

3 Kausalität in der Systemtheorie: Ein Problemaufriss

Der Glaube an den Kausalnexus ist der Aberglaube
Ludwig Wittgenstein

Einleitung

Im Alltag wie in der Wissenschaft vollzieht sich Denken kausal; denn die leitenden Fragen des Denkens bestehen immer in einem „Warum“: „Warum ist überhaupt Seiendes und nicht vielmehr Nichts? Das ist die Frage. Vermutlich ist dies keine beliebige Frage. [...] – das ist offensichtlich die erste aller Fragen“ (Heidegger 1935, S. 3). Heidegger charakterisiert diese Frage näher als die „weiteste“, „tiefste“ und „ursprünglichste“ (ebenda, S. 4 ff.). Damit ist die Problemtiefe von Kausalität angedeutet. Kausalität ist eine Herausforderung sowohl für die Philosophie, genauer die Ontologie und Epistemologie, als auch für die Wissenschaftstheorie, die einzelnen Wissenschaften und die alltägliche Lebenswelt.

Der vorliegende Beitrag legt einige grundlegende Überlegungen zu dem Ursache- und Wirkungsdenken innerhalb systemtheoretischer Perspektiven dar. Dabei wird Systemtheorie weder auf eine Ausprägungsform derselben reduziert, noch werden unterschiedliche Systemtheorien zueinander in Beziehung gesetzt. Vielmehr soll das allen Ansätzen Gemeinsame im Hinblick auf kausales Denken betrachtet werden. Da Systemtheorien vor allem die Wechselwirkungen zwischen Elementen betonen und darüber hinaus zunehmend von einer Selbstreferenz von Systemen ausgehen, stellen sie eine besondere Herausforderung für das linear-kausale Denken dar, denn damit werden die grundlegenden Annahmen über Ursache und Wirkung fragwürdig.

Um die Probleme zu verdeutlichen, mit denen Kausalitätstheorien durch systemtheoretische Perspektiven konfrontiert werden, braucht es zunächst eine Begriffsbestimmung von System, sowie eine Abgrenzung von Kausalität und Teleologie. Dem schließt sich eine knappe Übersicht zu einigen ausgewählten Kausalitätstheorien an, die zeigen wird, dass bereits die Ursache/Wirkungs-Zusammenhänge in linearen Beziehungen alles andere als einfach zu fassen sind.

Auf dieser Grundlage erfolgt eine Analyse wissenschaftstheoretisch relevanter Kausalprobleme, die bei einer Systemanalyse zu berücksichtigen sind. Das ist vor allem das Phänomen der so genannten Rückwärtsverursachung, das entsteht, wenn man von Wechselwirkungen und Rückkopplungen ausgeht. Es wird sich zeigen, dass eine strikte Trennung von Wirkursache und Finalursache sachlogisch nicht durchzuhalten und damit von einem viel komplexeren Kausalbegriff auszugehen ist. Vor diesem Hintergrund kann aus kausaltheoretischer Sicht die übliche Trennung von Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften bei einer systemtheoretischen Bearbeitung von Problemen und Fragestellungen nicht aufrechterhalten werden. Vielmehr wäre die Konsequenz einer disziplinübergreifenden Anwendung von Systemtheorie, dass sich die Disziplinen zu einem Kausalitätsverständnis bewegen, das eher einheitswissenschaftlich strukturiert ist.

Problemstellung

Das Interesse an Kausalität hat trotz jahrhundertelanger Diskussion nicht nachgelassen. Im Gegenteil: In den letzten Jahren gab es einen enormen Zuwachs an Schriften zur Kausalität. Dies ist zunächst verwunderlich, glaubte man doch vor 100 Jahren diesen Begriff – zumindest aus den exakten Wissenschaften – endgültig beseitigt zu haben. Insbesondere die scharfe Kritik von Russell, 1912/13 formuliert in „On the Notion of Cause“, sollte einen Abschied des Kausalprinzips in den „fortgeschrittenen Wissenschaften“ einleiten. Dieser Fundamentalkritik schlossen sich die Denker des logischen Empirismus weitgehend an, schienen doch die Erkenntnisse der Physik dies zu rechtfertigen: „Der Grund, warum die Physik aufgehört hat, nach Ursachen zu suchen, liegt darin, daß es nichts derartiges gibt. Ich glaube, daß das Kausalitätsgesetz wie so vieles andere, was von der Philosophie anerkannt wird, eine Reliquie aus vergangenen Zeiten darstellt, die sich, so wie eine Monarchie, nur deshalb am Leben erhielt, weil man ganz zu unrecht annahm, daß sie keinen Schaden stifte“ (Russell 1952, S. 180). Der Grund dafür, vom Ursachenbegriff Abstand zu nehmen, liegt nach Russell darin, dass das Prinzip „gleiche Ursache, gleiche Wirkung“ empirisch nicht zu verwirklichen ist, denn „bis die Antezedentien in hinreichender Vollständigkeit gegeben sind, um mit einiger Exaktheit die Folgen berechnen zu können, sind sie so kompliziert geworden, daß es höchst unwahrscheinlich ist, daß sie sich je wiederholen“ (ebenda, S. 189). Je präziser ein Ereignis charakterisiert wird, umso mehr verschwindet die Ursache in ein endloses Geflecht von Bedingungen. Ernst Mach (1883, S. 524) formuliert: „Die Natur ist nur einmal da. Wiederholungen gleicher Fälle, in welchen A immer mit B verknüpft wäre [...], als das Wesentliche des Zusammen-

hangs von Ursache und Wirkung, existieren nur in der Abstraction“¹. Der Befund lautete bis vor über zwanzig Jahren: Der Ausdruck „Ursache“ ist in den „exakten Naturwissenschaften [...] fast gänzlich verschwunden“ (Stegmüller 1983, S. 506).

Inzwischen ist Kausalität allerdings wieder stark in der Diskussion unterschiedlichster wissenschaftlicher Disziplinen. Anfang der 1990er Jahre stieg die Anzahl wissenschaftlicher Publikationen mit „cause“ im Titel enorm an (vgl. Russo & Williamson 2007): So listet der *Scientific Citation Index* aktuell (Februar 2008) seit 1997 knapp 20 000 Einträge mit „cause“ im Titel.

