

FORTSETZUNG DER BERICHTE

Philipp Frank (Prag), Zeigt sich in der modernen Physik ein Zug zu einer spirituellen Auffassung?

Es ist eine wohl allgemein anerkannte Tatsache, daß der Aufbau der modernen exakten Wissenschaft im Zeitalter Galileis und Newtons, der im Laufe der Entwicklung das rapide Anwachsen der technischen Zivilisation zur Folge hatte, sich gegenüber der antiken und mittelalterlichen Wissenschaft folgendermaßen kennzeichnen läßt: die physischen, anthropomorphen Faktoren werden immer mehr aus der Wissenschaft verdrängt; an Stelle der mittelalterlichen Lehren von der „vollkommensten Bahnkurve“, vom „einem Körper zukommenden Ort“, vom „Unterschied der himmlischen und irdischen Körper“ und ähnlichen treten die mathematisch formulierbaren Gesetze der Newtonschen Prinzipien, in denen nur beobachtbare und meßbare Größen auftreten. Es ist kein Zweifel, daß die Galilei-Newtonsche Physik eine Kluft zwischen Körper und Geist aufgerissen hat, die in der anthropomorphen „animistischen“ Wissenschaft des Mittelalters nicht bestand. Die Kluft wurde denjenigen unbehaglich, die sich für eine Wissenschaft interessierten, die nicht nur vom Verhalten der unbelebten Körper Rechenschaft geben sollte, sondern vom Verhalten aller Körper in der Natur, zu denen doch auch der menschliche gehört. Es entstand das fortwährend diskutierte und nie wirklich geförderte Problem, den „Geist nach der mechanistischen Physik zu erklären“, ein wahres Vexierproblem. Seine Unlösbarkeit in dieser Form, die eigentlich allen klar war, führte dazu, daß viele Gelehrte die mechanistische Physik im Grunde genommen haßten und jede ihrer Schwierigkeiten mit einer gewissen Schadenfreude begleiteten. R. Ruyer¹⁾ hat sehr recht, wenn er sagt: „daß es im Grunde den Vertretern der Wissenschaft Gewissensqualen verursacht, die Erbsünde der mechanistischen Physik in sich zu tragen; das zeigt sich ganz sonderbar, wenn man die Art betrachtet, wie sie jedesmal reagieren, wenn die mechanistische oder quantitative

¹⁾ R. Ruyer, *Revue de Synthèse*. VI (1933) p. 167 ff.

Gesamtauffassung der Physik dem Anschein nach einen Mißerfolg erleidet. Gerade die am meisten philosophisch veranlagten Köpfe sind so weit entfernt, sich darüber zu beunruhigen, daß sie immer wieder auf eine Gelegenheit hoffen, das Subjektive wieder einführen zu können. Das war der Fall bei der Entdeckung der potentiellen Energie, der Gravitation, der Entwertung der Energie, bei der chemischen Affinität usw.“

Man muß sich daher nicht wundern, wenn die neuesten Revolutionen auf dem Gebiet der theoretischen Physik, der Aufbau der Relativitätstheorie und der Quantentheorie, von den Gelehrten, die R. R u y e r „am meisten philosophisch veranlagte Köpfe“ nennt, mit denselben Gefühlen aufgenommen wurden, wie die von R u y e r genannten theoretischen Umwälzungen, die Degradation der Energie usw. Man kann in der Tat heute kaum eine Zeitschrift oder ein Buch aufschlagen, in denen von der Entwicklung der allgemeinen wissenschaftlichen Ideen die Rede ist, ohne auf Ausdrücke der folgenden Art zu stoßen: „Ende des Galileischen Zeitalters“, „Bankrott der mechanistischen Physik“, „Ende der Feindseligkeit gegen den Geist in der Naturwissenschaft“, „Verföhnung zwischen Religion und Naturwissenschaft“, ja es gibt sogar ein eigenes Buch von B a v i n k²⁾ über die moderne Physik unter dem Titel „Die Naturwissenschaft auf dem Wege zur Religion“.

Es wird die Auffassung vertreten, daß die neuen physikalischen Theorien des 20. Jahrhunderts für die allgemeine Weltauffassung einen Umschwung von derselben Bedeutung zur Folge hatten, wie ihn die Galileische Physik hervorbrachte, die von der animistischen Auffassung des Mittelalters zur mechanistischen der Neuzeit hinüberleitete. Ebenso soll die neue Physik von der „mechanistischen Weltauffassung“ des 18. und 19. Jahrhunderts eine Brücke zur „mathematischen“ Weltauffassung des 20. Jahrhunderts bilden, die in gewissem Sinne der mittelalterlichen, animistischen ähnlicher sein soll als der mechanistischen, weil in der Mathematik ein „spiritualistisches“ Element liege und eine „mathematische Welt“ dem Geiste nicht mehr so fremd gegenüberstehe wie eine mechanische. In feierlicher Weise wurde diese Auffassung z. B. von General S m u t s³⁾ vertreten in seiner Eröffnungsrede zur Jahrhundertfeier der „British association of science“ am 23. September 1931. So sagt er u. a.:

²⁾ B. B a v i n k, Frankfurt a. M. (1933), Verlag M. Diesterweg.

³⁾ S m u t s Eröffnungsrede, abgedruckt in der englischen Zeitschrift „Nature“ (1931), p. 521 ff.

