

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

20. Jahrgang

4. November 1932

Heft 45

Die Quantenmechanik und die Grundprobleme der Biologie und Psychologie.

Von P. JORDAN, Rostock.

I.

Humes Definition von Ursache und Wirkung.
Man verdankt bekanntlich HUME eine Erklärung des Begriffs der „Ursache“, die etwa folgendermaßen lautet: Wenn auf einen Vorgang *A* stets und unvermeidlicherweise ein Vorgang *B* folgt, und *B* nur nach vorangegangenem *A* auftritt (während jedoch *A* ohne Vorhergang von *B* auftreten kann), so ist *A* als „Ursache“ von *B* (und *B* als „Wirkung“ von *A*) zu bezeichnen. Primitives Beispiel: Der Blitz ist die Ursache des Donners.

Diese Erklärung ist auf sehr vielseitigen und entschiedenen Widerspruch gestoßen. Denn sie ist ja nichts anderes, als ein *Verzicht* auf ein „Verstehen“ des Ursachwirkungszusammenhangs: Philosophien, welche behaupteten, daß sie die Naturgesetze „erklären“ könnten (was u. a. ja auch der atomistische Materialismus behauptete), wollten im Begriff der Ursächlichkeit unbedingt etwas von „Zwang“, von „Notwendigkeit“ in einer logisch verstehbaren oder irgendwie unmittelbar einleuchtenden Form sehen. Aber es war gerade das die große Leistung HUMES: erkannt zu haben, daß die ganze Begriffsmystik, welche man um den Begriff der Ursächlichkeit gesammelt hatte, *beseitigt* werden mußte, um diesen Begriff zu einem Begriff der exakten Wissenschaft zu machen. Die Aufeinanderfolge von Ursache und Wirkung in den Naturvorgängen steht nicht in Parallele zur logischen Aufeinanderfolge von Voraussetzung und Folgerung. Sie kann nur *empirisch festgestellt* werden; und bietet, sobald die Feststellung einmal geschehen ist, und sofern diese nicht etwa überholt oder eingeschränkt wird, dem Denken keinerlei Problem des „Verstehens“ mehr dar. Das logische Denken kann sich hernach nur noch damit beschäftigen, das festgestellte Ursachverhältnis von *A* und *B* zu *vergleichen* mit anderen Ursachverhältnissen (anderer Vorgänge *A'*, *B'*), und die Feststellungen mehrerer aufgefundenener Ursachbeziehungen einer umfassenderen Gesamtaussage logisch zu subsummieren.

An einem Begriff von entscheidender Wichtigkeit hat HUME damit die *Zurückführung auf Beobachtbares* vollzogen. Die Physik kann — ebenso, wie die Mathematik — nur auf der Unterlage völlig klarer Grundbegriffe aufgebaut werden. Während aber für die Mathematik diese Unterlage durch die Axiomatik, also wiederum logisch-theoretisch, geliefert wird, ist die Physik auf andersartige Unterlagen angewiesen. Es ist ein schweres Problem gewesen, den Charakter dieser notwendigen Unterlagen richtig zu erkennen; und diejenige Erkenntnis, welche schon von HUME am Beispiel des

Ursachbegriffs entwickelt wurde, und welche gerade in neuerer Zeit zur vollen Klarheit gekommen ist, stößt auch heute noch auf mancherlei Widerspruch. Es ist die Erkenntnis: die Definitionsunterlagen der primärsten physikalischen Begriffe müssen durch unmittelbar *Beobachtbares* gegeben sein.

Der einschneidende Charakter dieser Forderung zeigt sich besonders an ihren *negativen* Wirkungen. Sie verlangt den Verzicht auf jene ganze Begriffsmystik, die im Glauben an die „Zwangsläufigkeit“, die „Notwendigkeit“, die „Verstehbarkeit“ oder „Erklärbarkeit“ der Naturgesetze und der Ursachbeziehungen vorlag: das ganze Zeitalter HUMES hatte ja die (heute noch nicht restlos überwundene) Vorstellung, daß gerade diese hoffnungslos unklaren Begriffe die Grundlage der Naturerforschung und obendrein auch noch Ziel und Tendenz dieser Forschung bestimmen müßten.

Aber die zwingende Kraft der HUMESchen Erkenntnis ist auf die Dauer unwiderstehlich. Man hat die einst so heftig geführten Debatten über die „mechanische Deutung“ der MAXWELLSchen Gleichungen als gegenstandslos aufgeben müssen, da sich keine beobachtbaren Tatsachen als mit dieser Fragestellung verknüpft erwiesen. Man hat von EINSTEIN gelernt, daß sogar der Begriff der „Gleichzeitigkeit“ für räumlich weit getrennte Ereignisse durch Zurückführung auf unmittelbar Beobachtbares zu analysieren ist — und dabei sich relativiert. Und in der Diskussion der durch die Quantenphysik aufgeworfenen Fragen bezüglich Kausalität, Statistik usw. und bezüglich ihrer Zusammenhänge mit außerphysikalischen Gebieten der Naturwissenschaft ist keine Klarheit zu erzielen, wenn man sich nicht auf den sicheren Boden stellt, den uns HUME vorbereitet hat¹.

2.

Die Kausalität. Die Frage nach der Kausalität oder den Determinismus in der physikalischen Welt

¹ Es hat nicht an Versuchen gefehlt, die aus philosophischen Gründen verabscheute HUMESche Definition der Ursache durch konkrete Gegenbeispiele zu widerlegen. Lohnend ist die Kritik dieser Versuche nicht. Erwähnt sei aber ein von einem Philosophen herührendes und von ihm ernst gemeintes Beispiel: „Jedesmal, wenn der Zeiger meiner Uhr auf 12 Uhr 16 Minuten steht, fährt vor meinem Fenster ein Eisenbahnzug vorbei: Also wäre nach HUME diese *Zeigerstellung* (*A*) die *Ursache* für das *Erscheinen des Zuges* (*B*)“. In Wirklichkeit kann bei diesem Beispiel sowohl *A* ohne nachfolgendes *B*, als auch *B* ohne vorhergehendes *A* auftreten. Es genügt, entweder die Uhr umzustellen, oder den Zug zu behindern (was zwar polizeilich ver-

wird im Anschluß an HUME klar formulierbar. Wir denken uns ein abgeschlossenes physikalisches System in einem abgegrenzten Raumteil. Wir sagen, daß alle Vorgänge in ihm „kausal“ verlaufen, wenn behauptet werden kann: Durch den beobachtbaren Zustand des Systems zu einer Zeit t ist der beobachtbare Zustand zu einer späteren Zeit t' eindeutig bestimmt¹.

