

# PROBLEME DER KAUSALITÄT IN DER PHYSIK

Vor Philosophen des Instituts für Marxismus-Leninismus und Angehörigen des Instituts für Philosophie hielt Prof. Dr. Armin Uhlmann, Theoretisch-Physikalisches Institut vor kurzem einen Vortrag über Probleme der Kausalität in der Physik. Aus dem Vortrag und der anschließenden Diskussion veröffentlichen wir nachstehend einige Auszüge.

Im ersten Teil seiner Ausführungen gab Prof. Uhlmann einen Abriss der Entwicklung des Kausalbegriffes von den alten Griechen über Bruno, Galilei, Newton bis zum Laplaceschen Determinismus, der erstmalig nicht nur einzelne Vorgänge, sondern den Gesamtverlauf der Entwicklung zu erfassen sucht und nachdem alle Vorgänge sich mit absoluter Notwendigkeit vollziehen. Diese Auffassung der Kausalität, stellte Prof. Uhlmann fest, konnte noch für den gesamten Bereich der klassischen Physik übernommen werden, sie gilt auch bei elektrodynamischen Prozessen. Nach der Charakterisierung der Newtonschen Kausalauflösung wurden einige Aspekte der Kausalität in der klassischen Physik genannt:

Die Newtonsche Auffassung, die eigentliche mechanische Auffassung, kennt die Wechselwirkung nur als einen sekundären Begriff. Betrachten wir beispielsweise die Wechselwirkung zwischen Erde und Sonne, auf Grund deren sich die beiden Körper gerade in der Weise bewegen, wie wir es beobachten. Diese Wechselwirkung wird in der Mechanik aufgelöst in zwei gegenläufige Ursache-Wirkungs-Beziehungen: Die Sonne übt eine Kraft auf die Erde aus, weshalb sich diese in einer bestimmten Weise bewegen muß; die Erde wirkt auf die Sonne, weshalb sich die Sonne in einer bestimmten Weise bewegen muß. Auf Grund dieser Tatsache gelangt es auch, das Zweikörperproblem in zwei Einkörperprobleme zu zerlegen. Eine solche Auflösung ist in der Mechanik durchgängig möglich, versagt aber bereits in der Elektrodynamik, weshalb es dort eine Reihe von Themen gibt, die bis heute noch die Gemüter bewegen. Denn immer dort, wo man diese Analyse nicht so weit treiben kann, dort wo man die Wechselwirkung nicht vollkommen in elementare Ursache-Wirkungs-Beziehungen zerlegen kann, wird die Behandlung eines Problems außerordentlich kompliziert. Der Grund für diese Dinge in der Elektrodynamik ist das Auftreten einer neuen Form der Materie, das Auftreten von Feldern.

Wenn man ein geladenes Teilchen hat, dann befindet sich um dieses Teilchen ein Feld, das eine selbständige Existenz hat oder haben kann. Es handelt sich hier um eine Form der Materie, die verschieden ist von dem, was man handgreiflich als festen Körper usw. sieht. Wenn nun z. B. ein ungeladenes Teilchen auf ein geladenes trifft, dann übt nach dem ursprünglichen Kraftbegriff dieses Teilchen auf das geladene eine Kraft aus. Dadurch wird die Bewegung des geladenen Teilchens geändert. Aber es gibt hier eine Art Nachwirkung. Das geladene Teilchen wird sich ein Stück weiterbewegen, aber es hat ja um sich das Feld, das nicht plötzlich nachfolgen kann. Es bleibt gewissermaßen etwas zurück. Das Feld hat — man muß sich das einmal heuristisch so vorstellen — in diesem Moment nicht mehr die normale Gestalt, die es eigentlich haben müßte, und wird nun von dem Teilchen nachgezogen. Dabei bleibt ein „Stück“ vom Feld zurück, es löst sich etwas ab, in Form eines anderen Feldes, das davonfliegt. Es wird Strahlung emittiert. Dies wiederholt sich in kontinuierlicher Weise, so daß dieser Stoß nicht nur in dem Moment wirkt, wo er wirklich erfolgt, sondern in einer außerordentlich komplizierten Weise eine ganze Weile hinterher. Obwohl das Teilchen, das stößt, sich selbst zurückzieht, das bezeichnen die Physiker als Selbstwechselwirkung, ein Begriff, der auch in der neueren Physik eine große Rolle spielt. Man kann ein Elektron nicht isoliert für sich betrachten, wenn eine Kraft darauf wirkt. Es gibt immer eine Rückwirkung des umgebenden Feldes, die man nicht einfach auslassen kann. Durch das Feld, das um das Teilchen herum ist, wird der ganze Verlauf der Bewegung außerordentlich kompliziert. Es folgt, daß man das Teilchen nicht mehr im Sinne des Laplaceschen Determinismus beschreiben kann, ohne gleichzeitig seine gesamte Umgebung (das Feld) mit hinzuzuziehen — ganz im Gegensatz zu dem Problem Sonne-Erde in mechanischer Sicht. Ein geladenes Teilchen, das seine Bewegung rasch genug ändert, kann man daher nicht ohne weiteres als ein abgeschlossenes System ansehen. Es hat immer die Möglichkeit äußerer Einwirkungen: hier äußere Einwirkungen im negativen Sinne — also Abstrahlung nach außen. Die Wechselwirkung ist also bereits in der klassischen Physik nicht mehr so einfach, wie es der ursprüngliche mechanische Kausalbegriff vorgesehen hätte, und wie er ja auch in der Mechanik selbst ausgezeichnet funktioniert.