Kausalität ist trotzdem weiterhin das „Sorgenkind der Erkenntnistheorie und Wissenschaftstheorie“ (Wright 1974, S. 42). Zwar legen zahlreiche Monographien (Pearl 2000; Meixner 2001; Baumgartner & Graßhoff 2004; Kistler 2006), Sammelwerke (Sosa & Tooley 1993; Spohn et al. 2000; Collins et al. 2004; Castellani & QUITTERER 2007; Russo & Williamson 2007) und Artikel (Bunge 1984; Heidelberger 1992) den Stand der Forschung in der Philosophie und in verschiedenen wissenschaftlichen Einzeldisziplinen dar. Trotzdem bemängelt Woodward (2003) den geringen Kontakt zwischen den wissenschaftlichen Disziplinen und der Wissenschaftstheorie hinsichtlich des Problemfeldes Kausalität. Disziplinen, die sich auch wissenschaftstheoretisch mit dem Kausalbegriff auseinandersetzen sind seit langem die Physik, Jura, zunehmend auch die Ökonomie (z. B. *Granger-Causality, reverse causality*), die Psychologie (vgl. Ostermeier 1997) und Teile der Medizin und Biologie (vgl. Bunge 1984; Russo & Williamson 2007). In der Biologie wird das Problem der Kausalität vor dem Hintergrund teleologischer Interpretationen natürlicher Prozesse vor allem in der Evolutionstheorie ausführlich diskutiert (vgl. z. B. Engels 1978; Wuketits 1981; Toepfer 2004). Innerhalb der Geowissenschaften liegen diesbezüglich kaum Erörterungen vor. Auch wenn gerade in der Geographie unter dem Stichwort „Geodeterminismus“ Debatten über den Einfluss der Umwelt auf menschliches Handeln geführt wurden, so wurde dabei kaum Anschluss an eine wissenschaftstheoretische Reflexion dieses Problemfeldes gesucht.² In der qualitativen Sozialforschung stellt Kelle (1993, S. 232) eine „hochgradig problematisch[e]“ Vernachlässigung der „Kausalkategorie“ fest.

Mit dem Aufkommen von systemtheoretischen Ansätzen, stellt sich die Frage nach der Kausalität neu. Denn ein Spezifikum systemaren Denkens liegt in der Betonung von Wechselwirkung gegenüber einfachen, linearen Ursache/Wirkungs-

¹ Kausalität bedeutet in diesem Kontext mitnichten eine Mechanisierung und Reproduzierbarkeit der Natur. Die Einzigartigkeit jedes Naturvorganges impliziert keine Wiederholbarkeit und letztlich auch keine empirische Überprüfung von Naturgesetzen.

² So konstatiert beispielsweise Johannes Glückler, dass „das Prinzip der Verursachung und seine Beziehung zum Begriff des Gesetzes [...] in der geographischen Literatur ... wenig erörtert“ [werden] (Glückler 1999, S. 74).

Beziehungen. „Anstelle von einseitigen Ursache-Wirkungs-Abhängigkeiten betont die Systemtheorie jedoch die vielfältigen kausalen Wechselwirkungen“ (Wirth 1979, S. 101 f.). Damit erfährt der Kausalbegriff eine besondere und neue Zuschreibung, die es zu klären gilt.

Begriffsbestimmung

System

Darstellungen zur Systemforschung liegen inzwischen in kaum zu überschauender Fülle vor (vgl. z. B. Bruckmeier & Simon 1996; Sommerlatte 2002). Unter dem Begriff „System“ kann man ganz verschiedene Konstrukte fassen. Zunächst ist es einfach ein „Zusammengesetztes“, das sich gegenüber einem Außen abgrenzen lässt. Ein System ist dabei kein bloß additiv Zusammengesetztes, denn auf der Makroebene eines Systems lassen sich Eigenschaften zeigen, die auf niederen Stufen nicht erkennbar sind (Emergenz). Unter diesem sehr allgemein gehaltenen Nenner lassen sich Systeme aus der Sicht unterschiedlichster wissenschaftlicher Disziplinen subsumieren. Dabei kann jedoch keine Disziplin für sich beanspruchen, einen ontologischen Begriff von „System“ zu haben, aufgrund dessen über den (un-)berechtigten Gebrauch von „System“ geurteilt werden könnte. Ein Klimasystem unterscheidet sich schließlich in vielerlei Hinsicht von einem Wirtschaftssystem; inwiefern dabei von kongruenten Systembegriffen ausgegangen wird, muss an anderer Stelle geklärt werden.³ Es wird vielmehr auf grundsätzliche Aspekte eines jeden Systems abgehoben: Innerhalb eines Systems treten zahlreiche Wechselwirkungen und Rückkopplungen auf. Dies unterscheidet einen systemaren Denkansatz von anderen Ansätzen, die auf einfache lineare Kausalbeziehungen abheben. Die Rückkopplungen innerhalb eines Systems ermöglichen diesem eine gewisse Regelung und ein Aufrechterhalten bestimmter Systemzustände. Diese Prozesse lassen sich mit einer einfachen Ursache/Wirkungskette nicht mehr beschreiben, denn Systeme, die einen gewissen Zustand aufrechterhalten, implizieren eine Zweckgerichtetheit, eine teleologische Richtung des Systemverlaufes.⁴ Damit wird der Kausalitätsbegriff (zumindest aus naturwissenschaftlicher Sicht) innerhalb der Systemtheorie problematisch. Bislang liegen aber kaum Studien darüber vor, wie innerhalb systemtheoretischen Denkens Kausalitätsverhältnisse wissenschaftstheoretisch zu fundieren und methodologisch zu explizieren sind.

³ Insgesamt betrachtet der vorliegende Beitrag aber stärker naturwissenschaftlich analysierbare Systeme.

⁴ So schreibt Engels (1978, S. 227): „Niemand, der sich ernsthaft mit Systemtheorie auseinandersetzt, kann an dem theoriegeschichtlichen Ursprungsmodell teleologischer Erklärungen in den biologischen Wissenschaften vorbeigehen.“

Kausalität

Die Begriffe „Ursache“ und „Wirkung“ sind zunächst intuitiv verständlich, denn scheinbar können wir gar nicht anders, als in Ursachen und Wirkungen zu denken. Trotzdem sind diese Begriffe Anlass umfassender Debatten geworden. Für eine Explikation des Ursachenbegriffs lassen sich verschiedene Kriterien anführen:

- Die Verknüpfung von Ursache und Wirkung ist grundsätzlich wiederholbar und universell gültig.
- Ursachen veranlassen Wirkungen. Es muss also ein Prozess stattgefunden haben, durch den die Wirkung von der Ursache eine Veränderung erfährt.
- Der Zusammenhang ist asymmetrisch, denn die Ursache tritt zeitlich früher als die Wirkung auf. Eine reine zeitliche Aufeinanderfolge zweier Ereignisse alleine legt Ursache und Wirkung jedoch noch nicht fest; z.B. ist der Tag nicht die Ursache der Nacht oder umgekehrt, obwohl diese ständig aufeinander folgen.

