

Erster Teil

Theorie der Naturwissenschaften

I. Historische Einführung in die Frage der Begründung und Geltung der Naturwissenschaften, des Numinosen und der Kunst

Wenn wir auf den Anlasser unseres Autos drücken, erwarten wir, daß der Motor anspringt; wenn wir im Dunkeln einen Lichtschalter bedienen, erwarten wir, daß das Licht angeht; Sterne lassen sich in ihrem Lauf vorausberechnen; chemische Verbindungen werden immer wieder in derselben Weise hergestellt. Unser ganzes Leben in der Welt der Industrie ist erfüllt von einem engmaschigen Netz technischer Vorrichtungen, die ständig Erwartungen einschließen, die sich ständig erfüllen. Diesem allen aber liegt die Physik und liegen die physikalischen Gesetze zugrunde. Deswegen behauptete LENIN: Die Praxis beweist die Wahrheit der Physik.¹

Aber die Physik enthält nicht nur Gesetze, die wir ständig anwenden. Sie gibt auch mannigfachen Erscheinungen im physikalischen Laboratorium wie im täglichen Leben eine bestimmte Deutung. Es leuchtet eine Glühbirne auf; wir sagen: Es fließt Strom. Wir beobachten das Ansteigen der Flut und sagen: Der Mond übt eine Anziehungskraft aus. Wenn wir Licht sehen, sagen wir: Dies sind elektromagnetische Wellen. Wenn wir Radio hören, sagen wir: Eine Stimme aus dem Äther erreicht uns. Wenn wir eine Spur auf einer Nebelkammeraufnahme beobachten, sagen wir: Dies ist das Bild einer Teilchenbahn, und wir nennen das Teilchen Elektron. In allen diesen Fällen sind wie selbstverständlich physikalische Theorien in die tägliche

¹ W. J. LENIN: Materialismus und Empiriokritizismus, Berlin 1958, S. 180.

Sprache des modernen Menschen eingedrungen. Auch diese Theorien werden für wahr gehalten. Und dennoch ist weder die Existenz physikalischer Gesetze noch die Wahrheit physikalischer Theorien eine Selbstverständlichkeit, wie uns das ständig suggeriert wird, sondern etwas Fragwürdiges.

Das vorliegende Kapitel soll in diese Fragwürdigkeit anhand von drei klassischen und einschlägigen Beispielen für ihre Behandlung einführen. Gemeint sind HUME, der den kritischen Empirismus, KANT, der den Transzendentalismus und REICHENBACH, der (in diesem Falle) den Operativismus repräsentiert. Dabei wird gezeigt werden, wie bereits in diesen historischen Beispielen die Problematik auch des Numinosen und der Kunst hervortritt.

*1. Die Begründungsfrage der Naturwissenschaften
im kritischen Empirismus Humes,
im Transzendentalismus Kants und
im Operativismus Reichenbachs*

Beginnen wir mit HUME und betrachten wir hierzu das Fallgesetz:

$$s = \frac{g}{2} t^2$$

Kennt man den Zeitpunkt, an dem der Fall des Körpers begonnen hat, dann läßt sich der Weg für einen späteren Zeitpunkt nach diesem Gesetz vorhersagen. Mit der Behauptung, daß physikalische Gesetze existieren, will man sagen, daß sie eine allgemeine Verfassung der Natur ausdrücken, daß die Natur nach ihnen wahrhaft konstruiert ist. Diese Gesetze sollen also *immer*, auch in Zukunft, gelten; denn nur dann sind sie ja Gesetz. Aber die Erfahrung, daß solche Gesetze vorlagen und daß wir mit der

Annahme solcher Gesetze stets Erfolg hatten, betrifft nur die Vergangenheit. Wir können bestenfalls immer nur sagen: Bisher wurden unsere Erwartungen auf Grund der Gesetze stets bestätigt. Mit welchem Recht indessen schließen wir von der Vergangenheit auf die Zukunft und sagen: Diese Gesetze werden immer gelten, denn sie sind *allgemeine* Naturgesetze? Die Erfahrungen der Praxis geben uns keineswegs das Recht so zu schließen. Wollte man sich auf sie berufen, dann würde dies, wie leicht zu sehen ist, auf einen Zirkel hinauslaufen. Man müßte dann nämlich folgendermaßen argumentieren, und in dieser Weise wird auch in der Tat meistens auf populäre Weise argumentiert: Bisher, und das heißt in der Vergangenheit, haben wir mit unseren Schlüssen von der Vergangenheit auf die Zukunft praktischen Erfolg gehabt; also werden wir auch in Zukunft mit solchen Schlüssen Erfolg haben, und damit ist diese Schlußart gerechtfertigt. Aber diese Begründung macht von dem, was sie begründen will, schon Gebrauch, nämlich von dem Schluß von der Vergangenheit auf die Zukunft, denn sie schließt ja einfach von vergangenen praktischen Erfolgen auf künftige. So wenig wie mit dem Hinweis auf gehabte Erfahrungen läßt sich aber auch mit reiner Logik hier etwas ausrichten. Denn die Konstanz von Regeln in der Natur, die bei allen Schlüssen der bezeichneten Art vorausgesetzt werden muß, ist kein Begriff der Logik. Die Logik lehrt in ihrer leeren und formalen Allgemeinheit nichts über besondere Eigenschaften der Natur; also auch nichts über deren Konstanz. So lautet das Fazit: Erfahrung jedenfalls, die immer vergangen ist, oder reine Logik können niemals die Existenz von physikalischen Gesetzen, die für alle Zeiten gültig sein sollen, beweisen. Das war HUMES grundlegende Einsicht. Damit wurde deutlich, daß sowohl die Existenz wie der

Inhalt von Naturgesetzen keineswegs empirisch gegebene Tatsachen sind, daß wir sie nicht in der Natur einfach vorfinden, sondern daß wir sie offenbar in gewisser Hinsicht an die Natur herantragen, daß wir sie in sie hineinlegen. Wenn wir darüber hinaus behaupten, sie existierten aber doch an sich in der Natur, es bestünde sozusagen eine prästabilisierte Harmonie zwischen dem, was wir an sie herantragen und dem, was in ihr wahrhaft existiert, so müssen wir uns darüber im klaren sein, daß eine solche Behauptung nicht zu begründen ist. Sie drückt vielmehr einen Glauben aus.

Aber mit welchem Recht tragen wir denn dann Gesetze an die Natur heran? HUME hat deren Verwendung einfach auf die Gewohnheit zurückgeführt, die sich beim ständigen Wiederholen regelhaft aufeinanderfolgender Ereignisse einstellt. Er hat damit die Frage nach dem Recht überhaupt verneint. Diese Auffassung ist unhaltbar. Erstens kann man von einer gewohnheitsmäßigen Einstellung nur bei ziemlich simplen Gesetzen sprechen, etwa bei einem Gesetz der Form: Wenn man ins Feuer langt, verbrennt man sich. Wir vertrauen jedoch auch auf Gesetze, welche dem alltäglichen Bereich ständiger Erfahrung und Gewohnheit weit entrückt sind, wie es zum Beispiel diejenigen sind, welche die Bahnen von Kometen bestimmen. Zweitens läßt sich die Annahme von Gesetzen, welche der Wissenschaft zugrundeliegen, nicht auf etwas so Schwankendes und Subjektives wie die menschliche Gewöhnung gründen. Die Wissenschaft braucht rationale Gründe hierfür.

Mit welchem Recht also werden physikalische Gesetze vorausgesetzt, wenn sie nicht in der Erfahrung gegeben, ihre Existenz also keineswegs verbürgt ist?

KANT geht von der Annahme aus, daß wir uns die mannigfaltigen, verstreuten Vorstellungen, welche unser Be-

wußtsein erfüllen, notwendigerweise als in einem möglichen durchgängigen Zusammenhang stehend denken müssen. Denn nur wenn sie in einem solchen möglichen Zusammenhang stehen, können sie zur Einheit eines Ich-Bewußtseins gehören. So schwingt ja auch in unserem Bewußtsein stets intuitiv und mehr oder weniger thematisch die Vorstellung von einem allgemeinen und zusammenhängenden Welt-Horizont mit, in den wir alles hineinordnen. Aber diese Zusammenhänge sind uns nicht wirklich und in der Erfahrung durchgängig gegeben. Sie müssen von einem Ich, das sich als Einheit versteht, nur als grundsätzlich möglich gedacht und damit a priori vorausgesetzt werden. Es ist nun KANTS Unternehmen, diese a priori vorauszusetzenden Zusammenhänge, durch die sich, wie er meint, das Bewußtsein als Einheit bildet, ausfindig zu machen. Hierbei kommt er zu dem Ergebnis, daß zu ihnen unter anderem die Verbindung von Ereignisvorstellungen nach dem Prinzip der Kausalität gehören muß. Dieses Prinzip besagt in Kürze, wenn wir gewisse hier nicht wichtige Schwierigkeiten unbeachtet lassen, folgendes: Für jedes Ereignis gibt es eine kausale Erklärung so, daß es als nach einer allgemeinen Regel aus vorhergegangenen Ereignissen entstanden gedacht werden muß. Dieses Prinzip scheint aber auch die Bedingung dafür zu sein, daß uns Ereignisvorstellungen überhaupt objektiv gegeben sind. Denn eine Ereignisvorstellung ist nach KANT erst dann objektiv und nicht subjektiv willkürlich, wenn sie, wie er sich ausdrückt, „unter einer Regel steht, welche sich von jeder anderen Apprehension unterscheidet und eine Art der Verbindung des Mannigfaltigen notwendig macht“². Eine solche Regel aber ist zum Beispiel das Kausalprinzip. Erst wenn wir ein Ereignis als

² Kritik der reinen Vernunft B 236.

nach einer kausalen Regel entstanden denken, betrachten wir es als wahrhaft objektiv und nicht unserer Willkür entsprungen. Die apriorische Gestaltung des Kausalprinzips ist daher, wie KANT sagt, nicht nur die Bedingung dafür, daß die Einheit des Bewußtseins, sondern daß auch überhaupt Erfahrung von Objekten möglich ist.

Haben wir also in der Vergangenheit eine Regel nach Art des Fallgesetzes gefunden, so haben wir nunmehr ein Recht, ihre Geltung auch für die Zukunft zu erwarten. Denn diese Regel ist dann ja nur ein besonderer Fall der a priori geltenden Behauptung des Kausalprinzips, daß alle Ereignisse notwendigerweise als nach konstanten Regeln und Gesetzen entstanden gedacht werden müssen.

So lautet die Antwort, die sich aus KANTS transzendentalen Idealismus auf die Frage ergibt, mit welchem Recht physikalische Gesetze a priori vorausgesetzt werden, wenn sie uns nicht empirisch gegeben sein können.

REICHENBACHS operativistische Antwort dagegen lautet so: Wenn sich die Wissenschaft das Ziel setzt, Prognosen zu machen und die Natur zu beherrschen, dann muß sie voraussetzen, daß das Naturgeschehen nach konstanten Regeln und Gesetzen verläuft. Rein empirisch läßt sich die Existenz solcher Gesetze nicht beweisen; aber da es, wenn überhaupt, so nur einen methodischen Weg gibt, das Ziel der Prognose, das wir wollen, zu erreichen – nämlich den der Voraussetzung von Gesetzen –, so müssen wir ihn beschreiten, auch wenn wir nicht wissen, ob unsere Mühe vergeblich sein wird.

„Ein Blinder“, schreibt REICHENBACH, „der sich im Gebirge verirrt hat, tastet mit seinem Stock einen Pfad. Er weiß nicht, wohin ihn der Pfad führt, auch nicht, ob der Pfad ihn nicht so nah an den Abgrund führt, daß er hinunterstürzen wird. Und doch wird er, indem er sich mit

seinem Stock von Schritt zu Schritt weitertastet, dem Pfade folgen und weitergehen. Denn wenn es für ihn überhaupt eine Möglichkeit gibt, aus der Felsenwildnis herauszukommen, dann ist es das Tasten entlang diesem Pfad. Als Blinde stehen wir vor der Zukunft; aber wir tasten einen Pfad, und wir wissen: wenn wir überhaupt einen Weg durch die Zukunft finden können, dann geschieht es durch Tasten entlang diesem Pfad.“³ Mit diesem Gleichnis will REICHENBACH folgendes sagen: Wer Physik betreibt und die Natur beherrschen will, der muß a priori physikalische Gesetze und das Kausalprinzip methodisch voraussetzen. Damit wird aber nichts über die Existenz solcher Gesetze behauptet. Die Auffassung REICHENBACHS läßt sich auch auf das tägliche Leben übertragen. Warum setzen wir ununterbrochen selbst bei den kleinsten Handlungen Naturgesetze voraus? Nun, weil wir handeln wollen und weil Handelnwollen vernünftigerweise die Voraussetzung solcher Gesetze einschließt.

2. Vergleich der Grundlagen des Transzendentalismus und des Operativismus

Vergleicht man KANTS Transzendentalismus mit REICHENBACHS Operativismus, so ergibt sich: Die Kritik der reinen Vernunft hat das umfassende Ziel nachzuweisen, daß die Grundlagen der Physik – wie zum Beispiel die Kategorien Kausalprinzip, Wechselwirkung usw. – den a priori notwendigen Rahmen darstellen, in dem Objekte einem einheitlichen Ich-Bewußtsein überhaupt gegeben werden können, in dem Erfahrung überhaupt möglich ist. Zwischen der physikalischen Betrachtungsweise und

³ H. REICHENBACH: *Wahrscheinlichkeitslehre*, Leiden 1935, S. 420.

derjenigen des täglichen Lebens besteht daher für KANT nur ein gradueller Unterschied: Hinsichtlich ihrer Grundlagen expliziert die Physik nur, was jedes Ich-Bewußtsein a priori unbewußt voraussetzt.

So bliebe die Physik zumindest der Form nach die einzig gerechtfertigte Betrachtungsweise der äußeren Welt. KANT freilich ging in seinen späteren Schriften noch weiter. In den „Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaften“ und in seinem Opus postumum wird auch ein großer Teil des *Inhalts* der NEWTONschen Physik a priori deduziert.

Im Gegensatz hierzu ergibt sich nach dem operativistischen Standpunkt, daß die Physik weder wahr noch falsch ist, sondern auf apriorischen Festsetzungen und symbolisch-idealen Konstruktionen beruht, die nur zu dem Zwecke an die Natur herangetragen werden, um sich ein Schema zu ihrer Beherrschung zu schaffen. Mit diesen Konstruktionen aber wird nicht der Anspruch erhoben, daß sie die Verfassung der Natur abbilden. Vielleicht läßt sich dies vergleichen mit einem Netz von Koordinaten, das wir über die Erdkugel werfen, damit wir uns auf ihr orientieren. Auch dieses Netz ist eine ideale Konstruktion, aber es ist keine Eigenschaft der Erde.

Das Gemeinsame der Transzendentalphilosophie und des Operativismus besteht also darin, daß beide das klassische, naive Ich-Gegenstand-Verhältnis aufgegeben haben, wonach dem Ich ein Gegenstand an sich gegenübersteht, von dem es dann durch Erfahrung Kenntnis erwirbt. Denn sowohl die Transzendentalphilosophie wie der Operativismus lehren, daß das Ich den Gegenstand in gewisser Hinsicht selbst erzeugt. In beiden Fällen haben wir also insofern einen Apriorismus vor uns, denn „a priori“ bedeutet ja zunächst nur: nicht durch die Erfahrung, sondern durch uns selbst gegeben. Der Unterschied

aber besteht darin, daß KANT die Weisen dieser Erzeugung für a priori notwendig und unveränderlich hält, während sie der Operativismus rein methodisch aus dem Zweck herleitet, die Natur unter dem Gesichtspunkt ihrer Beherrschung zu betrachten. Man könnte daher auch das Apriori KANTS notwendig nennen, das des Operativismus dagegen kontingent oder zufällig. Für KANT ist die Physik die einzig mögliche echte Gegenstandskonstruktion; für den Operativismus hingegen beruht sie auf einem besonderen Entschluß. So muß auch die Entstehungsgeschichte der Physik mit all ihren unübersehbaren historischen Konsequenzen, wie sie sich in der Industrie, den Atombomben und Mondraketen abzeichnen, im Lichte der Transzendentalphilosophie als ein Prozeß betrachtet werden, in dem die Vernunft sich die Weisen erst eigentlich klarmacht, in denen sie Gegenstände überhaupt objektiv konstituiert. Im Lichte des Operativismus hingegen beruht die Entstehung der Physik auf einem Akt des Willens, eines Willens zur Macht über die Natur, wie dies bereits BACON und HOBBS, diese ersten Menschen des technischen Zeitalters, geahnt haben.

3. Die Begründungsfrage des Numinosen und des künstlerischen Gegenstandes im Transzendentalismus und im Operativismus

Damit komme ich zum dritten Abschnitt dieses Kapitels, der zeigen soll, wie sich aus den gegebenen historischen Beispielen die Problematik außerwissenschaftlicher Gegenstände, nämlich des Numinosen und der Kunst entwickelt.

Für KANT ist die Physik die Betrachtungsweise der äußeren Welt. Damit ist er aber so modern wie irgendeiner,

denn ich habe schon geschildert, in welcher Situation wir uns heute befinden. Ununterbrochen und übermächtig begegnet dem Menschen im technischen Zeitalter der physikalische Gegenstand. Seine ganze Welt ist erfüllt von täglichen technischen Verrichtungen, seine Sprache durchsetzt sich mit Physik. Er sieht selbst die Gegenstände des täglichen Lebens in physikalischer Sicht. Der Kristall, der Edelstein, das Meer, die Sonne, der Wind – dies alles ist ihm eine in letzter Instanz durch die Physik zu erklärende materielle Substanz. In Wahrheit, so heißt es in populärer Auffassung, haben wir es hier mit Haufen von Atomen und Elementarteilchen zu tun – und weiter nichts. Ob diese Auffassung nun wahr oder halbwahr ist oder nicht: in jedem Falle spiegelt sie die ständige Suggestion wider, der man durch das dauernde Umstelltsein von technischen Dingen unterliegt und die auch das Unterbewußtsein bestimmt. Man könnte aber auch die Grundlagen des technischen Zeitalters nicht unüberwindlicher machen, als wenn es einem mit KANT gelänge nachzuweisen, daß die Physik a priori notwendig ist. Daher darf KANT trotz der Jahrhunderte, die uns von ihm trennen, als ein Exponent unseres Zeitalters gelten. Obgleich nun KANT einerseits die Allmacht der Physik verkündete, versuchte er sie doch andererseits mit Hilfe eines idealistischen Tricks wieder einzuschränken. Sie soll nur für Erscheinungen gelten, nicht aber für das Reich der Dinge an sich. Daraus aber ergeben sich die entscheidenden Konsequenzen seiner Philosophie: Die Physik sollte – er sagte „das Wissen“, aber das ist für ihn ja dasselbe – „aufgehoben und für den Glauben Platz geschaffen werden“. Was aber ist dabei im Endeffekt herausgekommen? Das auch noch sehr schwach begründete Postulat eines Weltpolizisten, mit der Rolle betraut, für die moralische Weltordnung zu sorgen. Das ist die Gottheit,

die KANT uns bietet. In diesem Falle also wurde ein Apfelgarten versprochen und nur ein Apfel gegeben. Unmöglich aber ist in KANTScher Sicht das Numinose. Darunter ist nicht etwa eine christliche, sondern eine allgemeine religiöse Kategorie zu verstehen. Das Numinose ist das Heilige, das den Menschen – wie es RUDOLF OTTO geschildert hat – im „Mysterium tremendum“ erzittern läßt und ihn zugleich im „Mysterium fascinosum“ in seinen Bann zieht.⁴ Es ist das Göttliche, das uns in Raum und Zeit erscheint; und eben deswegen ist es das Wunder. Aber das Wunder ist genau das, was für KANT unmöglich sein muß, weil es sich im Reiche der Erscheinung abspielt, für das allein die Physik zuständig ist. Deswegen ja auch das Ausweichen in die intelligible Welt an sich, für die dann der abstrakte Weltpolizist postuliert wird. Was HUME hinsichtlich des Wunders sagte, kann als genauso charakteristisch für KANT betrachtet werden. Denn HUME lehrte: Wann immer behauptet wird, daß ein Wunder stattgefunden habe, so müsse man erwägen, was gemäß den wissenschaftlich und außerwissenschaftlich bekannten Gesetzen der Natur und der Psyche des Menschen wahrscheinlicher sei, nämlich ob das Wunder wirklich stattgefunden oder eine Täuschung vorgelegen habe. Und nur, wenn die Täuschung wunderbarer sei als das Wunder, könne man es für wahr halten. Dies aber wird mit Hinblick auf die genannten Gesetze niemals der Fall sein. In solcher Sicht also ist das Numinose unmöglich. Daß freilich HUME kaum ein Recht zu einer solchen Argumentation hatte, weil er ja im Gegensatz zu KANT an der Möglichkeit zweifelte, Naturgesetze zu begründen, steht auf einem anderen Blatt.

⁴ R. OTTO: Das Heilige. Über das Irrationale in der Idee des Göttlichen und sein Verhältnis zum Rationalen, München 1936.

Unmöglich ist dann aber auch der Gegenstand der Kunst. Ich möchte das am Beispiel der bildenden Kunst verdeutlichen. Was ist der Gegenstand der Kunst? Damit meine ich nicht etwa das Sujet eines Bildes, nicht sein Thema, sondern die Totalität des Ereignisses, die es uns vorstellt. Das betrifft selbstverständlich auch die sog. „gegenstandslose“ Kunst. Dieser Gegenstand der bildenden Kunst ist nicht derjenige der Wissenschaft im allgemeinen und nicht derjenige der Physik im besonderen. Er ist sozusagen immun gegen eine nach wissenschaftlichen Gesetzen konstruierte Gegenständlichkeit.

Vom künstlerischen Gegenstand sind alle Kunsttheorien von der Antike bis ausschließlich KANT ausgegangen; dabei haben sie diesen Gegenstand in mannigfacher Weise mit der platonischen Idee oder dem aristotelischen Formbegriff in Zusammenhang gebracht.

Es ist nun ein Symptom, daß KANT, in dem sich die Tendenz des Zeitalters spiegelt, die Physik zum Kriterium der Beurteilung von Objekten zu machen, den künstlerischen Gegenstand seiner Bedeutung beraubt. Nicht auf ihn legt er das Gewicht seiner Theorie der Kunst, sondern auf die Wirkungen, die das Kunstwerk im Betrachter auslöst. Diese Wirkungen bestehen nach KANTScher Auffassung im interesselosen Wohlgefallen und in dem beglückenden, freien und harmonischen Spiel der Erkenntniskräfte. Der künstlerische Gegenstand tritt hier überhaupt nur so weit ins Blickfeld, als er die allgemeine Form der Zweckmäßigkeit haben soll; aber Zweckmäßigkeit ist für KANT keine objektive Verfassung der Natur, sondern nur ein subjektives Prinzip ihrer Beurteilung. Nach dieser Auffassung, so könnte man überspitzt, aber doch wohl treffend sagen, ist der Prototyp des Kunstwerks das Tapetenmuster.

Wenn aber KANT so das ästhetische Ereignis in die Subjek-

tivität verlegt, dann ist das nur die Kehrseite davon, daß er den künstlerischen Gegenstand, also die Totalität des Ereignisses, welches das Kunstwerk vorstellt, für unmöglich erklären muß. Denn möglich ist für ihn ja nur, was uns nach (in Strenge wissenschaftlich erkannten) empirischen oder apriorischen Gesetzen entgegentreten kann. Alles andere überläßt er der Subjektivität, der Fiktion, die letzten Endes gleichgültig ist. Aber wenn man den künstlerischen Gegenstand in seiner Möglichkeit aufhebt, hebt man auch die Kunst und das ästhetische Ereignis auf. Denn dieses Ereignis ist nur dadurch möglich, daß wir das Recht in Anspruch nehmen, den künstlerischen Gegenstand, sei es im Schöpfungsprozeß, sei es bei seiner Kontemplation, als etwas Objektives zu betrachten. All seine hinreißende Kraft, all seine Bedeutung bezieht das Kunstwerk aus dem Anspruch, daß sein Gegenstand in irgendeiner Weise gültig, daß er eine mögliche Deutung der wirklichen Welt ist. So hat KANT die Quelle verschüttet, von der das Numinose und die Kunst alleine leben können.

Im Gegensatz zur Transzendentalphilosophie läßt nun der Operativismus die Möglichkeit der Kunst und des Numinosen offen; aber er kann sie auch nicht begründen. Das physikalische Objekt entsteht nach ihm dadurch – und darin ist er mit KANT zunächst einig –, daß wir in das Mannigfaltige der Wahrnehmungen a priori eine synthetische Einheit nach Regeln und Gesetzen bringen. Aber während das für KANT die notwendige Weise der Objektkonstruktion überhaupt ist, wird sie nach der Auffassung des Operativismus nur durch praktische Endzwecke bestimmt und ist deswegen nicht zwingend verbindlich. Nun entsteht aber der künstlerische Gegenstand formal betrachtet gleichfalls dadurch, daß der Künstler, mit KANT zu reden, in das Mannigfaltige der Wahrnehmung

eine „synthetische Einheit nach Regeln“ bringt. Jedes Kunstwerk hat seine inneren Stil- und Strukturgesetze, bündigt den Reichtum des Mannigfaltigen durch Ordnung und Form, wenn auch freilich auf eine ganz andere Art als die Physik. Und auch die künstlerische Synthesis ist, erkenntnistheoretisch betrachtet, etwas Apriorisches, nämlich eine Schöpfung. Indem nun in operativistischer Sicht die physikalische Objektkonstruktion grundsätzlich keine Auszeichnung mehr vor anderen genießen kann, darf sie der künstlerischen Gegenstandsgestaltung auch nicht mehr widersprechen. Dasselbe gilt für das Numinose. Denn das physikalische Gesetz ist ja, operativistisch betrachtet, weder wahr noch falsch, sondern eine ideale, zu einem bestimmten Zweck geschaffene methodische Konstruktion. Dann aber gibt es gegen das Numinose überhaupt keinen grundsätzlichen Einwand mehr.

Wie gesagt lassen sich indessen weder das Kunstwerk noch das Numinose auf solche Weise begründen. Denn wenn auch im Rahmen des Operativismus das Recht zu anderen als physikalischen Schöpfungen nicht mehr grundsätzlich bestritten werden kann, so wird damit doch noch nicht darüber entschieden, was uns dazu führen soll, solchen anderen Schöpfungen objektive Geltung zuzusprechen.

So ist zwar die Frage der Geltung der Physik und damit, da sie eine Art Grundwissenschaft von der Natur ist, die Frage der Geltung der Naturwissenschaften überhaupt bereits in voller Schärfe in den aufgeführten historischen Beispielen zu erkennen. Und ferner ist zu erkennen, wie diese Frage notwendig mit derjenigen nach dem Numinosen und dem Kunstgegenstand zusammenhängt. Aber die Antworten, die uns HUME, KANT und REICHENBACH hierfür anbieten, können uns heute nicht mehr befriedi-

gen. Was sie bewegte, bewegt uns zwar nicht weniger brennend. Sogar noch tiefer sind wir heute der Welt der Physik und Technik ausgesetzt, die uns einerseits fasziniert und die uns andererseits dem Numinosen und der Kunst weiter denn je entfremdet hat. Indessen zwingt uns, wie das Folgende zeigen soll, eine Fülle neuer Einsichten zur Sache zu neuen und anderen Wegen, führt uns aber auch weiter.

II. Eine Fallstudie: Die Begründung und Geltung des Kausalprinzips in der Quantenmechanik

Bevor im nächsten Kapitel nach der vorangegangenen historischen Einführung die Thematik dieses Buches systematisch entwickelt wird, wollen wir uns nun zunächst einem besonderen Fall zuwenden. Damit soll die darauf folgende abstraktere und allgemeinere Betrachtung vorbereitet werden.

Von jeher stand das Kausalprinzip als eines der wichtigsten Prinzipien der Naturwissenschaften auch im Vordergrund des philosophischen Interesses an der Quantenmechanik. Fragen wir also:

Wie lautet dort das Kausalprinzip?

Gilt dort das Kausalprinzip?

1. Die Beschränkung der Anwendbarkeit des Kausalprinzips in der Quantenmechanik

HEISENBERG formulierte es in „scharfer Formulierung“ folgendermaßen: „Wenn wir die Gegenwart genau kennen, können wir die Zukunft berechnen.“¹

Hieran ist nun nach seiner Auffassung „nicht der Nachsatz, sondern die Voraussetzung falsch. Wir *können* die Gegenwart in allen Bestimmungstücken prinzipiell *nicht* kennen lernen ...“² Die Ursache dieser Unkennt-

¹ W. HEISENBERG: Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik, in: Zeitschr. f. Physik, Bd. 43 (1927) S. 197.

² Ebd.

nis ist die Unbestimmtheitsrelation der Quantenmechanik. Sie lehrt, daß wir stets nur entweder den Ort oder den Impuls eines Teilchens genau messen können, nicht aber beides zugleich. (Wenn ich im folgenden von *der* Unbestimmtheitsrelation spreche, so meine ich stets die Unbestimmtheitsrelation in dieser Form.) Wenn nun infolge der Quantenmechanik die „Voraussetzung“ des Kausalprinzips falsch wird, zugleich aber alle Experimente der Quantenmechanik unterworfen sind, so folgt für HEISENBERG hieraus, daß „die Ungültigkeit des Kausalgesetzes definitiv festgestellt“ ist.³ Auf diese Bemerkung aus so berufenem Munde stützen sich seither die Apostel der „Akausalität“.

Nimmt man HEISENBERG aber beim Wort, so muß man feststellen, daß seine Behauptung, logisch betrachtet, falsch ist. Das Kausalprinzip wird von HEISENBERG als Wenn-Dann-Satz ausgedrückt. Nach den Regeln der Logik wird aber eine solche Wenn-Dann-Beziehung nicht ungültig, wenn ihre Voraussetzung falsch ist. Im Gegenteil: Wenn die Voraussetzung *prinzipiell* falsch ist (wir können die Gegenwart prinzipiell nicht genau kennen), so wird die Wenn-Dann-Beziehung (hier also das Kausalprinzip) sogar immer wahr.

Allerdings wird das Kausalprinzip dann auch niemals anwendbar. Dies wäre nämlich nur möglich, wenn ich die Gegenwart wirklich genau kennte und dann daraus die Zukunft berechnen könnte. Für HEISENBERG ist das aber niemals der Fall.

Offenbar hat HEISENBERG die Gültigkeit des Kausalprinzips mit seiner Anwendbarkeit verwechselt – dies sind aber zwei verschiedene Prädikate.

Es ist nun keineswegs schwierig, ein Kausalprinzip zu

³ Ebd.

finden, das nicht nur von der Quantenmechanik als Leitregel vorausgesetzt wird, sondern auch anwendbar ist. Man kann es so ausdrücken: „Zu jedem grundsätzlich genau meßbaren Ereignis gibt es andere mit ihm gleichzeitige, vergangene und zukünftige, mit denen es durch Kausalgesetze verbunden ist.“ Den Begriff Kausalgesetz bestimme ich, indem ich mich auf eine Definition STEGMÜLLERS stütze,⁴ die ich nur verkürze und leicht verändere: Ein Kausalgesetz ist ein deterministisches, mittels nach der Zeit differenzierter mathematischer Funktionen ausgedrücktes Nahwirkungsgesetz, das sich auf ein homogenes und isotropes Raum-Zeit-Kontinuum bezieht. „Kausalgesetze sind deterministisch“ besagt, sie gestatten eine genaue und nicht nur wahrscheinliche Vorhersage; in der Physik nehmen diese Gesetze die Gestalt der bezeichneten mathematischen Funktionen an; sie sind Nahwirkungsgesetze, weil die Ausbreitungsgeschwindigkeit der durch sie geregelten Ereignisfolgen endlich ist; sie beziehen sich auf ein isotropes Raum-Zeit-Kontinuum, weil es für diese Ereignisfolgen gleichgültig ist, in welcher Richtung sie sich ausbreiten.

Damit wird deutlich, was es heißt, wenn ein Ereignis mit anderen durch Kausalgesetze verbunden ist; es bedeutet, daß diese Ereignisse aus ihm berechnet werden können oder umgekehrt, daß dieses Ereignis aus ihnen berechnet werden kann.

Der Begriff des Ereignisses sei hier nicht explizit definiert. Nur darauf sei hingewiesen: Ein Ereignis soll nicht dadurch definiert sein, daß es grundsätzlich genau meßbar ist. Demnach könnte es auch nicht genau meßbare

⁴ W. STEGMÜLLER: Das Problem der Kausalität, in: Probleme der Wissenschaftstheorie, Festschrift für VICTOR KRAFT, Wien 1960, S. 183.

Ereignisse geben. Ein Beispiel hierfür wären die sog. Interphänomene, unter denen man Ereignisse der Mikrophysik versteht, welche nicht in Wechselwirkung mit anderen materiellen Phänomenen treten, also zwischen Koinzidenzen liegen – etwa die Bahn eines Teilchens von seinem Ausgangspunkt bis zu seinem Zusammenstoß mit einem Lichtquant. Daß solche Ereignisse wirklich existieren, wird damit nicht behauptet; mit diesem Beispiel soll nur gezeigt werden, daß der hier verwandte Begriff „Ereignis“ die genaue Meßbarkeit nicht einschließt.

Am Beispiel der Ortsmessung eines Teilchens läßt sich verdeutlichen, daß die Quantenmechanik das soeben formulierte Kausalprinzip nicht nur als Leitregel voraussetzt, sondern daß es auch anwendbar ist.

Es wird *vorausgesetzt*, weil einer solchen Messung folgende Überlegung vorhergeht: Wenn bestimmte Größen genau gemessen werden (z. B. die Wellenlänge des bei der Messung zu verwendenden Lichtes, die Dimensionen des Meßapparates, das entstehende Beugungsmuster usw.), dann gibt es hierzu andere Größen (der Ort des Teilchens), welche sich aus ihnen nach Kausalgesetzen (der klassischen Optik) berechnen lassen. Und das Kausalprinzip ist *anwendbar*, weil diese genauen Messungen ausgeführt werden können. Denn nur unter der Voraussetzung dieser genauen Messungen läßt sich die Forderung des Kausalprinzips anwenden, daß es zu den genau gemessenen Größen andere gibt, mit denen sie durch Kausalgesetze verbunden sind.

So findet sich entsprechend bei HEISENBERG eine – freilich weniger beachtete – Bemerkung, nach welcher für die Quantenmechanik gilt: „Wenn zu irgendeiner Zeit gewisse physikalische Größen so genau, wie prinzipiell möglich, gemessen werden, so gibt es auch zu jeder anderen Zeit Größen, deren Wert exakt berechnet werden

kann, d. h. für die das Resultat einer Messung präzise vorausgesagt werden kann . . . “⁵

Indessen läßt sich das Kausalprinzip nicht auf alle möglichen Ereignisse anwenden; im Gegenteil: Seine Anwendbarkeit ist durch die Unbestimmtheitsrelation eingeschränkt. Nach ihr sind ja nicht *alle* klassischen Größen grundsätzlich und unter allen Umständen genau meßbar. (Im Formalismus der Quantenmechanik ausgedrückt, sagt das: Die den Observablen Ort bzw. Impuls eines Teilchens zugeordneten Operatoren sind unvertauschbar; sie haben verschiedene Eigenfunktionen, oder die Hauptachsensysteme der dem Ort bzw. Impuls zugeordneten Operatormatrizen sind nicht identisch.) Daraus folgt, daß die Quantenmechanik zwar genaue Aussagen über Messungen und genaue Voraussagen ermöglicht, vor allem aber auch Wahrscheinlichkeitsaussagen enthält, die aus Gründen des quantenmechanischen Formalismus’ nicht auf Aussagen reduzierbar sind, die *keine* Wahrscheinlichkeitsgrößen betreffen.

Die Quantenmechanik zerfällt daher in eine Gruppe von Aussagen, für welche das genannte Kausalprinzip Anwendung findet – und in eine andere, für welche das Kausalprinzip keine Anwendung findet. Diese Beschränkung der Anwendbarkeit des Kausalprinzips durch ein empirisches Gesetz, nicht aber seine Aufhebung oder Ungültigkeit unterscheidet die Quantenmechanik von der klassischen Physik, wenn man das Kausalprinzip in der vorhin angegebenen Weise formuliert.

Mit dieser Formulierung gleichbedeutend scheint auch die Bestimmung des Kausalprinzips durch VON WEIZSÄCKER zu sein. Er schreibt: „Sind einige Bestimmungs-

⁵ W. HEISENBERG: Physikalische Prinzipien der Quantentheorie, Mannheim 1958, S. 45.

stücke des Zustandes eines Systems bekannt, so können alle diejenigen Bestimmungsstücke früherer oder späterer Zustände berechnet werden, die mit den bekannten nach der klassischen Physik in einem eindeutigen Zusammenhang stehen.“⁶ Trotzdem meint von WEIZSÄCKER, daß gerade *nicht* – wie soeben behauptet worden ist – die Beschränkung der Anwendbarkeit des Kausalprinzips in der Quantenmechanik deren Unterschied zur klassischen Physik bezeichne; ja im Gegenteil: Diese Beschränkung hätten vielmehr beide gemeinsam. Denn auch in der klassischen Physik seien infolge von Meßfehlern und allerlei Störungen niemals alle Bestimmungsstücke eines Systems exakt meßbar gewesen und konnten auch niemals vollständig bekannt sein. Der Unterschied liege daher nur in den Grenzen, bis zu denen die Bestimmung eines Zustandes vorangetrieben werden kann.

Hierbei wird aber nicht genügend hervorgehoben, daß sich die bezeichnete Beschränkung in der klassischen Physik – eben wegen der von WEIZSÄCKER erwähnten Grenzen – grundlegend von derjenigen in der Quantenmechanik unterscheidet. Während nämlich die Grenzen der Meßgenauigkeit und der Meßinformation in der klassischen Physik nur *praktisch* existieren – es also denkbar ist, daß sie grundsätzlich beliebig weit hinausgeschoben werden können –, werden diese Grenzen in der Quantenmechanik infolge der Unbestimmtheitsrelation für *grundsätzlich* nicht überschreitbar angesehen.

In der klassischen Physik ist daher insofern das Kausalprinzip grundsätzlich *nicht* beschränkt, in der Quantenmechanik dagegen grundsätzlich *nur* beschränkt an-

⁶ C. F. VON WEIZSÄCKER: Zum Weltbild der Physik, Stuttgart 1958, S. 85 f.

wendbar. Ich glaube also, an dem vorhin hervorgehobenen Unterschied zwischen klassischer Physik und Quantenmechanik festhalten zu können.

2. *Das uneingeschränkte Kausalprinzip und die verborgenen Parameter*

Eine Bestimmung des Kausalprinzips, welche der Quantenmechanik widerspricht, ist z. B. folgende: „Zu *jedem* Ereignis gibt es eine kausale Erklärung.“

Da eine kausale Erklärung hierbei bedeuten soll, daß ein Ereignis aus anderen mittels Kausalgesetzen logisch ableitbar ist, hierzu aber – nach STEGMÜLLERS Definition des Kausalgesetzes – genaue Meßwerte erforderlich sind, so folgt aus der Behauptung „Jedes Ereignis ist kausal erklärbar“ die weitere, daß jedes Ereignis genau meßbar ist. Und *dies* widerspricht der bekannten Deutung der quantenphysikalischen Phänomene.

Dieses Kausalprinzip spricht eine uneingeschränkte Forderung aus: Es soll für *jedes* Ereignis zutreffen. Ich möchte es daher das *uneingeschränkte Kausalprinzip* nennen. Dagegen nenne ich dasjenige, welches sich nur auf genau meßbare Ereignisse beschränkt (genau meßbar müssen ja nicht alle sein, wie die Unbestimmtheitsrelation lehrt), das *eingeschränkte Kausalprinzip*.