Ein anderer Aspekt, der vielleicht noch interessanter ist: Vom Standpunkt der klassischen Mecha-

nik gibt es im Grunde genommen keinen Zufall — eben auf Grund des Laplaceschen Determinismus. In seiner allgemeineren Form, die auch in der Elektrodynamik erfüllt ist, hat jedes Ding letzten Endes irgend etwas, was dies mit Notwendigkeit, und zwar mit absoluter Notwendigkeit hervorruft. Dadurch tritt der Zufall nur als eine Kategorie der Erkenntnis auf. Der Zufall tritt sogar nur als eine subjektive Kategorie auf, in dem es entweder auf den Standpunkt ankommt, ob etwas „zufällig“ oder nicht oder in dem menschliches Unvermögen, Unkenntnis usw. vorliegt, das Problem zu überblicken. Aber mit der Wahrscheinlichkeitsrechnung und dem damit verbundenen Problem des Zufalls, der Möglichkeit usw. tritt etwas Neues in das Blickfeld der Wissenschaft, das der Mechanik fremd ist. Wichtig ist damals, insbesondere Laplace betont es immer wieder, ist die Wahrscheinlichkeitsrechnung und das Rechnen mit Zufällen nur ein Ausdruck der Unkenntnis und des Unvermögens, irgendwelche komplizierten Gleichungssysteme zu lösen und genügend über Anfangsdaten zu wissen. Jedoch tritt in der Wahrscheinlichkeitsrechnung etwas nicht mit Hilfe der Mechanik Erklärbares auf, nämlich das Gesetz der großen Zahlen.