„Das mechanistische Weltbild, das seit Galilei und Newton vorherrschte, ist nun seit dem Auftreten Einsteins durch eine mathematische Auffassung ersetzt worden...“ „Wenn die Materie selbst ihrem Wesen nach immaterieller Struktur oder Organisation ist, so kann sie nicht mehr gar so verschieden von einem Organismus oder vom Leben sein... oder vom Geist, der ja das aktive organisierende Element in der Welt ist...“

Man muß nun erstens vom Standpunkt der Wissenschaftslogik untersuchen, ob in den physikalischen Theorien des 20. Jahrhunderts wirklich spiritualistische Elemente stecken, und man muß zweitens untersuchen, mit welchen Vorgängen, die nicht zur Physik gehören, die Forderung nach einer spiritualistischen Naturauffassung gewöhnlich verbunden auftritt. Wir wollen zunächst die zweite Frage kurz streifen, um uns dann ausführlicher mit der ersten zu beschäftigen.

Es ist gewiß kein Zufall, daß der Höhepunkt der mechanistischen Naturauffassung, wie sie sich etwa bei einem Laplace findet, mit dem Siege der französischen großen Revolution zusammenfällt und daß der Kampf gegen die „Ideen von 1789“ von da an fast immer mit einer Kritik dieser Naturauffassung, einer Sehnsucht nach einer mehr idealistischen oder spiritualistischen Theorie zusammenfällt. Der Kampf gegen die „Ideen von 1789“ gipfelte in den letzten Jahren darin, daß in einer Reihe von Ländern, insbesondere in Italien und im Deutschen Reich eine ganz entgegengesetzte Weltauffassung sich politisch durchsetzte. Diese hat eine philosophische Grundlage, die vor allem in scharfem Gegensatz zur mechanistischen Naturauffassung steht und nach einer mehr „organischen“ Naturanschauung drängt, worunter man eine teilweise Rückkehr zur spiritualistischen oder animistischen Naturlehre des Mittelalters versteht, so wie die neue Staatsauffassung an den Ständestaat des Mittelalters anknüpft. Die Anhänger dieser „antimechanistischen, organischen“ Naturauffassung bemühen sich, zu zeigen, daß in der exakten Wissenschaft sich „von selbst“, „aus rein wissenschaftlichen Gesichtspunkten“ ein Umschwung vollzogen habe, daß sich insbesondere auf Relativitätstheorie und Quantentheorie eine Naturauffassung gründen lasse, in der wieder der Geist eine Rolle spielt und die sich mit einer „antimechanistischen, organismischen, eigenständigen“ Biologie gut vertrage.

Als ein typisches Beispiel sei eine Stelle aus einem Aufsatz von B. Bavinck zitiert, einem gründlichen Kenner der modernen Physik und Biologie und hervorragenden Repräsentanten der „orga-

nischen Naturauffassung“ („Die Naturwissenschaften im Dritten Reich“ aus der Zeitschrift „Unsere Welt“, 25. Jg., 1933, S. 225 ff.). B a v i n k stellt fest, „daß heute innerhalb der Kreise der Naturwissenschaften eine Bereitwilligkeit herrscht, die Fäden von dieser Wissenschaft zu allen höheren Werten des Menschenlebens, zu Gott und Seele, Willensfreiheit usw. wieder ehrlich anzuknüpfen, die zeitweise so gut wie abgerissen schienen, eine Bereitwilligkeit, wie sie seit hundert Jahren nicht mehr vorhanden war. Daß sich diese Umwälzung gerade im gegenwärtigen Augenblick vollziehen muß, ist eine Duplizität der Ereignisse, die wiederum fast an ein Wunder grenzt, denn an sich hat sie mit den politisch-sozialen Umstellungen gar nichts zu tun; sie ist ganz offensichtlich aus rein wissenschaftlichen Motiven entstanden . . .“ Ob dieser letzte Satz richtig ist, das ist eben die Frage, deren Beantwortung wir versuchen wollen.

Auf der andern Seite hat sich in Rußland seit der Gründung der Sowjetunion ein System etabliert, das seine philosophische Begründung im „dialektischen Materialismus“ von Karl M a r x in seiner Ausgestaltung durch L e n i n sucht. Es soll hier nicht darüber gesprochen werden, in welcher Beziehung dieser „dialektische“ Materialismus zu dem steht, was man in Deutschland und Frankreich als „Materialismus“ zu bezeichnen pflegt, sondern ich will nur darauf hinweisen, daß in unzähligen Artikeln in den philosophisch-politischen Zeitschriften des heutigen Rußland die Hinneigung zum Spiritualismus, die sich als Begleiterscheinung der modernen physikalischen Theorien oft zeigt, als eine der „Fäulnisercheinungen“ der Wissenschaft in den kapitalistischen Ländern angeführt zu werden pflegt. (Als Beispiel aus den letzten Monaten sei nur zitiert: A. K. T i m i r i a z e w : „Die Welle des Idealismus in der modernen Physik im Westen und bei uns“. Unter der Fahne des Marxismus 1933, Heft 5.) Man pflegt dort oft den folgenden Gedankengang zu lesen: die Wissenschaft macht in Westeuropa wohl immer noch im einzelnen Fortschritte (wie die Aufstellung von Gesetzmäßigkeiten der Atomvorgänge), ebenso wie die kapitalistische Wirtschaft technisch noch immer im Fortschritt begriffen ist. Wie aber das wirkliche Leben der Industriebevölkerung durch Krisen immer mehr erschüttert wird, die schließlich eine allgemein annehmbare Lösung unmöglich machen, so kann die Wissenschaft trotz ihrer Fortschritte im einzelnen kein befriedigendes Gesamtbild der Vorgänge in der Natur entwerfen. Beim Entwerfen des Gesamtbildes geht sie nicht wissenschaftlich im modernen Sinn mehr vor, sondern macht Anleihen bei der animisti-

ischen spiritualistischen Physik des Mittelalters und deutet die modernen Theorien in diesem Sinne, weil die im politischen Leben herrschenden geistigen Richtungen die wissenschaftlichen Theorien im Sinne eines spiritualistischen Einschlages verfälschen.