Hält man am uneingeschränkten Kausalprinzip fest, so bedeutet das angesichts der Quantenmechanik, daß man jenseits der wegen der Unbestimmtheitsrelation ungenau oder überhaupt nicht bestimmbaren Meßwerte genaue Werte *an sich* annimmt; und erst unter dieser Voraussetzung ließe sich dann vielleicht hoffen, diese Werte später einmal messen zu können oder in irgendeiner Weise

zu interpolieren, um zu der gesuchten kausalen Erklärung zu gelangen. Solche Werte an sich werden heute meistens „verborgene Parameter“ genannt. Lassen sich aber die Existenz solcher verborgener Parameter und das uneingeschränkte Kausalprinzip angesichts der Quantenmechanik behaupten?

Zu den eingangs gestellten beiden Fragen: „Wie lautet das Kausalprinzip?“ und „Gilt das Kausalprinzip?“ gehört unausweichlich die dritte: „Gibt es verborgene Parameter?“ Und an dieser Frage scheiden sich auch heute noch die Geister.

Die sog. Kopenhagener Schule hat sich für die Ablehnung entschieden. Ihre Vertreter, vor allem BOHR, HEISENBERG, VON WEIZSÄCKER u. a. sagen, daß es nicht gestattet sein könne, den einzelnen Bestimmungstücken der Natur einen vom jeweiligen Beobachtungszusammenhang unabhängigen objektiven Sinn zuzuschreiben. Alles, was uns wahrhaft gegeben sei, seien die durch klassisch ausgeführte Messungen und klassisch interpretierte Experimente auftretenden Erscheinungen (klassisch in dem Sinne, wie es vorhin am Beispiel einer Ortsmessung illustriert wurde); die zu diesen Erscheinungen komplementären Momente dürften nicht in einer Welt an sich mit ihnen verbunden werden; Wahrscheinlichkeitsaussagen seien daher – wie die Unschärferelation – grundsätzlich unvermeidbar; und dieser Standpunkt werde auch die Grundlage für *jede* künftige Theorie der Mikrophysik bilden.

Dagegen hat BOHM, um ein philosophisch besonders interessantes und erhellendes Beispiel herauszugreifen, in Zusammenarbeit mit VIGIER und, angeregt durch länger zurückliegende, aber nicht ausgereifte Gedanken DE BROGLIES eine physikalische Theorie vorgelegt, die sich auf verborgene Parameter stützt. Sie trat damit der tradi-

tionellen Quantenmechanik und der sog. Kopenhagener Deutung der Mikrophysik entgegen.

BOHM⁷ spaltete zuerst die zeitabhängige SCHRÖDINGER-Gleichung (die ja eine komplexe Funktion enthält) in ihren imaginären und in ihren reellen Teil auf und erhielt so zwei Gleichungen. Die eine kann als Kontinuitätsgleichung aufgefaßt werden, welche der klassischen Massen-Kontinuitätsgleichung entspricht, nur daß sie nun besagt, daß sich die Wahrscheinlichkeit, eine Partikel an einem bestimmten Ort zu finden, nicht ändert. Die andere Gleichung aber stimmt unter einer gewissen Annahme mit der klassischen HAMILTON-JACOBISCHEN Differentialgleichung überein, vorausgesetzt, das PLANCKsche Wirkungsquantum h ist gleich Null. Wird h ungleich Null, so läßt sich diese Übereinstimmung mit der klassischen Gleichung aufrechterhalten, wenn man den Begriff eines besonderen Potentials, das zu dem klassischen hinzukommt, neu einführt.

So wird die SCHRÖDINGER-Gleichung von BOHM als das Erhaltungsgesetz der Wahrscheinlichkeit für das Auffinden eines Teilchens an einem bestimmten Ort interpretiert; und sie drückt in seiner Betrachtungsweise zugleich aus, daß die dynamischen Verhältnisse der Teilchenbewegung wie in der klassischen Mechanik durch die HAMILTON-JAKOBISCHE Differentialgleichung beschrieben werden. Damit erweisen sich die Flugbahnen der Teilchen

⁷ D. BOHM: in: Phys. Rev., Vol. 85 (1952) N. 2, S. 187. Es ist hier ohne Belang, daß dieses Beispiel, wie übrigens auch das der Kopenhagener Schule, schon beinahe wieder „historisch“ genannt werden müßte. An beiden sollen ja nur als Fallstudie bestimmte erkenntnistheoretische Grundeinstellungen demonstriert und geprüft werden. Auch sollen sie zeigen, wie sich diese Einstellungen in bestimmten philosophischen Theorien niederschlagen.

als klassisch bestimmte Größen; die Wellenfunktion repräsentiert für BOHM ein reales Feld, das eine Kraft auf das Teilchen ausübt; die als diskontinuierlich erscheinenden Vorgänge der Quantentheorie sind nach dieser Deutung im Grunde kontinuierlich.⁸

Zwischen BOHMS Theorie und der traditionellen Quantenmechanik schien eine experimentelle Entscheidung schwierig, solange hier wie dort die SCHRÖDINGER-Gleichung grundlegend ist und dieselben Voraussagen gemacht werden. Deswegen schrieb HEISENBERG: „BOHM war imstande, diese Idee so auszuführen, daß die Resultate für jedes Experiment dieselben sind wie in der Kopenhagener Interpretation. Die erste Folge davon ist, daß BOHMS Interpretation durch das Experiment nicht widerlegt werden kann . . . “⁹

3. Die Philosophie der Kopenhagener Schule und die Philosophie Bohms

In gewisser Hinsicht konnte man also beide Interpretationen als gleichwertig ansehen, wenn man davon absah, daß *beide* mehr oder weniger mit gewissen Schwierigkeiten zu kämpfen haben, die noch nicht überwunden sind (worauf hier nicht näher eingegangen werden kann). Aber da deren Überwindung durch eine entsprechende Verbesserung des jeweiligen Formalismus⁷ nicht ausgeschlos-

⁸ D. BOHM: in: Phys. Rev., Vol. 85 (1952) No. 2, S. 166 ff.; Phys. Rev., Vol. 89 (1953) No. 2, S. 458 ff.; Progr. of Theoretical Phys., Vol. IX, No. 3 (1953) S. 273 ff.; – J. P. VIGIER, in: Phys. Rev., Vol. 96 (1954) No. 1, S. 208 ff.

⁹ W. HEISENBERG: The Development of the Interpretation of the Quantum Theory, in: NIELS BOHR and the Development of Physics, ed. by W. PAULI, London 1955, S. 17 f.

sen zu sein schien, so verlagerte sich die Debatte zwischen den verschiedenen Auffassungen teilweise auf das philosophische Gebiet.

Die beiden Interpretationen sind daher auch philosophisch begründet und gedeutet worden, und wie nicht anders zu erwarten, steht die Philosophie der einen in klarem Widerspruch zu derjenigen der anderen. Ich stelle sie in ihren Grundthesen einander gegenüber und beginne mit der Kopenhagener:

BOHR und seine Anhänger sehen in der Unschärferelation ein Urphänomen des Seins; eine objektive Existenz habe nur, was meßbar sei, nicht aber das hierzu Komplementäre. VON WEIZSÄCKER lehrt, es gebe eine der klassischen Physik zugrunde liegende Ontologie, die heute nicht mehr aufrechterhalten werden könne; in ihr sei die Natur in cartesianischer Weise als etwas an sich Existentes gedacht worden; im Gegensatz hierzu seien Naturgesetze aber nicht ohne unser Zutun in der Natur vorhanden, sondern Gesetze der Möglichkeit, Phänomene durch das Experiment hervorzubringen. Seiendes sei eigentlich nur dasjenige, was hierbei erscheinen kann.

Diese Kopenhagener Philosophie ließe sich in dem Satz zusammenfassen: Sein ist nur das Mögliche, welches mit Hilfe einer Meßvorrichtung als Wirkliches hervorgebracht wird.

Im Gegensatz hierzu lehrt BOHM, daß in der Natur an sich Kausalgesetze wirksam seien. Die Natur sei unendlich komplex, in unendlich vielen Schichten aufgebaut; und jede von ihnen besitze eine nur relative Autonomie, denn sie zeige Wirkungen der tiefer liegenden, deren Parameter zunächst verborgen bleiben.

BOHM faßt seine Philosophie in dem Satz zusammen: „Der wesentliche Charakter der wissenschaftlichen Forschung besteht darin, daß sie sich auf das Absolute zubewegt, in-

dem sie das Relative in seiner unerschöpflichen Vielfalt und Verschiedenheit studiert.“¹⁰

Für welche dieser einander widersprechenden Philosophien soll man sich entscheiden? Oder ist vielleicht keine von ihnen überzeugend? Zur Beantwortung dieser Frage muß ich die eine wie die andere philosophische Richtung etwas näher erläutern und kritisch betrachten; ich beginne mit der Kopenhagener Schule.

Die einzig legitime Grundlage einer wissenschaftlichen Aussage ist für sie dasjenige, was auf Grund der Unschärferelation beobachtbar ist. „Beobachtbar“ bedeutet hierbei „meßbar“. Und nur dies durch eine solche Messung Erscheinende ist für die Kopenhagener eine Realität. Sie glauben nun, daß nach ihrer Deutung der quantenmechanische Formalismus nur Umformungen von Aussagen über Beobachtbares (und damit Meßbares) zu anderen solchen Aussagen zulasse. Indem so der feste Boden der „Realität“ nicht verlassen werde, sei die Überlegenheit über jede mit spekulativen Begriffen wie unbeobachtbaren Parametern arbeitende Theorie sichergestellt.

Daher bemerkte HEISENBERG gegen BOHM: „BOHM hält sich für in der Lage, zu behaupten: ‚Wir müssen die genaue, rationale und objektive Beschreibung individueller Systeme im Bereiche der-Quantentheorie nicht aufgeben.‘ Diese objektive Beschreibung enthüllt sich jedoch selber als eine Art ‚ideologischer Superstruktur‘, die wenig mit der unmittelbaren Realität zu tun hat.“¹¹

¹⁰ D. BOHM: Causality and Chance in Modern Physics, London 1958, S. 170.

¹¹ W. HEISENBERG: a. a. O. S. 18.

Eben weil für die Kopenhagener Schule die nur in der Beobachtung gegebene Realität die einzig legitime Grundlage des Wissens darstellt, ist es uns nach ihrer Auffassung auch nicht gestattet, den einzelnen Bestimmungsstücken der Natur einer vom jeweiligen Beobachtungszusammenhang unabhängigen objektiven Sinn zuzuschreiben. Alles, was uns *wahrhaft* gegeben sei, seien die durch Messungen und Experimente auftretenden Erscheinungen; die zu ihnen komplementären dürften nicht in einer Welt an sich mit ihnen verbunden werden.

Man hat es hier mit einer auf den ersten Blick in der Tat an BERKELEYS „esse est percipi“ erinnernden empiristischen Einstellung zu tun, die sich vornehmlich gegen die Existenz unbeobachtbarer Parameter richtet. Der entscheidende Unterschied zu BERKELEY besteht allerdings darin, daß dieses „esse est percipi“ nunmehr verwandelt zu sein scheint in ein „Sein ist gemessen werden“. (Im Kapitel VI, wo u. a. dieser Unterschied näher behandelt werden soll, wird sich allerdings zeigen, daß „Sein ist gemessen werden“ den Sachverhalt nicht genau zum Ausdruck bringt.)

Zu dieser empiristischen Einstellung ist folgendes zu bemerken: Die angebliche Beschränkung der Physik auf das Beobachtbare ist eine Illusion; keine physikalische Theorie wäre möglich, übte man diese Beschränkung in Strenge aus, – und dies gilt sogar in besonderem Maße für die Quantenmechanik.

Ich möchte dies nun kurz erläutern.

Soll die Zustandsfunktion Ψ im Sinne der Kopenhagener Forderung eine physikalische Realität sein, so muß sie durch Messungen bestimmt werden können. Dies aber hat seine Schwierigkeit, da der theoretisch erdachte Weg, die Ψ -Funktion mit Hilfe einer Unterteilung von Systemmengen und statistischer Auszählung zu errechnen, aus

praktischen Gründen nicht vollständig ausgeführt werden kann.¹²

Man könnte nun vielleicht meinen, dies habe keine besondere Bedeutung, da ja praktische Probleme eines Tages gelöst werden könnten. Betrachtet man Probleme dieser Art in der Quantenmechanik aber genauer, so muß man bekennen, daß eine solche Hoffnung bereits die Grenze der Spekulation erreicht.

Es ist nämlich innerhalb der Quantenmechanik möglich, jede reguläre komplexe Funktion mit gewissen Beschränkungsbedingungen im Unendlichen durch einen Operator in eine Funktion zu überführen, welche die SCHRÖDINGER-Gleichung erfüllt. Da nun dem Formalismus der Quantenmechanik zufolge jede physikalische Größe durch einen Operator dargestellt wird, so wäre die Quantenmechanik nur dann vollständig interpretierbar, wenn auch umgekehrt jedem Operator eine solche Größe entspräche. Die Menge der in dieser Weise definierbaren Größen wäre dann unendlich groß. So gibt es Größen, denen keine physikalische Bedeutung zugeordnet wird, wie zum Beispiel das Produkt aus der Energie und der Quadratwurzel des Impulses. Zwar könnte man durch

¹² Mit Hilfe der Unterteilung von Systemmengen und statistischer Auszählung erhält man Differenzen der Art:

$$|\Psi(q, t_1)|^2 - |\Psi(q, t_0)|^2$$

Dies ist eine Annäherung an:

$$\frac{\delta}{\delta t} |\Psi(q, t_0)|^2$$

Mit Hilfe gewisser mathematischer Methoden läßt sich hieraus eine ψ -Funktion gewinnen, welche die durch statistische Auszählung gewonnenen Daten von $|\psi(q, t_0)|^2$ und von $\frac{\delta}{\delta t} |\Psi(q, t_0)|^2$ befriedigt und *zugleich* eine Lösung der zweiten SCHRÖDINGER-Gleichung darstellt.

Und dies ist dann die „experimentell bestimmte“ ψ -Funktion. Indessen zeigt ja gerade diese Bestimmung, daß sie nur in grober Annäherung möglich und einer genauen Messung nicht zugänglich ist.

einen speziellen Aufbau einer Meßvorrichtung selbst solche Größen physikalisch deutbar machen. Dies müßte aber dann mindestens für alle möglichen Kombinationen der physikalischen Grundgrößen geschehen und zwar für alle möglichen negativen und positiven Potenzen. Daraus folgt: Es müßte eine alle Vorstellungen übersteigende Menge von Meßvorrichtungen benötigt werden, wenn jede in der Quantenmechanik mögliche Größe – dem Postulate durchgängiger Beobachtbarkeit entsprechend – meßbar sein sollte.

So ist also die Behauptung, der Formalismus der Quantenmechanik lasse nur Umformungen von Aussagen über Beobachtbares zu anderen solchen Aussagen zu, weit davon entfernt, hinreichend begründet zu sein. Und schließlich hat WIGNER bewiesen (vgl. Kapitel VI), daß der größere Teil der in der Quantenmechanik möglichen Operatoren keine meßbaren Größen repräsentiert.

Wie die Philosophie der Kopenhagener von der messenden Beobachtung ausging, so stützte sich BOHM auf die Geltung des uneingeschränkten Kausalprinzips. Er glaubte, daß alle Wahrscheinlichkeitsaussagen in der Physik grundsätzlich auf solche reduzierbar seien, welche keine sind; Wahrscheinlichkeitsaussagen sind für ihn immer nur etwas Vorläufiges. Nach seiner Meinung existiert ja die Natur absolut, an sich in unendlich komplexer Mannigfaltigkeit und besitzt daher verborgene Parameter, die, konnte man sie hinreichend, die Determination des Geschehens wieder herstellten. Für ihn ist daher grundsätzlich jedes Ereignis kausal erklärbar.

Allein die Geltung dieses uneingeschränkten Kausalprinzips läßt sich auf theoretische Weise nicht beweisen, wie es andererseits auch nicht zu widerlegen ist; und dies trifft sogar für jedes überhaupt mögliche Kausalprinzip zu.

Wie nämlich könnte ein solches Für und Wider aussehen?

Es könnte doch nur entweder empirisch oder apriorisch begründet sein.

Empirisch läßt sich ein Kausalprinzip aber weder bestätigen noch falsifizieren. Wie immer man nämlich auch das Kausalprinzip formulieren mag – und es gibt natürlich viel mehr Möglichkeiten, es auszudrücken, als die hier untersuchten Beispiele – so wird man es doch stets, wenn es überhaupt adäquat sein soll, auf eine durchsichtige logische Form bringen können, die in einer kombinierten Existenz- und Allaussage der Art besteht: „Zu jedem . . . Ereignis . . . gibt es . . . “ Denn welche Gestalt es auch haben mag, es leitet sich von der unbestimmten, allgemeinen Formulierung ab: Zu jedem Ereignis gibt es eine Ursache. Nun ist eine Allaussage nicht bestätigungsfähig – denn wie könnte man alle Fälle kennen? – und eine Existenzaussage nicht falsifizierbar – denn wie könnte man je wissen, ob, was sich noch nicht als existent erwiesen hat, nicht doch noch existiert?¹³

¹³ Gegen diese Auffassung ist mir im Namen des Empirismus eingewandt worden, sie beruhe auf einer unangemessenen, weil zu engen Bestimmung des Begriffes der empirischen Bestätigungsfähigkeit. Folge man den Ausführungen CARNAPS in seiner Abhandlung über „Theoretische Begriffe der Wissenschaft“ (Zeitschrift für Philosophische Forschung, Bd. XIV (1960) S. 209 ff.), so erwiesen sich auch kombinierte All- und Existenzsätze nach Art des Kausalprinzips als „empirisch signifikant“ und damit nicht ohne empirischen Gehalt.

Ich kann hier nicht im einzelnen auf CARNAPS erwähnte Arbeit eingehen. In Kürze läßt sich hierzu aber folgendes sagen: CARNAP hat in ihr ausdrücklich seine frühere, noch in „Testability and Meaning“ (Philosophy of Science, Bd. 3/4, 1936/37) vorgebrachte empiristische Forderung aufgegeben, alle theoretischen Prädikate und Sätze müßten vollständig oder unvollständig auf unmittelbar Beobachtbares reduzierbar sein. Stattdessen lautet sein „empirisches Signifikanzkriterium“ nun kurz gesagt folgendermaßen: Ein theoretischer Begriff ist signifikant, wenn seine Verwendung innerhalb einer „bestimmten Annahme“ einen Unterschied in der Vorhersage eines beobachtbaren Ereignisses ausmacht. Dabei tritt nun ein sol-

Was nun die Versuche betrifft, das Kausalprinzip a priori theoretisch als notwendig zu begründen (z. B. transzendental), so ist zumindest dieses sicher, daß diese Beweise höchst zweifelhaft geblieben sind und daher auch alles andere als allgemeine Anerkennung gefunden haben.

cher Begriff innerhalb einer „theoretischen Sprache“ auf, welche durch willkürliche „Zuordnungsregeln“ einen nur indirekten Zusammenhang zu Sätzen über unmittelbar Beobachtbares herstellt, von denen sie streng getrennt wird. (Dies ist eine Feststellung, die meines Erachtens auf einer grundsätzlich zutreffenden Analyse wissenschaftlicher Theorien beruht.)

Die allgemeine Wendung CARNAPS von einem wahrnehmungstheoretischen Ausgangspunkt zu einem solchen, der nur noch die Praktikabilität der Wissenschaft zum Leitfaden hat, ist unverkennbar. Ich frage daher: Was hat ein solches Signifikanzkriterium noch mit Empirismus zu tun? Von einer vollständigen oder auch nur unvollständigen Auflösung der Begriffe in beobachtbare Prädikate ist nicht mehr die Rede; entscheidend ist nur, daß theoretische Begriffe im Kontext von Beobachtungssätzen, theoretischen Postulaten und Zuordnungsregeln ihre die Vorhersage mitbestimmende Stelle haben. Solche Begriffe entspringen also der Spontaneität des Denkens, nicht der Wahrnehmung – und sind eben deswegen nicht empirischer Natur.

CARNAPS Abhandlung stellt daher nicht etwa eine Verbesserung des empiristischen Standpunktes gegenüber „Testability and Meaning“ und dem Wiener Kreis dar, sondern sie ist nichts anderes als die endgültige Aufgabe dieses Standpunktes.

Dem oben erwähnten Einwand, das Kausalprinzip erweise sich aufgrund von CARNAPS Abhandlung über „Theoretische Begriffe der Wissenschaft“ als empirisch gehaltvoll und bestätigungsfähig, möchte ich also entgegenen, daß er seinerseits auf einer unangemessenen Bestimmung des Begriffes „empirisch“ beruht. Denn CARNAPS Aufsatz kann man entnehmen, daß er im Gegensatz zu seiner früheren empiristischen Einstellung nunmehr die entscheidende Bedeutung der Spontaneität des durch Beobachtungen wohl angelegten, nicht aber durch sie bestimmten Denkens im Bereiche der gesamten Wissenschaft (nicht nur der Logik) erkannt hat.

In diesem Zusammenhang ist auch sehr aufschlußreich, was CARNAP darunter versteht, wenn etwas im Bereiche der Wissenschaft für „wirklich“ erklärt wird: Nämlich nichts anderes, als daß man eine Theorie anerkennt, sofern man ihre Postulate zusammen mit den Zuordnungsregeln zur Lenkung von Erwartungen, genauer zur

Man kann es auch so deuten, daß das Kausalprinzip – wie auch immer es formuliert werden mag – überhaupt keine theoretische Aussage darstellt; es beansprucht dann weder, eine empirische Tatsache, noch eine a priori notwendige Verfassung der Natur oder des erkennenden Wesens auszudrücken; es ist dann weder wahr noch falsch, sondern bedeutet nur die *Aufforderung*, das zu jedem X existierende Y *voranzusetzen* und zu *suchen*. Damit wird das Kausalprinzip ein *praktisches Postulat* und rechtfertigt sich daher überhaupt nur durch den Zweck, den man mit ihm verfolgen will. So brauchen wir auch nicht mehr zu fragen:

Wie lautet das Kausalprinzip?

Gilt das Kausalprinzip?

Denn wie das Kausalprinzip lautet, das richtet sich hier nicht mehr danach, was ist, sondern was man will; und ferner gilt auch weder irgendein Kausalprinzip, noch gilt es nicht – keine empirische oder metaphysische Instanz vermag hier etwas zu beurteilen. Es hat keinen theoretischen Inhalt; es sagt nichts über die Welt aus (weswegen es ja oft für eine Tautologie gehalten wurde). Es ist ein methodisches Postulat. Die beiden Fragen müssen dann auch, genau genommen, folgende Gestalt annehmen:

- 1) Welches Kausalprinzip will ich der Physik als allgemeine methodische Leitregel zugrunde legen?
- 2) Welche empirischen Schwierigkeiten habe ich mit dieser Leitregel zu überwinden?

Ableitung der sie aussprechenden Beobachtungssätze verwendet. „Wirklich“ ist für ihn also, was man für seine *praktischen* Zielsetzungen benützt, nicht aber etwa, was theoretisch auf Wahrnehmungen beruht.

Vgl. ferner hierzu: W. STEGMÜLLER: Das Problem der Kausalität, in: Probleme der Wissenschaftstheorie, Festschrift für VICTOR KRAFT, Wien 1960, S. 87 f.; A. PAP: Analytische Erkenntnistheorie, Wien 1955, S. 138 f.

4. *Weder das eingeschränkte noch das uneingeschränkte Kausalprinzip enthalten eine „ontologische“ Aussage.
Beide sind Festsetzungen a priori*

Blicken wir nun zurück, so erkennen wir, daß sowohl die Philosophie der Kopenhagener Schule wie diejenige BOHMS von falschen Voraussetzungen ausgeht.

Die Kopenhagener Schule hält das Beobachtbare und die meßbare Erscheinung für die einzig legitime Grundlage des Wissens und glaubt, sich in ihrer Deutung der Quantenmechanik allein hierauf stützen zu können – das ist *ihr* Irrtum; BOHM aber hält das uneingeschränkte Kausalprinzip für den Ausdruck einer Eigenschaft der Welt an sich – und das ist *sein* Irrtum.

Beiden aber ist der Irrtum gemeinsam, in Aussagen und Prinzipien der Physik Wesenszüge der Natur oder des Seins ausgedrückt zu sehen; sie verstehen physikalische Theorien letzten Endes ontologisch und übersehen, daß sie doch nur Konstruktionen, Modelle sind, die durch apriorische Festsetzungen und Postulate mannigfaltigster Art bestimmt werden.

Diese Apriorismen dürfen nicht mit denjenigen einer Metaphysik oder Ontologie verwechselt werden: Die Apriorismen einer Metaphysik werden als notwendige angesehen – als Beispiel können die „synthetischen Urteile a priori“ KANTS dienen. Die Apriorismen der Physik hingegen sind keineswegs notwendig, sondern durch andere ersetzbar.

Davon zeugen die hier besprochenen verschiedenen Kausalprinzipien, die verborgenen Parameter BOHMS. Hiervon zeugt aber auch die Tatsache, daß über denselben Erfahrungsbereich verschiedene Theorien gleich möglich sein können: Weder gegen die eine noch gegen

die andere lassen sich dann *entscheidende* Argumente physikalischer oder philosophischer Natur vorbringen. Es scheint eine unausrottbare Eigenschaft der Menschen zu sein, daß sie alles sogleich in eine objektive Gegebenheit verwandeln, was im Grunde ihrem eigenen Entwurf entspringt. Die Geschichte der Physik ist ein Prozeß, in dem sich ständig diese Verwechslung der eigenen, freien Konstruktion mit dem ontologisch Realen wiederholt.

Wenn einerseits die von ARISTOTELES gelehrt absolute Realität des Ortes aufgehoben und die Bewegungslehre mit der freien Wahl des Standortes verbunden wurde, so führte man andererseits sofort wieder eine neue absolute Realität, nämlich die der Trägheitsbewegung, ein; sie sollte nicht von der Wahl des Bezugskörpers abhängig, sondern eine wesenhafte und wahrhafte Beschaffenheit des Körpers selbst sein, dem sie zugesprochen wurde. Dies konnte in Cartesianischer Sicht, wie Kapitel IX zeigen wird, noch begreiflich sein. In der späteren Deutung des Trägheitsprinzips aber hätte man erkennen müssen, daß dieses den Begriff „gleiche Zeiten“ voraussetzt, deren Kriterium wieder das Trägheitsgesetz ist. Denn „gleiche Zeiten“ sollen ja dann vorliegen, wenn ein kräftefreier Körper gleiche Strecken zurücklegt. Damit enthüllt sich, daß Trägheit weder eine notwendige noch empirische Eigenschaft der Dinge ist, sondern daß sie einer freien Festsetzung eines Maßstabes entspricht; das Trägheitsprinzip wird zur Maßdefinition.

Die Freiheit apriorischer Festsetzungen, die hier ans Licht tritt, liefert zwar den Schlüssel, wie sich der dogmatische Streit metaphysischer Auffassungen beheben läßt, die auf bestimmte physikalische Theorien aufbauen oder sie leiten: Eben indem sie zeigt, daß keine beanspruchen kann, *die ontologische* Struktur der Welt auszudrücken, weil allen diesen Theorien nur *mögliche* Interpretationen

und praktische Postulate zugrunde liegen; aber diese Freiheit ist dann auch das *eigentliche Problem*, welches die Physik der Philosophie stellt, und nicht dieses oder jenes fragwürdige und immer notwendig vergängliche Modell.

Was nämlich ist diese Freiheit? Ein großer Teil der folgenden Untersuchungen wird sich mit dieser Frage beschäftigen. Auch wird im Kapitel VI die Frage der verborgenen Parameter in der Quantenmechanik noch einmal ausführlich von anderen Gesichtspunkten, als es hier geschehen ist, beleuchtet werden. Zunächst aber will ich, vom besonderen Fall der Quantenmechanik abgelöst, die Frage apriorischer Festsetzungen und Begründungen in der Physik allgemeiner und systematischer behandeln.

III. Systematische Entwicklung der Begründungsfrage in den Naturwissenschaften

Tatsachengläubigkeit ist ein Kennzeichen der modernen Welt. Diese Gläubigkeit verlangt – wie jede andere –, daß sich der Glaubende vor dem Geglaubten beugt, also sagt sie: „Beuge dich vor den Tatsachen!“ Die Tatsache wird für etwas Absolutes gehalten, das zwingend für sich spricht; die Erfahrung wird dabei gern mit einem Gericht verglichen, das befragt wird und ein Urteil fällt. Und wie jedes Gericht, so wird auch dieses als eine objektive Instanz angesehen. Der Bereich aber, von dem man meint, er habe sich vor allem dieser Objektivität unterworfen, ist die Wissenschaft; und deswegen wird sie für die Hüterin und Finderin der Wahrheit gehalten.

Was ist an diesen Meinungen Richtiges? Wie steht es mit der Begründung der Wissenschaft durch Tatsachen? Gehen wir wieder von einem Beispiel aus, das heute für die meisten Wissenschaften als ideales Vorbild angesehen wird: Betrachten wir eine physikalische Theorie.

Sie besteht aus einer Gruppe von Axiomen, welche die Form von Differentialgleichungen mit den Ableitungen von Zustandsfunktionen an einem Weltpunkt nach der Zeit haben. Aus diesen Axiomen werden Naturgesetze abgeleitet und damit im Rahmen der Theorie in einen einheitlichen Zusammenhang gefügt, auch untereinander geordnet und klassifiziert. Durch Angabe von Randbedingungen, Einsetzen von Meßwerten für Variable, erhält man die dieser Theorie zugeordneten sogenannten Basissätze. Aus ihnen werden auf Grund der Theoreme

der Theorie andere Basissätze abgeleitet, welche Meßergebnisse zu einem späteren Zeitpunkt voraussagen – und diese können durch Messungen geprüft werden.

Es ist klar, daß diese Basissätze für die empirische Grundlage der Theorie angesehen werden – weswegen sie ja auch Basissätze genannt werden; daß sie die Tatsachen ausdrücken sollen, auf die sich die Theorie berufen muß; daß sich in *ihnen* das gesuchte, objektive Gerichtsurteil ausdrücken muß; *sie* sollen die Verbindung zwischen dem Gedanken und der Wirklichkeit herstellen; *sie* müssen die geforderte empirische Entscheidung darüber herbeiführen, ob die Theorie wahr oder falsch ist, ob sie der Natur entspricht oder nicht.

Überprüfen wir daher zuerst, inwiefern Basissätze wirklich Tatsachen ausdrücken, und sodann, inwiefern diese Tatsachen einerseits die Naturgesetze und andererseits die Axiome der Theorie begründen können.

1. Die Begründung von Basissätzen

Der Basissatz drückt ein entweder erhaltenes oder zu erwartendes Meßergebnis aus. Hierfür werden Meßinstrumente benötigt. Um aber mit Meßinstrumenten umzugehen, um ihnen zu vertrauen, muß man schon eine Theorie über die Art und Weise ihres Funktionierens besitzen. Das gilt bereits für die einfachsten Instrumente – wie es z. B. ein Maßstab oder ein Fernrohr ist –, denn verwendet man den Maßstab, so setzt man offenbar voraus, daß er beim Transport keine oder berechenbare Veränderungen erfährt (man setzt also eine bestimmte Metrik voraus); verwendet man ein Fernrohr, so schließt dies bestimmte Ideen ein, wie sich Lichtstrahlen verhalten usf. (d. h. man

setzt eine bestimmte Optik voraus).¹ Soll der Meßvorgang aber den angegebenen Sinn haben, so muß ihm nicht nur eine Theorie der dabei verwendeten Instrumente vorangehen, sondern darüber hinaus auch eine Theorie über die zu messenden Größen. Denn deren Begriff ist nicht durch irgendwelche unbestimmte Erfahrungen des Lebens gegeben, sondern nur innerhalb einer Theorie definiert und bestimmt.² Ein Beispiel: Wenn man eine Wellenlängenmessung von Licht durchführen will, muß man vorher erstens eine Wellentheorie des Lichtes haben, muß man zweitens mit Hilfe dieser Theorie und einer Theorie des Meßinstrumentes wissen, wie dieses Instrument eine solche Wellenlängenmessung ermöglicht, und drittens, wie man auf ihm den gesuchten Meßwert ablesen kann.

So kommt es, daß die Basissätze, welche die eine Theorie begründenden Tatsachen ausdrücken sollen, keineswegs bloße Wahrnehmungen mitteilen (wie Zeigerablesungen, Kongruenzen, Verschiebungen usw.), sondern daß auch die Basissätze einen theoretischen Gehalt haben. Basissätze sagen nicht: „Ich habe die und die Wahrnehmungen“, sondern: „Es wurde die und die Wellenlänge, Stromstärke, Temperatur, der und der Druck gemessen

¹ Siehe hierzu: B. RIEMANN: Über die Hypothesen, welche der Geometrie zugrunde liegen, Göttingen 1892, Nr. XIII; – H. POINCARÉ: *La Science et l'Hypothèse*, Paris 1925; – A. EINSTEIN: *Geometrie und Erfahrung*, Berlin 1921; – H. DINGLER: *Relativitätstheorie und Ökonomienprinzip*, Leipzig 1922; – H. REICHENBACH: „Philosophie der Raum-Zeit-Lehre“, Berlin 1928; – A. GRÜNBAUM: *Philosophical Problems of Space and Time*, New York 1963.

² Siehe hierzu: P. DUHEM: *La Theorie Physique: Son Objet, Sa Structure*, Paris 1914; – E. CASSIRER: *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit von Hegels Tod bis zur Gegenwart*, Stuttgart 1957; – R. CARNAP: *Theoretische Begriffe der Wissenschaft*, in: *Zeitschrift für Philosophische Forschung* (1960).

usw.“. Und alle diese Begriffe haben Sinn und Gehalt nur innerhalb von Theorien.

Da schließlich auch die Meßgenauigkeit immer nur beschränkt sein kann, so lassen sich aus jeder Messung innerhalb gewisser Grenzen beliebig viele Meßdaten herauslesen; wenn man eine wählt, so ist dies keine Sache der Erfahrung oder der Wahrnehmung, sondern der Entscheidung. Daß diese in der Regel nicht willkürlich, sondern im Rahmen einer Theorie der Fehlerrechnung erfolgt, ändert an der Sachlage nichts. Denn dieser Theorie liegen u. a. folgende nichtempirische Voraussetzungen zugrunde: Die Annahme der Existenz eines wahren Wertes, die Annahme, daß die Fehler mit gleicher Wahrscheinlichkeit positives wie negatives Vorzeichen haben; ferner macht man die Festsetzung, daß bei der Fehlerrechnung von den Quadraten der Abweichungen vom mittleren Wert auszugehen ist, usw.³

³ Gegeben sind immer nur n voneinander abweichende Einzelmessungen l_1, l_2, \dots, l_n , niemals aber der „wahre Wert“ X , dessen Existenz vielmehr nur eine Festsetzung ist. Es sei

$$e_k = l_k - X$$

die Abweichung des Einzelwertes vom angenommenen wahren Wert X . Wenn man nun die weitere Annahme macht, daß die Fehler mit gleicher Wahrscheinlichkeit positive wie negative Vorzeichen haben (wobei sich ihre algebraische Summe annähernd aufhebt), so nimmt man als den „wahren mittleren Fehler“ der Einzelwerte l_k

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n e_k^2}.$$

Schließlich wird noch vorausgesetzt, daß das arithmetische Mittel der Einzelwerte – genannt Bestwert L – dem wahren Wert am nächsten kommt. Entsprechend ergibt sich aus $v_k = l_k - L$ als mittlerer Fehler hinsichtlich L :

$$\frac{1}{n} \sum_1^n v_k^2.$$

Mit all diesen nichtempirischen Festsetzungen gewinnt man so durch einfache Operationen die Gleichung:

So zeigt sich: Der Basissatz drückt keine bloße Tatsache aus und ist niemals durch eine solche erzwungen; er kann nicht ein außertheoretisches Fundament einer Theorie sein; er ist selbst theoretisch, durch Deutungen bestimmt und entspringt gewissen Entscheidungen.

2. Die Begründung von Naturgesetzen

Inwiefern können nun Basissätze Naturgesetze begründen? Sehen wir jetzt einmal davon ab, daß Basissätze keine absoluten Tatsachen ausdrücken, und nehmen wir an, daß man sie trotzdem als hinreichend empirisch bestimmt ansieht, wie es ja auch in der Regel der Fall ist. Dann wird eine Begründung eines Naturgesetzes durch Basissätze folgendermaßen versucht werden müssen: Man macht Messungen; aus ihnen gewinnt man eine Kurve, die jene mathematische Funktion darstellt, in welcher das fragliche Naturgesetz ausgedrückt ist; die Kurve, sagt man, begründet oder bestätigt das Gesetz. Allein das Gewinnen einer solchen Kurve kann niemals durch die Messungen alleine zustandekommen. Da Messungen nur sporadisch erfolgen können, wird man immer zu Interpolationen und Glättungen greifen müssen, die ihrerseits auch

$$\mu = \sqrt{\frac{v}{n-1}},$$

wobei

$$v = \sum_1^n v_k^2.$$

Bezeichnet man ΔL als mittlere Abweichung des L von X , so ergibt sich schließlich

$$\Delta L = \frac{\mu}{\sqrt{n}}.$$

(Ausführliches hierüber siehe W. WESTPHAL: Physikalisches Praktikum, Braunschweig ¹¹1963, S. 290 f.)

wieder nur auf Entscheidungen und Festsetzungen beruhen. Wir haben hier also eine Sachlage, die derjenigen bei der Fehlerrechnung analog ist. Ohne diese Festsetzungen gibt es keine Begründung von Naturgesetzen aus Messungen; und mit ihnen ist diese Begründung wieder nicht mehr durch Tatsachen erzwungen.⁴

Betrachten wir jedoch den Zusammenhang zwischen Basissatz und Naturgesetz noch etwas genauer. Eine entscheidende Rolle spielen in Naturgesetzen die Naturkonstanten. Und was auch immer bei deren Bestimmung an Glättungen, Interpolationen, theoretischen Voraussetzungen oder Entscheidungen eine Rolle spielen mag, so weist man doch auf die relative Gleichheit der diese Konstanten bestimmenden Meßergebnisse hin, die auf verschiedensten Wegen erhalten werden; gleichgültig, von welcher Seite man sich ihnen nähert, ergeben sie eine zahlenmäßige Gleichheit. Dies scheint hinterher alle bei den Messungen stillschweigend gemachten Voraussetzungen nachträglich zu rechtfertigen und sie in Tatsachen umzuwandeln.

Bevor wir diese allgemeine Behauptung prüfen, sei zunächst ein Beispiel zur besseren Verdeutlichung herangezogen. Es betrifft die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit, und zwar einmal mit Hilfe der Aberrationskonstanten und einmal mit Hilfe der Methode von FIZEAU. Beide führen zu demselben Ergebnis, obgleich sie auf ganz verschiedenen Meßvorgängen beruhen. Prüfen wir zuerst, in welcher Weise in die eine wie in die andere Messung nichtempirische Voraussetzungen eingehen.

⁴ Wählt man z.B. bei einer durch Messungen erlangten Menge von Wertepaaren x, y die NEWTONSche Interpolationsformel, um die ihnen zugeordnete Funktion näher zu bestimmen, so hat man bereits die Voraussetzung gemacht, daß diese eine ganze rationale Funktion sein soll.

Ist die Aberrationskonstante bekannt, so läßt sich daraus die Lichtgeschwindigkeit berechnen, wenn man die Geschwindigkeit der Erde kennt. Die Geschwindigkeit der Erde aber läßt sich ihrerseits nur feststellen, wenn man den von ihr in einem bestimmten Zeitintervall zurückgelegten Weg kennt. Damit gehen aber zwei Zeitmessungen in die Errechnung der Lichtgeschwindigkeit ein: nämlich eine am Anfang des Zeitintervalls und eine an seinem Ende; und diese beiden Zeitmessungen finden an voneinander entfernten Orten statt. Dabei wird aber vorausgesetzt, daß die hierbei verwendeten Uhren synchron sind, daß ihr Gleichklang feststeht. Um die Erdgeschwindigkeit zu messen, muß also bestimmt sein, wann zwei entfernte Ereignisse gleichzeitig sind. Aber spätestens seit der Relativitätstheorie ist uns aufgegangen, daß die Gleichzeitigkeit entfernter Ereignisse nicht beobachtbar ist und daher auf Festsetzungen beruht. Damit ist klargelegt, welche Festsetzungen in die Messung der Lichtgeschwindigkeit mit Hilfe der Aberrationskonstanten eingehen.

