

Zufall und Gesetz im Naturgeschehen

Mit einem gewissen Recht bezeichnet man unser Zeitalter als das naturwissenschaftliche. Es sind nicht bloß die praktischen Erfolge dieser Wissenschaft, die es ermöglichen, das materielle Leben des Menschen zweckmäßiger und komfortabler einzurichten und sich die verschiedenen Naturkräfte dienstbar zu machen, sondern vor allem auch die tieferen Erkenntnisse der Naturvorgänge selbst im großen wie im Kleinen, die eine solche Bezeichnung rechtfertigen.

Der Naturforscher von heute sieht ja in vielem tiefer als sein Vorgänger aus vergangenen Jahrhunderten. So kann z. B. die Frage nach der letzten Struktur der materiellen Welt und deren steter Veränderung auf der reichen experimentellen Grundlage der Gegenwart erfolgreicher und vielseitiger behandelt werden als die dürftige Beobachtung und Spekulation früherer Zeiten es ermöglichten. Und so in vielen ähnlichen Wissensgebieten. Mächtig werden heute die Geister von der Frage bewegt: Was ist eigentlich Sinn und Bedeutung der Naturgesetze? Geht überhaupt alles Werden und Vergehen, jede Veränderung in der uns umgebenden Natur nach strengen, eindeutigen Gesetzen vor sich? Mit andern Worten: Ist, wie man sich auszudrücken pflegt, alles Naturgeschehen kausal bedingt; oder ist vieles, ja vielleicht letztlich alles auf Rechnung eines launischen Zufalls zu setzen, „akausales“ Geschehen? Die Darlegung dieser Frage kann in einem kurzen Aufsatz nicht erschöpfend sein. Trotzdem soll der Versuch gewagt werden, in dieses ebenso schwierige wie interessante Problem einzuführen und die Lösung anzudeuten, die sich als die einzig mögliche darstellt. Ausgehend von dem vorwissenschaftlichen Gebrauche der Ausdrücke Zufall und Gesetz möchte ich zuerst zeigen, wie sich in Philosophie und Naturwissenschaft die Erkenntnis von gesetzmäßigem und zufälligem Naturgeschehen herausgebildet hat, bis man bei der Alternative der Gegenwart landete: Zufall oder Kausalität. Dann soll durch eigene Stellungnahme zum Problem die Lösung versucht werden.

I.

Die Erfahrungen des täglichen Lebens bringen für jeden denkenden Menschen zwei Arten von Ereignissen. Die einen wiederholen sich in steter Regelmäßigkeit, wie Hunger- und Durstgefühl, der Wechsel von Tag und Nacht, oder in längeren Perioden die Abfolge der verschiedenen Jahreszeiten. Die Erfahrung zeigt: Unter gleichen Bedingungen geschieht auch Gleiches, z. B. ein losgelassener Körper fällt immer zu Boden, das Feuer wärmt und brennt usw. Über ein solches Geschehen wundert sich daher der Erwachsene nicht mehr, es scheint ihm nach festen, unveränderlichen Normen, nach Gesetzen zu verlaufen. Dazwischen ereignen sich aber im Menschenleben andere Vorfälle, so plötzlich und so unerwartet, daß sie dem gewöhnlichen Manne unverständlich erscheinen. Da geht einer, der sonst nie ein Theater besucht, zufällig an einem Abend in die Vorstellung, wo ein Brand ausbricht, und kommt dabei ums Leben. Ein Prüfungskandidat dankt es dem gütigen Zufall, daß er gerade

aus den Dingen im Rigorosum geprüft wird, die er trefflich beherrscht; ein anderer wieder hat Pech und grollt dem bösen Zufall, daß man gerade an den Stellen bei ihm anknüpft, wo er nicht zu Hause ist. Während Tausende Jahr für Jahr umsonst ihr gutes Geld in die Lotterie tragen, gewinnt ein Glücksvogel, der spaßweise einmal setzt, zufällig das große Los. So zeigt schon die gewöhnliche Lebenserfahrung den Zufall als launenhaft und unberechenbar, während das Gesetzmäßige sich voraussehen und vorausberechnen und so für das Leben auswerten läßt.

Es ist somit leicht begreiflich, daß die Wissenschaft, anknüpfend an diese vorwissenschaftliche Lebenserfahrung, vor allem sich darauf verlegte, das Gesetzmäßige im Naturgeschehen zu erkennen, zumal sich bald zeigte, daß nicht wenige Erscheinungen, die auf den ersten Blick Zufallscharakter aufweisen, bei genauerem Zusehen auf verborgene Gesetze zurückgeführt werden können. F. Erner sagt mit Recht: „Das eigentliche Objekt unserer Wissenschaft sind nicht vereinzelte Tatsachen, sondern deren innerer Zusammenhang, die Naturgesetze.“¹ So allgemein aber seit den ältesten Zeiten die menschliche Erkenntnis darauf ausgeht, den „ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht“, d. h. die Gesetze der Natur, zu erkennen, so verschiedenartig und vielfältig sind die Methoden und noch mehr die Resultate dieses Forschens in den verschiedenen wissenschaftlichen Zeitaltern.

Die ionischen Naturphilosophen und die Eleaten, wie Heraklit, Anaxagoras, später Plato und Aristoteles sahen in den Gesetzen das mittelbare oder unmittelbare Wirken einer kosmischen Intelligenz. Die christliche Scholastik des Mittelalters erblickte im Naturgesetz eine Mitteilung des göttlichen Gesetzes an das Geschaffene. Gott habe sein Gesetz durch entsprechende Wesensanlagen und Kräfte in die Naturdinge hineingelegt. Die Pantheisten unter der Führung Spinozas finden im Naturgesetz die unabänderliche Norm für die Entwicklung des göttlichen Alls. Die Sensisten und Positivisten von Hume und Locke bis E. Mach, Avenarius, Ziehen u. a. sehen vielfach in den Naturgesetzen Produkte des Denkökonomismus, die darum auch mehr oder weniger Sache einer willkürlichen Übereinkunft, einer Konvention sind. Diese unvollständigen Andeutungen sollen nur einen Begriff von der Verschiedenheit der Auffassungen geben. Eingehender aber ist eine Ansicht zu zeichnen, die in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts ziemlich allgemein bei Philosophen und Naturforschern verbreitet war. Sie hatte sich im Gefolge der rein mechanistisch-materialistischen Weltanschauung herausgebildet.

