

46. Band. 2. Heft.

Beiträge zum Kausalproblem.

(5 Aufsätze.)

Von G. Kahl-Furthmann.

II. Physikalische Kausalität und Wahrscheinlichkeit.

1. Ehe zu der Frage nach der Berechtigung der modernen Kritik am Kausalprinzip im Lager der Physiker entscheidend Stellung genommen werden kann, ist es notwendig, daß die physikalischen Begriffe, die den vorliegenden Sachverhalt betreffen, eine Klärung erfahren.

Der Begriff der Kausalität, einer der ursprünglichsten des menschlichen Denkens, der zu allen Zeiten bei der menschlichen Erkenntnis mitgearbeitet hat und über dessen philosophische Bedeutung die nächsten Artikel näheres bringen werden, hatte ursprünglich die Aufgabe, zum Ausdruck zu bringen, daß Etwas mit einem zweiten Etwas in der Weise verbunden sei, daß das erste durch das zweite hervorgebracht werde. Wie dieses Hervorbringen sich zu vollziehen vermöge, war dabei zunächst noch ungeklärt, doch wurde es nach Analogie zu dem vorgestellt, was wir Menschen in unserem inneren Erleben unmittelbar zu erfassen vermögen, wenn wir auf unsere Willensvorgänge unsere Aufmerksamkeit richten. Wie wir vermeinen, unseren Willen als eine Kraft zu erleben, die gewisse Vorgänge hervorzubringen oder zu erzeugen vermag, so wurde auch in demjenigen Etwas, das als Ursache angesehen wurde, eine wirkende Kraft vermutet.

Zu Beginn der Neuzeit entstand eine Revolution des Denkens insofern, als kritische Forscher es sich zur Aufgabe machten, Begriffe auszuschalten, die Dinge und Sachverhalte betrafen, die man weder zu sehen noch sonst irgendwie zu erfassen vermochte, die prinzipiell immer unerkennbar bleiben mußten, und die man darum *qualitates occultae* nannte. Diese Ausschaltung ging langsam und schrittweise vor sich, aber sie führte schließlich dazu, auch den Begriff der Kraft, der die Kausalvorgänge erklären sollte, ohne daß doch genau zu erfassen

war, was eine solche Kraft sei, nachdem er erst von Leibniz zu neuer Bedeutung erhoben worden war, wieder aufzugeben.¹⁾

Galilei hatte ein neues Zeitalter für die Naturforschung in dem Augenblick eröffnet, als er die Frage nach dem Warum aufgab und sich bei seinen Untersuchungen der physikalischen Vorgänge einzig auf die Frage nach dem Wie beschränkte. Diese Beschränkung erwies sich als außerordentlich fruchtbringend, denn auf die Frage nach dem Wie war eine Antwort möglich, während die Warumfrage bisher und zu allen Zeiten immer wieder als eine solche sich erwies, um deren Beantwortung sich die besten Köpfe ihr Leben lang bemühten, ohne doch ein abschließendes Resultat zu erlangen. Es war daher nur zu begreiflich, daß die Naturforscher, beglückt durch die unerwartet großen Fortschritte, die ihre Bemühungen durch die weise Beschränkung ihrer Fragestellung bald gemacht hatten, die Warumfrage definitiv aus ihren Untersuchungen verbannten.

Dennoch ist der Kausalbegriff ein so tief mit dem Denken des Menschen verbundener, daß eine ausgesprochene Polemik gegen seine Anwendung nicht eigentlich einsetzte, sondern vielmehr der Begriff beibehalten wurde, um aber unter den Händen der aus einem neuen Geiste heraus forschenden Denker, die durch kritische Analysen des alten Kausalbegriffs von seiten der Philosophen in ihrem Vorgehen noch unterstützt wurden, einen neuen Gehalt zu gewinnen.

Der alte Kausalbegriff, der den Gedanken des Erzeugens und Hervorbringens zum Ausdruck brachte, verknüpfte mit diesem Gedanken zugleich den, daß dieses Hervorbringen ein notwendiges sei. Dieser zweite Gedanke war es nun, zu dessen Ausdruck man den Kausalbegriff weiterhin verwendete. Er sollte nicht mehr den Gedanken des Hervorbringens, aber dafür den eines gesetzmäßigen, streng notwendigen Verbundenseins zweier Faktoren betreffen. Dieser zweite Gedanke der früheren Vorstellung von Kausalität wurde in der neueren Zeit in eine verschärfte Form gebracht. Die Regel des Verbundenseins war das, auf das sich das Interesse richtete, und hatten im Mittelalter die Philosophen auch schon erkannt, daß hier in bezug auf die Größenbestimmungen notwendige Beziehungen vorlagen, hatte z. B. Thomas von Aquin schon gelehrt: „crescente causa

¹⁾ Vgl. Marbe, *Die Gleichförmigkeit in der Welt* I p. 11; vgl. Haering, *Philosophie der Naturwissenschaft* München 1923, p. 154 ff.; vgl. wie Kirchhoff (Vorrede zu seinen *Vorlesungen über mathematische Physik* Leipzig 1876) den nicht vollständig definierten Begriff der Kräfte als Mittel beibehält, Gleichungen in kurzen Worten auszudrücken.

crescit effectus“, „cessante causa cessat effectus“,¹⁾ so war doch in früheren Zeiten das Interesse noch nicht darauf gerichtet, diese Größenbeziehungen in streng mathematische Formeln zu fassen. Diese mathematischen Formeln aber waren es nunmehr vor allem, auf die sich die Aufmerksamkeit und das Interesse der Naturforscher richtete. Kausalität wurde der Ausdruck nicht einer Warumbestimmtheit, sondern einer streng notwendigen Größenverknüpfung.²⁾ So kann Ernst Mach sagen: „wo wir eine Ursache angeben, drücken wir nur ein Verknüpfungsverhältnis, einen Tatbestand aus, d. h. wir beschreiben“.³⁾