Betrachten wir jetzt noch FIZEAUS Methode der Messung der Lichtgeschwindigkeit. Er läßt einen Lichtstrahl über eine bekannte Entfernung bis zu einem Spiegel laufen, von dem der Strahl dann zum Ausgangspunkt reflektiert wird. Mit Hilfe der Bestimmung des Zeitintervalls zwischen dem Absenden und der Rückkehr des Strahls zum Ausgangspunkt läßt sich dann die Lichtgeschwindigkeit errechnen. In diese Messung geht nun die Festsetzung ein, daß die Geschwindigkeit des Lichtes auf dem Hin- und Rückweg die gleiche ist. Wollte man diese Festsetzung in eine empirische Tatsache verwandeln, so müßte man die Zeit des Eintreffens des Lichtstrahls in dem reflektierenden Spiegel ebenso messen wie diejenige zwischen seiner Absendung und Rückkehr zum Ausgangs-

punkt; aber dann hätte man wieder zwei Zeitmessungen voneinander entfernter Ereignisse, und die Festsetzung träte also an einer anderen Stelle ein.

Nach diesem verdeutlichenden Beispiel sei nun die allgemeine Frage beantwortet, ob nicht die Festsetzungen, die grundsätzlich in Messungen, Bestimmungen von Konstanten und Begründungen von Naturgesetzen eingehen, sich dadurch rückwirkend als Tatsachen erweisen, daß sie alle, obgleich voneinander unabhängig, zu denselben Resultaten führen; ob also von der Übereinstimmung der Resultate nicht rückwirkend auf die empirische Wahrheit der bei ihnen gemachten Voraussetzungen geschlossen werden kann. Dieser Schluß hätte genauer folgende Form: Aus den voneinander unabhängigen Festsetzungen $F_1, F_2, \dots F_n$ folge stets dieselbe Maßzahl M ; *also* sind $F_1, F_2, \dots F_n$ empirisch wahr. Nichts jedoch berechtigt zu diesem Schluß. Denn da die Maßzahl M selbst gar nicht an sich gegeben ist, sondern in jedem einzelnen Falle nur durch Festsetzungen zustandekommt, so läßt sich nicht *mehr* behaupten, als daß auch die bezeichnete Übereinstimmung nur das Resultat von Festsetzungen ist. Alles, was sich sagen läßt, ist, daß Festsetzungen, die in der beschriebenen Weise zu Übereinstimmungen führen, zweckmäßig gewählt wurden, weil sie zu einer bestimmten Einfachheit der Physik führen – und weiter nichts. Die Schwierigkeit, diesen einfachen Tatbestand einzusehen, liegt einzig darin begründet, daß wir ständig jene Metaphysik in uns herumtragen, nach welcher physikalische Aussagen in irgendeiner Weise an sich existierende Wirklichkeit abbilden müßten.

So folgt, daß nicht nur Basissätze, sondern auch Naturgesetze keine schlichten Tatsachen ausdrücken, sondern durch spontane Entscheidungen mitbestimmt sind.

3. Die Begründung von Axiomen *naturwissenschaftlicher Theorien*

Hiermit scheint sich die Frage nach der empirischen Begründung der dritten Gruppe von zu einer Theorie gehörenden Sätzen, den Axiomen, zu erübrigen. Wie vorhin bei der Prüfung der Naturgesetze wollen wir aber auch hier von den bisher gewonnenen Resultaten absehen und annehmen, daß sie nicht gelten. Fassen wir vielmehr nur die logische Tatsache als solche ins Auge, daß die Axiome, dieses Herzstück der Theorie, die Prämissen sind, aus denen sich die Basissätze als Konklusionen ergeben. Dann folgt: Wenn die Konklusion wahr ist – hier: wenn der durch die Theorie vorausgesagte Basissatz durch eine Messung bestätigt ist –, dann ist damit nach den Regeln der Logik über den Wahrheitswert der Prämisse – hier: das Axiomensystem der Theorie – nicht entschieden. Sie kann wahr, sie kann aber auch falsch sein. Daraus folgt weiter, daß offenbar mannigfaltige Axiomensysteme über denselben – freilich im Rahmen der verschiedenen Theorien auch verschieden interpretierbaren – Basissätzen errichtet werden können. Und damit stellt sich – analog zu den vorhin erörterten verschiedenen, zu denselben Ergebnissen führenden Methoden – die Frage, ob nicht vielleicht aus der Konkurrenz solcher verschiedener Theorien so etwas wie empirische Tatsachen herausgearbeitet werden können. Bislang prüften wir nur die empirische Begründbarkeit einer Theorie überhaupt; gehen wir nun zur Behandlung von Gruppen von Theorien über und betrachten wir hier die folgenden Möglichkeiten, Theorien miteinander zu vergleichen (weitere werden in den Kapiteln V, VI, XI und XII behandelt).

- 1) Die Theorien haben dieselben – wenn auch in ihrem Rahmen verschieden interpretierten – Basissätze B, aber eine von ihnen sei die einfachste oder betreffe noch weitere Sätze B'.
- 2) Die Theorien sind strukturgleich.
- 3) Eine von ihnen enthält die anderen als Grenzfall.

Alle diese drei Möglichkeiten sind dazu benützt worden, Kriterien für den Tatsachengehalt von Theorien anzugeben. Beginnen wir mit der ersten.

Zu ihr ist gesagt worden, die einfachste oder umfassendste Theorie sei die wahre oder der Wahrheit am nächsten kommende.⁵ Diese Behauptung setzt voraus, daß die Natur einfach oder umfassend konstruiert *ist* (und außerdem noch so, wie es die vorliegende einfachere oder umfassendere Theorie anzeigt!). Wie aber will man dies beweisen, wenn man – wie gesagt – nicht beweisen kann, daß die in Frage stehende Theorie, welche diese Verfassung der Natur doch erst bestätigen und enthüllen könnte, ihrerseits wahr ist?

Zur zweiten Möglichkeit wurde behauptet, daß, wenn mehrere Theorien über denselben Basisbereich vorliegen, sie doch dieselbe Struktur haben müßten – und *diese* sei dann die empirische Wahrheit.⁶ Was aber soll Strukturgleichheit exakt heißen? Zwei Mengen haben, kurz gesagt, genau dann die gleiche Struktur, wenn folgende Bedingungen erfüllt werden:

⁵ Als hervorragender Repräsentant dieser Ansicht kann EINSTEIN gelten. Siehe z.B. A. EINSTEIN: Zur Methodik der theoretischen Physik, in: Mein Weltbild, Berlin 1960.

⁶ Diese Auffassung scheint VON WEIZSÄCKER zu vertreten in seinem Buch: Zum Weltbild der Physik, Stuttgart 1958. Siehe hierzu auch K. HÜBNER: Beiträge zur Philosophie der Physik, Philosophische Rundschau, Beiheft 4, Tübingen 1963.

- 1) Je ein Element der einen Menge kann je einem Element der anderen in eindeutiger Weise zugeordnet werden.
- 2) Stehen irgendwelche Elemente der einen Menge in einer Relation zueinander, so stehen die zugeordneten Elemente der anderen Menge in der zugeordneten Relation.

Hieraus folgt nun, wenn zwei Mengen, von denen jede ein System von Sätzen darstellt, wie es bei einer Theorie der Fall ist, genau die gleiche Struktur haben, dann sind Sätze der beiden Theorien wechselseitig auseinander ableitbar. Gerade dies ist aber keineswegs notwendig zwischen verschiedenen Theorien der Fall, die über demselben Basisbereich errichtet wurden. Das einzige, was sie gemeinsam haben, ist der Basisbereich selbst – aber dies besagt nichts über ihre Strukturgleichheit. Da eine solche folglich in der Regel bei dem angegebenen Fall konkurrierender Theorien nicht vorliegt, so kann auch die Struktur von Theorien nicht eine invariante empirische Tatsachengrundlage darstellen.

Zur dritten der erwähnten Möglichkeiten wird behauptet, es sei die Regel, daß Theorien schließlich zu Grenzfällen von anderen werden, ja darin bestehe sogar wesentlich der wissenschaftliche Fortschritt – und gerade dies beweise, daß Theorien auf Tatsachen aufgebaut sind. Denn diejenige, welche Grenzfall werde, könne zwar durch die sie enthaltende ergänzt und in einen größeren Zusammenhang gebracht werden, an sich aber sei sie – als auf Tatsachen beruhend – unumstößlich. Da man als klassisches Beispiel für diese Behauptung das Verhältnis zwischen der NEWTONschen Physik und der speziellen Relativitätstheorie angibt, wird es hier genügen, dieses zu untersuchen.

Noch heute behaupten viele Physiker, die NEWTONsche

Physik sei ein Grenzfall der Relativitätstheorie, der dann vorliege, wenn wir es mit Geschwindigkeiten zu tun haben, die bedeutend unter der Lichtgeschwindigkeit liegen. Dies wird mit der Annahme begründet, daß dieser Grenzfall aus der Relativitätstheorie ableitbar sei.

Wie aber soll diese Ableitung aussehen? Bezeichnen wir die Aussagen, welche die Gesetze der speziellen Relativitätstheorie enthalten, mit $R_1, \dots R_n$, so müßten wir ihnen, um die NEWTONsche Physik als Grenzfall zu erhalten, solche der Art hinzufügen, daß $(v/c)^2$ sehr viel kleiner als 1 wird. Damit bekämen wir dann Aussagen $K_1 \dots K_n$, und nur in diesem Sinne könnte von einer Ableitung gesprochen werden. Diese K_i sind nun zwar Spezialfälle der speziellen Relativitätstheorie, enthalten aber weder die NEWTONsche Physik, noch sind sie Spezialfälle von dieser. Denn die Variablen und Parameter, welche in den R_i den Ort, die Zeit, die Masse usw. repräsentieren, erleiden in den K_i keine Veränderung; von denjenigen der klassischen Größen, welche denselben Namen tragen, sind sie jedoch verschieden: Der Begriff der Masse in der NEWTONschen Physik bezieht sich auf eine Konstante, derjenige EINSTEINS ist mit der Energie vertauschbar und daher variabel; die NEWTONsche Physik definiert Raum und Zeit als absolute Größen; das Gegenteil ist bei EINSTEIN der Fall, usw. Dieser klare logische Unterschied läßt keine Deduktion der einen Theorie aus der anderen zu, auch wenn in dieser wie in jener dieselben Ausdrücke gebraucht werden. Nehmen wir keine Umdefinitionen vor, so sind Variable und Parameter der K_i nicht klassisch; und definieren wir sie um, so kann von einer Ableitung der K_i aus den R_i nicht mehr gesprochen werden. Beim Übergang von EINSTEINS Theorie zu derjenigen der klassischen Physik ändert sich eben nicht nur die Form der Gesetze, sondern es ändern sich

auch die Begriffe, auf welche sie sich beziehen. Und deswegen ist die NEWTONsche Physik kein Grenzfall derjenigen EINSTEINS. Die ganze revolutionäre Stoßkraft EINSTEINS beruht auf seinen neuen Definitionen.⁷

Dieselbe logische Unverträglichkeit miteinander zeigen auch die allgemeine Relativitätstheorie und die NEWTONsche Gravitationstheorie. Das Universum ist nach EINSTEIN gekrümmt und ohne Schwerkraft; das Universum NEWTONS aber ist ein euklidischer Raum, in dem Schwerkräfte wirken. Und abgesehen davon, daß aus den soeben angegebenen Gründen die Behauptung unzutreffend ist, die allgemeine Relativitätstheorie gehe in Grenzfällen – z. B. relativ kleinen und damit schwach gekrümmten Raumteilen – in die NEWTONsche Theorie über, so muß hier auch darauf hingewiesen werden, daß ja die NEWTONsche Theorie – mit wenigen Ausnahmen – nicht nur in diesen Grenzfällen, sondern auch in allen anderen die Himmelsbewegungen weitgehend ebenso richtig beschreibt und voraussagt wie diejenige EINSTEINS. Von der NEWTONschen Gravitationstheorie als Grenzfall der sie ablösenden allgemeinen Relativitätstheorie kann also gar nicht die Rede sein.

Daraus folgt: Weder *muß* im Verhältnis von miteinander konkurrierenden Theorien die eine die anderen als Grenzfall enthalten, noch ist das auch nur in der Regel der Fall. Nicht einmal, daß die eine zur anderen angehört gilt, läßt sich korrekterweise sagen, weil dazu das Tertium comparationis fehlt. Denn wie kann man sagen, die Meßergebnisse fielen in gewissen Fällen ähnlich oder

⁷ Vgl. hierzu T. S. KUHN: The Structure of Scientific Revolutions, Chicago 1962, S. 100 ff. Seit KUHN ist zum Thema des Grenzfalles eine umfassende Literatur erschienen, worauf ich hier nicht eingehen kann. Ich habe jedoch nicht den Eindruck, daß sie entscheidend Neues zutage gefördert hat.

gleich aus – und das soll doch wohl die Annäherung bedeuten –, wenn die bei diesen Messungen abgelesenen Größen in der angegebenen Weise einen logisch verschiedenen Sinn haben?

4. Rein empirisch können nur metatheoretische Aussagen sein

Diese rein logische Analyse einer physikalischen Theorie und ihres Verhältnisses zu anderen, die in den folgenden Kapiteln noch erweitert und vertieft werden soll, entzieht allen Versuchen, verbindliche Kriterien für deren empirische Verifikation anzugeben, den Boden. Eine Verifikation scheiterte schon daran, daß eine Theorie Allsätze enthält, jedoch alle Fälle nicht prüfbar sind. Sie verliert geradezu ihren Sinn, wenn man die Rolle der definitiven Festsetzungen in ihr erkennt, den nur sehr indirekten Zusammenhang, den sie zur Beobachtung und Wahrnehmung innerhalb des Meßprozesses hat, die theoretische Bestimmtheit dieses Prozesses selbst – und wenn man schließlich die logische Tatsache ins Auge faßt, daß einander widersprechende Theorien sich wechselseitig ersetzen können.

Wie aber steht es mit einer empirischen Falsifikation einer Theorie? Bis jetzt wurde nur die Frage der Begründbarkeit einer Theorie, ihre Bestätigungsfähigkeit durch Tatsachen ins Auge gefaßt – läßt sich nicht wenigstens genau angeben, wann sie mit den Tatsachen *nicht* in Einklang steht? Da es diese Tatsachen als strengen Richter, wie gezeigt werden sollte, gar nicht gibt, so können sie wohl weder bestätigen noch verwerfen. Und die Annahme sowohl wie die Ablehnung einer Theorie beruht daher of-

fenbar ebenfalls auf nichtempirischen Entscheidungen. Doch betrachten wir den Falsifikationsvorgang näher. Er kann nur darin bestehen – wenn wir von dem Nachweis innerer Widersprüche einer Theorie absehen –, daß irgendein Meßresultat – oder mehrere – mindestens einer aus der Theorie abgeleiteten Voraussage widersprechen. Dabei wird die Theorie in der Regel so weit gefaßt sein, daß die zu erwartende Meßungenauigkeit, die wahrscheinlichen Grenzen von Interpolationen der Meßresultate und von Störungen von ihr einkalkulierbar sind. Das bedeutet, daß wir Abweichungen von den zu erwartenden Ergebnissen weder dieser Meßungenauigkeit, noch unzumessbarer Interpolation, noch äußeren, nicht durch die Theorie interpretierbaren Störungen zuschreiben können, sondern als Falsifikation der Theorie betrachten werden. Aber ist dies *empirisch* notwendig? Zwingen uns *empirische* Tatsachen zu einer solchen Falsifikation?

Angenommen, jemand *entschließt* sich, die Theorie trotz der versagenden Voraussagen nicht aufzugeben. Angenommen, er sagt, es gibt von der Theorie nicht erfaßte oder interpretierbare Störungen, welche für das enttäuschende Resultat verantwortlich sind, es gibt ad hoc konstruierbare Zusätze zur Theorie, welche sie retten, es gibt Fehler beim Meßvorgang usw. Dann wird man zugeben müssen, daß alle diese Es-gibt-Aussagen als solche nicht empirisch falsifizierbar und damit nicht *empirisch* widerlegbar sind. Will man sie zurückweisen, so kann dies nur mit dem Hinweis geschehen, daß es *methodisch* nicht zweckmäßig und methodisch unvernünftig sei, sich auf sie als eine Hoffnung zu berufen. So kann es auch nur der Appell an eine gute Methode und nicht die Berufung auf irgendwelche möglichen absoluten Tatsachen sein, wenn z. B. POPPER fordert, immer die Falsifikation einer Theo-

rie ihrem Rettungsversuch vorzuziehen.⁸ Wir wollen hier allgemein solche methodischen Vorschläge methodische Postulate nennen. Aber sind POPPERS methodische Postulate wirklich *immer* zweckmäßig und vernünftig? Insbesondere die Kapitel V und X werden zeigen, daß dies keineswegs der Fall ist.

Wenn es aber im strengen Sinne weder eine empirische Verifikation noch eine empirische Falsifikation gibt, so stellt sich die Frage, ob etwa die empirische Tatsache überhaupt keine Rolle für Aufbau, Annahme und Verwerfung physikalischer Theorien spielt. Die Antwort lautet: Keineswegs; doch suchen wir, welchen Ort die empirische Tatsache im Rahmen der hier vertretenen Auffassungen einnimmt.

Mit Hilfe von nichtempirischen Festsetzungen F erhalten wir in Basissätzen ausgedrückte Meßresultate M. Aber mit Hilfe anderer solcher Festsetzungen F', andere Meßresultate M', und *dies*, daß wir im Falle der einen Festsetzung das eine, im anderen das andere Meßresultat erhalten, ist eine empirische Tatsache. Nehmen wir nun weitere Festsetzungen hinzu, so ergeben sich Sätze, welche Naturgesetze N ausdrücken, und wieder mit anderen solchen Festsetzungen Naturgesetze N'. Und auch *dies* ist eine empirische Tatsache. Die hierzu gebildete Theorie T ist dann allerdings wieder eine Sache der bloßen Festsetzung. Nun gehe man von der Theorie aus und mache in ihrem Zusammenhang Messungen. Dann mag sich ergeben, daß man mit den Festsetzungen F Meßresultate M erhalte, welche einen auf Grund der vorhin bezeichneten methodischen Postulate dazu zwingen, die Theorie für falsifiziert zu erklären, während wir mit anderen Festsetzungen F' zu Resultaten M' gelangen derart, daß wir

⁸ K. R. POPPER: Logik der Forschung, Tübingen ²1966.

mit denselben Postulaten nicht dazu gezwungen sind. Gehen wir von einer anderen Theorie T_1 aus, so wird sich dasselbe wiederholen. Aber während wir vorhin die Resultate M, M' erhielten, so können mit der Theorie T_1 die Resultate M_1, M_1' zustandekommen – und auch *dies* ist eine empirische Tatsache.

Daraus folgt, daß nicht der *Gehalt* theoretischer Sätze empirisch ist; weder F , noch N , noch T , noch die Basis-sätze M sprechen für sich empirische Tatsachen aus; rein empirisch ist hier nur die *metatheoretische* Folge: Wenn die und die Festsetzungen, Postulate, Theorien (dies alles sind metatheoretische Bezeichnungen) – dann die und die Basissätze, Falsifikationen oder Verifikationen (und auch dies sind metatheoretische Ausdrücke). Oder anders formuliert: Wenn wir die und die Sätze haben – die nichts über die Natur aussagen –, dann folgen empirisch die und die anderen Sätze – die gleichfalls nichts über die Natur aussagen. Nur in *diesen* metatheoretischen Wenn-Dann-Beziehungen zeigen sich empirische Tatsachen; nicht aber stellt der Inhalt der Sätze der Theorie selbst einen empirischen Sachverhalt in irgendeiner Weise dar: *Nicht in der Theorie, sondern erst in der Metatheorie erscheint die Realität.*⁹

Bisher wurde nur allgemein nachgewiesen, daß zu einer empirischen Theorie notwendigerweise verschiedene Festsetzungen a priori gehören. Das nächste Kapitel soll nun diese Festsetzungen in die Ordnung von Kategorien bringen. Aber in ihm wird auch die Frage aufgeworfen und in einer ersten Annäherung beantwortet werden, wie sich diese Festsetzungen a priori eigentlich rechtfertigen

⁹ Dies ist eine Verallgemeinerung von Gedanken, die bereits von POINCARÉ, REICHENBACH und EINSTEIN auf den Zusammenhang von Geometrie und Erfahrung angewendet wurden. Vgl. hierzu die in Anm. 1 angegebene Bibliographie.

lassen. Anders ausgedrückt: Besteht deren Freiheit in einer tieferen Einsicht oder ist sie nur willkürlich?

IV. Eine Weiterentwicklung von Duhems historistischer Theorie der wissenschaftlichen Begründung

Es ist denkwürdig, daß die etwa um die Jahrhundertwende einsetzende Wissenschaftstheorie noch eng mit der Erforschung der Wissenschaftsgeschichte verbunden war. Namen wie MACH, POINCARÉ, LE ROY und vor allem DUHEM bezeugen dies eindeutig. Aber die Entwicklung ging auf dem von ihnen eingeschlagenen Weg nicht weiter. Die Historiker trennten sich von den Philosophen und fanden im übrigen wenig Beachtung; man war überzeugt, daß ihre Aufgabe rein museal sei.

Dies dürfte vor allem darin begründet sein, daß man den Gegenstand der Naturwissenschaften, mit dem man sich hauptsächlich befaßte – nämlich die Natur – als ein geschichtsloses Wesen ansah, das fortschreitend immer weiter, immer genauer erforscht werden kann. Um dies zu erreichen, mußten nur die entsprechenden Methoden der Aufstellung, Rechtfertigung, Prüfung und Anwendung von Theorien erdacht werden. Diese Methoden wurden als eine Funktion des immer gleichen Wesens behandelt, auf das sie sich bezogen, und wurden daher ebenfalls; wenn auch für stets verbesserungsfähig, so doch für die im Grunde immer gleichen gehalten. Die Wissenschaftstheorie, so glaubte man, schreite genau so kontinuierlich fort wie die Naturwissenschaft selbst. Sie sei das Produkt eines abstrakten Scharfsinns, dem die unmittelbare Analyse einiger bedeutenden gegenwärtiger Theorien, etwa der Quantenmechanik oder der Relativitätstheorie, genüge. Vom Historischen, erst recht von

solchem außerhalb der Physik liegender Bereiche, findet sich nur wenig. Ja es wurde ausdrücklich beteuert, es interessiere gar nicht, was die Wissenschaftler gemacht *haben*; man habe vielmehr herauszufinden, was sie tun *sollen*. Und man meinte damit, daß die Wissenschaftstheorie ein allgemeines Organon der Wissenschaft überhaupt schaffen müsse, so wie es etwa auch die formale Logik ist. Dies ist auch heute noch eine weit verbreitete Meinung.

Im Gegensatz dazu stelle ich hier die These voran, daß das Studium der Geschichte für die Theorie der wissenschaftlichen Begründung von entscheidender Bedeutung ist; eine solche Theorie ist ohne geschichtliches Denken nicht möglich.

1. Duhems historistische Wissenschaftstheorie

Der erste, der diese Auffassung vertrat, war DUHEM.¹ DUHEM erklärte, er könne Physiker nur als Wissenschaftstheoretiker und Wissenschaftstheoretiker nur als Wissenschaftshistoriker sein. Gerade die Praxis in Forschung und Lehre habe ihm diesen unauflöslichen Zusammenhang deutlich gemacht. Die Unmöglichkeit, eine physikalische Theorie logisch und empirisch zwingend Stück für Stück aufzubauen, die Dunkelheiten und Verworrenheiten, die sich dabei ergaben, brachten ihn dazu, über die Theorie einer solchen Theorie nachzudenken. Und sein Ergebnis war, daß die Rechtfertigung eines phy-

¹ P. DUHEM: *La Théorie Physique – Son Objet, Sa Structure*, Paris 1914. Da die französische Ausgabe gegenwärtig vergriffen ist, zitiere ich im folgenden nach der englischen Übersetzung: *The Aim and Structure of Physical Theory*, von P. WIENER, Princeton 1954.

sikalischen Systems nur in seiner Geschichte liegen könne.² Aus diesem Grunde möchte ich seine Wissenschaftstheorie „historistisch“ nennen. Ich beginne mit einer kurzen Darstellung und Interpretation seiner Philosophie. Ihr Ausgangspunkt ist die Einsicht, daß vom Gegebenen zu den Aussagen einer physikalischen Theorie nur ein komplizierter Übersetzungsmechanismus führt, der eine eindeutige Zuordnung zwischen beiden nicht gestattet. Dies wurde, wenn auch mit moderneren Mitteln, als sie DUHEM zur Verfügung standen, bereits im vorangegangenen Kapitel zum Ausdruck gebracht. Zusammengefaßt bedeutet das: Es können einer und derselben Tatsache wegen der Grenzen der Meßgenauigkeit (etwa einer Zeigerablesung) unzählige, einander ausschließende theoretische Aussagen entsprechen.³ Auch handelt es sich bei den zu messenden Größen um Begriffe, welche nicht wie diejenigen der Umgangssprache auf Abstraktionen aus dem unmittelbar Wahrgenommenen beruhen; anders als etwa „Baum“, „Sonne“, „Fluß“ sind „Elektron“, „elektromagnetische Welle“ usw. nur im Rahmen komplizierter physikalischer Theorien verstehbar und nur durch deren Zusammenhang vermittelt.⁴ Ferner setzen die bei solchen Messungen verwendeten Instrumente, will man ihr Funktionieren verstehen und ihre Zuverlässigkeit rechtfertigen, diejenigen Theorien voraus, auf denen sie beruhen und nach denen sie konstruiert wurden.⁵ Aus diesen Gründen vermag ein Experiment auch niemals über eine isolierte Hypothese zu entscheiden; denn was immer der Ausgang eines Experimentes sein mag, so wird er doch von einem

² A. a. O. S. 268 f.

³ A. a. O. S. 134.

⁴ A. a. O. S. 148.

⁵ A. a. O. S. 166.

ganzen System theoretischer Annahmen abhängen, die gar nicht einzeln überprüft werden können.⁶

Damit ergibt sich für DUHEM, daß zwar eine Theorie scheitern kann; ob dies aber der Fall ist, hängt von den Auswahlkriterien für den Übersetzungsmechanismus vom Gegebenen ins Theoretische ab. Und diese Auswahlkriterien, obgleich unerläßlich, sind weder von der Natur noch von einer allgemeinen Vernunft zwingend gegeben. Auch hier ist also jene Freiheit angesprochen, von der schon in den Kapiteln II und III die Rede war.

So sehr sich DUHEM nun diese Einsicht auf Grund der in Forschung und Lehre vorgenommenen Analysen aufgedrängt hat, so wenig konnte sie ihn doch befriedigen. In keiner Weise wurde damit nämlich die *quaestio juris* einer physikalischen Theorie beantwortet, ja diese stellt sich nun im Gegenteil erneut und mit aller Schärfe. Löste sich denn die Physik nicht in pure Willkür auf, wenn die bezeichneten Auswahlkriterien nicht notwendig waren? Gab es also keine objektiv verbindliche Instanz für die Annahme oder Verwerfung physikalischer Theorien?

Diese Instanz, ich sagte es schon, sieht DUHEM in der Geschichte der Wissenschaft. Sie allein läßt seiner Meinung nach eine physikalische Theorie überhaupt erst verständlich erscheinen und liefert so ihre vollständige Analyse. Nur eine abstrakt, unhistorisch und deshalb unvollkommen vorgehende Wissenschaftstheorie vermittelt nämlich den Eindruck unbeschränkter Freiheit in der Wahl der Übersetzungsmechanismen. Die Geschichte der Wissenschaft dagegen läßt uns nach DUHEM die durchgängig wohlbegründeten Schritte der Entwicklungen verfolgen, die zur Ausbildung und Annahme von Theorien geführt haben. Zwar würde keiner dieser Schritte

⁶ A. a. O. S. 183 f.

durch irgendeine Form von Notwendigkeit herbeigeführt; und doch wäre das Walten eines physikalischen „bon sens“ in der Geschichte unverkennbar.⁷

Diesen „bon sens“ versteht DUHEM nun aber teils geschichtlich, teils ungeschichtlich. Er ist geschichtlich, sofern er auf eine bestimmte Situation in der Geschichte bezogen bleibt, sofern man all den Details und Verästelungen dieser Situation folgen muß, um seine Einsicht nachvollziehen zu können. Es lassen sich keine allgemein verbindlichen, von dieser Situation gelösten Regeln hieraus gewinnen. Manchmal wird der bon sens z. B. trotz experimenteller Schwierigkeiten an den nicht unmittelbar prüfbaren Grundlagen einer Theorie festhalten, dann wieder wird er solche, die man fraglos hingenommen hatte, aufgeben und durch neue ersetzen. Um allgemeine Falsifikations- oder Verifikationsregeln, wie sie gegenwärtig so gerne aufgestellt werden, scheint er sich nicht zu kümmern. Und immer werden Entscheidungen dieser und ähnlicher Art nur durch den besonderen, geschichtlich einmaligen Fall gerechtfertigt sein, in dem man sich befindet.

„Geschichtlich“ heißt also nicht etwa, daß einmal etwas für wahr gehalten wurde, was sich später eben als falsch erwiesen hat. Das ist nicht gemeint. *„Geschichtlich“ soll hier vielmehr bedeuten, daß das physikalische Bild der Natur, sofern und soweit es nur die Funktion eines Übersetzungsmechanismus ist, einer spezifischen Situation entspringt und mit ihr wieder verschwindet.* Das Bild der Natur ist in dieser Hinsicht selbst nur ein integraler Bestandteil der Geschichte. Das heißt, es bezieht sich nicht mehr oder weniger angenähert auf ein ewiges, wie auch immer zu verstehendes Urbild. Wir müssen DUHEMS

⁷ A. a. O. S. 216 f.

Intention in diesem Sinne verstehen, obgleich er sie nicht mit solchen Worten ausgedrückt hat.

Es ist für DUHEM geradezu ein klassischer Fehler, die historische Bedingtheit getroffener theoretischer Entscheidungen aus dem Auge zu verlieren und sie dann für allgemeine, ewige, evidente Wahrheiten zu halten. Unter anderem erläutert er das an dem Beispiel EULERS.⁸ Dieser glaubte, daß das Trägheitsprinzip auf einer Einsicht reiner Vernunft beruhe und daß es sich dem Unverbildeten geradezu aufdränge. Er übersah dabei, daß eine solche scheinbare Evidenz erst die Folge eines langwierigen, in allen seinen Schritten kontingenten, geschichtlichen Prozesses war, die Folge also einer sich allmählich einstellenen Gewöhnung an in mühsamer Kleinarbeit und endlosen Diskussionen geschaffene Regeln. Der Aristotelismus, welcher diesem Prinzip widersprach, hätte sich weit eher auf eine unvermittelte Einsicht stützen können (obgleich auch dies nur bedingt zuträfe).

Inwiefern ist nun der physikalische *bon sens* doch auch wieder ungeschichtlich? Zum einen ist er nach DUHEMS Meinung immerwährend von demselben Gefühl und Glauben geleitet, welche ihm sagen, daß die durch eine Theorie erfolgten Klassifikationen eine ontologische Ordnung widerspiegeln.⁹ (So können z. B. mit einer solchen Ordnung die Erscheinungen der Lichtbrechung einem, diejenigen der Beugung einem anderen Bereich zugeordnet werden.) Die wahre und unmittelbare Abbildung dieser Ordnung könnten solche Klassifikationen freilich aus den schon genannten Gründen nicht sein; aber man müsse doch *glauben*, sie seien ihr analog, wenn

⁸ A. a. O. S. 261 f.

⁹ A. a. O. S. 26.

sich nicht jede physikalische Betätigung zu einem bloßen Spiel mit Schatten verflüchtigen solle.¹⁰

Zum anderen führt dieser beständige Glaube an eine ontologische Ordnung zu einigen konstanten wissenschaftstheoretischen Leitregeln, die sich, so glaubt DUHEM, wie ein roter Faden durch die ganze Geschichte ziehen. Diese Leitregeln fordern, in der Physik eine wachsende und immer größer werdende Einheit und Allgemeinheit zu erreichen. Und eben weil man solchen Leitregeln gefolgt sei, stelle sich die Geschichte der Physik als eine Kette kontinuierlicher Evolutionen dar. Geht es doch darum, Stück für Stück allmählich ein immer umfassenderes Ganzes zusammenzusetzen. Vornehmlich unter dem Gesichtspunkt dieses Zieles – so glaubt DUHEM – betrachtet und verarbeitet der Physiker die Physik, die er vorfindet, schreitet er in seiner Forschung fort. Das ferne und vielleicht unerreichbare Ideal sei für ihn daher eine Theorie mit einigen wenigen Axiomen, woraus alle bekannten wie noch unbekannten Erscheinungen abgeleitet werden können.

DUHEM versucht, die ungeschichtlichen Intentionen des bon sens an dem Beispiel der Geschichte der Gravitations-Theorie NEWTONS nachzuweisen.¹¹ Die mit Hilfe solcher konstanter Intentionen seiner Meinung nach stetig zu dieser Theorie hinführende Entwicklung stellt sich ihm dabei so dar: Der Aristotelismus betrachtet einen Punkt im Zentrum des Universums als oikeios topos schwerer Körper. Für KOPERNIKUS dagegen gibt es ein allgemeines Streben aller Teile aller Körper, also auch der himmlischen, beieinander zu bleiben und sich kugelförmig an-

¹⁰ A. a. O. S. 335.

¹¹ A. a. O. S. 220 f.

zuordnen. GILBERT, in der Vorahnung noch größerer Einheitlichkeit, sieht für dieses Streben ein Modell im Magneten, KEPLER und MERSENNE gehen in der Verallgemeinerung noch weiter und vermuten bereits nicht nur das Gravitieren von Teilen eines Weltkörpers zueinander, sondern auch von einem Weltkörper zu einem anderen. Diese These bewährt sich an den Beobachtungen von Ebbe und Flut. ROBERVAL spricht bereits von einer allgemeineren, alles umfassenden wechselseitigen Anziehung. Aber zuvor schon haben KEPLER, BULLIALDUS und KIRCHER fast gleichzeitig erkannt, daß diese Anziehung aus einfachen Gründen eine Funktion der Entfernung sein müsse. BORELLI, darin ein Vorläufer von HUYGENS, greift auf die antike Vorstellung zurück, daß eine Zentrifugalkraft das Weltall daran hindert, in *einen* Stern zusammenzustürzen. HOOKE erkennt in Fortsetzung KEPLERScher Gedanken, daß die Gravitationskraft im umgekehrten Verhältnis zum Quadrat der Entfernung stehen müsse. Und NEWTON bewältigte schließlich nur die ungelösten mathematischen Probleme, welche noch der Zusammenfassung all dieser Hypothesen in einer einheitlichen Theorie entgegenstanden.

So sieht DUHEM überall konstant wachsende Einheiten, also Evolution, Kontinuität, Verallgemeinerung, ordnende Klassifikation – *bon sens*. Und was dies betrifft, besteht zwischen ihm und den heute noch gängigen Auffassungen Übereinstimmung.

2. Kritik an Duhems Theorie

Allein seine Darstellung von der Geschichte der Gravitationstheorie beruht auf starken Vereinfachungen und ergibt ein schiefes Bild. Man kann gerade dieses von ihm

gewählte Exempel benutzen, um zu zeigen, daß der bon sens, wie er ihn versteht, sich in nichts auflöst und damit DUHEMS These von der Geschichtlichkeit wissenschaftstheoretischer Grundsätze, Festsetzungen und physikalischer Theorien in einem viel weiteren Sinne, als er dies vermutete, zutrifft.

Wenn KOPERNIKUS den Aristotelischen oikeios topos materialisiert hat, so entspricht dies entgegen der DUHEMSchen Darstellung nicht der Absicht, einen evolutionären Fortschritt durch eine größere Verallgemeinerung zu erreichen, sondern ist erst die Folge der vorher getroffenen Entscheidung, die bislang geltende Physik und Kosmologie geradezu auf den Kopf zu stellen. Und eben darin bestand die berühmte Kopernikanische Wende. Diese radikale Revolution läßt sich nicht aus genuin physikalischen oder astronomischen Problemen allein erklären, und sie ist folglich auch gar nicht vornehmlich das Werk eines puren physikalischen bon sens; an ihr ist vielmehr, wie inzwischen eine ausgedehnte Forschung gezeigt hat, der gesamte Umbruch der Renaissance beteiligt.¹²

Man könnte zwar versucht sein, die von KOPERNIKUS aus dem Geiste des Humanismus geschöpfte Idee, daß das Universum nach Prinzipien der Einfachheit konstruiert sein müsse, mit dem DUHEMSchen bon sens in Zusammenhang zu bringen; aber es zeigt sich rasch, daß dies nicht gelingen kann. Erstens nämlich ist die Einheit, welche KOPERNIKUS konstruiert, gerade nicht kontinuierlich-evolutionär aus dem vorhergegangenen System entstanden; zum zweiten zeigt sich an diesem Beispiel mit aller Deutlichkeit, daß DUHEMS Einheitsideal keineswegs einen geschichtslosen Inhalt besitzt, wie er vermutet. Denn

¹² Vgl. u. a. H. BLUMENBERG: Die Kopernikanische Wende, Frankfurt a. M. 1965.

der von KOPERNIKUS so sehr bekämpfte Mangel an Einheit im Aristotelismus mit seinem alles scheidenden Oben und Unten, Himmlischen und Irdischen wurde gar nicht als störend empfunden, sondern im Gegenteil für den Ausdruck einer göttlichen Ordnung gehalten. Deswegen hat auch PTOLEMÄUS den Gedanken an eine größere Einheitlichkeit als bloß formal abgewiesen. Wenn man so lange den Aristotelismus hinnahm und sich an den Schwierigkeiten, die er bot, nicht stieß, so kann dies nur bedeuten, daß die hierin eintretende Wende als geschichtliches Ereignis, nicht aber als die Folge bestimmter Wesenseigenschaften menschlicher Vernunft anzusehen ist.¹³ Drittens kann von einer Einheitsidee, wie sie DUHEM vorschwebt, bei KOPERNIKUS kaum die Rede sein, da er bedenkenlos eine größere Einheitlichkeit in der Astronomie mit größerer Uneinheitlichkeit in der Physik bezahlt. Seine physikalischen Argumente hat er ja nur ad hoc zur Stützung seines neuen Weltsystems herangezogen. Sie stellen die bloße Umkehrung entsprechender Aristotelischer Argumente dar, ohne aber wie diese metaphysisch begründet zu sein. Im übrigen bleibt von der so sehr propagierten Einheitsidee des KOPERNIKUS nicht viel übrig, wenn man genauer hinsieht. Denn anstelle, wie er behauptet, mit 34 Epizyklen auszukommen, benötigt er in Wahrheit sogar 48.

Was unmittelbar auf KOPERNIKUS folgt, ist dann fast das

¹³ Man kann sagen, daß die Aristotelische Philosophie der Einheitsidee im bezeichneten Sinne geradezu im Grundsatz widerspricht. Geht es ihr doch hauptsächlich darum, die einzelnen und zahlreichen Formen und Qualitäten als letzte Erklärungsprinzipien anzusehen und sie gerade nicht aus allgemeinen Gesetzen abzuleiten (von denen wir bei ARISTOTELES bekanntlich nur sehr wenige finden). Hieran liegt auch, daß jene wachsende Aufhäufung immer-neuer Qualitäten, zu der sich der Aristotelismus mehr und mehr gezwungen sah, zunächst keinen Anstoß erregte.