Das ganze Universum ist danach eine Summe von Stoff und Kraft und wird von ewigen, absolut unveränderlichen, gleichsam göttlichen Gesetzen im großen wie im kleinen beherrscht. Jeder zeitliche Querschnitt durch die Welt, mathematisch exakt durch Differentialgleichungen erfaßt, entrollt einem allumfassenden Geiste die Geschichte des Universums in Vergangenheit und Zukunft. Unvergleichlich plastisch hat diesen Gedanken Du Bois-Reymond zum Ausdruck gebracht, wenn er in seiner berühmten Rede „Über die Grenzen des Natur-

¹ F. Erner, Vorlesungen über die physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaften (Leipzig 1922) 722.

erkennens“ sagt¹: „Denken wir uns alle Veränderungen in der Körperwelt in Bewegungen von Atomen aufgelöst, die durch deren konstante Zentralkräfte bewirkt werden, so wäre das Weltall naturwissenschaftlich erkannt. Der Zustand der Welt während eines Zeitdifferentials erschiene als unmittelbare Wirkung ihres Zustandes während des vorigen und als unmittelbare Ursache während des folgenden Zeitdifferentials. Gesetz und Zufall wären nur noch andere Namen für mechanische Notwendigkeit. Ja, es läßt sich eine Stufe der Naturerkenntnis denken, auf welcher der ganze Weltvorgang durch eine mathematische Formel vorgestellt würde, durch ein unermessliches System simultaner Differentialgleichungen, aus dem sich Ort, Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit jedes Atoms im Weltall zu jeder Zeit ergäbe. Ein Geist, sagt Laplace, der für einen gegebenen Augenblick alle Kräfte könnte, welche die Natur beleben, und die gegenseitige Lage der Wesen, aus denen sie besteht, wenn sonst er umfassend genug wäre, um diese Angaben der Analyse zu unterwerfen, würde in derselben Formel die Bewegungen der größten Weltkörper und des leichtesten Atoms begreifen: nichts wäre für ihn ungewiß, und Zukunft und Vergangenheit wäre seinem Blick gegenwärtig. Der menschliche Verstand bietet in der Vollendung, die er der Astronomie zu geben gewußt hat, ein schwaches Abbild solchen Geistes dar. In der Tat, wie der Astronom nur der Zeit in den Mondgleichungen einen gewissen negativen Wert zu erteilen braucht, um zu ermitteln, ob, als Perikles nach Epidaurus sich einschiffte, die Sonne für den Piräus verfinstert ward, so könnte der von Laplace gedachte Geist durch geeignete Diskussion seiner Weltformel uns sagen, wer die eiserne Maske war, oder wie der ‚Präsident‘ zu Grunde ging. Wie der Astronom den Tag vorher sagt, an dem nach Jahren ein Komet aus den Tiefen des Weltraumes am Himmelsgewölbe wieder auftaucht, so läse jener Geist in seinen Gleichungen den Tag, da das griechische Kreuz von der Sophienmoschee bligen oder da England seine letzte Steinkohle verbrennen wird. Setzte er in der Weltformel $t = -\infty$, so enthüllte sich ihm der rätselhafte Urzustand der Dinge. Er sähe im unendlichen Raume die Materie entweder schon bewegt oder ruhend und ungleich verteilt, da bei gleicher Verteilung das labile Gleichgewicht nie gestört worden wäre. Ließe er t im positiven Sinne unbegrenzt wachsen, so erführe er, nach wie langer Zeit Carnots Satz das Weltall mit eisigem Stillstande bedroht.“

Ein verlockendes Ideal, diese Laplacesche Weltformel, die kein Zufallsgeschehen in der Welt anerkennt, da alles im großen Weltgetriebe bis ins kleinste kausal determiniert erscheint! Ohne Zweifel liegt viel Richtiges in solcher Auffassung — wir werden es später herauslösen —, aber in dieser Universalität ausgesprochen, erwies sie sich nur zu bald als unhaltbares Traumgebilde des mechanistischen Monismus. Ich rede hier nicht davon, daß mit dem Beginn unseres Jahrhunderts Driesch, Reinde und zahlreiche andere Vertreter des Vitalismus die Lebensvorgänge als übermechanisch und überphysikalisch, als autonome Erscheinungen überzeugend nachwiesen, ich übergehe auch, daß wichtige Klassen des Geschehens wie die geistigen Tätigkeiten

¹ E. Du Bois-Reymond, Über die Grenzen des Naturerkenntnis: Die sieben Welt-rätsel (Leipzig 1907) 17.

des Denkens und freien Willens, sowie die Gebiete der Religion und Ethik ihrer innersten Natur nach der Laplaceschen Weltformel unerfaßbar sind. Was hier vor allem hervorgehoben werden soll, ist der Umstand, daß den Vertretern der durchgängigen Kausalität auf ihrem ureigensten Gebiete der Physik und Chemie sehr bald ernste Gegner erstanden, die mit immer mehr Nachdruck die strenge Gültigkeit des Naturgesetzes in Zweifel zogen und dem Zufallswirken die Tore öffneten. Die Wurzeln für diese geistige Wandlung reichen natürlich weit zurück. Immer mehr betonte man das Provisorische und Ungenaue in unserer Erkenntnis der Naturgesetze. Zeigte man anfangs vor allem die unvermeidlichen Beobachtungsfehler auf, an denen die Feststellung der Naturgesetze krankte, so gewann bald noch ein anderer Umstand größere Bedeutung. Die physikalisch-chemische Atom- und Molekulartheorie vermochte nämlich von Jahr zu Jahr schlagende, ja sozusagen sinnfällige Beweise für ihre Richtigkeit vorzulegen. Man denke nur an die aufstrebende Kolloidchemie, an die Tatsachen der Brownschen Molekularbewegung u. ä. Mit Erfolg ließ sich dann, wie M. Planck, Einstein u. a. zeigten, dem Reiche der materiellen Atome und Korpuskel eine ähnliches der Energiequanten an die Seite stellen. Man erkannte, daß viele physikalische Größen, wie Temperatur, Druck, Volumen, Dichte der Materie, Strahlung u. dgl. Durchschnittsgrößen darstellen, die nur als Summation vieler, anscheinend regellos verlaufender Einzelvorgänge aufzufassen sind. Daraus folgernte man logischerweise, die ermittelten Zusammenhänge zwischen diesen Größen könnten nur zu Durchschnittsgesetzen führen, denen nie unbeschränkte Geltung, sondern höchstens eine mehr oder weniger große Wahrscheinlichkeit zukomme. Mit andern Worten: Man erkannte viele Naturgesetze der Welt im großen, des Makrokosmos, als sog. statistische Naturgesetze. Als solche erwiesen sich unter anderem sämtliche Gasgesetze, die Verteilungsgesetze, das Massewirkungsgesetz und die Bedingungen für das chemische Gleichgewicht, die Gesetze des radioaktiven Zerfalles und schließlich auch das Entropiegesetz. Der Wahrscheinlichkeitscharakter dieser Gesetze zeigte sich besonders augenfällig auch darin, daß neben der eigentlichen Statistik auch die Wahrscheinlichkeitsrechnung sich als höchst taugliches Instrument zur Ermittlung der statistischen Gesetzmäßigkeit erwies. Die Rechnungen stimmten mit den wirklichen Beobachtungen weitgehend überein, und im allgemeinen um so besser, je größer die Anzahl der gleichartigen Faktoren war, die zu einem Massengeschehen zusammenwirkten.

Waren somit viele Naturgesetze des Makrokosmos ihres früheren Glorienscheines, des streng dynamischen Charakters, entkleidet, so stand damit gleich die weitere Frage vor der Tür, ob nicht vielleicht alle Gesetze des Makrokosmos diese Eigenschaft von Durchschnittsregeln teilen. Es fehlt nicht an bedeutenden Naturforschern, die diese Ansicht mehr oder weniger entschieden vertreten. Aus vielen seien genannt F. Exner, W. Nernst, N. Bohr, Schrödinger, Heisenberg u. a. Damit wäre dann das dynamische Naturgesetz aus dem Bilde des Makrokosmos verschwunden. So bemerkenswert der Gegensatz gegen früher schon jetzt hervortritt, so wäre diese Lage für Verteidiger des exakten dynamischen Naturgesetzes noch keineswegs so tragisch, wenn man diesem wenigstens die Domäne des Mikrokosmos, der atomaren und subatomaren Kleinwelt, gelassen hätte. Denn dann beruhten doch wenigstens die

statistischen Regeln der Makrowelt auf dem streng dynamischen Geschehen der Mikrowelt.

