

## FORMEN DES KAUSALEN SCHLIESSENS

### 1 EINFÜHRUNG

Während bislang vorwiegend Fragen rund um die Begriffe von Ursache, Wirkung und kausaler Relevanz im Zentrum standen, soll im vorliegenden und in den nachfolgenden Kapiteln danach gefragt werden, wie man sich Klarheit darüber verschafft, ob ein bestimmter Ereignistyp kausal relevant für einen anderen, ein bestimmtes Ereignis Ursache einer Wirkung ist. Zwischen den in den Kapiteln I bis VII behandelten Themen und denjenigen, denen wir uns in der Folge zuwenden werden, ist dabei sorgsam zu unterscheiden. Bisher fragten wir nach der *Definition* der Kausalrelation oder kausaler Relevanz, jetzt dagegen verschiebt sich unser Interesse weg von Begriffsklärungen hin zu den Modalitäten des *Erwerbes von kausalem Wissen* und des *Schliessens* auf Ursachen und Wirkungen.

Der Mensch hat eine bemerkenswerte Fähigkeit, kausale Strukturen zu erkennen und Ursachen zu identifizieren. Zumal eine theoretische Modellierung menschlichen Erkennens kausaler Zusammenhänge – wie die bisherigen Kapitel gezeigt haben – eine sehr schwierige Aufgabe darstellt und der grosse Erfolg, mit dem der Mensch seit jeher kausal schliesst, mithin nicht auf eine begriffliche Durchdringung kausalen Schlussfolgerns zurückzuführen sein kann, haben wir die menschliche Fähigkeit, Ursachen zu identifizieren, der Intuition zugeschrieben. Doch obwohl dieser Kausalintuition grosser diagnostischer Erfolg beschieden ist, wollen wir uns nicht mit dem Vertrauen in unsere Kausalintuition zufrieden geben. Die ersten 7 Kapitel haben unser begriffliches Verständnis der Ursache-Wirkungsbeziehung ein grosses Stück weiter gebracht. Jetzt wollen wir sehen, ob vor diesem begrifflichen Hintergrund auch eine Systematisierung kausalen Schliessens möglich ist. Zu den wichtigsten Zielsetzungen dieses und der nachfolgenden Kapitel gehört daher die Erarbeitung von Regeln für das kausale Schlussfolgern. Das Ziehen kausaler Schlüsse soll nicht intuitionsgeleitet bleiben, sondern normiert und auf ein solides Fundament von Regeln gestellt werden, die bei geeigneter Ausgangsinformation einen verlässlichen Schluss auf Ursachen und Wirkungen zulassen.

Diese Regeln werden sich auf die im Rahmen von MT erarbeitete Definition kausaler Relevanz stützen. Zusätzlich setzen sie einige wichtige Annahmen voraus, ohne die kausales Schliessen auf der Basis empirischer Daten ausgeschlossen wäre. Unter diesen Voraussetzungen jedoch wird es mit Hilfe besagter Schlussregeln möglich sein, einzig aufgrund geeigneter Informationen über das korrelierte Auftreten von Ereignissen bzw. über Koinzidenzen von Ereignistypen in zuverlässiger Weise Ursachen und Wirkungen zu identifizieren.

## 2 EPISTEMISCHE LÜCKEN

Das Erfordernis, kausale Schlüsse zu ziehen, ergibt sich, grob gesagt, dort, wo entweder Ursachen, Wirkungen oder ganze Kausalzusammenhänge *unbekannt* sind. Man beobachtet eine Ereignissequenz, die mit einem bestimmten Zustand endet, und interessiert sich für die Ursachen dieses Endzustandes. Die Ereignisse, die zu ihm hingeführt haben, sind bekannt. Auch kennt man die Faktoren, die durch jene Ereignisse instantiiert werden. Unbekannt dagegen ist das genaue kausale Zusammenspiel der Ereignisse und Faktoren in der beobachteten Sequenz. Sind deren sämtliche Glieder an der kausalen Hervorbringung des erklärungsbedürftigen Endzustandes beteiligt oder nur einzelne? Wie sind die Ursachen untereinander kausal verhängt – bilden sie eine komplexe Ursache oder ist die Wirkung durch mehrere alternative Ursachen überdeterminiert? Solche und ähnliche Fragen soll uns ein kausales Schlussverfahren beantworten helfen.

Dieses Beispiel schildert freilich eine ungewöhnlich komfortable Wissenssituation, in der kausales Schlussfolgern zur Anwendung kommt. Oft sind bei der Suche nach den Ursachen einer erklärungsbedürftigen Wirkung mitnichten sämtliche Ereignisse bekannt, die – auf welchen Wegen auch immer – zur betreffenden Wirkung geführt haben. Unsere Kenntnis der Sequenz im Vorfeld einer Wirkung auftretender Ereignisse ist im Normalfall extrem lückenhaft. Dasselbe gilt damit natürlich für die im Kontext einer Wirkung instantiierten Ereignistypen. Vielfach ist jemandem, der einen Prozess kausal analysiert, nicht nur unbekannt, welche beobachteten Faktoren kausal relevant für die untersuchte Wirkung sind, sondern darüber hinaus auch, welche Faktoren überhaupt instantiiert worden sind.

Es kann ferner auch sein, dass jemand, der einen Faktor auf kausale Relevanz für eine Wirkung prüfen will, glaubt, eine ganze Reihe alternativer Ursachen der betreffenden Wirkung zu kennen, dieser Glaube jedoch falsch ist. Kausales Schliessen kommt mithin nicht nur anlässlich fehlenden Wissens, sondern gegebenenfalls auch vor dem Hintergrund falscher kausaler Hypothesen zur Anwendung. Die Regeln des kausalen Schliessens müssen nicht nur die Ursachendiagnose im Fall bislang kausal nicht analysierter Vorgänge ermöglichen. Vielmehr sollen sie auch falsche Hypothesen über Kausalzusammenhänge als solche entlarven und entsprechend korrigieren.

Man unterscheidet vier Grundtypen von Unwissenheit hinsichtlich kausaler Sachverhalte:

- unvollständige Kenntnis der Kausalzusammenhänge,
- falsche Hypothesen über Kausalzusammenhänge,
- unvollständige Kenntnis der Ereignisfolgen,
- unvollständige Kenntnis der zu berücksichtigenden Ereignistypen.

Diese Formen von Wissenslücken können in zwei Gruppen unterteilt werden. Bei den ersten beiden Spielarten handelt es sich um im eigentlichen Sinn kausa-

le Unwissenheit. Man kennt nicht alle für eine untersuchte Wirkung kausal relevanten Faktoren oder irrt sich hinsichtlich bestimmter kausaler Relevanzen. Die letzten zwei Formen von Wissenslücken dagegen betreffen nicht direkt die kausalen Strukturen, vielmehr das Stattfinden bzw. Ausbleiben von Ereignissequenzen oder Koinzidenzen. Hierbei handelt es sich also um fehlendes Ereignis- oder Tatsachenwissen.