Gegenteil von dem, was man *bon sens* nennen könnte, und zwar gerade dort, wo die fruchtbarsten Wege eingeschlagen werden. Wenn man den Kampf um das Kopernikanische System aus der geschichtlichen Nähe und im Detail verfolgt, so muß man sagen, daß seine schnelle Ausbreitung DUHEMS physikalischen *bon sens* eher spottete, als daß sie ihm gehorchte; und sie hatte eben auch ganz andere, nämlich außerhalb der Physik liegende Gründe. (Davon wird im Kapitel V ausführlicher die Rede sein.)

So ist es bezeichnend, daß der Durchbruch zu einer ganz neuen Raumvorstellung, die dem Kopernikanischen System überhaupt erst eine geeignete Grundlage geben konnte, nämlich der Durchbruch zu einem unendlichen, homogenen, isotropen Weltraum, zuerst durch GIOR-DANO BRUNO, also einen Philosophen, erfolgte. Und die Gründe, auf die er sich stützte, waren rein philosophischer Natur. Dasselbe läßt sich für DESCARTES sagen, der BRUNOS Idee erst endgültig zum Siege verhalf. Denn die Identifizierung des euklidischen Raumes mit demjenigen der Physik und sogar mit der Materie verstand er als ein Postulat der sich ihrer selbst gewissen Vernunft – und auf diese Entscheidung und keine andere baute er seine ganze Physik auf. Es war also die Entscheidung zum Rationalismus und dessen Anwendung, welche die Cartesiansche neue Wende in der Physik brachte – und nicht das bloße Weiterdenken genuin physikalischer Probleme. Wenn es schließlich NEWTON gelang, den zahlreichen, immer wieder mit ganz neuen Voraussetzungen und Gründen gemachten Versuchen zur Rettung des Kopernikanischen Systems einen vorläufigen Abschluß zu geben, so nur deswegen, weil auch er von einer ihm durch MORE und BARROW vermittelten metaphysischen Idee ausging: nämlich derjenigen des absoluten, von der Ma-

terie getrennten Raumes und der absoluten, von der Bewegung getrennten Zeit.

Ordnet man also die Schritte, welche nach DUHEMS Meinung zur Aufstellung der NEWTONschen Gravitationstheorie führten, den Zusammenhängen zu, in denen sie in Wahrheit stehen, so ergibt sich ein von dem seinen vollständig verschiedenes Bild. Keiner der neuen Ansätze, die ich in diesem zusammenfassenden Rückblick angeführt habe, ist aus Vorhergehendem evolutionär und kontinuierlich durch stückweises Zusammensetzen in immer größeren Einheiten entstanden. Ich glaube im Gegenteil, daß der Ausdruck „wissenschaftliche Revolution“ für sie vollkommen angemessen ist. Auch zeigte sich im Vorhergehenden, daß die Ursachen solcher Neuansätze oft gar nicht genuin physikalischer Natur sind, sondern daß sie nur aus der gesamten geistigen Lage, in der sie entstanden, abgeleitet werden können. (Hierauf werde ich im Kapitel VIII zurückkommen.) Trotzdem kann man von spontanen Schöpfungsakten insofern sprechen, als sie ja aus dieser Lage nicht etwa mit Notwendigkeit folgen, selbst wenn sie eine Antwort auf sie darstellen. Dabei handelt es sich aber nicht immer nur um die Erstellung neuer Axiome und Begriffe für eine Theorie, sondern auch und gerade darum, daß das ganze Interpretationsschema der Erfahrung überprüft wird; nicht also lediglich um die Änderung der Koordinatensysteme, der Raum-Zeitvorstellungen und der verwendeten Grundbegriffe wie Masse, Kraft, Beschleunigung usw., sondern auch um die Bedeutung, welche man dem Experiment, die Deutung, welche man den Instrumenten, das Gewicht, welches man Bewährungen oder Enttäuschungen, der Einheit und Vollständigkeit oder dem Verzicht auf diese beimißt. Nicht nur eine Theorie im engeren Sinne, sondern ebenso eine mit ihr verknüpfte Wis-

senschaftstheorie wird so geschaffen. ARISTOTELES und PTOLÉMÄUS hatten eine ganz andere Vorstellung von der Idee der Einheit oder der Rolle der Beobachtung als KEPLER und GALILEI, DESCARTES eine ganz andere Ansicht über das Wesen der Bewährung als NEWTON usw. So umfassend, so weitreichend sind die Umbrüche und Umstürze. Gegenüber dieser lebendigen Vielfalt der Geschichte erweisen sich die von DUHEM angenommenen konstanten Ziele des bon sens sowie der mit ihnen verbundene ontologische Glaube als bloße Fiktion.

3. Einführung von Kategorien und Weiterentwicklung von Duhems Theorie

Die kritische Auseinandersetzung mit DUHEM hat uns bereits über ihn hinausgeführt. Ich möchte nun versuchen, dem bisher mehr in der Form eines Aperçus Gewonnenen eine systematischere Grundlage zu geben, indem ich einige Kategorien einführe. Damit soll auch erstmals die Idee einer über DUHEMs Entwurf hinausgehenden historistischen Wissenschaftstheorie im Umriß erläutert werden.

Dabei gehe ich zwar, wie die vorangegangenen Kapitel gezeigt haben, mit DUHEM davon aus, daß der Konstruktion und Beurteilung von Theorien eine Reihe von Festsetzungen voraus liegen, die weder eine logische noch eine transzendente Verbindlichkeit haben, bin aber, wie erwähnt, im Gegensatz zu ihm der Meinung, daß sie in einem viel radikaleren Sinne, als seine Vorstellung vom „bon sens“ vermuten läßt, nur historisch begründet und verstanden werden können. Es sind kontingente Festsetzungen. Da das Geschichtliche einer Theorie also in diesen Festsetzungen liegt, so wird eine historistische

Wissenschaftstheorie damit beginnen müssen, einen Leitfaden für ihre systematische Entdeckung ausfindig zu machen.

Es lassen sich fünf Hauptgruppen solcher Festsetzungen unterscheiden.

Erstens Festsetzungen, welche zur Erlangung von Meßresultaten führen (Festsetzungen über die Geltung und das Funktionieren der hierbei verwendeten Instrumente und Mittel, usw.). Ich nenne diese Gruppe *instrumentale Festsetzungen*.

Zweitens Festsetzungen, die beim Aufstellen von Funktionen oder Naturgesetzen auf Grund von Meßresultaten oder Beobachtungen verwandt werden (z. B. Auswahl von Meßdaten innerhalb gewisser Grenzen, Fehlerrechnungstheorie usw.). Sie mögen *funktionale Festsetzungen* heißen.

Drittens Festsetzungen, welche in der Einführung von Axiomen bestehen, aus denen Naturgesetze und mit Hilfe von Randbedingungen experimentelle Voraussagen ableitbar sind. Sie seien *axiomatische Festsetzungen* genannt.

Viertens Festsetzungen, welche bei Experimenten über die Annahme oder Verwerfung von Theorien entscheiden. (Hierzu gehören: a) solche, welche beurteilen, ob die theoretisch abgeleiteten Voraussagen mit den erhaltenen Meßresultaten oder Beobachtungen übereinstimmen; b) solche, die im Falle der Nichtübereinstimmung angeben, ob die betroffene Theorie verworfen oder dennoch beibehalten werden soll, oder ob sie wenigstens teilweise – und wenn teilweise, dann wo – zu ändern ist.) Hier kann man von *judicalen Festsetzungen* sprechen.

Fünftens Festsetzungen als Vorschriften dafür, welche Eigenschaften eine Theorie überhaupt besitzen soll (z. B. Einfachheit, hoher Falsifizierbarkeitsgrad, Anschaulich-

keit, Erfüllung bestimmter Kausalprinzipien oder empirischer Sinnkriterien und Ähnliches). Man wird sie *normative Festsetzungen* nennen können.

Vollständigkeit wird bei dieser Aufzählung nicht beansprucht.

Diese fünf Begriffe bezeichnen nun jene Arten von Festsetzungen, die für die Aufstellung, Prüfung und Beurteilung physikalischer Theorien – sofern sich diese auf Messungen beziehen – unerlässlich sind, der besondere Inhalt dieser Arten möge sein welcher er wolle. Denn wenn eine solche Theorie überhaupt gewollt wird, so *muß* man sich eben für eine bestimmte Form, welche sie haben soll, und für bestimmte Axiome entscheiden (also normative und axiomatische Festsetzungen vornehmen), so *muß* man eben einen Übersetzungsmechanismus zwischen der Theorie und dem experimentellen Resultat festlegen (instrumentale, funktionale und judicale Festsetzungen machen); aber *wie* man hierbei im einzelnen vorgeht, dafür gibt es keine notwendig geltenden Vorschriften.

Ist es also Bedingung der Möglichkeit einer physikalischen Theorie, daß es zu ihr einzelne Festsetzungen gibt derart, daß jede von ihnen unter mindestens einen der genannten fünf Begriffe fällt und daß keiner dieser Begriffe leer bleibt, so kann man diese Begriffe *wissenschaftstheoretische Kategorien* nennen. Mit den KANTschen freilich dürfen sie ebenso wenig verwechselt werden wie die Festsetzungen, von denen in den Kapiteln II und III die Rede war, mit KANTS synthetischen Urteilen a priori. Von den transzendentalen unterscheiden sich die wissenschaftstheoretischen Kategorien u. a. vor allem darin, daß sie sich nur auf wissenschaftliche, nicht auf Erkenntnis überhaupt beziehen und außerdem zum Teil auch noch auf eine solche, die erst seit der Verwendung

von Meßinstrumenten vorliegt. Insofern sind also diese Kategorien historisch, wenn auch von einer besonderen Konstanz.

Geht man etwa zur Aristotelischen Physik mit dieser Art Betrachtung über, so muß man sie modifizieren. Man könnte anstatt von Instrumenten von Sinnesorganen, also von sensorischen Festsetzungen sprechen; anstelle von funktionalen von induktiven Festsetzungen (da ein expliziter Begriff der Funktion dort noch fehlt). Mit mehr oder weniger starken Sinnesänderungen ließen sich auch die anderen Kategorien entsprechend umformen.

Das Bild, das wir uns in der Physik von der Natur machen, ist, wie schon im Kapitel III gezeigt wurde, von den einzelnen Festsetzungen nun zwar abhängig, allein durch sie nur mitbestimmt und behält daher seine empirischen Züge. Machen wir uns dies kurz für jede der fünf Kategorien an einem Beispiel klar:

Eine instrumentale Festsetzung lautet: Das Verhalten starrer Körper erfolgt nach den Gesetzen der euklidischen Geometrie.

Eine funktionale: Aus einer Reihe von Meßdaten ist durch die NEWTONsche Interpolationsformel eine Funktion zu gewinnen.

Eine axiomatische: Alle Inertialsysteme sind als gleichwertig anzusehen.

Eine judicale: Sobald ein von der Theorie vorausgesagtes Ereignis nicht eintrifft, muß sie aufgegeben werden (radikales Falsifikationsprinzip).

Eine normative: Theorien müssen mit einem deterministischen und damit uneingeschränkten Kausalprinzip in Übereinstimmung stehen.

In allen diesen Fällen handelt es sich um Entscheidungen darüber, wie die Natur zu interpretieren sei. Hat man sie einmal getroffen, so sind ihre Folgen empirisch. Ändert

man diese Entscheidungen – und dies ist in allen fünf Fällen im Laufe der Geschichte der Physik geschehen – so ergeben sich andere Folgen; und auch dies ist eine empirische Tatsache. Wir entwerfen mit unseren Festsetzungen einen Rahmen – ohne ihn gibt es keine Physik; aber *wie* sich die Natur in dem jeweiligen Rahmen darstellt und wie sie in ihm erscheint, das ist eine empirische Tatsache.

4. Die Bedeutung der eingeführten Kategorien für die Geschichte der Physik

Die hier angegebenen fünf Kategorien oder ihre entsprechenden historischen Modifikationen geben uns die Mittel an die Hand, systematisch die Geschichte der Physik, die sich nun als überaus bedeutsam für die Frage physikalischer Begründungen erwiesen hat, nach den in ihr wirkenden mannigfaltigen Festsetzungen abzusuchen, ja sie an dem Leitfaden dieser Kategorien geradezu zu schreiben.

Geht man so vor und sieht die Dinge in diesem Lichte, so findet man auch die geschichtslosen Konstanten nicht mehr, die DUHEM noch vermutet hat. Hingegen stellen wir dann fest, daß sich das meiste, was unter die Kategorien subsumiert werden kann, wie diese selbst geändert hat und daß dieser Wandel ebenso wie die Kategorien und das unter sie Subsumierte Funktionen geschichtlicher Situationen sind. Und zwar nicht nur der Physik.

Die Geschichte der Physik erweist so ihre grundlegende Bedeutung für die Wissenschaftstheorie dadurch, daß sie ihr den Blick für diese Zusammenhänge frei macht und sie mit veranschaulichenden Beispielen versorgt; sie stellt daher eine Art Propädeutikum für sie dar.

Schon die kurze Betrachtung der Epoche, welche bis

NEWTON reicht, hat Hinweise dafür ergeben, daß die Gründe für alle diese Festsetzungen in mannigfaltigen, außerhalb der Physik liegenden Bereichen liegen können – in der Theologie, in der Metaphysik, in der gesamten geistigen Lage; aber sie können auch in der Politik, der Wirtschaft, der Technik usw. zu finden sein.

Oft freilich sind solche Festsetzungen nur die unmittelbare Folge anderer. Die zu verschiedenen Kategorien gehörigen Festsetzungen werden ja in der Regel nicht unabhängig voneinander gemacht, sondern besitzen eine Rangordnung, die ihrerseits wieder austauschbar ist. Zu manchen Zeiten, besonders solchen des wissenschaftlichen Umbruchs, werden die axiomatischen, judicalen und normativen Festsetzungen dominieren und die anderen auf sie abgestimmt. Dann wieder erweisen sich die instrumentalen und funktionalen als grundlegend und ziehen axiomatische nach sich. Gerade durch dieses letztere Abhängigkeitsverhältnis wird oft der Eindruck erweckt, als wären nur physikalische Überlegungen am Werke. Scheint doch hier allein das Experiment zu entscheiden, dessen Voraussetzungen besonders schwer zu durchschauen sind. Aber warum sind einmal diese, einmal jene Festsetzungen das Primäre? Und warum hat man gerade diese als primäre Festsetzungen gewählt? Eben weil es sich um Festsetzungen handelt, wird man – wie sich schon an dem vorigen historischen Beispiel zeigte – stets über sie in Bereiche hinausgeführt, denen sie unmittelbar entstammen und die oft jenseits der Physik liegen.

Ein Fall für die Priorität instrumentaler, funktionaler und judicaler Festsetzungen vor anderen scheint mir bei PLANCKS Ableitung seines Strahlungsgesetzes und der Einführung seines Wirkungsquantums vorzuliegen. Ganz anders dagegen verhält es sich, wie im zweiten Ka-

pitel gezeigt wurde, in der späteren Entwicklung der Quantenmechanik, wo von Physikern aus der Schule DE BROGLIES die Axiome der Quantenmechanik zu dem Zwecke umgeformt wurden, zu einer deterministischen Interpretation der Quantenmechanik zurückzukehren.

Man erinnere sich ferner an die mannigfaltigen Gründe, die für die normative Regel angegeben werden, stets das – wie auch immer näher zu verstehende – Einfachste zu wählen. Da hieß es etwa: Die Natur müsse göttlicher Weisheit entsprechen und eben deswegen einfach sein; oder die Einfachheit sei erforderlich, weil sie dem Menschen den mit der Physik verfolgten Zweck leichter zu erreichen gestatte, nämlich die Natur zu beherrschen; oder weil eine einfache Physik schöner sei, usw. Auch an diesem geläufigen Beispiel zeigt sich, daß allgemeine Zielsetzungen, die ihrerseits wieder historisch zu verstehen sind, bei der Auswahl der Festsetzungen eine entscheidende Rolle spielen.

Es ist heute die Neigung verbreitet, die Bedingungen der Entstehung einer Theorie als psychologisch und demnach die Wissenschaftstheorie nicht interessierend abzutun. Diese habe sich nur mit den wie auch immer zustande gekommenen Theorien selbst und den aus ihnen zu ziehenden Folgerungen zu beschäftigen.

Dem ist erstens zu entgegnen, daß hier der subjektive *Akt* des Zustandekommens einer Theorie (etwa die Bedingungen eines Einfalls) mit der Herleitung oder Erklärung ihrer Grundlagen verwechselt wird – und damit ein psychologisches mit einem historischen Phänomen. Zweitens, daß dieselbe Art von Motiven, manchmal sogar dieselben Motive, welche für die Grundlegung einer Theorie, z. B. die Aufstellung ihrer Axiome bestimmend sind, auch für ihre Überprüfungen eine entscheidende Rolle

spielen. Die Gruppe der judicialen Festsetzungen zeigt dies deutlich. Wenn man z. B. mit POPPER die Frage der Grundlegung der Axiome als wissenschaftstheoretisch irrelevant, eben weil nur psychologischer Natur, beiseiteschiebt, dagegen Falsifikationskriterien ausdrücklich aufstellt,¹⁴ so übersieht man dabei, daß zu jeder Falsifikation a) die Anerkennung gewisser Basissätze und b) die darauf gegründete Entscheidung gehört, die Theorie abzulehnen oder anzuerkennen. Und diese Anerkennung und diese Entscheidung sind – da nicht notwendig bestimmt – samt ihren Beweggründen denjenigen analog, welche zur Aufstellung der Axiome geführt haben. Wer sich mit gewissen Falsifikationskriterien und Falsifikationsregeln nicht als mit einem bloßen „Beschluß“ zufriedengibt – und wer könnte das? –, wird etwa nach deren Zwecken fragen; und schon ist man, wie wir vorhin gesehen haben, weit über den Bereich hinaus, der allein der Wissenschaftstheorie zugestanden werden sollte. Es ist unmöglich, dem Anfang einer Theorie (also der Aufstellung ihrer Axiome) bestimmende historische Motive zuzugestehen, sie aber für deren Ende (also ihre Überprüfung) wieder auszuschalten. Davon werden spätere Kapitel, insbesondere das Kapitel X, ausführlich handeln.

5. Die propädeutische Bedeutung der Wissenschaftsgeschichte für die Wissenschaftstheorie

Ob es sich nun um die Festsetzungen selbst, ihre Beziehungen untereinander oder gar ihren Wechsel handelt, in allen Fällen sehen wir den Geschichtsforscher die Arbeit des Wissenschaftstheoretikers ergänzen. Das Mate-

¹⁴ K. R. POPPER: Logik der Forschung, Tübingen 21966.

rial, das hierdurch zutage tritt, kann als Ausgangspunkt wissenschaftstheoretischer Überlegungen dienen und hat für diese – ich sagte es schon – eine propädeutische Bedeutung. In welchem genaueren Sinne dies der Fall ist und wie sich von hier aus neue Aufgabenbereiche innerhalb der Wissenschaftstheorie angeben lassen, will ich nun in vier Punkten darlegen. Damit wird schließlich auch die Anwendung geschichtlichen Denkens in ihr verdeutlicht.

Erstens: Gestützt auf die historischen Tatsachen ist eine Typologie der genannten Festsetzungen und ihrer Beziehungen sowie der Gründe für sie und für ihre Änderungen zu entwickeln.

Was damit gemeint ist, zeigen die Beispiele, die hier für bestimmte Festsetzungen und für einige mit ihnen verfolgte Zwecke aufgeführt wurden. Ich nannte u. a. Einfachheit, hoher Falsifikationsgrad, Anschaulichkeit, Erfüllung bestimmter Kausalprinzipien als mögliche Normvorstellungen für eine Theorie und theologische, pragmatische sowie ästhetische Zwecke, die ihnen zugrunde liegen können. Aber eine mit solchem und ähnlichem Material arbeitende Typologie soll nicht nur eine ordnende Bestandsaufnahme dessen, was war und ist, sein, sondern diese Bestandsaufnahme nur als Ausgangspunkt für eine systematische Auslotung wissenschaftstheoretischer Möglichkeiten betrachten. Diese Systematik hat den Zweck, die jeweils verwendeten wissenschaftstheoretischen Voraussetzungen einzuordnen, für den möglichen Augenblick ihrer Verwendbarkeit zu speichern und schließlich das Erdenken neuer zu erleichtern.

Zweitens: Mit Hilfe der Geschichte sind die historischen Ausgangspunkte verwendeter oder aufgestellter wissenschaftstheoretischer Regeln, Methoden, Grundsätze aufzuklären und in Erinnerung zu halten.

Die Einsicht in das geschichtlich Bedingte verhindert, daß eingenommene Positionen erst zur Selbstverständlichkeit werden, dann eine vermeintliche Evidenz erhalten und schließlich von jeder Fraglichkeit befreit nicht einmal mehr gesehen werden. Das geschichtliche Bewußtsein besitzt so eine kritische Funktion. Es spürt immer wieder Ursprünge auf, die nur kontingente Bedeutung haben, also nicht zwingend sind. Und gerade deswegen vermag es sie auch abzulehnen. Daher darf sich die Wissenschaftstheorie auch keineswegs darauf beschränken, geschichtliche Bedingungen aufzudecken und zu konstatieren, sondern sie muß diese darüber hinaus als die allein zureichende Basis einer adäquaten Kritik auffassen. Mannigfaltige wissenschaftstheoretische Gründe legen sich erst in der Geschichte bloß, und erst dann liegt die Voraussetzung für eine richtig ansetzende Kritik vor. So wird man einerseits der Situationsgebundenheit gerecht und so wird man andererseits, gerade indem man in sie einsteigt, Kritik üben können.

Drittens: Das Material der Geschichte ist als ein Maßstab zu verwenden, an dem man Umfang, Gültigkeit und Anwendbarkeit der von Wissenschaftstheoretikern erarbeiteten Methoden, Grundsätze, Postulate usw. messen kann. Es ist sehr aufschlußreich zu sehen, wie wenig sich die Klassiker der Physik an manche Lehre moderner Wissenschaftstheoretiker gehalten haben, ja daß jene, hätten sie anders gehandelt, ihre Theorie kaum vertreten hätten. (Vgl. besonders die Kapitel V, VI, IX und X.)

Viertens: Überall dort, wo die kategorialen Voraussetzungen aus historischen Bereichen stammen, die nicht genuin physikalisch sind – und früher oder später stößt man immer auf sie –, muß die wissenschaftstheoretische Auseinandersetzung auf diese Bereiche ausgedehnt werden.

So genügt es z. B. nicht, theologische, pragmatische, ästhetische Zwecke, auf die gewisse Festsetzungen zurückgeführt werden können, nur äußerlich zu vermerken, sondern diese Zwecke müssen selbst ausdrücklich Gegenstand der Überlegung und der Kritik werden. In der Regel führt dies weit über die Wissenschaftstheorie im engeren Sinne hinaus in die traditionellen Bereiche der Philosophie. Aber diese Sprengung enger Grenzen ist unvermeidlich, wenn die Rechtfertigungen für geschichtliche Festsetzungen diskutiert werden sollen.

Alle in den Punkten 1–4 angeführten Aufgaben dienen dem praktischen Ziele, auf dem Gebiet der exakten Naturwissenschaften die dort benützten wissenschaftstheoretischen Voraussetzungen in ihren historischen Gründen und Grenzen klarzumachen und damit in eine kritische Distanz zu ihnen zu treten sowie dabei zu helfen, wenn nötig andere, schon bereitgestellte in einer bestimmten Situation zu verwenden oder neue zu erdenken.

Dies sei noch erläutert. Die an dem Leitfaden der Kategorien zu entwickelnde Typologie soll dem Forscher dazu verhelfen, die Reflexion auf die Bedingungen seiner Tätigkeit in Gang zu setzen und auf Begriffe zu bringen sowie diese Bedingungen in der Abgrenzung gegen andere zunächst als nur *eine* Möglichkeit unter anderen zu erkennen. Dadurch wird ihm erst bewußt, was er tut, und somit auch hierfür der kritische Blick freigegeben. In einem weiteren Schritt wird er das historisch Bedingte und Relative seiner wissenschaftstheoretischen Prämissen erkennen und sich damit der Frage gegenübergestellt sehen, ob er diese Bedingungen und diese Relation noch als verbindlich betrachten will. Bei diesem Versuch einer tieferen Rechtfertigung seiner Vorentscheidungen wird er feststellen – und wir können das bei allen großen For-

schern, weil sie sich noch nicht einem naiven Spezialistentum ergeben haben, beobachten –, daß sein eigenes Gebiet in andere, vor allem in die traditionellen Bereiche der Philosophie zurückführt. Und alle diese Überlegungen werden ihn erst in die Lage versetzen, gegründet seine Wahl zu treffen, bei seinen Vorentscheidungen zu bleiben oder andere, in der Typologie gespeicherte zu ergreifen bzw. vielleicht mit deren Hilfe neu zu erdenken. Wenn ich sage „gegründet“, so meine ich damit nicht, wie sich aus allem hier bereits Gesagten ergibt, irgendeine absolute Basis. Sondern ich meine damit nur, daß er dann auch alle jene Komponenten wenigstens gesehen und bedacht hat, welche bei einer solchen Begründung mit herangezogen werden können. Nie kann die Diskussion des gesamten, einer Theorie vorausliegenden Bereiches ein absolutes Ende haben; aber *was* überhaupt u. a. zu diskutieren ist, ergibt sich aus den angegebenen Punkten. Die bekannten und teilweise ungelösten Fragen aber, welche geschichtliches Denken aufwirft und welche bisher nur die Geisteswissenschaften zu betreffen schienen, treten nun gleichsam im Schoße der Naturwissenschaften selbst auf. Die Grenzen zwischen beiden sind nicht mehr in der alten Weise und nicht mehr in der alten Strenge zu ziehen. Mit dieser Frage wird sich besonders das Kapitel XIII befassen. Zunächst aber sollen die bisher vorgetragenen Gedanken an einigen einschlägigen historischen Beispielen erläutert und vertieft werden.

V. Kritik der ahistorischen Wissenschaftstheorien Poppers und Carnaps am Beispiel von Keplers „Astronomia Nova“

KEPLERS in der „Astronomia Nova“ vorgetragene Theorien, soweit sie hier zur Sprache kommen sollen, nahmen ihren Ausgang von dem Versuch, die Marsbahn zu bestimmen. Diesen Versuch, obgleich mit größter Anstrengung Jahre hindurch unternommen, betrachtete KEPLER schließlich als gescheitert, nachdem er hatte feststellen müssen, daß zwischen den von ihm auf Grund seiner Hypothese errechneten und den durch TYCHO BRAHE beobachteten Werten ein Unterschied von 8 Bogenminuten bestand. Er schrieb:

„Uns, denen die göttliche Güte in TYCHO BRAHE einen allersorgfältigsten Beobachter geschenkt hat, durch dessen Beobachtungen der Fehler der ptolemäischen Rechnung im Betrag von 8'ans Licht gebracht wird, geziemt es, mit einem dankbaren Gemüt diese Wohltat Gottes anzunehmen und zu gebrauchen. Wir wollen uns also Mühe geben, unterstützt durch die Beweisgründe für die Unrichtigkeit der gemachten Annahmen endlich die richtige Form der Himmelsbewegungen zu ergründen. Diesen Weg will ich im folgenden selber, nach meiner Weise, anderen vorangehen . . . Diese acht Minuten allein haben also den Weg gewiesen zur Erneuerung der ganzen Astronomie; sie sind der Baustoff für einen großen Teil dieses Werkes geworden.“¹

¹ „Nobis cum divina benignitas TYCHONEM BRAHE observatorem diligentissimum concesserit, cujus ex observatis error hujus calculi

Für uns heute klingt solches wohlvertraut, und eben deswegen stört wohl nur sein Pathos. Hier, so sagt man, beginne moderne Naturwissenschaft; denn KEPLER berufe sich auf Daten. Dies trifft zwar zu; aber dabei wird nur allzu oft übersehen, daß die Nachlässigkeit, mit der man früher solche Daten behandelte, der Gleichmut, mit dem man noch weit größere Abweichungen hinnahm als diejenigen, welche KEPLER zur Verwerfung seiner Hypothese über die Marsbahn veranlaßten² – weswegen er sie auch „Hypothesis vicaria“, „stellvertretende Hypothese“, nannte – keineswegs einem niederen Zustand der Wissenschaft oder persönlicher Unzulänglichkeit der Gelehrten zuzuschreiben sind. Diese Einstellung hing vielmehr eng mit jener Theorie zusammen, welche das ptolemäische Zeitalter geprägt hatte. Die ihr zugrunde liegende Formel nämlich – wie sie sich im sog. Platonischen Axiom ausspricht –, daß die Gestirne sich in Kreisen mit gleichförmiger Winkelgeschwindigkeit bewegen, gründete in einer weitgespannten Metaphysik über den Unterschied zwischen dem Himmlischen und dem Irdischen, zwischen dem Vollkommenen und Unvollkommenen, dem Oben und Unten. Diese Theorie hatte

Ptolemaici VIII minutorum in Marte arguitur; aequum est, ut grata mente hoc DEI beneficium et agnoscamus et excolamus. In id nempe elaboremus, ut genuinam formam motuum coelestium (his argumentis fallacium suppositionum deprehensarum suffulti) tandem indagemus. Quam viam in sequentibus ipse pro meo modulo aliis praeibo . . . , sola igitur haec octo minuta viam praeiverunt ad totam Astronomiam reformandam, suntque materia magnae parti huius operis facta.“ JOHANNES KEPLER: *Gesammelte Werke*, hrsg. v. W. v. DYCK und M. CASPAR, München 1937 ff., Bd. III; *Astronomia Nova*, Kap. XIX, S. 178. Dt. zitiert nach E. J. DIJKSTERHUIS: *Die Mechanisierung des Weltbildes*, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1956, S. 342.

² Bei PTOLEMÄUS und KOPERNIKUS betrug die Genauigkeitsgrenze 10 Minuten.

die Phänomene zu retten (σώζειν τὰ φαινόμενα), also in deren Wirrsal im Lichte jener Metaphysik Ordnung zu bringen. Wo immer dies nicht voll gelang, lag in den angenommenen Prämissen bereits die Erklärung bereit: Denn wer konnte wagen, der Wahrnehmung blindes Vertrauen zu schenken? Erst recht dort, wo sie sich auf so entfernte, so erhabene Objekte wie diejenigen des Himmels bezog? Sie mochte für den sublunaren Bereich mehr oder weniger Geltung besitzen; für die Bewegungen der Gestirne hatte sie keine endgültige Kompetenz. Es wäre naiv, in der radikalen Ablehnung dieser Einstellung durch KEPLER schon den Sieg modern verstandener Vernunft und Wissenschaft zu sehen. In Wahrheit zeigt er sich nur von anderen metaphysischen Gedanken geleitet als seine Gegner. Hinter dem vorhin angeführten Zitat steht nämlich die schon im vorangegangenen Kapitel erwähnte humanistisch-theologische Grundannahme des KOPERNIKUS, daß die Schöpfung eine den menschlichen Erkenntnissen angepaßte Struktur habe; daß folglich Geist und Wahrnehmung in keinen Widerstreit geraten dürften; daß der Unterschied von Oben und Unten aufzuheben, die Erde als Stern unter Sternen zu betrachten sei und an ihrem Reigen teilzunehmen habe; daß das Universum nach Prinzipien der Einfachheit konstruiert sein müsse. usf.³ Aber das Kopernikanische System mit all seinen humanistisch-theologischen Voraussetzungen aus dem Geiste der Renaissance war damals ja in Wahrheit weit schlechter begründet als das Ptolemäische. Um es zu stützen, drehte man, auch dies ist bereits gesagt worden, einfach den Spieß gegen die Aristoteliker um, setzte

³ Zu den philosophischen Hintergründen des KOPERNIKUS siehe u. a. H. BLUMENBERG: Die Genesis der kopernikanischen Welt, Frankfurt a. M. 1978.

ad hoc theologische gegen theologische, metaphysische gegen metaphysische Argumente; kein einziger unmittelbar zwingender Grund vermochte dem neuen System Geltung zu verschaffen. Vor allen Dingen die Drehung der Erde mußte so lange ein ungelöstes Rätsel bleiben, bis das Trägheitsprinzip – erst von NEWTON endgültig formuliert – erklären konnte, warum man von ihr nichts merkte.⁴

KEPLERS Entscheidung für KOPERNIKUS – und damit auch für die Wahrnehmung und die Beobachtungsdaten als verbindliche wissenschaftliche Instanz – ist daher zunächst eher einem spontanen Akt als dem zwingenden Ende wie auch immer zu verstehender rationaler Überlegungen vergleichbar; und doch entstammte KEPLER einer gegenüber der ptolemäischen schon lange verwandelten geistigen Landschaft.

⁴ Hier sei nur kurz an die wichtigsten Argumente des KOPERNIKUS erinnert: Die Sonne bewegt sich nicht, sondern steht still, weil Ruhe ihrer Göttlichkeit mehr entspricht als die dem Niedrigen zukommende Bewegung; die Rotation der Erde um ihre Achse ist die Folge ihrer Kugelgestalt und entspricht deren substantieller Form; so betrachtet ist die Rotation eine natürliche Bewegung der Erde, weswegen auch keine Fliehkräfte auf ihr feststellbar sind – denn diese treten nur bei gewaltsamer Bewegung auf; vor allem aber nehmen alle Dinge wegen ihrer „Erdigkeit“ an der Bewegung der Erde teil. – Man sieht, wie hier überall die Aristotelische Metaphysik entweder einfach umgedreht oder gegen sich selbst gerichtet wird. Besonders gern beruft sich KOPERNIKUS darauf, daß seine Theorie im Vergleich zu derjenigen des PTOLEMÄUS die einfachere sei. Dies ist jedoch nur sehr bedingt wahr. Wie schon erwähnt, ist KOPERNIKUS nämlich nicht mit 34 Epizyklen ausgekommen, sondern benötigte in Wahrheit 48. In seinem Buch „Galilée et la loi d’inertie“ (Paris 1939) hat ALEXANDRE KOYRÉ die Geschichte des Trägheitsproblems, wie es sich aus dem Kopernikanischen System ergab, ausführlich geschildert.

1. Eine wissenschaftstheoretische Analyse von Keplers „Astronomia Nova“

Das erste Scheitern KEPLERS bei dem Versuch, die Bahn des Mars zu berechnen, brachte ihn auf den Gedanken, sich zunächst mit der Bahn der Erde zu befassen.⁵

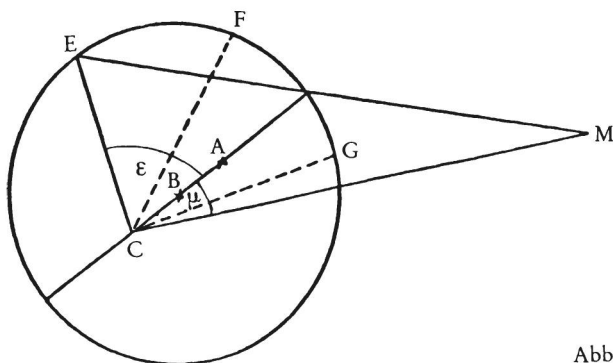


Abb. 1

Zu diesem Zwecke bestimmte er mit Hilfe einer von TYCHO BRAHE entworfenen Theorie die heliozentrische Stellung des Mars – M in Abb. 1 – und der Erde E zu einem bestimmten Zeitpunkt t. Zur bloßen Veranschaulichung, wie diese Stellung gemessen wird, dienen die Winkel ϵ und μ zwischen dem jeweiligen Fahrstrahl und dem Durchmesser, auf dem AC liegt. Doch muß man im Auge behalten, daß Abb. 1 nicht diese von TYCHO angenommenen Bahnverhältnisse darstellen soll, sondern die erst mit Hilfe von TYCHOS Daten durch KEPLER errechneten.

⁵ Der rein formale Teil meiner Ausführungen verwendet die Arbeiten von R. SMALL: *An Account of the Astronomical Discoveries of KEPLER* (A reprinting of the 1804 text), Madison 1963 und E. J. DIJKSTERHUIS: *Die Mechanisierung des Weltbildes* (vgl. Anm. 1, S. 98). Die Darstellungen in der „Astronomia Nova“ sind für die Zwecke des vorliegenden Textes zu umständlich. Auch sind die Gedanken KEPLERS in diesem Zusammenhang hier nur in ihren Hauptzügen wiedergegeben.

Heliozentrisch bedeutet hier freilich: bezogen auf einen Punkt C, der jedoch weder – wie schon TYCHO wußte – mit der Sonne – A in Abb. 1 – zusammenfiel, noch – wie zu vermuten war – den Mittelpunkt der Erdbahn (B) bezeichnete. Aber das letztere sollte sich erst herausstellen. Indem KEPLER die entsprechende auf die Erde bezogene Position (geozentrische Länge) des Planeten hinzunahm, konnte er die zugehörige Parallaxe EMC und den Winkel CEM berechnen.⁶ Er erhielt so die relative Entfernung der Erde von C durch die Gleichung (Anwendung des Sinussatzes):

$$CE = CM \frac{\sin EMC}{\sin CEM},$$

wobei er $CM = 100.000$ setzte. Nun wählte KEPLER einen zweiten Zeitpunkt t' , in dem Mars nach einem vollen Umlauf wieder an derselben Stelle angelangt war, während die Erde wegen ihrer Eigenbewegung eine andere Stelle – F in Abb. 1 – einnahm. Unter Anwendung derselben Methode errechnete KEPLER wieder die Entfernung der Erde von C (CF). Und schließlich wählte er einen dritten entsprechenden Zeitpunkt t'' (sowie noch einen vierten, den wir hier unberücksichtigt lassen), ebenso eine dritte Position der Erde G und bestimmte CG. Das Ergebnis war, daß alle drei so gewonnenen Abstände voneinander abwichen. Daraus folgerte er, daß C nicht – wie vermutet – der Mittelpunkt desjenigen Kreises sein konnte, auf dessen Peripherie die drei Erdpositionen lagen. C mußte vielmehr den sog. Ausgleichspunkt (punctum aequans) darstellen, also denjenigen Punkt, um den sich die Erde mit gleicher Winkelgeschwindigkeit

⁶ Die Parallaxenberechnung erfolgte nach einer von KOPERNIKUS benutzten Methode.

bewegt. Lag doch zwischen jeder der drei Stellungen jeweils ein Marsjahr und waren doch die Winkel, welche die Strecken CE und CF einerseits sowie CF und CG andererseits miteinander einschlossen, gleich.

Nun wollte KEPLER noch die Entfernung des Ausgleichspunktes C und der Sonne A vom Kreismittelpunkt B sowie die Lage der Apsidenlinie berechnen (also des Kreisdurchmessers, auf dem A, B und C liegen). AB ließ sich aber nur ermitteln, wenn die echte auf A bezogene heliozentrische Länge des Mars bekannt war (und nicht die vorhin zwar „heliozentrisch“ genannte, in Wahrheit aber auf C bezogene Länge); also konnte sich KEPLER diesmal nicht mehr auf TYCHOS Theorien stützen; kühn griff er auf seine eigene, bereits verworfene „hypothesis vicaria“ zurück, deren Fehler er durch grobe Annäherungsverfahren auszugleichen suchte. Das Endergebnis war: Auch die Erde durchläuft, ebenso wie der Mars, eine Kreisbahn mit geteilter Exzentrizität; auf deren Apsidenlinie liegen nämlich der Ausgleichspunkt C und die Sonne A in Abb. 1 in gleicher Entfernung vom Kreismittelpunkt und einander gegenüber.

