aufzugeben.

E. Wigner weist darauf hin, daß, beginnend mit Galilei und Newton, die Frage der Symmetrie und Invarianz und auch die Erhaltungssätze im Denken der Physiker eine wichtige Rolle spielten. Jedoch wurde ihrer direkten Analyse keine besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Das änderte sich mit den Arbeiten Einsteins und mit der Diskussion um die Quantentheorie. Wigner meint jedoch zur Haltung der Physiker, daß sie intuitiv von der Richtigkeit ihrer Anerkennung der Symmetrie überhaupt überzeugt waren. Er schreibt über den Glauben an die Erhaltungssätze: „Der Glaube an die Gesetze der Erhaltung war so stark, als wenn sie allen direkt einsichtig wären. Das ist jedoch noch ein Beispiel dafür, daß die Intuition des Physikers stärker ist als sein Wissen.“[31]

Sicher hat auch diese Intuition, von der Wigner spricht, ihre Grundlagen. Wie wir schon gesehen haben, gelten Erhaltungssätze für bestimmte Systeme. Zugleich weist das Eingeständnis Wigners auf die Bedeutung der philosophischen Analyse solcher Probleme hin. Intuition ist stets mit bestimmten allgemeinen Auffassungen über die Gesetze und Beziehungen der Natur in ihrer allgemeinsten Form verbunden. Die Annahme von der Symmetrie des Weltalls ist eine weltanschauliche Hypothese und gehört in den Bereich der Philosophie. Deshalb gewinnen auch die Aussagen der Physik über die Symmetrie physikalischer Vorgänge besondere philosophische Bedeutung. Wir werden später versuchen, etwas zum philosophischen Verhältnis von Symmetrie und Asymmetrie zu sagen.

[361] Durch die mit der Untersuchung der Wechselwirkung auftauchenden Probleme wird auch die Untersuchung der Symmetrie mehr in das Blickfeld des Physikers gerückt. Der Versuch, alle physikalischen Erscheinungen auf eine Art der Wechselwirkung zurückzuführen, scheiterte. Damit zeigte sich zugleich, daß es keine allgemeine Symmetrie des Weltgeschehens gibt. Symmetrie ist mit Wechselwirkung verbunden.

Wigner unterscheidet klassische geometrische Prinzipien der Invarianz und neue dynamische. Zu den dynamischen schreibt er: „Neue dynamische Prinzipien der Invarianz werden in der Terminologie der Gesetze der Natur formuliert. Sie gelten für bestimmte Arten der Wechselwirkung, aber nicht als eigentliche Korrelationen zwischen Ereignissen.“[32]

Wigner kommt es darauf an, den Unterschied hervorzuheben, der zwischen den geometrischen und dynamischen Invarianzprinzipien besteht. Die geometrischen beziehen sich auf die Korrelation von Ereignissen, unabhängig von der Wechselwirkung. Interessant ist nun gerade

[31] E. Wigner, Symmetrie und Conversation, Laws Physics Today 17, 94 (1964). Zitiert nach: Erfolge der physikalischen Wissenschaften, Bd. XXXIII, Teil 4, August 1964, S. 730 (russ.).
[32] Ebenda, S. 731.

die neue Problemstellung, die mit der Wechselwirkung verbunden ist. Auch Wigner, wie viele andere, betont, daß das Problem der Wechselwirkung noch geheimnisvoll ist.[33]

Im weiteren beschäftigt sich Wigner mit den dynamischen Invarianzen und den Beziehungen zwischen den geometrischen und dynamischen Invarianzen. Was uns an seinem Beitrag interessiert, weil es typisch für die Situation ist, ist folgendes:

1. Die Betrachtung der Symmetrien, Invarianzen und damit der Erhaltungssätze ist ein Zentralproblem bei der weiteren Erkenntnis der Struktur der Elementarobjekte.

2. Hervorgehoben wird der enge Zusammenhang zwischen Symmetrie und Wechselwirkung, der vor allem durch die Arbeiten der letzten Jahre immer deutlicher wurde. Es zeigt sich, daß verschiedene Symmetrien nur in Abhängigkeit von bestimmten Wechselwirkungen existieren.

3. Damit wird die Untersuchung des Verhältnisses von Symmetrie und Asymmetrie aktuell, was jedoch noch zuwenig im Vordergrund steht. Im wesentlichen wird das Problem nur von der Symmetrie her angegangen. Der Fakt der Asymmetrie wird konstatiert und der Versuch unternommen, neue Symmetrien zu finden.

Die Aufmerksamkeit, die das Problem der Symmetrie physikalischer Prozesse unter den Physikern einnimmt, erfordert auch die Präzisierung des [362] philosophischen Standpunkts zu dieser Frage. Dabei muß nach Ansicht des Verfassers gerade von seiten der marxistischen Philosophen dem Verhältnis von Symmetrie und Asymmetrie mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Im Zusammenhang mit dem von uns betrachteten Problem des Verhältnisses von Gesetz und Bedingungen tritt uns hier die Bedingtheit einer wichtigen Gruppe von Gesetzen entgegen. Offensichtlich ist auch ein so allgemeines Prinzip wie das der Symmetrie objektiver Vorgänge an bestimmte Bedingungen gebunden, ist auch dieses Prinzip nicht bedingungslos gültig.

Wir haben schon auf den engen Zusammenhang von Symmetrien und Erhaltungssätzen verwiesen. Sicher gibt es in jedem konkreten Prozeß, der mit der Veränderung von Parametern verbunden ist, also dem Austausch von Energie oder der Veränderung des Impulses beim Zusammenstoß, auch eine Richtung des Prozesses, die wir durch die Zeit charakterisieren. Die Gerichtetheit der Zeit ist darin begründet, daß in einem materiellen Prozeß die Ursache die Wirkung erst hervorruft. Es kann nicht erst ein Signal empfangen werden, und dann geht erst die Welle ab, die das Signal übermittelt. Wie verhält es sich aber nun mit dieser Gerichtetheit der Zeit in einem relativ abgeschlossenen System wechselwirkender Objekte? Wenn wir nur die dort geltende Erhaltung zugrunde legen und berücksichtigen, daß die vor sich gehenden Reaktionen auch in umgekehrter Richtung verlaufen können, dann ist die Zeitrichtung nicht im Reaktionsgesetz enthalten. Solange es uns nicht gelingt, eine nicht umkehrbare Reaktion zu finden, können wir die Nichtumkehrbarkeit der Zeit nicht im Gesetz erfassen.

Nun geht aber ein großer Teil der Wissenschaftler gerade von dem Gedanken der Umkehrbarkeit jeder Reaktion aus. Diese Anerkennung der Symmetrie hat große heuristische Bedeutung für die weitere Forschung. Sie zwingt den Physiker, bei der Aufdeckung einer gerichteten Reaktion so lange zu suchen, bis er die entgegengesetzte Reaktion ebenfalls gefunden hat.

Wir können also festhalten, daß bei der Hervorhebung der allgemeinen Seiten einer physikalischen Reaktion keine Gerichtetheit vorliegt, sondern jede Reaktion sowohl in der einen als auch in der anderen Richtung verlaufen kann. Nun können wir aber die Zeit überhaupt nur durch objektive Veränderungen messen. Da wir aber in unseren Gesetzen nicht die konkrete Veränderung selbst, sondern die allgemein notwendigen und wesentlichen Beziehungen des

[33] Ebenda, S. 732.

wechselwirkenden Systems berücksichtigen, haben wir einerseits die Asymmetrie in bezug auf einen gerichteten Vorgang und andererseits die Symmetrie in bezug auf die allgemeinen, wesentlichen Beziehungen. Die Symmetrie erweist sich als eine für die Forschung [363] wesentliche Abstraktion. Es muß jedoch ihr Charakter als Idealisierung betont werden. Die Zeit drückt uns also zwar die Richtung der Veränderung aus, oder besser, die Unumkehrbarkeit der Zeit ist Ausdruck der gerichteten Veränderung der materiellen Systeme. Bei der Erkenntnis der Gesetze heben wir jedoch als Idealisierung die Symmetrie der wirklichen Prozesse hervor, wodurch die Zeit in die Gesetze nicht als gerichtete Größe eingeht.