Trotzdem die Tendenz, den Begriff der Kausalität in der angegebenen Weise zu verstehen, seit Galilei wirksam ist, ist dennoch diese neue Auffassung nicht absolut durchgedrungen, teils wohl darum, weil viele Physiker als experimentelle Forscher sich ganz der zu beobachtenden Materie weihen und den letzten Prinzipienfragen, die ihre Forschungsmethoden betreffen, nicht die genügende Aufmerksamkeit zu widmen pflegen. So kann noch heutigen Tages Frank von Physikern sprechen, die „bewußt oder unbewußt den Lehren der Schulphilosophie“ anhängen, d. h. aber, die den Kausalbegriff noch in seiner ursprünglichen Bedeutung auffassen.⁴⁾

Diese Tatsache erklärt es auch, daß 1876 die Einleitung Kirchhoffs zu seinen *Vorlesungen über mathematische Physik*,⁵⁾ in der er unter Hinweis auf die Unklarheiten, die den Begriffen der Ursache und der Kraft anhaften, und in dem Bestreben, diese Unklarheiten zu beseitigen, die Aufgabe der Mechanik dahin beschränkt, „die in der Natur vor sich gehenden Bewegungen zu beschreiben, und zwar vollständig und auf die einfachste Weise zu beschreiben“, in den Kreisen der Physiker so großes Aufsehen erregen konnte. Eigentlich war ja bereits durch das Verfahren des Galilei der Weg ein für alle Mal in diese Richtung gewiesen, und diejenigen Physiker, die sich theoretischen Betrachtungen widmen, gehen ihn fast ausnahmslos.

Wenn sich daher von dieser Seite Widerspruch gegen die Bestimmung Kirchhoffs erhob, wie etwa die von A. Fick,⁶⁾ so wird

¹⁾ Thomas v. Aquin, *S. theol.* I qu. 96 art. 3; vgl. auch a. a. O. qu. 14 art. 8: *posita causa ponitur effectus.*

²⁾ Haering, a. a. O. p. 181 f.

³⁾ Zitiert bei Exner, *Vorlesungen über die physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaft* Wien 1919, 88. Vorl. p. 663.

⁴⁾ Vgl. Philipp Frank, *Was bedeuten die gegenwärtigen physikalischen Theorien für die allgemeine Erkenntnislehre? Die Naturwissenschaften* 1929. p. 990. — Marbe, a. a. O. p. 9. — Haering, a. a. O. p. 192.

⁵⁾ Kirchhoff, a. a. O.

⁶⁾ A. Fick, *Ursache und Wirkung* Kassel 1876.

dieser Widerspruch von dem Gedanken geleitet, daß Beschreibung allein noch nicht die notwendige Regel zum Ausdruck zu bringen vermöge, mit der sich doch die Naturforschung zu beschäftigen hat, und wenn somit Fick an der Stelle des Beschreibens den Ausdruck der kausalen Erklärung fordert, so bedeutet Kausalität bei ihm doch nichts anderes, als „daß ein Ereignis aus dem anderen nach einer unverbrüchlichen Regel mit Notwendigkeit folgt“.¹⁾ Wenn Fick darauf verweist, daß auch Kirchhoffs Darstellung der Mechanik die Gesetze der Bewegung behandle, also ganz die Forderung Ficks erfüllt, so sieht man, daß hier letzten Endes mehr um Worte, als um die Sache gekämpft wird. Der Begriff der Ursache im Sinne des Hervorbringens soll ausgeschaltet, und, wie man vielleicht sagen könnte, die Natur soll durch die Darstellung der Gesetze ihrer Bewegungen beschrieben werden. So kann Eleutheropulos²⁾ schreiben: „Erklärung ist genaue Beschreibung“, und ein Axiom, ein Gesetz oder ein Prinzip als „eine kurze bündige Beschreibung einer zahllosen Wiederholung“ bestimmen.

Der Begriff der Beschreibung hat in der modernen Physik seinen Platz behauptet. Reichenbach stellt sich z. B. die Aufgabe, eine „quantitative Beschreibung des Naturgeschehens“ zu liefern,³⁾ Heisenberg bestimmt die formale Beschreibung des Zusammenhanges der Wahrnehmungen als die Aufgabe der Physik,⁴⁾ und Planck toleriert diese Auffassung.⁵⁾

In ähnlicher Weise, wie oben dargetan wurde, daß die Physiker in ihren Diskussionen über die Begriffe „Beschreiben“ und „Erklären“ als Aufgabe der Physik mehr einen Kampf um die Terminologie als um die sachlichen Verhalte führen, läßt sich zeigen, daß auch die Einführung des Funktionsbegriffes an Stelle des Kausalbegriffes nur das zum Ausdruck bringt, was bereits vorher in der Physik anerkannt worden war. Wenn W. Wien schreibt: „Die Aufstellung von funktionellen Zusammenhängen ist recht eigentlich die Aufgabe der theoretischen Physik. Von Kausalität ist dabei nicht die Rede“,⁶⁾ so richtet sich Wiens Polemik offensichtlich, ebenso

¹⁾ R. Fick, *Bemerkungen über Naturgesetz, Regel Ursachenbegriff* Sitzgbr. der preuß. Akademie der Wissensch. Berlin 1921, p. 285

²⁾ Eleutheropulos, *Was ist Naturgesetz?* Bern-Leipzig 1921, p. 24 u. 25.