Es ist dabei natürlich noch nötig, zu definieren, was ein „abgeschlossenes System“ sei; eine Aufgabe, die, wenn man zeitlose *Fernwirkungen* als möglich ansieht, nur eine etwas komplizierte Lösung (unter Benutzung von allerlei mathematischen Grenzübergängen und Konvergenzvoraussetzungen) hat. Sehen wir von diesem Punkte, auf den wir noch zurückkommen, zunächst ab, so ist jedenfalls klar, daß die Behauptung, in der Physik bestehe Kausalität, nach der gegebenen Formulierung *entweder richtig oder falsch* ist; und daß diese Frage zur *empirischen Entscheidung* steht². Obwohl

boten, aber nicht naturgesetzlich unmöglich ist), um empirisch festzustellen, daß gerade nach der HUMESCHEN Definition ein Ursachverhältnis *nicht* vorliegt.

Wenngleich somit dieses Beispiel die Unrichtigkeit der HUMESCHEN Definition nicht zu beweisen vermag, so scheint es uns doch die *dringende Reformbedürftigkeit unseres offiziellen philosophischen Lehrbetriebes* zu beweisen.

¹ M. SCHLICK hat kürzlich empfohlen (Naturwiss. 19, 145 (1931), nicht, für diese „vollständige“ Kausalität das Wort „Kausalität“ zu reservieren, sondern „jede Spur“ von *Gesetzmäßigkeit* als „kausal“ zu bezeichnen. Obwohl dieser Vorschlag, wie SCHLICK hervorhebt, eine Stütze im natürlichen Sprachgebrauch besitzt, so widerspricht er doch unseres Erachtens dem *physikalischen* Sprachgebrauch und scheint vor allem insofern unzuverlässig, als er die Behauptung des Vorhandenseins von Kausalität zu einer *sinnlosen* Aussage macht, weil ihre Negation — die Behauptung „völliger Regellosigkeit“ des Naturgeschehens — eine nicht widerspruchsfrei formulierbare Aussage sein dürfte. Jedenfalls stellt die von SCHLICK versuchte Definition der „Regellosigkeit“ unseres Erachtens gerade eine bestimmte *statistische Gesetzmäßigkeit* dar.

² M. SCHLICK hat in dem obengenannten Aufsatz mit folgender Begründung bezweifelt, daß das Kausalitätsprinzip eine empirisch prüfbare Behauptung sei: Man kann nachträglich in einem konkreten Fall *immer* eine mathematische Formel finden, welche den Zustand Z' des Systems zur Zeit t' als Funktion des Zustands Z zur Zeit t darstellt. Dabei ist jedoch nicht genügend betont worden, daß der physikalische Inhalt des Prinzips gerade in der *Eindeutigkeit* und Allgemeingültigkeit der Bestimmung von Z' durch Z liegt, also darin, daß *jedesmal* nach Realisierung des Zustandes Z sich später *derselbe* Zustand Z' ergibt. (Dazu ist allerdings durchaus erforderlich, daß die MAXWELLSCHEN Forderung des Nichteintretens einer expliziten Abhängigkeit der Naturgesetze von Ort und Zeitpunkt — wie bei SCHLICK näher besprochen — mindestens *soweit* erfüllt ist, daß immer noch *viele* „gleiche“ Zustände Z eintreten innerhalb eines Raumzeitgebietes, in welchem noch praktisch Unabhängigkeit der Naturgesetze von den Raumzeitkoordinaten besteht. Verzichtet man mit SCHLICK auf die MAXWELLSCHEN Forderung, so ist allerdings gegen die SCHLICKSCHEN Ausführungen kein Einwand mehr möglich, so daß die

die KANTSCHEN Erklärung, daß Kausalität notwendige *Voraussetzung* für die *Möglichkeit der physikalischen Wissenschaft* sei, zweifellos eine scharfsinnige und richtige Bemerkung enthält, so ist es doch eine völlig ungerechtfertigte Übertreibung, aus der Existenz einer wissenschaftlichen Physik auf das Vorhandensein exakter, deterministischer Kausalität zu schließen. Im Gegenteil ist die Existenz von Physikern, welche aus ihren Forschungsergebnissen ein indeterministisches Verhalten physikalischer Systeme erschlossen haben, eine empirische Tatsache.

Die obenerwähnte Komplikation in der Formulierung des Kausalitätsprinzips durch Benutzung abgeschlossener Systeme ist überflüssig geworden durch die Relativitätstheorie, welche nicht nur ausschließliche *Nahewirkungsgesetze*, sondern auch eine endliche Grenze c der Ausbreitungsgeschwindigkeiten aller physikalischen Wirkungen fordert. Man kann danach die Behauptung des Determinismus so formulieren, daß der beobachtbare Zustand in einem Raumzeitpunkt r', t' eindeutig bestimmt ist durch die beobachtbaren Zustände in allen Raumzeitpunkten r, t , welche zu einer bestimmten früheren Zeit t und einer Entfernung $|r - r'|$ von r' gehören, die kleiner als $c(t' - t)$ ist. (Weltgeometrisch ausgedrückt: die im Innern der Schnittkugel des von r', t' aus rückwärts gezogenen *Lichtkegels* mit dem fraglichen Raume $t = \text{const.}$ liegen.)

3.