Durch die Entdeckung des Entropiegesetzes schien hier ein Ausweg möglich. Da im Entropiesatz die Gerichtetheit der Prozesse ausgedrückt wird, schien mit ihm die Möglichkeit gegeben, auch die Richtung der Zeit zu erfassen. Dabei wurde jedoch wiederum die Gerichtetheit und damit Asymmetrie der materiellen Vorgänge verabsolutiert. Nimmt man die Ewigkeit der Zeit und verbindet sie mit gerichteten Prozessen, dann kommt man zu der Annahme einer absoluten Weltzeit, an deren Richtung alle anderen Veränderungen, auch diejenigen, die umkehrbar sind, gemessen werden können. Daß diese Annahme nicht richtig ist, zeigt auch das Entropiegesetz selbst. Es läßt keine ewige Dauer der Veränderung zu, sondern gibt einen Endpunkt für die gerichtete Veränderung des Systems an. Wenn ein Höchstmaß an Unordnung in dem System erreicht ist, z. B. alles auf Wärmebewegung zurückgeführt ist, dann bricht auch die bisherige Zeitskala zusammen, weil dann nach dem Gesetz keine weitere gerichtete Veränderung mehr möglich ist. Das bringt uns wieder auf den implizit schon von uns zum Ausdruck gebrachten Gedanken der Einheit von Symmetrie und Asymmetrie zurück, die sich in allen wirklichen Prozessen zeigt.

Dabei gewinnt durch die Aufdeckung der Rotverschiebung der Spektrallinien der Nebel und die Möglichkeit eines pulsierenden oder sich gerichtet ausdehnenden Weltalls diese behauptete Einheit von Symmetrie und Asymmetrie neue Argumente. Auch hier gilt wieder die Durchbrechung der Symmetrie für einen bestimmten Bereich materieller Prozesse. Man könnte mit diesen gerichteten Prozessen ein Zeitsystem verbinden, in dem auch die Zeit gerichtet ist. Hier bricht nun die Zeitskala in dem Moment zusammen, wo wir die Richtung der Veränderung bis zu ihrem Ausgangspunkt verfolgen. Das bedeutet aber nur, daß dort qualitative Veränderungen stattgefunden haben und die vorhergehenden materiellen Prozesse eine neue Zeitskala verlangen.

Wir hätten also die Einheit von Symmetrie und Asymmetrie in zweifacher Hinsicht zu berücksichtigen:

1. Die Durchbrechung der Symmetrie durch die wirkliche Veränderung von Parametern bei der Wechselwirkung von Objekten wird in den Erhaltungssätzen wieder aufgehoben. Die Gesetze für ein System wech-[364]selwirkender Objekte sind unter bestimmten Bedingungen symmetrisch. Wir abstrahieren dabei von der Gerichtetheit einzelner Reaktionen im System und heben die Symmetrie der Beziehungen im Gesamtsystem hervor.
2. Es gibt jedoch auch solche sich verändernden Systeme, in denen die Wechselwirkung nicht zur allseitigen Symmetrie führt, sondern in denen die Symmetrie durchbrochen wird. Die dabei untersuchte Gerichtetheit der Prozesse führt uns auch zu einer tieferen Einsicht in die objektiv-realen Beziehungen. Die Symmetrie erweist sich als idealisiertes heuristisches Prinzip für die Forschung. Sie drückt eine wesentliche Seite der wirklichen Beziehungen aus, die jedoch durch die Aufdeckung von Asymmetrien ergänzt werden muß. Es ist also die Frage zu beantworten: Kann man die Asymmetrie wirklicher Vorgänge als Gesetz erfassen? Ansätze zur Beantwortung dieser Frage bieten die Durchbrechung der Erhaltungssätze bei schwachen Wechselwirkungen, der Entropiesatz, die Richtung der Prozesse im Weltall, die Konzentration von Teilchen in unserem Bereich

des Universums und die mögliche Konzentration von Antiteilchen in anderen Bereichen des Universums. Das alles würde darauf hinweisen, daß die Asymmetrie wirklicher Vorgänge ebenfalls gesetzmäßig ist und die Wissenschaft sie in Gesetzen formulieren kann.

Weshalb betonten wir jedoch die Einheit von Symmetrie und Asymmetrie? Dafür gibt es philosophische Erwägungen, die keineswegs als endgültig zu betrachten sind, jedoch auch geeignet sind, Licht in das Dunkel der Symmetrien und Asymmetrien zu bringen.

Wenn wir von der unendlichen Kompliziertheit der materiellen Objekte ausgehen, dann ist zweifellos die Annahme berechtigt, daß kein Prozeß nur in einer Richtung verläuft. Jede physikalische Erscheinung ist danach umkehrbar. So wechseln bei der Erklärung der Kernkräfte Protonen und Neutronen ständig ihren Platz, indem sie sich ineinander verwandeln. Dadurch erhalten sie sich gegenseitig. Die Symmetrie würde darin bestehen, daß keines von beiden Teilchen bei dieser Reaktion ausgezeichnet ist. Aber wir wissen andererseits, daß bei schwachen Wechselwirkungen Links- und Rechtssysteme nicht symmetrisch sind. Zweifellos kann diese Auszeichnung eines Systems in anderen Bereichen, sagen wir in einer Antiwelt, durch die Auszeichnung des anderen Systems aufgehoben werden. So existiert ja auch die Erhaltung der kombinierten Parität. Es besteht jedoch die Möglichkeit, daß auch diese neue Symmetrie verletzt wird.

Wir kommen deshalb zu folgenden allgemeinen Feststellungen:

1. Symmetrien sind Idealfälle für relativ isolierte stabile Systeme, in [365] denen die Asymmetrien der Teilveränderungen dieses Systems zur Symmetrie des Gesamtsystems führen, wobei andere Einflüsse vernachlässigt werden können.
2. Die Veränderung dieser relativ stabilen Systeme führt zur Aufhebung der Wechselwirkung, zur gerichteten Veränderung. Für diese sich verändernden Systeme gilt es, die Gesetze zu finden, die die Asymmetrie der wirklichen Prozesse ausdrücken.
3. Die Einheit von Symmetrie und Asymmetrie zeigt sich darin, daß es kein absolut symmetrisches System gibt, andererseits aber auch keine absolute Gerichtetheit der Prozesse in der Welt existiert. Zu den asymmetrischen Prozessen gibt es entgegengesetzt gerichtete asymmetrische Prozesse, so daß es stets gelingt, eine durchbrochene Symmetrie in einem anderen System wieder herzustellen, ohne zu einer absolut gültigen Symmetrie zu kommen.

Insofern hat auch die Forderung nach Symmetrie immer wieder heuristische Bedeutung für die Forschung, ebenso wie die exaktere und genauere Erforschung der Gerichtetheit materieller Prozesse immer größere Bedeutung gewinnt.

Das führt uns nun zu unserer Ausgangsbetrachtung über die Zeit zurück. Ewigkeit oder Unendlichkeit der Zeit kann nicht die Existenz eines einseitig gerichteten unendlichen materiellen Vorgangs bedeuten. Die philosophische These von der Unendlichkeit der Zeit drückt die ewige Dauer qualitativer Veränderungen der unendlich komplizierten Materie aus. Da die qualitative Veränderung der materiellen Vorgänge zugleich einen Zusammenbruch ihrer bisherigen Zeitskala darstellen, drückt die philosophische These zugleich die Existenz unendlich vieler physikalischer Zeitsysteme für die existierenden qualitativ verschiedenen Prozesse aus. Das ergänzt den vorher geäußerten Gedanken, daß die Asymmetrie wirklicher Prozesse ihre Grenze in der Symmetrie im Weltall besitzt, in dem Sinne, daß einem einseitig gerichteten Prozeß ein anderer Prozeß entgegengerichtet ist, den die Wissenschaft aufdecken muß. Andererseits hat aber auch die Symmetrie ihre Grenzen, wird sie durchbrochen und gilt nur als Grenzfall für stabile Systeme.

Philosophisch allgemein ausgedrückt bedeutet dieser Sachverhalt: Die Einheit von Materie und Bewegung verlangt die ständige Veränderung materieller Systeme, wobei bestimmte physikali-

sche Parameter erhalten bleiben können. Diese Erhaltung ist jedoch nicht absolut. Sie kann durchbrochen werden, gilt jedoch dann im umfassenden System wiederum nur relativ. So wie es keine absolute Richtung der Veränderung gibt, so gibt es auch keine absolute Symmetrie.