³⁾ Reichenbach, *Die Kausalstruktur der Welt und der Unterschied von Vergangenheit und Zukunft* Sitzungsber. der mathem.-naturwiss. Abteilung der Bayer. Akademie d. Wiss. München 1925, p. 133.

⁴⁾ Vgl. die Darstellung der Lehre Heisenbergs bei Hugo Bergmann, *Der Kampf um das Kausalgesetz in der jüngsten Physik* Braunschweig 1929, p. 38.

⁵⁾ Planck, *Physikalische Rundblicke* Leipzig 1922 p. 108/9.

⁶⁾ Vgl. Exner, a. a. O., p. 663.

wie die Machs, der den Kausalbegriff durch den Funktionsbegriff zuerst mit Betonung ersetzt hat, gegen den Kausalbegriff in seiner ursprünglichsten Fassung, denn der Funktionsbegriff Machs ist ebenso wie der moderne physikalische Kausalbegriff der Begriff der gesetzmäßigen Abhängigkeit.¹⁾ Daher kann Marbe durchaus mit Berechtigung, wenn er die populären Kausalsätze, die mit dem Begriff der kraftbegabten Ursachen arbeiten, von den korrigierten physikalischen Kausalsätzen unterscheidet, die letzteren „naturwissenschaftliche Funktionssätze“ nennen.²⁾ Nur eine anders geartete definitonische Festlegung liegt vor, wenn Schlick³⁾ „den durchgängigen Zusammenhang der Vorgänge untereinander, der seinen Ausdruck in der unabänderlichen Bestimmtheit alles Geschehens findet“, als einen kausalen, im Unterschied zu dem funktionalen Zusammenhang bezeichnet, da er den letzteren nicht als eine reale, sondern nur als eine rein begrifflich analytische Beziehung deutet. Im allgemeinen aber ist der Funktionsgedanke neben dem Kausalbegriff in der Physik heimisch geworden.⁴⁾

2. Ist der Kausalbegriff, wie gesagt worden ist, der Ausdruck für die notwendige gesetzliche Beziehung zwischen zwei Faktoren, und haben die Naturgesetze im einzelnen die verschiedenen gearteten gesetzlichen Beziehungen und Regelmäßigkeiten des Geschehens⁵⁾ in mathematischen Formulierungen zum Ausdruck zu bringen, so ergibt sich mit Notwendigkeit, daß das Kausalgesetz als die Voraussetzung aller Gesetzmäßigkeit überhaupt betrachtet werden muß.⁶⁾

So konnte Helmholtz 1881 sagen, daß er sich klar gemacht habe, „daß das Prinzip der Kausalität in der Tat nichts anderes ist als die Voraussetzung der Gesetzlichkeit aller Naturerscheinungen“.⁷⁾

¹⁾ Wir sehen hier von der Richtungsbestimmtheit ab. Vgl. B. Erdmann, *Ueber Inhalt und Geltung des Kausalgesetzes* Halle 1908, p. 27. — Erich Becher, *Geisteswissenschaften und Naturwissenschaften* München-Leipzig 1921, p. 263. — Vgl. Literaturangaben über die Lehre Machs, Avenarius, Petzolds bei Marbe, a. a. O., p. 10/11.

²⁾ Marbe, a. a. O., p. 3 u. 7.

³⁾ Schlick, *Naturphilosophische Betrachtungen über das Kausalprinzip. Die Naturwissenschaften*. 8. Berlin 1920. p. 462/3.

⁴⁾ Vgl. z. B. Haering, a. a. O. p. 175.

⁵⁾ Vgl. Exner, a. a. O. p. 651.

⁶⁾ Vgl. A. Riehl, *Der philosophische Kritizismus und seine Bedeutung für die positive Wissenschaft*, 2. Bd. Leipzig 1879, p. 255: „Das Kausalgesetz ist nämlich nicht selbst ein Naturgesetz, sondern das Gesetz, daß die allgemeine Form der Naturgesetze bestimmt, und das der Geist befolgt, indem er die Natur erforscht.“

⁷⁾ Exner, a. a. O. p. 663.

Zwar auch gegen diese Formulierung lassen sich Bedenken erheben, denn nicht nur durch den Gedanken der notwendigen Verknüpfung ist die Kausalrelation ausgezeichnet, sondern auch durch eine gewisse Erstreckung in der Zeit. Daher macht Schlick in der Bestimmung der Kausalgesetzlichkeit eine gewisse Beschränkung und schließt diejenige Gesetzlichkeit, (wenn es sie gibt,) die gänzlich innerhalb der drei Dimensionen des Raumes bleibt und die Zeit nicht berührt, von ihr aus,¹⁾ und Becher²⁾ polemisiert gegen die Identifizierung von Kausalität und Gesetzmäßigkeit des Wirklichen unter Hinweis auf die Koexistenzgesetzmäßigkeiten, wie sie z. B. im Zusammentreffen der bekannten Eigenschaften des Goldes vorliegen, und betrachtet daher die Kausalrelation als Spezialisierung der allgemeinen Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung, wobei die Tatsache nicht übersehen wird, daß manchmal nicht kausale Gesetzmäßigkeit auf kausale zurückführbar ist.

Gewiß läßt sich einzig unter Hinblick auf diese Koexistenzgesetzmäßigkeiten die Deutung des Kausalprinzips als Voraussetzung aller Gesetzmäßigkeit angreifen, während die Berechtigung dieser Deutung in bezug auf die Gesetzmäßigkeiten des Geschehens uneingeschränkt bestehen bleibt.