Das Problem der Beobachtbarkeit. Die Erfahrung zeigt, daß die Mechanik des Planetensystems innerhalb der Grenzen der astronomischen Beobachtungsgenauigkeit ein Beispiel exakter Kausalität liefert. Die zu einer Zeit t bestehenden Orte und Geschwindigkeiten der Planeten und der Sonne bestimmen eindeutig Orte und Geschwindigkeiten für jede spätere Zeit t' . Auf keine Weise kann aus philosophischen Spekulationen heraus aprioristisch bewiesen werden, daß das so sein *muß*. Es wäre wohl logisch möglich, daß die immer verfeinerte Beobachtung eines Tages zeigen würde: bei sehr exakter Messung von Orten und Geschwindigkeiten zur Zeit t und zur Zeit t' zeigt sich, daß der Zustand zur Zeit t' nicht ganz exakt durch den Zustand zur Zeit t festgelegt ist, sondern daß in akasualer Weise dem Zustand zur Zeit t' auch bei beliebig exakter Festlegung des Zustandes zur Zeit t ein gewisser *Spielraum* verbleibt.

Erfahrungen, die wir zwar nicht dem Astronomen, sondern dem Atomphysiker verdanken, haben jedoch das Kausalitätsprinzip in einer noch tieferen Schicht angegriffen. Tatsächlich besteht für jede Vorhersage eines physikalischen Natur-

Diskrepanz der hier vertretenen Auffassung der SCHLICKSCHEN gegenüber mehr die Terminologie und Begriffsbestimmung als den sachlichen Inhalt betrifft. Die hier gebrauchten Begriffsbestimmungen scheinen mir jedoch *naturgemäßer*, weil die Physik ja bislang noch keinerlei Veranlassung gehabt hat, am exakten Erfülltsein der MAXWELLSCHEN Forderung zu zweifeln.

vorganges ein akausaler Spielraum, dessen Auftreten jedoch aufgefaßt werden kann als sekundäre Folge aus einer grundsätzlichen *Beschränkung* der von der klassischen Theorie angenommenen *Beobachtungsmöglichkeit*. Die in der klassisch-kausalen Physik als *selbstverständlich* angenommene Möglichkeit, Ort und Geschwindigkeit eines Massenpunktes zu einer Zeit t mit *grundsätzlich* unbeschränkter, wenn auch praktisch stets endlicher Genauigkeit zu „messen“, wird von der heutigen Physik als der *Erfahrung widersprechend* angesehen. Die *Voraussetzung* für die exakt-kausale Berechnung des zu erwartenden Ergebnisses einer Messung zur späteren Zeit t' ist also — so behauptet die heutige Physik — *grundsätzlich unvollziehbar*¹. Legt man durch Messung die x -Koordinate eines Massenpunktes mit einem Spielraum Δx und die x -Komponente v_x der Geschwindigkeit mit einem Spielraum Δv_x fest, so ist auch im günstigsten Fall, bei denkbar genauester Messung, das Produkt $\Delta x \Delta v_x$ größer als h/M , wenn h das PLANCKSCHE Wirkungsquantum und M die Masse des Massenpunktes ist: Es gibt, wie die Atomphysiker ermittelt haben, *Naturgesetze*, welche die Ausführung einer noch genaueren Messung *grundsätzlich verbieten*; eine Festlegung des Ortes mit der Genauigkeit Δx *erzeugt* eine Unbestimmtheit Δv_x der Geschwindigkeit, die mindestens gleich $h/M \Delta x$ ist. Zwar ist für einen Planeten, und auch für irdische „makroskopische“ Gegenstände, das Verhältnis h/M so klein, daß *innerhalb der praktischen Beobachtungsgrenzen* die exakte Gültigkeit des Kausalgesetzes nicht in Frage gestellt wird. Aber für atomare Gebilde erreicht diese Beschränkung der Beobachtungsmöglichkeiten eine *beherrschende* Bedeutung und ist maßgeblich beteiligt an allen den paradoxen Erscheinungen, welche uns im atomaren Geschehen entgegentreten, und welche jahrzehntelang so schwere Hindernisse für die theoretische Aufhellung dieses Gebietes gebildet haben.

Die heutige Physik mit dem ganzen Schwergewicht ihrer tausendfältigen Erfahrungen beschränkt also nicht nur das *Kausalprinzip* auf die Rolle einer nur mit Einschränkungen und bestenfalls mit einer gewissen Annäherung, mit endlichem Spielraum der Ungenauigkeit anzuwenden- den Regel — deren scheinbar exakte Gültigkeit im makroskopischen Gebiet nur davon herrührt, daß hier die *praktischen* Grenzen der Beobachtungsgenauigkeit enger gezogen sind als die grundsätzliche Beschränkung der Anwendbarkeit des Kausalitätsprinzips. Sondern die Erfahrungen der Physik erschüttern sogar eine philosophische Position, die noch viel fester gegründet, noch viel „selbstverständlicher“ erschien als das Kausalitätsprinzip:

¹ Man hat deshalb gelegentlich gesagt, daß das Kausalprinzip in der Quantentheorie nicht falsch, sondern *sinnlos* werde; diese Darstellungsweise des Sachverhaltes ist jedoch nur auf Grund einer von der hier gebrauchten abweichenden und meines Erachtens nicht zweckmäßigen Terminologie möglich.

die Auffassung des Verhältnisses von *Subjekt und Objekt* in der wissenschaftlichen Erkenntnis¹.