Kausales Schliessen ist typischerweise nicht nur von einer Form der Unkenntnis begleitet, sondern von einer Kombination verschiedener Arten von Wissenslücken. Auf diese epistemischen Lücken muss bei der Entwicklung von Regeln kausalen Schliessens in besonderem Masse Rücksicht genommen werden. Denn die Regeln sollen trotz der Unausweichlichkeit fehlenden Wissens zur Anwendung gebracht werden können. Würde ein kausaler Schluss darauf, dass ein Faktor  $A$  kausal relevant ist für einen Faktor  $B$ , nur möglich sein unter der Voraussetzung, dass sämtliche alternativen Ursachen von  $B$  und alle im Kontext konkreter Instanzen von  $B$  stattfindenden Ereignisse bekannt sind, wäre kausales Schliessen von vornherein ein aussichtsloses Unterfangen.

## 2.1 UNVOLLSTÄNDIGE KENNTNIS DER KAUSALZUSAMMENHÄNGE

Unvollständige Kenntnis der einem untersuchten Prozess zugrunde liegenden Kausalstruktur charakterisiert jede Anwendung kausaler Schlussverfahren. Wird die kausale Relevanz eines Faktors  $A$  für eine Wirkung  $B$  untersucht, so geschieht dies meist ohne Wissen um weitere Faktoren, die allenfalls gemeinsam mit  $A$  hinreichend sind für  $B$ , oder um alternative Ursachen von  $B$ . Vielfach ist bei der kausalen Analyse eines Prozesses überhaupt nur die kausale Relevanz einzelner Faktoren von Interesse. Ursachen sind in der Regel aus einer Unzahl von Faktoren zusammengesetzt, von denen man bei der Entwicklung kausaler Hypothesen nur einen verschwindend kleinen Teil nennt. Formuliert man kausale Hypothesen, werden solche kausal relevanten Faktoren explizit genannt bzw. aus der Vielzahl kausal relevanter Faktoren herausgegriffen, die von besonderem Interesse für die betreffende Untersuchung sind, weil sie beispielsweise so manipuliert werden können, dass ein erwünschter Kausalprozess herbeigeführt oder lenkbar wird. Kausale Hypothesen beziehen sich somit auf einen Ausschnitt einer vollständigen Kausalstruktur, ohne dass mit ihrer Etablierung der Anspruch erhoben würde, überhaupt jemals in der Lage zu sein, die Gesamtheit aller hinreichenden und notwendigen Bedingungen für das Entstehen der untersuchten Wirkung zu kennen. Im Gegenteil, die vollständige Aufdeckung kausaler Strukturen ist normalerweise gar nicht das Ziel einer kausalen Untersuchung – vollständige Kausalzusammenhänge sind komplex, unübersichtlich und in vielen Fällen uninteressant.

So sind viele allgegenwärtige Eigenschaften der Natur notwendige Teile von komplexen Ursachen verschiedenster Wirkungen. Ohne das uns bekannte Gravitationsfeld würden sich weder Züge, Autos, Pferde noch Menschen in gewohnter Manier auf diesem Planeten fortbewegen, Pflanzen würden nicht so wachsen, wie

sie es gegenwärtig tun, oder ein Liter Wasser wäre nicht ein Kilogramm schwer. Ohne Sauerstoff gäbe es auf der Erde keine Waldbrände oder glimmenden Zigaretten, keine laufenden Dieselmotoren, keine fliegenden Flugzeuge oder Vögel und überhaupt kein Leben, wie wir es kennen. Aufgrund der Omnipräsenz dieser natürlichen Gegebenheiten werden sie im Rahmen kausaler Analysen meist als Selbstverständlichkeit betrachtet und nicht explizit in die Liste der kausal relevanten Faktoren von Autofahrten, Waldbränden oder fliegenden Flugzeugen aufgenommen. Tatsächlich in einen Kausalgraphen oder eine Minimale Theorie aufgenommen werden nur solche kausal relevante Faktoren, von deren selbstverständlicher Instantiierung bei der Herbeiführung einer Wirkung nicht auszugehen ist.

Die Methoden kausalen Schliessens müssen mit kleinen Teilgraphen eines vollständigen Kausalgraphen (vgl. Abbildung VIII.1) operieren können. Regeln des kausalen Schliessens sollen sicherstellen, dass man sich trotz lückenhaften Kausalwissens oder fehlenden Interesses an vollständigen Graphen über die kausalen Relevanzen einzelner Faktoren und Teilgraphen derart orientieren kann, dass zuverlässiges prognostisches und diagnostisches Wissen etablierbar ist. Bei Unkenntnis kompletter Kausalstrukturen bilden die kausalen Hypothesen hinsichtlich des Entstehens einer Wirkung einen echten Teilgraphen oder eine echte Teilmenge der in einer vollständigen Minimalen Theorie der betreffenden Wirkung auftretenden Faktoren. Sie beschreiben Zusammenhänge kausaler Relevanz, ohne notwendige oder hinreichende Bedingungen anzugeben.

Damit anlässlich der Realisierung eines kausal relevanten Faktors die entsprechende Wirkung tatsächlich entsteht, müssen Konstellationen von Faktoren hervorgerufen werden, in denen die restlichen für eine jeweilige komplexe Ursache erforderlichen Ereignistypen ebenso realisiert sind. Das scheint angesichts der grossen epistemischen Lücken auf den ersten Blick eine äusserst schwierige Aufgabe

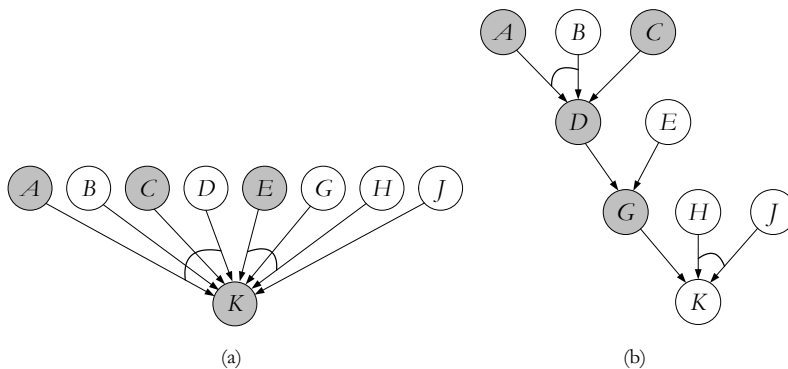


Abb. VIII.1: Kausale Teilgraphen zeigen nur einzelne relevante Faktoren einer Minimalen Theorie bzw. der vollständigen Kausalstruktur an, die einer Wirkung zugrunde liegt. In den Graphen (a) und (b) konstituiert die Verknüpfung der grau unterlegten Faktoren jeweils einen kausalen Teilgraphen.