3. Ehe im folgenden der Begriff des statistischen Gesetzes, dessen Einführung in die Physik eine so gewaltige Revolution erzeugt und so schwere Bedenken gegen die Geltung des physikalischen Kausalgesetzes erweckt hat, mit den Begriffen, die zu seinen Voraussetzungen gehören, nämlich Wahrscheinlichkeit und Zufall, erörtert werde, sei noch kurz darauf verwiesen, daß zwar im allgemeinen kausale und statistische Gesetzmäßigkeit als zwei unterschiedene Faktoren betrachtet werden, von denen der zweite dem ersten seinen Geltungsbereich streitig zu machen im Begriff ist, daß aber dennoch bei einigen Physikern eine abweichende Terminologie in Anwendung kommt, und während im allgemeinen Kausalität der Ausdruck der notwendigen gesetzmäßigen Beziehung zu sein pflegt, in vereinzelt Fällen sie als Ausdruck der Gesetzmäßigkeit überhaupt betrachtet wird und somit die statistische Gesetzmäßigkeit mit unter sich befaßt. So bestimmt Exner das Kausalgesetz als den Ausdruck für die Tatsache, daß die Naturvorgänge, „soweit wir sie makrokosmisch, d. i. in Durchschnittswerten, zu verfolgen vermögen, nicht zufällig, sondern gesetzmäßig verlaufen“, oder, wie er sich an anderer Stelle ausdrückt, „daß bei

¹⁾ Schlick, a. a. O. p. 474.

²⁾ Becher, a. a. O. p. 252 u. 261.

gegebenen Bedingungen ein im Durchschnitt gesetzmäßiger Ablauf der Erscheinungen resultiert.“¹⁾)

Es ist bereits im ersten Artikel dargelegt worden, wie die Erkenntnis, daß sich letzten Endes alle physikalischen Vorgänge, die bisher als streng notwendig kausalbestimmt gedeutet wurden, aus einer sehr großen Anzahl von mikrokosmischen Einzelgeschehnissen zusammensetzen, die sich dem speziellen, gerade in Frage kommenden kausalen Naturgesetz nicht beugen, sondern für den Beobachter scheinbar ganz willkürlich verlaufen, trotzdem die Summe aller dieser Vorgänge das Resultat darstellt, das durch strenge Kausalität gefordert wird, kurzum die Erkenntnis der statistischen Natur dieser Gesetzmäßigkeiten es ist, die die Anerkennung der Kausalitätsgesetzlichkeit im strengen Sinne in den Theorien der modernen Physik immer mehr in ihrem Geltungsbereich bedroht, ja zum Teil schon völlig vernichtet hat.

Diese statistischen Durchschnittsgesetze haben sich als identisch mit den durch die Wahrscheinlichkeitsrechnung zu erfassenden Gesetzmäßigkeiten der Glücksspiele erwiesen. Demzufolge spricht Bergmann, der an Stelle der strengen Kausalvoraussetzung die statistische Gesetzesauffassung vertritt, davon, daß in der Welt „der durch die Wahrscheinlichkeitsrechnung gebändigte Zufall“ herrsche.²⁾)

Ob diese Bestimmung Bergmanns ganz glücklich ist, möge später entschieden werden. Auf jeden Fall aber wird die statistische Gesetzmäßigkeit mittels der Wahrscheinlichkeitsrechnung ermittelt und beruht diese wiederum auf der Voraussetzung des Zufalls, so daß es notwendig ist, daß an dieser Stelle die Begriffe der Wahrscheinlichkeit und des Zufalls einer eingehenden Prüfung unterzogen werden.

4. Der Begriff der Wahrscheinlichkeit ist zusammengesetzt aus dem Begriff der Wahrheit und dem des Scheins. Wahrheit betrifft eine Beziehung zwischen einem Sachverhalt und einem Erkenntnisinhalt, (wenn auch in abgeleiteter und weniger gebräuchlicher Form sie im Mittelalter nebenher Bedeutung der ontologischen Wahrheit haben konnte, die eine Beziehung zwischen Gegenständen (Gott und den Dingen) und nicht zwischen Gegenständen und einem Erkenntnisvermögen darstellt). Schein wiederum betrifft die Beziehung eines Gegenstandes zu einem erfassenden Geist.

¹⁾ Exner, a. a. O. p. 662 u. 664, vgl. auch p. 693, vgl. Reichenbach, *Die Kausalstruktur der Welt und der Unterschied von Vergangenheit und Zukunft* p. 136. Reichenbach will zeigen, „wie sich die Kausalstruktur der Welt allein mit Hilfe der Begriffe der wahrscheinlichen Bestimmtheit beherrschen läßt“. Vgl. Aufsatz I.

²⁾ Bergmann, a. a. O. p. 54.