Der klassisch-philosophischen Vorstellungsweise war es selbstverständlich, daß die Beobachtungstätigkeit des Subjekts sich auf ein Objekt bezog, das *unabhängig vom Subjekte* sei und *unbeeinflußt vom Beobachtungsvorgang* bleiben sollte. Es ist uns eine selbstverständliche Vorstellung, daß wir einen Planeten durch ein scharf eingestelltes Fernrohr beobachten können, ohne durch diese Beobachtung den „objektiven“ Zustand (Ort und Geschwindigkeit) des Planeten *abzändern*. Aber im mikrophysikalischen Gebiet offenbart sich etwas ganz anderes: hier ist die Beobachtung stets und notwendigerweise zugleich ein *Eingriff* in den Zustand des beobachteten Systems. Das steht in enger Verknüpfung mit der Grundtatsache der atomistischen Struktur aller Materie und sogar des Lichtes: Zur Ausmessung eines Atoms stehen uns niemals Beobachtungsinstrumente zur Verfügung, die selber *feiner* als dieses Objekt sind; so daß die zur Beobachtung nötige Einwirkung des Objektes auf das Meßinstrument stets von einer ebenso großen Einwirkung des Meßinstrumentes auf das Objekt begleitet ist. Wenn ich etwa an einem kräftefrei bewegten Elektron die Geschwindigkeit mit sehr großer Genauigkeit gemessen habe, so daß die Unbestimmtheit des Ortes sehr erheblich wird, und wenn ich dann in einem späteren Experiment eine sehr genaue Messung des Ortes ausführe (durch „Besehen“ des Elektrons in einem „ γ -Strahl-Mikroskop“), dann stellt die im Messungsergebnis erreichte scharfe *Bestimmung* des Elektronenortes nicht nur eine Bereicherung meines subjektiven Wissens, sondern auch die *Herstellung eines objektiv neuen Zustandes* dar; der beobachtete Zustand „Elektron am sehr scharf bestimmten Orte x, y, z “, wird erst *im Messungsprozeß* selbst *geschaffen*.

Die „Beobachtung“ im mikrophysikalischen Geschehen bedeutet also keineswegs einfach ein bloßes „Bekanntwerden“ des Subjekts mit *sowieso vorhandenen* „objektiven“ Tatbeständen, sondern einen die zu beobachtenden Tatbestände zum Teil erst selber erzeugenden Prozeß. Wenn wir den Ort eines Elektrons „messen“, so heißt das, wir *zwingen* das Elektron, einen definierten Ort *anzunehmen*; wir versetzen damit das Elektron in einen von seinem bisherigen (im allgemeinen) völlig verschiedenen Zustand. *Welchen* Ort das Elektron unter diesem Zwange annimmt, das wird dann zwar von uns nur „registriert“, hängt nicht vom Willen des Experimentierenden ab — sodaß nur ein Teil des Beobachtungsergebnisses (eben die Entstehung eines *definierten* Ortes) vom Beobachter erzwungen ist, während die *Entscheidung* über den angenommenen Ort vom Beobachter nicht beeinflußt werden kann. Aber eben diese Entscheidung ist auch vom Objekt her in keiner Weise *eindeutig vorher bestimmt*; sie ist nur *statistisch*.

¹ Vgl. N. BOHR, Atomtheorie und Naturbeschreibung. Berlin 1931.

Gesetzmäßigkeiten unterworfen, gehorcht Wahrscheinlichkeitsgesetzen, die sich für den gerade vorliegenden Fall aus dem früheren Schicksal des Elektrons (etwa einer an ihm ausgeführten Geschwindigkeitsmessung, die zu einem uns bekannten Ergebnis führte) auf Grund der in der Schrödingergleichung allgemein formulierten „Charaktereigenschaften“ des Elektrons rechnerisch bestimmen lassen.

So ist denn die Physik der atomaren Vorgänge eigentlich nicht eine Beschreibung objektiver, in sich abgeschlossener Tatbestände, sondern eine Beschreibung der Gesetzmäßigkeiten von *Beobachtungsprozessen*, in welchen sich in eigentümlicher Weise eine Entstehung neuer, unvorhersehbarer Tatbestände unter Zwang der Beobachtungsexperimente vollzieht.

Diese Erschütterung der klassisch-philosophischen Vorstellung des von der Beobachtung unberührten Objektes bedingt übrigens eine gewisse Abmilderung eines Gegensatzes, der von fast allen früheren Philosophen als ein *absoluter*, grundsätzlicher und vollkommener betrachtet wurde; wir meinen den Gegensatz zwischen objektiver Beobachtung und rein subjektivem Erleben. Man ist gewohnt, von der Betrachtung und Beobachtung der sog. „Außenwelt“ die Beobachtung der eigenen subjektiven „Innenwelt“ grundsätzlich zu unterscheiden. Aber dieser Unterscheidung wird eine Hauptstütze entzogen mit der experimentellen Widerlegung der Vorstellung, daß in der „Außenwelt“ Tatbestände vorlägen, welche unabhängig vom Beobachtungsprozeß ein „objektives“ Dasein besitzen. Das grundsätzliche Hindernis, das sich einstellt, sobald man versucht, durch psychologische *Selbstbeobachtung* Aufschluß über den Ablauf von eigenen Denk- oder Willensvorgängen zu gewinnen, ist ja eben dieses, daß gerade die Tätigkeit der Selbstbeobachtung einen tiefgreifenden Einfluß auf alle psychischen Reaktionen ausübt, sodaß die zu beobachtenden Prozesse durch die Beobachtung selbst wesentlich abgeändert werden. Ganz analog ist aber die Lage der Dinge in der Mikrophysik (und aus der Methodik, mit welcher die Quantentheorie die dadurch bedingten Schwierigkeiten überwunden hat, wird die Psychologie meiner Überzeugung nach ganz wesentliche Anregungen zu schöpfen haben); und mit dieser Analogie entfällt eines der Hauptkriterien für die *grundsätzliche* Unterscheidung von Außen- und Innenwelt.

4.

Statistische Naturgesetzlichkeit. Der Experimentator ist nicht imstande, durch genaue Beobachtung eines Radiumatoms Kriterien dafür zu finden, ob dieses Atom schon in der nächsten Sekunde oder vielleicht erst nach zehn Millionen Jahren radioaktiv zerfallen wird. Der Determinismus behauptet: das liegt nur an der Unvollkommenheit der heutigen Experimentiertechnik. Die Quantenphysik, gestützt auf eindringende

Kenntnis der Natur des atomaren Geschehens, behauptet: das ist ebensosehr im *Wesen der Sache* begründet, wie die Unmöglichkeit einer experimentellen Feststellung des „Ätherwindes“.