Doch auch vor dem Reich der Kleintwelt machen die Statistiker von heute nicht halt. Und in der Tat, sollte da strenges Gesetz herrschen, wo Zufallsgeschehen jeder Begründung zu trogen scheint? „Wie kommt“, fragt selbst ein so gewiegter Verteidiger der Kausalität wie Max Planck, „ein bestimmtes Uratom dazu, nachdem es ungezählte Millionen von Jahren sich inmitten seiner Umgebung vollständig unveränderlich und passiv verhalten hat, plötzlich innerhalb einer unmeßbar kurzen Zeit ohne jede feststellbare Veranlassung seinem Namen Schande zu machen und mit einer Gewalt zu explodieren, gegen welche unsere brisantesten Sprengstoffe sich wie Kinderpistolen ausnehmen, indem es seine Bruchstücke zum Teil mit Geschwindigkeiten von Tausenden von Kilometern in der Sekunde fortschleudert und zugleich elektromagnetische Strahlung von einer Feinheit aussendet, welche die der härtesten Röntgenstrahlen noch um ein Bedeutendes übertrifft, während dagegen ein unmittelbar benachbartes, allem Anschein nach vollkommen gleichartiges Atom noch weitere Millionen von Jahren in gleicher Passivität verharrt, bis endlich auch ihm die Schicksalsstunde schlägt?“¹ Sollten diesen anscheinend völlig zufälligen atomaren und subatomaren Vorgängen dynamische Gesetze zu Grunde liegen? — Dazu kommt das noch gewichtigere Bedenken: Nehmen wir einmal an, diese Mikrogeseze existierten wirklich, dann fragt es sich, wie denn diese strenge Gesetzmäßigkeit erkannt werden könnte. Niels Bohr und Heisenberg weisen darauf hin, daß man unter Heranziehung der Quantentheorie auf eine prinzipielle Unmöglichkeit einer kausalen räumlich-zeitlichen Beschreibung stoße. Bei Messungen im Makrogebiete könne man sich durch Verfeinerung der Beobachtungsmethoden und Mittel dem wahren Werte stetig annähern, für die atomistischen Dimensionen und Energien, die dem Wirkungsquantum nahe kämen, versage diese Möglichkeit. Das Produkt der mittleren Fehler der gleichzeitigen Messung zweier mechanischer Größen könne ja nie kleiner sein als das Plancksche Wirkungsquantum (Heisenberg-Bohrsche Unschärferelation). Letztlich wäre es also die Kleinheit des Wirkungsquantums, woran eine streng kausale Beobachtung und Beschreibung der Mikroprozesse scheitert. „Da aber das prinzipiell nicht Beobachtbare“, erklärt Schrödinger in seiner Antrittsrede in der Preußischen Akademie der Wissenschaften, „für den Naturforscher als Naturforscher nicht existiert, ist der Sinn dieser Meinung: schon der Zustand des Elementargebildes liegt nicht in solcher Weise fest, daß eine ganz bestimmte Einwirkung ein ganz bestimmtes Verhalten des Gebildes nach sich zieht.“²

Mit einer solchen Auffassung ist natürlich, wie auch aus den letzten eben angeführten Worten hervorgeht, die bisher übliche strenge Fassung und Gültigkeit des Kausalitätsprinzipes unvereinbar. Herrscht doch im Mikrogesehen der absolute Zufall. Höchstens im Makrokosmos fristet dieses Fundamentalprinzip noch ein kümmerliches Dasein nach Art eines statistischen Wahrscheinlichkeitsgesetzes. F. Erner erklärt deshalb auch: „Wollten wir also den Be-

¹ M. Planck, *Physikalische Rundblicke* (Leipzig 1922) 85.

² „Die Naturwissenschaften“ 17 (1929) 732.

griff der Kausalität aufrecht erhalten, so könnten wir nur sagen: Es müssen Ursachen vorhanden sein, welche das durchschnittliche Geschehen, aber auch nur dieses und nicht die Einzelwerte bedingen und in gesetzmäßige Bahnen lenken.“¹ Und ebenso erklärt W. Nernst, wenn auch etwas vorsichtiger: „Die Möglichkeit dürfen wir also nicht in Abrede stellen, daß auch das Prinzip der Kausalität das Schicksal unserer Naturgesetze teilt, auf denen es beruht, nämlich ebenfalls nicht mehr als eine im allgemeinen sehr gute Annäherung zu sein.“²

Wenn wir die bisherigen Darlegungen kurz zusammenfassen, ergibt sich also Folgendes: In der ersten Periode des klassischen Mechanismus führte das absolut notwendige, unter keinen Umständen eine Ausnahme dulden- de Gesetz die Herrschaft im Naturgeschehen des Makro- und Mikrokosmos. Der extreme Monismus bezog in diese Anschauung sogar die Welt des Lebens und der Psyche ein. Zufall galt ihm nur als Bekenntnis der Unwissenheit dieser Gesetze und ihrer Wirkungen, in der objektiven Welt selbst war kein Platz für ihn, alles war Gesetz. Die gegenwärtige Auffassung der naturwissenschaftlichen Statistiker besagt im Vergleich dazu ziemlich in allen Punkten das gerade Gegenteil. Die rein mechanisch-kinetische Naturauffassung ist selbst für das chemisch-physikalische Geschehen als zu enge erkannt und aufgegeben. Das Naturgesetz erscheint seines streng dynamischen Charakters entkleidet und fristet nur im Makrokosmos als statistische Durchschnitts- und Zufallsregel ein kümmerliches Dasein. Im Mikrokosmos aber herrscht unbeschränkt der Zufall, die Herrschaft des klassischen Kausalgesetzes ist zu Ende.

II.

Die Frage nach der Rolle von Zufall und Gesetz im Naturgeschehen erhebt sich zunächst für die molaren Prozesse des Makrokosmos; erst dann können wir auf die entscheidende Untersuchung der molekularen Vorgänge eingehen. Für die Welt im Großen, den Makrokosmos, läßt sich ohne weiteres sagen:

1. Daß die Ereignisse im Makrokosmos eine sehr weitgehende Regelmäßigkeit aufweisen, bedarf wahrlich keines langen Beweises. Alle einzelnen Gesetze, die das Lehrgebäude der heutigen Physik und Chemie ausmachen, sind Zeugen hierfür.

2. Diese Gesetze sind nicht rein subjektive Konstruktionen unseres Denkens, sondern es muß ihnen, z. B. den Gesetzen der Mechanik, der Reflexion, der Brechung und Beugung und der Polarisierung des Lichtes, auch den Gesetzen der Elektrizitätslehre, objektive Geltung zukommen, d. h. sie müssen letztlich ihre Grundlage im Wesen der materiellen Dinge selbst haben, sie werden nicht erfunden, sondern entdeckt. Beweis hierfür ist die gesamte Technik, die nur bei genauer Beachtung dieser Normen zum Ziele kommt, niemals aber nach bloß willkürlich erdachten Gesetzen eine brauchbare Maschine konstruieren kann.