So verweist der Begriff der Wahrscheinlichkeit auf etwas, was seinen Ort nicht in der Realität hat, sondern was in einer Beziehung zwischen dieser Realität und unserem Erfassen gründet. Ein gewisses subjektives Moment ist an dem Begriff der Wahrscheinlichkeit unverkennbar. Aber dennoch läßt sich auf diesen Begriff eine mathematische Wissenschaft aufbauen, von der Planck mit Recht sagt, daß sie „einer exakten Formulierung und einer strengen Beweisführung nicht nur fähig, sondern auch bedürftig ist.“¹⁾

Es seien im Folgenden kurz die Voraussetzungen geprüft, die einer Wahrscheinlichkeitsrechnung zugrunde liegen. Czuber hat sie folgendermaßen bestimmt: „Von der Kausalität des Geschehens wird abgesehen, somit die Hypothese eines absoluten oder reinen Zufalls gemacht. Damit ist auch die Unabhängigkeit zeitlich verschiedener Verwirklichungen der allgemeinen Bedingungen vorausgesetzt. Bei jeder der Rechnung unterzogenen Materie wird eine Festsetzung über die gleichmöglichen Fälle getroffen.“²⁾

Somit ist eine der Voraussetzungen dafür, daß etwas durch Wahrscheinlichkeitsrechnung zu erfassen ist, das Vorhandensein einer Anzahl von gleichmöglichen Fällen, die nach Laplace nach dem Prinzip des mangelnden Grundes, nach dem man keinen Grund hat, zu glauben, daß ein Fall eher eintritt als der andere,³⁾ oder nach v. Kries, der sich bemüht, das subjektive Moment aus der Bestimmung der gleichmöglichen Fälle auszuschneiden, nach dem Prinzip des zwingenden Grundes, d. h. ohne jede Willkür, aufgestellt werden müssen.⁴⁾ Czuber schließlich, der das Prinzip des zwingenden Grundes bevorzugt, erkennt dennoch, daß dieses in den meisten Fällen praktisch durch das Prinzip des mangelnden Grundes ergänzt werden muß.⁵⁾

¹⁾ Planck, a. a. O. p. 97.

²⁾ Emanuel Czuber, *Wahrscheinlichkeitsrechnung und ihre Anwendung auf Fehlerausgleichung, Statistik und Lebensversicherung* I, 4. Auflage. Berlin-Leipzig 1924. p. 15.

³⁾ Vgl. Stumpf, *Ueber den Begriff der mathematischen Wahrscheinlichkeit*, p. 48. Stumpf, der der Ueberzeugung ist, daß der von Laplace hingestellte Wahrscheinlichkeitsbegriff einer Korrektur im Sinne objektiver Voraussetzungen nicht bedürfe (p. 120), schreibt (p. 62/3): „Nur — solange und soweit wir in Unkenntnis sind, solange und soweit findet eine Wahrscheinlichkeit statt, und die Berechnung gründet sich gerade auf das mit dem Wissen verknüpfte Nichtwissen.“ Vgl. Stumpfs Auseinandersetzung mit der Lehre von v. Kries p. 61 ff.

⁴⁾ v. Kries, *Die Prinzipien der Wahrscheinlichkeitsrechnung*, 2. Abdruck, Tübingen 1927, p. 11: „Die Aufstellung der gleichmöglichen Fälle muß eine in zwingender Weise und ohne jede Willkür sich ergebende sein.“

⁵⁾ Czuber, a. a. O. p. 12 ff.

5. Wichtiger als der Begriff der gleichmöglichen Fälle ist in der vorliegenden Untersuchung der des Zufalls. Physikalische Kausalität bedeutet notwendige gesetzliche Beziehung, Zufall dagegen bezeichnet im primären Sinne des Wortes die Aufhebung dieser Notwendigkeit.¹⁾ Wirkt in der Tat dieser Begriff des Zufalls mit bei der Konstituierung des Begriffs der statistischen Gesetzlichkeit, und läßt sich eine solche Gesetzlichkeit in der Natur erweisen, dann erscheint in Wahrheit Kausalität in ihrem Bestande aufs Schwerste bedroht. Es ist daher die Frage, was an dieser Stelle unter Zufall zu verstehen ist.

Während es für Gatterer, den scholastisch geschulten Philosophen, eine Selbstverständlichkeit bedeutet, daß mit dem durch die Wahrscheinlichkeitsrechnung geforderten Zufall nur der relative Zufall im Sinne des „kausal bedingten Werden(s)“ das aber „als solches nicht oder nur unvollkommen erkannt“ ist, gemeint sein kann und nicht der freie Akt, denn, sollte man doch diesen „verwegenen Gedanken wagen, so müßte man den leblosen Naturdingen, wie Molekülen, Atomen, Elektronen auch die notwendige Vorbedingung für die Betätigung ihrer Freiheit nämlich richtige Intelligenz beilegen und alle Phantastereien der Panpsychisten in Kauf nehmen“ — und auch nicht der absolute Zufall, der für Gatterer, im Hinblick auf die Geltung des Kausalgesetzes, ein ‚Unding‘ bedeutet,²⁾ ist es für Exner selbstverständlich, „daß der ‚Zufall‘ etwas vom Menschen und seinem Wissen gänzlich Unabhängiges ist“, ja, „etwas in der Natur objektiv Gegebenes sein muß.“³⁾

Für Gatterer ist es bei Beginn seiner Untersuchungen über das Problem der statistischen Gesetzlichkeit entschieden, daß die Lehren der Panpsychisten Phantastereien sind,⁴⁾ und daß das Kausalprinzip absolute Gültigkeit hat. Damit aber ist auch bereits das Resultat seiner ganzen Untersuchung im voraus streng determiniert. In der vorliegenden Untersuchung soll dagegen an Hand der Angriffe, die die Physiker auf die Geltung des Kausalgesetzes richten, dasselbe von neuem zum Problem gestellt werden. Wir stehen vielleicht am Wendepunkt der wissenschaftlichen Forschung, und nur dann wider-

¹⁾ Vgl. v. Kries, a. a. O. p. 97: „In den mannigfachen Modifikationen, welche die Bedeutung des Wortes Zufall zeigt, erhält sich am ehesten konstant, daß durch dasselbe irgend eine Notwendigkeit oder Gesetzmäßigkeit negiert werden soll.“

²⁾ Alois Gatterer, *Das Problem des statistischen Naturgesetzes* Innsbruck 1924, p. 25 u. 24.