Die eingangs erwähnte Kritik von Russell bezieht sich unter anderem darauf, dass es nicht eine Ursache gibt, sondern für jedes Ereignis ein ganzes Bündel an Randbedingungen oder Teilursachen angeführt werden muss, die summarisch als Ursache angesprochen werden. Ursachen stellen somit Bedingungen dar, die erfüllt sein müssen, damit ein Ereignis stattfindet. Faktisch werden aber immer nur selektiv Ereignisse als Ursache herausgegriffen, niemals alle Ursachen. Bloße Randbedingungen müssen von der entscheidenden Ursache für ein Ereignis unterschieden werden (Wright 1974; Mackie 1974). Durch eine Spezifikation sämtlicher Bedingungen kann die Ursache sich wie bei Russell verflüchtigen oder die Relevanzbeziehungen können sich durch Drittvariablen umkehren. Dieser Effekt wurde schon vor über hundert Jahren durch Karl Pearson beschrieben und ist später als „Simpsons-Paradox“ bekannt geworden: Eine statistische Beziehung zwischen zwei Variablen kann durch Einführung eines dritten Parameters in das Gegenteil verkehrt werden (vgl. Pearl 2000, S. 78). Bei jeder Analyse müssen also zahlreiche Fragen geklärt werden: Welche bzw. wie viele Parameter sind zu berücksichtigen; bezieht sich das Begriffspaar Ursache und Wirkung auf Dinge, Sachverhalte oder Zustände; wie stellt sich das so genannte Mikroproblem dar (wie vollzieht sich also der Übergang vom Ursacheereignis zum Wirkungereignis) und wie ist darüber hinaus das Problem der kausalen Überdeterminiertheit zu lösen (unter mehreren potentiellen Ursachen lässt sich nicht genau entscheiden, welche nun exakt die spezifische Wirkung hervorgerufen hat).

Schon aus der Klassifikation des Ursachenbegriffes nach Aristoteles ergibt sich, dass der Begriff der Kausalität sehr vielschichtig ist (ausführlich dazu Spaemann & Löw 2005, Kap. II). Aristoteles unterschied vier Ursachen voneinander: die *causa materialis* (Materialursache), die *causa formalis* (Formursache), die *causa efficiens* (Wirkursache) und die *causa finalis* (Zweckursache). Die gegen-

wärtige Diskussion erstreckt sich nur noch auf die Wirkursache und die Zweckursache (oder Finalursache). In der Wirkursache wird das Gegenwärtige aus Vergangenheit erklärt, in der Finalursache das Gegenwärtige aus dem Zukünftigen (siehe unten).

Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen Kausalität (als *causa efficiens*), Determinismus und Vorhersagbarkeit. Wenn sich aus A zwingend B ergibt, lässt sich dieser Determinismus als eine strenge Ausprägung von Kausalität verstehen. Dies impliziert, dass – zumindest prinzipiell – eine vollständige Beschreibung der Welt in Vergangenheit und Zukunft möglich ist, denn deterministisch betrachtet ist jedes Ereignis als Resultat vorheriger Ereignisse in einem kausalen Netz fest verankert. An ein deterministisches Verständnis von Kausalität sind jedoch erhebliche Probleme gekoppelt; neben dem grundsätzlichen Problem der Willensfreiheit, konnte seitens der Physik in der Quantenmechanik gezeigt werden, dass Wahrscheinlichkeiten prinzipiell nicht mehr auf deterministische Gesetze reduzierbar sind. Daraus resultiert ein weiteres Mikroproblem der Kausalität: Ursache und Wirkung lassen sich im subatomaren Maßstab nicht mehr klar trennen (vgl. Leiber 1996, S. 307 ff.). Auch eine simultane Verursachung, ohne zeitliche Verzögerung zwischen Ursache und Wirkung ist in einem klassischen deterministischen Weltbild nicht vorstellbar⁵. Viele Bereiche der Natur laufen eben nicht deterministisch ab. Der radioaktive Zerfall, als viel zitiertes Beispiel, hebt den kausalen Determinismus auf. Denn beim radioaktiven Zerfall instabiler Atomkerne lässt sich nur feststellen, dass bis zu einem bestimmten Zeitpunkt genau die Hälfte des Stoffes zerfallen ist. Es kann aber nicht vorausgesagt werden, welches Atom wann zerfällt. Selbst ob ein einzelnes Atom überhaupt zerfällt, lässt sich nicht sicher aussagen; es lässt sich nur mit einer Wahrscheinlichkeit von fünfzig Prozent angeben, dass es in einem bestimmten Zeitraum zerfällt.

Trotz der eben angerissenen Probleme besteht generell eine enge Bindung zwischen Kausalität, Naturgesetz und wissenschaftlicher Erklärung. Jedoch sind Naturgesetze eben nicht als Kausalgesetze anzusprechen (siehe unten).

Teleologie

Teleologisches Denken unterstellt Phänomenen eine Zweckgerichtetheit. Dies ist zunächst bezogen auf menschliches Handeln unproblematisch: Das Ziel einer Handlung (die Ursache) liegt zeitlich später als seine materielle Umsetzung (die Wirkung). Doch nicht nur im Bereich menschlicher Handlungen, sondern auch in den Disziplinen, die Strukturen und Funktionen von Systemen erklären wollen, haben teleologische Erklärungsweisen einen hohen Stellenwert. Doch wurden

⁵ Gibt es beispielsweise eine zeitliche Verzögerung, wenn der Anstieg der Temperatur zu einer Ausdehnung eines Luftpartikels führt?

diese Erklärungen mit dem Aufkommen der neuzeitlichen Wissenschaft verdrängt; sie erschienen empirisch nicht nachvollziehbar und damit irrelevant: Primat (natur-)wissenschaftlichen Denkens ist die Naturgesetzlichkeit. Daher gelten traditionell nur Kausalerklärungen als wissenschaftlich legitim (vgl. dazu Stegmüller 1983, Kap. VIII).

Eine ausführliche Kritik am teleologischen Denken bezogen auf die Natur formulierte bereits Hartmann (1951, S. 68 ff.). Er unterscheidet drei Akte des Finalnexus: Der erste Akt ist die Setzung eines Zweckes im Bewusstsein als Antizipation eines zukünftigen Ereignisses, im zweiten Akt erfolgt die Selektion der Mittel zur Realisation des Zweckes. Dies erfolgt ausgehend vom gesetzten Zweck im Bewusstsein. Hartmann spricht von einer „rückläufigen Determination“. Schließlich kann im dritten Akt die Realisation als Realprozess über verschiedene Kausalprozesse außerhalb des Bewusstseins erfolgen. Damit ist für Hartmann der finale auch ein kausaler Prozess. Teleologie ist in dieser Perspektive also nicht als eine einfache Umkehr des Kausalverhältnisses zu sehen, denn alle Akte sind fest ineinander verwoben. Finalprozesse sind begrenzte Prozesse, die mit dem Setzen eines Zweckes beginnen und mit der Realisierung ihr Ende finden (ebenda, S. 71).