[366] Wie wir schon anfangs betonten, geht es bei dem Verhältnis von Wechselwirkung, Gesetz und Symmetrie um eine philosophisch und physikalisch noch nicht genügend erforschte Erscheinung. Die Untersuchung dieses Problems hat Bedeutung für die marxistische Philosophie. Ergebnisse über das Verhältnis von Erhaltung, Symmetrie und Wechselwirkung berühren eine ganze Reihe philosophischer Thesen, von der philosophischen Bewegungstheorie bis hin zur Unendlichkeit.

Wir wollten in diesem Zusammenhang einige damit zusammenhängende philosophische Probleme zeigen, die der weiteren Untersuchung bedürfen. Dazu gehören:

1. Welche Rolle spielen verschiedene Typen von Gesetzen? Drücken die Erhaltungssätze und Gesetze für die Veränderung von Systemen zwei Seiten des objektiven Prozesses, nämlich Stabilität und Nichtstabilität von Systemen aus?
2. Welchen Fortschritt gibt es von der Physik her bei der Erforschung der objektiven Wechselwirkung? Welche offenen philosophischen Probleme gibt es hier noch?
3. Existiert die charakterisierte Einheit von Symmetrie und Asymmetrie? Gibt es Gesetze, die die Asymmetrie ausdrücken? Welche Beziehungen haben diese zu Gesetzen, die die Symmetrie ausdrücken?

Viele dieser Fragen sind noch nicht mit der nötigen philosophischen Präzision gestellt. Manches wird sich sicher als nicht voll haltbar erweisen. Den wirklichen Erkenntnisfortschritt wird die experimentelle Überprüfung hypothetischer Ansätze bringen müssen. Aber, das ist offensichtlich, es liegt hier ein für die Weiterentwicklung der Philosophie wesentliches Problem vor, das weiter untersucht werden muß. [367]

4. Zum Verhältnis von Struktur und Symmetrie in Physik und Philosophie

Einige Entwicklungstendenzen in Physik und Philosophie verlangen von den marxistisch-leninistischen Philosophen die Analyse des Verhältnisses von Struktur und Symmetrie. Erstens kann man hervorheben, daß in den theoretischen Ansätzen zu einer Elementarteilchentheorie Symmetrien und Symmetriegruppen große Bedeutung haben. Man könnte etwa auf die Erfolge verweisen, die mit der SU(3)-Gruppe durch den Aufbau von Multipletten erreicht worden sind. Zweitens geht das Bemühen vieler Physiker dahin, etwas über die Struktur der Nukleonen zu erfahren. Baraschenkow und Blochinzew bezeichneten in ihrem Referat auf dem Moskauer Symposium zu Problemen der Dialektik in der modernen Naturwissenschaft die Erforschung der Elementarteilchenstruktur als eine der wichtigsten Aufgaben der Elementarteilchenphysik, die zugleich eng mit philosophischen Problemen verbunden ist. So ist etwa die Frage zu beantworten, welcher Unterschied zwischen der Anwendung des Begriffs der Struktur auf Mikro- und Makroobjekte besteht. Kann man überhaupt von der Struktur eines von vornherein als elementar angenommenen Objektes sprechen?[34] Drittens gibt es in der Philosophie eine Reihe von Kategorien und Kategorienpaaren, die im Zusammenhang mit der strukturellen Betrachtungsweise, wie sie besonders auch durch die Kybernetik in vielen Wissenschaften gefördert wird, präzisiert werden müssen oder sogar ihre erstrangige Bedeutung verlieren. So werden die früher viel benutzten Begriffe, Dinge und Erscheinungen durch die Begriffe Element, Struktur und System, die uns die Wirklichkeit besser erfassen lassen, in den Hintergrund gedrängt. Kategorienpaare wie Teil-Ganzes, Inhalt-Form usw. müssen in diesem Zusammenhang präzisiert werden.

[34] Vgl. Philosophische Fragen der modernen Physik, Moskau 1966, Teil 4, S. 71 f.

[368] Um die hier angedeutete Aufgabe von philosophischer Seite lösen zu können, ist eine präzisere Fassung des Begriffs Struktur erforderlich. Dazu können wir bereits vorliegende Ergebnisse der kybernetischen Systemtheorie ausnutzen, wie sie in der Arbeit von Oskar Lange in der Anwendung auf die marxistische Philosophie dargestellt werden. Sicher besteht die Aufgabe der marxistischen Philosophie nicht einfach darin, Ergebnisse der Kybernetik kritiklos in die marxistische Philosophie einzubauen. Aber wir müssen, wo es möglich ist, unsere philosophischen Begriffe mit Hilfe kybernetischer Begriffsbildungen schärfer fassen.[35] Der Vergleich philosophischer und kybernetischer Begriffe liefert zugleich Ansätze zur kritischen Analyse kybernetischer Begriffe. So kommen wir also zu einer wechselseitigen Beeinflussung von Kybernetik, Philosophie und anderen Wissenschaften. Die Philosophie leistet dabei vor allem die Überprüfung des benutzten Begriffsapparats. Man würde jedoch diese Aufgabe falsch verstehen, wenn man der Philosophie selbst das Recht zuspräche, alle Begriffe an den philosophischen Kategorien zu überprüfen, diese müssen selbst präzisiert werden. Also wird auch die Philosophie in die Analyse einbezogen und der Begriffsapparat mit Hilfe der einzelwissenschaftlichen Erkenntnisse der Wirklichkeit besser angepaßt. Begriffsschärfe erleichtert sowohl den Meinungsstreit um die dialektischen Beziehungen zwischen Element-Struktur-System, als auch die Anwendung philosophischer Thesen auf einzelwissenschaftliche Diskussionsprobleme.

Die Bedeutung des strukturellen Herangehens an die Wirklichkeit wurde deutlich bei der Behandlung des Raums als Struktur. Überhaupt erschließen sich für die Raum-Zeit-Problematik, die eng mit der Symmetrieproblematik verbunden ist, neue Aspekte, wenn man sie nicht allein in die Inhalt-Form-Beziehung einordnet, sondern sie als Raum-Zeit-Struktur betrachtet. Mit der Inhalt-Form-Beziehung kann die Raum-Zeit-Problematik der modernen Physik philosophisch nur ungenügend und einseitig erfaßt werden. Die von Engels aufgestellte These von Raum und Zeit als den Existenzformen der Materie hatte und hat große weltanschauliche Bedeutung in der Auseinandersetzung mit idealistischen Auffassungen, die die raumzeitlichen Beziehungen nicht als objektiv-real ansehen. Das traf auf die direkte [369] Kritik des Kantschen Apriorismus durch Engels und Lenin zu. Später half die Einordnung der Raum-Zeit in die Inhalt-Form-Beziehung bei der Auseinandersetzung mit Behauptungen, die Relativitätstheorie wäre mit dem dialektischen Materialismus nicht vereinbar. Betrachtete man die Materie als Inhalt und die Raum-Zeit als Form, so ließ sich die Erkenntnis der Relativitätstheorie als Wechselbeziehung von Materie und Raum-Zeit erfassen. Diese philosophische Interpretation half zwar bei der Widerlegung der philosophischen Gegner der Relativitätstheorie, barg jedoch eine Gefahr in sich. Verstand man Inhalt im Sinne von Substanz, so kam man zur mechanisch-materialistischen, dichotomischen Betrachtungsweise zurück. Man sucht zur Raum-Zeit den Inhalt, die Materie und zur Materie die Form, die Raum-Zeit. Solche Gedanken haben aber nur einen begrenzten heuristischen Wert und reichen nicht aus, um die modernen Probleme etwa der Geometrodynamik philosophisch zu erfassen.

Wir stehen heute vor einer prinzipiellen Umwälzung unserer physikalischen Raum-Zeit-Auffassung, die mit der Relativitätstheorie nur begonnen, durch die Kritik der Quantentheorie an der Deutung des Ortsbegriffs fortgesetzt wurde und heute in der Elementarteilchentheorie und Kosmologie fortgeführt wird. Die Untersuchung n-dimensionaler abstrakter Räume und der Aufbau der Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit sowie der notwendigen verschiedenen Raum-Zeit-Theorien für verschiedene physikalische Theorien macht die Beziehung zwischen mathematischen und physikalischen Räumen interessant. Es wird, wie wir gesehen haben, immer schwieriger, beide voneinander abzugrenzen.