³⁾ Exner, a. a. O. p. 667.

⁴⁾ Dennoch erörtert Gatterer die Möglichkeit eines leitenden Formprinzips in jedem Atom, p. 44/5.

fährt der Situation Gerechtigkeit, wenn nichts als entschieden vorausgesetzt, sondern alles ab ovo untersucht wird.

Daher sei versucht, das, was Zufall in dem vorliegenden Zusammenhang zu bedeuten hat, durch die Betrachtung und Analyse eines statistischen Sachverhaltes zu erfassen. An Hand eines Beispiels, und zwar sei hier das naheliegende und auch von Exner beigezogene Beispiel des Würfelspiels benutzt, werde die Frage entschieden, ob überhaupt Zufall, und wenn diese Frage zu bejahen ist, welche Art des Zufalls die notwendige Voraussetzung der statistischen, auf Wahrscheinlichkeitsrechnung gegründeten Naturgesetze darstellt.

Man betrachte zunächst einen einzelnen Wurf! Gegeben ist der sechsseitige Würfel, in dem Mittelpunkt und Schwerpunkt zusammenfallen, sodann eine Tischplatte und eine Hand, die den Würfel wirft. Eine Reihe von Bedingungen dieses Wurfs wird konstant auch bei den folgenden Würfeln erfüllt. Variabel ist das Greifen durch die Hand, der Antrieb, der durch sie erfolgt und alles, was damit zusammenhängt.

Es liegt gewiß kein objektiver Grund vor, den Vorgang des Einzelwurfs jenseits des Kausalzusammenhanges zu setzen, wenn man nicht vorher schon prinzipiell den Kausalgedanken hat fallen lassen. Ein Geist, der alle Bedingungen zu erkennen vermöchte, würde auch das Resultat des Einzelwurfes voraussehen.

Eine gleiche Betrachtung, wie bei dem ersten Wurf, läßt sich auch über die weiteren Würfe anstellen. Jeder einzelne Wurf läßt sich widerspruchslos als streng kausalbedingt auffassen.¹⁾ Die einzelnen Würfe aber stellen Kausalreihen dar, die offensichtlich voneinander unabhängig sind oder doch sehr entfernte Abschnitte einer und derselben Kausalreihe bilden. Werden durch die Wahrscheinlichkeitsberechnung, wie hier beim Würfelspiel, auch Geschehnisse erfaßt, die nacheinander erfolgen, so ist doch dieses Nacheinander für die Wahrscheinlichkeitsberechnung ohne jede Bedeutung. So schreibt Stumpf: „Im Grunde folgt übrigens die Irrelevanz der Zeit schon daraus, daß es für die Wahrscheinlichkeitsbestimmung zugeständenermaßen einerlei ist, ob wir sechsmal nacheinander oder gleichzeitig würfeln.“²⁾

Wie erklärt es sich nun, daß das Zusammen der verschiedenen Würfe im Durchschnitt eine um so größere Annäherung an ein streng

¹⁾ Die Deutung der Kausalität des Einzelfalles als eine Durchschnittsgesetzlichkeit ließe sich definitorisch ausschalten. Vgl. den folgenden Aufsatz.

²⁾ Vgl. Stumpf, a. a. O. p. 46, derselbe schreibt p. 43: „Das Zeitmoment ist nicht mit in die Definition der Wahrscheinlichkeit einzubeziehen“. Vgl. Exner, a. a. O. p. 677.

bestimmtes Resultat (im vorliegenden Falle an das arithmetische Mittel der Zahlen von 1 bis $6 = 3,5$) gewinnt, je länger die Versuchsreihen sind? Die Resultate der verschiedenen Würfe entstehen aus dem Zusammenwirken der konstanten und der variablen Bedingungen. Diese letzteren sind so geartet, daß sie zwar die Kausalreihe eines einzelnen Wurfes streng in einer bestimmten Richtung determinieren, daß sie sich aber in den verschiedenen Kausalreihen derart auswirken, daß sie sich gegenseitig aufheben, und daß demzufolge das Gesamtergebn einer Durchschnittsbetrachtung so erscheint, als ob sie gar nicht am Werke gewesen wären.

Wo aber ist in diesem Zusammenhang für den Zufall der Ort? Trotzdem Exner sich nicht eigentlich die Aufgabe stellt, zu sagen, was der Zufall ist, und nur nach einem Kriterium für ihn sucht, und dieses in dem hier zur Frage stehenden Fall des Würfelspiels in der Tatsache findet, daß die Mittelwerte der einzelnen gewürfelten Serien sich dem arithmetischen Mittel der Zahlen 1—6 nähern, stimmt er doch ausdrücklich der Ansicht zu, daß es hier nur auf das gegenseitige Unabhängigsein der verschiedenen Würfe ankomme.³⁾ In der Tat, Zufall, wie er hier gemeint ist, bringt die Unabhängigkeit der variablen Bedingungen des einen Wurfes von den variablen Bedingungen des anderen Wurfes zum Ausdruck. Wie aber verhält sich ein so definierter Zufall zu der Notwendigkeit, die durch das Kausalgesetz zum Ausdruck gebracht wird?

