

Wissenschaftstheorie

## **Wie die Monarchie so auch die Kausalität in der Physik**

Wolfgang Pietsch, pietsch@cvl-a.tum.de

Abstract: Der Essay fragt nach der Rolle von Kausalität in der Physik. Zuerst schlage ich einen Ansatz vor, mit dem die zentralen Eigenschaften von Kausalität bestimmt werden können: nämlich durch Rückbezug auf induktive Methodik. Daraus ergibt sich eine Unterscheidung in zwei Kausalbegriffe, auf Grundlage von enumerativer und von eliminativer Induktion. Ersterer führt zur naiven Regularitätsauffassung mit den bekannten Problemen, während letzterer den meisten gängigen Intuitionen bezüglich Kausalität gerecht wird. Mit dem aus eliminativer Induktion abgeleiteten Kausalbegriff lässt sich schlussfolgern, dass vor allem die experimentelle Praxis in der Physik auf kausales Wissen abzielt, während Theorieentwicklung eine eher sprachliche, erfahrungsordnende Funktion hat.

In einem kurzen, aber einflussreichen Essay aus dem Jahr 1912 erklärt Bertrand Russell Kausalität zu einem vorwissenschaftlichen Konzept, welches für höhere Wissenschaften wie die Physik ungeeignet sei. Kausalität sei ein Relikt aus längst vergangener Zeit, vergleichbar etwa mit der Monarchie. Irrtümlicherweise werde angenommen, dass solche veralteten Konzepte keinen Schaden anrichteten. Seither ist die Rolle von Kausalität unter Wissenschaftstheoretikern umstritten. Bis heute pflichten viele Russells Analyse bei, wenn beispielsweise John Norton (2007) Kausalität zur ‚Folk Science‘ abwertet, vergleichbar mit der Bedeutung des obsoleten Wärmestoffs in der Thermodynamik. Von anderen, zum Beispiel Mathias Frisch (2012), wird der kausale Charakter moderner Physik jedoch vehement verteidigt. Wie steht es also knapp hundert Jahre nach Russells Aufsatz um Monarchie und Kausalität? Im Fall der Monarchie hat sich sein Abgesang als verfrüht erwiesen, sie hat im 20. Jahrhundert in der britischen Gesellschaft eine durchaus stabilisierende Rolle gespielt. Dass Russell sich auch im Fall der Kausalität geirrt hat, dafür argumentiere ich in diesem Aufsatz.

Kausalitätsskeptiker und -befürworter gehen zumeist von gänzlich verschiedenen Kausalitätskonzepten aus. Es ist daher wenig überraschend, dass sie zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen, was die Rolle von Kausalität in den höheren Wissenschaften betrifft. Beispielsweise argumentieren Befürworter häufig, dass Kausalität unverzichtbar ist für die Unterscheidung zwischen bloßen Korrelationen und Beziehungen, mit denen sich manipulativ in die Welt eingreifen lässt (z.B. Cartwright 1983, Pearl 2009 oder Woodward 2003). Wenn

man am Zeiger eines Barometers dreht, ändert sich das Wetter nicht; der Apfel aber fällt zu Boden, wenn man den Ast durchschneidet.

Kausalitätsskeptiker führen hingegen oft zwei Argumente an, die bereits von Russell herausgestellt wurden. Zum einen verweisen sie auf die Asymmetrie von Kausalität, die sich in vielen physikalischen Gesetzen offenbar nicht findet. Zum anderen argumentieren sie, dass physikalische Gesetze im Allgemeinen nicht der Form ‚gleiche Ursache => gleiche Wirkung‘ genügen. Stattdessen findet man Beziehungen zwischen kontinuierlichen Variablen. Weil die Werte der Variablen immer leicht voneinander abweichen, werden gleiche Ursachen (fast?) nie beobachtet.