### *Erläuterung VIII.1*

Kausale Hypothesen sind Aussagen über komplexe Zusammenhänge von kausal relevanten Faktoren und den zugehörigen Wirkungen. Sie legen fest, auf welche Weise kausal relevante Faktoren miteinander zu verknüpfen sind, damit der derart entstehende Graph einen *Teilgraphen* des vollständigen Kausalgraphen bzw. die derart entstehende Minimale Theorie einen Ausschnitt der vollständigen Minimalen Theorie der betreffenden Wirkung darstellt.

zu sein. Wie soll man eine hinreichende Bedingung instantiieren, ohne deren sämtliche Mitglieder zu kennen? Kapitel IX wird indessen zeigen, dass man auch ohne vollständige Kenntnis der Teile einer komplexen Ursache durch Manipulation der wenigen bekannten Faktoren Wirkungen erfolgreich hervorrufen oder deren Auftreten verhindern kann. Die kausale Relevanz eines Faktors  $A$  für eine Wirkung  $B$  ist nur zu beurteilen durch einen Vergleich von Situationen  $S_i$ , in denen auf eine Instanz von  $A$  tatsächlich eine Instanz von  $B$  folgt, mit Situationen  $S_j$ , die sich dadurch auszeichnen, dass weder  $A$  noch  $B$  instantiiert sind. Gelingt es nicht, Situationen vom Typ  $S_i$  zu realisieren, kann über eine etwaige kausale Relevanz von  $A$  für  $B$  nicht befunden werden. Ist man dagegen imstande,  $S_i$  zu verwirklichen, kennt man einen Typ von Situation, in dem mindestens eine komplexe Ursache von  $B$  anwesend ist. Die Teile dieser komplexen Ursache sind unter Umständen gänzlich unbekannt. Dennoch kann eine geeignete Gegenüberstellung von  $S_i$  und  $S_j$  in diesem Fall Aufschluss darüber geben, ob  $A$  Teil jener komplexen Ursache ist oder nicht. Vermittels einer noch im Detail vorzustellenden Testanlage ist es also möglich, über die kausale Relevanz von  $A$  für  $B$  zu befinden, obwohl von einer entsprechenden komplexen Ursache nur ein einziger Faktor bekannt ist, nämlich  $A$ .

## 2.2 FALSCHHE HYPOTHESEN ÜBER KAUSALZUSAMMENHÄNGE

Bei der zweiten Spielart kausaler Unkenntnis handelt es sich um Irrtümer über die Kausalbeziehungen und kausalen Regularitäten, die einen untersuchten Prozess strukturieren. In einem solchen Fall weiss man, welche singulären Ereignisse im Verlauf des betreffenden Vorgangs auftreten und welchen Ereignistypen sie angehören, und man ist überzeugt, aufgrund bereits erfolgter Kausalanalysen die kausalen Abhängigkeiten zwischen diesen Ereignissen und Faktoren zu kennen. Doch diese Überzeugung ist falsch.

Einigen Beispielfällen dieser Art sind wir bereits begegnet. Angenommen etwa, man mache in Zukunft die Entdeckung, dass die Vorliebe für Tabakrauch oder Nikotin und ein erhöhtes Lungenkrebsrisiko eine gemeinsame Ursache in einer genetischen Veranlagung haben, so würde sich die über Jahre von namhaften Wis-

senschaftlern vertretene Auffassung, Rauchen verursache Lungenkrebs, als falsch herausstellen. In einem solchen Fall garantiert das Prinzip der persistenten Relevanz, dass nur die genetische Veranlagung und nicht der Tabakkonsum einer kausalen Interpretation für Lungenkrebs zugeführt wird.<sup>1</sup>

Es ist eine der zentralen Aufgaben der Regeln kausalen Schliessens, derartige Irrtümer erkennbar zu machen und ein Verfahren zu begründen, mit dessen Hilfe falsche Kausalhypothesen korrigiert werden.

### 2.3 UNVOLLSTÄNDIGE KENNTNIS DER EREIGNISFOLGEN

Neben den genannten beiden Formen fehlenden Kausalwissens ist man bei der kausalen Analyse von Ereignisfolgen, wie eingangs gesagt, bisweilen auch mit dem Problem fehlenden Tatsachen- oder Ereigniswissens konfrontiert: Man kennt nicht alle der in einer untersuchten Sequenz auftretenden Ereignisse. Viele in der Natur stattfindende Prozesse involvieren Kausalfaktoren, deren Instanzen unseren Wahrnehmungsorganen nicht direkt zugänglich sind. So sind beispielsweise die in unserem Körper ablaufenden biochemischen Prozesse unsichtbar und viele von ihnen gänzlich unerforscht. Oder es kann der Fall eintreten, dass die Vorgänge, die sich im Vorfeld eines Waldbrandes oder Autounfalles zugetragen haben, unbekannt sind, weil es keine Zeugen gibt. Solche Wissenslücken stellen natürlich ein grosses Hindernis auf dem Weg zu einer erfolgreichen Ermittlung von Ursachen dar. Man kann ein Ereignis nur schwerlich als Ursache erkennen, solange man um dessen Stattfinden nicht weiss. In günstigen Fällen besteht jedoch die Möglichkeit, aufgrund der Beschaffenheit einer Wirkung auf deren Ursache zurück zu schliessen, ohne eine Instanz des fraglichen Ursachentyps tatsächlich registriert zu haben – insbesondere dann, wenn bekannt ist, dass mit genau einer Ausnahme alle alternativen Ursachen der betreffende Wirkung in einer kausal analysierten Situation abwesend gewesen sind. Kommen für eine Wirkung allerdings mehr als nur eine Ursache in Frage, muss bei Unkenntnis der genauen Ereignisfolge auf einen kausalen Schluss verzichtet werden. Findet man den Flugdatenschreiber eines abgestürzten Flugzeuges nicht, bleiben die Unfallursachen im Dunkeln; kann die Polizei die Tatwaffe in einem Mordfall nicht aufspüren, stehen die Chancen auf eine genaue Rekonstruktion des Tatherganges schlecht. Über die kausale Relevanz von Ereignissen und Faktoren, von deren Auftreten man nichts weiss, lässt sich also nur in Ausnahmefällen befinden.

Das heisst aber nicht, dass bei Unkenntnis sämtlicher Ereignisse einer Sequenz über die kausale Relevanz der tatsächlich beobachteten Glieder der Folge nicht befunden werden könnte. Es ist allgemein bekannt, dass übermässiger Alkoholkonsum einen Rauschzustand verursacht, doch nur die wenigsten kennen sämtliche Ereignisse, die im Verlauf der Sequenz vom Trinken zum Rausch stattfinden. Wir wissen alle, dass ein Druck aufs Gaspedal das Auto in Bewegung setzt, aber nur

<sup>1</sup> Vgl. Kapitel III, Abschnitt 4.4.

Experten sind über die genauen technischen Abläufe im Innern des Motors informiert. Lückenhaftes Wissen um die Teilereignisse eines Prozesses verhindert eine kausale Diagnose ebenso wenig wie lückenhaftes Wissen um kausale Relevanzen. Unvollständige Kenntnis der Ereignisfolgen ist eine immer wiederkehrende Wissenssituation, in der kausales Schliessen zur Anwendung gebracht werden soll. Erforderlich sind Methoden kausalen Schliessens, die nicht umfassendes Ereigniswissen voraussetzen.