Kausalität im physikalischen Sinne bedeutet notwendige gesetzmäßige Verknüpfung, und zwar von zwei Faktoren, die zeitlich durch die Ordnung des Nacheinander verbunden sind. Zufall, der die Aufhebung einer Notwendigkeitsbeziehung darstellt, vermag nur dann Kausalität zu vernichten, wenn er zwischen zwei Faktoren besteht, die zeitlich nacheinander geordnet sind. Nun aber haben die vorangegangenen Untersuchungen bereits deutlich gemacht, daß der Zufall, der die Voraussetzung der Wahrscheinlichkeitsrechnung und damit der statistischen Gesetzmäßigkeit ist, in keiner Weise zwischen nacheinander, sondern zwischen nebeneinander geordneten Faktoren seinen Ort hat. Sein Bestehen vermag also in keiner Weise irgendetwas gegen das Bestehen der kausalen Gesetzmäßigkeit auszumachen.

Aber nicht nur durch seine Stellung im Nebeneinander der Faktoren ist der hier zur Frage stehende Zufall charakterisiert. Das zeigt sich deutlich, wenn die Frage aufgerollt wird: Wie gestaltet der Zufall das Gesetz? Wie ist es überhaupt denkbar, daß etwas ein nahezu streng

³⁾ Vgl. Exner, a. a. O. p. 670, 669, 677/8.

determiniertes Resultat ergibt (und als solches ist die statistische Gesetzlichkeit doch anzusprechen, wenn sie genügend große Gruppen erfaßt), wenn es in seinem Ansatz den Begriff des Zufalls impliziert?

Während im allgemeinen mit dem Begriff des Zufalls im Gegensatz zu dem der Notwendigkeit irgendetwas Irrationales, Unfaßbares, völlig Unbestimmtes und Willkürliches bezeichnet wird, hat der Zufall, der zwischen den verschiedenen Würfeln waltet und der die Unabhängigkeit der verschiedenen Würfe voneinander zum Ausdruck bringt, einen wesentlich anderen Charakter, durch den es ermöglicht wird, daß aus diesen nur zufällig nebeneinander stehenden Würfeln in ihrer Gesamtheit ein streng determiniertes Resultat gewonnen wird.

Dieser Zufall ist in der Tat ganz besonders strukturiert. Er bezeichnet nicht die völlige Irrationalität in dem Sinne, daß alles und jedes möglich ist, sondern er bezeichnet die Charakterisierung der variablen Bedingungen in dem Sinne, daß sie sich gegenseitig ausgleichen und in einer Gesamtbetrachtung aufheben. Er bezeichnet das, was Boltzmann in der Gastheorie den Zustand der elementaren Unordnung genannt hat, also ein gleichmäßiges und nicht ein willkürliches Durcheinander. So nur ist es begreiflich, daß unter der Voraussetzung des Zufalls das Gesamtergebn dem Gesetz zu entsprechen vermag.

Soviel aber ist deutlich, daß der Zufall, der bei der Wahrscheinlichkeitsbestimmung am Werke ist, nicht als ein Gegner und Vernichter des Kausalgedankens aufzutreten vermag. Vielmehr umfaßt er andere Bezirke als dieser, und wenn Czuber bei der Darlegung der Voraussetzungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung sagt: „Von der Kausalität wird abgesehen“, ¹⁾ so bringt er damit nur das zum Ausdruck, um was es sich in der Tat hier handelt. Die statistische Gesetzlichkeit widerlegt nicht die kausale, sie widerstreitet ihr nicht, sondern sie umfaßt ein Gebiet, das Gebiet der Summe oder des Nebeneinanders, worin in diesem Sinne Kausalität nie am Werke war.

6. Es sei im Folgenden gestattet, an Hand eines Beispiels zu zeigen, wie es möglich ist, durch leichte Begriffsverschiebungen dem Zufall, der zunächst ganz im obigen Sinne gefaßt wurde, eine neue Gestalt zu geben und ihn dann gegen Kausalität ins Treffen zu führen.

Exner hat in seinen Vorlesungen über die physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaften zunächst Bestimmungen gegeben, die den Zufall in ähnlicher Weise charakterisieren, wie er oben dargestellt worden ist. Dem entsprechend schreibt Exner: „Einem ver-

¹⁾ Czuber, a. a. O. p. 15; vgl. auch Stumpf, a. a. O. p. 50.

einzelten Ereignis gegenüber haben wir also in bezug auf die Frage des Zufalls gar kein Urteil oder, besser gesagt, nach den vorstehenden Ausführungen über diesen Begriff hat es gar keinen Sinn, bei einem singulären Ereignis nach Zufall zu fragen.“¹⁾ und weiterhin: „Es kommt also gar nicht darauf an, ob in einer Mannigfaltigkeit von Fällen die Einzelercheinungen kausal bedingt oder zufällig sind — falls diese Unterscheidung überhaupt einen Sinn hat — und noch viel weniger, welche Meinung wir uns darüber bilden wollen; das Kriterium, welches wir für die Zufälligkeit einer Reihe aufgestellt haben, bezieht sich niemals auf den einzelnen Fall und kann sich nie auf solchen beziehen, sondern lehrt uns nur die Unabhängigkeit der einzelnen Fälle voneinander oder die Zufälligkeit der ganzen Reihe in ihrem Zustandekommen. Zieht man aber vor, den Kausalitätsstandpunkt möglichst festzuhalten (was übrigens Exner nicht tut), so könnte man sagen, jeder einzelne Wurf mit dem Würfel ist mechanisch (kausal) bedingt, die ganze Reihe der Würfe aber und ihre Aufeinanderfolge ist eine zufällige.“²⁾ Vielleicht würde es besser sein, wenn Exner auch hier sagen würde „eine durch Zufall bedingte“. Es ist aber offensichtlich: ein Begriff des Zufalls, der Kausalität vernichten könnte, wird von Exner nicht gebildet und steht hier nicht zum Problem. Daher muß auch Exner den Kausalitätsstandpunkt zunächst tolerieren.