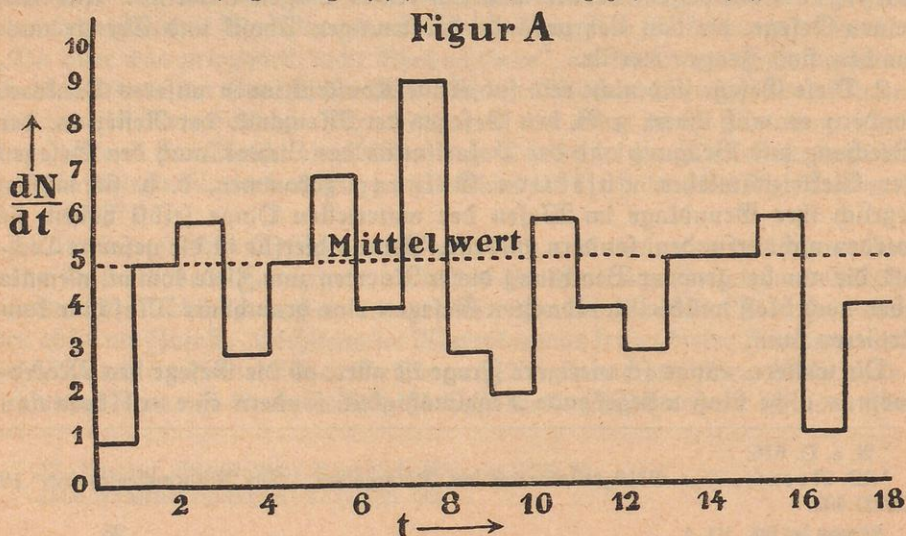
Die weitere, etwas schwierigere Frage ist aber, ob die Gesetze des Makrokosmos nicht bloß weitgehende Regelmäßigkeit, sondern eine vollkommen

¹ A. a. D. 676.

² W. Nernst, Zum Gültigkeitsbereich der Naturgesetze: „Die Naturwissenschaften“ 10 (1922) 492.

exakte, sog. dynamische Gesetzmäßigkeit besagen, die nicht die geringste Abweichung und Ausnahme duldet. Alle neueren Untersuchungen zeigen, wie schon angedeutet wurde, daß wenigstens sehr viele dieser Makrogesetze nicht einfachhin als dynamisch betrachtet werden können, da sie vielfach das Verhalten jedes Einzelwesens nicht genau, sondern näherungsweise das Verhalten einer Unmenge von gleichartigen Einzeldingen zum Ausdruck bringen, daher sog. statistische Naturgesetze sind.

Ein Beispiel möge das veranschaulichen. Das Gesetz, nach dem eine radioaktive Substanz zerfällt, besagt in der einfachsten Form Folgendes: In jeder Zeiteinheit (z. B. in jeder Minute) zerfällt derselbe Prozentsatz des radioaktiven Elementes. Es vermindert sich z. B. eine gegebene Menge von Radiumemanation jeden Tag um ca. 18%. Diese Aussage bezieht sich auf eine Vielheit (N) von Atomen, von denen ein Teil (dN) in einem gewissen Zeitintervall (dt) zerfällt. Dieses Gesetz, in mathematischen Zeichen geschrieben, würde also lauten: $\frac{dN}{dt} : N = \text{Const.}$ Ist dieser Prozentsatz sehr klein, so daß sich während der Beobachtungszeit die Anzahl der vorhandenen Atome N so gut wie nicht ändert, so kann man N in die Konstante ziehen und hat dann: $\frac{dN}{dt} = \text{Const.}$, d. h. in jeder Zeiteinheit zerfällt immer dieselbe Anzahl von Atomen eines solchen Präparates. So sendet z. B. 1 gr Ra in jeder Sekunde die ungemein große Zahl von $3,72 \cdot 10^{10}$ Alphateilchen aus, was anzeigt, daß ebenso viele Ra-Atome im selben Zeitintervall zerfallen. Dieses Zerfallsgesetz hat nun die interessante Eigenschaft, daß es eine fast vollkommen exakte Norm darstellt, wenn N sehr groß (viele Trillionen) und dt nicht zu klein (Tage, Stunden, Minuten) genommen wird. Gehen wir aber zu sehr kleinen N und dt über, so wird die durch das Gesetz ausgesagte Konstanz immer schlechter, es treten in unserem Falle auch experimentell durch Zählung der Alphateilchen konstatierbare Schwankungen auf; und nähert sich N immer mehr der Eins, so verliert das Gesetz jeden Sinn und jede Geltung. Anschaulich läßt sich dieser Tatbestand in die folgende graphische Darstellung zusammenfassen:



Figur A veranschaulicht die statistischen Tabellen, die man durch Registrieren und Zählen erhält, Figur B bringt die statistische Regel zum Ausdruck, die sich aus A ablesen läßt, nämlich daß man in den weitaus meisten dt Teilchenzahlen erhält, die um den Mittelwert 5 liegen; viel kleinere und viel größere Werte kommen nicht oder nur sehr selten vor.

Nach diesem Beispiel, dem sich Hunderte an die Seite stellen ließen, kann man die wesentlichen Eigentümlichkeiten der statistischen Gesetze des Makrokosmos in die fünf folgenden Punkte zusammenfassen:

a) Ein statistisches Gesetz wird gewöhnlich Tabellen entnommen, die auf zahlenmäßige Erhebungen zurückgehen; freilich ist dieser Weg, eine solche Gesetzmäßigkeit zu erkennen, nicht der einzige.

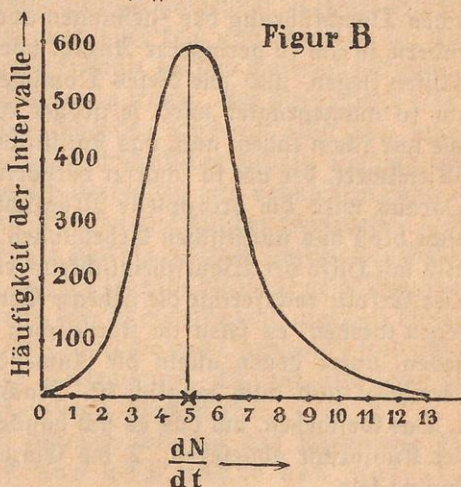
b) Diese Art Gesetzmäßigkeit bezieht sich immer auf eine meist große Vielheit von gleichartigen Naturdingen (ein Kollektiv) oder, wie man sich ausdrückt, auf eine statistische Masse als solche. Je größer im allgemeinen der Umfang eines solchen Kollektivs ist, um so besser ist auch die Grundlage des statistischen Gesetzes.

c) Da aber die Statistik auch bei sehr großem Umfang eines Kollektivs niemals ein ganz scharfes Verfahren darstellt, sondern nur Durchschnittsangaben liefert, um welche die wirklich beobachteten Werte in kleineren oder größeren Intervallen schwanken, so sind die daraus erschlossenen Gesetzmäßigkeiten ebenfalls Durchschnittsgesetze von kleinerer oder größerer Wahrscheinlichkeit.

d) Über das Geschehen in einem ganz bestimmten Einzelfall will und kann ein derartiges Gesetz nichts aussagen, z. B. ob in der kommenden Sekunde 5 oder 2 Alphateilchen ausgesendet werden. Wenn das Gesetz über die Einzelfälle doch Aussagen macht, so betrachtet es diese nur als Glieder der Vielheit, insofern sie im Mittel gleichviel zum Durchschnittsverhalten der Vielheit beitragen.

e) Im Zusammenhange damit gilt: Je mehr das Kollektiv, auf das ein statistisches Gesetz mit Recht Anwendung findet, an Umfang eingeschränkt wird, desto mehr häufen sich die Ausnahmen, desto mehr ist es nur ungefähr gültig, bis es im Einzelfall völlig seinen Sinn verliert.