Trotz des ungeheuren Gegensatzes zwischen der „materialistischen“ Sowjetunion und den auf der organischen Weltauffassung fußenden Staaten stimmt man doch darin überein, daß die Wendung zum Spiritualismus in der modernen Physik der Ideenwelt des neuen Umbruchs zum organischen Staat entspricht. Nur wird bei den einen diese Wendung als eine notwendige Folgerung der modernen Physik begrüßt, bei den anderen aber als eine Verfälschung derselben verurteilt. Daß die Vertreter dieser Gruppen die moderne Physik so auffassen, ist eine Tatsache, die ebenso empirisch festgestellt ist, wie die besten Beobachtungen der Experimentalphysik, eine Tatsache, die wir also bei einer Betrachtung über die modernen physikalischen Theorien verwerten müssen.

Ich will gleich im vorhinein sagen, daß das Ergebnis unserer Untersuchung ganz eindeutig das folgende sein wird: *Am Prozeß der Abwendung vom „Animistischen“ hat sich durch die modernen physikalischen Theorien nicht das mindeste geändert. Er schreitet unaufhaltsam fort wie früher. Wer die Physik mit Hilfe von „psychischen Faktoren“ deuten will, hatte zur Zeit der Galilei-Newton'schen Physik genau dieselbe Möglichkeit wie heute. Die Rolle des „Psychischen“ ist genau die gleiche geblieben. Wo also heute eine größere Neigung zu spiritualistischen Deutungen besteht, hängt dies lediglich mit Vorgängen zusammen, die mit den Fortschritten der Physik nicht das mindeste zu tun haben.*

Die Argumente, mit denen gezeigt werden soll, daß psychische Faktoren in der modernen Physik eine größere Rolle spielen als in der Newton'schen, sind verschiedener Art. Die eine Gruppe von ihnen führt an, daß die Rolle des „beobachtenden Subjektes“ in der Relativitätstheorie und Quantentheorie aus den physikalischen Sätzen gar nicht mehr eliminiert werden kann, wie dies in der „klassischen Physik“ noch der Fall war. Darüber habe ich ziemlich ausführlich in meinem Vortrag auf dem Prager Kongreß der deutschen Physiker 1929 gesprochen⁴⁾.

Man pflegt oft zu sagen: während in der klassischen Physik Ausdrücke wie „Länge eines Stabes“ oder „zeitlicher Abstand zwischen

⁴⁾ Veröffentlicht in der „Erkenntnis“ (1930).

zwei Ereignissen“ etwas über „objektive“ Tatsachen ausfragten, haben nach der *E i n f e i n*ischen Relativitätstheorie derartige Ausdrücke nur einen Sinn, wenn man den Beobachter angibt, auf den sie sich beziehen. Man kann nur sagen, „dieser Körper hat in bezug auf diesen bestimmten Beobachter die Länge von einem Meter“ usw. Es scheint also in jeder physikalischen Aussage ein psychologischer Bestandteil zu stecken. In der populären Literatur über die Relativitätstheorie geht man sogar oft so weit, die verschiedene Länge eines Stabes für verschiedene Beobachter mit den „optischen Täuschungen“ in eine Reihe zu stellen, die z. B. auftreten, wenn man zwei gleichlange Strecken aufzeichnet, die Enden aber mit verschiedenen Ornamenten verziert, wo man dann glaubt, die Längen der Strecken seien verschieden (z. B. \leftarrow) und \rightarrow).

Diese ganze Auffassung, sowohl in ihrer „wissenschaftlichen“ wie in ihrer „populären“ Form beruht auf einem vollständigen Mißverständnis der Relativitätstheorie. Überall, wo in der Relativitätstheorie von einem Beobachter die Rede ist, kann an dessen Stelle auch ein physikalisches Meßinstrument gesetzt werden. Es wird nur behauptet, daß je nach der Bewegung des Meßinstruments die Ergebnisse der Messung verschieden sind. Darin steckt aber nichts „Psychologisches“, jedenfalls nicht mehr als in der klassischen Physik. Die Rolle des Beobachters ist in beiden Fällen genau dieselbe: er muß nur konstatieren, daß bei einem bestimmten Instrument etwa ein Faden mit einem Skalenteilstrich zusammenfällt. Dabei ist der Bewegungszustand des Beobachters selbst völlig gleichgültig. In der Relativitätstheorie wie auch in der klassischen Physik wird angenommen, daß eine derartige Konstatierung in dem Sinn eine „objektive“ ist, daß niemals darüber eine Meinungsverschiedenheit auftauchen kann; aber natürlich bleibt sie „subjektiv“ in dem Sinn, daß irgendwelche Beobachter dazu notwendig sind; „objektiv“ heißt „für alle Subjekte gleich“, was man auch manchmal „intersubjektiv“ nennt.