An die Stelle einer exakt-kausalen, eindeutigen Determinierung der künftigen Zustände eines physikalischen Systems durch seinen früheren Zustand und etwaige äußere Einflüsse tritt in der Atomphysik eine *statistische* Aussage, eine Bestimmung von *Wahrscheinlichkeiten* für die *verschiedenen* möglichen Verhaltensweisen des Systems gegenüber dem *Eingriff* einer neuen „Beobachtung“.

Man hat allerdings gelegentlich geglaubt, ein Fortbestehen kausaler Bestimmtheit auch in der Quantentheorie deshalb behaupten zu können, weil die „Schrödingerwellen“ sich zeitlich in einer durch einen bekannten Anfangszustand *eindeutig* bestimmten Weise entwickeln. Aber dieses Argument beruht auf einem Mißverständnis des Zusammenhangs dieser mathematisch konstruierten Schrödingerwellen mit den beobachtbaren Tatsachen: Trotz eindeutiger Bestimmtheit der Schrödingerfunktion sind für die Ergebnisse neuer Experimente *keine* eindeutigen Schlüsse möglich, weil die Messungsergebnisse eben durch die Schrödingerfunktion *statistisch* bestimmt werden; das Mißverständnis ist also genau so primitiv, als wenn man sagen wollte, die Ergebnisse eines Würfelspieles seien *deshalb* kausal determiniert, weil sich für jedes mögliche Ergebnis eine *eindeutig* bestimmte *Wahrscheinlichkeit* berechnen lasse.

Die praktisch vollkommene Gültigkeit kausaler Gesetze im makroskopischen Gebiet erklärt sich im Rahmen der statistischen Atomphysik als ein *Grenzfall*: es ist hier stets ein gewisser eindeutig bestimmter Ablauf des Geschehens gegenüber den unendlich vielen anderen statistisch *möglichen* Abläufen durch eine so ungeheuer überwiegende Wahrscheinlichkeit ausgezeichnet, daß wir praktisch uns vollkommen auf das tatsächliche Eintreten dieses ausgezeichneten Ablaufs verlassen können. Aber auch die extrem unwahrscheinlichen Ereignisse müssen gelegentlich einmal wirklich geschehen; man muß *grundsätzlich* z. B. mit der Möglichkeit einer plötzlichen Steigerung in der Aktivität eines radioaktiven Präparates rechnen, *ohne daß dabei die Frage nach der „Ursache“ dieses wunderlichen Ereignisses berechtigt ist*. Und man kann etwa beim Auftreten einer neuen „*Mutation*“ an einer Pflanzenart unter Umständen durchaus im Zweifel sein, ob es berechtigt ist, die Frage zu stellen, *aus welchem Grunde* diese Mutation erst jetzt und nicht schon vor Jahrtausenden aufgetreten ist: Hier werden wir mit größter Deutlichkeit daran erinnert, daß unser wissenschaftliches „Verstehen“ der Natur nichts anderes bedeutet als die Einordnung der einzelnen Beobachtung in das geordnete System unserer Gesamterfahrung. Wir „verstehen“ ein Ereignis, wenn wir seine „Ursache“ auffinden können; aber nach der Definition des Ursachbegriffes bedeutet das ledig-

lich die Feststellung, daß das im jetzigen konkreten Einzelfall beobachtete Ereignis erfahrungsgemäß *immer* dann eintreten pflegt, wenn das als „Ursache“ bezeichnete Ereignis vorausgegangen ist. Unser „Verstehen“ bedeutet also, daß wir den *Einzelfall* als anderen Einzelfällen ähnlich, und somit einer *allgemeinen Regel* entsprechend erkennen. Danach muß aber in einer von nur statistischen Gesetzen beherrschten Natur unser Verstehen dort *enden*, wo nicht mehr allein die allgemeingesetzlich bestimmte Wahrscheinlichkeit, sondern das tatsächliche Einzelereignis selber in den Vordergrund der Betrachtung rückt; an Stelle des „Verstehens“ tritt die bloße „historische“ Beschreibung¹.

5.

Die Frage der Willensfreiheit. Die Problematik des Kausalitätsprinzips steht in unauflösbarer Verknüpfung mit einer über das Gebiet der Physik hinausreichenden, philosophisch hochbedeutsamen Frage: der Frage der „Willensfreiheit“.

Die Behauptung des Determinismus ist diese (wir müssen sie, damit sie überhaupt einen *Sinn* bekommt, genauer formulieren, als in vor-quantenmechanischer Zeit getan wurde): *Aus dem beobachtbaren Zustand eines Menschen zur Zeit t läßt sich bei Beobachtung aller auf ihn wirkenden Einflüsse sein Zustand zu einer späteren Zeit t' eindeutig berechnen.*

Das ist eine klare Behauptung, die entweder richtig ist oder falsch; und ich glaube nicht, daß man heute noch, nach den Ergebnissen der Atomphysik, über ihre Richtigkeit oder Unrichtigkeit ernsthaft verschiedener Meinung sein kann.