Wir haben es also hier mit Wahrscheinlichkeitsgesetzen zu tun. Sie geben uns keine Sicherheit darüber, daß die Einzelwirkung einen ganz bestimmten Wert annimmt, sondern sie berechtigen nur mit mehr oder weniger Grund zu der Erwartung, daß der Wert im Einzelfall nahe dem Durchschnittswerte liegen wird. Damit ist auch ein gewisser Zufallscharakter angedeutet. Das statistische Gesetz ist eine völlige Parallele zu den Regeln, welche die Wahrscheinlichkeitsrechnung schon lange für zu erwartende Ver-



teilungen bei Zufallsspielen (Würfelspiel, Urnenziehungen usw.) abgeleitet hat. Es liegt nicht in meiner Absicht, hier näher auf diesen Punkt einzugehen — Interessenten seien auf meine Schrift „Das Problem des statistischen Naturgesetzes“ (Innsbruck 1924) verwiesen —, nur einige Seiten dieser Parallele sollen hervorgehoben werden. Wie aus allen an sich möglichen Verteilungen, z. B. bei Ziehungen aus einer Urne mit konstantem Inhalt von schwarzen und weißen Kugeln, nach der Rechnung eine Verteilung sich als die wahrscheinlichste, d. h. als die am ersten zu erwartende erweist und bei der wirklichen Durchführung der Ziehungen auch am häufigsten auftritt, während die andern in um so geringerer Anzahl vorkommen, je ferner sie der wahrscheinlichsten liegen, und wie dieses Dominieren der wahrscheinlichsten Verteilung um so ausgeprägter wird, je größer die Zahl der Ziehungen ist, so zeigt ja, wie wir schon sahen, auch das statistische Naturgesetz ein Schwanken um einen Mittelwert, der um so schärfer hervortritt, je umfangreicher das Kollektiv ist. Daraus wird die prinzipielle Möglichkeit ersichtlich, statistische Naturgesetze nicht bloß aus statistischen Erhebungen zu gewinnen, sondern sie auch theoretisch mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung vorauszusagen und abzuleiten. Der Erfolg rechtfertigt die gehegte Erwartung. Ferner muß der Schluß gezogen werden, es seien im statistischen Gesetze auch die Voraussetzungen gegeben, unter denen allein die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung berechtigt und auch möglich ist. Nach E. Czuber ist vor allem zu fordern: 1. Das Geschehen, um das es sich handelt, muß zufällig sein, d. h. es wird von der Kausalität abgesehen, 2. die Einzelereignisse müssen voneinander unabhängig sein.

Das statistische Gesetz des Makrokosmos führt uns nun zur Untersuchung der Einzelvorgänge des Mikrokosmos und scheint auch für diese Elementarereignisse hinreichend deutlich einen Zufallscharakter anzuzeigen. Kommen wir so nicht geradewegs zu der modernen Zufallstheorie der extremen Statistiker? Wenn es auch verführerisch nahe liegt, ihr recht zu geben, führt die folgende Analyse doch zu einem andern Ergebnis.

Fürs erste ist nämlich schon die stillschweigende Voraussetzung der modernen Ansicht, daß alle Makrogesetze statistischer Natur seien, durchaus nicht sicher. Kein Geringerer als M. Planck weist in seiner Rede „Dynamische und statistische Gesetzmäßigkeit“ darauf hin. „So werden wir“, sagt er, „durch Theorie und Erfahrung gleichsam genötigt, in allen Gesetzmäßigkeiten der Physik einen fundamentalen Unterschied zu machen zwischen Notwendigkeit und Wahrscheinlichkeit und bei jeder beobachteten Gesetzmäßigkeit zu allererst zu fragen, ob sie dynamischer oder ob sie statistischer Art ist.“¹ Letztere sei in der atomistischen Auffassung der Materie begründet und wirke sich vor allem in den nicht umkehrbaren Prozessen aus. Dynamische Gesetze seien dagegen den prinzipiell umkehrbaren Prozessen eigen (also der Umwandlung von potentieller in aktuelle Energie und umgekehrt), die sämtlich auf das Gesetz von der Erhaltung der Energie oder auf das Prinzip der kleinsten Wirkung zurückgehen. Man mag über diese Auffassung Plancks urteilen wie man will, richtig ist daran jeden-

¹ M. Planck, Physikalische Rundblicke 96.

falls, daß die Gesetzmäßigkeit der prinzipiell umkehrbaren Prozesse am wenigsten der statistischen Deutung zugänglich ist. Gilt nun das schon auf rein physikalisch-chemischem Gebiet, so darf es noch weniger wundernehmen, wenn wir im biologischen und erst recht im psychischen Bereiche sicher dynamische Gesetze antreffen. Das Lebewesen ist ja, wie die moderne Biologie überzeugend nachweist, nicht bloß eine einfache Summation von Atomen und deren Wirkungen, sondern es besitzt ein von der Materie (von Molekülen, Atomen, Ionen usw.) verschiedenes „seelisches“ Prinzip, das nicht wieder aus diskreten Bestandteilen zusammengesetzt ist. Dieses einfache Prinzip untersteht in seiner Betätigung dynamischen Gesetzen, die freilich meist nicht rein und losgelöst für sich, sondern mit den Eigenschaften der Elementarteile, die das materielle Substrat des Lebewesens zusammensetzen, in Erscheinung treten. Auf diese Weise resultiert hier die Gesamtgesetzmäßigkeit des lebenden Systems nicht von unten herauf aus den Elementargesetzen chemisch-physikalischer Atome, sondern von oben herab aus der Leitung des dynamisch wirkenden und ordnenden Lebensprinzips. So ist es auch erklärlich, daß in diesen biologischen Ganzheiten nicht mehr jenes Gesetz die Alleinherrschaft führt, das als höchstes statistisches Gesetz der Materie anzusprechen ist, sondern daß die lebende Materie gewissermaßen elektropische Eigengesetzlichkeit aufweist, wie so überzeugend aus den Untersuchungen von H. Driesch hervorgeht. Embryologie und Ontogenese sind unter anderem sprechende Beweise für unsere Darlegungen. Darauf also seien die Verteidiger der extremen Zufallstheorie zuerst hingewiesen.