## 2.4 UNVOLLSTÄNDIGE KENNTNIS DER ZU BERÜCKSICHTIGENDEN EREIGNISTYPEN

Eine andere Form epistemischer Lücken betrifft die Typisierung singularer Ereignisse. Im Gegensatz zu eingeschränktem Ereigniswissen kann der Fall eintreten, dass man zwar darüber informiert ist, welche Ereignisfolgen einen untersuchten Kausalprozess konstituieren, man indessen nicht weiss, welche Ereignistypen diese singularen Ereignisse instantiieren. Das heisst, man beobachtet das Auftreten bestimmter Ereignisse, ist sich jedoch im Unklaren darüber, um welche Typen von Ereignissen es sich dabei handelt. Zum Beispiel könnte es jemandem gelingen, bestimmte Vorgänge in unserem Körper zu messen oder gar direkt wahrzunehmen, ohne dass die betreffende Person weiss, dass es sich bei den Vorgängen, welche die menschliche Physiologie bestimmen, um biochemische Prozesse handelt.

Die primären Relata der Kausalrelation, das haben die bisherigen Kapitel deutlich gemacht, sind Ereignistypen und nicht singuläre Ereignisse. Ein Ereignis  $a$  kann erst dann als Ursache eines anderen Ereignisses  $b$  identifiziert werden, wenn  $a$  einem für  $B$  kausal relevanten Faktor  $A$  zugeordnet werden kann und es sich folglich bei  $A \mapsto B$  um eine kausal interpretierbare Regularität handelt. Solange zwei singuläre Ereignisse nicht als Instanz einer kausalen Regularität identifizierbar sind, bleiben ihre kausalen Verknüpfungen im Dunkeln, denn einer einzelnen Ereignissequenz sieht man kausale Abhängigkeiten nicht an. Insofern lässt sich über Ereignisse, deren Typisierung unbekannt ist, kein kausales Urteil fällen. Die Regeln kausalen Schliessens sind nur auf Ereignisse anwendbar, von denen man weiss, welche Faktoren sie instantiieren.

Andererseits ist in Analogie zum Fall eingeschränkter Kenntnis der Ereignisse einer Sequenz die vollständige Typisierbarkeit sämtlicher Ereignisse einer Folge nicht erforderlich, um über die kausalen Beziehungen einzelner Ereignisse zu befinden – solange diese Ereignisse zu den typisierbaren gehören. Man kann das Biertrinken von Herrn Hugentobler am 24.12.2002 als Ursache von dessen anschliessendem Rausch diagnostizieren, sobald man jenes Ereignis als Instanz des Faktors ‚Alkoholtrinken‘ erkannt hat und weiss, dass Alkoholtrinken kausal relevant ist für Trunkenheit. Eine erfolgreiche Diagnose der Ursachen von Herrn Hugentoblers Alkoholrausch erfordert hingegen nicht, dass alle Ereignisse, die im Verlauf der Sequenz vom Biertrinken zum Rausch stattfinden, eindeutig einem Typ zugeordnet werden können.

## 2.5 EINSCHRÄNKUNGEN KAUSALER SCHLUSSVERFAHREN

Dieser kurze Überblick über die epistemischen Lücken, vor deren Hintergrund sich die Frage nach der Anwendbarkeit kausaler Schlussverfahren stellt, hat gezeigt, dass jene Anwendbarkeit einigen Einschränkungen unterworfen ist. Das Bestehen dieser Einschränkungen können wir an dieser Stelle, bevor die Methoden kausalen Schliessens im Detail vorgestellt worden sind, bereits vermerken, weil sie sich allein aufgrund der in den Kapiteln III bis VII eingeführten Begrifflichkeit ergeben. So hat beispielsweise Kapitel V, Abschnitt 3.5 deutlich gemacht, dass die Instanz einer vollständigen Ursache das Auftreten der zugehörigen Wirkung determiniert, während umgekehrt eine Instanz der Wirkung nicht festlegt, auf welche Ursache sie zurückzuführen ist. Findet man also im Vorfeld einer Wirkung  $B$  kein Ereignis, das einen bekannten Ursachentyp von  $B$  instantiiert, lässt sich normalerweise nicht auf die Ursache von  $b$  schliessen – dies entweder, weil es noch andere als die bekannten Alternativursachen von  $B$  gibt, oder, weil mehrere Alternativursachen für  $b$  verantwortlich sein könnten. Fehlendes Wissen um die Ereignisse einer Sequenz kann dazu führen, dass einer Wirkung keine Ursachen zuzuordnen sind, welches auch immer die genauen Methoden kausalen Schliessens sein mögen.

Die Kapitel V und VII ihrerseits haben gezeigt, dass das Schliessen auf kausale Zusammenhänge vom wiederholten Auftreten von Ereignissen desselben Typs abhängig ist. Nur nicht-leere Regularitäten sind kausal interpretierbar. Ist ein singuläres Ereignis – aus welchen Gründen auch immer – nicht typisierbar, lässt sich über die kausalen Strukturen, in die es allenfalls eingebunden ist, nichts sagen. Das Verursachungsverhältnis zwischen zwei Ereignissen  $a$  und  $b$  wird abgeleitet von der kausalen Relevanz des Faktors  $A$  für den Faktor  $B$ . Ein Ereignis, das nicht als Instanz eines Typs identifiziert werden kann, ist damit auch nicht als Ursache oder Wirkung anderer Ereignisse erkennbar. Unsere Methoden kausalen Schliessens mögen noch so elaboriert sein, in Anbetracht von fehlendem Wissen um die Typisierbarkeit eines Ereignisses werden sie keinen Kausalschluss zulassen.

Auf der anderen Seite legt dieser Abschnitt aber den eventuell überraschenden Befund nahe, dass fehlendes oder falsches *Kausalwissen* die Anwendung kausaler Schlussverfahren nicht verunmöglicht. Die Regeln kausalen Schliessens sollen uns in die Lage versetzen, Kausalwissen zu generieren. Ihre Anwendbarkeit darf kein vorgängiges Wissen um Ursache-Wirkungsbeziehungen voraussetzen.

## 3 INDUKTIONSSCHLÜSSE

Traditionell wird für Kausalschlüsse die *Induktion* als einschlägige Schlussform genannt. Im Rahmen eines induktiven Schlusses wird von einzelnen Gegenständen (z.B. Ereignissen) auf allgemeine Hypothesen (z.B. kausale Regularitäten) bzw. aus singulären Aussagen über einzelne Gegenstände eines bestimmten Bereichs auf eine allgemeine Aussage über alle Gegenstände des betreffenden Bereichs geschlossen. Dieser Auffassung zufolge wäre es beispielsweise gerechtfertigt, einzig vom



wiederholten *Aufeinanderfolgen* von Blitzeinschlägen und brennenden Heuställen auf die kausale Relevanz von ‚Blitzschlag‘ für ‚Feuer im Heustall‘ zu schliessen.