[35] Kritisch wurde bereits im zweiten Kapitel auf die Auffassungen von O. Lange und von marxistischen Philosophen zur Strukturauffassung eingegangen. Hier geht es darum, die Ergebnisse der Systemtheorie zur Klärung des Verhältnisses von Struktur und Symmetrie zu nutzen und einige spezielle Probleme der Elementarteilchenphysik zu behandeln, vor allem den Gedanken C. F. Weizsäckers zur Einheit der Physik.

Wie unsere zukünftige Raum-Zeit-Auffassung aussehen wird, ist noch nicht klar. Auch das Scheitern oder Gelingen der Geometrodynamik wird uns weiterhelfen, ebenso wie andere physikalische Forschungsrichtungen. Damit ist jedoch die physikalische Raum-Zeit-Problematik aus dem Interesse weltanschaulicher Auseinandersetzungen, in dem sie im vergangenen und anfangs unseres Jahrhunderts stand, herausgerückt und in den Mittelpunkt des Meinungsstreits zwischen Philosophen und Physikern getreten, denen es um die Ausarbeitung der philosophischen Konsequenzen der Umwälzung in unserem Raum-Zeit-Denken geht. Geht man davon aus, daß materielle Systeme, etwa physikalische Prozesse, einerseits eine innere Struktur besitzen und andererseits in umfassendere Systeme eingebettet sind, so sind die raumzeitlichen Beziehungen sowohl Bestandteil der inneren Struktur als auch der Struktur des umfassenderen Systems. Treder verweist in diesem Zusammenhang auf die wichtige Beziehung zwischen Quantentheorie und allgemeiner Relativitätstheorie, die „sich gegenseitig logisch ergänzen und abstützen". Er trägt die Argumente zusammen, die dafür [370] sprechen, daß „die relativistische Raum-Zeit-Union eine grundsätzlich andere Rolle in der Physik spielt als die übrigen, abstrakten Räume". Die Beziehung zwischen den abstrakten Räumen, in denen man Ergebnisse von Messungen mathematisch formulieren kann, und den physikalischen Messungen selbst, für die wir Einheitsmaßstäbe und Einheitsebenen brauchen, führt nach Treder über die allgemeine Relativitätstheorie hinaus.[36]

War es möglich, die Wechselbeziehungen zwischen der Struktur der Kausalbeziehungen und der Metrik der Raum-Zeit-Welt einerseits und der Einwirkung der physikalischen Prozesse auf die Metrik andererseits angenähert als Inhalt-Form-Dialektik zu erfassen, so reicht diese dialektische Beziehung nicht aus, um z. B. das Verhältnis zwischen abstrakten Räumen und der Raum-Zeit-Welt philosophisch zu verstehen. Alle Räume haben bestimmte mathematische Strukturen. Sie erfassen offensichtlich bestimmte Seiten des objektiv-realen Beziehungsgefüges in Systemen, sind also Teil der Struktur von Systemen. Damit führt uns auch die Raum-Zeit-Problematik zur notwendigen Präzisierung der philosophischen Begriffe System, Struktur und Element.

Es soll gezeigt werden, daß diese Präzisierung durch die Ausnutzung kybernetischer Gedankengänge neue Anregungen erhält. Philosophische Diskussionen, die unabhängig von den Einsichten geführt werden, die andere Wissenschaften erarbeitet haben, sind dem philosophischen Fortschritt nicht dienlich. Sicher sind kybernetische Erkenntnisse und Begriffsbildungen oft selbst noch zu präzisieren. Auch dabei muß die Philosophie helfen.

Die Präzisierung philosophischer Begriffe mit Hilfe kybernetischer Erkenntnisse liefert jedoch noch ein anderes Ergebnis. Es zeigt sich, daß die so präzisierten Begriffe nur begrenzte Gültigkeit haben. So muß der Begriff des Elements in einem System bei der Anwendung auf die Elementarteilchenphysik erweitert werden, weil bei der Einwirkung von Elementarteilchen aufeinander diese sich nicht nur gegenseitig beeinflussen, sondern sich auch ineinander umwandeln können. Die Anwendung präzisierter philosophischer Begriffe auf einzelwissenschaftliche Tatbestände ist also selbst wieder ein Gebiet erkenntniskritischer philosophischer Arbeit, die Rückwirkungen auf andere Wissenschaftsbereiche haben kann.

In der philosophischen Literatur wird immer wieder hervorgehoben, daß der Begriff der Struktur nur im Zusammenhang mit den Begriffen Element und System gefaßt werden kann. So betrachtet Owtschinnikow[37] den Begriff [371] des Systems als Ausgangsbegriff zur Analyse der

[36] Vgl. H.-J. Treder, Die Eigenschaften physikalischer Prozesse und die geometrische Struktur von Raum und Zeit, in: DZfPh, Heft 5, 1966, S. 562 ff.

[37] Vgl. N. F. Owtschinnikow, Prinzipien der Erhaltung, S. 261. Die Kritik an der Identifizierung von Gesetz und Struktur, da die Struktur nur als invarianter Aspekt des Systems gefaßt wird, erfolgte ausführlich im zweiten Kapitel. Diese Auffassung Owtschinnikows beeinträchtigt jedoch nicht die berechtigte Kritik an Swiderski.

Kategorie Struktur. System ist für ihn ein Komplex von Objekten oder Elementen, die sich in einer bestimmten Beziehung zueinander befinden, während die Struktur den invarianten Aspekt des Systems darstellt. Owtschinnikow untersucht dann die Struktur als invariantes Ensemble der Beziehungen auf der Ebene der Elemente, der Beziehungen zwischen den Elementen und auf der Ebene des Gesamtsystems. Dabei setzt er sich kritisch mit den Arbeiten von Swiderski auseinander, der Struktur und Element einander entgegenstellt und als Struktur nur „die Art und Weise, das Gesetz des Zusammenhangs" der Elemente faßt.[38] Nach Owtschinnikow wird von Swiderski nur die Beziehung oder der Zusammenhang als Struktur gefaßt, was den Begriff der Struktur aber einengt und ihn mit dem Begriff der Beziehung oder des Zusammenhangs identifiziert. Für Owtschinnikow sind Beziehungen oder Zusammenhänge nur einer der Aspekte des Strukturbegriffs, denn zur Struktur gehören seiner Ansicht nach auch die Elemente.

Es ist interessant, daß in den Arbeiten von Swiderski kaum auf den Begriff des Systems eingegangen wird. Er faßt die Struktur als „Prinzip, Art und Weise, Gesetz des Zusammenhangs der Elemente im Rahmen des gegebenen Ganzen".[39] Hier wird der Begriff des Systems sogar ausgenutzt, um die Struktur zu charakterisieren. Damit kann jedoch die dialektische Beziehung zwischen Element-Struktur-System nicht mehr richtig erfaßt werden. Das verhindert vor allem auch die einseitige Gegenüberstellung von Elementen und Strukturen, womit einerseits die Beziehungen innerhalb eines Systems nur einseitig erfaßt werden und andererseits auch das Verhältnis verschiedener Systeme zueinander, vor allem, wenn sie einander subordiniert sind, nicht richtig betrachtet werden kann. Swiderski behandelt einseitig nur Kategorienpaare, während die dialektischen Beziehungen sich nicht nur in Paaren ausdrücken lassen. Die Untersuchung dialektischer Beziehungen muß von den objektiven Zusammenhängen ausgehen und alle Erkenntnisse berücksichtigen, die die Wissenschaften über die zu betrachtenden Objekte gewonnen haben. Dabei kennen wir notwendig und zufällig sich verwirklichende Möglichkeiten, wesentliche und unwesentliche zufällige [372] Einwirkungen auf ein System. Die Bindung etwa der Kategorie Zufall nur an die Notwendigkeit oder der Möglichkeit allein an die Wirklichkeit würde uns deshalb die komplizierten objektiven Zusammenhänge nicht erkennen lassen. In unserem Fall führt die einseitige Gegenüberstellung von Struktur und Element nicht weiter, wenn man die Beziehung der Struktur und der Elemente zum System außer acht läßt.