Fürs zweite aber — und damit kommen wir auf den Kernpunkt des ganzen Problems — müssen wir uns noch näher den Zufallscharakter des statistischen Gesetzes und die behauptete Zufälligkeit der Mikroprozesse selber ansehen. Der Ausdruck „Zufall“ ist kein eindeutiges Wort, sondern sorgfältig muß man einen dreifachen Sinn unterscheiden.

a) Zufällig kann man das nennen, was einmal nicht da war, jetzt aber da ist, ohne jedoch eine Ursache für sein Dasein zu haben, was also rein ohne jede Wirkursache geworden ist. Ein derartiges Ereignis führt dann mit Recht den Namen: absoluter Zufall.

b) Zufällig wird von uns aber meist in einem andern Sinn gebraucht. Wenn wir sagen, beim Würfeln hätten wir zufällig Sechs geworfen, so wollen wir damit nicht zum Ausdruck bringen, dieses Ergebnis sei auf keinerlei Ursachen zurückzuführen, vielmehr ist es leicht, eine ganze Reihe von Ursachen namhaft zu machen wie: die Bewegung der werfenden Hand, die Beschaffenheit des verwendeten Würfels, Luftwiderstand, Fallhöhe, Hindernisse beim Aufpassen usw. Aber all diese Ursachen greifen so verwickelt ineinander, daß es keinem Menschen möglich ist, exakt vorauszuberechnen, welche der sechs möglichen Zahlen beim Einzelwurf oben liegen wird. Der Wurf der Sechs ist somit das Ergebnis eines Zufalls, aber eines relativen Zufalls, der die kausale Bedingtheit einschließt, ohne daß sie im einzelnen unserer schwachen Erkenntnis hinreichend offenbar wird.

c) In einem letzten berechtigten Sinn kann man ein Ereignis zufällig oder kontingent nennen, das aus einer frei wirkenden Ursache hervorgeht, z. B. Akte des freien menschlichen Willens. Auch bei diesen nämlich ist, wenig-

stens für unsere Erkenntnis fremder derartiger Akte, die Entstehungsursache im einzelnen vollständig verborgen, obgleich sie im allgemeinen bekannt ist. Diese Ursache ist aber auch an sich nicht eindeutig bestimmt, sondern ebenso fähig, den Akt zu setzen wie ihn nicht zu setzen oder an seiner Stelle einen andern zu setzen.

Die drei Bedeutungen des Zufalls lassen sich ganz kurz auf die Formeln bringen: A) Absoluter Zufall: kausal nicht bedingtes Werden; B) relativer Zufall: kausal bedingtes Werden, aber als solches nicht oder nur unvollkommen erkannt; C) freier Akt: zwar kausal, aber nicht eindeutig kausal bedingt.

Für unsere Fragestellung scheidet sicher die letzte Fassung des Zufallsbegriffes aus. Denn wir haben nicht die Spur einer Berechtigung, in den nicht vernunftbegabten Naturdingen, auf die sich unsere Untersuchung allein bezieht, ein freies Handeln und Verursachen anzunehmen. Sollte man aber doch den verwegenen Gedanken wagen, so müßte man den leblosen Naturdingen, den Molekülen, Atomen, Elektronen, auch die notwendige Vorbedingung zur Betätigung ihrer angeblichen Freiheit, nämlich richtige Intelligenz, beilegen und alle Phantastereien der Abseelungslehre in Kauf nehmen.

Ebensowenig wie ein freier Akt kann im Mikrogesehen die Verwirklichung des absoluten Zufalls vorliegen, weshalb auch die erste Bedeutung des Wortes Zufall hier nicht in Frage kommen kann. Ein kausal nicht bedingtes Werden oder Gewordenes anzunehmen, mag immerhin für die ideal-mathematische Geinsordnung angehen, in der physisch realen Welt ist und bleibt der absolute Zufall ein Nonsens, eine Unmöglichkeit. „Ein ursachloses Geschehen“, äußern sich schon Becher und Exner, „ist für uns etwas völlig Unbegreifliches.“ Aber es bedeutet, wie wir hinzufügen müssen, mehr als ein bloßes Versagen der menschlichen Erkenntnis, über das man sich schließlich doch mit dem Gedanken hinwegtrösten könnte, wir Menschen brauchen eben nicht alles in der Natur zu verstehen. Der absolute Zufall ist philosophisch ein Unding, das reales Sein und Nichtsein gewissermaßen gleichberechtigt, eine Lehre, die konsequent durchgeführt, den Ruin jeden wissenschaftlichen Denkens und Forschens bedeutet. Wenn es real möglich ist, daß etwas ohne Wirkursache entsteht oder geschieht, so hat es in der Tat keinen Wert, in der Wissenschaft fort und fort nach Ursachen zu suchen. Treffend äußert sich über diesen Punkt H. Poincaré: „Unsere Wahl ist durch die Notwendigkeit geboten, diesem Prinzip zu gehorchen, welches nicht verworfen werden kann, ohne zu erklären, daß alle Wissenschaft unmöglich sei.“¹ Es ist also etwas mehr als ein Begriff, der einem tiefgefühlten Begriff entgegenkommt oder eine schwer ablegbare eingewurzelte Denkgewohnheit, wie manche Moderne sich ausdrücken, wenn wir dem Kausalgesetz eine uneingeschränkte Geltung und Evidenz belassen. Daß wir uns mit dieser Entscheidung nicht in ein gewisses Halbdunkel der Metaphysik flüchten, sondern auf dem realen Boden des Tatsächlichen verbleiben, geht endlich auch daraus hervor, daß wir in uns selbst die Abfolge

¹ H. Poincaré, Die moderne Physik, Übers. von Brahm (Leipzig 1908) 9.

von Wirkung und Ursache erleben, indem wir uns evident als Wirkursache unserer psychischen Akte erkennen. Auf dieser Grundlage kommen wir dann zur klaren Erkenntnis der Allgemeingültigkeit des Kausalgesetzes und wenden es somit folgerichtig auch auf die Vorgänge in der von uns verschiedenen Außenwelt an. Aus all dem müssen wir schließen: Weder die Kontingenz des freien Aktes noch der absolute Zufall spielt in der statistischen Gesetzmäßigkeit eine Rolle, sondern der relative Zufall, d. h. unser lückenhaftes Wissen um die an sich eindeutig kausal bedingten Einzelvorgänge und ihr Zusammenwirken.

Um unsere so gewonnene Position weiter zu verstärken, sei noch ein Beweis nach Planck angefügt. Unsere Gegner sympathisieren mit dem Gedanken: Weil im Makrokosmos durchgehendes statistische Gesetzmäßigkeit herrscht, müssen wir im Mikrokosmos auf rein ursachloses Geschehen schließen. Planck hält nun in seiner schon früher angeführten Rede diesem Gedankengange Folgendes entgegen: „Eine solche Auffassung muß sich aber sehr bald als ein ebenso verhängnisvoller wie kurzsichtiger Irrtum herausstellen, selbst wenn wir ganz davon absehen wollen, daß alle reversiblen Prozesse ohne Ausnahme durch dynamische Gesetze geregelt werden, und daß gar kein Grund vorliegt, diese Gesetze fallen zu lassen.“ Als Grund führt Planck an: „So wenig wie irgend eine andere Wissenschaft der Natur oder des menschlichen Geistes kann die Physik der Voraussetzung einer absoluten Gesetzmäßigkeit entbehren, ja gerade den Schlußfolgerungen der Statistik, von denen hier die Rede ist, wäre ohne sie die wesentlichste Grundlage entzogen.“ Dann sagt Planck des weiteren, auch die Wahrscheinlichkeitsrechnung sei eine exakte Wissenschaft, sowohl in Formulierung wie in Beweisführung und Darstellung ihrer Resultate. „Um solch weitgehende Behauptungen aufstellen zu können, sind naturgemäß auch sehr weitgehende Voraussetzungen nötig, und so wird es sich verstehen lassen, daß in der Physik die exakte Berechnung von Wahrscheinlichkeiten nur dann möglich ist, wenn für die elementarsten Wirkungen, also im allerfeinsten Mikrokosmos, lediglich dynamische Gesetze als gültig angenommen werden dürfen. Entziehen sich dieselben auch einzeln der Beobachtung durch unsere groben Sinne, so liefert doch die Voraussetzung ihrer absoluten Unabänderlichkeit die unumgänglich notwendige feste Grundlage für den Aufbau der Statistik.“¹ Wie es z. B. keinen Sinn hat, die wahrscheinlichste Verteilung bei Urnenziehungen zu berechnen, wenn man nicht den absolut unveränderlichen Inhalt dieser Urnen an Schwarz- und Weißkugeln voraussetzt, so fällt auch die statistische Naturgesetzmäßigkeit in sich zusammen mit der Ablehnung der Grundlage unveränderlicher dynamischer Naturgesetze. So zeigt uns also der Beweis von Planck wieder dieselbe Wahrheit: Statistische Durchschnits- und Wahrscheinlichkeitsgesetze im Makrokosmos, aber nicht trotzdem, sondern gerade deswegen exakte dynamische Naturgesetze im Mikrokosmos, also nicht absoluter, sondern nur relativer Zufall.