Wenn ich z. B. den physiologischen Gehirnzustand eines Menschen möglichst genau untersuchen will, so muß ich ihn dazu *töten*. Man hat dies früher für einen *unwesentlichen* Umstand gehalten, und man könnte natürlich denken, daß der Fortschritt der Beobachtungsmethoden künftig eine vollkommene Beobachtung des Zustands in Gehirn, Nerven und allen anderen Körperteilen eines Menschen möglich machen werde, ohne daß der Mensch durch operative Eingriffe, Röntgendurchleuchtung usw. geschädigt oder getötet werden muß. Aber die in der Atomphysik gemachten Erfahrungen ermahnen uns, mit BOHR² die Möglichkeit ins Auge zu fassen, daß doch ein *Eingriff* in die Konstitution des Menschen ein naturgesetzlich *notwendiges Korrelat* jeder eindringlichen Beobach-

tung sein könnte — ähnlich, wie mit jeder Beobachtung an einem Atom ein verändernder Eingriff verbunden ist. Man beachte übrigens, daß die schädigenden Wirkungen einer Röntgendurchleuchtung *nicht* eine *zufällige*, diesem Untersuchungsmittel anhaftende Unerfreulichkeit darstellen, sondern im tiefsten quantenphysikalischen Wesen dieser Strahlung begründet sind. Wir dürfen geradezu sagen: die bei Röntgendurchleuchtung eintretenden Schädigungen an einem Organismus stehen in Paralle dazu, daß bei „Besehen“ eines Elektrons mit einem γ -Strahlen-Mikroskop der Impuls des Elektrons einschneidend gestört wird (was engstens mit den Ungenauigkeitsregeln $\Delta x \Delta v_x > h/M$ zusammenhängt). Denn beide Effekte beruhen auf der Größe der Lichtquanten $h\nu$ und ihrer Rückstöße $h\nu/c$ bei hoher Frequenz ν .

Um sichere Auskunft zu gewinnen, wollen wir die verbreitete Hypothese zugrunde legen, daß die Gesetze des Organischen vollkommen auf die bekannten Gesetze des Anorganischen zurückzuführen seien. (Obwohl diese Hypothese von vornherein ebenso unbegründet ist, wie die früher gehegte Meinung, daß z. B. die Gesetze der Elektrizität auf die Gesetze der Mechanik zurückzuführen seien.) Diese Hypothese liefert ja gewiß die *günstigsten* Voraussetzungen für eine etwaige *Bejahung* der deterministischen Behauptung: Niemand wird vermuten wollen, daß ausgerechnet im Organischen die Quantenmechanik zugunsten der *klassischen* Mechanik außer Kraft gesetzt sei. Danach ist die entscheidende Frage, ob die organischen Gebilde, z. B. der Mensch, als wesentlich *makroskopische* Gebilde angesehen werden dürfen: Nur dann ist die Möglichkeit gegeben, eine (praktisch) vollkommene kausale Bestimmtheit der Reaktionen eines organischen Wesens *trotz des uns bekannten akausalen Verhaltens atomarer Gebilde* zu erwarten, wenn *die ganze Kausalkette* dieser Reaktionen im makroskopischen Gebiet verläuft. Das ist aber, wie von BOHR betont wurde, erfahrungsgemäß *nicht* der Fall. Gerade solche organischen Reaktionen, durch welche nach den Ergebnissen der Physiologie die grob makroskopischen Reaktionen des Tier- und Menschenkörpers *dirigiert* werden (z. B. feinste Lichtwahrnehmungen; ferner wahrscheinlich Zellkernreaktionen etwa bei Zeugungsprozessen) sind nach Ergebnissen der Physiologie vielfach von einer bis ins atomistische Gebiet reichenden Feinheit; sind also deterministischer Kausalität *nicht* mehr unterworfen.

Die Behauptung des Determinismus, die „Verneinung der Willensfreiheit“, ist also in dem einzigen Sinn, den ihr der Naturwissenschaftler zuschreiben kann, nach dem heutigen Stande unserer Erkenntnis durch die Erfahrungen der Physiologie einerseits und der Atomphysik andererseits *widerlegt*. „L'homme machine“, diese Behauptung ist schlechtweg *unrichtig*.

Das gehört also zum *Wesen des Lebendigen*: Für die anorganische Natur ist kennzeichnend, daß die statistische Akausalität der atomaren Reaktionen

¹ Ein Element bloßer Beschreibung ohne Möglichkeit gesetzmäßigen Verstehens ist auch in einer kausal-deterministischen Theorie vorhanden, jedoch handelt es sich dabei nur um eine „geographische“ Beschreibung, da aus dem vollständig beschriebenen Weltzustand an einem einzigen Zeitpunkt t der zeitliche Verlauf aller Geschehnisse gesetzmäßig abzuleiten ist.

² N. BOHR, a. a. O. Ich möchte auch bei dieser Gelegenheit Herrn N. BOHR meinen Dank aussprechen für die vielfältige Belehrung, die ich in den letzten Jahren von ihm durch mündliche und briefliche Unterhaltungen über die Bedeutung der quantenmechanischen Erkenntnisse für die Probleme der Biologie und Psychologie erhalten habe.

durch „*Mittelbildung*“ dazu führt, daß in makroskopischen Dimensionen praktisch vollkommene Kausalität besteht. Für die organische Natur ist kennzeichnend, daß die Akausalität bestimmter atomarer Reaktionen sich *verstärkt* zur makroskopisch wirksamen Akausalität.

Es ist von philosophischer Seite oft versucht worden, das *subjektive Gefühl* der „Willensfreiheit“ als nicht im Widerspruch mit der deterministischen Hypothese stehend nachzuweisen. Diese Betrachtungen sind mit der physikalischen Widerlegung der deterministischen Hypothese gegenstandslos geworden; und man wird, wie von BOHR (a. a. O.) angedeutet wurde, im Gegenteil jetzt einen engen *Parallelismus* in der einerseits physiologischen und andererseits psychischen Beschreibung der Reaktionen eines organischen Wesens vermuten dürfen. (An das Denken in solchen *Parallelismen* haben wir uns ja inzwischen auf rein physikalischem Gebiet bereits gewöhnt durch die „dualistische“ Beschreibung der Elektronenbewegung mit dem Wellenbegriff einerseits und dem Partikelbegriff andererseits). Dies möge an dem oben besprochenen Experiment der möglichst vollständigen „Beobachtung“ des Zustandes eines Menschen erläutert werden, welches wir uns der Anschaulichkeit halber *langsam* und Schritt für Schritt ausgeführt denken wollen: Physiologisch bedingen die mit der Beobachtung verbundenen *Eingriffe* eine fortschreitende *Abtötung* des Menschen, mit dem Endeffekt, daß tatsächlich eine möglichst vollkommene Beschreibung des Zustands zu einer Zeit t erreicht wird, und daß kausal deterministische Weiterentwicklung dieses Zustands („Verwesung“) für spätere Zeiten t' erzwungen wird. Dabei geht die „Unterdrückung der Akausalität“ genau parallel mit dem Prozeß der Abtötung. Beschreiben wir aber denselben Vorgang von der psychischen Seite aus, so wird die schädigende Wirkung der physiologischen Eingriffe sich bemerkbar machen in Empfindungen, welche — ähnlich wie etwa diejenigen eines Fieberzustandes — *das subjektive Gefühl der Willensfreiheit lähmend beeinflussen*; und es scheint berechtigt, zu vermuten, daß sich dabei im einzelnen ein sehr vollständiger Parallelismus bewähren wird zwischen dem physiologischen Prozeß der „Unterdrückung der Akausalität“ (durch „Beobachtung“) und diesem psychischen Prozeß des Hinschwindens und schließlichen Erlöschens der Willensempfindung.