Um das noch deutlicher zu machen, wollen wir einige Ergebnisse der bereits kritisch besprochenen Auffassung von Lange für die Argumentation mit ausnutzen. Lange betrachtet aktive Elemente, worunter er ein materielles Objekt versteht, das auf bestimmte Weise von anderen materiellen Objekten abhängt und das auf bestimmte Weise auf andere materielle Objekte einwirkt.[40] Die Beziehung zwischen den Eingangs- und Ausgangszuständen, also die Verhaltensweise des Elementes E, läßt sich mathematisch als Transformation des Vektors x (Eingangsvektor) in den Vektor y (Ausgangsvektor) darstellen:

$$y = T(x).$$

T ist dabei der Transformationsoperator, der die Regel angibt, nach der der Vektor x in den Vektor y umgewandelt wird. Die Einwirkung des Elements E_1 auf das Element E_2 wird nun so dargestellt, daß E_2 als Eingänge den Zustand einiger oder auch aller Ausgänge von E_1 empfängt. Zwei Elemente sind dann gekoppelt, wenn die Komponenten des Ausgangsvektors des einen Elements zu Komponenten des Eingangsvektors des anderen Elements umgewandelt werden. Für die Kopplung der Elemente läßt sich eine Kopplungsmatrix bilden, mit deren Hilfe man die Einwirkung der Elemente aufeinander erfassen kann:

[38] W. I. Swiderski, Über die Dialektik von Elementen und Strukturen, Moskau 1962, S. 18.
[39] Ebenda.
[40] Vgl. O. Lange, Ganzheit und Entwicklung in kybernetischer Sicht, Berlin 1966.

$$x^{(s)} = C_{sr}\, y^{(r)}$$

Unter einem System kann man dann eine Menge gekoppelter aktiver Elemente verstehen. Die in diesem System vorhandenen Kopplungsmatrizen bilden eine Matrix *S*, die Strukturmatrix des Systems heißt. Aus der Strukturmatrix eines Systems können verschiedene Eigenschaften des Kopplungsgesetzes bereits abgelesen werden. So sind aus ihr die Randelemente zu ersehen, unter denen man Elemente versteht, die mit keinem Element des Systems gekoppelt sind oder mit denen kein Element des Systems gekoppelt ist. Die Menge der Randelemente ist die Oberfläche des Systems. Ein System ohne Oberfläche ist ein geschlossenes System, während ein System, das Randelemente enthält, ein offenes System ist.

[373] Lange untersucht dann die Verhaltensweise des Systems. Sind *X* und *Y* die Anfangszustände der Eingänge und Ausgänge des Systems und *X'* und *Y'* die neuen Zustände nach der Transformation, dann kann die Verhaltensweise des Systems in folgender Form dargestellt werden:

$$X' = ST(X),$$
$$Y' = TS(Y).$$

Lange schreibt zu diesem Ergebnis: „Wie wir also sehen, hängt die Verhaltensweise des Systems sowohl von der Matrix *T* der Verhaltensweisen der Elemente als auch von der Strukturmatrix *S* des Systems ab. Um also die Verhaltensweise des Systems bestimmen zu können, reicht es nicht aus, die Verhaltensweise der Elemente zu kennen, die durch die Matrix *T* ausgedrückt werden, sondern man muß außerdem die Strukturmatrix *S* des Systems kennen, die das Netz der Kopplungsnetze der Elemente repräsentiert.“[41]

Der von uns hier nur kurz geschilderte Gedankengang von Lange, philosophische Kategorien mit Hilfe kybernetischer Begriffsbildungen zu erfassen, zeigt uns, wie wichtig die Präzisierung der philosophischen Begriffe ist, um Fragen beantworten zu können, die im philosophischen Meinungsstreit auftauchen. Es wird daraus offensichtlich, daß erst die Betrachtung der Beziehung zwischen Element und System uns die Struktur erfassen läßt. Ohne die Existenz relativ isolierter offener Systeme wäre die Struktur die Gesamtheit aller Beziehungen zwischen den überhaupt existierenden Elementen. Eine solche Struktur ist nicht erfaßbar.

Für den dialektischen Materialismus ist die Klärung des objektiven Charakters von Beziehungen in einem System in der Auseinandersetzung mit idealistischen Auffassungen, die in der Existenz von Ganzheiten das Wirken immaterieller Gegebenheiten sehen, besonders wichtig. Die Struktur des Systems kann nicht aus dem Verhalten der einzelnen Elemente allein bestimmt werden. Gerade ihre Wechselwirkung im System, d. h. ihre Kopplung, bringt bestimmte strukturelle Beziehungen hervor, die zur Grundlage der Erkenntnis des Systems auch in dem Moment dienen können, wenn die Elemente noch nicht vollständig erkannt sind.

Ausgehend von seiner Gegenüberstellung von Struktur und Element vernachlässigt Swiderski die relative Selbständigkeit von Strukturen im System, wenn er schreibt: „Die Struktur, so kompliziert sie auch sein mag, wird letzten Endes durch die ihr eigenen Elemente bestimmt.“[42] Man [374] muß dabei berücksichtigen, daß Swiderski sich in diesem Zusammenhang vor allem mit „strukturalistischen“ Konzeptionen auseinandersetzt, denen er vorwirft, daß nach ihrer Auffassung die Elemente erst in Abhängigkeit von der Struktur ihre Bedeutung erhalten. Dem stellt er die Behauptung entgegen, daß die Elemente den Charakter der Struktur bestimmen.[43] Damit wird jedoch gerade das echte Problem nicht deutlich. Die Alter-

[41] Ebenda, S. 28.
[42] W. I. Swiderski, Über die Dialektik von Elementen und Strukturen, S. 35 f.
[43] Vgl. W. I. Swiderski, Einige Fragen der Dialektik von Veränderung und Entwicklung, Moskau 1965, S. 153.

native kann doch nicht sein, ob entweder die Struktur der Elemente oder die Elemente die Struktur bestimmen. Wichtig ist für uns die Verhaltensweise des Systems, die aber wird sowohl durch die Verhaltensweise der Elemente als auch durch die Strukturmatrix bestimmt.

Wir sehen, wie eine einseitige Fragestellung zu vielen Auseinandersetzungen führen kann, die die Entwicklung des philosophischen Denkens nicht voranbringen, da die Frage auf einer sinnlosen Alternative beruht. Solange man an der Gegenüberstellung von Struktur und Element festhält und in dieser Gegenüberstellung nach einem bestimmenden Teil sucht, wird nicht gesehen, daß Struktur und Element die Verhaltensweise des Systems bestimmen. Deshalb ist es auch nicht möglich, solange man Verhalten und Bestandteile des Systems untersucht, die dabei auftauchenden dialektischen Beziehungen in einem Kategorienpaar zu erfassen. Erst wenn man die Beziehungen zwischen subordinierten Systemen untersucht, kann man aus der Beziehung System-Teilsystem-Elemente das Verhältnis System-Element herausnehmen und als Kategorienpaar betrachten. Die aus der falschen Alternative, entweder bestimmen die Elemente die Struktur oder die Struktur die Elemente, entstandene Auseinandersetzung Swiderskis mit Auffassungen, die eine relative Selbständigkeit der Struktur gegenüber den Elementen anerkennen, orientiert die Forschung nicht richtig. Wie wir aus den Bemerkungen zu den abstrakten Räumen sahen, ist ihre Erforschung das gedankliche Auffinden mathematischer Strukturen, die dann geeignet sind, Erkenntnisse der Physik in ihnen darstellen zu können. Das wird in der Elementarteilchentheorie gemacht, wenn man z. B. vierdimensionale Impulsräume benutzt. Die mathematische Untersuchung des Impulsraumes ist unabhängig von den Elementen und ihren Beziehungen, die dann in diesem Raum dargestellt werden. Diese Struktur wird nicht durch die Elemente bestimmt, ist aber ein wichtiges Erkenntnismittel, wie die Ergebnisse der *S*-Matrix-Theorie zeigen.