Ganz ähnliche Betrachtungen hat man auch an die Quantentheorie angeknüpft. Nach dieser Theorie kann, wie *H e i s e n b e r g* gezeigt hat, niemals Lage und Geschwindigkeit eines und desselben Teilchens nacheinander genau bestimmt werden. Wenn man eine Vorrichtung verwendet, die es gestattet, die Lage sehr genau zu messen, wird dadurch schon die genaue Messung der Geschwindigkeit unmöglich gemacht. Man sagt dann: in der klassischen Physik war eine Aussage über Ort und Geschwindigkeit eines Teilchens eine Aussage über eine objektive Tatsache, in der kein psychologisches

Element steckte. In der Quantentheorie kann man von „Ort und Geschwindigkeit eines Teilchens“ gar nicht sprechen, sondern nur darüber, was bei einer bestimmten Messung sich darüber ergibt. Es kommt also in jeder Aussage über Teilchen der Beobachter selbst, also ein psychologisches Element vor. Darauf muß man daselbe erwidern, wie ich eben bei Besprechung der Relativitätstheorie ausgeführt habe. Auch in der Quantentheorie kommt nie ein Beobachter, sondern nur Beobachtungsinstrumente vor. Die Rolle des Menschen als Beobachter beschränkt sich hier wie dort auf die Konstatierung, ob auf einer Skala ein Faden mit einem Teilstrich zusammenfällt. Das wird aber hier genau wie in der klassischen Physik als etwas „objektiv“ oder besser gesagt „intra-subjektiv“ Konstatierbares angesehen. Was man aus Relativitätstheorie und Quantentheorie in dieser Beziehung lernen kann, ist nur das, was sich auch aus einer konsequenten Darstellung der klassischen Physik ergibt: jeder physikalische Satz ist in letzter Linie eine Zusammenfassung von Aussagen über Beobachtungen oder, wenn man speziell physikalisch sprechen will, über Skalenablefungen. Wie ich in dem zitierten Aufsatz gezeigt habe, läßt sich die Quantentheorie und Relativitätstheorie nur mit Hilfe dieser Auffassung der Physik konsequent darstellen, während die Vorstellung eines „Reiches der realen Dinge“ hier noch augenscheinlicher zu Widersprüchen oder leeren Aussagen führt wie in der klassischen Physik. Die Auffassung, daß es neben den Beobachtungen und den physikalischen Begriffen (Feldstärken, Potentialen usw.) noch eine Art „drittes Reich“ der realen Dinge gebe, wurde in der letzten Zeit mit Entschiedenheit von M. Planck (Positivismus und reale Außenwelt. 1931) vertreten, als eine „metaphysische“ Auffassung der Physik im Gegensatz zu der hier vertretenen „positivistischen“, die im Anschluß an Ernst Mach und Pierre Duhem heute von vielen angenommen wird, so von R. von Mises, W. Dubislav, Hans Reichenbach, E. Ziffel und in besonderer Zuspitzung von dem „Wiener Kreis“, M. Schlick, R. Carnap, H. Hahn, O. Neurath usw.

Wir haben also gesehen: die neue Rolle des „Beobachters“ in der Physik läßt sich *nicht* zugunsten einer Wendung der Physik zu einer mehr spiritualistischen Auffassung ausnützen. Es gibt aber noch eine ganze Reihe anderer Argumente, die man anzuwenden pflegt, um die Annäherung oder „Wiederannäherung“ der Physik an die „organische, idealistische“ Naturauffassung zu konstatieren. Derartige Argumente sind etwa: „in der Quantenmechanik kommt ein

teleologisches Moment zur Geltung“ oder „durch die indeterministische Deutung der Quantentheorie wird Raum für die Willensfreiheit geschaffen“. Hier soll aber nicht über diese Fragen, sondern nur über ein noch allgemeineres Argument für den „spiritualistischen Charakter der modernen Physik“ gesprochen werden, ein Argument, das in der letzten Zeit so oft und von so hervorragenden Gelehrten wiederholt wurde, daß die Gefahr besteht, daß viele durch die Gewöhnung derartige Gedankengänge als berechtigt, ja evident annehmen. Am meisten Verbreitung haben diese Gedanken vielleicht durch ein in 150 000 Exemplaren erschienenes Buch des hervorragenden Physikers und Astrophysikers *J e a n s* gefunden. *J e a n s* schildert die heutige Lage in der Physik folgendermaßen (*The mysterious universe*, Cambridge, 1933, S. 137): „Heute gibt es eine in hohem Grade vorhandene Übereinstimmung, die auf der physikalischen Seite der Wissenschaft sich fast der Einmütigkeit nähert, darüber, daß der Strom unserer Erkenntnis uns zu einer nicht-mechanischen Wirklichkeit hinführt; das Univerfum beginnt eher wie ein großer Gedanke auszusehen als wie eine große Maschine. Der Geist erscheint nicht mehr als ein zufälliger Eindringling in das Reich der Materie.“

Als Begründung dafür, daß die Natur als etwas „Geistiges“ anzusehen ist, gibt *J e a n s* im wesentlichen an, daß die moderne Physik gezeigt habe, man könne keine mechanische Darstellung der Naturvorgänge geben, wohl aber eine mathematische. Er sagt: „Die Bemühungen unserer nächsten Vorgänger, die Natur durch Bilder zu deuten, die der Maschinenlehre entlehnt sind, haben sich als unzulänglich erwiesen... andererseits haben unsere Bemühungen, die Natur mit Hilfe der Begriffe der reinen Mathematik zu deuten, zu einem glänzenden Erfolg geführt.“