6.

Das Wesen des Organischen. Es muß also als eine feststehende Tatsache im Hinblick auf die Erfahrungen der Atomphysik und der Physiologie betrachtet werden, daß eine deterministische Auffassung der Lebensvorgänge mit den Ergebnissen der Naturwissenschaft nicht in Einklang zu bringen ist, da sie sich sogar dann als unhaltbar erweist, wenn man ausdrücklich annimmt, daß die organischen Reaktionen nur eine Summierung solcher atomarer Reaktionen darstellen, welche nach den

gewöhnlichen, uns heute endlich zuverlässig bekannten Gesetzen der Atomphysik verlaufen. Nachdem wir aber soweit gegangen sind in der durch die experimentelle Erfahrung erzwungenen Überwindung historischer alter Vorurteile, werden wir auch diese letztere Hypothese mit der gebotenen Kritik bewerten.

Vergegenwärtigen wir uns zunächst noch einmal den genauen Sinn dieser Hypothese, so, wie wir ihn in Rücksicht auf Atomphysik und Physiologie fassen müssen: Wir können die Reaktionen eines Organismus in zwei *Zonen* einteilen (welche jedoch vielfach ohne hervortretende Grenzen ineinander übergehen). Erstens die Zone der makroskopischen Kausalität, in welcher alle Reaktionen in beobachtbarer Weise nach kausalen mechanischen und chemischen Gesetzen verlaufen. Zweitens die Zone der „dirigierenden“ Reaktionen, welche sich an sehr geringen Substanzmengen bis zu atomarer Größenordnung herunter abspielen, welche also (nach Ausweis der Atomphysik) nicht kausal determiniert sind, welche aber andererseits (nach Ausweis der Physiologie) gerade auslösend gegenüber den Reaktionen der ersten Zone wirken.

Nach dieser Hypothese würde also die Struktur und Funktionsweise eines Organismus ganz dieselbe sein, wie diejenige einer *Verstärkeranordnung*, wie sie vom Physiker benutzt wird, um die akasalen *Schwankungen* eines stationären Prozesses bzw. seine *atomaren Einzelprozesse* zu *makroskopischen* Effekten zu verstärken. Nach dieser Auffassung — nennen wir sie kurz die *Verstärkertheorie* der Organismen — ist ja eine auffällige Verschiedenheit des Verhaltens der Organismen gegenüber den Gebilden der anorganischen Natur schon ohne weiteres verständlich. Ein Organismus wird nach dieser Theorie *im Einzelfall akasal* reagieren, und sich damit wesentlich von anorganischen Gebilden unterscheiden. Sein Verhalten gegenüber irgendwelchen Einflüssen wird jedoch bestimmten *statistischen Gesetzen* unterworfen sein — wie sie ja tatsächlich z.B. in einer großen *Herde* gleichartiger Organismen unmittelbar sichtbar werden.

Obwohl aber somit die Verstärkertheorie der Organismen in einem recht erheblichem Umfang ein Verständnis der biologischen Tatsachen ermöglichen und zum Teil das Richtige treffen dürfte, so möchten wir doch mit BOHR der Überzeugung sein, daß die auffällige *Stabilität* der Organismen, welche in dem „teleologischen“ Charakter ihrer Reaktionen zum Ausdruck kommt, durch die Verstärkertheorie allein nicht verstanden werden kann. Es dürfte vielmehr die „innere“ Zone der nichtkausalen Reaktionen, welche als der Sitz der *Einheit* eines Organismus konstituierenden Reaktionsfähigkeiten anzusehen ist, durch einen *noch höheren Grad der Nichtbeobachtbarkeit* ihrer physikalischen Zustände ausgezeichnet sein, als wir aus der Atomphysik kennen. Die in Mikroskopen noch wahrnehmbaren feinsten organischen Strukturelemente, wie etwa Chromosomen, bestehen augenscheinlich *nicht* aus Teilen, die ihrer-

seits in sich homogen, aber noch aus vielen gleichartigen Molekülen zusammengesetzt sind, sondern es dürfte der Versuch, ein Chromosom in Teile zu zerlegen, die ihrerseits keine Inhomogenitäten und Strukturen mehr besitzen, bis in Zerlegungen von ungefähr atomarer Größenordnung hinunter führen. Diesem Tatbestand entsprechend wird es überhaupt nicht möglich sein, den physikalischen Zustand innerhalb eines Chromosoms *ohne eine Zerstörung seiner Funktionsfähigkeit* mit derjenigen Genauigkeit beobachtend festzulegen, welche nach der Quantenmechanik bei einer unbelebten Atomanhäufung immerhin noch erreichbar ist. Es dürfte also zwischen dem Zustand der *Lebendigkeit* einer organischen Struktur einerseits und dem Zustand einer bis an die atomphysikalisch mögliche Grenze gehenden *Definiertheit* der physikalischen Bedingungen andererseits eine ähnliche *Unvereinbarkeit* bestehen, wie etwa zwischen dem Zustand eines Massenpunktes mit scharf definiertem Impuls $M v_x$ und dem Zustand mit scharf definiertem Ort x . Die Überführung eines Zustandes der Belebtheit in einen Zustand größtmöglicher Definiertheit bedeutet eine radikale *Ablötung*: Die Ganzheit

des Organismus löst sich auf, und es verbleibt nur die quantenmechanische Akausalität der zusammenhanglosen atomaren Einzelreaktionen, welche sich im allgemeinen nicht mehr zu makroskopischen Effekten ohne feststellbare Verursachung steigern.