Sieht man nun von diesen mathematischen Strukturen ab und betrachtet physikalische Prozesse, z. B. Paarbildung oder Paarvernichtung, dann ist [375] für den Physiker nicht nur die Eigenschaft der Elemente wichtig, die an diesem Prozeß beteiligt sind. Das wäre schon die Frage nach der Struktur der Elementarteilchen, die heute noch nicht beantwortet ist. Unabhängig von dieser Antwort kann aber der Physiker schon heute Gesetze formulieren, die die Wechselwirkungen der Teilchen erfassen. Das verweist ebenfalls auf die relative Stabilität der Struktur, unabhängig von *bestimmten* Elementen. In verschiedenen Prozessen sind nämlich die Elemente auswechselbar, wobei die wesentliche Struktur des Prozesses erhalten bleibt. Deshalb ist die Orientierung Swiderskis einseitig. Nicht die Eigenschaften der Elementarteilchen, sondern gerade ihre Beziehungen zueinander in der Wechselwirkung sind die Grundlage für die Erkenntnis. Wir erfahren über die Eigenschaften nur etwas aus der Wechselwirkung der Teilchen und deren Verhalten beim Zusammentreffen. Deshalb muß die Untersuchung des Erkenntnisprozesses verschiedene Aspekte berücksichtigen: Erstens kann man die Frage stellen, ob es allgemeine Prinzipien gibt, die für die Struktur physikalischer Prozesse gelten. Zweitens besteht die relativ stabile wesentliche Struktur von Systemen, die von der Wissenschaft untersucht werden muß, auch unabhängig davon, ob die Eigenschaften der Elemente bekannt sind. Drittens werden die Elemente selbst zum Untersuchungsgegenstand. Aber damit hören sie bereits auf, Elemente in dem Sinne zu sein, wie wir das bisher gefaßt haben.

Wenn wir bisher von Elementen gesprochen haben, so sind diese Elemente keineswegs als unveränderlich angesehen worden. Die Matrix *T* stellte uns ja gerade die Verhaltensweise der Elemente dar. Versucht man jedoch mit diesem Begriff des sich verändernden Elements die philosophischen Probleme in der Elementarteilchenphysik zu erfassen, so ergeben sich mehrere Fragen, die der weiteren Untersuchung bedürfen: Erstens ist die Frage zu klären, ob die Elementarteilchen selbst wieder eine innere Struktur besitzen und worin diese Struktur besteht. Das ist eine Frage, die den inneren Mechanismus der Transformation vom Eingang zum Ausgang selbst zum Gegenstand hat. Unsere bisherigen Betrachtungen haben zwar die-

sen Tatbestand angenommen, aber erwiesen ist er noch nicht. Aussagen über die Elementarteilchen erhalten wir nur aus der Wechselwirkung der Teilchen. Um Elemente in unserem System untersuchen zu können, müssen wir ihre Kopplungen berücksichtigen. Es gibt keine Teilchen, die an sich existieren und deshalb als Einzelteilchen zum Gegenstand der Untersuchung gemacht werden können. Auch von dieser Seite her kann man die Aussage von Swiderski überhaupt nicht verifizieren, daß die Elemente die Struktur bestimmen, denn die Elementarteilchen sind bereits gekoppelt.

Zweitens muß berücksichtigt werden, daß sich die Elementarteilchen in-[376]einander umwandeln können. Damit geht es nicht mehr nur um die Frage nach der Veränderung des Elements durch die Transformation von Eingangs- und Ausgangskomponenten, sondern um das Verschwinden des einen und das Entstehen eines anderen Elements in unserem System gekoppelter Elemente. Das bringt uns zu der Frage, ob nicht die Kopplungen selbst das Wesentliche sind und die Elementarteilchen nur mit und durch die Kopplung existieren. In der von Chew aufgestellten „bootstrap"-Hypothese ist dieser Gedanke für stark wechselwirkende Teilchen entwickelt worden. In den Vordergrund philosophischer und physikalischer Überlegungen würden damit nicht mehr das Verhalten der Elemente selbst, sondern die Struktur eines stark wechselwirkenden Systems von Elementarteilchen treten. Die Elemente verlieren ihre Individualität und existieren nur noch in der Gesamtheit der Beziehungen.

Drittens müssen allgemeinere Prinzipien gesucht und untersucht werden, die eine Entscheidungsgrundlage dafür darstellen, ob bestimmte Verhaltensweisen eines Systems von wechselwirkenden Elementarteilchen überhaupt möglich sind oder nicht. Das führt uns zum Problem des Verhältnisses von Symmetrie und Struktur.

Die von uns zuletzt genannte Frage wurde auch von Weizsäcker in seinem Vortrag auf der Tagung der Physikalischen Gesellschaft der Bundesrepublik 1966 behandelt. Dabei ging es ihm um das noch allgemeinere Problem: Wie ist Physik überhaupt möglich? In diesem Zusammenhang formuliert er die zentrale philosophische These seines Vortrages: „Wer mit hinreichendem Denkvermögen analysieren könnte, unter welchen Bedingungen die Erfahrung überhaupt möglich ist, der müßte zeigen können, daß aus diesen Bedingungen bereits alle allgemeinen Gesetze der Physik folgen."[44]

Weizsäcker erläutert dann, was damit ausgesagt werden soll: „Zunächst ist in ihr (in dieser Hypothese – H. H.) das Faktum der Erfahrung ohne weitere Rückfrage anerkannt ... Wir haben vorhin vermutet, daß die vorliegende Physik aus wenigen einfachen Postulaten folgt; wir dürfen zusätzlich vermuten, daß diese Postulate um so inhaltsärmer werden, je umfassender die betreffende Theorie ist ... Ich vermute jetzt also, daß gerade die Grundpostulate der letzten abgeschlossenen Theorie der Physik nichts anderes mehr formulieren werden als nur die Bedingungen der Möglichkeiten der Erfahrung überhaupt."[45]

[377] Heute sind wir sicher noch weit entfernt von dem von Weizsäcker hypothetisch angenommenen Abschluß der Physik. Aber es ist interessant, wie er die Beziehung zwischen Physik und Philosophie herstellt. Ausgehend von der Kantschen Fragestellung nach der Möglichkeit der Erfahrung versucht Weizsäcker diesen Gedanken auch für die moderne Physik fruchtbar zu machen. Dabei scheint mir jedoch dieser Gedanke noch zu allgemein zu sein, um in der nächsten Zeit zu fruchtbaren Resultaten zu führen. Es sind zwischen den philosophischen und physikalischen Aussagen noch eine ganze Reihe von Lücken vorhanden, die es erst zu schließen gilt. Wir hatten oben bereits gesehen, daß die Präzisierung von Begriffen in der

[44] C. F. v. Weizsäcker, Abschluß und Vollendung der Physik, in: Süddeutsche Zeitung vom 25.10.1966, abgedruckt auch in: Physikalische Blätter, Heft 1/1967.
[45] Ebenda.

Philosophie mit Hilfe der Kybernetik wiederum Fragen nicht beantwortet, die den Begriff des Elements betreffen. Der so präzisierte Begriff des Elements faßt nur einige Seiten des Verhaltens der Elementarteilchen; wesentliche Momente, wie die Umwandelbarkeit der Teilchen ineinander, werden vernachlässigt. Der philosophische Begriff des Elementarobjekts muß dies berücksichtigen und die Fragen mit den Physikern gemeinsam beantworten, wie das Verhältnis von Mikro- und Makrostruktur, von Elementarität und Struktur ist und ob die Elementarteilchen aus fundamentalen Teilchen bestehen, ob vielleicht die Annahme Weizsäckers richtig ist, daß letzte unteilbare Teilchen, die „Ure", existieren. Unsere Auffassungen über die Teilbarkeit, die Unerschöpflichkeit der Beziehungen usw. werden durch die Vielfalt der neuen Einsichten in der Elementarteilchenphysik bereichert. Teilbarkeit kann nicht mehr im klassischen Sinne verstanden werden. Die Teile von Elementarteilchen können auch Elementarteilchen sein, die räumlich nicht kleiner sind. Damit wird nicht mehr eindeutig räumlich festgelegt, daß die Teile kleiner als das Ganze sind. In der Diskussion um die Teilbarkeit muß berücksichtigt werden, daß die Elementarteilchen nicht isoliert existieren, sondern miteinander wechselwirken. Es kann also auch nicht um die Teilung isolierter Objekte gehen. Unsere allgemeinen philosophischen Auffassungen werden also auch durch eine Vielfalt von Möglichkeiten ihrer Konkretisierung bereichert. In dieser Richtung kommen wir nicht nur zu inhaltsärmeren Bestimmungen, sondern zugleich auch zu einer Kritik an diesen inhaltsarmen Bestimmungen in dem Moment, wo sie der Kompliziertheit objektiver Strukturen nicht mehr gerecht werden. Aber ein Bindeglied ist vorhanden, das dem Weizsäckerschen Gedanken entspricht. Es ist die Existenz von Symmetrien und Symmetriegruppen, die die Möglichkeit physikalischer Prozesse charakterisiert. Wenn wir Symmetrie ganz allgemein als Invarianz gegenüber Transformationen betrachten, so gehen wir damit über die bisher betrachteten Systeme hinaus und untersuchen mögliche Verhaltensweisen von Systemen. Weizsäcker meint dazu: [378] „Die Menge der strukturell verschiedenen möglichen Einzelerfahrungen kann unbegrenzt sein. Dem würde entsprechen, daß die allgemeinen Gesetze der Physik eine unbegrenzte Menge ihnen genügender Strukturen als möglich zuließen, deren Erforschung einen unbegrenzten Aufgabenbereich der konkreten Physik ergäbe und wohl auch eine unbegrenzte Stufenfolge immer höherer physikalisch möglicher Strukturen."[46]

Einerseits wird damit von Weizsäcker auf das Problem verwiesen, daß die von uns in den Gesetzen ausgedrückten möglichen Strukturen immer allgemeiner werden und eine unbegrenzte Anzahl wirklicher Strukturen zulassen. Andererseits gibt jedoch bereits die Untersuchung des Verhältnisses von Struktur und Symmetrie genügend Hinweise dafür, daß die allgemeinen Prinzipien nicht immer die Vielfalt der objektiven komplizierten Prozesse erfassen können, und sie deshalb durch andere Prinzipien ergänzt werden müssen.