In der mathematischen Gesetzmäßigkeit, im Gegensatz zur mechanischen, maschinenhaften, sieht *J e a n s* aber ein geistiges Element. Wenn die Natur sich nach mathematischen Gesetzen verhält, muß sie das Werk eines Geistes sein, der wie der menschliche Geist Mathematik schaffen kann und nur umfassender ist. *J e a n s* ist so überzeugt, daß die Wendung zum „Idealismus“ mit dem gegenwärtigen Stand der theoretischen Physik zusammenhängt, daß er die Möglichkeit ins Auge faßt, es könnte bei einer Änderung der physikalischen Theorien auch wieder eine Abwendung vom Idealismus eintreten. So sagt er in seinem neuesten Buche (*The new background of science*, Cambridge 1933, p. 298): „So lange das Pendel kein An-

zeichen zeigt, zurückzufchwingen, läßt sich die Gesetzmäßigkeit und Ordnung, die wir in der Welt finden, in der Sprache des Idealismus am leichtesten beschreiben und, wie ich meine, auch am leichtesten erklären. So können wir mit den schon erwähnten Einschränkungen sagen, daß die Wissenschaft unserer Tage dem Idealismus günstig ist . . . Aber wer kann sagen, was auf uns wartet, wenn wir um die nächste Ecke biegen?“

Ähnliche Ansichten vertritt auch Eddington in seinem Buch „The nature of the physical world“. Wenn auch in diesem Buch sehr vieles steht, was geeignet ist, das Verständnis für die moderne Physik zu fördern und ihre Ergebnisse durch eine konkrete und anschauliche Darstellung weiten Kreisen näherzubringen, so finden sich doch auch viele Stellen, die Eddington selbst für kühne Folgerungen aus der heutigen Physik hält, an denen vielleicht manche Anstoß nehmen werden, die aber meiner Ansicht nach Hindernisse für die Einbauung der modernen Physik in eine innerlich konsequente Darstellung der Vorgänge der gesamten Natur bilden. Eddington glaubt ebenso wie Jeans, daß diese „Ausblicke“ Glaubenssache sind und man niemanden durch Beweise zwingen kann, sie anzunehmen. Das ist sicher wahr. Was man aber meiner Ansicht nach klar beweisen kann, ist das, daß jene „idealistischen Ausblicke“ mit der modernen Physik gar nichts zu tun haben. Wenn jemand sie glauben wollte, so konnte er das ebenso im Anschluß an die Galilei-Newton'sche Physik tun.

Sowohl Jeans wie Eddington gründen ihre ganze Argumentation auf den Gegensatz zwischen einer Physik, die alles auf Mechanik zurückführte (die Galilei-Newton'sche) und eine, die alles auf mathematische Formeln begründet (die Physik Einsteins und der Quantentheorie). Wie kann man den Gegensatz zwischen „mechanisch“ und „mathematisch“ als Begründungsarten der Naturvorgänge klar formulieren? Die Newton'sche Physik führte alle Erscheinungen auf die Bewegungsgleichungen für Massenpunkte zurück, zwischen denen Zentralkräfte wirken, d. h. auf ein System von Differentialgleichungen. Die Einsteinsche Mechanik ändert diese Differentialgleichungen in einigen Punkten ab, die nur für sehr große Geschwindigkeiten wesentliche Abweichungen ergeben und weist darauf hin, daß die so abgeänderten Gleichungen mathematisch dieselbe Gestalt haben wie die geodätischen Linien in gekrümmten (nichteuclidischen, Riemann'schen) Räumen. An Stelle eines Systems von Differentialgleichungen ist ein anderes getreten.

Warum nennt man dann die eine Theorie eine „mathematische“, die andere eine „mechanistische“? Die Ähnlichkeit mit den geodätischen Linien kann doch nicht allein die Ursache sein; denn man kann un schwer auch die Newtonsche Physik auf eine solche Gestalt bringen.

Man kann, wenn man sich immer an die konkrete Bedeutung der Physik als eine Darstellung der beobachtbaren Tatsachen hält, versuchen, den Unterschied zwischen der „mechanischen“ Physik und der „nichtmechanischen, mathematischen“ etwa so zu fassen: durch die Newtonsche Mechanik lassen sich die Bewegungen der Körper darstellen, mit denen wir es im gewöhnlichen Leben zu tun haben, solange sie auch die in der täglichen Erfahrung vorkommenden Geschwindigkeiten haben. Dazu gehören die gewöhnlichen Werkzeuge wie Hammer und Zange, aber auch Dampfmaschinen, Automobile, Flugzeuge u. a. Man glaubte zur Zeit der Herrschaft der Galilei-Newtonschen Physik, man werde mit der Zeit durch dasselbe Gleichungssystem auch die Bewegung der kleinsten Teilchen in der Materie (Atome, Ionen usw.) darstellen können und auf der anderen Seite die Bewegung der Himmelskörper in beliebig langen Zeiträumen und mit beliebig großen Geschwindigkeiten. Das heißt soviel: man glaubte, alle Naturvorgänge im kleinen und großen durch dieselben Gesetze umfassen zu können, die man aus der Bewegung der „Körper mittlerer Größe mit mäßigen Geschwindigkeiten“ festgestellt hatte. Dieser Glaube ist durch die moderne Entwicklung der Physik im 20. Jahrhundert erschüttert worden. Wir wissen heute, daß die Bewegung von Körpern, deren Geschwindigkeit mit der Lichtgeschwindigkeit vergleichbar ist, nur mit Hilfe der Einsteinschen Relativitätstheorie dargestellt werden kann, die Bewegung der kleinsten Teilchen im Atom nur mit Hilfe der Quanten- und Wellenmechanik.