Im Anschluß an diese Darlegungen ergibt sich leicht die Erledigung einiger Haupteinwände gegen unsere Lösung.

¹ A. a. D. 97.

1. **Einwand:** Die Wahrscheinlichkeitsrechnung setzt ursachloses Geschehen der gleichmöglichen Fälle voraus. Also gilt das auch für das statistische Gesetz, das sich eben durch diese Rechnung ableiten läßt. — Darauf ist zu antworten: Es ist zweierlei, in der ideal-mathematischen Ordnung von der Kausalität abzu sehen, also in der Denfordnung eine Abstraktion durchzuführen und ursachloses Geschehen in der physischen Außenwelt zu fordern. Gegen ersteres ist nichts einzuwenden, letzteres ist aber kraft unserer früheren Ausführungen absolut unstatthaft. Übrigens ist durch die Einführung des relativen Zufalls den notwendigen Voraussetzungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung vollkommen entsprochen, da es ein streng kausales Zusammenwirken der Elementarursachen gibt, das im großen ein Bild gewährt, als ob in der Masse der absolute Zufall herrschte. Man spricht hier, um es kurz anzudeuten, vom „Prinzip der elementaren Unordnung“. So versteht man einerseits die weitgehende Übereinstimmung zwischen den durch die Theorie errechneten und den durch die statistische Beobachtung gewonnenen Naturgesetzen, sieht aber anderseits auch schon klar die Möglichkeit von gelegentlichen Unstimmigkeiten zwischen beiden.

2. **Einwand:** Die streng dynamische Gesetzmäßigkeit der Mikrovorgänge läßt sich prinzipiell nicht beobachten. Da aber das prinzipiell nicht Beobachtbare für den Naturforscher als solchen nicht existiert, so sind eben ursachlose Mikrovorgänge anzunehmen, wenigstens liegt diese Annahme näher als die gegenteilige, die sich nicht beweisen läßt. So ähnlich Schrödinger und Exner. — **Antwort:** Ohne Zweifel ist es in den meisten Fällen praktisch unmöglich oder doch außerordentlich schwierig, die strenge Kausalität des einzelnen Mikrogesehens experimentell nachzuweisen. Auch in Fällen, wo die Wirkung eines einzelnen Atoms sichtbar wird, erhalten wir ja eigentlich nur Kunde von der Wechselwirkung eines zusammengesetzten Systems. Ob es aber deshalb prinzipiell unmöglich ist, etwas über Beschaffenheit und Wirken des Einzeldinges zu erfahren, wäre erst noch zu beweisen. Ist doch auch der experimentierende Chemiker auf dem Makrogebiete in ähnlicher Lage. Seine sämtlichen Reagentien verändern ja die vorgelegte Probe nicht bloß physikalisch, sondern tiefgehend chemisch, und doch ist es ihm möglich, aus der Beobachtung eben dieser Wechselwirkung auf Eigenschaften und Zusammensetzung der zu prüfenden Substanz zu schließen. Außerdem bemühen sich heute zahlreiche Physiker und Chemiker, darunter nicht zuletzt die Gegner unserer Ansicht, mit bemerkenswertem Erfolge, Atommodelle ausfindig zu machen, die mit den experimentellen Beobachtungen an den wirklichen Stoffen im Einklang stehen. Sie kennen die Bausteine und die grundlegenden klassischen Gesetze des Atoms, wie die Erhaltungsgesetze, das Coulombsche Gesetz u. a., die sich so gut bewährt haben, daß man kaum umhin kann, ihre exakte Gültigkeit auch im atomaren Gebiete anzunehmen. Endlich ist zu sagen, selbst wenn wir den Fall setzen, kein Mikrogesez sei einer Einzelkonstatierung zugänglich, so wurde doch oben gezeigt, daß wenigstens die Existenz von solchen Gesetzen im allgemeinen sicher erschlossen werden kann und muß. Das Kausalitätsprinzip, dessen Wahrheit schon vor der ausdrücklichen Erkenntnis der einzelnen Naturgesetze mit Evidenz erkannt werden kann, schließt ursachloses Geschehen mit Sicherheit aus und bürgt so für das Bestehen der dynamischen Mikrogeseze. Ja, auch schon das statistische Gesetz des Makrokosmos fordert, wie uns Planck zeigte, als not-

wendige Grundlage exakte dynamische Gesetze in der Welt des Kleinen. Die uns bekannten statistischen Gesetze sind so ein schwacher, aber untrüglicher Widerschein des dynamischen Charakters des Mikrokosmos. — Über die Behauptung, was nicht beobachtbar ist, existiert für den Naturforscher als solchen nicht, brauchen wir nicht viele Worte zu verlieren. Wenn darin der extrem positivistische Standpunkt vertreten werden sollte, als ob für den Wissenschaftler tatsächlich nichts annehmbar wäre, was über die direkte Beobachtung hinausführt, so beweist schon das gegenteilige Verhalten vieler großer Forscher der Gegenwart die unhaltbare Enge einer solchen Auffassung. Und gerade in einer solchen Frage wie der gegenwärtigen, wo Erkenntnistheorie und Metaphysik ein gewichtiges Wort mitzusprechen haben, darf sich der Naturforscher nicht engherzig abschließen, sondern muß sich einer universelleren Auffassung befleißigen, wenn er nicht sehr in die Irre gehen will.