Da beide Seiten die grundlegenden Eigenschaften von Kausalität lediglich postulieren, ist das beschriebene Dilemma schwierig aufzulösen. Wie wichtig ist der interventionistische Charakter, wie wichtig ist Asymmetrie? Gesucht wird daher zuerst einmal eine systematische Herangehensweise, die zentralen Eigenschaften von Kausalität zu bestimmen. Verschiedene Ansätze sind vorstellbar. Man könnte zum Beispiel den Kausalitätsbegriff aus unseren erfolgreichsten wissenschaftlichen Theorien ableiten, beispielsweise aus der Relativitätstheorie oder der Quantenmechanik. Eine Aussage über Kausalität in der Physik wäre dann aber nahezu tautologisch.

Als fruchtbarer erweist sich, die Frage durch Rückbezug auf wissenschaftliche Methodik zu beantworten. Wir definieren also Kausalität operational, etwa nach folgendem Schema: ‚Kausalbeziehungen sind Beziehungen zwischen Ereignissen, Objekten, Eigenschaften, die mithilfe einer bestimmten Methode aufgestellt wurden.‘ Die Eigenschaften von Kausalität ergeben sich dann aus der jeweiligen Methode. Traditionell wird Induktion zur Auffindung von Kausalitätsbeziehungen vorgeschlagen. Weil es zumindest für deterministische Aussagen nur zwei große Klassen von induktiven Schlüssen gibt, lassen sich genau zwei Kausalkonzepte unterscheiden: eines orientiert sich an enumerativer Induktion, das andere an eliminativer Induktion. Im ersten Fall könnte man auch vom Humeschen Kausalbegriff sprechen, weil sich die Charakteristika ergeben, die David Hume mit Kausalität in Verbindung bringt, darunter insbesondere die regelmäßige Verknüpfung. Den zweiten Fall nennen wir den Millschen Kausalbegriff, vor allem weil John Stuart Mill die eliminative Induktion explizit zur Auffindung von Kausalrelationen verwendet. In Anbetracht der tiefgreifenden Unterschiede zwischen beiden Konzepten erweist es sich als unzweckmäßig, dass beide Kausalbegriffe in der modernen Literatur unter der Bezeichnung Regularitätstheorie zusammengefasst werden.

Durch enumerative Induktion lässt sich die Unterscheidung zwischen kausalen Zusammenhängen und reinen Korrelationen nicht treffen. Sie stellt ein äußerst beschränktes Mittel induktiver Forschung dar. Als weitaus mächtiger erweisen sich die Methoden der eliminativen Induktion, wie sie unter anderem von Francis Bacon (1990), John Stuart Mill (1886) und John Maynard Keynes (1921) entwickelt wurden. Hier gelingt es zumindest unter idealisierten Bedingungen, zwischen kausalen Zusammenhängen und nicht-kausalen Korrelationen zu unterscheiden. Mill hat bereits den entscheidenden Hinweis gegeben, indem er Notwendigkeit mit Bedingungslosigkeit gleichsetzt, wobei die Methoden der eliminativen Induktion geeignet sind diese Bedingungslosigkeit festzustellen. Weil die Unterscheidung zwischen der Notwendigkeit von Kausalrelationen und der Zufälligkeit reiner Korrelationen so zentral ist, liegt es nahe, Kausalität auf methodischer Seite mit eliminativer Induktion zu verknüpfen, zumindest wenn es um deterministische Aussagen geht. Die äußerst schwierige Frage nach statistischen Kausalrelationen blenden wir in diesem Aufsatz aus.