Dagegen sind Kausalprozesse prinzipiell unbegrenzt. Der Finalnexus als Abfolge der kausalen Akte eins und zwei vollzieht sich allerdings rein mental, Teleologie ist daher eine Bewusstseinskategorie, Kausalität hingegen eine Realkategorie (ebenda, S. 2 f.). Der reale Zeitfluss kann deshalb nur in Gedanken (Akte eins und zwei) durchbrochen werden. Daraus folgt, dass „Urheber“ von Finalprozessen nur „bewusste Wesen“ sein können (ebenda, S. 72). Eine Naturfinalität ist für Hartmann undenkbar, es sei denn eine Weltvernunft oder ein göttlicher Eingriff steckte dahinter. Dadurch aber, dass die Naturwissenschaft nur eine Kausalitätsform gelten lässt, entstehen in einem modernen systemtheoretischen Verständnis zahlreiche Probleme, denn offenbar kann die Naturwissenschaft nicht ohne den Gedanken einer Zweckgerichtetheit und einen Finalbegriff auskommen. Dies führte schon früh zu der Überlegung eine spezifische „Vitalkraft“ anzunehmen⁶.

In einer Abgrenzung von Kausalität und Teleologie betont Stegmüller insbesondere, dass Teleologie zur Vorhersage ungeeignet ist, weil ein Ziel auch verfehlt werden kann. Darin liegt für ihn eine Hauptschwierigkeit der Teleologie begründet: Ein Ziel, das nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erreicht wird, soll das gegenwärtige Geschehen (mit)bestimmen. Teleologie ist für Stegmüller letztlich „Motivkausalität“ (ebenda, S. 652); sie kann allenfalls Vorgänge im Nachhinein verständlich machen und ist so gleichsam als eine Umkehrung des Kausalverhältnisses zu verstehen. Zulässig sind für ihn daher nur teleologische Naturbe-

⁶ Auf diesen Ansatz von Hans Driesch oder die Naturteleologie als Entelechie nach Hedwig Conrad-Martius kann hier nicht eingegangen werden.

schreibungen, ohne wissenschaftlichen Erklärungsanspruch (ebenda, S. 705). Spaemann & Löw (2005) halten Stegmüller vor, dass er Vorsatz und Zweck verwechsle, denn Zwecke sind für Spaemann & Löw nicht unbedingt mit Bewusstsein verbunden. Es ließe sich beispielsweise die „Arterhaltung“ nicht als Motiv den „Pflanzen unterstellen“ (ebenda, S. 218). Allerdings sehen sie in der Arterhaltung einen Zweck, der von keinem Lebewesen intendiert, aber sehr wohl von den Lebewesen verfolgt wird. Der Zweck wird damit vom Akteur abgekoppelt.

Um ziel-verfolgende Systemprozesse ohne einem zweck-setzenden Bewusstsein beschreiben zu können, wurde von Pittendrigh (1958) der Begriff der Teleonomie eingeführt (vgl. Toepfer 2004, S. 73). Die Unterscheidung von zielgerichteten und zielintendierten Vorgängen ist fundamental für das Verständnis teleologischen Denkens (vgl. Nagel 1979, S. 275 ff.). Bei einem teleonomischen Vorgang ist die Zielgerichtetheit auf die Ausführung eines Programms zurückzuführen; Beispiele dafür sind in der Kristallisation oder der Arterhaltung zu finden.

Kausalitätstheorien

Die theoretische Einbindung von Ursache/Wirkungs-Zusammenhängen in systemtheoretisches Denken kann nur vor dem Hintergrund bisher geleisteter Bemühungen um das Verständnis von Kausalität erfolgen. Um einen Rückfall hinter das erreichte Differenzierungsniveau zu verhindern, ist eine knappe Zusammenschau zu ausgewählten Positionen zur Kausalität erforderlich. Denn einerseits implizieren die zentralen Begriffe der Systemtheorie wie Rückkopplung und Selbstreferenz bereits ein gewisses Kausalverständnis, das es offenzulegen und zu hinterfragen gilt. Andererseits zeigen die folgenden Ausführungen, dass auch vermeintlich klassisch linear-deterministisch gedachte Zusammenhänge viele Fallstricke und Schwierigkeiten in sich bergen. Die Vorstellungen von Ursache und Wirkung sind also nicht erst seit dem Aufkommen der Systemtheorie zu hinterfragen.

Regularitätstheorie

Die Überlegungen David Humes zur Kausalität als Ergebnis von Gewohnheit der Beobachtungen waren fundamental für alle weiteren Theorien. Für ihn, als Empiristen, lässt sich unseren Sinneseindrücken nur entnehmen, dass die Wirkung zeitlich auf die Ursache folgt. Aus einer Anzahl an Beobachtungen stellen wir fest, dass mit einer bestimmten Regelmäßigkeit (Regularität) bei allen Beobachtungen B ausnahmslos auf A folgt. Es muss etwas geben, das A und B notwendig verbindet; erst dann kann davon gesprochen werden, dass B stattgefunden hat, weil A eingetreten ist (vgl. Hume 1982, Kap. VII). Diese notwendige Verknüpfung selbst lässt sich jedoch nicht aus der Beobachtung ablesen, sie wird im Geiste des Beob-

achters hinzugefügt. Die Vorstellung einer regelmäßigen Verknüpfung von A und B übersteigt damit die Wahrnehmung konkreter Einzelereignisse.

Aus dem „Kausalitätsbegriff“ Humes lassen sich drei Kriterien für Kausalität ableiten: Es besteht:

- 1) eine gewisse raum-zeitliche Nähe von A und B,
- 2) eine zeitliche Priorität von A vor B und
- 3) die Verbindung ist konstant.

Dabei gilt: gleiche Ursachen – gleiche Wirkungen bzw. ähnliche Ursachen – ähnliche Wirkungen.

Aus einer regularitätstheoretisch verstandenen Kausalität lassen sich keine sicheren Prognosen für die Zukunft abgeben. Denn dazu müsste sich die Zukunft nach den gewohnten Verknüpfungen der Vergangenheit richten; dafür gibt es nach Hume keine vernünftige Rechtfertigung. Die Regularitätstheorie lässt einige Fragen offen (vgl. Heidelberger 1992, S. 133; Ostermeier 1997, S. 72 f.): Wie lassen sich kausale von akzidentiellen Regularitäten zuverlässig abgrenzen? Das gleichzeitige Auftreten zweier Ereignisse lässt sich ebenso wenig erklären wie eine gemeinsame Ursache für zwei Ereignisse, oder die Möglichkeit, dass ein Ereignis zwei oder mehr Ursachen hat. Eine zeitliche Abfolge (*post hoc*) darf nicht mit einer kausalen (*propter hoc*) verwechselt werden⁷. Es lässt sich weiter einwenden, dass Hume nicht zwischen einer logischen und einer naturgesetzlichen Notwendigkeit differenziert, vielmehr fokussiert er auf die Wahrnehmung einer notwendigen Verknüpfung.