Wie kommt es, daß, wenn ich einen Würfel habe, der genügend gleichmäßig ist, bei genügend vielen Würfeln jede Zahl gleich oft gewürfelt wird (gewisse Schwankungen kann man abschätzen)? Man kann sich vorstellen, daß es vielleicht mit besonderen Merkmalen der Hand zusammenhängt, die würfelt. Doch man kann auch mit Hilfe einer Maschine würfeln, wobei sich herausstellt, daß entweder immer eins bis sechs gleich wahrscheinlich auftritt oder die Bevorzugung einer Zahl von der ersten Eingabe des Würfels in die Maschine abhängt. Das Kuriose ist, daß man sich durchaus eine Maschine vorstellen kann, die würfelt, und daneben einen Elektronenrechner, den wir so vollkommen sehen wollen, daß er jedes einzelne Teilchen, jede Bewegung des Würfels mechanisch vollkommen durchrechnet. Er wird auch rechnen, daß der Würfel jedesmal so fallen muß, wie er fällt. Aber dies wird nicht erklären können, warum alle Zahlen gleich wahrscheinlich auftreten. Ein anderes Beispiel, das realistischer ist: Wenn wir die Geschwindigkeit der einzelnen Teilchen eines Gases messen und wir tragen sie auf, so gibt das immer (unter gleichen äußeren Bedingungen) dieselbe Kurve. Nun fragt sich aber, weshalb alle solche ungeordneten Bewegungen immer gerade diese Geschwindigkeitsverteilung haben, die in allen Lehrbüchern beschrieben ist. Warum hat nicht jedes Gas eine andere? Warum kommt es zur Bildung eines Gleichgewichts zwischen den einzelnen Bewegungen, welches verhindert, daß plötzlich ein großer Teil aller Atome, aller Moleküle, in eine Richtung strebt und woanders ein Vakuum wird? Wohlgerichtet, es gibt keine Kräfte, die das verhindern, in dem Gas wirkt keine Kraft, die stark genug wäre, zu verhindern, daß durch einen Zufall alle Atome plötzlich in einer Richtung bewegt sind. Obwohl keine Kräfte da sind, die regulieren, daß immer die erwähnte Kurve zustande kommt, hat das Gas eben diese Geschwindigkeitsverteilung. Man versucht, diese Geschichte aus der Mechanik zu erklären, indem man ihre Gleichungen auf ein System sehr vieler Teilchen, die in einem Kasten eingeschlossen sind, angewandt hat. Dieser Versuch war schließlich von Erfolg gekrönt und es entstand die statistische Mechanik. Aber es ging nicht ohne eine Zusatzannahme (z. B. den sogenannten Stoßansatz), die aus der Theorie des Zufalls übernommen werden muß. Man muß eine Annahme hinzubringen über das zufällige Verhalten von Teilchen.

Daraus muß man schließen, daß der Zufall bereits in klassischen Systemen eine objektive Bedeutung hat, unabhängig ist von unserem subjektiven Unvermögen, etwa alle Atome eines Gases wirklich aufzuzählen, zu messen usw. Es gibt eben

neben den mechanischen und elektrodynamischen Gesetzen noch eine weitere Klasse von Gesetzen, die Gesetze des Zufalls, der Möglichkeit, der Wahrscheinlichkeit. Auch diese regieren die Erscheinungen in der Natur mit, und ohne sie kann man nicht erklären, warum es in der Welt so zugeht, wie es eben zugeht.

Wenn wir uns die Gesamtheit der Gesetze vergegenwärtigen, die wir bisher als objektiv, als richtig erkannt haben, dann kann man sich viele Möglichkeiten von Modellen irgendwelcher Objekte, physikalischer Systeme oder auch der ganzen Welt denken, die in Einklang mit diesen Gesetzen, aber dennoch voneinander verschieden sind. Man kann sich also verschiedene Realisierungen derselben Gesetze denken.

Es wäre nun zu fragen: Bestimmen denn die Naturgesetze, die objektiv existieren, — gleichgültig ob wir sie kennen oder nicht — unsere Welt vollkommen? Wahrscheinlich nicht, würde man darauf antworten. Denn heute sieht die Welt anders aus als morgen, heute gelten aber genau dieselben Naturgesetze wie morgen. Also, heute und morgen sind zwei „Zustände“ der Welt, die voneinander verschieden sind, die aber offenbar verträglich sind mit allen Naturgesetzen. Auf diese Weise wird man vermuten, daß die Naturgesetze allein noch nicht alles bestimmen. Es muß noch freie Möglichkeiten geben. Es muß noch Möglichkeiten für den Zufall geben.

Ein weiterer Aspekt: Als Newton die Mechanik begründete, wußte man noch nicht viel über die Energie. Deshalb kam auch zunächst niemand auf den Gedanken, Energie irgendwie mit Kausalität zu verbinden. Das tat erst Robert Mayer, der die Bedeutung des Energiebegriffs entdeckte, zumindest aber geahnt hat. Bei ihm finden wir die Kausalität verbunden mit der Möglichkeit der Energieumwandlung (der Verwandlung von mechanischer, elektrischer und Wärmeenergie untereinander). Mayer versuchte, Ursache und Wirkung quantitativ gleichzusetzen, indem er diese mit den verschiedenen Energiearten gleichsetzte und die Veränderung der Welt, die einzelnen Prozesse als Energieumsatz, als Energieumwandlung sieht.