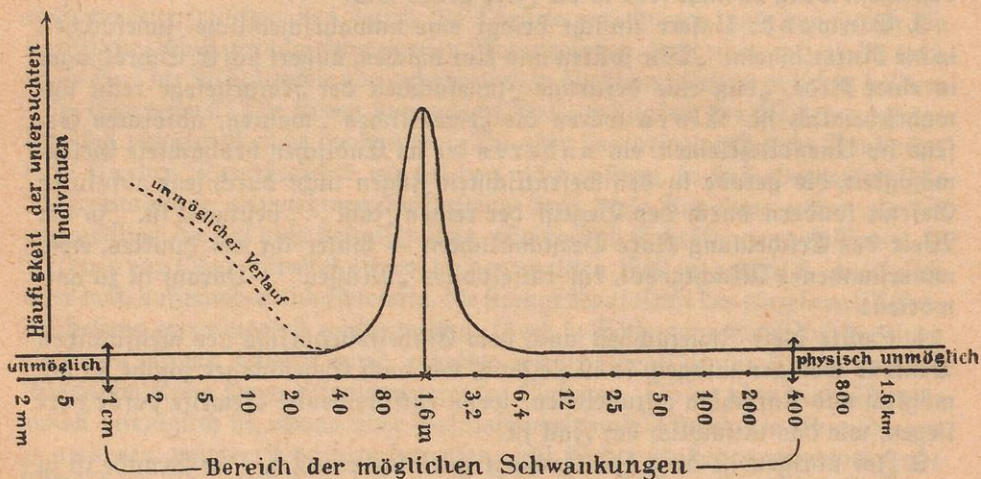
3. Einwand: Unsere Ansicht bringt eine unwahrscheinliche Zwiefachheit in die Natur hinein. „Wir sollten uns klar machen, äußert sich E. Schrödinger in einer Rede, „daß eine derartige Zwiefachheit der Naturgesetze recht unwahrscheinlich ist. Eines wären die „eentlichen“, wahren, absoluten Gesetze im Unendlichkleinen, ein anderes die im Endlichen beobachtete Gesetzmäßigkeit, die gerade in den wesentlichsten Zügen nicht durch jene absoluten Gesetze, sondern durch den Begriff der reinen Zahl . . . bestimmt ist. In der Welt der Erscheinung klare Verständlichkeit — hinter ihr ein dunkles, ewig unverstandenes Machtgebot, ein rätselvolles „Müssen“¹. Darauf ist zu antworten:

1. Sollte diese Zwiefachheit auch dem Einheitsbedürfnis des menschlichen Denkens weniger zusagen, so ist sie doch, wie auch Schrödinger zugibt, in sich möglich und einfachhin anzunehmen, wenn entsprechende Beweise dafür vorliegen, wie das tatsächlich der Fall ist.

2. Im übrigen ist diese Zwiefachheit gar nicht tragisch. Im Grunde ist ja aufseiten der Dinge doch nur eine und zwar die dynamische Gesetzmäßigkeit vorhanden, einmal in den Einzelereignissen der Kleinwelt und dann in dem Massengeschehen des Makrokosmos. Letzteres vermögen wir freilich ob unserer beschränkten Erkenntnis nicht völlig zu durchschauen und müssen uns daher mit der Annäherung des statistischen Wahrscheinlichkeitsgesetzes begnügen. Die Wahrscheinlichkeit ist ja nicht eine Eigenschaft der Dinge, sondern ein Maß für die Zuversicht, mit der wir den Eintritt eines Ereignisses erwarten können. Aber sogar in unserer Erkenntnis kommt dem statistischen Gesetze mehr als bloße Wahrscheinlichkeit zu. In gewissem Sinne beinhaltet es auch sichere Erkenntnis. Wahrscheinlichkeit besagt es, insofern es z. B. das Eintreffen einer Konstellation für ein gewisses Intervall unbestimmt läßt, Sicherheit aber, indem es dafür bürgt, daß sehr weite Über- und Unterschreitungen des wahrscheinlichsten Mittelwertes in sehr großer Zahl ausgeschlossen sind. Ja eine noch eingehendere theoretische und experimentelle Untersuchung zeigt noch darüber hinaus: Es gibt Konstellationen, denen nach der Theorie vielleicht noch eine, wenn auch sehr geringe Wahrscheinlichkeit zukommt, während deren Verwirklichung in der physischen Ordnung vollkommen aus-

¹ E. Schrödinger, Was ist ein Naturgesetz? in „Die Naturwissenschaften“ 17 (1929) 11.

geschlossen ist. Ein anschauliches Beispiel zeigt das ohne weiteres. Zeichnen wir die Häufigkeitskurve der Körpergröße ausgewachsener Menschen, so finden wir die bekannte statistische Verteilung mit einem gut ausgeprägten Maximum. Sehr große Abweichungen von diesem Mittelwerte nach oben und nach unten sind sehr selten. Die errechnete Kurve verläuft vielleicht asymptotisch, d. h. auch winzig kleine und außerordentlich große Längenwerte hätten noch immer positive Wahrscheinlichkeit und wären daher niemals mit Sicherheit auszuschließen. Praktisch ist aber sehr bald ein Längenwert erreicht, wo wir einfachhin von Unmöglichkeit reden müssen. Anderes hieße mit dem Worte „wahrscheinlich“ Mißbrauch treiben. Diese Grenze ist in unserem Falle schon sicher überschritten, wenn man die Werte 0,001 mm und 10 km nennt. Die folgende Figur veranschaulicht das Gesagte¹. Sicherheit besagt



also das statistische Gesetz darin, daß die Schwankungen um den Mittelwert sehr häufig nur auf ein endliches Intervall beschränkt sind, dessen Grenzen niemals überschritten werden. Auch dadurch verrät diese Gesetzmäßigkeit wiederum klar ihren Ursprung aus kausalem Einzelgeschehen.

Stellen wir also am Schluß von höherer Warte aus die Rollen fest, die Zufall und Gesetz im Naturgeschehen spielen, so müssen wir sagen, daß zutiefst in der subatomaren Welt der Korpuskel, Quanten und Strahlungen strenge dynamische Gesetzmäßigkeit herrscht. Weder der absolute Zufall noch die freie Ursache findet sich in der Tätigkeit dieser Naturdinge. Aus dem Zusammenwirken außerordentlich vieler gleichartiger Elementarursachen erwächst ein Massenverhalten, das unser unvollkommenes Erkenntnisvermögen

¹ Als Abszissen sind die Körpergrößen Erwachsener, und zwar, um einen größeren Spielraum zu gewinnen, in verjüngtem Maßstabe aufgetragen. Die Längen der Ordinaten sind ein Maß für die Häufigkeit der betreffenden Größe. Als äußerste Grenzen der möglichen Schwankungen sind, absichtlich übertrieben, 1 cm und 400 m gewählt. Die punktierte Linie gibt einen unmöglichen Verlauf der Häufigkeitskurve innerhalb der möglichen Schwankungen. Die beiden Äste der Kurve verlaufen asymptotisch zur Abszissenachse; ihr Abstand von dieser Achse ist der deutlicheren Darstellung halber viel zu groß gezeichnet.

in erster Annäherung als statistische Durchschnittsgesetzlichkeit erkennt, der nach verschiedener Hinsicht sowohl Wahrscheinlichkeit als Sicherheit zukommt. Hier tritt also der Zufall in seine Rechte, aber nur der relative. Neben das statistische Gesetz tritt wohl schon im leblosen, sicher aber im belebten Makrokosmos das dynamische. Das gilt natürlich noch mehr für das Reich des Geistigen. Aber gerade dort begegnen wir wiederum dem Zufall, allerdings nur als Wirkung einer freien Ursache, und damit kommt in das Getriebe des Gesamtkosmos das Freigewollte, das Bezweckte. So erscheint neben der Kausalität die Finalität, beide nicht unvereinbare Gegensätze, sondern harmonisch zusammenwirkend und sich ergänzend, insofern sich das nach streng dynamischen Gesetzen notwendig Wirkende in letzter Linie als freie Tat eines höchsten geistigen Schöpferwillens darstellt. Dieser höhere Ausblick, der hier nur angedeutet ist, liegt freilich außerhalb des Bereiches der Naturwissenschaft und auch unseres Themas. Unsere Aufgabe war es vielmehr, die Rolle von Zufall und Gesetzesnotwendigkeit auf chemisch-physikalischem Gebiete klarzulegen und im Zusammenhange damit für das Kausalitätsprinzip und eine streng kausale Naturerklärung einzutreten.

Mois Gatterer S. J.