Die zentrale Schwierigkeit induktiven Schlussfolgerns ist dessen mangelnde Schlüssigkeit, d.h. der Umstand, dass die Konklusion eines Induktionsschlusses nicht wie im Fall der Deduktion logisch notwendig aus den Prämissen folgt. Oder anders formuliert: Gegeben die Wahrheit der Prämissen, so ist in einem Induktionsschluss die Wahrheit der Konklusion nicht garantiert. Obwohl ein bestimmtes Barometer bislang fehlerfrei funktioniert hat und immer vor Umschlägen des Wetters gesunken ist, steht damit keineswegs fest, dass dies auch in Zukunft so sein wird und das Sinken des Barometers mithin hinreichend oder gar kausal relevant für Wetterverschlechterungen wäre. Strahlender Sonnenschein und demnach die Falschheit der Konklusion wäre durchaus mit dem Sinken eines bislang perfekt funktionierenden Barometers, d.h. mit der Wahrheit der Prämissen dieses Induktionsschlusses, vereinbar. Trotz der fehlenden Schlüssigkeit aber gehört induktives Schliessen gemäss einer in vielen wissenschaftstheoretischen Lehrbüchern<sup>2</sup> vertretenen Auffassung zu den weit verbreiteten Methoden der Etablierung naturwissenschaftlicher Erkenntnis.

Spätestens seit Hume<sup>3</sup> wird innerhalb der philosophischen Forschung heftig um die Möglichkeiten der Rechtfertigung induktiver Schlüsse debattiert. Weshalb scheint es gerechtfertigt zu sein, aus dem Wissen, dass bisher Milliarden von Menschen gestorben sind, darauf zu schliessen, dass *alle* Menschen – auch solche künftiger Generationen – sterblich sind? Andererseits aber halten wir einen Schluss von der Beobachtung, dass niemand, der bisher die Basisbibliothek der Universität Bern betreten hat, aleutischer Muttersprache gewesen ist, auf eine Allaussage, wonach alle Menschen, welche die Basisbibliothek betreten, nicht aleutischer Muttersprache sind, für unzulässig. In beiden Fällen geschieht aus formalem Gesichtspunkt genau dasselbe: Aussagen über eine Teilmenge einer Gegenstandsmenge werden verallgemeinert zu Aussagen über alle Elemente besagter Gegenstandsmenge. Doch nur die erste dieser Verallgemeinerungen scheint gerechtfertigt. Die Abgrenzung zulässiger von unzulässigen Verallgemeinerungen dieser Art und damit die Abgrenzung gültiger von ungültigen Induktionsschlüssen ist unter dem Schlagwort *Induktionsproblem* bekannt und bis heute nicht in allgemein akzeptierter Weise gelöst. Das Induktionsproblem war und ist Auslöser einer mittlerweile nicht mehr überblickbaren Fülle von wissenschaftstheoretischer Literatur.<sup>4</sup>

<sup>2</sup>Vgl. z.B. Keynes (1921) oder Jeffreys (1931). Wir werden in Abschnitt 3.5 unten auf diese wissenschaftstheoretische Lehrmeinung zurückkommen und zeigen, dass sie nicht ganz den Tatsachen entspricht.

<sup>3</sup>Vgl. z.B. Hume (1999 (1748)), Section V, Part I, S. 119 ff. Hume ist der Auffassung, der Mensch neige dazu, induktiv von einzelnen Elementen eines Gegenstandstyps auf alle Gegenstände des betreffenden Typs zu schliessen, weil er sich aufgrund der Beobachtung einzelner Gegenstände an ein bestimmtes Wahrnehmungsmuster gewöhne. Hat man sich einmal an die weisse Farbe einiger Schwäne gewöhnt, erwartet man auch von allen anderen Schwänen eine weisse Färbung.

<sup>4</sup>Eine knappe Auswahl einiger einschlägiger Texte zu diesem Thema wäre etwa: Hume (1978 (1740)), Buch I, Teil III, Mill (1879 (1843)), Popper (1998 (1972)), Goodman (1988 (1954)) oder Salmon (1967).

Wir wollen im vorliegenden Kontext nicht auf die Einzelheiten dieser Debatte eingehen. Wie auch immer am Ende eine Lösung des Induktionsproblems aussehen mag, klar ist: Induktionsschlüsse sind nicht schlüssig in dem Sinn, dass deren Konklusionen bei wahren Prämissen notwendigerweise wahr sind. Diesen Befund gilt es im Folgenden hinsichtlich verschiedener Spielarten induktiven Schlussfolgerns zu untermauern. Die kommenden Kapitel werden anschliessend ein Verfahren kausalen Schliessens entwickeln, das aufgrund der Mängel der Induktion eine deduktive Formalisierung von Kausalschlüssen gestattet.

### 3.1 INDUKTION ALS VERALLGEMEINERUNG

Bei einer ersten Form von Induktion handelt es sich um den oben bereits angedeuteten Schluss von einer bestimmten Eigenschaft eines oder einiger Gegenstände darauf, dass sich alle Gegenstände oder zumindest alle Gegenstände desselben Typs durch die fragliche Eigenschaft auszeichnen. Formal geschieht bei dieser Spielart der Induktion nichts anderes, als dass eine oder mehrere Aussagen über Einzelfälle verallgemeinert werden zu Allaussagen. Ein klassisches Beispiel für einen solchen Fall von Induktion ist der Schluss von der Beobachtung *einiger* weisser Schwäne auf die weisse Färbung *aller* Schwäne.<sup>5</sup> Analog würde man unter Verwendung der Induktion zu Zwecken der Verallgemeinerung aus der Beobachtung einiger gestreifter Tiger schliessen, dass alle Tiger Streifen haben, bzw. aus den Aussagen „Dieser Tiger hat Streifen“, „Jener Tiger hat Streifen“ usw. würde per Induktion die Aussage „Alle Tiger haben Streifen“ abgeleitet. Dabei sind sich die Vertreter induktiver Schlussverfahren nicht einig, wie viele gestreifte Tiger beobachtet werden müssen und welchen Kriterien die Umstände solcher Beobachtungen zu genügen haben, damit die induktive Verallgemeinerung, alle Tiger seien gestreift, als gerechtfertigt gelten könne. Doch selbst, wenn man sich irgendwie auf eine Anzahl für einen Induktionsschluss erforderlicher Beobachtungen verständigen könnte, bliebe das Problem, dass das Schlussverfahren verallgemeinernder Induktion keineswegs aus wahren Prämissen wahre Konklusionen herleitet. Denn selbst wenn Tausende gestreifter Tiger unter kontrollierten Bedingungen gesichtet worden sind, ist damit in keiner Weise ausgeschlossen, dass es eines Tages nicht doch einen Tiger ohne Streifen geben wird. Oder stellen wir uns einen Soziologen vor, der die Religionszugehörigkeit der Schweizerinnen und Schweizer untersuche. Die ersten tausend Schweizer Testpersonen seien zufälligerweise alle katholisch. Ein induktiv vorgehender Soziologe sähe sich nun veranlasst zu schliessen, alle Schweizer und Schweizerinnen seien katholisch, womit er freilich falsch läge. Der betreffende Soziologe wäre jedoch auf der Basis wahrer Prämissen und unter Einhaltung der Regeln induktiven Schliessens zu jener falschen Konklusion gelangt.