Für mich etwas merkwürdig, versuchen einige zeitgenössische Philosophen, den Energiebegriff mit der Kausalität nicht über das Prinzip der Wandelbarkeit, sondern über das Prinzip der Erhaltung der Energie zu verbinden. Es gibt wohl einige Arbeiten, die direkt sagen, der Erhaltungssatz der Energie spiegelt die Kausalität wider. Dazu sei zweierlei bemerkt: Einmal sollte man die Lehre von der Diskussion um den Begriff Materie ziehen. Vor Lenin war dieser Begriff ja im wesentlichen mit ziemlich konkreten Vorstellungen, und zwar mit physikalischen (z. B. Masse) verbunden. Ich glaube, man kann keinen Begriff der Philosophie mit Hilfe physikalischer Begriffe allein definieren, also auch Kausalität nicht mit Hilfe der Energie. Ich glaube, das würde dann zu einem physikalischen Begriff, aber nicht zu einem philosophischen führen. Das würde ein Begriff werden, den die Entwicklung der Wissenschaft über kurz oder lang über den Haufen werfen würde — über den Haufen werfen muß, weil die Gesetze der Physik notwendigerweise approximativ sind. Gerade jetzt repräsentieren sie in der Regel nur für eine relativ kurze Zeit den neuesten Stand der Entwicklung. Das zweite ist, daß man ziemlich genau weiß, daß die Erhaltung der Energie nichts direkt mit der Kausalität zu tun hat. Sie ist Ausdruck der Symmetrie unseres Raumes oder genauer gesagt, der „Zeit“. Die zeitliche Symmetrie ist eigentlich eine ganz einfache Sache. Wenn man eine Maschine einschaltet, so läuft sie genau so ab, als wenn ich dieselbe Maschine zehn Sekunden später einschalte und sonst nichts daran geändert worden ist. Die Naturgesetze, die vor zehn Jahren gültig waren, sind auch jetzt noch gültig. Diese Isotropie der Zeit, dieses symmetrische Auftreten aller Zeiten in den Naturgesetzen, ist der Grund für einen Erhaltungssatz und ganz speziell für den Energieerhaltungssatz. Eine ganz allgemeine Erfahrung lehrt, daß, wenn irgend etwas erhalten bleibt, ein Erhaltungssatz gilt, immer eine Symmetrie dahintersteckt. Gerade die Symmetrie mit der Kausalität zu verbinden, dürfte kaum zweckmäßig und richtig sein.

Eine andere Sache ist die Verteilung der Energie in einem System. Wenn man von einem System weiß, wie sich die Energie zusammensetzt aus den einzelnen Bestandteilen und ihren Wechselwirkungen, wenn ich die Energieabhängigkeit von der Struktur des Systems kenne, dann können daraus die Kräfte und die Bewegung des Systems abgeleitet werden. Von diesem Standpunkt aus wäre

es also durchaus verständlich, kausale Überlegungen mit der Energie in Zusammenhang zu bringen, wobei die Energie als Funktion der Struktur des Systems auftritt. Natürlich ist auch eine solche Überlegung nicht geeignet, die Kategorie Kausalität umfassend zu bestimmen.

Man darf nicht etwa annehmen, daß auf Grund neuerer Erkenntnisse in der Mechanik irgend etwas anders gerechnet wird als zu Zeiten von Laplace (wenn wir von der raffinierten mathematischen Technik und modernen Anwendungsbeispielen absehen). Man braucht, um eine Drehbank zu konstruieren, keine Relativitätstheorie zu kennen und auch nichts über Quantentheorie zu wissen. Für einen gewissen Bereich von Vorgängen, mit denen sich die Mechanik beschäftigt, ist die Annäherung, die uns die Mechanik gibt, vollkommen hinreichend. Vielleicht ist es aber nicht unnötig zu betonen, daß eine Kenntnis der modernen Physik ohne ein ziemlich gründliches Studium der klassischen Physik, also auch der Mechanik, kaum erreicht werden kann.