Wenn wir unter Mechanik die Lehre von den Bewegungen der „Körper mittlerer Größe mit mäßigen Geschwindigkeiten“ verstehen, so kann man mit Recht sagen, daß die moderne Physik die Unmöglichkeit einer mechanischen Begründung der Naturvorgänge festgestellt hat. Wenn man aber sagt, es sei jetzt an Stelle der mechanischen Grundlage eine mathematische getreten, so ist das meiner Ansicht nach eine sehr unzutreffende Ausdrucksweise. Man muß vielmehr sagen: an Stelle einer speziellen mathematischen Theorie, der Newtonschen, ist eine allgemeinere, die Relativitäts- und Quantentheorie getreten. Als falsch hat sich nur die Meinung heraus-

gestellt, daß jene spezielle mathematische Theorie alle Naturvorgänge darstellen könne. Ein Gegensatz zwischen Newton'scher Physik=Mechanik=Materialismus auf der einen Seite und moderner Physik=Mathematik=Spiritualismus auf der anderen Seite läßt sich daraus nicht herleiten.

und Flüssigkeitswirbel wirkenden, die Welt erfüllenden Materie der

Als Newton seine „mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie“ erscheinen ließ, in denen an Stelle der durch Druck, Stoß Kartesianer die kleinen Massen eingeführt wurden, die sich im großen leeren Raum fast verlieren und nur durch fernwirkende Kräfte aufeinander wirken, wobei ihre Anfangslagen noch ganz unbestimmt bleiben, wurde diese neue Theorie von manchen seiner Anhänger auch als ein Triumph über den Materialismus der „Epikuräer“ ausgerufen.

Als Beleg dafür bracht man nur die berühmten „Streitchriften zwischen Leibniz und Clarke“ zu lesen, in denen Clarke die Lehren Newtons gegen die Angriffe von Leibniz verteidigt. So sagt Clarke in seiner ersten Entgegnung: „Nächst den verderblichen Neigungen der Menschen ist sie (die Religionsleugnung) doch in erster Linie der falschen Philosophie der Materialisten zuzuschreiben, der die mathematischen Prinzipien der Philosophie (Newtons) unmittelbar widerstreiten... Diese Prinzipien, und zwar sie allein, erweisen die Materie und den Körper als den kleinsten und unbedeutendsten Teil des Univerfums“.

Damals also feierten die Anhänger Newtons, soweit sie Anhänger der spiritualistischen Metaphysik waren, seine Lehren als „mathematisch“ und „geistig“ im Gegensatz zu dem Materialismus; heute sagen die analog gestimmten Denker, die Newton'sche Physik sei „materialistisch“ gewesen, durch Einstein sei erst wieder ein „mathematisches“, „geistiges“ Element an Stelle des mechanischen getreten.

Wir haben schon gesehen, daß die Aussage, die Gesetzmäßigkeit in der Natur sei keine „mechanische“, sondern eine „mathematische“ nur heißt, daß diese Gesetzmäßigkeit nicht mit Hilfe der speziellen von Newton aufgestellten mathematischen Formeln erfaßt werden kann, sondern nur mit Hilfe der allgemeineren Formel der Relativitäts- und Quantentheorie. Wenn man aber sagt, nicht die Formeln, mit deren Hilfe die Natur beschrieben wird, seien mathematisch, sondern die Welt selbst „sei“ mathematisch, so ist schwer zu sagen, was das heißen soll. Man kann unter Mathematik, kon-

kret genommen, nichts verstehen als ein System von Formeln oder Theoremen. Diesen Formeln sind die Beobachtungen, die wir an den Naturvorgängen anstellen, zuordenbar, wenn die Formeln physikalische Theorien darstellen sollen. Aber die Naturvorgänge bestehen doch nicht aus diesen Formeln. Eine Aussage, wie „die Welt ist in ihrem Innersten Mathematik“, kann das Wort „ist“ nur in einem mystischen Sinn verwenden, wie er etwa an dem Satz „diese Architektur oder diese Symphonie ist reine Mathematik“ vorkommt.

Um seine Ansichten klarzumachen, muß J e a n s von dem Weltbaumeister sprechen und sich diesen nicht wie nach der Newton'schen Physik als „eine Art Ingenieur“, sondern nach der modernen Physik als „eine Art Mathematiker“ vorstellen. Da doch die Ingenieure ihre Werke auch nach mathematischen Formeln herstellen, muß J e a n s den Unterschied zwischen Ingenieur und Welterschöpfer etwa so formulieren: der Ingenieur paßt seine Formeln den Beobachtungen an, während der Schöpfer mathematische Formeln freischafft und nach ihnen die Welt konstruiert. J e a n s zieht hier den Unterschied zwischen „reiner“ und „angewandter“ Mathematik heran. Der Ingenieur ist ein angewandter, der Welterschöpfer ein reiner Mathematiker. J e a n s sucht das so zu beweisen: der Mensch, der reine Mathematik betreibt, erfindet Formeln und Sätze ohne jede Rücksicht auf die praktische Anwendung. Später zeigt sich, daß der Physiker oder Ingenieur mit Hilfe der vom reinen Mathematiker erfundenen Sätze die Naturvorgänge darstellen kann, von denen doch der reine Mathematiker bei Aufstellung seiner Theorie gar nichts gewußt hat. Das läßt sich nur so erklären, daß die Naturvorgänge selbst das Werk eines reinen Mathematikers sind und der theoretische Physiker, der diese Formeln zur Darstellung der Beobachtungen findet, dabei nur die Gedanken des reinen Mathematikers, der die Welt geschaffen hat, wiederfindet. Die Schöpfungen des Demiurgen müssen danach in weitem Maß mit denen eines menschlichen reinen Mathematikers übereinstimmen.