Es ist der schönste Erfolg einer wissenschaftlichen Theorie, wenn sie Anregung und Befruchtung über die Grenzen ihres Entstehungsgebietes hinaus zu geben vermag. Der *revolutionäre Charakter* der Quantentheorie erweist sich weit über die Physik hinaus in den völlig neuartigen Gesichtspunkten, die sie zur Diskussion der tiefsten Probleme der Philosophie, der Willensfreiheit und des Verhältnisses von Subjekt und Objekt, beiträgt, und den weittragenden Anregungen, welche sie der Biologie und Psychologie zu bieten hat. Im Anblick der großen Perspektiven, die uns hier die Zukunft eröffnet, ist es eine Pflicht der Dankbarkeit, HUMES zu gedenken, dessen Analyse des Ursachbegriffes den Weg wiesen und die Möglichkeit gegeben hat, diese Fragen aus dem Bereich des leeren Streites um Worte in das Bereich der sachlichen Entscheidung zu bringen.

Kurze Originalmitteilungen.

Unter Mitwirkung von MAX HARTMANN, MAX V. LAUE, CARL NEUBERG, ARTHUR ROSENHEIM und MAX VOLMER.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Der Herausgeber bittet, 1. im Manuskript der *kurzen Originalmitteilungen* oder in einem Begleitschreiben die Notwendigkeit einer baldigen Veröffentlichung an dieser Stelle zu *begründen*, 2. die Mitteilungen auf einen Umfang von höchstens einer Druckspalte zu beschränken.

Die Darstellung von atomarem Wasserstoff für organisch-präparative Zwecke.

Die systematische Untersuchung der Einwirkung von atomarem Wasserstoff auf organische Stoffe war bisher dadurch behindert, daß man hinreichend große Mengen und Konzentrationen H nur in der Glimmentladung nach WOOD-BONHOEFFER erzeugen konnte. Bei den niedrigen Drucken verdampfen aber die meisten organischen Stoffe in störender Weise, so daß genauer nur die Einwirkung auf Ölsäure untersucht worden ist. Die Aktivierung im Lichtbogen (HABER und OPPENHEIMER, Phys. Chem. B 16, 1932) ergab zu

geringe Ausbeuten für präparative Arbeiten. Durch Aktivierung an einer Wolframwendel, die in einem wassergekühlten, mit Phosphorsäure ausgekleideten Glasrohr brennt, gelang es uns, bei einem Druck von einigen cm Hg hinreichende Mengen atomaren Wasserstoffs zu erhalten. So konnten wir in vorgelegten 7 Gramm Ölsäure nach 40 Minuten eine kräftige Ausscheidung von Stearinsäure beobachten. Die Strömungsgeschwindigkeit des Wasserstoffs betrug 4 Liter/Stunde, der Energieverbrauch 130 Watt.

Erlangen, Chemisches Laboratorium der Universität, den 27. September 1932. HANS KROEPFELIN. ERWIN VOGEL.

Besprechungen.

LORENTZ, H. A., *Vorlesungen über theoretische Physik an der Universität Leiden, Band V: Die Maxwell'sche Theorie*. Bearbeitet von K. BREMEKAMP; übersetzt von H. STÜCKLEN. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft 1931. VII, 199 S. 15×23 cm. Preis geh. RM 15.—, geb. RM 16.20.

Die von dem holländischen Meister selbst verfaßten Darstellungen „Theory of Electrons“ und „Les theories statistiques en thermodynamique“ gelten mit Recht als Glanzstücke der physikalischen Literatur. Ihr Reiz liegt nicht allein in der Klarheit und Strenge der mathematischen Entwicklungen, sondern vor allem in der physikalischen Gründlichkeit, mit welcher die Bedeutung eines einmal gewonnenen Zusammenhanges nach den verschiedensten Richtungen hin durchdiskutiert wird. Jeder Leser, welchem jene Werke als Vorbilder einer umfassenden Darstellung lieb geworden sind, wird die nach dem Tode von H. A. LORENTZ herausgegebenen Vorlesungen über theoretische Physik und insbesondere den vorliegenden, der MAXWELLSchen Theorie gewidmeten Band nicht ohne eine gewisse Enttäuschung aus der Hand legen.

Das Buch ist wohl nicht als Lehrbuch der theoretischen Elektrizitätslehre für Studenten oder Ingenieure gemeint, sein Zweck scheint vielmehr zu sein, einen wissenschaftlichen Beitrag zur Lebensgeschichte des großen holländischen Physikers zu geben. Anscheinend aus Pietätsgründen wurden die Vorlesungen in der Form belassen, in der sie bei der Niederschrift während des Vortrages aufgezeichnet wurden — ein Umstand, der von diesem Standpunkt aus keinesfalls als ein Nachteil des Buches angesehen werden darf. Die einzelnen Gedankengänge sind klar und übersichtlich durchgeführt; man vermißt aber durchaus jene fesselnden Ausblicke auf Nachbargebiete oder auf die historische Entstehung, welche den eingangs erwähnten Schriften einen so großen Reiz verleihen.

Der vorliegende Band entspricht, nach einer Angabe auf dem Titelblatt, Vorlesungen, welche in den Jahren 1900—1902 gehalten sind. Er behandelt nach der üblichen Einleitung über Vektorrechnung in 7 Kapiteln die Vektoren des elektromagnetischen Feldes, die Elektrostatik, die stationären Ströme, die Induktionsströme, die Energie im elektromagnetischen Feld und