Die Symmetrien erlauben es, bestimmte Erhaltungssätze zu formulieren, wodurch wir die Möglichkeiten für Systeme wechselwirkender Elementarteilchen festhalten. Weißkopf hebt nun hervor: „Es ist wichtig, sich daran zu erinnern, daß diese Symmetrien nicht alle Eigenschaften der Quantenzustände bestimmen. Sie bestimmen die allgemeine Gestalt und viele andere Eigenschaften, wie die Struktur des Niveauspektrums und Einzelheiten bezüglich der Übergangswahrscheinlichkeiten. Sie bestimmen aber weder die Größe noch die Energien der Quantenzustände. Diese werden durch Natur und Stärke der Kräfte gegeben, mit denen die Teilchen innerhalb des Systems gebunden sind. Diese Symmetrien allein reichen nicht aus zur vollständigen Beschreibung eines Systems; zusätzlich ist die Kenntnis der vorliegenden dynamischen Bedingungen notwendig."[47]

[46] Ebenda; vgl. zur Auffassung Weizsäckers die Bemerkungen von F. J. Zucker, in: Boston Studies in the Philosophy of science, Hrsg.: R. S. Cohen/M. W. Wartofsky, Bd. V, Dordrecht 1969, S. 474 ff.
[47] Wissenschaft und Fortschritt, Heft 9, 1966, S. 401.

Die Symmetrien geben uns also mögliche Reaktionen, während für die Bestimmung der Größe und Energien der Quantenzustände weitere Bestimmungen erforderlich sind. Damit ergänzen wir einerseits unsere Aussagen über die Struktur eines Systems. Im Vergleich mit anderen Systemen liefert die Wissenschaft, die sich mit dem Verhalten dieser Systeme befaßt, in unserem Fall die Physik, allgemeine Prinzipien, die die Skala der denkbaren Reaktionen auf real mögliche Reaktionen einschränken. Das Verhalten des Systems wird also nicht nur durch die Veränderung der Ele-[379]mente und ihre Kopplungen bestimmt, sondern für das Netz der möglichen Kopplungen existieren allgemeine Prinzipien, die nur bestimmte Kopplungen zulassen.

Wenn man nun den Gedankengang Weizsäckers damit in Verbindung bringt, käme es für die Physik darauf an, solche allgemeinen Symmetrien zu finden, die alle möglichen Reaktionen umfassen. Dafür gibt es jedoch z. Z. unüberwindliche Schwierigkeiten.

Wir haben gesehen, daß allgemeine Symmetrien verletzt werden. So gilt bei schwachen Wechselwirkungen die Erhaltung der Parität nicht. Durch den Zerfall des K_2^0-Mesons in zwei Pionen kann man die kombinierte Parität als verletzt annehmen. Die SU(6)-Gruppe gilt für einen Teil der starken Wechselwirkung nicht. Damit taucht als physikalisch und philosophisch interessantes Problem wieder das Verhältnis von Erhaltung und Nichterhaltung, Symmetrie und Asymmetrie auf, das vorher ausführlich betrachtet wurde. Hier interessiert vor allem der Gedanke, daß die allgemeinen Symmetrieprinzipien auch nicht ganz die Vielfalt möglicher Reaktionen erfassen können. Sie bestimmen zwar die Struktur des Systems mit, aber die Struktur selbst kann sich auch als Verletzung der Symmetrien erweisen.

Der Weg Weizsäckers geht deshalb zur Formulierung noch allgemeinerer Prinzipien, die es jedoch fraglich machen, daß man zu experimentell überprüfbaren Aussagen kommen kann. Jedoch haben Ansätze zu allgemeinen Theorien auch erkenntnisfördernden Charakter. Ob Weizsäckers Ansatz Erfolge bringt, muß die physikalische Forschung beweisen. Von anderen Physikergruppen werden Teilprobleme in Angriff genommen, etwa die Untersuchung von Systemen wechselwirkender Teilchen, in denen die Symmetrien gelten oder die Betrachtung der raum-zeitlichen Struktur der Elementarteilchenprozesse usw. Vielleicht ist das erst die Voraussetzung für eine einheitliche Theorie der Elementarteilchen.

Das philosophisch Interessante an der geschilderten Entwicklung besteht vor allem in dem Wechsel des Herangehens an die Untersuchung der Struktur in verschiedenen historischen Etappen. Dabei gibt es keinen linearen Weg zur immer tieferen Strukturerkenntnis. Verschiedene Ansatzpunkte können zu verschiedenen Zeiten, aber auch zur gleichen Zeit berücksichtigt werden. Der Weg geht auch nicht nur von einer einfachen zu einer umfassenderen Theorie, sondern es können gleich allgemeine Theorien nebeneinander existieren, die verschiedene Seiten der physikalischen Prozesse untersuchen, wie Quanten- und allgemeine Relativitätstheorie. Trotzdem kann man die verschiedenen Etappen unterscheiden, die hier nur angedeutet werden können und weiter ausgearbeitet werden müßten. Erstens wurde [380] das Objekt im dreidimensionalen Raum bei absoluter Zeit zum Gegenstand der Untersuchung gemacht. Die klassische Mechanik war eine Theorie für die Bewegung beliebiger Objekte, wobei diese Objekte undurchdringlich sein sollten oder auf solche undurchdringlichen Objekte reduziert werden konnten. Die Struktur des Objekts stand selbst nicht im Mittelpunkt der Untersuchungen. Philosophisch betrachtet konnte man diese Auffassung mit der Annahme existierender Substanzen vergleichen, die sich selbst gleich blieben und sich nach den Gesetzen der klassischen Mechanik bewegten.

Zweitens wurde mit der Entwicklung der Feldphysik die Einheit von Feld und Teilchen betrachtet und damit die Struktur des Prozesses selbst zum Gegenstand der Untersuchung gemacht. Daraus ergab sich die Frage, ob eine allgemeine Feldphysik, in der die Teilchen als Konzentrationspunkte von Energie im Feld gefaßt werden konnten, überhaupt möglich sei.

Das von Einstein entwickelte Programm wird dabei heute von den Quantengeometrodynamikern wieder aufgegriffen und der Versuch unternommen, physikalische Prozesse geometrisch zu fassen.

Drittens wurde versucht, die Vielzahl der Teilchen und ihrer Felder durch allgemeine Prinzipien zu erfassen, die mit den Symmetrien mögliche Reaktionen beschreiben. Hier wird nicht die Struktur eines Systems wechselwirkender Elementarteilchen selbst untersucht, sondern nur die Möglichkeiten für die Existenz bestimmter Strukturen werden betrachtet. Die Schwierigkeit besteht hier darin, die notwendigen Größen, die das wirkliche Verhalten des Systems bestimmen, in die Theorie einzugeben.

So wird die Struktur heute von verschiedenen Seiten untersucht, sowohl ob sie geometrischer Art ist, als auch, ob sie durch Symmetriegruppen faßbar ist.

Viertens deutet sich jedoch schon heute an, daß die Lösung des Problems der Beziehung zwischen Symmetrie und Asymmetrie uns auch bei der Erfassung der Strukturen in der Physik voranbringen wird. Möglicherweise hängt die Lösung dieses Problems mit der Klärung der Frage nach der Struktur der Elementarteilchen zusammen.