Probabilistische Ansätze

Der Zusammenhang von Wahrscheinlichkeit und Kausalität wurde durch Suppes in einer grundlegenden Arbeit von 1970 ausführlich dargelegt und später durch Salmon aufgegriffen (Salmon 1984, 1994). A ist Ursache von B, wenn A zeitlich vor B liegt und wenn A die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von B erhöht; A ist positiv statistisch relevant für B und damit wahrscheinlich auch kausal relevant. An Stelle der Regelmäßigkeit, die Hume postuliert hat, folgt B einfach häufiger auf A als etwas anderes. Im Wissenschaftsalltag sind diese Ansätze implizit weit verbreitet, doch muss berücksichtigt werden, dass sich statistische Gesetze nicht auf deterministische reduzieren lassen und sie dem Einzelfall nicht gerecht werden können. Die Regularitätsbedingung (gleiche Ursache bedingt gleiche Wirkung) wird bei statistischen Regelmäßigkeiten verletzt; auf scheinbar gleiche Ausgangslage erfolgen jeweils unterschiedliche Wirkungen. Eine statistische Regelmäßigkeit kann daher allenfalls eine unvollständige Kausalität begründen.

⁷ Auf das Fallen des Barometerstandes kann ein Sturm folgen, trotzdem ist das Fallen des Barometerstandes nicht die Ursache für den Sturm.

Prozesstheorie

Jede Theorie der Kausalität muss definieren, was sie als Veränderung anspricht und was nicht. Der Unterschied zwischen kausalen und nichtkausalen Prozessen ist darin zu sehen, dass kausale Prozesse physikalische Erhaltungsgrößen übertragen (vgl. Salmon 1984; Dowe 2000). Dies impliziert, dass die Ursache der Wirkung eine Markierung⁸ verleiht, die über den Eingriffspunkt hinaus Bestand hat. Nach dieser Vorstellung unterscheiden letztlich physikalische Prozesse zwischen kausalen und nichtkausalen Prozessen. Im zeitlichen Verlauf ist es allerdings schwierig, den Übergang von Ursache zur Wirkung festzustellen: Denn wann wird aus der Ursache die Wirkung (vgl. Russell 1952, S. 187)? Oder liegt der Unterschied von Ursache und Wirkung gar nicht in den Objekten, ist es einfach der Beobachter, der diesen setzt? Wie ist das Problem von unterschiedlichen gleichzeitigen Einflüssen zu handhaben? Zudem sollte ein allgemeines Kausalgesetz fundamentaler sein als eine naturwissenschaftliche Theorie.

Interventionistische Ansätze

Interventionistische Kausalitätstheorien (Wright 1974; Woodward 2003) nehmen menschliche Handlungen in die Beschreibung von Ursache/Wirkungs-Zusammenhängen auf. So bedeutet „A ist Ursache von B“, dass ich B herbeiführen könnte, wenn ich A tun könnte, denn ausschließlich eine aktive Intervention erlaubt es, Kausalfolgen aufzudecken (Wright 1974, S. 75). Die Unterscheidung von kausalen und nicht-kausalen Korrelationen ist damit eine subjektive Entscheidung, wobei die zeitliche Asymmetrie von A und B erhalten bleibt. Der Schluss auf die wahrscheinlichste Ursache erfolgt dadurch, dass ein (mögliches) Intervenieren in die Ereignisse diese auf vorhergesagte Weise verändert. Damit wird der kausale Determinismus durch Wahrscheinlichkeiten ersetzt.

Schwierig bleibt abzuwägen, welche Analogie einem Naturvorgang gerade angemessen ist. Schließlich impliziert dieses Kausalkonzept eine Anthropomorphisierung von Ursachen, denn eine Ursache ist das, „was unter den vorliegenden Umständen geändert werden müsste, damit der Vorgang, der uns interessiert anders abläuft“, ‚Ursachen‘ sind somit eine Angelegenheit der angewandten Wissenschaft“ (Toulmin 1969, S. 122 f.).

Kontrafaktische Konditionalsätze

Kontrafaktische Konditionale bilden „irreale Bedingungssätze“: A ist Ursache für B; B wäre nicht eingetreten, wenn sich A nicht ereignet hätte. Im Grunde beziehen sich kontrafaktische Konditionale auf unrealisierte Möglichkeiten (vgl. Mackie 1974). Lewis (1973) bettet diese Kausalitätstheorie ein in eine Theorie möglicher

⁸ „A causal process is a process that can transmit a mark“ (Salmon 1994, S. 299).

Welten, die neben der faktischen auftreten. Eine Zusammenschau wichtiger kontrafaktischer Ansätze bieten Collins et al. (2004).

Für eine adäquate Ursachenexplikation sind alle implizit mitgedachten Bedingungen, auch jene, die nicht stattgefunden haben, zu berücksichtigen. Denn wäre eine dieser Bedingungen nicht eingetreten, hätte die Wirkung wahrscheinlich nicht stattgefunden. Dies bildet die Basis für Mackies Definition von Ursache als INUS-Bedingung: Ein Ereignis gilt als Ursache, wenn es ein unzureichender (*Insufficient*) aber notwendiger (*Necessary*) Teil einer Bedingung ist, die selbst insgesamt nicht notwendig (*Unnecessary*) aber hinreichend (*Sufficient*) für das Ergebnis ist (vgl. Mackie 1974, S. 62 ff.). Dieser Ansatz erweitert die Kausalitätsdiskussion um eine sprachanalytische Betrachtung ist aber in der empirischen Forschung schwer zu thematisieren, denn „kontrafaktische Weltverläufe sind [...] nicht in der Erfahrung gegeben“ (Heidelberger 1992, S. 148).