Worauf beruhte aber am Ende diese Entdeckung? Sie beruhte auf zwei selbst KEPLER fragwürdigen Theorien – nämlich derjenigen TYCHOS (heliozentrische Position von Mars und Erde) und auf der von KEPLER mit solchem Pathos verworfenen „hypothesis vicaria“ –, einem groben Annäherungsverfahren, auf der der klassischen Philosophie entstammenden Annahme von der kreisförmigen Bewegung der Gestirne und schließlich auf den beinahe für unfehlbar gehaltenen Daten TYCHOS.

Diese fragwürdigen und dogmatischen Voraussetzungen hinderten ihn nicht, sogleich einen weiteren kühnen Schritt zu wagen, mit dem sich seine Abkehr von PTOLEMÄUS und sogar auch von KOPERNIKUS bereits klar ab-

zeichnete: Er verzichtete nämlich darauf, nach überlieferter Manier mit Hilfe des *punctum aequans* den Ausgleichskreis zu konstruieren, und versuchte stattdessen, in der Ungleichförmigkeit der Bahngeschwindigkeit der Erde um die Sonne ein Gesetz zu entdecken. Dabei fand er – wieder annäherungsweise –, daß die Geschwindigkeiten der Erde im Perihel und Aphel im umgekehrten Verhältnis zu den dortigen Entfernungen des Planeten von der Sonne stehen. Und dieses Minimum an empirischen Daten genügte ihm bereits, um es sogleich auf alle Bahnpunkte, ja auf alle Planeten zu extrapolieren, so daß er folgendes Gesetz aufstellte:

- 1) Alle Planeten bewegen sich auf Kreisen mit geteilter Exzentrizität, wobei die Sonne in einem der Exzentrizitätspunkte steht.
- 2) Die Geschwindigkeit eines Planeten ist umgekehrt proportional zu seiner Entfernung von der Sonne.

Diese zweite Behauptung ist das sogenannte Radiengesetz.

Hier ist nun nicht nur das Spekulative dieses Gesetzes bemerkenswert, sondern auch, daß KEPLER überhaupt so ein Gesetz suchte und eine Konstruktion des Ausgleichskreises ablehnte. Damit hat er bereits einen Teil des Platonischen Axioms aufgegeben – nämlich, daß sich die Sterne mit gleichförmiger Winkelgeschwindigkeit bewegen. Was ihn dabei leitete, war sein mystisches Verhältnis zur Sonne. Fiktive Punkte, um die sich die Gestirne bewegen sollen, waren für ihn Hirngespinnste. Es hatte ihn schon gestört, daß die Sonne im Kopernikanischen System nicht wahrhaft im Mittelpunkt stand (weswegen es ja auch nicht im strengen Sinne „heliozentrisch“ genannt werden kann)⁷ und daß sie daher dort nur die die-

⁷ Genau so wenig, wie das Ptolemäische System streng genommen geozentrisch war.

nende Rolle einer Lichtspenderin hatte. Für ihn war die Sonne das heilige Zentrum des Universums und innerweltlicher Ausdruck Gott-Vaters. Daher konnte nur von ihr jene Kraft ausgehen, welche die Planeten um sie herumwirbelte (diese Kraft brachte er mit dem Heiligen Geist, die Fixsterne mit dem Sohn in Zusammenhang). Es galt also, dieser Kraft auf die Spur zu kommen, und so mußten die Bewegungen der Planeten relativ zur Sonne und nicht relativ zu irgendwelchen imaginären Punkten im Weltraum untersucht werden.

Erst das Pathos des Heliozentrismus ermöglichte es daher KEPLER, so etwas wie das Radiengesetz zu suchen und zu finden, und nur seine im Renaissance-Humanismus begründete felsenfeste Überzeugung von der Erkennbarkeit der Konstruktionsprinzipien des Universums gab ihm den Mut, seinen kühnen Extrapolationen zu vertrauen und sie als Beweise anzusehen. Im Geiste dieser Philosophie fuhr er folgerichtig fort, wenn er das für die Aristoteliker ungeheuerliche Wagnis unternahm, das Radiengesetz zuerst mit dem Hebelgesetz, später aber mit GILBERTS Theorie des Magneten – und damit himmlische mit irdischen Bewegungen – in Zusammenhang zu bringen, wobei er auch in Kauf nahm, das Universum künftig nicht mehr „*instar divini animalis*“ – wie ein göttliches Lebewesen –, sondern „*instar horologii*“ – wie ein Uhrwerk – betrachten zu müssen.⁸ Aber schließlich stützte er sich dann doch wieder bei seiner Hypothese über die Ursachen der Planetenbewegungen, die man

⁸ „*Scopus meus hic est, ut Caelestem machinam dicam non esse instar divinj animalis, sed instar horologii (qui horologium credit esse animatum, is gloriam artificis tribuit operi), ut in quae pene omnis motuum varietas ab una simplicissima vi magnetica corporalj, utj in horologio motus omnes a simplicissimo pondere.*“ Brief Nr. 325, KEPLER an HERWART v. HOHENBURG vom 10. Febr. 1605, in: KEPLER: a. a. O. Bd. XV, „Briefe 1604–1607“, S. 146.

als eine Urform der Gravitationstheorie NEWTONS ansehen könnte, auf ARISTOTELES, indem er Ruhe und Bewegung absolut trennte (wäre nicht die Drehkraft der Sonne, so stünden, wie er meint, die Planeten wegen ihrer Trägheit [inertia] still). So verbaute er sich den Zugang zum Trägheitsprinzip und damit – wie wir heute wissen – zum wichtigsten Argument für die Kopernikanische Idee.

Nach diesen Überlegungen zur Himmelsmechanik kehrte er zur Theorie der Marsbewegung zurück. Betrachten wir nun Abbildung 2:

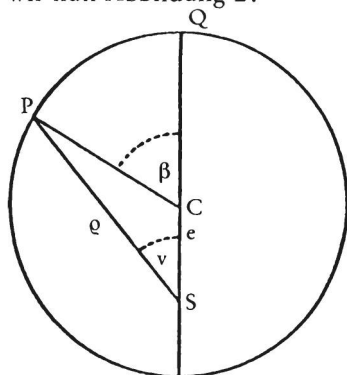


Abb. 2

Nach dem Radiengesetz ist die Geschwindigkeit eines Planeten in einem Punkte P auf seiner Kreisbahn mit dem Mittelpunkt C umgekehrt proportional zu seiner Entfernung $\varrho = PS$ von der Sonne S und folglich ist die für dieses Bahnelement verwendete Zeit zu PS proportional. Wie aber ließ sich diese Proportionalität exakt in eine Formel bringen? Eine direkte Beziehung zwischen der Zeit und dem Radius herzustellen schien unmöglich. Da erinnerte sich KEPLER an das sog. Archimedische Theorem, das für Kreise eine Beziehung von Flächen und Radien ausdrückt. Es besagt nämlich, daß die Fläche eines Kreissektors QCP im Grenzfall als Summe unendlich

vieler unendlich schmaler Dreiecke, deren Höhe der Kreisradius ist, betrachtet werden kann. Dies brachte KEPLER auf den Gedanken, die beim Durchlaufen von QP verstrichene Zeit nicht unmittelbar zu Radien, sondern zu Flächen, verstanden als Summen von Radien, in Beziehung zu setzen. Also übertrug er das Theorem des ARCHIMEDES bedenkenlos auf den Sektor QSP und gewann so ein zweifelhaftes Mittel, die Zeit, die beim Durchlaufen eines Bogens QP verstreicht, durch die Fläche QSP auszudrücken und damit wenigstens indirekt die Beziehung zwischen der Zeit und den Radien zu erfassen. Somit stellte er folgende Beziehung auf:

$$(1) \quad \frac{t}{T} \approx \frac{\frac{1}{2}\beta + \frac{1}{2}e \sin \beta}{\pi},$$

wobei t die für einen Bogen QP benötigte, T dagegen die Gesamtumlaufzeit darstellen. Setzt man nämlich $r = 1$, so sind die Fläche QCP = $\frac{1}{2}\beta$, die Fläche CSP = $\frac{1}{2}e \sin \beta$ und π die Kreisfläche.

Aus (1) folgt:

$$(2) \quad 2\pi \frac{t}{T} \approx \beta + e \sin \beta.$$

β ließ sich nun, wenn t bekannt war, berechnen (allerdings mit den KEPLER zur Verfügung stehenden Methoden nur angenähert).

Damit aber ließ er sich in der Gleichung

$$(3) \quad q = \sqrt{1 + e^2 + 2e \cos \beta},$$

die sich aus Abb. 2 mit Hilfe des Kosinussatzes ergibt, die Entfernung zwischen Planet und Sonne bestimmen. Endlich lieferte die Gleichung

$$(4) \quad q \cos v = e + \cos \beta,$$

die durch Ausnutzung der einfachen Kosinus-Beziehung zu gewinnen ist, v und damit die Position des Sternes zu einer gegebenen Zeit t .

Diese Überlegungen verwenden also erstens das Radiengesetz, wonach eine Beziehung zwischen der Zeit und dem Radius behauptet wird, zweitens eine Übertragung des sog. Archimedischen Theorems, nach dem die Fläche des Kreissektors im Grenzfalle mit Hilfe der Radien berechnet wird, auf den soeben bezeichneten ganz andersartigen Sektor QSP, wodurch die Beziehung zwischen der Zeit und dem Radius in eine solche zwischen der Zeit und einer Kreisfläche verwandelt wird. Das Radiengesetz aber war empirisch kaum gestützt, die bezeichnete Übertragung mathematisch unzulässig – und beides war KEPLER wohl bewußt. Hinzu kommt, daß in (1) bis (4) die Exzentrizität e eingeht, die er nur mit Hilfe der verworfenen „hypothesis vicaria“ gewonnen hatte.

So zeigt sich KEPLER auch in diesem Stadium wenig bekümmert um exakte und hinreichende empirische, mathematische oder theoretische Begründungen, obgleich doch diese nach dem eingangs angeführten Zitat zu erwarten gewesen wären. Daher verwundert es nun nicht mehr zu sehen, wie er schließlich den Rest des sog. Platonischen Axioms, nämlich die Annahme der Kreisförmigkeit der Planetenbahnen, mit einem Minimum an empirischer Abstützung verwirft, nachdem er bereits dessen eine Hälfte, und das war die Annahme der Gleichförmigkeit der Winkelgeschwindigkeiten der Planeten, aufgegeben hatte.

Zu diesem Schritt gelangte er bei dem neuerlichen Versuch, die Bahn des Mars zu bestimmen. Er bediente sich zunächst hierbei der bereits beschriebenen Methode, welche er schon für die Errechnung der Bahn der Erde benutzt hatte. Wie er dort von mehreren Erdpositionen

bei ein und derselben Marsstellung ausging, so hier von drei Marspositionen bei ein und derselben Stellung der Erde. Damit gewann er drei Entfernungen des Mars von der Sonne sowie die Winkel, die ihre Strecken miteinander einschließen. Durch zwar langwierige, an sich aber einfache Dreiecksberechnungen ermittelte er so dreimal die Lage der Apsidenlinie und die Größe der Exzentrizität der Sonne. Er mußte dabei feststellen, daß er jedesmal zu anderen Werten kam; daraus schloß er, daß die Marsbahn kein Kreis sein könne.

Diese revolutionäre Entscheidung fällt er folglich auf Grund derselben kühnen Voraussetzungen, die er schon bei der Berechnung der Erdbahn gemacht hatte. Benutzte er doch hier wie dort dieselbe Methode, stützte er sich doch auch hier auf die mit dieser bereits gewonnenen Resultate! TYCHOS Theorie, die „hypothesis vicaria“, der Glaube an TYCHOS Daten – dies alles bleibt nach wie vor der schwankende Boden, auf dem er steht.

So sehen wir denn diesen spekulativen Geist auch noch auf jenem letzten Stück Weges sich treu bleiben, wo er zu der Überzeugung gelangt, daß die Bahnen der Gestirne Ellipsen sind. Betrachten wir Abbildung 3:

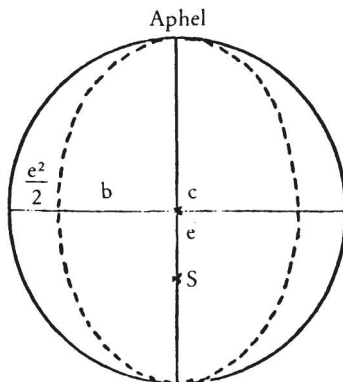


Abb. 3

Zuerst vermutete KEPLER nach dem Prinzip der Einfachheit, daß die Abweichung der Marsbahn vom Kreis durch die Beziehung $b = 1 - e^2$ gegeben sei, wobei 1 der Betrag des Radius, e die Exzentrizität der Sonne und b eine Achse der wirklichen Bahn ist. Später kam er auf den Gedanken, $b = 1 - \frac{e^2}{2}$ zu setzen.

Eines Tages aber machte er eine Entdeckung, die durch Abbildung 4 veranschaulicht sei (sie stellt die Marsbahn dar):

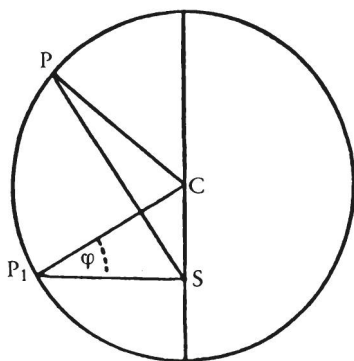


Abb. 4

Er bemerkte nämlich, daß (vgl. Abb. 4):

$$(5) \quad \frac{P_1C}{P_1S} = \frac{1}{\cos \varphi} = 1,00429.$$

Dabei ist φ der größte Winkel, welchen die Strecken P_1S (Planet-Sonne) und P_1C (Planet-Kreismittelpunkt) miteinander einschließen. Wenn man nur den für b angenommenen Wert in Rechnung stellt, so gilt:

$$\frac{r}{b} = \frac{1}{1 - \frac{e^2}{2}},$$

und da $e \ll 1$:

$$\frac{1}{1 - \frac{e^2}{2}} \approx 1 + \frac{e^2}{2};$$

$1 + \frac{e^2}{2}$ aber hat den Wert 1,00429 und stimmt daher mit dem rechtsstehenden Betrag in (5) überein.

„Als ich dies sah“, schreibt KEPLER, „war es mir, als ob ich aus dem Schlaf geweckt würde und ein neues Licht sähe, ...“⁹

Diese nur angenäherte und nur wegen der Kleinheit von e geltende Beziehung regte ihn sogleich zu einer neuen Spekulation an, die Abb. 5 verdeutlichen soll:

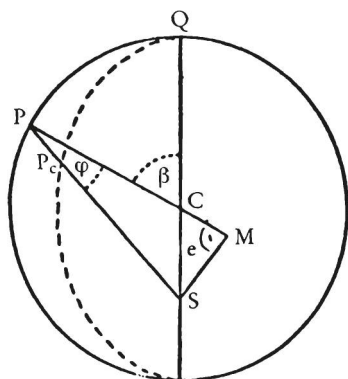


Abb. 5

Er vermutete nämlich, daß in Abb. 5 analog zu Gleichung (5) die Beziehung gelten könnte:

$$\frac{SP_c}{SP} \approx \cos \varphi.$$

Oder anders ausgedrückt, daß das Verhältnis der Entfernung zwischen der Sonne und dem Planeten auf der „wahren“ Bahn zu derjenigen zwischen Sonne und Planet auf der „fiktiven“ Kreisbahn analog sei demjenigen von $r : b$ in Abb. 3.

⁹ „Quem cum viderem esse 100429, hic quasi e somno expergefactus, et novam lucem intuitus, ...“ KEPLER: a. a. O. Bd. III; *Astronomia Nova*, Kap. LVI, S. 346. Dt. zitiert nach DIJKSTERHUIS: a. a. O. S. 355.

$$\text{SP} \cos \varphi = \text{PM}$$

und $\text{PM} = 1 + e \cos \beta$.

$$SP \cos \varphi = PM$$

und $PM = 1 + e \cos \beta$.

Demnach wird die Planetenbahn durch die Formel ausgedrückt:

$$(6) \quad \text{SP}_c \approx 1 + e \cos \beta.$$

Nach mühevoller Arbeit – „paene usque ad insaniam“ stellte KEPLER dann fest (man muß sich erinnern, daß der mathematische Apparat, der ihm zur Verfügung stand, noch recht primitiv war), daß die Gleichung (6) der Ausdruck einer Ellipse ist (was allerdings auch nur annähernd zutraf).

Wieder stoßen wir auf Vermutungen, Spekulationen, grobe Annäherungsmethoden; und schließlich erfolgt die Überprüfung der Gleichung (6) durch Vergleich der Werte von SP_c mit denjenigen, welche mit Hilfe der früher erarbeiteten und bereits kritisch analysierten Methoden der KEPLERSchen Entfernungsrechnung gewonnen worden waren.

Betrachten wir jetzt abschließend noch einen Schritt KEPLERS anhand von Abb. 6:

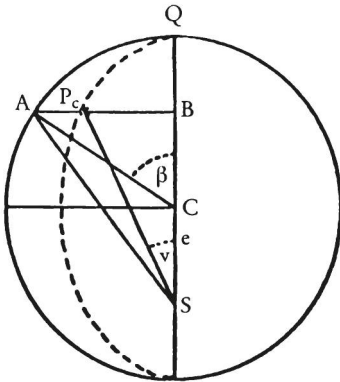


Abb. 6

Entsprechend der Formel (1) soll nun auch hier die Beziehung gelten:

$$(7) \quad \frac{t}{T} \approx \frac{SQP_c}{\pi b}.$$

Das heißt, die Zeit t , welche der Planet benötigt, um den Ellipsenbogen QP_c zu durchlaufen, soll sich zur Gesamtumlaufzeit T verhalten wie die Fläche von SQP_2 zur Fläche der Ellipse, wobei b die kleine Halbachse ist und die große Halbachse gleich 1 gesetzt ist. Nun nimmt KEPLER an, daß analog zu dem vorhin im Zusammenhang mit Abb. 4 und Abb. 5 Gesagten auch

$$(8) \quad \frac{SQA}{SQP_c} \approx \frac{1}{b}.$$

Es gilt aber nach (1):

$$SQA = \frac{1}{2} (e \sin \beta + \beta).$$

Setzt man dies in (8) und (7) ein, so gewinnt man schließlich durch einfache Rechnung:

$$\frac{t}{T} \approx \frac{e \sin \beta + \beta}{2\pi}$$

Der entscheidende Schritt dieser Deduktion, nämlich (7) als ihr Ausgangspunkt, stellt also nichts anderes dar als eine erneute unzulässige Übertragung des Archimedischen Theorems, diesmal auf einen Sektor der Ellipse, dessen Spitze die in einem der Brennpunkte liegende Sonne darstellt.

Die beiden ersten Gesetze lassen sich also folgendermaßen zusammenfassen (siehe Gleichung (6)):

$$(9) \quad 2\pi \frac{t}{T} \approx \beta + e \sin \beta,$$

$$(10) \quad SP_c \approx 1 + e \cos \beta.$$

(10) besagt, daß sich ein Planet auf einer Ellipse bewegt, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht; (9), daß der Radius Sonne-Planet in gleichen Zeiten gleiche Flächen durchläuft.

Was nun den Mars betrifft, der ja Zentrum und Ausgangspunkt all dieser Überlegungen war, so ließen sich β und e in (9) nur mit der verworfenen (wenn auch verbesserten) „hypothesis vicaria“ bestimmen. Diese Hypothese wird also zur Berechnung von SP_c benutzt und das so gewonnene Ergebnis wieder mit Methoden überprüft (3 Marspositionen zur Stellung der Erde), in die ebenfalls diese Hypothese eingeht.

So also sieht die Begründung der beiden ersten KEPLERschen Gesetze aus, von denen man auch heute noch so oft behauptet, sie seien allein aus der Erfahrung gewonnen worden.

Vergleicht man übrigens KEPLERS Theorie mit derjenigen des PTOLEMÄUS, so schneidet die letztere keineswegs schlecht ab. Denn erstens gibt sie wegen der geringen Bahnexzentrizitäten der Planeten deren Bewegungen mit fast der gleichen Genauigkeit an wie diejenige KEPLERS (was freilich Merkur betrifft, so stellt er hier wie dort ein enfant terrible dar); zweitens gab es eine einleuchtende philosophische Begründung für das Platonische Axiom, wohingegen für KEPLER die elliptische Form der Planetenbahnen ein Rätsel bleiben mußte. Sein Versuch, sie aus Eigenbewegungen der Planeten herzuleiten, blieb ganz unbefriedigend. Dasselbe muß drittens von seinen Bemühungen gesagt werden, die bekannten Aristotelischen Argumente gegen die Rotation der Erde zu entkräften. Diese Bemühungen haben den Charakter typi-

scher ad-hoc-Hypothesen.¹⁰ Das betretene Schweigen, mit dem seine „Astronomia Nova“ aufgenommen wurde, ist also keineswegs erstaunlich.

Diese Analyse der in der „Astronomia Nova“ verwandten Methoden und Beweise wird uns, wie sich zeigen wird, zu folgender Feststellung führen: Wenn KEPLER sich an bekannte wissenschaftstheoretische Lehren unserer Tage gehalten hätte, so hätte er seine beiden in ihrer Bedeutung kaum überschätzbaren Gesetze verwerfen müssen. Man kann dies an zwei einschlägigen Beispielen verdeutlichen: An POPPERS und LAKATOS' Methodenlehre sowie an CARNAPS Induktionslogik.

2. *Keplers „Astronomia Nova“ im Lichte der Wissenschaftstheorie Poppers und Lakatos'*

POPPERS methodisches Grundpostulat besagt, daß eine wissenschaftliche Theorie falsifizierbar sein muß. Erfolgt aber eine solche Falsifikation, so dürfe die Theorie nicht durch ad-hoc-Hypothesen oder sonstige Annahmen vor dem Scheitern gerettet werden. Er schreibt: „Fällt die Entscheidung positiv aus, werden die singulären Folgerungen anerkannt, verifiziert, so hat das System die Prü-

¹⁰ KEPLER vermutet, daß die Erde infolge ihrer Anziehungskraft alle Körper in ihrer Richtung fortziehe. Diese Kraft denkt er sich durch zahllose Bande ausgeübt, die einen Kegel erfüllen. Er berührt die Erde, und an seiner Spitze befindet sich der angezogene Gegenstand. Die Resultante dieser Kräfte ist vertikal nach unten gerichtet, wodurch KEPLER zu erklären versucht, warum ein größerer Widerstand zu bemerken ist, wenn ein Körper emporgehoben, als wenn er seitlich verschoben wird. Damit bleibt es aber freilich wieder unbegreiflich, wieso dann eine der Rotation der Erde entgegengesetzte Bewegung eines irdischen Körpers ohne erhebliche Widerstände möglich ist.

fung vorläufig bestanden; wir haben keinen Anlaß, es zu verwerfen. Fällt eine Entscheidung negativ aus, werden Folgerungen falsifiziert, so trifft ihre Falsifikation auch das System, aus dem sie deduziert wurden.“¹¹

Was bedeutet hier eine „Entscheidung“? Sie bedeutet, daß sog. Basissätze (worunter POPPER singuläre Es-gibt-Sätze versteht, also etwa: an der und der Raum-Zeit-Stelle befindet sich das und das)¹² entweder der Theorie widersprechen oder nicht. Doch es genügt nicht, die Theorie für falsifiziert zu erklären, wenn einzelne ihr widersprechen. „Das tun wir vielmehr erst dann, wenn ein die Theorie widerlegender Effekt aufgefunden wird; anders ausgedrückt: wenn eine (diesen Effekt beschreibende) empirische Hypothese von niedriger Allgemeinstufe, die der Theorie widerspricht, aufgestellt wird und sich bewährt. Eine solche Hypothese nennen wir fal-

¹¹ K. R. POPPER: Logik der Forschung, Tübingen ²1966, S. 8.

¹² A. a. O. S. 67f. Es ist übrigens interessant, sich die Basissätze genauer anzusehen, welche bei KEPLER eine falsifizierende Rolle spielen. Es handelt sich hierbei zunächst um Daten, die jedoch teilweise aus Theorien errechnet sind und nicht unmittelbar beobachtet werden können (wie beispielsweise die heliozentrische Länge). Mit Hilfe dieser Daten bestimmt er nun andere, nämlich Entfernungen von Sternen, die Lage von Punkten im Weltraum usw. All dies kann ebenfalls mit Basissätzen ausgedrückt werden, die nicht Beobachtbares betreffen. KEPLER widerlegt nun gewisse Hypothesen, indem er beweist, daß sie mit den so gewonnenen Daten unvereinbar sind. Nun hat POPPER zwar ausdrücklich gefordert, daß Basissätze durch „Beobachtung“ intersubjektiv nachprüfbar sein sollen (a. a. O. S. 68), aber er hat gleich anschließend erklärt, „beobachtbar“ sei ein undefinierter Grundbegriff und es genüge festzuhalten, daß jeder Basissatz ein solcher über Lagebeziehungen zwischen physischen Körpern oder solchen „mechanistischen“ Basissätzen äquivalent sein muß (a. a. O. S. 68). Wenn also KEPLERS Basissätze mit dem, was POPPER darunter versteht, auch in Einklang zu bringen sein mögen, so machen sie doch deutlich, mit welcher Vorsicht das Wort „beobachtbar“ hier zu verwenden ist.

sifizierende Hypothese.“¹³ Als Beispiel führt POPPER den Satz an: Im Tiergarten zu N lebt eine Familie von weißen Raben,¹⁴ womit die allgemeine Behauptung, daß alle Raben schwarz sind, widerlegt wäre. In den meisten Fällen, so fügt er hinzu, habe man jedoch, bevor eine Hypothese falsifiziert werde, „eine andere auf Lager“; „denn das falsifizierende Experiment ist gewöhnlich ein experimentum crucis, das zwischen den beiden Hypothesen entscheiden soll.“¹⁵ Hier wird also der Effekt, welcher falsifizieren soll, aus einer anderen, schon vorhandenen Hypothese abgeleitet. Entscheidungen solcher Art können allerdings grundsätzlich, da sie sich auf Basissätze stützen, mit diesen selbst immer wieder in Frage gestellt werden; doch macht man zweckmäßigerweise irgendwann halt und bleibt bei der Anerkennung. Daher führt POPPER auch die Regel ein: „ . . . daß wir einer durch intersubjektiv nachprüfbare Experimente . . . falsifizierten Theorie ein für allemal keinen positiven Bewährungswert mehr zuschreiben wollen . . . “¹⁶

Genau das Gegenteil aber tat KEPLER, als er die Ergebnisse bereits falsifizierter Theorien zur Aufstellung seiner

¹³ A. a. O. S. 54.

¹⁴ A. a. O. S. 54 Anm. 1.

¹⁵ A. a. O. S. 54 Anm. 1. Es ist hier zu bemerken, daß für KEPLER ein experimentum crucis zwischen der Ptolemäischen und seiner Theorie wegen der geringen Bahnexzentrizität der Planeten nicht möglich war.

¹⁶ A. a. O. S. 213. Die Apodiktizität dieser Regel, abgesehen davon, daß sich am Beispiel KEPLER zeigen wird, wie unvorteilhaft sie für den wissenschaftlichen Prozeß sein kann, steht auch in sonderbarem Widerspruch zu POPPERS ausdrücklicher Erklärung, Basissätze oder genauer Hypothesen von niedriger Allgemeinheitsstufe seien ihrerseits beständig weiter nachprüfbar und könnten keine Endgültigkeit beanspruchen. Folgt daraus nicht, daß – mit ihnen – auch das Falsifikationsurteil über eine Theorie wieder aufgehoben werden könnte?

eigenen verwandte und diese seine eigenen Theorien auch noch mit Hilfe solcher falsifizierter überprüfte. Aber noch in anderer Weise verstieß er klar gegen POPPERS Methodologie. Das Ausbleiben von Erscheinungen, welche die Erdrotation verraten könnten, betrachtete man damals als eine Falsifikation jeder Art Heliozentrismus, also auch des seinen. Und um dieser Falsifikation zu entgehen, versuchte er, was POPPER entschieden ablehnt:¹⁷ nämlich seine Theorie durch eine ad-hoc-Hypothese zu retten, und auch noch durch eine solche höchst zweifelhafter Art, wie es seine Himmelsdynamik gewesen ist. Hätte er also nach POPPER gehandelt, so hätte er seine Theorie verwerfen müssen, und zwar „ein für allemal“. POPPER glaubt, KEPLERS Erfolg sei zum Teil dem Umstand zu verdanken, „daß die Hypothese, von der er ausging (die Kreishypothese), verhältnismäßig leicht falsifizierbar war“¹⁸. Er hat dabei insofern recht, als er sich mit dem Ausdruck „verhältnismäßig leicht“ darauf bezieht, daß die Kreishypothese „dreidimensional“ ist („sie kann erst durch den vierten singulären Satz des betreffenden Feldes bzw. durch den vierten Punkt in der graphischen Darstellung falsifiziert werden“)¹⁹, während die Ellipsenhypothese „fünfdimensional“ ist („da sie erst durch den sechsten singulären Satz bzw. durch den sechsten Punkt in der graphischen Darstellung falsifiziert werden kann“)²⁰. Und doch wird mit dieser Betrachtungsweise eher verschleiert, wie fragwürdig die Falsifikation der Kreishypothese gewesen ist, die ja, wie sich zeigte, auf zweifelhaften Prämissen beruhte. Das Beispiel KEPLER offenbart also nicht nur, wie schwie-

¹⁷ A. a. O. S. 16, 48–51.

¹⁸ A. a. O. S. 93.

¹⁹ A. a. O. S. 92.

²⁰ A. a. O. S. 92.

rig es sein kann, falsifizierende Basissätze anzuerkennen (eine Schwierigkeit, die POPPER m. E. nicht hinreichend gewürdigt hat)²¹, sondern auch noch dies, daß es keineswegs vorteilhaft für die Wissenschaft sein muß, einer solchen Anerkennung, ist sie überhaupt erst erfolgt, schon die Verwerfung der hierdurch falsifizierten Theorie folgen zu lassen.²²

²¹ POPPER sieht, daß uns nichts zwingen kann, bei bestimmten Basissätzen stehen zu bleiben und daß daher jeder Basissatz wieder überprüft werden kann. Da einem also nichts anderes übrig bleibt, als an irgendeiner Stelle vorläufig haltzumachen, so geschehe das am besten dort, wo die Nachprüfung „leicht“ ist. Er schreibt: „Sollte eines Tages zwischen wissenschaftlichen Beobachtern über Basissätze keine Einigung zu erzielen sein, so würde das bedeuten, daß die Sprache als intersubjektives Verständigungsmittel versagt. Durch eine solche Sprachverwirrung wäre die Tätigkeit des Forschers ad absurdum geführt; wir müßten unsere Arbeit am Turmbau der Wissenschaft einstellen“. (a. a. O. S. 70) – Die Frage ist nun freilich, ob es überhaupt ein objektives Kriterium für den Ausdruck „leichte Nachprüfung“ gibt. Basissätze drücken eben wegen ihrer Theorieabhängigkeit keine absoluten Tatsachen aus, die absolute Richtsprüche erzwingen könnten. In der Regel wird die Anerkennung eines falsifizierenden Basissatzes ein recht komplexer, verwickelter und keineswegs unproblematischer Vorgang sein. Die Wissenschaft wird deswegen ihre Tätigkeit nicht einstellen – und dies mit Recht. Denn die Forderung nach einer Einigkeit unter den Wissenschaftlern ist dogmatisch.

²² Hätte KEPLER zwischen seiner und anderen damals vorliegenden Theorien mit POPPERS Mittel des Grades der Prüfbarkeit entscheiden können? Dann hätte er die Kreishypothese wegen ihrer niedrigen Dimensionen (worunter POPPER, wie erwähnt, die Zahl der Parameter versteht, durch welche eine Theorie noch nicht falsifizierbar ist) vorziehen müssen. Aber dieses Entscheidungskriterium hätte ihm auch gar nichts genützt (das andere, nämlich das Teilklassenverhältnis ist hier nicht anwendbar), weil ja längst alle fraglichen Theorien bereits falsifiziert waren (die seine eingeschlossen). Und so ist es immer. Theorien werden nicht wie Autos vor dem Rennen aufgestellt, so daß man erst ihren Wert abschätzen und es dann mit einer versuchen kann; sondern sie sind immer schon im Rennen und zeigen alle von Anfang an ihre mehr oder weniger großen Mängel.

Bisher wurde KEPLERS Methodologie nur mit der heute eher klassisch genannten des POPPERIANISMUS verglichen. Am Endergebnis ändert sich indessen nichts, wenn man die Verbesserungen heranzieht, die LAKATOS an der letzteren vorgenommen hat.

Seiner Meinung nach gibt es eine allgemeine Regel, die man anwenden muß, will man entscheiden, ob eine Reihe von Theorien fortschrittlich ist oder nicht. (Wobei er ganz recht hat, von einer Reihe und nicht von einzelnen Theorien zu sprechen, weil in der Tat jede Theorie mit verschiedenen anderen verknüpft ist.) Er schreibt: „Wir wollen eine Reihe von Theorien *theoretisch fortschrittlich* nennen . . . , wenn jede neue Theorie die vorangegangenen in ihrem empirischen Gehalt übertragt, wenn sie also einige neue, bisher unentdeckte Tatsachen vorhersagt. Wir wollen eine Reihe von Theorien *empirisch fortschrittlich* nennen . . . , wenn etwas von dem überragenden empirischen Inhalt auch bestätigt wurde, wenn uns also jede Theorie zur wirklichen Entdeckung irgendeiner *neuen* Tatsache führt. Wir wollen schließlich eine Problemsicht *fortschrittlich* nennen, wenn sie sowohl theoretisch wie empirisch fortschrittlich ist und *degenerierend*, wenn sie es nicht ist.“²³

Wieder müssen wir feststellen, daß KEPLER seine eigenen Theorien zurückgewiesen hätte, wäre er LAKATOS' Regeln gefolgt.

KEPLER konnte zwar seiner Meinung nach einige neue, bisher unbekannte Tatsachen vorhersagen; aber andererseits vermochte er, wie gesagt, weit mehr Tatsachen *nicht* zu erklären, die in vollständigem Einklang mit der Ptole-

²³ I. LAKATOS: Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes, in: I. LAKATOS, S. MUSGRAVE (Hrsg.): Criticism and the Growth of Knowledge, Cambridge 1970, S. 118.

mäischen Astronomie und der Aristotelischen Physik standen. Hierzu gehören insbesondere alle jene Erscheinungen, die infolge des noch nicht entwickelten Trägheitsprinzips gegen die Rotation der Erde sprechen. Daher können wir nicht sagen, daß seine Theorie im Vergleich zu den ihr vorangegangenen Theorien einen überragenden empirischen Gehalt hatte.

Aber das ist noch nicht alles. Selbst die Bestätigung der von KEPLER vorausgesagten Tatsachen war außerordentlich fragwürdig, wie hier gezeigt wurde. So haben wir ja z. B. gesehen, daß KEPLER zur Berechnung der Marsbahn die *hypothesis vicaria* benötigt und daß er die damit gewonnenen Ergebnisse wieder mit Methoden prüft, die ebenfalls auf dieser Hypothese beruhen. Nun war sich KEPLER dieser Schwächen wohl bewußt und folglich machte er noch weitere Annahmen mehr metaphysischer und theologischer Art, worauf gleich zurückzukommen sein wird. Kann LAKATOS' Regel dabei helfen, wenn wir entscheiden wollen, ob alle diese Voraussetzungen annehmbar sind?

Offensichtlich ist der Ausdruck „Vorhersage einer Tatsache“ nicht so klar und einfach, wie LAKATOS denkt. Können wir jede Vorhersage als einen theoretischen Fortschritt betrachten, nämlich selbst dann, wenn die Gründe für diese Vorhersagen sehr kühn, fragwürdig oder gar verrückt sind? War nicht gerade *dies* fraglich, ob KEPLERS Voraussagen überhaupt annehmbar sind, besonders insofern, als er für sie auch noch die Metaphysik und die Theologie bemühte? Und war nicht aus ganz denselben Gründen gerade *dies* fraglich, ob KEPLERS empirische Prüfungen und Bestätigungen anerkannt werden können? Nicht darum geht es ja in Wahrheit, ob Voraussagen gemacht und Tatsachen überprüft werden, sondern ob die *Gründe* für diese Voraussagen und die *Voraussetzun-*

gen für diese Prüfungen einleuchtend sind. Aber darüber sagt LAKATOS' Regel nichts aus.

Stellen wir uns einmal vor, LAKATOS wäre ein Großinquisitor zu KEPLERS Zeit gewesen, der den wissenschaftlichen Fortschritt seiner eigenen Regel gemäß überwachen soll. Nehmen wir an, daß er KEPLER verhört hätte und stellen wir uns den folgenden Dialog vor:

LAKATOS: Kannst du uns einen empirischen Gehalt vorweisen, der denjenigen der Theorien deiner Vorgänger übersteigt?

KEPLER: Ein wenig davon kann ich zwar zeigen, aber PTOLEMÄUS und ARISTOTELES übertreffen mich in dieser Beziehung um ein Vielfaches.

LAKATOS: Kannst du einige neue Tatsachen vorhersagen?

KEPLER: Jawohl, wenn du meine Gründe für diese Vorhersagen teilst und wenn du ferner meine Voraussetzungen dafür anerkennt, die für die Bestätigung dieser Tatsachen gemacht werden müssen.

LAKATOS: Welche Voraussetzungen hast du gemacht?

KEPLER: Sehr zweifelhafte, soweit ich mich auf die ausschließlich astronomischen beziehe.

LAKATOS: Anathema.

KEPLER: Gestatte mir bitte ein letztes Wort. Ich habe zwei Voraussetzungen gemacht, die ich für entscheidend ansehe und an die ich mit ganzem Herzen glaube: Die erste ist, daß KOPERNIKUS recht haben muß, weil seine Beschreibung der Welt im Wesentlichen sehr viel einfacher ist als die anderen und weil sie folglich dem menschlichen Geist und der göttlichen Gerechtigkeit angemessener ist. Die zweite ist, daß es widersprüchlich ist, die Erde als den Mittelpunkt des Universums und gleichzeitig als den Ort der Sünde anzusehen. Daher glaube ich, daß die Sonne der Stern ist, um den sich alle anderen drehen. Und indem

ich *dies* voraussetze, gibt alles andere, wie zweifelhaft es für sich sein mag, einen vernünftigen Sinn.

LAKATOS: All dies hat keinerlei wissenschaftlichen Wert. Daher noch einmal: Anathema.

So also hätte der arme KEPLER, wäre er LAKATOS' Regel gefolgt, seine eigene Theorie widerrufen müssen.²⁴

3. Keplers „*Astronomia Nova*“ und Carnaps Induktionslogik

Betrachten wir nun KEPLERS Theorie im Lichte von CARNAPS Induktionslogik. Diese Logik hat zum Ziel, den Bestätigungsgrad einer Hypothese (h) auf Grund vorliegender Gegebenheiten (e) zu bestimmen. Ihre elementaren Aussagen haben daher die Form:

$$c(h,e) = r,$$

wobei c den Bestätigungsgrad (degree of confirmation) darstellt und r einen Zahlenwert zwischen 0 und 1 besitzt.

Nun ist allerdings diese Induktionslogik nur für Sprachen entwickelt, die im Vergleich zu derjenigen der KEPLERSchen Theorie primitiv sind. Aber damit ist die Frage, ob KEPLER diese Logik hätte anwenden können – und wenn, was ihm das genutzt hätte – keineswegs erledigt. Denn CARNAP hat ausdrücklich die Vereinfachungen und Idealisierungen, derer er sich bediente, als unvermeidliche Übel bloß des Ausgangspunktes angesehen. Später könne man allmählich immer kompliziertere in-

²⁴ Vgl. I. LAKATOS: *History of Science and its Rational Reconstructions*, in: R. C. BUCK und R. S. COHEN (Hrsg.): *Boston Studies in the Philosophy of Science* 1971, S. 22. Dort sagt LAKATOS, was mit Theorien zu geschehen habe, die man nach seinen Regeln nicht anerkennen kann.

duktionslogische Systeme aufbauen und dann auch für physikalische Theorien und Hypothesen Bestätigungsgrade finden. Die primitive Konstruktion sei als eine mehr oder weniger grobe „Approximation“ an die kompliziertere anzusehen.²⁵ Was sich so als praktisch schwierig erweisen mag, sei deswegen noch keineswegs theoretisch unmöglich.