Man würde nun philosophisch einen Fehler begehen, würde man jede dieser Etappen als aufgehoben in den nächsten Etappen betrachten, charakterisiert durch eine umfassendere Theorie in der folgenden Etappe. So einfach ist das Verhältnis des Logischen zum Historischen nicht. Zwar ist die klassische Mechanik als Grenzfall $b \rightarrow 0$ in der Quantenmechanik enthalten, aber es wäre sinnlos, alle physikalischen Vorgänge erst quantenmechanisch zu erfassen, um dann mit Hilfe der Randbedingungen zu Aussagen zu kommen, die einfacher gewonnen werden konnten. Deshalb ist es auch weiter notwendig, physikalische Forschungen zu betreiben, die mit Voraus-[381]setzungen arbeiten, die nicht der Feinheit etwa der Quantenmechanik entsprechen. Ebenso treten auch nicht in jedem Bereich relativistische Effekte auf.

Noch komplizierter wird das Verhältnis des Logischen zum Historischen, wenn man die Feldtheorie betrachtet. Es gibt keine allgemeine Feldtheorie. Aber man kann das Programm Einsteins auch nicht einfach als gescheitert betrachten. Man muß die Ergebnisse der Geometrodynamik berücksichtigen und die von anderen theoretischen Ansätzen abwarten, um etwas über das Verhältnis dieser Theorie zu anderen aussagen zu können. Es wäre sicher sinnvoll, das Verhältnis des Logischen zum Historischen am Beispiel der Entwicklung physikalischer Theorien genau zu untersuchen. Darauf haben wir schon zu Beginn unserer Darlegungen hingewiesen.

So bietet die moderne Physik für die marxistische Philosophie viele neue Fragen, die mit dem vorhandenen Begriffsarsenal noch nicht beantwortet werden können, sondern eine weitere Entwicklung der Philosophie verlangen. Durch ihre Analyse einzelwissenschaftlicher Begriffe entwickelt die Philosophie sich selber weiter und hilft durch ihre Erkenntniskritik auch bei der Entwicklung der Einzelwissenschaften. [382]

Nachwort

Ausgehend von dem Verhältnis des dialektischen Materialismus zur Physik stand der Beitrag der Elementarteilchenphysik zum besseren Verständnis der Materiestruktur und seiner philosophischen Deutung im Mittelpunkt der Ausführungen. Die Elementarteilchentheorie befaßt sich mit den heute bekannten physikalischen Grundstrukturen der Materie. So wie in der Geschichte der Philosophie stets, hat auch heute die Untersuchung der elementaren Bausteine der Materie und ihrer Beziehungen Einfluß auf das philosophische Denken. Die materialistische Philosophie stützte sich auf die entsprechenden physikalischen Forschungsergebnisse und beeinflußte die weitere Forschung.

Gegenüber den Beschränktheiten des vormarxistischen Materialismus erweist sich die marxistisch-leninistische Philosophie als wissenschaftliche weltanschauliche, erkenntnistheoretische und methodologische Grundlage der Arbeit des Naturwissenschaftlers und damit auch des Physikers. Der dialektische Materialismus hilft bei der Lösung erkenntnistheoretischer und methodologischer Probleme der modernen Physik und weist dabei idealistische Verfälschungen physikalischer Erkenntnisse zurück.

Noch existiert keine einheitliche Elementarteilchentheorie, aber die Etappe der Hypothesen, der Sammlung experimentellen Materials, des ständigen Meinungsstreits ist fruchtbar für die Arbeit des marxistisch-leninistischen Philosophen, dem sie ein reichhaltiges Material über die Kompliziertheit des Erkenntnisprozesses bei der Aufdeckung objektiv dialektischer Beziehungen liefert. Er muß sehen, welche Schlußfolgerungen sich daraus für die Erkenntnistheorie und Methodologie ergeben und welche Problemlösungen für die Entwicklung der Philosophie wesentlich sind. Die Verteidigung der Grundprinzipien der marxistisch-leninistischen Philosophie ist stets mit der schöpferischen Ausarbeitung und Lösung neuer Probleme ver-[383]bunden. Dabei tauchen philosophische Hypothesen auf, die sich als Bestandteil der von der Philosophie erfaßten allgemeinen Beziehungen und Gesetze erweisen können, wenn sie bestätigt werden. Ihre Widerlegung dagegen kann ihre heuristische Bedeutung nicht herabmindern. Mit Hilfe von philosophischen Hypothesen zur Lösung der von der Entwicklung der Wissenschaft gestellten Probleme kann die marxistisch-leninistische Philosophie auch als Erkenntnistheorie und Methodologie der Wissenschaften entwickelt werden, was ihre Bedeutung als wissenschaftliche Weltanschauung für den Naturwissenschaftler noch erhöht. In dieser Richtung sollen die Ausführungen in diesem Buche den dialektischen Materialismus als philosophische Grundlage zur Lösung der mit der Elementarteilchenphysik auftauchenden philosophischen Probleme zeigen. Das Buch soll zur Diskussion anregen. Es enthält hypothetische und strittige Auffassungen, ohne jedoch, so hoffe ich, von den Grundprinzipien des dialektischen Materialismus abzuweichen.

Für das Buch waren eine Vielzahl von Diskussionen, Vorarbeiten usw. erforderlich, von denen auch ein Teil publiziert wurde. Den Mitarbeitern der Sektion Marxistisch-leninistische Philosophie der Humboldt-Universität und den Freunden des Lehrstuhls Philosophische Probleme der Naturwissenschaften sowie vielen ausländischen Kollegen, vor allem aus der Sowjetunion, bin ich zu Dank verpflichtet. Ein Teilstudium von 1964 bis 1965 in Moskau ermöglichte das Studium weiterer Materialien und den Streit um offene Fragen.

Zu den Materialien, die überarbeitet in das Buch eingingen, gehören einmal Darlegungen zu allgemeinen philosophischen Problemen in ihren Beziehungen zur Physik, so zum Verhältnis von Kausalität und Gesetz und zu Raum und Zeit. Zum anderen wurden Artikel vorher publiziert, die bereits als Teile des Buches ausgearbeitet wurden. Das trifft auf die Artikel zu philosophischen Problemen der Elementarteilchentheorie sowie zur Struktur- und Symmetrieproblematik zu. Die vorherige Publikation ermöglichte viele Ergänzungen und gestattete eine kritische Überprüfung des eigenen Standpunktes. Zu den überarbeiteten und teilweise wörtlich übernommenen Publikationen gehören:

- Materialismus und Struktur, in: Lenin und die Wissenschaft, Bd. II. Berlin 1970 (Kap. II/1-4).
- Philosophische Probleme einer Elementarteilchentheorie, in: Mikrokosmos-Makrokosmos, Bd. II. Berlin 1967 (Kap. IV/2, IV/5, VI/6).
- Zu einigen philosophischen Problemen der Theorie der Elementarteilchen, in: DZfPh, Heft 7, 1965, S. 828 ff. (Kap. IV/3 und VII/1). [384]
- Zum Verhältnis von Kausalität und Determinismus, in: DZfPh, Heft 2, 1961, S. 151 ff. (Kap. V/3).
- Philosophische und physikalische Raum-Zeit-Theorie, in: Physik in der Schule, Heft 2, 1964, S. 55 ff. (Kap. VI/2.1.).
- Dialektisch-materialistische und physikalische Raum-Zeit-Auffassung, in: Wissenschaft contra Spekulation, Berlin 1964, S. 127 ff. (Kap. VI/ 2.2.).
- Unendlichkeit der Materie und physikalische Forschung, in: Physik in der Schule, Heft 4, 1964, S. 160 ff. (Kap. VI/2.3.).
- Symmetrie, Gesetz, Wechselwirkung, in: Wiss. Ztschr. der Humb.-Univ., Math.-Nat. Reihe 4/5, 1965, S. 568 ff. (Kap. VII/2 und 3).
- Zum Verhältnis von Struktur und Symmetrie in Physik und Philosophie, in: Wiss. Ztschr. der Humb.-Univ., Math.-Nat. Reihe 6, 1967, S. 685 ff. (Kap. VII/4).

In Klammern werden die Abschnitte des Buches angegeben, in denen die genannten Publikationen Verwendung fanden. Sie sind nicht mit diesen Abschnitten identisch und wurden teilweise stark überarbeitet.