Nun noch eine Bemerkung zur allgemeinen Relativitätstheorie. Alles, was wir wissen, auch die Kategorien usw., wissen wir aus der Erfahrung. Bekanntlich erkennen wir keine A-priori-Wahrheiten an. Wir müssen uns also auf jeden Fall sagen, daß das, was wir heute wissen, davon herührt, daß wir in einer bestimmten Zeit, in einem ganz gewissen Teil des Universums Beobachtungen anstellen, Experimente durchführten, Erfahrungen sammelten. Daraus folgt, daß wir zwar Gründe haben, viele unserer Einsichten als bedeutend allgemeiner anzusehen, besonders dann, wenn wir nicht fälschlich einen engen, lediglich empirischen Standpunkt einnehmen, nach dem das Erkannte nur für den ganz bestimmten Zeitraum gilt, für den wir Beobachtungsmaterial haben. Wir werden natürlich diesen empirischen Standpunkt verlassen und vermuten, daß unsere Erfahrungen auch in bedeutend größeren Bereichen, in unseren Erfahrungen bisher unzugänglichen Gebieten gelten.

Auf der anderen Seite aber muß man sich hüten, unseren Erkenntnissen absolute Bedeutung beizumessen und anzunehmen, daß sie für alle Teile unseres Weltalls, für alle ferneren und zurückliegenden Zeiten wichtig sind. Man muß sich vorstellen, daß Raum und Zeit nicht stets einfache euklidische geradlinige Struktur haben müssen, sondern daß, so ähnlich wie bei einem Stück zerknülltem Papier, irgendwelche wilde Krümmungen, Verschlingungen usw. auftreten können. Wir befinden uns jedenfalls in einem Abschnitt der Welt, in der Entwicklung des Kosmos — zeitlich so wie räumlich —, der ziemlich „gerade“ ist. Vergleichen wir das mit dem Papier: Durch Zufall (?) bleibt ein Stück sehr glatt, und auf diesem Stück befinden wir uns. Es kann natürlich sein, daß die ganze Fläche gar nicht zerknüllt ist, sondern daß die Geradheit der Normalfall ist. Das ist möglich. Aber auf der anderen Seite weiß man natürlich, daß die Entwicklung des Lebens von gewissen Faktoren abhängt, die nicht erfüllt zu sein brauchen. Es ist gewiß kein Zufall, daß, wenn lebende Wesen unserer Art existieren, sie sicherlich in einem Abschnitt der Welt auftreten, wo alles „normal“ ist, normal eben für uns, wie wir es empfinden. Selbstverständlich ist es möglich und sogar wahrscheinlich, daß sich der Kosmos (oder Teile) vor sehr langer Zeit in einem Zustand befunden hat, wo viele unserer mit Raum und Zeit verbundenen Begriffe als inhaltslos anzusehen sind. Wir wissen ja, wenn man die zeitliche Bewegung des Kosmos unseres Abschnitts extrapoliert in die Zeit vor einigen Milliarden Jahren, so muß damals etwas passiert sein (daran wurden viele idealistische Schlussfolgerungen geknüpft). In dieser fernsten Vergangenheit wird der Weltabschnitt, in dem wir uns jetzt befinden, in einem Zustand gewesen sein, der von dem heutigen außerordentlich verschieden ist. Die Einsteinschen Gleichungen weisen auf die Existenz von Raum-Zeit-Gebieten hin, wo die Begriffe Raum und Zeit in einer hier nicht näher beschreibbaren Weise „pathologisch“ entartet sind. Es kann schon sein, daß ein Teil der Welt, vielleicht gerade der, in dem wir uns jetzt befinden, vor langer Zeit in solch einem pathologischen Zustand war und andere Teile dafür wieder nicht. Ich habe diese ziemlich spekulativen Möglichkeiten hier nur angeführt, um auch von dieser Seite zu zeigen, daß man sich vor Verabsolutierungen hüten muß. Besonders dann, wenn sich Aussagen auf die ganze Welt beziehen, muß man sich der außerordentlichen Begrenztheit unserer Erfahrungen bewußt sein. Daß diese Grenzen immer wieder gesprengt und neu nach vorn verlegt werden, ist eine andere Sache. Sicher wird die Menschheit in ferne Zukunft auch die Struktur großer Bereiche im Kosmos übersehen können.

## Aus einem Vortrag von Prof. Dr. Armin Uhlmann