Nomologische Kausalität

Eine nomologische Kausalität impliziert, dass sich Naturgesetze als Kausalgesetze ausdrücken lassen. Stegmüller charakterisiert Kausalgesetze als „quantitative, deterministische, mittels stetiger mathematischer Funktionen darstellbare Mikro-Sukzessions-Nahwirkungsgesetze, die sich auf ein homogenes und isotropes, von bestimmten Erhaltungsprinzipien beherrschtes Raum-Zeit-Kontinuum beziehen“ (Stegmüller 1970, S. 13). Dagegen sind Naturgesetze mathematisch formulierte Funktionen; ein System von Differentialgleichungen, gekoppelt an eine Kontinuität von Raum und Zeit (Wright 1974, S. 52). Daran sind zahlreiche Probleme gebunden: Naturgesetze sind zeitlos, daher muss eine zeitliche Asymmetrie von Ursache und Wirkung dem Gesetz erst durch den Anwender auferlegt werden. Die grundsätzliche Kritik an Naturgesetzen kann hier nicht weiter ausgeführt werden. Ein kleiner Hinweis soll genügen: Exakte Naturgesetze gehen immer auf Kosten der empirischen Anwendbarkeit und damit deren Prognosekraft. Für Cartwright (1983) sind die Gesetze der theoretischen Physik *ceteris paribus*-Gesetze; solche, die nur unter idealen Bedingungen gültig sind. Daher sind diese Gesetze auch nur unter diesen idealen Bedingungen wahr; nicht jedoch unter den faktischen: „The laws of physics, I concluded, to the extent that they are true, do not explain much“ (ebenda, S. 72 f.). Eine wahre Gesetzesaussage bleibt empirisch leer bzw. sie lässt sich nur auf einen speziellen Fall anwenden. Darin sieht Cartwright ein Scheitern einer nomologischen Aussage von Kausalität. Gerade die zunehmende Genauigkeit in der Spezifikation eines Ereignisses führt zu seiner Unwiederholbarkeit bzw. die Unanwendbarkeit eines allgemeinen Gesetzes (siehe oben). Damit liegt keine Äquivalenz von Kausalerklärung und Vorhersagbarkeit mehr vor. Naturgesetze können bei entsprechender Genauigkeit nur als statistische Gesetze angesprochen

werden, der oft implizierte Determinismus lässt sich bestenfalls *ceteris paribus* bestimmen. Statistische Gesetze sind nicht kausaler Natur und statistische Aussagen sind zunächst rein deskriptiv. Eine Kausalerklärung lässt sich daraus nicht ableiten. Als statistische Gesetze sind Naturgesetze aber nur eingeschränkt gültig. Sie können daher allenfalls Korrelationen von Fakten aufzeigen; eine Aussage über Kausalität ist hingegen nicht möglich. Es bleibt folglich die Frage zu klären, wie sich Kausalbeziehungen aus Naturgesetzen ableiten lassen, die selbst keine Kausalaussagen beinhalten.

Kausalität in der Systemtheorie: Das Problem der „Rückwärtsverursachung“

Die im vorherigen Kapitel aufgezeigten Probleme der Kausalitätsforschung werden durch systemtheoretische Überlegungen noch verschärft, denn sie stellen einige der Grundannahmen der Kausalität auf den Kopf. In der Kybernetik werden Regelkreise erstellt, wo ein Sollwert (als Art Zielursache) angegeben wird, von dem aus die Wirkursache initiiert wird. Dabei ist es zunächst unerheblich, ob ein System nach einem Gleichgewicht oder einem anderen Ziel strebt oder ob eine Pfadabhängigkeit vorliegt, also eine Abhängigkeit von Trajektorien, an denen entlang sich das System entwickelt. Das erneute Sich-Einstellen eines Systemzustandes stellt eine Steuerung durch negative Rückkopplungen dar. Systemtheoretisch wird also ein deterministisch-lineares Kausalkonzept, ähnlich wie in modernen Naturgesetzen, durch ein funktionales ersetzt. Ereignisse werden damit über einschränkende Faktoren, die sie von ihrer Umwelt unterscheiden, charakterisiert. An Stelle einzelner Kausalbeziehungen treten kausale Netzwerke und Wechselwirkungen (vgl. Breckling et al. 1997, S. 109). Aber sind kausale Wechselwirkungen nicht ein Selbstwiderspruch? Für Bunge (1984) sind Ereignisverknüpfungen, die Wechselwirkungen ausdrücken nicht kausal, weil dabei die Asymmetriebedingung verletzt wird.

Die großen Herausforderungen an die Kausalitätstheorien stecken in einigen der wesentlichen Grundbegriffe selbstorganisierender Systeme:

- Der Begriff der Selbstreferenz dient der Beschreibung von Zirkularität, von Rückbezüglichkeit innerhalb eines Systems, ein Phänomen, das sich mit den Begriffen der Kausalität nicht fassen lässt, denn so kann die Wirkung theoretisch vor ihrer Ursache liegen.
- Selbststeuerung ist ein ähnlich schwieriger Begriff, beschreibt er doch die Tendenz eines Systems sich nach eigenen Vorgaben zu regeln, damit ebenfalls eine Form der *causa finalis*.
- Der Chaosbegriff setzt die Kausalität scheinbar außer Kraft und ersetzt sie durch Wahrscheinlichkeiten.

- Emergenz, ein weiterer schillernder Begriff der Systemforschung, beschreibt die Entstehung neuer makroskaliger Strukturen⁹. Durch Emergenz ist das Verhalten komplexer Systeme kausal nicht vollständig auf einzelne Elemente reduzierbar und damit nicht reproduzierbar.

Mit der modernen Systemtheorie (egal welcher Prägung) liegt erstmals ein theoretischer Ansatz vor, der die wissenschaftliche Erklärung einer „Rückwärtsverursachung“ einfordert. Denn Rückkopplungsmechanismen lassen die Fragen nach der theoretischen und praktischen Möglichkeit einer Rückwärtsverursachung aufkommen; schließlich wirkt die Zielgröße auf die Ursache zurück. Bereits in der Diskussion um die Abgrenzung von Kausalität und Teleologie, die letztlich auch eine Form von Rückwärtsverursachung darstellt, wurde auf erste Schwierigkeiten hingewiesen. Wird die kausale Ordnung mit einer zeitlichen identifiziert, ist eine Rückwärtsverursachung definitiv ausgeschlossen¹⁰. Ob eine zeitliche Prioritätensetzung von Ursache und Wirkung nur durch unser Erkenntnisvermögen erfolgt oder ein ontologisches Faktum darstellt, muss offen bleiben. Aber eine bloß definitivische Festlegung bleibt unbefriedigend. Denn auch „mögliche Welten“, die vielleicht nicht vorkommen, aber für möglich gehalten werden, lassen sich begrifflich nicht verbieten. Alles andere wäre eine definitivische „Trivialisierung“ (Meixner 2001) oder eine Reduzierung von Kausalität auf die Physik (vgl. Dowe 2000). Besonders kontrafaktische Konditionalsätze im Zusammenhang mit einer Retrokausalität implizieren keine Änderung der Vergangenheit, wohl aber eine Änderung der Möglichkeiten. Schließlich wird etwas realisiert, das bislang nicht vorlag und vielleicht auch nie realisiert worden wäre. Eine kausale Asymmetrie ist nur eine kontingente Eigenschaft der aktuellen Welt, aber keine eines reinen Kausalkonzeptes (vgl. Kistler 2006).