Im ‚System of Logic‘ zählt Mill fünf Methoden eliminativer Induktion auf, mit denen sich kausale Zusammenhänge bestimmen lassen. Obwohl diese Methoden viel Kritik erfahren haben, dienen sie im Folgenden als Grundlage für das Kausalitätskonzept. Das ist insofern gerechtfertigt als diese Methoden trotz aller Einwände bis heute die wichtigste Grundlage experimenteller Forschung darstellen. Sie geben nämlich an, welche Schlüsse man aus Beobachtungen bei gezielter Änderung der Rahmenbedingungen ziehen kann. Wie schon Mill betont, gilt das insbesondere für die *Methode des Unterschieds* oder Differenzmethode: Entfernt man unter kontrollierten Rahmenbedingungen einen Umstand a und tritt dann das Ereignis A nicht mehr auf, so lässt sich mit weitgehender Sicherheit schließen, dass a die Ursache von A war (oder ein unverzichtbarer Teil davon). Natürlich hat Mill diese Methode nicht als erster entdeckt, ihre Geschichte reicht mindestens bis ins Mittelalter zurück. Sie findet sich zum Beispiel bei Wilhelm von Ockham; bei Bacon motiviert sie die Tafel der nicht vorhandenen Eigenschaften.

Es liegt also nahe, die Eigenschaften von Kausalität aus der eliminativen Induktion, insbesondere der Differenzmethode, abzuleiten. Wenig überraschend ist vielleicht, dass dieser Ansatz den meisten geläufigen Intuitionen bezüglich Kausalität gerecht wird. Wie bereits erwähnt gelingt eine Explikation des Notwendigkeitsbegriffs auf empirischer Grundlage. Daraus ergibt sich unmittelbar, dass Kausalaussagen kontrafaktische Bedingungssätze begründen können sowie plausible Vorhersagen für zukünftige Ereignisse gestatten. Wichtig ist schließlich auch, dass der resultierende Kausalitätsbegriff stark interventionistischen bzw. manipulationistischen Charakter hat.

Auf der anderen Seite erweist sich die Asymmetrie von Kausalaussagen als weit weniger wichtig als von vielen Kritikern des Kausalitätsbegriffs vorausgesetzt wird. Aus der Unterschiedsmethode ergibt sich zwar eine konzeptionelle Asymmetrie, insofern zwischen Umständen und den zu untersuchenden Phänomenen unterschieden wird. Oft sind aber Umstände und Phänomene in ihren Rollen vertauschbar. Eine zeitliche Asymmetrie erhält man demnach nicht zwingend und völlig symmetrische Beziehungen wie das Newtonsche Gravitationsgesetz lassen sich durchaus in diesem Rahmen behandeln.

Genügen Kausalbeziehungen notwendigerweise dem allgemeinen Schema ‚gleiche Ursache => gleiche Wirkung‘? Lässt sich also mit dem Kausalitätsbegriff keine gegenseitige Abhängigkeit verschiedener Variablen behandeln? Doch, denn genau das leistet die *Methode sich begleitender Veränderungen* aus Mills Regelkanon, die wiederum ihren Vorläufer in Bacons Tafel der Vergleichen oder Grade hat. Diese Methode lässt sich darüber hinaus unter bestimmten Zusatzannahmen über die Zusammensetzbarkeit von Ursachen und Wirkungen aus der Differenzmethode ableiten. Wenn Kausalitäts skeptiker also behaupten, dass Kausalität keine Beziehung zwischen Variablen beschreiben kann und damit Mills Methode der sich begleitenden Veränderungen einfach übergehen, so wird man den Eindruck nicht los, dass hier ein Kampf gegen Windmühlen ausgetragen wird. Es ist der Strohmann der enumerativen Induktion, der geräuschvoll niedergekämpft wird, obwohl ihre relative Bedeutungslosigkeit für die Wissenschaften seit langem herausgestellt wird, unter anderem von den genannten Bacon, Mill und Keynes. Das primitive Wiederholen enumerativer Induktion war nie die Methode der Wissenschaften, es ging immer um das systematische Ändern der Rahmenbedingungen wie im Fall der eliminativen Induktion.