In diesem Zusammenhang muß wohl auch CARNAPs Behauptung verstanden werden, daß „alle Wissenschaftler angenähert die gleiche induktive Methode benutzen“ und daß „diese dicht bei der Stern-Methode liegt“ (womit eine bestimmte Auswahl aus den möglichen Bestätigungsverfahren der Induktionslogik gemeint ist, die CARNAP mit „c*“ bezeichnet).²⁶

Wenn nun noch kein formales System existiert, das es ermöglichte, die Bestätigungsgrade der KEPLERSchen Hypothesen und Gesetze exakt zu errechnen, so läßt sich doch leicht erkennen, daß deren Wert sehr gering sein müßte, errechnete man ihn in einem analogen, auf die primitiven Verhältnisse der Sprachen der Induktionslogik übertragenen Fall. Wir fanden KEPLERS Hypothesen empirisch sehr schwach gestützt; wir fanden – mit den Begriffen der Induktionslogik gesprochen – „Vorausageschlüsse“ der kühnsten Art (von einigen Planeten auf alle, von zwei Bahnelementen auf die gesamte Bahn

²⁵ R. CARNAP: Induktive Logik und Wahrscheinlichkeit, bearbeitet von W. STEGMÜLLER, Wien 1959, S. 84 f. (im folgenden wird dieses Werk mit I. L. bezeichnet).

²⁶ P. A. SCHILPP (ed.): The Philosophy of RUDOLF CARNAP, The Library of Living Philosophers, Vol. XI. London 1963, S. 980 (im folgenden als Phil. of C. bezeichnet). Genau genommen handelt es sich dort allerdings nicht um CARNAPs, sondern um BURKS' Behauptung, der CARNAP ausdrücklich zustimmt.

usw.);²⁷ wir fanden, daß Überprüfungen – induktionslogisch „e“ – Hypothesen enthalten, die ihrerseits Teil der durch die Überprüfung zu kontrollierenden Hypothese „h“ waren, usw. Betrachtet man also die auf primitive Sprachen und Verhältnisse gemünzte Induktionslogik CARNAPS als Modell – und dazu hat man, wie soeben gezeigt wurde, ein Recht –, so muß man daraus schließen, daß es KEPLER, hätte er diese Logik gekannt und als für sich verbindlich betrachtet, kaum hätte wagen dürfen, seine beiden ersten Gesetze aufzustellen und zu vertreten.

Dem scheint zu widersprechen, daß CARNAP ausdrück-

²⁷ Man könnte zunächst meinen, es handle sich bei dem Schluß, welcher dem Radiengesetz zugrunde liegt, induktionslogisch um einen Allschluß (nämlich von der Geschwindigkeit der Planeten als Funktion ihrer Entfernung von der Sonne in zwei Fällen auf eine allgemeine solche Funktion für alle Fälle, also auf ein allgemeines Gesetz). Die Schwierigkeit ist, daß nach CARNAPS Induktionslogik in diesem Falle $c^*(h,e) = 0$ wäre (vgl. hierzu I. L., S. 226). Die Einwände, die dagegen erhoben wurden (denn hieße das nicht, daß dann überhaupt kein Naturgesetz bestätigt werden könnte?), suchte CARNAP dadurch zu entkräften, daß er den praktischen Sinn solcher Gesetze anders deutete. Wenn jemand ein Gesetz aufstellt, so meint er nach CARNAP damit nicht, daß es in unendlich vielen möglichen Fällen gelten werde (in unserem Fall in allen Bahnpunkten), sondern nur in einer, der menschlichen Begrenztheit und den praktischen Zwecken angepaßten endlichen Menge (in für uns hinreichend vielen Bahnpunkten). Meiner Meinung nach bedeutet dies, daß dann Allschlüsse der bezeichneten Art als Voraussageschlüsse interpretiert werden müssen, also als Schlüsse von einer beobachteten Stichprobe auf eine andere (nicht beobachtete). (Die weiteren induktiven Möglichkeiten, der direkte Schluß, der Analogieschluß und der inverse Schluß, kommen hier nicht in Betracht.) Für Voraussageschlüsse aber gilt nach CARNAP die Formel:

$$c^*(h,e) = c^*(h,e') = \frac{\prod_{i=1}^r (s_i + s'_i + w_i - 1)}{\binom{s + s' + \mu - 1}{s'}}$$

Vgl. hierzu I. L., S. 226.

lich vor einer Identifizierung von induktionslogischen und methodologischen Aussagen gewarnt hat.²⁸ Die Bestimmung des Bestätigungsgrades als solche besage noch nichts über die Frage der Annahme oder Verwerfung von Hypothesen, denn diese Frage gehöre zur Methodologie. Wenn beispielsweise die Wahrscheinlichkeit, beim Lotto überhaupt etwas durch eine bestimmte Nummer zu gewinnen, winzig klein ist, so ist es deswegen ja doch nicht unvernünftig, auf diese Nummer zu setzen. Zu der Bestimmung des Bestätigungsgrades müssen also offenbar noch andere Gründe hinzukommen, wenn über eine Hypothese entschieden werden soll. Diese Gründe werden von CARNAP, da sie ja nicht eigentlicher Gegenstand seiner Induktionslogik sind, nur vage mit Worten wie „gewisse Zwecke“²⁹, „Situationen des Lebens . . . , in denen beobachtet, geurteilt, geglaubt wird“³⁰, „nichtlogische Faktoren“³¹ usw. angedeutet.

Aber wenn auch Induktionslogik und Methodologie nicht dasselbe sind, so sollen sie doch auf der anderen Seite nach CARNAPS eigener Auffassung in einer Beziehung zueinander stehen. So sagt CARNAP ja selbst, „die Methodologie . . . entwickelt Verfahren, um die Ergebnisse der induktiven Logik für gewisse Zwecke zu verwerten“³². Andererseits hindere die induktive Logik den Wissenschaftler nicht, außerlogische Faktoren für seine Entscheidungen heranzuziehen, ja sie erleichtere ihm im Gegenteil sogar diese Aufgabe.³³ In der Tat – welchen Sinn sollte denn die induktive Logik haben, wenn nicht den,

²⁸ Phil. of C., S. 972 f., 986.

²⁹ Phil. of C., S. 972 f., 986.

³⁰ A. a. O. S. 86.

³¹ A. a. O. S. 87.

³² A. a. O. S. 80.

³³ A. a. O. S. 97.

dem Wissenschaftler irgendwelche Richtlinien sowohl für seine theoretischen Entscheidungen wie für sein praktisches Handeln zu vermitteln? Diese „Logik“ kann nicht in selbstgenügsamer Weise schon darin ihre Rechtfertigung finden, daß sie eben überhaupt erst einmal so etwas wie die „wahre“, „reine“ induktive Beziehung zwischen zwei Sätzen, e und h, ausmacht, wobei es dann eine für diese Beziehung rein äußerliche Frage wäre, wie sie praktisch zu verwenden sei. Denn entgegen der eigentlichen, der deduktiven Logik, haben ihre Aussagen ja gar keine Geltung an sich; vielmehr sind schon ihre Axiome so ausgewählt, daß sie dem Wissenschaftler bei seiner Forschung theoretische und praktische Richtlinien geben kann, daß sie den allgemeinen Methoden der Wissenschaftler adäquat ist.³⁴ Auch wenn man – mit CARNAP – zugibt, daß Induktionslogik und Methodologie nicht dasselbe sind, so wird man doch andererseits – ebenfalls mit ihm – fordern müssen, daß beide nicht allzu stark auseinanderklaffen dürfen und die induktive Logik für die Methodologie eine Stütze sein muß. Wenn es Fälle gibt – wie der KEPLERSche –, in denen sich die Methodologie um die Induktionslogik gar nicht mehr kümmert (weil sie sich über deren Resultate hinwegsetzt), so ist das eben ein Einwand gegen diese „Logik“. So hat denn auch CARNAP seine vorhin erwähnte Warnung mehrfach wieder eingeschränkt. Er ist überzeugt, daß die Wissenschaftler sich verhalten, als ob sie sich nach numerischen Werten von Bestätigungsgraden richteten (auch wenn dies nicht explizit der Fall ist), z. B. indem sie bereit sind, gewisse Summen in bestimmte Forschungsprojekte, Experimente usw. zu investieren.³⁵ In gleicher Weise hat STEGMÜLLER

³⁴ Phil. of C., S. 978.

³⁵ A. a. O. S. 990.

methodische Ziele vor Augen, wenn er – offenbar mit Billigung von CARNAP – davon spricht, daß eine Aussage über induktive Wahrscheinlichkeit uns zu vernünftigem Handeln führen könne;³⁶ daß die induktive Logik den Wissenschaftler bei der Wahl von Hypothesen beeinflusst, wenn sie ihn dabei auch nicht ausschließlich bestimmt;³⁷ daß sie ihm dazu ver helfe, mit Einsicht und nicht blind Entscheidungen zu treffen.³⁸ Die Induktionslogik sagt uns, in welchem Grad eine Hypothese durch Gegebenheiten gestützt wird – die Methodologie muß diese Information als Teil eines größeren Begründungszusammenhangs verwenden können.

Schließlich hat CARNAP die strenge Scheidung von Induktionslogik und Methodologie vor allem für rein praktische Entscheidungen (wie z. B. bei Wetten) behauptet, während er keinen allgemeinen Einwand gegen deren enge Verknüpfung für den theoretischen Bereich erhob.³⁹ Eine empirisch schwach oder schlecht bestätigte Hypothese schien ihm eben kaum geeignet, theoretisch akzeptiert zu werden.

Bei Verwertung einer induktionslogischen Analyse hätte also KEPLER eher zu einer Ablehnung seiner Theorie ge-

³⁶ I. L., S. 8.

³⁷ A. a. O. S. 10.

³⁸ A. a. O. S. 10.

³⁹ Phil. of C., S. 973. Trotz der Scheidung von Induktionslogik und Methodologie hat jedoch CARNAP ausführlich fünf Regeln diskutiert, nach denen praktische Entscheidungen auf Grund induktionslogischer Überlegungen zu treffen sind. Vier Regeln hat er wegen ihrer nur sehr begrenzten Gültigkeit verworfen; eine fünfte aber als akzeptabel bezeichnet. Sie lautet: „Unter den möglichen Handlungsweisen wähle man diejenige, für die die Schätzung des resultierenden Nutzens ein Maximum ist.“ (Vgl. den Abschnitt der I. L., S. 108–124.)

langen müssen; mindestens hätte er sie als sehr zweifelhaft ansehen müssen.

Mir ist entgegnet worden, es handle sich bei KEPLER nur um ein erstes hypothetisches, versuchsweises Aufstellen einer Theorie, einer Theorie im Anfangsstadium; die Induktionslogik könne aber nur auf ausgereifte Theorien, wie z. B. die klassische Mechanik, die Strahlenoptik usw., angewendet werden. Aber die Induktionslogik betrifft jede Beziehung von e und h (die sie als eine logische ansieht), und diese ist immer methodologisch verwertbar, wenn mit e jede zur Verfügung stehende Information verwertet wurde. KEPLER hätte sich also mit Recht auf sie stützen können. Was aber ist ferner eine ausgereifte Theorie? Wer weiß, wie die Entwicklung weitergeht und in welchem Lichte eine in irgendeiner Gegenwart akzeptierte Theorie in hundert Jahren erscheinen wird? KEPLER jedenfalls verstand seine Ergebnisse nicht als ersten hypothetischen Versuch, sondern als so „fertig“, wie sie nur sein können, nämlich als gestützt auf das verarbeitete astronomische Gesamtwissen seiner Zeit. Es ist immer ein Jetzt und Hier, in dem sich der Forscher entscheiden muß, und immer nur in einer solchen Situation muß ihm die Induktionslogik helfen können – oder sie hilft ihm niemals.

4. Der mangelnde Sinn für das Historische bei Popper und Carnap

Aus den vorangegangenen Untersuchungen ergibt sich, daß der allgemeine Wert von CARNAPs Induktionslogik für wissenschaftliche Entscheidungen fraglich und POPPERS Falsifikationsmethode keineswegs stets die zweckmäßigste ist. Wir sehen KEPLER gegen alle diesen Den kern

vorschwebende „wissenschaftstheoretische Vernunft“ handeln. Hingegen erwies sich erstens, daß er geleitet war von einer Sonnenmystik – darin erkennen wir im Sinne des vorigen Kapitels eine axiomatische Festsetzung – und zweitens von der spekulativen Idee, daß die Konstruktionsprinzipien des Universums erkennbar seien – das war eine normative Festsetzung. Beides hatte er von KOPERNIKUS übernommen, und beides entstammte dem Geist der Renaissance. Diese Sonnenmystik und diese Idee erweckten in ihm den felsenfesten Glauben an das heliozentrische System und an die Möglichkeit, dessen „wahre Bewegungen“ im einzelnen beschreiben zu können. Standen hierfür zunächst keine besseren Theorien zur Verfügung als diejenigen TYCHOS und die „hypothesis vicaria“, so war eben mit diesen vorliebzunehmen – die Wahrheit mußte ja für den Menschen so oder so herauskommen. Ebenso mußten auch aus denselben Gründen die Beobachtungsdaten für absolut zuverlässig gehalten werden – worin wir eine judikale Festsetzung erblicken. War die Sonne Symbol Gott-Vaters, so war vor allem das Verhältnis unserer Erde zu ihr zu bestimmen, und auch dieses mußte in seiner genauen Struktur erkennbar sein – also durfte man bei dem Versuch der Bestimmung dieser Struktur ebenfalls zuerst einmal nehmen, was man hatte. Extrapolationen von zwei Werten auf alle waren im Verlaß auf die göttliche Gnadenhilfe bei der Erkenntnis des Universums gerechtfertigt; mathematisch unzulässige Analogien gestattet; zirkuläre Bestätigungen und solche mit falsifizierten Theorien waren erlaubt. Alles, was KEPLER seinem Leser zumutet, ist am Ende nur dann akzeptabel, wenn man seinen mystischen und spekulativen Prämissen, seinen verschiedenen Festsetzungen zustimmt, wenn man seine apriorische Entscheidung für das heliozentrische System teilt.

KEPLERS Gang gleicht dem eines Nachtwandlers, den nur sein Glaube führt, der sich durch nichts irre machen läßt, obgleich er überreichlich Anlaß dazu gehabt hätte. Aber nachdem er endlich ans Ziel gelangt war und eine ganz neue Konzeption entwickelt hatte, stand er vor noch größeren Schwierigkeiten als am Anfang. Denn was war am Ende dem menschlichen Geiste – vergleicht man die „Astronomia Nova“ mit dem System des PTOLEMÄUS – von der ihm angeblich einsichtigen Konstruktion des Weltalls begreiflicher geworden? Ich sagte schon, die elliptische Form der Planetenbahnen machte seine Zeitgenossen – und ja auch ihn – ratlos.

Aber wie dem auch sei: Wir sehen KEPLER von neuen Festsetzungen ausgehen, wir sehen ihn einen neuen Rahmen entwerfen, in den alles gestellt, in dem alles gesehen werden soll, der aber historisch kontingent und nicht etwa der Natur entnommen ist.

Die entscheidende Schwäche einer Wissenschaftstheorie von der Art POPPERS oder CARNAPS scheint mir also darin zu liegen, daß sie bei aller Verschiedenartigkeit der Schulen und Denker doch im allgemeinen unhistorisch verfährt. So fehlt auch den meisten zeitgenössischen Versuchen der Wissenschaftstheorie das Verständnis für die den jeweiligen Wissenschaftsbereich übersteigenden geschichtlichen Grundlagen des wissenschaftlichen Fortschritts. Dieses Verständnis zu wecken, bedarf es des Studiums der Geschichte der Wissenschaft. Das Beispiel KEPLERS zeigt deutlich, daß ein solches Studium, wie schon im vorigen Kapitel erklärt wurde, ein Korrektiv für allzu schnelle methodische Postulate und Verallgemeinerungen bietet.

Man hat bisher ausgerechnet KEPLER und den Übergang von ihm zu NEWTON als geradezu klassisches Beispiel für eine der hier vorgetragenen entgegengesetzte Meinung

angeführt. Gerade mit ihm wollte man zeigen, daß gewisse allgemein feststehende Methoden sowie hinreichendes und relevantes empirisches Material die Physik in die Lage versetzen, gleichsam selbstgenügsam fortzuschreiten; daß mithin die Beobachtung der Natur mit Hilfe dieser Methoden genüge, dagegen die Geschichte und insbesondere die Geistesgeschichte für diesen Fortschritt ohne jede Bedeutung seien. Und so behauptete man also, KEPLER habe seine Gesetze rein empirisch gewonnen, und das Gravitationsgesetz NEWTONS sei aus ihnen durch induktive Generalisation hervorgegangen.

Wie wir jedoch erstens gesehen haben, sind KEPLERS Gesetze keineswegs als empirische Tatsachen zu betrachten, sondern als sehr problematisch begründete Hypothesen. Zweitens sind diese Gesetze rein kinematisch, Masse und Kraft kommen in ihnen nicht vor; also kann von ihnen nicht auf ein allgemeines dynamisches Gesetz, wie es dasjenige der Gravitation ist, durch induktive Generalisation geschlossen werden. Drittens und vor allem aber widersprechen KEPLERS Gesetze streng genommen der NEWTONschen Mechanik. Denn nach dieser ziehen sich die Massen gegenseitig an, drehen sich also um den Schwerpunkt des Gesamtsystems, der nicht mit dem Zentrum der Sonne zusammenfällt; nach KEPLER aber steht die Sonne starr im Brennpunkt der Bahnellipse. Die angeblich empirische Tatsache, von der NEWTON seinen Ausgang genommen haben soll, wird also von ihm geändert, und zwar im Lichte einer neuen, dynamischen Deutung, deren Spontaneität auf eine veränderte philosophische Grundeinstellung, auf historisch gewandelte Festsetzungen im Sinne des vorangegangenen Kapitels hindeutet.

KEPLER und der Übergang zu NEWTON werden daher – entgegen der üblichen Auffassung – nicht einer unhisto-

risch, sondern im Gegenteil eher einer historisch eingestellten Wissenschaftstheorie als Argument dienen können.⁴⁰

Zum Abschluß sei dies gesagt: Wissenschaftstheorie ohne Wissenschaftsgeschichte ist leer; Wissenschaftsgeschichte ohne Wissenschaftstheorie ist blind. Dies sollte das vorliegende Beispiel verdeutlichen.

⁴⁰ An dieser Stelle sei noch auf LAKATOS' sonderbare Auffassung erinnert, daß wenigstens im Rückblick (by hindsight) festgestellt werden könne, ob eine Theorie, in diesem Falle diejenige KEPLERS, fortschrittlich gewesen sei. Aber wir können doch höchstens sagen, für NEWTON war KEPLER dadurch fortschrittlich, daß er dessen Ergebnisse umdeutete. Zudem: Was nützen uns Regeln, die wir nur im Rückblick verwenden können?

VI. Ein weiteres Beispiel: Die geistesgeschichtlichen Grundlagen der Quantenmechanik

Im Jahre 1935 veröffentlichte EINSTEIN zusammen mit PODOLSKY und ROSEN einen Aufsatz von inzwischen fast klassischer Bedeutung, in dem er nachzuweisen suchte, daß die Quantenmechanik nicht vollständig ist.¹ Seiner Meinung nach ist eine Theorie vollständig, wenn „jedes Element der physikalischen Wirklichkeit ein Gegenstück in der physikalischen Theorie hat“². Aber was bedeutet „physikalische Wirklichkeit“? EINSTEIN schreibt: „Wenn wir mit Sicherheit den Wert einer physikalischen Größe voraussagen können, ohne in irgendeiner Weise ein System zu stören, dann gibt es ein Element der physikalischen Wirklichkeit, das dieser physikalischen Größe entspricht.“³

Er betrachtete zwei Systeme, S und S' , die früher miteinander in Wechselwirkung standen, nun aber getrennt sind. Die Quantenmechanik beschreibt diesen Zustand durch eine ψ -Funktion, die uns in die Lage versetzt, den Wert α' der Größe a in S' mit Sicherheit vorauszusagen, wenn wir den Wert α der Größe a in S gemessen haben. Da diese Voraussage möglich ist, ohne daß S' durch die Messung in S gestört wird (S und S' sind ja getrennt), so ist α' etwas physikalisch Wirkliches gemäß der EINSTEINSchen

¹ A. EINSTEIN, B. PODOLSKY, N. ROSEN: Can Quantum – Mechanical Description be Considered Complete? in: Physical Review, Vol. 47 (1935) S. 777.

² Phys. Rev. 47 (1935) S. 777.

³ Phys. Rev. 47 (1935) S. 777.

Definition und existiert unabhängig von dieser Messung und vor ihr. Hieran ändert sich natürlich nichts, wenn wir den Wert β einer Größe b in S gemessen hätten, denn auch β' würde vor dieser Messung existiert haben und übrigens gleichzeitig mit α' . Nehmen wir an, daß die den Größen a und b korrespondierenden Operatoren nicht kommutieren,⁴ dann kann die Wellenfunktion zu einer gegebenen Zeit nur die Eigenwerte von einem der beiden Operatoren bestimmen.⁵ Nun existieren aber α' sowie β' gleichzeitig gemäß der von EINSTEIN, PODOLSKY und ROSEN gemachten Voraussetzungen, folglich kann die Beschreibung der Wirklichkeit durch die Quantenmechanik nicht vollständig sein.

BOHR hat in seiner Antwort hierauf zugegeben, daß EINSTEIN und seine Freunde recht hätten, wenn jede Störung notwendig mechanischer Natur sein müßte – aber genau das ist die Frage. Nach BOHR gibt es noch andere Arten von Störungen, und folglich zieht er auch andere Schlußfolgerungen aus dem von EINSTEIN, PODOLSKY und ROSEN angeführten Beispiel. Er schreibt: „Von unserem Standpunkt aus sehen wir, daß der Wortlaut des Kriteriums für physikalische Realität, das EINSTEIN, PODOLSKY und ROSEN vorschlagen, hinsichtlich des Ausdrucks, ohne in irgendeiner Weise ein System zu stören, zweideutig ist. Natürlich handelt es sich in dem betrachteten Fall fraglos nicht um eine mechanische Störung des betrachteten Systems in der kritischen Phase des Meßprozesses. Aber selbst in diesem Stadium stellt sich grundsätzlich die Frage nach dem Einfluß auf die Bedingungen, die mögliche Weisen von Vorhersagen über das zukünftige Verhalten

⁴ Die beiden Größen sind im Sinne der Unschärferelationen nicht gleichzeitig meßbar.

⁵ Es kann nur eine der beiden durch die Unschärferelationen einander ausschließenden Größen bestimmt werden.

des Systems definieren. Da diese Bedingungen ein wesentliches Element der Beschreibung jedes Phänomens darstellen, dem das Prädikat Physikalische Wirklichkeit eigentümlich ist, so sehen wir, daß die Argumentation der erwähnten Autoren nicht ihre Schlußfolgerung rechtfertigt, nach der die quantenmechanische Beschreibung wesentlich unvollständig ist. Im Gegenteil, diese Beschreibung kann mit Hinblick auf die vorangegangene Diskussion als eine rationale Verwendung aller Möglichkeiten eindeutiger Interpretationen von Messungen, die mit der Wechselwirkung zwischen Objekten und Meßinstrumenten auf dem Gebiete der Quantenmechanik verträglich sind, bezeichnet werden. Tatsächlich ist es nur die wechselseitige Ausschließung von je zwei, die eindeutige Definition der Komplementarität physikalischer Größen gestattenden experimentellen Vorgänge, die Raum für weitere physikalische Gesetze schafft, deren Koexistenz auf den ersten Blick mit den Grundsätzen der Wissenschaft unvereinbar zu sein scheint.“⁶

BOHR bestreitet also die Richtigkeit von EINSTEINS Kriterium für physikalische Wirklichkeit, indem er auf die Bedingungen einer Messung als konstituierende Elemente physikalischer Phänomene verweist. Seiner Meinung nach sind diese Bedingungen für die eindeutige Definition physikalischer Größen absolut notwendig. Nun ist die Messung des Ortes einer Partikel nicht während der Messung ihres Impulses definierbar und umgekehrt. Folglich sind zwar die Werte physikalischer Größen S' , die wir in EINSTEINS Beispiel vorhersagen können, nicht aus mechanischen Gründen von den Messungen in S ab-

⁶ N. BOHR: Can Quantum – Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete? in: Physical Review. 48 (1935) S. 700.

hängig, wohl aber aus Gründen der Herstellung bestimmter Bedingungen, die es überhaupt erst möglich machen, solche Werte festzustellen. BOHR erinnert an die Relativitätstheorie, die ihm auf ähnlichen Überlegungen aufgebaut zu sein scheint. Er schreibt:

„Ich möchte . . . gerne die Tragweite der großen Lehre betonen, die aus der Allgemeinen Relativitätstheorie für die Frage der physikalischen Wirklichkeit auf dem Gebiet der Quantentheorie zu ziehen ist . . . Besonders die soeben diskutierte einzigartige Rolle der Meßinstrumente bei der Einbeziehung der Quantenphänomene scheint ganz analog der wohlbekannten Notwendigkeit in der Relativitätstheorie, eine allgemeine Beschreibung aller Meßprozesse zu erstellen . . . Die Abhängigkeit aller Maßstäbe und Uhren in der Relativitätstheorie vom Bezugssystem kann sogar mit dem wesentlich unkontrollierbaren Austausch von Impuls und Energie zwischen den Objekten der Messung und allen Instrumenten verglichen werden, welche das Raum-Zeit-Bezugssystem definieren . . . In der Tat, dieser neue Zug der Naturphilosophie bedeutet eine radikale Veränderung unserer Einstellung hinsichtlich der physikalischen Wirklichkeit, die mit der fundamentalen Revision aller Ideen über den absoluten Charakter physikalischer Phänomene verglichen werden kann, wie sie die Allgemeine Relativitätstheorie hervorgebracht hat.“⁷

Für BOHR spielen also in der Quantenmechanik Vorrichtungen mit Meßinstrumenten die Rolle von Bezugssystemen, die mit der Rolle der Koordinatensysteme in der Relativitätstheorie mehr oder weniger vergleichbar sind. Daher ist die Quantenmechanik nicht unvollständig, wenn sie keine Aussagen über Größen gestattet, die nicht

⁷ Phys. Rev. 48 (1935) S. 701 f.

definierbar sind, weil die für diese Größen notwendigen Bezugssysteme nicht angegeben werden können.

Von diesen grundlegenden Überlegungen können wir alle anderen wohlbekannten Kategorien BOHRs ableiten, nämlich die Begriffe „Phänomen“, „Ganzheit“, „Individualität“ und „Komplementarität“. Unter „Phänomen“ versteht er die unauflösliche „Ganzheit“, die durch das Meßinstrument, das gemessene Objekt und deren Wechselwirkung gebildet wird. Er nennt diese „Ganzheit“ eine „Individualität“, da sie durch die besonderen Bedingungen der Meßvorrichtungen bestimmt ist, die ein konstitutiver Teil eines Phänomens sind. Und mit „Komplementarität“ meint er eine Beziehung zwischen Phänomenen, die durch einander wechselseitig ausschließende Meßapparate definiert sind.⁸

1. Der Streit zwischen Einstein und Bohr als Streit um philosophische Axiome

Es scheint mir nun, daß der so weit dargestellten Debatte zwei verschiedene, einander gegenüberstehende philosophische Axiome zugrunde liegen. Vielleicht wäre es genauer, sie „Prinzipien“ zu nennen, weil es sich hier um Aussagen handelt, die nicht unmittelbar Bestandteil der Theorie sind wie etwa die SCHRÖDINGER-Gleichungen. So spricht man auch vom Kausalprinzip und unterscheidet es von den einzelnen Gesetzen, welche die Physik

⁸ Vgl. hierzu u. a. K. M. MEYER-ABICH: Korrespondenz, Individualität und Komplementarität. Eine Studie zur Geistesgeschichte der Quantentheorie in den Beiträgen NIELS BOHRs, Wiesbaden 1965. In diesem Werk findet man eine Darstellung von BOHRs philosophischen Grundbegriffen in ihrer Entwicklung sowie umfassende Literaturangaben.

aufstellt. Ein Prinzip drückt also eine Regel von allgemeinsten Bedeutung aus, die auf einen bestimmten Bereich angewendet wird und damit zur Begründung von besonderen Gesetzen dient. Dennoch scheint es mir in Anknüpfung an die dritte der im Kapitel IV aufgeführten Kategorien zweckmäßiger, im folgenden auch Prinzipien „Axiome“ zu nennen. Eine zu pedantische Unterteilung würde zu den hier behandelten Fragen nichts beitragen, sondern höchstens das Verständnis erschweren. Dort freilich, wo sich der Ausdruck „Prinzip“ ausdrücklich eingebürgert hat, wie es z. B. beim Kausalprinzip der Fall ist, oder beim Kosmologischen Prinzip (vgl. Kapitel X), wird er, um dem Leser nicht eine allzu große Umstellung zuzumuten, beibehalten werden.

Ich werde nun versuchen, die philosophischen Axiome, welche der oben dargestellten Debatte zugrunde liegen, in einer verallgemeinerten und von dem betrachteten besonderen Fall losgelösten Weise zu formulieren. Gemäß dem einen dieser Axiome – demjenigen EINSTEINS – besteht die Wirklichkeit in Substanzen, die Eigenschaften haben, unbeschadet der Beziehungen, in denen sie zu anderen Substanzen stehen. Nach dem anderen Axiom – demjenigen BOHRS – ist die Wirklichkeit wesentlich eine Beziehung zwischen Substanzen, und die Messung ist ein Spezialfall einer solchen Beziehung. Für EINSTEIN deckt eine Messung einen Zustand an sich selbst auf; für BOHR konstituiert sie eine Wirklichkeit. Für EINSTEIN sind Beziehungen durch Substanzen definiert; für BOHR sind Substanzen definiert durch Beziehungen. Diese allgemeinen philosophischen Standpunkte bilden die Grundlage der Diskussion. Ich bezeichne das erste Axiom mit dem Buchstaben „S“ (da es Substanzen betrifft); das zweite mit dem Buchstaben „R“ (da es Relationen betrifft).

Weder EINSTEIN noch BOHR waren aber nun wirklich im-

stande, mit Hilfe der von ihnen studierten Beispiele das eigene Axiom zu bestätigen oder dasjenige des anderen zu widerlegen. Erinnern wir uns, daß EINSTEIN seinem Kriterium der Wirklichkeit die Form eines „Wenn-Dann-Satzes“ gab: „Wenn wir mit Sicherheit den Wert einer physikalischen Größe voraussagen können, ohne das System in irgendeiner Weise zu stören, dann gibt es ein Element der Wirklichkeit . . . “ usf. Wenn A, dann B. Nun ist nach EINSTEIN A im Falle der zwei getrennten Systeme S und S' wahr, da S' nicht gestört ist. Daher ist auch B wahr, und es existieren wirklich Größen in S' und zwar unabhängig von Messungen in S. Wenn aber EINSTEIN meint, A sei wahr, dann hat er bereits Axiom S angenommen, dann ist er nämlich bereits davon überzeugt, daß ein System, welches nicht mechanisch gestört wurde, überhaupt nicht gestört wurde. Indem er dieses Prinzip voraussetzt, schließt er ferner, daß ein solches System Eigenschaften an sich besitzt.

Das Beispiel, das EINSTEIN, PODOLSKY und ROSEN gewählt haben, beweist also nicht Axiom S, sondern wird von ihnen durch dieses Axiom nur interpretiert und folglich sind sie auch nicht imstande, BOHR zu widerlegen. Auf der anderen Seite ist aber BOHR in derselben Situation: für ihn ist A nicht wahr, da er an Axiom R glaubt. Deshalb hat auch er EINSTEIN und seine Freunde nicht widerlegt, vielmehr nur gezeigt, wie es möglich ist, ihnen zu antworten, wie es möglich ist, den von ihnen betrachteten Fall so zu interpretieren, daß die Vollständigkeit der Quantenmechanik verteidigt werden kann.⁹

⁹ Vgl. hierzu auch P. FEYERABENDS besonders hervorragende Arbeit: NIELS BOHRs interpretation of quantum theory, in: Current issues in the philosophy of science, Hrsg. H. FEIGL und G. MAXWELL, New York 1961. Dort heißt es: „I would like to repeat, . . . that BOHRs argument is not supposed to *prove* that quantum – mecha-

2. Ist Bohrs Philosophie Idealismus?

Axiom stand also gegen Axiom, und es war erforderlich, nach neuen Argumenten zu suchen, um die Diskussion fortzusetzen. In einem weiteren Abschnitt der Debatte stoßen wir nun, wie das Folgende zeigen soll, auf rein philosophische Betrachtungen. Ich zitiere wieder EINSTEIN: „Was mir an dieser Art des Argumentierens nicht gefällt“ – er meint BOHR und seine Freunde – „ist die nach meiner Überzeugung unhaltbare positivistische Grundeinstellung, die mit dem BERKELEYSchen ‚esse est percipi‘ zusammenzufallen scheint.“¹⁰ Ähnlich drückt sich auch BLOCHINZEW aus: „Wir sehen also“, erklärt er, „daß alle Probleme der Quantentheorie nach N. BOHR als Probleme der Wechselwirkung zwischen Instrument und Mi-

nical states are indeterminate; it is only supposed to show under what conditions the indeterminacy of the quantum states can be made compatible with EPR“. (S. 384) Zum Unterschied der Auffassung zwischen BOHR und EINSTEIN seien auch die folgenden Stellen aus dieser Arbeit zitiert: „Now a closer analysis of the argument“ (nämlich von EPR.) „will show . . . that it is conclusive only if it is assumed that dynamical states are *properties* of systems rather than *relations* between systems and measuring devices in action . . .“ (S. 381). Später (S. 383) heißt es, BOHR habe sich gegen EINSTEIN mit der Annahme verteidigen können, „that states are *relations* between systems and measuring devices in action rather than properties of such systems“. FEYERABEND weist ferner darauf hin, daß EINSTEIN die Größen, die er als an sich bestehend ansieht, nicht berechnen kann, und vermutet, daß das Prinzip von der Erhaltung der Energie verletzt würde, wenn man gewisse Werte in solchen Fällen einfach *setzte*. Beides ist indessen nicht EINSTEINS unmittelbares Problem. Ihm geht es zunächst darum, die Möglichkeit einer völlig anderen als der damals gängigen Interpretation der Quantenmechanik aufzuzeigen und damit den Anstoß zu neuen theoretischen Überlegungen zu geben, mögen die Folgen im Augenblick auch gar nicht übersehbar sein.

¹⁰ P. A. SCHILPP (Hrsg.): ALBERT EINSTEIN als Philosoph und Naturforscher, Stuttgart 1951, S. 496.

kroobjekt betrachtet werden, als Probleme – und damit verläßt er den festen Boden der Physik – der Wechselwirkung zwischen Subjekt und Objekt. Darin besteht auch der grundlegende methodische Fehler der Komplementarität: Im Lichte dieser Konzeption verlieren die quantenmechanischen Gesetzmäßigkeiten ihren objektiven Charakter, werden sie zu Gesetzmäßigkeiten, die sich aus der Art und Weise, wie der Mensch die Erscheinung der Mikrowelt wahrnimmt, ergeben. Und dies ist Idealismus.“¹¹

Indessen, diese Art der Kritik an BOHR geht fehl, da Axiom R von BERKELEYS idealistischem „esse est percipi“ verschieden ist, obgleich zugegeben werden muß, daß dies BOHR nicht immer ganz klar erkannt hat. Die Beziehung zwischen einem Instrument und einem Objekt ist keineswegs dieselbe wie diejenige zwischen einem Subjekt und einem Objekt im Sinne des Idealismus. Die erste Beziehung ist eine rein physikalische, es ist die Beziehung zwischen Objekten, wenn sie auch die Bedingung dafür ist, Wahrnehmungen zu haben. Treten wir auf das Gaspedal eines Autos, so werden wir dies nicht für etwas Subjektives halten, obgleich das auch der Ausdruck eines bestimmten Willens ist, nämlich des Willens zu fahren. Entscheidend ist hier, daß wir das Subjekt grundsätzlich durch ein Objekt ersetzen können (zum Beispiel durch einen Automaten). Vor allem dürfen wir nicht vergessen, daß Axiom R von Beziehungen zwischen Objekten im allgemeinen spricht, unter denen der Meßprozeß nur ein besonderer Fall ist. Daher ist es auch nicht genau, dieses Axiom, wie es oft geschieht, mit den Worten „Sein ist

¹¹ D. I. BLOCHINZEW: Kritik der philosophischen Anschauungen der sog. „Kopenhagener Schule“ in der Physik, in: Sowjetwissenschaft, Naturwissenschaftliche Abteilung, 6 (1953) Heft 4.

Gemessen werden“ auszudrücken. Darauf wurde bereits im Kapitel II hingewiesen.

Diese Formulierung ist genau genommen sogar irreführend, weil sie nahelegt, daß das Subjekt bei der Konstitution nicht ausgeschaltet werden kann, sofern wir Axiom R annehmen. Aber wenn zum Beispiel die Bedingungen nicht existieren, welche den Ort eines Partikels definieren, dann hat es überhaupt keinen Ort, so wie auch das legendäre Atlantis keinen Ort hat. Und wenn die Bedingungen existieren, welche den Impuls eines Partikels definieren, dann hat es einen Impuls, ebenso, wie Berlin eine Lage auf der Erde hat. Es ist gleichgültig, ob ein Beobachter solche Bedingungen herstellt oder sie bereits vorgefunden hat.

Es gibt also keine notwendigen Beziehungen zwischen BOHRs Philosophie und dem Positivismus (oder Idealismus), wie so oft behauptet wurde.¹² Das bedeutet nicht, wie ich schon sagte, daß BOHR dies immer klar war. Axiom R, meiner Meinung nach der Kern seiner Philosophie, ist an sich neutral gegenüber erkenntnistheoretischen Standpunkten, da es keinen direkten Hinweis auf das Subjekt einschließt und keine Sätze über das Ich unmittelbar daraus abgeleitet werden können. Aber wenn auch der Versuch von EINSTEIN, BLOCHINZEW und anderen, BOHR Positivismus und Idealismus vorzuwerfen, scheiterte, so scheint doch nach dem Verlauf der Diskussion, wie ich sie bisher geschildert habe, BOHRs Axiom mehr gesetzt als wohlbegründet zu sein. In dieser zweiten Phase der Debatte werden also tatsächlich, wie ich schon sagte, rein philosophische Argumente verwandt.

¹² Vgl. hierzu auch K. HÜBNER: Beiträge zur Philosophie der Physik, Philosophische Rundschau, Beiheft 4 (1963) S. 74–78.

3. Das Katzenbeispiel

Im selben Jahr, in dem EINSTEIN, PODOLSKY und ROSEN ihren Aufsatz veröffentlichten, schrieb SCHRÖDINGER seine bekannte Abhandlung über „Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik“, in der auch er ein Beispiel von besonderem Interesse für den hier behandelten Gegenstand betrachtet.¹³

Er stellte sich eine Stahlkammer vor, in dem sich eine Katze und eine radioaktive Substanz befinden. Er nahm ferner an, daß die Wahrscheinlichkeit für den Zerfall eines Atoms dieser Substanz im Laufe einer Stunde ebenso groß ist wie die Wahrscheinlichkeit, daß es in der gleichen Zeit nicht zerfallen wird. In der Kammer gibt es eine Vorrichtung, die Blausäure ausstößt, wenn ein solcher Zerfall stattfindet, so daß die Katze getötet wird. Nun ist gemäß der Quantenmechanik der Zustand der Atome in der radioaktiven Substanz nicht wohldefiniert und folglich ebensowenig derjenige der Katze. Das bedeutet gemäß Axiom R, daß die Katze weder wirklich tot noch wirklich lebendig ist.