Die Behauptung, die Welt sei nach den Sätzen der „reinen“ Mathematik aufgebaut, findet sich nicht nur bei J e a n s, sondern wird sehr oft zur Begründung mystischer Weltauffassungen verwendet. Wenn man sich über ihren Sinn klar werden will, muß man vor allem sich Klarheit darüber verschaffen, was denn der Sinn der Sätze der „reinen“ Mathematik überhaupt ist. Nach der Auffassung von B. Ruffel und L. Wittgenstein, die auch von dem „Wiener Kreise“ vertreten wird, sind die Sätze der reinen Mathe-

matik nicht Aussagen über die Naturvorgänge, sondern rein logische Sätze, die etwas darüber aussagen, welche Behauptungen einander äquivalent sind, welche ineinander durch formale Umformung übergeführt werden können. Sie bleiben daher richtig, mögen die Naturvorgänge fein wie sie wollen; sie können durch Beobachtungen weder bestätigt, noch widerlegt werden, da sie gar nichts über die wirklichen Naturvorgänge aussagen. Die mathematischen Sätze, so drückt man das oft aus, sind tautologischer oder analytischer Art.

Wenn ich etwa den Satz „die Winkelsumme im Dreieck beträgt 180 Grad“ als Satz der reinen Mathematik beweise, so beweise ich nur folgendes: aus den Axiomen der euklidischen Geometrie, einschließlich des Parallelenaxioms folgt durch logische Umformung, daß die Winkelsumme im Dreieck 180 Grad beträgt, wenn die Geraden und Punkte, aus denen es besteht, alle Eigenschaften haben, die ihnen die euklidischen Axiome zuschreiben. Das heißt aber nur: wenn ich an einem konkreten körperlichen Dreieck durch Beobachtung die Verwirklichung der euklidischen Axiome konstatieren kann, so ist auch die Winkelsumme 180 Grad, d. h. die Beobachtung der Winkelsumme und die Erfüllung der Axiome sind nur zwei Formen desselben Sachverhaltes, zwei Aussagen mit demselben Inhalt (wobei selbstverständlich der Satz über die Winkelsumme nur ein Teil des Inhaltes des gesamten Axiomensystems ist). Wenn man sich das klar macht, so wird die Welt, mag sie fein wie sie will, immer den Sätzen der reinen Mathematik gehorchen; die Behauptung, daß sie ihnen gehorcht, sagt gar nichts über die wirkliche Welt aus. Sie besagt ja nur das Selbstverständliche, daß alle Aussagen über die Welt auch durch gleichbedeutende ersetzt werden können.

Es muß aber offenbar noch etwas anderes damit gemeint sein, wenn Jeans und so viele andere sagen, daß die Welt nach den Sätzen der „reinen“ Mathematik gebaut sei. Als Beispiel wird etwa angeführt: die Mathematiker haben lange schon die Lehre von den Krümmungseigenschaften der Riemannschen Räume ausgebaut, etwa in den Arbeiten von Christoffel, Helmholtz, Ricci, Levi Civitá und anderen. Als Einstein seine allgemeine Relativitätstheorie aufstellte, fand er diese mathematischen Theorien fertig vor. Obwohl sie ohne jeden physikalischen Zweck erfunden wurden, konnte Einstein sie doch für seine Theorie der Gravitation und allgemeinen Relativität verwenden. Man muß also annehmen, daß der Welterschöpfer die Welt nach jenen Sätzen der reinen Mathematik gebaut hat. Sonst wäre es doch ein un-

begreiflicher Zufall, daß jene komplizierten mathematischen Theorien, die zu ganz anderen Zwecken aufgestellt wurden, für die Gravitationstheorie verwendet werden konnten.

Wir haben schon gesehen, daß mit dieser Behauptung nicht gemeint sein kann, daß die Welt nach den *Theoremen* der Riemannschen Krümmungstheorie oder des von Ricci und Levi Civitá erfundenen absoluten Differentialkalküls gebaut ist; denn diese Theoreme sind genau so wie der Satz über die Winkelsumme und alle Sätze der reinen Mathematik nur Sätze darüber, wie man dieselbe Sache verschieden ausdrücken kann. Es kann also nur gemeint sein, daß die Begriffe und Definitionen der reinen Mathematik (z. B. hier der Geometrie der Riemannschen Räume) solche *Gebilde* geschaffen haben (z. B. die Christoffelschen Klammerfymbole, die Riemannsche Krümmung u. a.), die dann in der Einsteinschen Gravitationstheorie verwertet werden konnten. Das ist aber dann, wenn auch auf einem höheren Niveau, daselbe, als wenn man sagen wollte: die Begriffe des Quadrates oder der Quadratwurzel oder des Logarithmus sind aus der reinen Mathematik hervorgegangen, es ist daher erstaunlich, daß sie auch in physikalischen Formeln vorkommen. Wenn man jetzt die Möglichkeit, die Welt nach Einstein mit Hilfe der Riemannschen Krümmungstensenoren darzustellen, als einen Beleg dafür anführt, daß die Welt von einem „Mathematiker“ geschaffen ist, so konnte man mit ganz genau demselben Recht bereits zur Zeit Newtons sagen, die Welt müsse von einem Mathematiker geschaffen worden sein; denn in Newtons Formeln spielt das „Quadrat des Abstandes“ die Hauptrolle, und der Begriff des „Quadrates einer Zahl“ stammt aus der reinen Mathematik und wurde ohne jede Rücksicht auf die Physik eingeführt. Wenn man aber die Sache von diesem Standpunkt betrachtet, also nicht von den mathematischen *Theoremen*, sondern von den mathematischen *Begriffsbildungen* spricht, so zeigt jede nur etwas tiefere Überlegung, daß hier keineswegs der von Jeans gemachte Unterschied zwischen Ingenieur und Mathematiker oder zwischen „angewandter“ und „reiner“ Mathematik aufrechterhalten werden kann.