Mit dem bis hier entwickelten Kausalitätsbegriff lässt sich nun im zweiten Teil die Frage behandeln, inwieweit in der Physik Platz für kausale Überlegungen ist. Bemerkenswerterweise bleiben selbst Kausalitätsbefürworter in dieser Hinsicht zumeist ziemlich vage. Wir können nun jedoch eine präzise Antwort geben. Kausalität ist in der Physik überall dort von Bedeutung, wo Methoden der eliminativen Induktion angewandt werden, insbesondere nämlich in der *experimentellen* Praxis. Wer einmal in einem physikalischen Labor gearbeitet hat, wird bestätigen, dass dort im Grunde nach eliminativer Induktion vorgegangen wird, wobei die Methoden des Unterschieds und der sich begleitenden Veränderungen zentral sind. In einer stark kontrollierten Umgebung werden einzelne für relevant gehaltene Umstände gezielt verändert und die Wirkung auf das zu untersuchende Phänomen betrachtet. Judea Pearl hat deshalb nur eingeschränkt recht, wenn er in seinem Buch ‘Causality’ sagt: “[The physicists] continued to write equations in the office and talk

cause-effect in the cafeteria.” (2009, S. 338) Nicht die Universitätsmensen oder die Stammtische der Physiker sind das Reich kausalen Denkens und Arbeitens, es sind die physikalischen Labore. Hier findet die interventionistische Forschung statt, die später die Grundlage industrieller Anwendung physikalischen Wissens bildet.

Die Forschung in den Labors motiviert natürlich in beträchtlichem Maße die Formulierung physikalischer Theorien, sie kann diese aber nicht eindeutig begründen. Zwischen den Beobachtungen im Labor und dem theoretischen Wissen in den Lehrbüchern klafft eine Begründungslücke, auf welche nicht zuletzt die Wissenschaftstheorie in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts eindringlich hingewiesen hat. Ein Großteil des *theoretischen* Wissens in der Physik, der abstrakten Begriffe und Gleichungen physikalischer Theorien, beruht auf einer hypothetisch-deduktiven Methodik. Weil dieses theoretische Wissen nicht induktiv abgeleitet wird, ist es damit auch nicht grundlegend kausal. Es hat vielmehr einen erfahrungsordnenden Charakter, indem es die Sprache zur Beschreibung physikalischer Phänomene zur Verfügung stellt.

Als Antwort auf die anfangs gestellte Frage nach der Rolle von Kausalität in der Physik, wird also die Aufspaltung in eine vornehmlich induktive Praxis der Labors und eine größtenteils hypothetisch-deduktive Vorgehensweise in den Theorieabteilungen bedeutsam. Die phänomenologischen Gesetze experimenteller Forschung sind demnach größtenteils kausal, die stark verallgemeinerten, schematischen Gesetze abstrakter Theorien haben hingegen vornehmlich eine wissensordnende Funktion. Sie sind zu weit von der direkten Erfahrung entfernt, um einen ausgeprägt kausalen Charakter aufzuweisen.

Bacon, Francis (1990): *Neues Organon*. Hamburg: Meiner.

Cartwright, Nancy (1983): *How the Laws of Physics Lie*. Oxford: Oxford University Press.

Frisch, Mathias (2012): “Kausalität in der Physik.” In Michael Esfeld (Hrsg.) (2012):

*Philosophie der Physik*. Frankfurt: Suhrkamp.

Hume, David (2000): *A Treatise of Human Nature*. Oxford: Oxford University Press.

Keynes, John Maynard (1921): *A Treatise on Probability*. London: Macmillan.

Mill, John Stuart (1886): *System of Logic Ratiocinative and Inductive*. London: Longmans, Green & Co.

Norton, John (2007): “Causation as Folk Science” In Price & Corry (2007), Kap. 2.

Pearl, Judea (2009): *Causality*. Cambridge: Cambridge University Press.

Price, Huw und Richard Corry (Hrsg.) (2007): *Causation, Physics, and the Constitution of Reality*. Oxford: Clarendon Press.

Russell, Bertrand (1912/13): "On the Notion of Cause." *Proceedings of the Aristotelian Society* 13, S. 1-26.

Woodward, James (2003): *Making Things Happen. A Theory of Causal Explanation*. Oxford: Oxford University Press.