Für SCHRÖDINGER und auch für EINSTEIN, der ein sehr ähnliches Beispiel ersann,¹⁴ ist dies vollständig absurd. Die Katze ist ein makroskopisches Objekt und in einem wohldefinierten Zustand des Tot- oder Lebendigseins; folglich muß der Zustand der Atome, der in diesem Falle den Zustand der Katze streng determiniert, ebenfalls als wohldefiniert betrachtet werden.

Wieder scheint die Quantenmechanik unvollständig zu sein. Allein auch diese Argumentation ist nicht zwingend.

¹³ In: Die Naturwissenschaften, 23 (1935) S. 808–812, 823–828, 844–849.

¹⁴ P. A. SCHILPP: ALBERT EINSTEIN als Philosoph und Naturforscher, S. 497.

Der Zustand der Katze kann als undefiniert insofern angesehen werden, als er vom Zustand der Atome in der radioaktiven Substanz abhängt. Es sei der Zustand der Atome, wenn die Katze lebendig ist A und A' , wenn sie tot ist. Nun existieren gemäß Axiom R weder A noch A' , und folglich hat auch die Katze keinen wirklichen Zustand, soweit dieser Zustand auf den Zustand der Atome bezogen ist. Im Gegensatz dazu ist die Katze tatsächlich tot oder lebendig hinsichtlich bestimmter medizinischer Vorrichtungen, mit deren Hilfe wir ihren Pulsschlag und dergleichen messen. In ähnlicher Weise können wir sagen, Berlin hat keine Lage im Hinblick auf Utopia, aber es hat eine wohldefinierte Lage bezüglich Washingtons. Nach Axiom R gibt es keine Zustände an sich, sondern nur Zustände in bezug auf etwas. Folglich beruht die Argumentation von SCHRÖDINGER und EINSTEIN auf einer Äquivokation. Sie argumentieren so:

- a) der Zustand Z ist wohldefiniert.
- b) In der Quantenmechanik ist er nicht wohldefiniert.
- c) Also ist die Quantenmechanik nicht vollständig.

Aber sie übersehen, daß in SCHRÖDINGERS Beispiel Z in a) den Zustand der Katze bezüglich besonderer medizinischer Vorrichtungen bedeutet, Z in b) aber ihren Zustand hinsichtlich der radioaktiven Substanz.

In BOHRs Sprache meinen wir in a) die Ganzheit „Katze und medizinische Vorrichtungen“, in b) die Ganzheit „Katze und radioaktive Substanz“. Z in a) und Z in b) sind also nicht das gleiche, das einmal wohldefiniert ist und einmal nicht. Daher ist die Schlußfolgerung von SCHRÖDINGER und EINSTEIN nicht korrekt. Aber man darf nicht vergessen, daß das nur dann der Fall ist, wenn man Axiom R bereits vorausgesetzt hat. Für diejenigen, die an Axiom S glauben, ist die Katze entweder tot oder lebendig und

ihre Beziehung zu anderen Objekten (Instrumenten, Substanzen) hat überhaupt keine Bedeutung. So bringt auch das Katzenbeispiel weder die Anhänger der Quantenmechanik noch deren Kritiker in Verlegenheit, sondern kann ebenfalls durch beide der in Frage stehenden Axiome interpretiert werden.

4. Operatoren für nicht meßbare Größen in der Quantenmechanik

Bisher habe ich einige der wichtigsten Versuche diskutiert zu beweisen, daß die Interpretation der Quantenmechanik durch BOHR und seine Anhänger zu unannehmbaren Folgerungen führt. Aber ist Axiom R überhaupt vollständig mit dem Formalismus der Quantenmechanik in Übereinstimmung zu bringen?

1952 hat WIGNER in seinem Aufsatz: „Die Messung quantenmechanischer Operatoren“ bewiesen, daß der größere Teil der in der Quantenmechanik möglichen Operatoren keine meßbaren Größen repräsentiert.¹⁵ Das bedeutet, daß es keine möglichen Bezugssysteme (Meßvorrichtungen) für diese Größen gibt und daß sie folglich gemäß Axiom R keine Wirklichkeit haben, obgleich sie durch den quantenmechanischen Formalismus exakt definiert sind.

Wenn nun mit Axiom S behauptet wird, daß Eigenschaften physikalischer Entitäten nicht von Messungen abhängen, da diesen Entitäten Eigenschaften zukommen unbeschadet ihrer Beziehungen zu anderen Entitäten, dann haben solche Messungen vom Standpunkt des Axioms S nur zweitrangige Bedeutung und werden nicht

¹⁵ Zeitschrift für Physik, 133 (1952) S. 101–108.

streng gefordert. Daher scheint der quantenmechanische Formalismus Axiom S nicht vollständig auszuschalten. Im Gegenteil, in mancher Hinsicht scheint dieser Formalismus sogar besser mit Axiom S als mit Axiom R übereinzustimmen, da er ja nach WIGNER die Einführung von Größen gestattet, die als an sich existierend betrachtet werden müssen. Allein der Preis für diesen Vorteil von Axiom S ist hoch, da er mit dem Widerspruch zu einem anderen, allgemein angenommenen Axiom bezahlt wird, nämlich dem Axiom, niemals Größen zuzulassen, die wir gar nicht messen können. Ich glaube nicht, daß EINSTEIN einen Widerspruch zwischen Axiom S und einer seiner grundlegenden Ideen in der Relativitätstheorie, nämlich jede Definition einer physikalischen Größe operational zu fassen, also mit Hinweis auf die Meßinstrumente, für möglich gehalten hat. Wie dem auch sei: wir können in dieser Phase der Diskussion Vor- und Nachteile auf beiden Seiten finden. Auch hier müssen wir wieder feststellen, daß es Axiome sind, um die gerungen wird.

5. Quantenlogik, Interphänomene, v. Neumanns Beweis und der Indeterminismus

Einige glaubten augenscheinlich, sie könnten die Debatte endgültig mit Hilfe einer besonderen mehrwertigen Logik, oft Quantenlogik genannt, beenden. So versuchte zum Beispiel REICHENBACH mit Hilfe dieser Logik eine formale Analyse des EINSTEIN-PODOLSKY-ROSEN-Paradoxons. Er faßte BOHRs Standpunkt in folgendem Satz zusammen: „Der Wert einer Größe vor einer Messung ist von demjenigen nach ihr verschieden.“¹⁶ Dieser Satz sei

¹⁶ H. REICHENBACH: Philosophische Grundlagen der Quantenmechanik, Basel 1949, S. 36.

mit dem Buchstaben „A“ bezeichnet. Nun kann nach REICHENBACHS Ansicht A in EINSTEINS eingangs erwähntem Beispiel in der Tat nicht wahr sein, wenigstens was das System S' betrifft, da es vom System S getrennt ist, in dem die Messung stattfindet. Hierin habe EINSTEIN also recht. Aber andererseits habe er wieder unrecht, wenn er daraus schließt, daß A falsch sein müsse, da A nach der Quantenlogik auch unbestimmt sein könnte. Folglich, wenn auch A nicht wahr ist, so könne man daraus dennoch nicht schließen, daß der Satz „Der Wert der Größe nach einer Messung ist derselbe wie vorher“, der EINSTEINS Meinung wiedergibt, wahr ist. So bricht für REICHENBACH die Argumentation von EINSTEIN, PODOLSKY und ROSEN zusammen, aber er unterstützt auch nicht BOHR, da ja für REICHENBACH der Satz A nicht wahr ist.

Wir dürfen jedoch nicht die Quantenlogik mit der formalen verwechseln. Quantenlogik ist, wie ich im folgenden Kapitel noch ausführlich zu zeigen versuchen werde, nichts anderes als ein spezieller Kalkül, der einer speziellen Interpretation der Quantenmechanik und einer speziellen Formulierung quantenmechanischer Gesetze angepaßt wurde. So hilft es nicht viel, etwas mit diesem Kalkül zu beweisen, da er ebenso in Frage steht wie diese Interpretation und diese Formulierung. Quantenlogik kann nicht dasselbe Gewicht haben wie die formale, die, nach LEIBNIZ, in allen möglichen Welten gilt.

Aber es sei REICHENBACHS Philosophie der Quantenmechanik noch etwas weiter diskutiert. Auch er, wie EINSTEIN, BOHR und SCHRÖDINGER, betrachtet ein besonderes Beispiel, nämlich YOUNGS berühmtes Experiment, das hier nicht beschrieben werden soll. REICHENBACH zeigte, daß wir bestimmte kausale Anomalien oder redundante Annahmen, die niemals verifiziert oder falsifiziert oder für Vorhersagen benutzt werden können, in Kauf

nehmen müssen, wenn wir dieses Experiment mit Hilfe der Existenz wohldefinierter Entitäten interpretieren, die keinerlei Beziehung zu Meßprozessen haben und darum Interphänomene genannt werden. Solche Entitäten können Korpuskeln mit Ort und Impuls oder sich im Raum ausbreitende Wellen sein.¹⁷ Unter kausalen Anomalien versteht er den Bruch mit dem Nahwirkungsprinzip, und mit redundanten Festsetzungen meint er die Werte von Ort und Impuls zwischen Messungen, so daß sie niemals durch Messungen bestimmt werden können.

REICHENBACH sieht vollkommen klar, daß weder das Nahwirkungsprinzip noch das Verbot redundanter Festsetzungen heilige Kühe sind und daß es sich hier um Axiome handelt, aber er versucht nicht, sie näher zu diskutieren. Daher bleiben seine Ausführungen unbefriedigend. Außerdem studiert er nur besondere Arten verborgener Variablen, nämlich entweder Partikel oder Wellen, aber bekanntlich sind inzwischen mehrere Theorien entwickelt worden, welche die Schwierigkeiten, die durch solche Besonderheiten auftreten, zu vermeiden suchen. Ich nenne als Beispiel die Theorien von BOHM und BUB.

Wenn man nun auch nicht mit einer besonderen Quantenlogik zu beweisen vermag, daß keine Theorie dieser Art wahr sein kann, so leistet dies vielleicht v. NEUMANNs berühmter Beweis?

Kurz gefaßt verläuft er so.¹⁸ Unter einem „reinen Fall“ verstehen wir eine Gesamtheit von N Systemen, die alle dieselbe Zustandsfunktion haben, oder, anders ausge-

¹⁷ H. REICHENBACH: Philosophische Grundlagen der Quantenmechanik, § 7, § 8 und §§ 25–27.

¹⁸ J. VON NEUMANN: Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik, Berlin 1932.

drückt, die alle dieselbe Wahrscheinlichkeitsverteilung (Erwartungswert) für physikalische Größen haben. Wenn nun verborgene Parameter – Größen an sich – existieren, so müßte es möglich sein, die Wahrscheinlichkeitsverteilungen eines reinen Falles auf die Verteilungen wirklicher Zustände zu reduzieren. Tatsächlich hätten wir dann eine Mischung, also eine Gesamtheit, die aus Untergesamtheiten zusammengesetzt ist, von denen jede wieder einen reinen Fall darstellt. Aber von NEUMANN beweist, daß diese Reduktion unmöglich ist, da sich die auf einen reinen Fall bezogenen Voraussagen von denjenigen unterscheiden, die auf einer Mischung beruhen.¹⁹ Er weist auch darauf hin, daß eine solche Reduktion die Möglichkeit einschliesse, sich die Gesamtheit von Systemen eines reinen Falles als unterteilt in streuungsfreie

¹⁹ Es sei

$$\psi = \sum_k c_k \phi_k ,$$

wobei ϕ_k Eigenfunktionen einer Größe A, α_k Eigenwerte von A bedeuten sollten. Wenn N Systeme im Zustand ψ sind (reiner Fall), kann man voraussagen, daß man bei künftigen Messungen der Größe A den Wert α_1 N | c_1 |² mal, den Wert α_2 N | c_2 |² mal usw. messen wird. – Nun seien χ_l die Eigenfunktionen der Größe B, β_l ihre Eigenwerte, und es gelte $[AB-BA] \neq 0$. Dann ist

$$\psi = \sum_k c_k \phi_k = \sum_{kl} c_k d_{kl} \chi_l$$

wenn

$$\phi_k = \sum_l d_{kl} \chi_l .$$

Folglich werden wir bei künftigen Messungen N | $\sum_k c_k d_{kl}$ |² mal den Wert β_l erhalten.

Hätten wir es nun aber mit einer Mischung zu tun, also mit einer Gesamtheit, die sich aus Untergesamtheiten zusammensetzt, von denen jede ein anderer Fall ist, so bedeutete dies etwa, daß N | c_1 |²

Untergesamtheiten vorzustellen, nämlich so, daß jedes Element dieser Untergesamtheit denselben Wert u_k der Größe U hat. Aber streuungsfreie Gesamtheiten können nicht existieren, da sonst die Spur der Dichtematrix eines reinen Falles nicht gleich 1 wäre und dies widerspräche ihrer Definition im HILBERT-Raum.²⁰

Systeme dieser Gesamtheit den Wert α_1 und den Zustand ϕ_1 haben. $N |c_2|^2$ den Wert α_2 und den Zustand ϕ_2 usw. Wir können also voraussagen, daß wir bei einer künftigen Messung $N |c_1|^2 |d_{11}|^2 + N |c_2|^2 |d_{21}|^2 + \dots$ mal, zusammengefaßt

$$N \sum_k |c_k|^2 |d_{k1}|^2 \text{ mal}$$

den Wert β_1 messen werden. (Die Wahrscheinlichkeit, daß ϕ_1 vorliegt, ist ja $N |c_1|^2$; die Wahrscheinlichkeit, daß sowohl β_1 wie ϕ_1 vorkommt, ist $N |c_1|^2 |d_{11}|^2$, und so für alle weiteren Zustände ϕ_k .)

So folgt, daß sich aus einer Mischung andere Voraussagen über Wahrscheinlichkeitsverteilungen ergeben können als aus einem reinen Fall; denn $N \sum_k |c_k d_{k1}|^2$ und $N \sum_k |c_k|^2 |d_{k1}|^2$ ergeben im allgemeinen nicht dasselbe.

²⁰ Es sei \bar{U} der Erwartungswert der Größe U :

$$\bar{U} = \sum_i p_i u_i ,$$

wobei p_i die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten des Wertes u_i ausdrückt. Es gilt aber auch

$$\bar{U} = \text{Tr}(PU),$$

wobei P die Dichtematrix, U die Matrix des Operators U in einem beliebigen Basissystem $\{\phi_n\}$ darstellt. (Die ϕ_n sind hierbei nicht als Eigenfunktionen der U anzusehen.) In einer streuungsfreien Gesamtheit hätte nun jedes Element denselben Wert u_k . Also gälte $\bar{U} = u_k$ und folglich $(\bar{U})^2 = u_k^2 = \bar{U}^2$, sowie $\text{Tr}(PU^2) = |\text{Tr}(PU)|^2$.

Nehmen wir nun an, daß U ein Operator ist, der auf den Unterraum projiziert, der vom Vektor ϕ_m aufgespannt wird, dann gilt wegen der Idempotenz von U auch

$$\text{Tr}(PU) = |\text{Tr}(PU)|^2 ,$$

Nun kann der Beweis von NEUMANN schon deswegen nur eine begrenzte Bedeutung haben, weil er die Quantenmechanik voraussetzt, die, als empirische Theorie, offensichtlich nicht notwendig wahr sein kann. Bestenfalls vermag dieser Beweis zu zeigen, daß jede Art von Theorie, die verborgene Parameter einschließt, mit der Quantenmechanik unverträglich sein müßte. Aber genau dies kann er auch nicht. Denn was hat von NEUMANN wirklich bewiesen? Er hat bewiesen, daß der Formalismus der Quantenmechanik keine verborgenen Parameter gestattet, die im Rahmen dieses Formalismus definiert sind und sich teilweise mit klassischen Größen überlappen. Folglich ist der Begriff „verborgener Parameter“ durch von NEUMANN so eingeschränkt, daß der Beweis keine allgemeine, das heißt auf alle verborgenen Parameter zutreffende Bedeutungen haben kann. BOHM und BUB zum Beispiel haben besondere verborgene Parameter wie nichtklassische Potentiale oder Größen eingeführt, die in sehr kurzen Zeitspannen nach der Messung determiniert sind, später aber wieder streuen.²¹ In diesem Fall ist

und da in diesem Fall

$\text{Tr}(PU) = P_{mm}$ (P_{ik} sind die Elemente der Dichtematrix P) ist, so gilt wegen $\text{Tr } P = 1$ und $\text{Tr}(PU) = 1$

für alle i $P_{ii} = P_{ii}^2 = 0$ oder 1 .

Dieses Ergebnis ist aber unverträglich damit, daß für alle möglichen orthogonalen Zerlegungen einer Zustandsfunktion ψ in $\psi = \sum_i c_i \phi_i$ im HILBERT-Raum gilt $\int |\psi|^2 dr = \sum_i |c_i|^2 = 1$ und folglich $\sum_i P_{ii} = \sum_i c_i^2 c_i = 1$ und somit immer Darstellungen von P gefunden werden können, für die gilt $P_{11} + P_{22} \neq 1$ und $P_{11} + P_{22} \neq 0$.

²¹ D. BOHM: A suggested interpretation of the quantum theory in terms of 'hidden' variables, in: Phys. Rev. 85 (1952) S. 166ff., 180 ff.; Proof that probability density approaches $(\psi)^2$ in causal interpretation of the quantum theory, in: Phys. Rev. 89 (1953)

VON NEUMANN'S Axiom „ $Av(R) + Av(S) = Av(R + S)$ “ – R und S sind Observable – nicht mehr allgemein gültig. Daher ist die Quantenmechanik hier nur ein Grenzfall, nämlich eine statistische Theorie, die von einer deterministischen ableitbar ist und deren Größen sich qualitativ von denjenigen in der Quantenmechanik unterscheiden. Zwar haben Theorien wie diejenigen von BOHM und BUB auch ihre besonderen Schwierigkeiten, aber worauf es in diesem Zusammenhang ankommt ist, daß es nicht VON NEUMANN'S Beweis ist, durch den sie und die mit ihnen verknüpften Parameter widerlegt werden können. Es ist sehr bemerkenswert, daß besonders die Theorie verborgener Parameter, wie sie BUB entworfen hat, ausdrücklich auf dem Axiom R aufgebaut ist. BUB schreibt: „Die tiefe Absicht, die hinter den Theorien über verborgene Parameter steckt, ist die Verwirklichung einer ‚Naturphilosophie‘, die einen Begriff der ‚Ganzheit‘ als eine neue ‚ontologische These‘ einschließt.“²² Unter dieser „Ganzheit“ versteht BUB, wie mir scheint, BOHR'S Axiom R . Es ist offenbar dieses Prinzip, von dem er meint, es sei das wesentlich revolutionäre und fortschrittliche Element der neuen Physik, nur habe es BOHR nicht mit genügender Konsequenz angewandt. So können wir nun feststellen, daß nicht nur Axiom S , sondern offenbar auch

S. 458 ff.; Comments on an article of TABAKAYASHI concerning the formulation of quantum mechanics with classical pictures, in: *Progr. Theor. Phys.* IX (1953) S. 273 ff.; – mit J. P. VIGIER: Model of the causal interpretation of quantum theory in terms of a fluid with irregular fluctuations, in: *Phys. Rev.* 96 (1954) S. 208 ff. – J. BUB: Hidden Variables and the Copenhagen Interpretation – A Reconciliation, in: *Brit. J. Phil. Sc.* 19 (1968) S. 185–210; What is a Hidden Variable Theory of Quantum Phenomena? in: *Int. J. Theoret. Phys.* 2 (1969) S. 101–123.

²² J. BUB: Hidden Variables and the Copenhagen Interpretation – A Reconciliation, in: *Brit. J. Phil. Sc.* 19 (1968) S. 186.

Axiom R mit dem Determinismus vereinbar ist. Dies ist von großer Bedeutung.

Ich glaube nicht, daß EINSTEIN oder BOHR dies wirklich erkannt haben. Sie disputierten auf der Grundlage von Axiom S und R, aber im Grunde scheinen sie zugleich tief von der Frage bewegt zu sein: Determinismus oder Indeterminismus? EINSTEINS berühmte Bemerkung „Gott würfeln nicht“ weist deutlich darauf hin. So ist der hier beschriebene geistige Kampf mindestens ebenso sehr ein Kampf um die philosophischen Kategorien „Realität und Substanz“, wie um die Kategorie der „Kausalität“.

*6. Wie lassen sich die apriorischen Axiome,
die der Quantenmechanik zugrunde gelegt werden,
rechtfertigen?*

Zurückblickend läßt sich nun feststellen, daß einerseits mehr oder weniger philosophische Axiome die Grundlage der Debatte über das, was Wirklichkeit in der Quantenmechanik ist, bilden und daß andererseits diese Axiome nicht hinreichend diskutiert, sondern eher für selbstverständlich gehalten wurden, geschweige denn, daß sie wirklich gerechtfertigt oder widerlegt worden wären. Ich wende mich daher jetzt der Frage zu, wie solche Rechtfertigungen überhaupt möglich sind. Sie wurden hauptsächlich auf dreifache Weise versucht:

- 1) Mittels rein philosophischer Überlegungen.
- 2) Mit Hilfe der Erfahrung.
- 3) Mittels rein methodologischer Gründe.

Ich will diese drei Möglichkeiten der Reihe nach diskutieren.

In dem kurzen Überblick und der Zusammenfassung, die hier versucht worden sind, konnten nur einige wenige rein philosophische Betrachtungen von Physikern erwähnt werden. Aber bekanntlich haben fast alle bedeutenden Physiker, die mit den Grundlagenfragen der Quantenmechanik beschäftigt waren, mehr oder weniger in engem Zusammenhang mit den hier erwähnten Axiomen philosophiert. Ihre Überlegungen stützten sich (wie auch die jüngste historische Forschung zum Beispiel von JAMMER und MEYER-ABICH gezeigt hat) auf teilweise ausgedehnte philosophische Studien.

So war beispielsweise EINSTEIN, um mit ihm zu beginnen, tief verwurzelt in der Cartesischen Tradition und ebenso durch bestimmte Ideen von der göttlichen Konstruktion des Weltalls („Gott würfelt nicht“) beeinflusst, die insbesondere auf GALILEI und KEPLER zurückgeführt werden können. Der Cartesischen Tradition entstammt die Lehre, daß die physikalische Wirklichkeit aus wohldefinierten Substanzen besteht, die zueinander in Beziehung (Wechselwirkung) treten. Sie sind wohl definiert in dem Sinne, daß sie träge Masse und einen Geschwindigkeitsgrad haben; sie treten in Wechselwirkung dadurch, daß sie diese „primären“ Geschwindigkeiten durch Kräfte, die sie „sekundär“ aufeinander ausüben, verändern. Das, was den Substanzen zukommt und was sich durch äußere Einwirkung an ihnen wandelt, läßt sich dabei grundsätzlich klar trennen. Unter „cartesischer Tradition“ ist hier eine ontologische Grundauffassung von der Wirklichkeit zu verstehen, die nicht mit der Cartesischen Philosophie als solcher gleichgesetzt werden darf (vgl. Kapitel IX); diese ontologische Grundauffassung ist indessen durch DESCARTES zum erstenmal in einer Weise vorgeprägt, die später nur Verfeinerungen, nicht aber eine wesentliche Änderung erfahren hat. Mag NEWTON auch der

eigentliche Vater der klassischen Physik genannt werden, so hat er doch in dieser Hinsicht trotz gewichtiger Modifikationen auf den Fundamenten DESCARTES' aufgebaut.

Wenn übrigens BOHR EINSTEIN vorhält, er habe doch mit seiner Relativitätstheorie selbst eine Auffassung vertreten, die – um es mit dem hier verwendeten Ausdruck zu bezeichnen – dem Axiom R entspringe, so ist dies trotz gewisser Ähnlichkeiten mit BOHRs Standpunkt nicht zutreffend. Zwar behauptet EINSTEINS Theorie die Relativität aller Phänomene zu Bezugssystemen. Allein diese Relativität besteht eigentlich nur auf einer ontologisch quasi niedrigeren Stufe, nämlich dort, wo die Bezugssysteme (die Erde, die Sonne usw.) als das eigentlich Reale angesehen werden. Von diesem letzten „Erdenrest“ (CASSIRER) löst sich jedoch die Relativitätstheorie, sofern sie nun auf einer ontologisch gleichsam höheren Stufe die Einheit einer allen Bezugssystemen gegenüber „neutralen“ Naturbeschreibung erreicht. Von wo auch immer man nunmehr die Dinge betrachtet: In den allgemeinen Feldgleichungen verschwindet die Relativität und „Subjektivität“ wieder, die Zustände werden kovariant gegenüber allen Bezugssystemen, also unabhängig von den Bedingungen ihrer möglichen Erfahrung und losgelöst von ihnen beschrieben. Damit aber war der Einklang der Physik mit der aus der cartesianischen Tradition herstammenden Ontologie grundsätzlich wieder hergestellt, auch wenn nun unter den wohldefinierten Substanzen nicht mehr das Gleiche wie früher verstanden wird (da nunmehr die Faktoren „Masse“ und „Impuls“ anders zu bestimmen sind).

Was EINSTEINS tiefen Glauben an die Determination der Natur betrifft, so ist er zweifellos geprägt von jener Art Religiosität, wie sie im Verlaufe der Renaissance aufkam

und tief in das abendländische Bewußtsein bis zur Gegenwart eindrang. Es handelt sich hierbei um den schon in den Kapiteln IV und V erwähnten Glauben, daß Gott die Welt unter dem Gesichtspunkt der Rationalität zweckmäßig konstruiert habe und daß eben deswegen das „Buch der Natur“ in der Sprache der Mathematik geschrieben sei. Nicht göttliche Willkür, nicht irrationaler Zufall diktierten es daher, sondern logische Notwendigkeit und harmonische Gerechtigkeit. Daher erschien EINSTEIN die Gleichberechtigung der Bezugssysteme als Ausdruck der Harmonie der Welt. (Davon wird im Kapitel X noch mehr zu sagen sein.)

Was BOHR betrifft, so beschäftigte er sich sein Leben lang mit der Philosophie KIERKEGAARDS und JAMES' und fühlte sich von der Poesie des Dänen MØLLER inspiriert. Es besteht offenbar eine gewisse Analogie zwischen KIERKEGAARDS Dialektik und BOHRs Prinzip der Komplementarität; auf jeden Fall wurde dies ausdrücklich von BOHR so empfunden. Er bezieht sich dabei vor allem auf KIERKEGAARDS Bestimmung des Verhältnisses von Subjekt und Objekt, die sich zunächst aus der Analyse des Subjekts selbst ergibt. Denn dieses als ein Wesen, das sich reflektiert, ist sich darin Objekt; aber das ist sozusagen nur die eine Seite der Medaille: es ist ja nicht nur Objekt, sondern eben auch Subjekt-Objekt. Niemals kann es beides in voller Schärfe sein und niemals ist es eines von beiden ausschließlich. Wird es sich selbst zum Gegenstand, so verschwindet dahinter seine Subjektivität; aber gerade deswegen begreift es sich in dieser Vergegenständlichung seiner selbst nur einseitig und muß daher wieder seine bloße Gegenständlichkeit negieren. So wird es erneut auf seine Subjektivität zurückgeworfen, die sich dieser Gegenständlichkeit entzieht, um sich aufs neue gegenständlich zu werden usw. Genau diese Beschreibung der

Existenz fand BOHR auch in MØLLERS Geschichte „Abenteuer eines dänischen Studenten“, der ständig vergeblich versucht, sich selbst zu denken. Er denkt sich als Denken-den, aber dann ist er sich bewußt, daß er ein Denkender ist, der sich als Denkender denkt usf. Dieser Übergang von der Subjektivität in die Objektivität und umgekehrt ist aber für KIERKEGAARD selbst nicht zeitlich faßbar, wäre es doch sonst selbst wieder ein objektives Ereignis; der Übergang erfolgt in einem „Augenblick“, den er als Sprung bezeichnet, und dieser Augenblick ist für ihn ein Akt der Wahl. Solche Dialektik bleibt aber nicht nur auf das Ich als Reflektierendes beschränkt, sondern überträgt sich gleichsam auf das allgemeine Verhältnis von Subjekt und Objekt und damit auf den Begriff der Wahrheit überhaupt.

Diese BOHR besonders durch den Kierkegaardianer und Freund von BOHRs Vater, HØFFDING, vermittelten Gedanken könnte man freilich auch bei anderen Philosophen finden, zumal hier von der spezifischen Dialektik zwischen Zeitlichkeit und Ewigkeit, die für KIERKEGAARD kennzeichnend ist, abstrahiert wird. Aber es kommt ja nur darauf an anzudeuten, wie BOHR von KIERKEGAARD beeinflusst wurde und nicht, was KIERKEGAARD tatsächlich gelehrt hat. So betrachtet, verwundert es dann auch nicht, daß BOHR sich ebenso von JAMES angezogen fühlen konnte, den doch Welten von KIERKEGAARD trennen. An JAMES scheint BOHR daher auch das Gleiche fasziniert zu haben wie an KIERKEGAARD: nämlich die Bewußtseinsanalyse. Diese hat JAMES besonders in seinen „Principles of Psychology“ entworfen. Auch dort stoßen wir wieder auf die Frage, wie man sich sein eigenes Denken gegenständlich machen könne, wobei JAMES auf die für diesen Versuch entscheidende Dialektik von „substantive parts“ und „transitive parts“ verweist. Die substantive parts

beziehen sich auf das unmittelbar Faßbare: die Sätze, die Worte; aber dieses Faßbare wird sozusagen ständig unterlaufen durch die transitive parts, die den eigentlichen Duktus des Gedankens, die Übergänge, betreffen. Will man diese begreifen, verwandelt man sie in substantive parts und zerstört sie damit; und richtet man sich umgekehrt auf die substantive parts, so entgleiten einem wieder die Übergänge. Auch hier also scheint eine Art Komplementarität zu herrschen. Erwähnt sei schließlich auch noch JAMES' Lehre, daß Bewußtsein im strengen Sinne nichts Selbstiges kennt. Alles wird nur unter Bedingungen erkannt, und die Bedingungen wechseln; nirgends bietet sich ein Objekt der Erkenntnis, das aus solchen Relationen gelöst werden könnte.²³

Warum also, so wird man sich nach all dem fragen, spielen philosophische Überlegungen nicht eine entscheidendere Rolle in der Diskussion der Quantenmechanik, anstatt mehr oder weniger an den Rand gedrängt zu werden? Warum werden die erwähnten Axiome nicht immer zuerst in einer rein philosophischen Weise und getrennt von bestimmten physikalischen Problemen erörtert?

Die Antwort ist einfach: Von den meisten Physikern wird Philosophie heute als eine nützliche Anregung und eine interessante Ergänzung betrachtet, aber sie halten sie nicht ernsthaft für fähig, strenge Beweise zu liefern. Als Kinder eines mehr oder weniger positivistischen Zeitgeistes haben sie, wenn man so sagen darf, einige philosophische Komplexe und glauben daher vor allem an die Erfahrung. In dieser Hinsicht unterscheiden sie sich funda-

²³ Vgl. auch zu diesen geistesgeschichtlichen Hintergründen der BOHRschen Physik M. JAMMER: *The conceptual development of quantum mechanics*, New York 1966; K. M. MEYER-ABICH: Korrespondenz, Individualität und Komplementarität (vgl. Anm. 8, S. 138).

mental von den Physikern der großen klassischen Periode GALILEIS, KEPLERS, NEWTONS und deren Nachfolger. Ich kann hier nicht auf die Einzelheiten der geistigen Entwicklung eingehen, deren Ergebnis die antimetaphysische oder einfach antiphilosophische Haltung war. Aber vielleicht kann man sagen, daß diese Haltung wesentlich auf der Überzeugung beruht, daß es keine absolute Evidenz und keine reine Vernunft gebe. Deswegen müßten alle Versuche, die Fragen der Wirklichkeit, der Kausalität, der Substanz usf. endgültig zu lösen, fehlgehen, weil sie von bestimmten physikalischen Auffassungen getrennt werden. Zweifel an der Philosophie ist hier also Zweifel an absoluten Auffassungen und ewig gültigen Einsichten. Und in der Tat: Sollten philosophische Axiome durch abstraktes philosophisches Denken allein gerechtfertigt werden, wie ließe es sich dann vermeiden, diese Axiome von anderen abzuleiten, die wir schließlich und endlich als selbstevident, als absolut gültig, als irgendwie notwendig ansehen? Und wie können wir allen Ernstes vorgeben, sie hätten diese Eigenschaften? Man blicke sich um: Ob es DESCARTES' Glaube an die Euklidische Geometrie ist oder an seine besondere Formulierung der Kausalität; ob es KANTS Glaube an die transzendente Apperzeption ist oder HEGELS Glaube an die Notwendigkeit des Beginns seiner Logik usw. – überall finden wir letzte Axiome, die durch reine Einsicht, reine Vernunft, reines Denken für gültig gehalten und folglich für ewige Wahrheiten angesehen werden. Aber immer wieder lehrt uns die Geschichte, daß alle für ewig gültig gehaltenen Axiome wieder aufgegeben wurden. Ja, was beinahe für trivial gehalten wurde, kann in späterer Sicht als das Ergebnis langer Debatten und Untersuchungen gedeutet werden, in denen wir mit sehr komplizierten Ideen vertraut wurden und uns an sie gewöhnten. Die

Wissenschaftsgeschichte von ARISTOTELES bis heute ist wesentlich eine Geschichte von Axiomen und ihren revolutionären Umwälzungen. Es scheint ein unausrottbarer Zug der Menschen zu sein, jede neue Revolution für die Enthüllung einer endgültigen oder wenigstens angenäherten Wahrheit anzusehen, die nur noch verbessert werden müßte. Aber wenn wir so auch, wenigstens in gewissem Maße, den weit verbreiteten Zweifel unter den Physikern an dem Versuch verstehen können, philosophisch die Axiome zu rechtfertigen, die sie verwenden müssen, so ist es doch keineswegs begründet, wie die vergangenen Kapitel zeigten, ihren Glauben zu teilen, daß andererseits Erfahrung die Grundlagen liefern kann, nach denen sie suchen.

Wie insbesondere aus Kapitel III hervorging, sind experimentelle Prüfungen und erfolgreiche Theorien keineswegs letzte Instanzen, gegen die kein Einspruch mehr erhoben werden könnte. Weder EINSTEIN noch DE BROGLIE, noch BOHM, noch BUB usf. kapitulierten vor dem großen Erfolg der Quantenmechanik. Ihre allgemeine Haltung war theoretisch gerechtfertigt dank dem, daß es in wissenschaftlicher Sicht überhaupt keine absoluten Tatsachen gibt, sondern nur relative, nämlich relativ zu bestimmten Voraussetzungen und Festsetzungen a priori. Aber was bedeutet es dann, in einer solchen Situation nicht zu kapitulieren? Es bedeutet, an bestimmten Axiomen festzuhalten und andere nicht zu akzeptieren. Und dies ist etwas verwirrend. Versuchen doch die Physiker mehr oder weniger, die Philosophie zu vermeiden, indem sie nach experimentellen und empirischen Grundlagen forschen; nun aber handeln sie wieder so, wenigstens implizit und vielleicht nicht mit vollem Bewußtsein, als ob sie auch Zweifel an der Erfahrung hätten und halten entschlossen an Axiomen a priori fest. Wenn dieses Festhal-

ten jedoch nicht Dogmatismus genannt werden soll, so müssen sie nach Erklärungen suchen. Wo aber könnten sie diese finden, wenn nicht in der Philosophie? Und wenn das der Fall ist, kann man dann ihre Situation nicht mit derjenigen des Odysseus zwischen Skylla und Charybdis vergleichen? Sie können weder an die reine Vernunft noch an die reine Erfahrung glauben, denn es existiert tatsächlich weder das eine noch das andere.

Manche meinten, es gäbe einen Ausweg aus diesem Dilemma, wenn wir versuchen, unsere Axiome mit rein methodologischen Gründen zu rechtfertigen. BUB gibt ein gutes Beispiel hierfür in seiner Theorie verborgener Parameter. Im Einvernehmen mit anderen Denkern, zum Beispiel mit FEYERABEND, hält er es für unzweckmäßig, eine Theorie erst dann in Frage zu stellen, wenn sich zeigt, daß sie nicht mehr erfolgreich ist, oder wenn wir gezwungen sind, sie infolge neuer Entdeckungen aufzugeben.²⁴ Wir sollen im Gegenteil nach BUBs Meinung bereits Alternativen entwickeln, wenn eine Theorie noch erfolgreich ist, da wir nur so nach etwas suchen können, das im alten Rahmen nicht interpretierbar und nur im neuen Rahmen verständlich, also etwas wirklich Neues ist. Auch lehre uns die Geschichte, daß eine alte These niemals aufgegeben werde, wenn ihre Schwierigkeiten nicht durch eine Gegentheorie offenbar geworden sind. So führe das Warten auf neue Entdeckungen und das Versagen einer etablierten Theorie auf die Dauer nur zur Sterilität und zum Dogmatismus. Daher verteidigt BUB das, was er sein „ontologisches Prinzip“ nennt, ausdrücklich durch den Hinweis, daß darauf eine Gegentheorie gegen

²⁴ J. BUB: Hidden Variables and the Copenhagen Interpretation, Brit. J. Phil. Sc. 19 (1968) S. 206; P. FEYERABEND: Problems of Empiricism, in: R. G. COLODNY (Hrsg.): Beyond the Edge of Certainty. Essays in Contemporary Science and Philosophy, New Jersey 1965.

weithin akzeptierte Prinzipien und Theorien gegründet sei. Selbstverständlich sucht auch er nach experimentellen Prüfungen und empirischem Erfolg, aber seine „Prinzipien“, die wir hier aus den genannten Gründen lieber „Axiome“ nennen wollen, sind bereits in gewissem Sinn durch die methodologischen Argumente gerechtfertigt, die soeben aufgeführt wurden. So beobachten wir, daß BUB zum Beispiel so etwas wie ein Axiom R und andere Axiome eben deswegen aufstellt, weil ihm dies eine gute Strategie für neue Forschungen zu sein scheint und eine gute Strategie, die Möglichkeiten des wissenschaftlichen Fortschritts zu erweitern.

Nun kann man diese Art der Argumentation und Rechtfertigung nur diskutieren, wenn man die folgenden Fragen behandelt:

- 1) Ist die verwendete Strategie wirklich gut?
- 2) Sollen wir die wissenschaftlichen Ziele teilen, die man mit ihr erreichen will?

Ich möchte diese Fragen hier nicht behandeln, sondern nur darauf hinweisen, daß ihre Erörterung nicht im Rahmen der Physik alleine stattfinden kann. Im Gegenteil, eine solche Diskussion schließt erneut philosophische Betrachtungen darüber ein, welches die Ziele der Wissenschaft sein sollen, warum in gewissen Fällen das Bestehen auf bestimmten Theorien Dogmatismus und Unfruchtbarkeit bedeutet und warum in anderen Fällen nicht; warum manchmal die entschlossene Verteidigung grundlegender Positionen aufgegeben werden muß; warum diese Verteidigung nicht auf die Behauptung gestützt werden darf, daß diese Positionen notwendig wahr sind; was wir unter Fortschritt zu verstehen haben usw. usw. Wenn wir also der Philosophie entrinnen wollen, indem wir uns der Erfahrung zuwenden oder indem wir uns nur

methodologischer Mittel bedienen, so wird dies immer wieder damit enden, daß wir genau dort anlangen, wovor wir geflohen sind: bei der Philosophie.