Nun aber bringt Exner in derselben Vorlesung, wenig später, eine interessante Wendung, die die Gesamtlage mit einem Schlage ändert. Der vorliegende Sachverhalt ist so bedeutungsvoll, daß Exner nochmals wörtlich angeführt werden muß. Er schreibt: „Wir können unsere Aufmerksamkeit auf die einzelnen Würfe und deren Wert richten oder können uns damit begnügen, den erhaltenen Durchschnittswert zu konstatieren. Im ersteren Falle sind wir im Bereich des Zufalls; für keinen einzigen Wurf gibt es ein Gesetz, das seinen Wert bestimmen würde oder auch nur einen Anhaltspunkt für eine bestimmte Erwartung, im zweiten Falle aber gibt es ein Gesetz, das mit jeder gewünschten Genauigkeit erfüllt ist, sobald wir die Reihen lang genug fortsetzen. Hier also grenzen zwei Welten aneinander: die Welt des Zufalls und die Welt der Gesetze, der Mikrokosmos und der Makrokosmos.“³⁾

Es ist notwendig zu betonen, daß Exner lange Untersuchungen angestellt hat, um wenigstens durch Kriterien den Zufall, der der

¹⁾ Exner, a. a. O. p. 677.

²⁾ a. a. O. p. 679.

³⁾ a. a. O. p. 681.

Wahrscheinlichkeitsrechnung zugrunde liegt, zu erfassen. Und nunmehr wird unmittelbar darauf von ihm ein ganz anderer, völlig undefinierter Begriff des Zufalls in die Schranken geführt, ein Begriff, der unserem Sprachbewußtsein sehr nahe liegt, und der daher von dem Leser nur zu leicht unkritisch hingenommen werden wird. Jetzt auf einmal ist, im direkten Gegensatz zu dem, was Exner kurz vorher ausgeführt hat, der Bereich des Einzelgeschehens der Bereich des Zufalls, eines Zufalls aber, der nichts anderes zum Ausdruck zu bringen scheint, als die triviale Erkenntnis, daß wir Einzelgeschehnisse nicht voraussehen können, weil wir nicht alle ihre Bedingungen zu übersehen vermögen, denn durch nichts ist es von Exner belegt, daß der in Frage kommende Zufall auch nur die allergeringste objektive Bedeutung habe. Daß es bei dem Einzelereignis für eine gewisse Erwartung keinen Anhaltspunkt gebe, läßt sich erkennen, daß es aber für den einzelnen Wurf kein Gesetz gebe, das seinen Wert bestimmt, ist eine völlig unbewiesene Behauptung Exners. In der Tat, Exners Vorgehen ist als ein in jeder Hinsicht unbegründetes zu bezeichnen, und wenigstens sei er sich bewußt, daß mit derartigen Wendungen zur Beantwortung der Frage, ob Kausalität im Mikrokosmos herrsche oder nicht, auch nicht der allergeringste Beitrag geliefert worden ist.¹⁾

Somit lassen die Ausführungen Exners durchaus nicht erkennen, wie Exner doch am Beginn seiner nächsten Vorlesung vermeint,²⁾ „daß wir ‚Gesetz‘ nur dort erwarten dürfen, wo makrokosmische Vorgänge im Spiel sind“, es sei denn, Exner habe hier nur die Frage nach der Erkenntnisordnung und nicht nach der Seinsordnung im Sinn. Wenn aber Exner vermeint, daß, da alle unsere bekannten physikalischen Gesetze sich auf makrokosmische Verhältnisse beziehen, die Voraussetzung, daß jedes Einzelereignis im Mikrokosmos „streng kausal bedingt sei, keine auf Erfahrung basierte Berechtigung mehr“³⁾ habe, so schneidet er damit die Frage nach dem Wesen der Voraussetzung und damit nach der physikalischen Methode überhaupt an, die der nächste Artikel zu behandeln haben wird.

Soviel aber haben die vorliegenden Untersuchungen gezeigt: der Zufall und die auf ihn gegründeten statistischen Gesetze stehen nicht im Widerspruch zu der Annahme eines durchgehenden kausalen Naturzusammenhanges, da der Zufall, der die Voraussetzung der

¹⁾ Vgl. dazu Exner, p. 679: „Den Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen liegt gar keine Annahme darüber zugrunde, ob die Einzelereignisse für sich kausal bedingt oder zufällig sind.“

²⁾ Exner, a. a. O. p. 684.

³⁾ a. a. O. p. 691.

Wahrscheinlichkeitsrechnung bildet, nicht das Zusammen der in Frage kommenden Glieder im Nacheinander, sondern im zeitlich indifferenten Nebeneinander betrifft.

Damit wird auch deutlich, wie völlig irreführend es ist, wenn Bergmann, der die statistische Gesetzesauffassung vertritt, davon spricht, daß in der Welt „der durch Wahrscheinlichkeitsrechnung gebändigte Zufall“ herrsche, denn es ist für den Leser naheliegend, Zufall im populären Sinne als Ausdruck der absoluten Gesetzlosigkeit und Willkür und damit als Gegenbegriff gegen Kausalität zu verstehen. Gewiß hat ein Physiker das Recht, einzig unter der Voraussetzung des statistischen Gesetzes seine Untersuchungen durchzuführen, aber die Berechtigung zu dieser Voraussetzung vernichtet und bedroht in keiner Weise, wie oben gezeigt worden ist, den Geltungsbereich des Kausalgesetzes.