Aus der Tatsache, dass einzelne Gegenstände gewisse Merkmale oder Eigenschaften haben, kann nicht geschlossen werden, dass sich alle übrigen Gegenstände desselben Typs auch durch die betreffenden Charakteristika auszeichnen. Ein

<sup>5</sup>Vgl. z.B. Popper (1994 (1934)), S. 3.

Satz über Einzelfälle spricht bloss über einzelne Elemente aus der Gegenstandsklasse, auf die eine entsprechende Allaussage Bezug nimmt.

### 3.2 INDUKTIVER SCHLUSS AUF EIN VERALLGEMEINERNDENDES KONDITIONAL

Eng verwandt mit der ersten Form von Induktion ist der induktive Schluss auf ein verallgemeinerndes Konditional. Bei diesem Schlussverfahren wird von einzelnen Beobachtungen von korreliert instantiierten Gegenstandstypen auf eine konditionale Abhängigkeit zwischen diesen beiden Typen von Gegenständen geschlossen. Übertragen auf die Sprachebene: Man schliesst von singulären Aussagen wie „ $a_1$  ist gemeinsam mit  $b_1$  gegeben“, „ $a_2$  ist gemeinsam mit  $b_2$  gegeben“ usw. auf ein allquantifiziertes Konditional dahingehend, dass alle Instanzen  $a_1, a_2, \dots, a_n$  des Gegenstandstyps  $\mathcal{A}$  korreliert mit einer Instanz  $b_1, b_2, \dots, b_n$  von  $\mathcal{B}$  gegeben sind:  $\mathcal{A} \rightarrow \mathcal{B}$ .

Veranschaulichen wir dieses Schlussverfahren anhand einiger Beispiele. Aus der Beobachtung, dass Peter, Paul, Sandra, Julia usw. eine rote Nase und gleichzeitig einen Schnupfen haben, würde man per Induktion auf ein verallgemeinerndes Konditional etwa schliessen, dass immer wenn jemand eine rote Nase hat, die betreffende Person an einem Schnupfen leidet. Oder aus den Aussagen „Die Fluggesellschaft ‚Swissair‘ hat ein Schweizerkreuz im Logo“ und „Die Fluggesellschaft ‚Swissair‘ ist bankrott“, „Die Fluggesellschaft ‚Swisswings‘ hat ein Schweizerkreuz im Logo“ und „Die Fluggesellschaft ‚Swisswings‘ ist bankrott“ usw. würde nach diesem Verfahren abgeleitet „Immer wenn eine Fluggesellschaft ein Schweizerkreuz im Logo hat, ist sie bankrott.“

Auch dieses Schlussverfahren ist nicht schlüssig, d.h., auch hier wird unter Umständen von wahren Prämissen auf falsche Konklusionen geschlossen. Der Grund hierfür ist verwandt mit dem Grund für die Unschlüssigkeit von induktiven Schlüssen auf blosser Verallgemeinerungen. Aus dem Umstand, dass sich einige Einzelfälle in bestimmter Weise zueinander verhalten, kann nicht abgeleitet werden, dass sich auch alle übrigen Fälle desselben Typs in gleicher Weise zueinander verhalten. Konditionale der Form „Immer wenn  $\mathcal{A}$ , dann  $\mathcal{B}$ “ sind genau dann falsch, wenn  $\mathcal{A}$ , nicht aber  $\mathcal{B}$  gegeben ist. Dass es keinen solchen Fall gibt, ist nicht garantiert, wenn man das gemeinsame Auftreten von  $\mathcal{A}$  und  $\mathcal{B}$  wiederholt beobachtet hat.

### 3.3 INDUKTION ALS ÜBERGANG VON KOINZIDENZEN ZU KAUSALEN REGULARITÄTEN

Im Rahmen der ersten beiden Formen von Induktion ist nicht ausschliesslich von Ereignisfolgen die Rede. Man schliesst dort von Gegenstands- oder Prozesseigenschaften darauf, dass andere Gegenstände oder Prozesse dieselben Eigenschaften aufweisen bzw. sich in derselben Weise zueinander verhalten. Diese Spielarten der Induktion sind viel allgemeiner als kausale Schlüsse im eigentlichen Sinn. Schränken wir den Gegenstandsbereich, in dem wir uns zu Zwecken induk-

tiven Schliessens bewegen, auf Sequenzen von Ereignissen und Koinzidenzen von Ereignistypen ein, entsteht eine neue Form von Induktion. Aus einer Reihe von Beobachtungen dahingehend, dass Ereignisse zweier Typen gemeinsam auftreten, wird aufgrund dieses dritten – und vermeintlich kausalen – induktiven Schlussverfahrens abgeleitet, dass Ereignisse der entsprechenden Typen immer gemeinsam auftreten und aus diesem Grund eines jener Ereignisse die Ursache des anderen sei.

Man beobachtet beispielsweise wiederholt, dass die Sonne aufgeht und es anschliessend warm wird, und folgert daraus zunächst, dass es immer warm wird, wenn die Sonne aufgeht, und anschliessend, dass Sonnenaufgänge minimal hinreichende Bedingungen und als Teile minimal notwendiger Bedingungen gar kausal relevant für morgendliche Erwärmungen sind. Oder man stellt fest, dass einige Fluggesellschaften mit Schweizerkreuz im Logo Bankrott gehen, und schliesst daraus, dass jede Fluggesellschaft mit Schweizerkreuz im Logo zahlungsunfähig wird und das Schweizerkreuz im Logo kausal relevant für den finanziellen Ruin von Fluggesellschaften ist.

Das letzte Beispiel führt deutlich vor Augen, dass nicht auf diese induktive Weise kausal geschlossen werden darf. Es ist eine der zentralen Zielsetzungen des vorliegenden und der nachfolgenden Kapitel, diese Einsicht zu begründen und ein alternatives Schlussverfahren bereitzustellen.