Gerade Begriffe wie die der Riemannschen Krümmung sind immer zur Darstellung irgendwelcher Probleme der konkreten Wirklichkeit, zur Beschreibung von Naturvorgängen erfunden worden. Die Begriffe der Riemannschen Geometrie gehen ja alle auf das

Problem zurück, die Bewegung eines wirklichen starren Körpers in allgemeinen Koordinaten zu beschreiben; man braucht nur an die Arbeit von Helmholtz über die „Tatfachen, die der Geometrie zugrunde liegen“ zu erinnern. Es wurden von Riemann, Christoffel und Helmholtz gewisse Größen aufgestellt, die im Falle der Bewegung eines starren Körpers nach den üblichen physikalischen Gesetzen verschwinden müssen. Als nun Einstein daran ging, Abweichungen von diesen Gesetzen aufzustellen, die in jedem Koordinatensystem sich gleich ausdrücken ließen, war es klar, daß er von den Ausdrücken ausgehen mußte, die die Eigenschaften des starren Körpers nach der alten Physik in einer Form ausdrückten, die in jedem Koordinatensystem gültig war. Wenn es überhaupt Abweichungen gab, die sich unabhängig vom Koordinatensystem aussprechen ließen, so mußten sie sich so ausdrücken lassen, daß die Größen, die in der alten Physik den Wert Null hatten, jetzt von Null verschieden waren und Werte annahmen, die in einfacher Weise von der Verteilung der Materie abhingen. Wenn eine solche einfache Abhängigkeit nicht existierte, so konnte überhaupt eine Gesetzmäßigkeit, unabhängig vom Koordinatensystem, wie sie Einstein verlangte, nicht existieren. Wenn es aber eine gab, so mußte sie sich durch die Begriffe ausdrücken lassen, die zur Darstellung der Bewegung starrer Körper schon bereitstanden, ohne daß man darin das Walten eines „reinen Mathematikers“ als Welterschöpfer sehen mußte. Das einzige, was man als eine wirkliche und erstaunliche Eigenschaft der Natur ansehen muß, ist das, daß es überhaupt einfache Gesetze zur Darstellung der Natur gibt. Das hat aber mit dem Unterschied zwischen „mechanisch“ und „mathematisch“ gar nichts zu tun.

Wenn heute Ausdrücke mit spiritualistischer Färbung wieder mehr verwendet werden als im 19. Jahrhundert, so hat das nichts mit einer „Krise in der Physik“ oder mit einem „neuen physikalischen Weltbild“ zu tun, sondern nur mit einer von ganz anderen Vorgängen ausgehenden Krise im Zusammenleben der Menschen. Gegenüber den materialistischen sozialen Theorien treten in vielen Ländern wieder Strömungen in den Vordergrund, die sich auf eine „idealistische“ Weltanschauung stützen. Diese Strömungen suchen eine Anlehnung an eine idealistische oder spiritualistische Naturauffassung. Genau wie die analogen Strömungen am Ende des 19. Jahrhunderts sich auf die Energetik, das elektromagnetische Bild

der Materie usw. beriefen, um der „materialistischen“ Physik ein Ende vorherzufagen, so verwendet man heute Relativitäts- und Quantentheorie, ohne daß das alles einen wirklichen inneren Zusammenhang mit den Fortschritten der Physik hätte ⁵⁾.

Alfred Tarski (Warschau): Einige methodologische Untersuchungen über die Definierbarkeit der Begriffe.

Einleitende Bemerkungen.

In der Methodologie der deduktiven Wissenschaften treten zwei Begriffsgruppen auf, die zwar inhaltlich von einander ziemlich entfernt sind, jedoch erhebliche Analogien aufweisen, wenn man ihre Rolle beim Aufbau der deduktiven Theorien sowie die inneren Beziehungen zwischen den Begriffen jeder Gruppe erörtert. Zu der ersten Gruppe gehören solche Begriffe wie „Axiom“, „abgeleiteter Satz“, „Schlußregel“, „Beweis“, zu der zweiten — „Grundbegriff“ (bzw. „Grundaussdruck“, „Grundzeichen“), „definierter Begriff“, „Definitionsregel“, „Definition“. Zwischen den Begriffen der beiden Gruppen läßt sich ein weitgehender Parallellismus feststellen: den Axiomen entsprechen die Grundbegriffe, den abgeleiteten Sätzen — die definierten Begriffe, dem Prozesse und den Regeln des Beweises — der Prozeß und die Regeln des Definierens.

Die bisherigen Untersuchungen aus dem Gebiet der Methodologie der deduktiven Wissenschaften haben meist die Begriffe der ersten Gruppe behandelt. Nichtsdestoweniger drängen sich auch bei der Betrachtung der zweiten Begriffsgruppe viele interessante und wichtige Probleme auf, die manchmal ganz analog denjenigen sind, welche sich auf die Probleme der ersten Gruppe beziehen. In diesem Aufsatz möchte ich zwei Probleme aus diesem Gebiet besprechen, und zwar das Problem der Definierbarkeit und der gegenseitigen Unabhängigkeit von Begriffen sowie das Problem der Vollständigkeit von Begriffen einer beliebigen deduktiven Theorie ¹⁾.

Es werden uns hier nur diejenigen deduktiven Theorien interessieren, welche ein hinreichend entwickeltes System der mathematischen Logik „überbauen“; die Probleme, welche die Begriffe der Logik selbst betreffen, werden also außer Betracht bleiben. Um die

⁵⁾ Die Ausführungen dieses Vortrages sind zum Teil dem Artikel von Ph. Frank in der Revue de Synthèse VII (1934) entnommen.