Aber vielleicht ist der horror philosophiae, den moderne Physiker so oft empfinden, nur in einer nicht notwendig gültigen Interpretation dessen verwurzelt, was Philosophie sein soll? Vielleicht sind unsere Physiker, die so revolutionär in der Physik gesinnt sind, zu traditionsgebunden, zu konservativ als Philosophen? Ist es denn notwendig, nach endgültigen Lösungen von Problemen zu suchen, wenn man philosophiert? Vielleicht müssen wir die Philosophie nicht mit der Idee absoluter Erkenntnis, ewig geltender Einsichten, absoluter Vernunft, notwendig gültiger Axiome und selbstvidenter, endgültiger Enthüllungen verbinden?

Blicken wir noch einmal zurück. Wir haben gesehen, daß wir es nicht vermeiden können, bestimmte Axiome a priori zu verwenden, wenn wir die Grundlagen der Quantenmechanik erörtern, und daß solche Apriorismen, mit KANT zu reden, Bedingung der Möglichkeit der Erfahrung sind. Aber wenn wir im Gegensatz zu KANT nicht akzeptieren können, daß es nur eine einzige Art gibt, solche Axiome aufzustellen, wenn wir nicht notwendige Einsichten einer reinen Vernunft irgendwelcher Art akzeptieren können, so vermögen wir vielleicht trotzdem apriorische Aussagen zu rechtfertigen, indem wir auf die besondere historische Situation verweisen, in der sie auftreten. Wie ich schon sagte, wurde beinahe jedes apriorische Axiom im Laufe der Geschichte aufgegeben oder verändert. Auf der einen Seite zeigt dies, daß es fragwürdig war, solche Axiome für absolut gültig anzusehen; aber auf der anderen Seite fallen doch Veränderungen, Entwicklungen und sogar Revolutionen nicht vom Himmel, sondern können durch die Geschichte der Wissen-

schaft wissenschaftlich verstehbar gemacht werden. Es gibt eine Art historischer Vernunft und historischer Kontingenz, die weder reine Notwendigkeit noch reine Willkür bedeuten. Wenn es also überhaupt wissenschaftliche Rechtfertigungen von Axiomen gibt, so werden sie historisch sein.

So müssen wir zum Beispiel, indem wir die Grundlagen der Quantenmechanik erörtern, auch die Axiome R und S diskutieren – das eine mit Hinblick auf eine bestimmte experimentelle Situation in der Physik, das andere mit Hinblick auf eine bestimmte geistige Situation, die mit einer noch lebendigen Tradition verbunden ist und offenbar mit der physikalischen Situation nicht in Einklang gebracht werden kann. Aber indem die Physiker diese Axiome erörtern, müssen sie umfassend philosophieren und können dies nicht nur als eine Art privates Hobby gelegentlich betreiben. Über die Axiome R und S philosophieren bedeutet, sowohl die historische Tradition von ARISTOTELES, GALILEI, KEPLER, CARTESIUS bis zur Gegenwart in Betracht zu ziehen, wie den historischen Hintergrund etwa von JAMES, KIERKEGAARD usw. erörtern, wie auch die Geschichte der Quantenmechanik zu diskutieren. Nur wenn wir dies tun, können wir verhindern, daß die verschiedenen Positionen dogmatisch als selbstverständlich erscheinen und die Probleme als bereits gelöst. Nur historische Betrachtungen können uns diese Positionen und den Sinn der Axiome begreiflich machen. Darüber hinaus haben solche Betrachtungen eine besonders wichtige kritische Funktion. Zeigen sie uns doch, daß nichts notwendig wahr ist, sondern von den besonderen Bedingungen seines Ursprungs abhängt.

Zur Verdeutlichung der historischen Hintergründe der Axiome S und R, die über die unmittelbaren, schon vorhin erwähnten Quellen hinausgehen, aus denen EINSTEIN

und BOHR geschöpft haben, hier noch einige kurze und zugegebenermaßen etwas vereinfachende Anmerkungen: Eine Art Axiom R und eine Art Axiom S treten bereits in der Antike auf. Die antiken Skeptiker weisen auf die durchgehende Relationalität der Dinge zum erkennen-den Menschen und zueinander hin, um zu zeigen, daß es unmöglich ist, sie in ihrem wahren Sein, nämlich in ihrem „An-sich“ zu begreifen. Demgegenüber sehen wir andere, z. B. ARISTOTELES, diese Relationalität auf bestimmte Kategorien (des πρὸς τι) einschränken, die für das, was die Dinge in ihrem Wesen, als Substanzen sind, so wenig Bedeutung haben wie der Hinweis für den Menschen X, er sei körperlich in bezug auf Y kleiner, in bezug auf Z aber größer; denn hierdurch würde ja nichts über seine Eigenschaften, die er hat, ausgesagt. Logisch schlägt sich dies darin nieder, daß das kategorische Urteil mit einem einstelligen Prädikat als Grundform allen Urteilens angesehen wird, während mehrstellige Prädikate sich auf ontologisch uneigentliche Phänomene beziehen sollen. Das Aufkommen der neuzeitlichen Physik mit ihrer besonders durch DESCARTES radikal mathematisierten Naturvorstellung und die zentrale Bedeutung, die damit dem Funktionsbegriff zukommt, hat zwar mancherlei Veränderung herbeigeführt. Substanzen werden nun durch ein Geflecht von Beziehungen (Bewegungen und Kräfte) bestimmt; doch so, daß sich damit wieder nur der Wandel und die Modifikation an ihnen bei sonst konstanten Wesenseigenschaften erklärt. (So hat jeder Körper Masse, Ort und Geschwindigkeit.) Nicht aber sind diese den „Wesenszustand“ eines Körpers beschreibenden Eigenschaften als solche nur relational gegeben. Axiom S, wenn auch bereits stark von Axiom R bedrängt, kann sich also in dieser Phase immer noch behaupten. Daran ändert auch nichts KANTS Transzendentalphilosophie

und seine aus ihr abgeleitete dynamische Metaphysik der Natur. Denn mag das Objekt dort auch Erscheinung sein, so ist es doch als solche ganz und gar den soeben geschilderten Bedingungen unterworfen: Es hat Masse, Ort und Geschwindigkeit. Die Relativitätstheorie erscheint in diesem historischen Zusammenhang wie ein Schlußstein und Höhepunkt; ein Höhepunkt vor allem deswegen, weil hier Axiom R sozusagen der größtmögliche Spielraum zugestanden wird und es dennoch untergeordnet bleibt. Das ändert sich erst, wie vorhin bemerkt, unter dem Einfluß der dialektischen Philosophie einerseits und unter den neuen Gegebenheiten der Mikrophysik andererseits.

VII. Kritik der Versuche, die Quantenmechanik mit einer neuen Logik in Zusammenhang zu bringen

Die Ergebnisse der vorigen Kapitel bedürfen einer wichtigen Ergänzung. Dort ist vor dem Irrtum gewarnt worden, mit REICHENBACHS Quantenlogik zu einer endgültigen, auf historische Zusammenhänge verzichtenden Entscheidung im Streit zwischen EINSTEIN und BOHR gelangen zu können. Das muß nun genauer erläutert werden.

Auch heute noch ist es eine weit verbreitete Meinung, die Quantenmechanik habe zu einer neuen Logik geführt und damit zugleich bisher nicht hinreichend beachtete Strukturen der Sprache sichtbar gemacht. Die alte Logik besitze gegenüber der neuen nur eine eingeschränkte Geltung; ja sie erweise sich in gewissen quantenmechanischen Fällen sogar als falsch. Hieraus werden dann philosophische Folgerungen gezogen. So meint man z. B. nunmehr erkannt zu haben, daß sich die formalen Grundlagen allen Denkens – und mit ihnen habe es die Logik doch zu tun – durch die Erfahrungen der modernen Physik gewandelt hätten; sie seien keineswegs so allgemeingültig und unveränderlich wie angenommen. Auch eröffneten sich damit ganz neue Einblicke in das Wesen des Denkens, ja der Sprache überhaupt; in der Quantenmechanik sei also etwas weit über die Physik Hinausgehendes von allgemeiner Bedeutung geschehen.

1. Der Versuch von Weizsäckers

Repräsentativ für solche Auffassungen sind insbesondere Arbeiten von C. F. VON WEIZSÄCKER. Dort wird die klassische Logik nur als ein methodisches Apriori aufgefaßt, das man bei der Formulierung der Quantenlogik benutzen müsse. Aber bei dem heutigen Stand der Dinge sei die Quantenlogik als die *wahre* Logik zu bezeichnen, welche die klassische Logik nur als Grenzfall enthalte. Man müsse einer der heutigen Physik „angepaßte Logik“ schaffen, und somit sei auch die Logik überhaupt wahr in einem Sinne, wie eine physikalische Theorie wahr sei, nämlich nicht absolut wahr, sondern immer weiterer Verbesserungen fähig. „Es wäre denkbar“, schreibt er dann wörtlich, „daß uns am Beispiel der heutigen Physik Strukturen des Seienden deutlich geworden wären, die mit der ontologischen Hypothese, welche der klassischen Logik zugrunde liegt, unvereinbar wären.“¹

Es sei nun dahingestellt, ob der klassischen Logik irgendwelche Hypothesen, z. B. ontologische, zugrunde liegen. Hier ist vor allem darauf hinzuweisen, daß nach dieser Auffassung VON WEIZSÄCKERS eine bestimmte empirische Entwicklung innerhalb der modernen Physik eine Änderung der Logik zur Folge hat. Die Logik wird demnach in den Strom der Veränderung hineingezogen, der für die Naturwissenschaften verbindlich ist. Damit verliert sie offensichtlich jene unantastbare Apriorität, die seit jeher als ihr hervorragendes Merkmal angesehen wurde; und da ihr nur noch ein methodisches Apriori zugestanden wird, dazu dienlich, zu neuen Formen vorzustoßen, gerät sie schließlich in das schwankende Licht empirischer Verbesserungsfähigkeit.

¹ C. F. VON WEIZSÄCKER: Zum Weltbild der Physik, Stuttgart 1958, S. 301.

Ich frage nun: Hat die Quantenmechanik wirklich eine neue Logik entwickelt und die alte ins Wanken gebracht? Gehen wir, um dies zu erörtern, vom sog. YOUNG'schen Interferenzversuch am Schirm mit zwei Löchern aus.

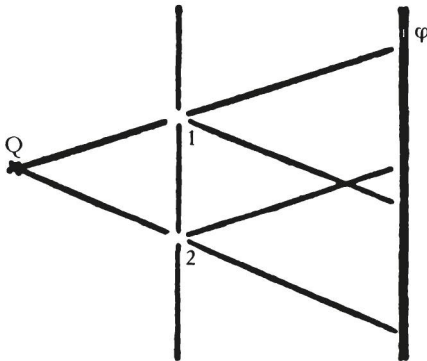


Abb. 1

Man lasse Elektronen von einer Quelle Q durch einen Schirm mit zwei Löchern hindurchgehen und auf einer photographischen Platte P auftreffen. Erfahrungsgemäß läßt sich dann der Ort des Auftreffens eines Teilchens auf die Platte nicht genau voraussagen, wohl aber eine Wahrscheinlichkeitsverteilung W. Ist nur das Loch 1 geöffnet, so betrage sie W_1 ; ist nur das Loch 2 geöffnet, so W_2 ; sind aber beide geöffnet, so betrage sie W_{12} . Es ist nun zu vermuten, daß gilt:

$$(1) \quad W_{12} = W_1 + W_2.$$

Das Experiment zeigt indessen, daß diese Gleichung falsch ist. Sei $\psi(x)$ die in der Quantenmechanik eingeführten Wahrscheinlichkeitsamplitude, dann wird der Sachverhalt richtig so ausgedrückt:

$$(2) \quad W_1 = |\psi_1|^2, \quad W_2 = |\psi_2|^2, \quad W_{12} = |\psi_{12}|^2, \\ \psi_{12} = \psi_1 + \psi_2.$$

Man wird also nach den Voraussetzungen fragen, nach welchen die falsche Gleichung (1) zustande gekommen ist. Diese Voraussetzungen lauten:

1. Elektronen sind physikalisch Korpuskeln. 2. Jedes Korpuskel ist entweder durch das Loch 1 oder das Loch 2 geflogen. Tertium non datur (TND).

Die Anhänger der sog. Quantenlogik bestreiten nun nicht, daß man die erste dieser beiden Voraussetzungen fallen lassen kann. Und tatsächlich hat ja YOUNG aus dem hier angeführten Experiment auf die Wellennatur des Lichtes geschlossen. Sie ziehen es aber vor – aus Gründen, die wir hier nicht diskutieren können –, die Voraussetzung 2, also das Prinzip der klassischen Logik, aufzugeben, und glauben daraus eine Abänderung der Logik folgen zu müssen.

Wir wollen nun zunächst noch einmal auf die sehr durchsichtige und leicht zugängliche sog. „dreiwertige Logik“ blicken, die REICHENBACH entwickelt hat.² Er nennt sie „dreiwertige Logik“ deshalb, weil sie zu den beiden Werten „Wahr“ oder „Falsch“, welche Aussagen zukommen können, noch einen dritten, nämlich „Unbestimmt“ hinzufügt. Deswegen führt REICHENBACH folgendes Schema ein:

Schema 1

1	2	3
A	\bar{A}	$\sim A$
W	U	U
U	W	F
F	W	W

² H. REICHENBACH: Philosophische Grundlagen der Quantenmechanik, Basel 1949.

Die Spalte 1 zeigt, daß eine Aussage A wahr, unbestimmt oder falsch sein kann. Die Negation von A (\bar{A}), die in Spalte 2 durch diese 3 Werte mit Rücksicht auf A definiert ist, kann also nicht – wie in der zweiwertigen Logik – das reine kontradiktorische Gegenteil von A sein. Daß sie nun aber so bestimmt ist, wie es durch Spalte 2 angegeben ist, müssen wir als eine willkürliche Definition hinnehmen. Sie wird ausschließlich – wie sich noch zeigen wird – durch die besondere Absicht geleitet, welche REICHENBACH mit diesem Schema verfolgt; nämlich einen der Quantenmechanik angepaßten Kalkül zu entwerfen. Dasselbe gilt für Spalte 3. Nennt REICHENBACH den Ausdruck in Spalte 2 „vollständige Negation“ (\bar{A}), so den in Spalte 3 „zyklische Negation“ ($\sim A$).

Mit Hilfe dieses Schemas werden nun Junktoren definiert, die an die Disjunktion und die Implikation, wie sie uns aus den Lehrbüchern der Satzlogik bekannt sind, anknüpfen. Dies zeigt wieder ein Schema:

Schema 2

A	B	Disjunktion $A \vee B$	alternative Implikation $A \rightarrow B$
1 W	W	W	W
2 W	U	W	F
3 W	F	W	F
4 U	W	W	W
5 U	U	U	W
6 U	F	U	W
7 F	W	W	W
8 F	U	U	W
9 F	F	F	W

Wie man sieht, stimmt die Disjunktion in den Zeilen 1, 3, 7 und 9 mit der geläufigen Definition von ihr überein. Das gleiche gilt für die Implikation in denselben Zeilen. Dort haben nämlich A und B nur die Wahrheitswerte wahr oder falsch.

Fügt man nun diesem letzten Schema noch eine Definition der Äquivalenz hinzu derart, daß zwei Aussagen äquivalent sein sollen, wenn sie beide wahr oder beide falsch oder beide unbestimmt sind, so lassen sich nunmehr folgende immer wahre, also tautologische Äquivalenzen aufstellen:

$$(3) \quad A \equiv \sim \sim \sim A$$

$$(4) \quad \bar{A} \equiv \sim A \vee \sim \sim A$$

$$(5) \quad \bar{A} \rightarrow B \equiv \bar{B} \rightarrow A.$$

Setzt man nämlich in der ersten Äquivalenz (3) für A den Schema 1, daß $\sim \sim \sim A$ ebenfalls wahr sein muß. Setzt man A als falsch, so folgt, daß auch $\sim \sim \sim A$ falsch ist, und setzt man schließlich für A unbestimmt, so wird $\sim \sim \sim A$ gleichfalls unbestimmt sein. Damit ist die Äquivalenz in jedem möglichen Falle wahr, also immer wahr. Dasselbe läßt sich auf die gleiche Weise für die beiden restlichen Äquivalenzen (4) und (5) nachweisen. Nun behaupte man den Ausdruck:

$$(6) \quad A \vee \sim A \rightarrow \sim \sim B.$$

Auf Grund von (3), (4) und (5) folgt aus (6):

$$(7) \quad B \vee \sim B \rightarrow \sim \sim A.$$

Und hieraus folgt wieder (6). Also implizieren sich (6) und (7) wechselseitig:

$$(8) \quad A \vee \sim A \rightarrow \sim \sim B \Leftrightarrow B \vee \sim B \rightarrow \sim \sim A.$$

Mit Hilfe des ersten und zweiten Definitionsschemas kann man nun die Behauptung (6) in Worten folgendermaßen lesen:

Wenn A wahr oder falsch ist, dann ist B unbestimmt; und die Behauptung (7) liest man: Wenn B wahr oder falsch ist, dann ist A unbestimmt.

Eine solche Beziehung zwischen A und B ist aber genau das, was man in der Quantenmechanik unter Komplementarität versteht. Hat nämlich z. B. eine Messung des Ortes eines Teilchens stattgefunden, so ist die Aussage A, daß das Teilchen sich an dem und dem Ort befindet, wahr oder falsch; dann aber wird die Aussage B, daß dieses Teilchen den und den Impuls hat, grundsätzlich unentscheidbar und damit unbestimmt. Man könnte also (6) auch kurz so lesen: A ist zu B komplementär. Und folglich (8): Wenn A zu B komplementär ist, so auch B zu A; die Komplementarität ist also symmetrisch. Und diese Symmetrie (z. B. von Ort und Impuls) ist ein empirisches Gesetz der Quantenmechanik.

Worin besteht also diese sog. dreiwertige Logik, diese sog. Quantenlogik, in welcher das TND nicht vorkommt, genauer?

Sie besteht aus einer Reihe willkürlicher Definitionen, die wir auch als axiomatische Ausgangspunkte betrachten können, wobei diese Axiome für sich keine irgendwie unmittelbar und intuitiv einsehbare allgemeine Geltung besitzen. Sie sind vielmehr eigens so konstruiert, damit dann am Ende bei einer entsprechenden Interpretation gewisse empirische Tatsachen der Quantenmechanik und ihrer Gesetze formuliert werden können. Man hat es also hier zwar mit einem eigens der Quantenmechanik angepaßten Aussagenkalkül zu tun. Ist es aber dem Begriff der Logik adäquat, einen solchen Aussagenkalkül eine *Aussagelogik* zu nennen?

Die Logik hat die Eigenschaft, auf eine axiomatische Form gebracht werden zu können. Man führt Axiome ein und leitet aus diesen mit Hilfe von Regeln Theoreme ab. Die an die Tradition anknüpfende Auffassung lehrt, diese Axiome müßten allgemein gültige Folgerungen ausdrücken. Als Beispiel für die Syllogistik sei der Modus Barbara genannt, als Beispiel für die Aussagenlogik die Schlußform „Wenn A, dann A“. Die allgemeine Gültigkeit der logischen Axiome bedeutet nun nach einer auf LEIBNIZ zurückgehenden Definition, daß sie in allen möglichen Welten gelten. Dasselbe ist gemeint, wenn man heute sagt, die Logik habe Tautologien zum Gegenstand, also Aussagen, die nichts über die Welt aussagen. Denn was für alle möglichen Welten gilt, das kann nichts über die bestimmte Welt verraten, die wirklich existiert. Ich füge dem noch eine von LORENZEN stammende Definition der Logik hinzu: Sie ist nach ihm die Lehre von den für beliebige Kalküle zulässigen Regeln. Auch diese Definition knüpft, wie leicht ersichtlich, an den überlieferten Begriff der Logik an.

Nun ist die wechselseitige Komplementarität gewisser Aussagen in der modernen Physik eine kontingente Eigenschaft dieser Welt, etwas, was zu ihrem Sosein gehört und nicht zu jeder möglichen Welt. Ebenso sind Regeln von Aussagensystemen, in denen sich dies ausdrücken läßt, nicht zulässige Regeln für beliebige Kalküle überhaupt oder Tautologien. Folglich kann man ein solches axiomatisch entwickeltes Aussagensystem nicht eine *Aussagenlogik* nennen, wenn man überhaupt das Kriterium der Adäquatheit einer Definition anerkennt. Denn dies besagt, daß der Willkür der Begriffsbestimmung durch den allgemeinen Gebrauch eines Begriffes eine Grenze gesetzt ist. Erkennt man das Kriterium der Adäquatheit aus irgendeinem Grund nicht an, so läßt sich

hier erst recht nicht davon sprechen, daß die Quantenmechanik zur Ausbildung einer neuen Logik geführt habe; denn dann ließe sich eben nur erklären, man habe einen bestimmten Aussagenkalkül eine Aussagenlogik zu nennen *beliebt*. Irgendeine – doch beanspruchte – philosophische Bedeutung, irgendeine neue, generelle Erkenntnis über die Formen und Weisen des Denkens überhaupt könnte eine solche willkürliche Erklärung natürlich nicht einschließen.

Aber ganz davon abgesehen zwingt die Aufgabe des TND, wie sie der YOUNGSche Interferenzversuch nahezulegen schien und wie sie sich in dem dreiwertigen Aussagenkalkül der Quantenlogik spiegelt, keineswegs zu einer Abänderung der durch den überlieferten Begriff bestimmten Logik. Denn es hat sich nämlich gezeigt, daß das TND nicht für beliebige Kalküle oder in allen möglichen Welten gelten kann, also kein eigentlich logischer Grundsatz ist.

2. *Der Versuch Mittelstaedts*

Ein weiterer Versuch, den Aussagenkalkül der Quantenmechanik als Quanten*logik* aufzufassen, stammt von PETER MITTELSTAEDT, der ihn in seinem Buch „Philosophische Probleme der modernen Physik“ veröffentlicht hat.³ Er stützt sich dabei auf die von LORENZEN begründete sog. Dialogische Logik, deren Grundgedanke hier folgendermaßen skizziert sei:⁴

Es wird zunächst vorausgesetzt, daß bekannt ist, wie elementare, also nicht zusammengesetzte Aussagen (z. B.

³ P. MITTELSTAEDT: Philosophische Probleme der modernen Physik, Mannheim 1963.

⁴ P. LORENZEN: Meta-Mathematik, Mannheim 1962.

„der Mond ist rund“, „das Wetter ist schön“ usw.) bewiesen werden können. Nun behaupte jemand – er wird Proponent (P) genannt –: Wenn A, so B ($A \rightarrow B$). Ein anderer – sein Opponent (O) – bestreite das. Dies kann aber offenbar nur so geschehen, daß der Opponent selbst A beweist, und daraufhin vom Proponenten verlangt, er solle nun seinerseits B beweisen. Denn $A \rightarrow B$ besteht doch offenbar in der Behauptung, daß, wenn A vorliegt, auch B vorliegt. Der sich so entspinnde Dialog läßt sich also – wenn der Proponent gewinnt – schematisch folgendermaßen darstellen:

P	O
Beh.: $A \rightarrow B$	Beh.: A
Wieso A?	Beweis von A
Beh.: B	Wieso B?
Beweis von B.	

Will der Opponent gewinnen, so muß er also zuerst A beweisen, in der Hoffnung, daß dann der Proponent den Beweis von B schuldig bleibt. Der Opponent hat verloren, wenn er entweder A nicht beweisen, oder der Proponent den Beweis von B erbringen kann. Und der Proponent hat verloren, wenn der Opponent den Beweis von A, er selbst aber den von B nicht erbringen kann.

Nun nehmen wir an, der Proponent behaupte $A \rightarrow (B \rightarrow A)$. Der Opponent bestreitet dies. Wie muß sich der Dialog nun entwickeln? Dies zeige wieder ein Schema:

P	O
1. $A \rightarrow (B \rightarrow A)$	1. A
2. Wieso A?	2. Beweis von A
3. $B \rightarrow A$	3. B
4. Wieso B?	4. Beweis von B
5. A	5. Wieso A?
6. siehe O 2.	

P hätte schon in Zeile 2 gewonnen, wenn O den Beweis von A nicht erbringen könnte. Da O aber dazu in der Lage ist, muß P nun die Konklusion aus seiner behaupteten Implikation in Zeile 1 behaupten. Nun muß O B beweisen, sonst hat er verloren. Da es ihm gelingt, muß P erneut eine Konklusion, nämlich diejenige aus der Implikation $B \rightarrow A$ behaupten; und dies gelingt ihm unter Hinweis darauf, daß O den Beweis von A ja bereits selbst in der zweiten Zeile erbracht hat.

Der Proponent hat also nicht nur gewonnen, sondern er wird diesen Dialog immer gewinnen müssen, ganz gleichgültig, welches der besondere Inhalt von A oder B ist, und ganz unabhängig davon, ob A oder B bewiesen werden können. Die Behauptung $A \rightarrow (B \rightarrow A)$ kann daher allgemein gültig genannt werden, weil sie in jedem beliebigen Dialog verteidigt und gewonnen werden kann; und eben deshalb ist sie eine Behauptung der Logik, genauer, in LORENZENS Terminologie, der sog. effektiven Aussagenlogik, für welche die Idee einer allgemeinen Gültigkeit leitend ist. Eben deswegen kommt in ihr das TND auch nicht vor.

MITTELSTAEDT ist nun der Ansicht, daß unter Berücksichtigung der Quantenmechanik die effektive Aussagenlogik z. T. entweder falsch oder nicht anwendbar werde. Jetzt wird also nicht nur das TND angegriffen; sondern jetzt soll selbst diejenige Logik kritisiert werden, die auf das TND verzichtete und deren allgemeine Gültigkeit eben deswegen erwiesen schien.

Wörtlich schreibt MITTELSTAEDT:

„Entweder man setzt die Kenntnis der Quantentheorie in dem Sinn voraus, daß von zwei Aussagen jeweils bekannt ist, ob sie kommensurabel sind oder nicht – dann bleibt die Logik in vollem Umfang gültig, einige ihrer Gesetze verlieren aber ihre Anwendbarkeit . . . Oder man klam-

mert die Kenntnis der Quantenmechanik ausdrücklich aus ... – dann werden einige Gesetze der klassischen Logik falsch, diejenigen Gesetze der Logik, die auch unter diesen Umständen noch gültig sind, bilden dann in ihrer Gesamtheit die Quantenlogik.“⁵

Wie aber – so wird man sogleich fragen, – kann ein Teil der Logik dadurch falsch werden, daß man ein gewisses empirisches Wissen – nämlich die Kenntnis der Quantenmechanik – nicht besitzt? Und wie kann andererseits ihre Nichtanwendbarkeit davon abhängen, daß man diese Kenntnis hat?

Aber betrachten wir uns MITTELSTAEDTS Gedankengang näher. Er benützt hierbei das bereits vorhin angegebene Beispiel eines Satzes, der immer gültig ist, weil er in einem Dialog immer gewonnen werden kann, nämlich: $A \rightarrow (B \rightarrow A)$. Nehmen wir an, A und B seien komplementäre Aussagen der Quantenphysik, dann bedeutet O 2., daß A durch eine Messung bewiesen wurde, und O 4., daß auch B durch eine Messung bewiesen wurde. Nun kann aber die Proponent in der 6. Zeile nicht mehr auf O 2. verweisen; denn da die Messung, wodurch B bewiesen wurde, diejenige aufhebt, wodurch A bewiesen wurde – es handelt sich ja um komplementäre Aussagen – so ist A in der Zeile 6 gar nicht mehr verfügbar. Auf die Frage des Opponenten „Wieso A?“ (O 5.) kann also der Proponent nicht mehr antworten; er hat folglich, meint MITTELSTAEDT, verloren.

Werde also der Satz $A \rightarrow (B \rightarrow A)$ in Unkenntnis der Quantenmechanik schlechthin und als allgemein gültig behauptet – wie das in der effektiven Logik der Fall ist – so sei das falsch.

Anders liege der Fall, wenn man die Quantenmechanik

⁵ MITTELSTAEDT: a. a. O. S. 128.

schon kenne. Dann könne der Proponent den Dialog über den Satz $A \rightarrow (B \rightarrow A)$ verteidigen. Denn der Opponent würde ja in der vierten Zeile durch den Beweis von B seine eigene Voraussetzung, nämlich den Beweis von A, wieder aufheben. In diesem Falle sei die genannte Implikation eben deswegen allgemein beweisbar, weil sie gar nicht anwendbar wäre.

Aber diese Auffassung ist unhaltbar: Liest man den Satz $A \rightarrow (B \rightarrow A)$ so, wie das die exakten Definitionen der Logik notwendig machen, so wird sogleich klar, daß seine allgemeine Gültigkeit gesichert ist und in keiner Weise von irgendwelchen Kenntnissen der Quantenmechanik abhängen kann. Er lautet nämlich: „Wenn A bewiesen ist, dann ist, wenn B bewiesen ist, auch A bewiesen“. In dem Falle, daß nun A nicht bewiesen ist, bleibt er gültig, weil er eben ja nur für *den* Fall etwas aussagt, in dem A bewiesen ist. Und ist durch den Beweis von B der Beweis von A aufgehoben, so ist doch wieder nur die Prämisse nicht gegeben, die eben lautet, daß A bewiesen ist. Auch dann also bleibt der Satz gültig. Ob ein Satz der Logik in einem gegebenen Falle anwendbar ist oder nicht, ist ohne jedes Interesse. Denn dies berührt nicht seine Wahrheit.

3. Der Versuch Stegmüllers

Daß man im Zusammenhang mit der Quantenphysik von einer nichtklassischen Logik sprechen müsse, hat neuerdings auch STEGMÜLLER behauptet.⁶ Gestützt auf einige Arbeiten von SUPPES⁷ geht er dabei von folgender These aus: „Die Quantenphysik enthält ein wahrscheinlich-

⁶ W. STEGMÜLLER: Theorie und Erfahrung, Berlin 1970.

⁷ P. SUPPES: The Probabilistic Argument for a Non-Classical Logic of Quantum Mechanics, in: Philosophy of Science 33 (1966) S. 14–21.

keitstheoretisches Paradoxon, das sich aus der Verwendung der klassischen Wahrscheinlichkeitstheorie ergibt. Nach der klassischen Wahrscheinlichkeitstheorie muß jedem Element des Ereigniskörpers eine Wahrscheinlichkeit zugeordnet werden. Im quantenphysikalischen Fall treten dagegen Ereignisse auf, für die zwar eine Wahrscheinlichkeit definiert ist, deren Konjunktion jedoch keine Wahrscheinlichkeit zugeteilt ist.“⁸

Die Begründung dieser These sei nun in einer Skizze wiedergegeben, die aber für die darauf folgende kritische Betrachtung hinreichend ist.

Zuerst wird der Begriff „klassischer Ereigniskörper“ definiert. Darunter versteht man u. a. eine nichtleere Menge A von Teilmengen einer Gesamtmenge Ω , so daß für beliebige $a, b \in A$ gilt:

- (1) $\bar{a} \in A$ ($\bar{a} \equiv$ Komplement von a in bezug auf Ω).
- (2) $a \cup b \in A$

Bezogen auf einen Ereigniskörper wird dann ein „additiver Wahrscheinlichkeitsraum“ (wieder u. a. durch Einführung einer Funktion W) folgendermaßen definiert: Für beliebige $a, b \in A$ soll gelten:

- (3) $W(a) > 0$, wenn a nicht die leere Menge \emptyset ist,
- (4) $W(\Omega) = 1$,
- (5) wenn $a \cap b = \emptyset$, dann $W(a \cup b) = W(a) + W(b)$.

Endlich wird noch eine „Zufallsfunktion“ χ bestimmt. Bezeichnen wir z. B. die Kopfseite einer Münze mit 0, die Schriftseite mit 1, und werfen wir dreimal. Dann können wir hierzu die Zufallsfunktion „Anzahl der Kopfwürfe“ bilden und erhalten: $\chi(0,0,0) = 3$, $\chi(0,1,0) = 2$ usf. Es handelt sich also um eine Funktion, die für die

⁸ W. STEGMÜLLER: a. a. O. S. 440.

Elemente einer Menge Ω definiert ist und deren Werte reelle Zahlen sind. Von \mathcal{Z} läßt sich dann eine *Verteilung* $F_{\mathcal{Z}}$ gewinnen, indem die Wahrscheinlichkeitsfunktion W auf bestimmte Mengen angewandt wird, die durch die Zufallsfunktion \mathcal{Z} wie folgt gebildet werden:

$$F_{\mathcal{Z}}(x) = W(\{\xi \mid \xi \in \Omega \wedge \mathcal{Z}(\xi) \leq x\}).$$

Mit diesen Mitteln können die quantenphysikalischen Größen als Zufallsfunktionen gedeutet werden. Für den Erwartungswert E einer Verteilung F gilt somit

$$E(\mathcal{Z}) = \sum_{i=1}^n x_i F'_{\mathcal{Z}}(x_i), \quad F'(x) \equiv \frac{dF(x)}{dx},$$

und für die Standardabweichung S gilt entsprechend

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - E(\mathcal{Z}))^2 F'(x_i)}.$$

Aus dieser Skizze ergibt sich das von STEGMÜLLER behauptete Paradoxon wie folgt:

Die Quantenphysik läßt sich als eine Theorie über Wahrscheinlichkeitsverteilungen von Zufallsfunktionen deuten. Die physikalischen Größen werden dabei durch die Zufallsfunktionen repräsentiert. Wenn nun \mathcal{Z} und \mathcal{Y} Zufallsfunktionen sind, denen die Verteilungen $F_{\mathcal{Z}}$ und $F_{\mathcal{Y}}$ zugeordnet sind, so sollte es eine gemeinsame Verteilung $F_{\mathcal{Z}\mathcal{Y}}$ durch folgende Bildungsvorschrift geben:

$$F_{\mathcal{Z}\mathcal{Y}}(x,y) = W(\{\xi \mid \xi \in \Omega \wedge \mathcal{Z}(\xi) \leq x \wedge \mathcal{Y}(\xi) \leq y\}),$$

denn die in der Klammer auszuführenden Operationen sind nach den Regeln der klassischen Logik und Wahrscheinlichkeitstheorie definiert. *Im Widerspruch hierzu* gibt es in der Quantenphysik zwar zu gewissen Größen eine Verteilung, jedoch keine gemeinsame Verteilung.⁹

⁹ A. a. O. S. 452.

Aus diesem Paradoxon führt nach STEGMÜLLER nur ein vernünftiger Ausweg, nämlich den Begriff des Ereigniskörpers neu zu definieren. Und zwar eben so, daß die Konjunktion zweier Ereignisse a und b nicht allgemein existiert. Das aber würde nach STEGMÜLLER bedeuten, daß der Ereigniskörper, dessen Elemente ja als Sachverhalte bzw. Propositionen aufzufassen sind, nicht mehr die Struktur eines Booleschen Verbandes hätte, (1) und (2) also nicht mehr im Sinne der klassischen Aussagenlogik zu verstehen wären. Eine solche Modifikation laufe daher „tatsächlich auf nichts Geringeres hinaus als auf die *Annahme einer nichtklassischen Logik der Ereignisse*“¹⁰.

Gegen diese Auffassung kann man grundsätzlich auf dieselbe Weise argumentieren wie gegen diejenige von MITTELSTAEDT. Wenn die klassische Logik fordert, daß die Konjunktion zweier Sätze A, B allgemein existiert, dann ist doch selbstverständlich dabei vorausgesetzt, daß sowohl A wie B *unabhängig voneinander wahrheitsdefinit* sind. So bedeutet z. B. die Formel „ $A, B \rightarrow A \wedge B$ “: Wenn sowohl A für sich wie B für sich bewiesen sind, dann ist auch $A \wedge B$ bewiesen. Und wieder bleibt doch die Geltung dieser Formel für den Fall, daß diese Voraussetzung nicht zutrifft, unangetastet.

Nun ist zunächst darauf hinzuweisen, daß STEGMÜLLER bei seiner Erörterung der Quantenlogik mit SUPPES von einer verschärften Unbestimmtheitsrelation ausgeht, der gemäß bei einer Impulsmessung eine Ortsverteilung überhaupt nicht wahrheitsdefinit sein soll und umgekehrt. Damit aber existiert das Paradoxon nach seinen, STEGMÜLLERS eigenen Voraussetzungen gar nicht, von dem er die Notwendigkeit ableitet, eine nichtklassische

¹⁰ A. a. O. S. 455.

Logik der Ereignisse behaupten zu müssen. Denn wenn von zwei möglichen Verteilungen A und B immer nur *eine* wahrheitsdefinit sein kann, so widerspricht es ja auch nicht der klassischen Logik, wenn es von ihnen nicht eine gemeinsame Verteilung gibt.

Daher scheint mir der Ausdruck „Quantenlogik“ irreführend und nichts als Verwirrung stiftend. Die Quantenmechanik hat nicht – wie man heute so oft hört – zu einer neuen Logik geführt, sie hat nicht dem Denken neue Formen gegeben, sie hat nicht die Logik in den steten Fluß und Fortschritt der empirischen Wissenschaften mit hineingerissen. Dagegen setzt auch sie die allgemein gültigen Sätze der effektiven Logik voraus.

Für den hier vertretenen Standpunkt ist es sehr aufschlußreich, sich daran zu erinnern, aus welchen Gründen z. B. REICHENBACH seinen der Quantenmechanik angepaßten Aussagenkalkül, den er eine dreiwertige Logik nennt, entwickelt hat. Er geht hierbei davon aus, daß die durch BOHR und HEISENBERG begründete sog. Kopenhagener Schule zu einer Interpretation quantenmechanischer Vorgänge gelangt ist, welche folgendes Theorem einschließen: „Wenn zwei Aussagen komplementär sind, dann ist höchstens eine davon sinnvoll; die andere ist sinnlos.“

Dieses Theorem sei nun ein physikalisches Gesetz, nämlich nur eine andere Fassung der HEISENBERGSchen Unschärferelation, die ja eine gleichzeitige Messung unvertauschbarer Größen ausschließt. Damit habe dieses Gesetz aber eine semantische Form erhalten, es sage ja etwas über den Sinn von Aussagen aus und gehöre daher zur quantenmechanischen Metasprache. Darin aber liege etwas Unbefriedigendes, ja Unnatürliches. Gesetze werden üblicherweise objektsprachlich formuliert. Auch beziehe sich das genannte Theorem auf die ganze Klasse

sowohl sinnvoller wie sinnloser Sätze; da es aber nur ein Gesetz ausdrücke, so seien damit in gewissem Sinne auch sinnlose Ausdrücke in die Physik aufgenommen.

REICHENBACH entwirft daher seine sog. dreiwertige Logik *nur zu dem Zwecke*, die Unschärferelation im Rahmen einer Objektsprache zu formulieren. Betrachten wir wieder die Behauptung

$$A \vee \sim A \rightarrow \sim \sim B,$$

so heißt sie, metasprachlich interpretiert, zwar: Wenn A wahr oder falsch ist, dann ist B unbestimmt; aber es ist doch ein Ausdruck einer Objektsprache und ließe sich lesen: A oder zyklisch nicht A impliziert zyklisch *nicht nicht* B.¹¹

So zeigt sich: Was mit der sog. dreiwertigen Logik, der sog. Quantenlogik, eigentlich beabsichtigt wird, das ist nichts anderes als eine Art der Formulierung quantenmechanischer Gesetze in einer Weise, wie sie überhaupt in der Physik üblich ist.¹²

¹¹ In der Redeweise REICHENBACHS: A oder nächst A impliziert nächst nächst B.

¹² Auf die zum Thema Quantenlogik erschienenen Arbeiten von E. SCHEIBE (Die kontingenten Aussagen der Physik. Axiomatische Untersuchungen zur Ontologie der klassischen Physik und der Quantentheorie, Frankfurt a. M. – Bonn 1964), von H. LENK (Kritik der logischen Konstanten, Berlin 1968) und von J. D. SNEED (Quantum Mechanics and Probability Theorie, in: Synthese, Heft 1, Bd. 21 [1970]) braucht hier nicht eingegangen zu werden, da ich mich nur auf diejenigen Autoren beschränkt habe, welche die *Unverträglichkeit* von Quantentheorie und klassischer Logik behaupten.