Neben diesen metaphysischen Konsequenzen einer Rückverursachung, bleibt die Schwierigkeit, die *causa finalis* empirisch anzusprechen. Es bleibt zu klären, inwiefern sich Wirkursache und Finalursache aufeinander beziehen oder gegenseitig ausschließen. Die enge Verzahnung kausalen und teleologischen Denkens, die Hartmann anspricht (1951), soll verdeutlicht werden: Wenn A B verursacht, so tritt B zeitlich später ein und A hat eine Tendenz B hervorzubringen. Ist damit die Wirkung schon in der Ursache angelegt? Ist also B das Ziel von A? Strebt damit die Ursache zur Wirkung? Der Zweck eines Geschehens wird meist schon sprachlich expliziert, aber an Stelle eines statischen Vorher-Nachher wird von Ursa-

⁹ Möglicherweise ist der Begriff nur eine Bezeichnung für ein Phänomen, das sich bislang noch einer Kausalerklärung entzieht.

¹⁰ Kausalitätstheorien lassen sich kaum von der Zeit entkoppeln. Der Regularitätstheorie von David Hume liegt eine temporale Annahme zugrunde, indem Kausalität als zeitliche Sukzession definiert wird. Damit wird eine Rückwärtsverursachung *per definitionem* ausgeschlossen.

che/Wirkungs-Zusammenhängen gesprochen (vgl. Spaemann & Löw 2005, S. 201 ff.). Die aristotelischen Ursachen sind möglicherweise nur Bestandteil unterschiedlicher Ebenen eines komplexen Systems. Durch die Anwendung von Systemtheorie wird damit die alte Dichotomie zwischen *causa finalis* und *causa efficiens* faktisch aufgehoben (vgl. Wuketitis 1981, Kap. 5). Zwischen beiden Wirkformen sind die Unterschiede offenbar doch nicht so groß, wie gemeinhin angenommen wird. Eine *causa finalis* ergänzt offenbar die *causa efficiens*, denn Natur lässt sich möglicherweise nur durch ihr „um zu“ adäquat erklären. Mittel zu diesem Zweck sind in der Wirkursache zu finden. Wirkursache und Finalursache müssen als Einheit begriffen werden und zwar in jeder wissenschaftlichen Disziplin. Die strikte Trennung – man mag Dilthey anführen, der diese unglückliche Dichotomie von Erklären und Verstehen eingeführt hatte – von Natur- und Geisteswissenschaften hat zur Konsequenz, dass die dabei relevanten Kausalitätsformen ebenso getrennt werden und die Teleologie aus den Naturwissenschaften verbannt wird. Dies ist weder mit Blick auf die Kausalitätstheorien noch unter systemtheoretischer Perspektive durchzuhalten. Denn jeder Systemcharakter ist das Ergebnis eines Arrangements von Zuständen durch den Menschen, mithin kein objektiv Gegebenes (vgl. Spaemann & Löw 2005, S. 207 f.).

Zusammenfassung

Kausalität stellt sich trotz jahrhundertelanger Denkbemühungen weiterhin als ein Grundproblem der Philosophie im Allgemeinen, der Wissenschaftstheorie im Besonderen und einer jeden Systemtheorie dar. Der vorliegende Beitrag hat auf der Basis ausgewählter Kausalitätstheorien auf einige grundsätzliche Schwierigkeiten kausaler Erklärungen bei der Anwendung systemtheoretischen Denkens hingewiesen. Eine systematische wissenschaftstheoretische Aufarbeitung von Kausalverhältnissen in einem systemtheoretischen Verständnis muss weiteren Arbeiten vorbehalten bleiben.

Das traditionelle linear-kausale Denken wird durch systemtheoretisches Denken in Wechselwirkungen und Rückkopplungen vor große Herausforderungen gestellt. Es konnte bei der knappen Betrachtung verschiedener Kausalitätstheorien jedoch verdeutlicht werden, dass das vermeintlich klare Ursache/Wirkungs-Verhältnis in sich schon zahlreiche Probleme beinhaltet. Denn, streng genommen, existieren auch in den exakten Naturwissenschaften keine deterministisch linear-kausalen Vorgänge. Ursache ist in der Wissenschaft eine prioritäre Bedingung im Vorfeld des Eintretens der Wirkung; sie ist damit nur als Plural möglich. Es bliebe die Frage zu klären, wie man von der Ursache (im Singular!) sprechen kann.

Weitere Fragen, die bezüglich von Kausalrelationen in Systemen zu beantworten sind, wurden aufgeworfen: Im Rahmen von Systemtheorien ist es von Interes-

se, ob Kausalbeziehungen immer asymmetrisch sind, bzw. wie dann das Verhältnis von kausaler und zeitlicher Ordnung aussieht. Das Verhältnis von Determinismus und Kausalität scheint chaostheoretisch geklärt: Ein strenger Determinismus ist nicht mehr Bestandteil moderner Wissenschaften. Offenbar muss auf der Basis probabilistischer Erwägungen ein Anknüpfungspunkt an diese Kausalitätstheorien gesucht werden. Gerade vor diesem Hintergrund gilt es stärker zu berücksichtigen, dass methodische Probleme der modernen Naturwissenschaft sich nicht in dem Maße von sozialwissenschaftlichen unterscheiden, wie oftmals unterstellt wird. Denn gerade in den statistisch arbeitenden Disziplinen entsprechen sich diese Probleme, und Ursachen-Zuschreibungen resultieren letztlich aus Wahrscheinlichkeitsaussagen, eingebettet in die jeweils aus der Fachliteratur bekannten Sachzusammenhänge. Dabei bleiben jedoch die aus den probabilistischen Kausalitätstheorien bekannten wissenschaftstheoretischen Schwierigkeiten erhalten.

Möglicherweise bietet gerade eine Systemtheorie geeignete Ansätze, zu einem einheitlichen problemorientierten Vokabular hinsichtlich der Kausalitätsprobleme zu gelangen. Aber welches Konzept von Kausalität lässt sich mit systemtheoretischem Denken konsistent in Einklang bringen? Denn methodische Schwierigkeiten von Systemanalysen liegen in Wechselwirkungen und Rückkopplungen innerhalb von Systemen begründet. Das Konzept der Rückwärtsverursachung verletzt ebenso wie die Vorstellung einer Wechselwirkung die Prämisse der asymmetrischen Eigensinnigkeit von Kausalrelationen. Weiterhin implizieren Rückkopplungen eine Rückwirkung der Wirkung auf die Ursache. Daher müssen teleologische/teleonomische Argumente stärker als bisher im systemtheoretischen Forschen theoretisch beleuchtet werden. Daneben bieten kontrafaktische Konditionale sicherlich eine vielversprechende Weiterführung innerhalb der Kausalitätstheorien, denn dabei lassen sich Rückkopplungen wissenschaftstheoretisch konsistent integrieren. Darauf aufbauend kann möglicherweise ein systemkonformer Begriff von Kausalität entwickelt werden, der bislang nur sehr begrenzt möglich ist. Denn auf der Grundlage der klassischen Kausalitätstheorie nach Hume oder nomologischer Ansätze kann ansonsten allenfalls von einer schwachen Form von Kausalität gesprochen werden. Sprachanalytisch ist es schließlich von Interesse zu klären, ob sich Formulierungen finden lassen, die nicht schon ein bestimmtes Kausalverständnis implizieren. Denn offenbar haben wir die Schwierigkeit, dass sich die Welt uns nicht so darstellt, wie das kausale Denken sie thematisiert. Trotzdem erscheint für die Wissenschaften Kausalität, zumindest als forschungsstrategische Maxime, weiterhin unverzichtbar.