### 3.4 INDUKTION ALS EPISTEMISCHE BEKRÄFTIGUNG

Ein letztes induktives Schlussverfahren, das im vorliegenden Kontext unterschieden und besprochen werden soll, gründet auf der Einsicht, dass keine der bisherigen Formen von Induktion aus wahren Prämissen wahre Konklusionen ableitet. Carl G. Hempel etwa vertritt die Auffassung, dass man mittels Induktion, solange keine allzu weitreichenden Ansprüche an sie gestellt werden, trotz ihrer offensichtlichen Unschlüssigkeit wertvolle Resultate erzielen könne.<sup>6</sup> Dieser Auffassung zufolge garantiert eine wiederholte Beobachtung von korreliert instantiierten Ereignistypen zwar nicht die Wahrheit eines Allsatzes, dennoch aber lassen solche Koinzidenzen die Wahrscheinlichkeit wachsen, dass ein jeweiliger Allsatz oder gar eine kausale Regularität gültig ist. Wir vermuten beispielsweise, dass *A* kausal relevant für *B* sei. Jede auftretende Koinzidenz von *A* und *B* verstärkt nach diesem Verständnis von Induktion die Verlässlichkeit oder Wahrscheinlichkeit dieser Hypothese. Geschlossen wird hier also von einer kausalen Hypothese und Einzelfällen, deren Verhalten sich mit den aus der Hypothese abgeleiteten Erwartungen decken, auf die verstärkte Plausibilität der Kausalhypothese. Umgekehrt schliesst man nach diesem Verständnis von Induktion aus nicht auftretenden Koinzidenzen auf eine verminderte Plausibilität einer entsprechenden Kausalhypothese.

Aus einer Aussage wie „Sonnenaufgänge sind kausal relevant für Lufterwärmungen“ und der Beobachtung eines derartigen meteorologischen Vorganges bzw.

<sup>6</sup>Vgl. Hempel (1977 (1965)).

der Aussage „Nach dem Sonnenaufgang vom 3. September 2001 erwärmt sich die Luft in Bern“ wird nach dieser Form von Induktion geschlossen, dass die Hypothese, Sonnenaufgänge seien kausal relevant für Lufterwärmungen, durch jenen Beobachtungssatz eine Bekräftigung erfahre. Nach einer derartigen Bekräftigung spricht man der kausalen Relevanz von Sonnenuntergängen für Lufterwärmungen eine grössere Verlässlichkeit zu.

Doch auch dieses, auf den ersten Blick wohl aussichtsreichste induktive Verfahren ist keineswegs schlüssig. Denn einzelne Koinzidenzen können eine allgemeine kausale Hypothese nicht bekräftigen. Wir wissen mittlerweile, dass es durchaus Ereignisse gibt, die regelmässig aufeinander folgen, ohne kausal verknüpft zu sein. So müsste man auf der Basis von Induktion – verstanden als epistemische Bekräftigung – etwa schliessen, dass vor Wetterverschlechterungen fallende Barometer die kausale Hypothese, wonach das Fallen des Barometers Witterungsumschläge verursache, bekräftige – was offensichtlich ein eklatanter Fehlschluss wäre.

Ferner kann auch der Fall eintreten, dass Ereignisse, zwischen denen eine kausale Abhängigkeit besteht, überhaupt nicht aufeinander folgen. Wir gehen gemeinhin etwa davon aus, dass das Anstreichen eines Streichholzes kausal relevant sei für dessen Entflammen. Finden wir nun ein Streichholz, das trotz Anstreichens nicht Feuer fängt, müsste man nach dieser induktiven Schlussform schliessen, dass unsere anfängliche Kausalhypothese an Plausibilität verloren habe. Auch dies wäre natürlich ein Fehlschluss, denn das von uns beobachtete Zündholz hat kein Feuer gefangen, weil es z.B. feucht gewesen ist.

### ÜBUNG: *Formen der Induktion*

#### 3.5 DIE WISSENSCHAFT VERFÄHRT NICHT INDUKTIV

Entgegen der im Fachgebiet der Wissenschaftstheorie weit verbreiteten Auffassung, bei Induktion handle es sich um das zentrale wissenschaftliche Schlussverfahren,<sup>7</sup> distanzieren sich namhafte Wissenschaftler explizit von induktiven Methodologien. Kein Geringerer als Albert Einstein hat wiederholt mit Nachdruck den Standpunkt vertreten, dass auf induktivem Weg keine grundlegenden wissenschaftlichen Fortschritte erzielt werden können.

Für [die „phänomenologische“ Physik] ist charakteristisch, dass sie sich möglichst erlebnisnaher Begriffe bedient, dafür aber auf Einheitlichkeit der Grundlagen weitgehend verzichtet. Wärme, Elektrizität und Licht werden durch besondere Zustandsvariablen und Material-Konstanten neben dem mechanischen Zustande beschrieben, und alle diese Variable in ihren gegenseitigen und zeitlichen Abhängigkeiten zu bestimmen, war ein in der Hauptsache nur auf empirischem Wege lösbares Problem. Viele Zeitgenossen von Maxwell sahen in einer solchen Darstellungsweise das Endziel der Physik,

<sup>7</sup>Vgl. z.B. Keynes (1921) oder Jeffreys (1931).

die sie wegen der relativen Erlebnisnähe der gebrauchten Begriffe für rein induktiv aus den Erlebnissen ableitbar hielten. (...) Es gibt keine induktive Methode, welche zu den Grundbegriffen der Physik führen könnte. Die Verkennung dieser Tatsache war der philosophische Grundirrtum so mancher Forscher des 19. Jahrhunderts; sie war wohl der Grund dafür, dass sich die Molekulartheorie und die Maxwellsche Theorie erst verhältnismässig spät durchsetzen konnten. Logisches Denken ist notwendig deduktiv, auf hypothetische Begriffe und Axiome gegründet.<sup>8</sup>

Maxwell selbst freilich gehörte nicht zu jenen hier von Einstein gerügten Wissenschaftlern. So behauptete Maxwell beispielsweise, das heute Coulomb zugeschriebene, tatsächlich aber schon 1773 von Cavendish entdeckte elektro- und magnetostatische Gesetz, wonach sich elektrisch geladene Körper umgekehrt proportional zum Quadrat ihres Abstandes anziehen, anhand *eines einzigen* Experimentes deduktiv bewiesen zu haben.<sup>9</sup>

Ebenfalls in deduktiver Weise hat André-Marie Ampère auf der Grundlage von nur gerade vier Experimenten seine berühmte Formel hergeleitet, welche die Kraft zwischen zwei Ladungen beschreibt. Eingeleitet wird diese Herleitung mit folgender unmissverständlichen methodologischen Festlegung:

Ja vais maintenant expliquer comment on déduit rigoureusement (...) la formule par laquelle j'ai représenté l'action mutuelle de deux éléments de courant voltaïque, en montrant que c'est la seule force agissant suivant la droite qui en joint les milieux qui puisse s'accorder avec ces données de l'expérience.<sup>10</sup>

Die Liste der Beispiele von erklärermassen deduktiv vorgehenden Naturwissenschaftlern kann ohne weiteres mit berühmten Namen aus der Physik des 20. Jahrhunderts erweitert werden. So identifiziert Dorling deduktive Schlussverfahren bei Max Planck, Niels Bohr, Paul Dirac und insbesondere Werner Heisenberg.<sup>11</sup> Letzterer behauptete beispielsweise, die fundamentalen quantenmechanischen Formeln aus empirischen Tatsachen in Verbindung mit dem Bohrschen Korrespondenzprinzip *abgeleitet* zu haben.<sup>12</sup>

Angesichts all dieser Beispiele deduktiver naturwissenschaftlicher Methodologien erstaunt die in wissenschaftstheoretischen Lehrbüchern weit verbreitete Meinung, naturwissenschaftliche Schlussverfahren seien grundsätzlich induktiv. Ein

<sup>8</sup>Einstein (1979), S. 79-85.