Literatur

- Baumgartner, M. & G. Graßhoff** 2004. Kausalität und kausales Schliessen. Eine Einführung mit interaktiven Übungen. Bern Studies Verlag, Bern.
- Breckling, B. et. al.** 1997. Konzepte zur Untersuchung ökologischer Komplexität: Der Bezug zwischen Kausalität, Skalierung, Rekursion, Hierarchie und Emergenz. BTUC Aktuelle Reihe 4/97: 104–124.
- Bruckmeier, K. & K.-H. Simon** 1996. Systemtheorien und Selbstorganisationsprinzipien: Einige Überlegungen zur Interaktion von Sozial- und Naturwissenschaften. In: K. Mathes, B. Breckling, & K. Ekschmitt, Systemtheorie in der Ökologie, Ecomed, Landsberg: 25–34.
- Bunge, M.** 1984. Die Wiederkehr der Kausalität. In: B. Kanitscheider, Moderne Naturphilosophie. Königshausen & Neumann, Würzburg: 141–160.
- Cartwright, N.** 1983. How the laws of physics lie. Clarendon Press, Oxford.
- Castellani, F. & J. Quitterer** 2007. Agency and causation in the human sciences. mentis. Paderborn.
- Collins, J., N. Hall & L.A. Paul** 2004. Causation and counterfactuals. MIT Press, Cambridge.
- Dowe, P.** 2000. Physical causation. Cambridge University Press, Cambridge.
- Engels, E.-M.** 1978. Teleologie – eine „Sache der Formulierung“ oder eine „Formulierung der Sache“? Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie IX/2: 225–235.
- Glückler, J.** 1999. Neue Wege geographischen Denkens? Verlag neue wissenschaft. Frankfurt.
- Hartmann, N.** 1951. Teleologisches Denken. Walter de Gruyter, Berlin.
- Heidegger, M.** 1983. Einführung in die Metaphysik. Freiburger Vorlesung Sommersemester 1935. Vittorio Klostermann, Frankfurt am Main.
- Heidelberger, M.** 1992: Kausalität. Eine Problemübersicht. Neue Hefte für Philosophie 32/33: 130–153.
- Hume, D.** 1982. Eine Untersuchung über den menschlichen Verstand. Reclam, Stuttgart.
- Kelle, U.** 2003. Die Entwicklung kausaler Hypothesen in der qualitativen Sozialforschung. Zentralblatt für Didaktik der Mathematik/ ZDM 35/6: 232–246.
- Kistler, M.** 2006. Causation and laws of nature. Routledge, Oxford.
- Leiber, T.** 1996. Kosmos, Kausalität und Chaos. Ergon Verlag, Würzburg.
- Lewis, D.** 1973. Counterfactuals. Harvard University Press, Harvard.
- Mach, E.** 1883. Die Mechanik in ihrer Entwicklung. Brockhaus, Leipzig.
- Mackie, J.** 1974. The cement of the universe – a study of causation. Clarendon Press, Oxford.
- Meixner, U.** 2001. Theorie der Kausalität. Ein Leitfaden zum Kausalbegriff in zwei Teilen. mentis, Paderborn.
- Nagel, E.** 1979. Teleology revisited and other essays in the philosophy and history of science. Columbia University Press, New York.
- Ostermeier, U.** 1997. Begriffliche und empirische Fragen der Kausalkognition. Kognitionswissenschaft 6: 70–85.
- Pearl, J.** 2000. Causality. Models, reasoning, and inference. Cambridge University Press, Cambridge.
- Russell, B.** 1952. Über den Begriff der Ursache. In: B. Russel, Mystik und Logik. Philosophische Essays, Humboldt, Wien: 181–208.
- Russo F. & J. Williamson** 2007. Causality and probability in the sciences. College Publications, London.

- Salmon, W.** 1984. Scientific explanation and the causal structure of the world. Princeton University Press. Princeton.
- Salmon, W.** 1994. Causality without counterfactuals. *Philosophy of Science* 61: 297–312.
- Sommerlatte, T.** 2002. *Angewandte Systemforschung. Ein interdisziplinärer Ansatz.* Gabler. Wiesbaden.
- Sosa, E. & M. Tooley** 1993. *Causation.* Oxford University Press. Oxford.
- Spaemann, R. & R. Löw** 2005. *Natürliche Ziele. Geschichte und Wiederentdeckung des teleologischen Denkens.* Klett-Cotta. Stuttgart.
- Spohn, W., M. Ledwig & M. Esfeld** 2000. *Current issues in causation.* mentis. Paderborn.
- Stegmüller, W.** 1970. *Aufsätze zur Wissenschaftstheorie.* Wissenschaftliche Buchgesellschaft. Darmstadt.
- Stegmüller, W.** 1983. *Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie. Bd.1 Erklärung, Begründung, Kausalität.* Springer. Berlin.
- Suppes, P.** 1970. *A probabilistic theory of causality.* North-Holland Publishing Company. Amsterdam.
- Toepfer, G.** 2004. *Zweckbegriff und Organismus.* Königshausen & Neumann. Würzburg.
- Toulmin, S.** 1969. *Einführung in die Philosophie der Wissenschaft.* Vandenhoeck & Ruprecht. Göttingen.
- Wirth, E.** 1979. *Theoretische Geographie.* Teubner. Stuttgart.
- Woodward, J.** 2003. *Making things happen. A theory of causal explanation.* Oxford University Press. Oxford.
- Wright, G. H. v.** 1974. *Erklären und Verstehen.* Athenäum-Fischer. Frankfurt am Main.
- Wuketits, F.** 1981. *Biologie und Kausalität. Biologische Ansätze zur Kausalität, Determination und Freiheit.* Paul Parey. Berlin.



Joachim Rathmann

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Physische Geographie und Quantitative Methoden der Universität Augsburg. Seine Forschungsschwerpunkte sind Klimatologie, insbesondere großräumige Klimavariabilität, Klimaänderungen und klimatische Extremereignisse im südlichen Afrika und in Europa sowie Grundfragen der theoretischen Geographie.