<sup>9</sup>Vgl. Maxwell (1873), S. 74-77, auch Dorling (1973a), S. 361. Eine detaillierte Rekonstruktion dieses Beweises findet sich bei Dorling (1973b).

<sup>10</sup>Ampère (1827), S. 199. Edmund Whittaker hat die Herleitung von Ampères Formel detailliert rekonstruiert (vgl. Whittaker (1951), S. 85).

<sup>11</sup>Vgl. Dorling (1973a), S. 367ff.

<sup>12</sup>Vgl. Heisenberg (2001 (1930)), S. 78. Vgl. ebenda: „Das Bohrsche Korrespondenzprinzip besagt in seiner allgemeinsten Fassung, dass eine bis in die Einzelheiten durchführbare qualitative Analogie besteht zwischen der Quantentheorie und der zu dem jeweils verwendeten Bild gehörigen klassischen Theorie.“

Autor, der dieser Lehrmeinung nicht zustimmt und dezidiert auch für naturwissenschaftliche Kontexte deduktiven gegenüber induktiven Schlussverfahren den Vorrang einräumt, ist W. E. Johnson. Er unterscheidet zwischen „problematischen“ und „unproblematischen“ naturwissenschaftlichen Schlussverfahren. Letztere formalisiert er nach folgendem Muster:

Composite Premiss: Every  $S$  is characterised by some the same determinate under the determinable  $P$ .  
 Instantial Premiss: This  $S$  is  $p$ .  
 Conclusion:  $\therefore$  Every  $S$  is  $p$ .

(...) To take a typical illustration from science:

Every specimen of argon has some the same atomic weight.  
 This specimen of argon has atomic weight 39.9.

$\therefore$  Every specimen of argon has atomic weight 39.9.

In this, as in all such cases of scientific demonstration, the major premiss is established – not *directly*, by mere enumeration of instances – but rather by deductive application of a wider generalisation which has been ultimately so established. In the given example it is assumed that *all* the chemical properties of a substance, defined by certain ‘test’ properties, will be the same for all specimens; and this general formula is applied here to the specific substance *argon*, and to the specific property *atomic weight*. The assumption in this case is established by problematic induction, i.e. directly from an accumulation of instances. In practically all experimental work, a single instance is sufficient to establish a universal proposition: when instances are multiplied it is for the purpose of eliminating errors of measurement.<sup>13</sup>

Die oben erwähnten Beispiele deduktiver Schlüsse von Maxwell, Ampère und Heisenberg haben eine dem Muster Johnsons verwandte logische Form. Zusätzlich zu singulären Prämissen, die experimentelle Resultate vermerken, geht mindestens ein Allsatz in sie ein, unter dessen Prädikate die in den singulären Prämissen erwähnten Individuen fallen. Maxwell beispielsweise setzt für seine deduktive Herleitung des Coulombschen Gesetzes u.a. die allgemeine Prämisse voraus, dass die Anziehung aller elektrisch geladener Körper als Funktion ihres Abstandes zu beschreiben sei.<sup>14</sup> Ganz ähnlich setzt auch Ampère bei der Ableitung seines elektrodynamischen Kraftgesetzes aus den vier von ihm durchgeführten Experimenten allgemeine Prämissen voraus, z.B.: Jede Kraft zwischen zwei Leitern verhält sich proportional zu deren Längen und Ladungen.<sup>15</sup> In Heisenbergs Ableitung der fundamentalen Formeln der Quantenmechanik schliesslich geht als Allsatz das Bohrsche Korrespondenzprinzip ein.

<sup>13</sup>Johnson (1963 (1924)), Bd. II, S. 216.

<sup>14</sup>Maxwell eröffnet seinen Beweis mit: „Let the force at a distance  $r$  from a point at which a quantity  $e$  of electricity is concentrated be  $R$ , where  $R$  is some function of  $r$ “ (vgl. Maxwell (1873), S. 76).

Ferner zeichnen sich all diese Schlussfolgerungen durch die folgenden beiden Charakteristika aus: Einerseits sind die jeweiligen universellen Konklusionen spezifischer als die zu ihrer Herleitung benötigten allgemeinen Prämissen und andererseits verallgemeinern sie die in ihre Herleitung eingehenden experimentellen Befunde. Schlüsse dieser Art nennt man bisweilen auch *demonstrativ induktiv*.<sup>15</sup> Diese Charakterisierung ist insofern missverständlich, als Fälle von „demonstrativer Induktion“ die logische Form *deduktiver* Ableitungen haben und keine Gemeinsamkeiten mit den induktiven Schlussformen, die der letzte Abschnitt diskutiert hat, aufweisen.

Der entscheidende Schritt, der Maxwell oder Ampère eine deduktive Ableitung ihrer jeweiligen Konklusionen aus einigen wenigen experimentellen Befunden ermöglicht, ist natürlich die Einführung allgemeiner Zusatzprämissen. Deren Wahrheit ist keineswegs abgesichert, sondern steht in Frage und bedarf einer Rechtfertigung, will man die Qualität von Maxwells oder Ampères Ergebnissen in angemessener Weise würdigen. Hierin besteht denn auch der massgebliche Vorzug deduktiver Schlussverfahren: An die Schlussfolgerungen Maxwells und Ampères können klare Qualitätskriterien angelegt werden. Ihre Befunde sind mit Sicherheit korrekt, sofern die in ihre Ableitungen eingegangenen Prämissen wahr sind. Ein vergleichbares Wahrheitskriterium lässt sich für induktiv gewonnene Konklusionen nicht formulieren. Im Rahmen induktiven Schliessens bleiben viele Voraussetzungen vage, implizit und gründen letztlich auf der diffusen Annahme einer Gleichförmigkeit der Naturerscheinungen. Deduktive Ableitungen machen alle in sie eingehenden Voraussetzungen explizit und sind deshalb auch einer detaillierten Prüfung und Evaluation zugänglich.

Damit ist nicht gesagt, dass ein deduktiver Schluss die gewonnene Konklusion verlässlicher macht als ein induktiver. Konklusionen können in beiden Fällen falsch sein. Doch wer deduktiv schliesst, weiss und expliziert, unter welchen Bedingungen seine Konklusion wahr ist. Das Erfülltsein dieser Bedingungen kann und muss überprüft werden. Eine vergleichbare Evaluationsmöglichkeit besteht im Fall induktiven Herleitens nicht. Nicht zuletzt aus letzterem Grund wird das anschliessend einzuführende Verfahren kausalen Schliessens deduktiver Natur sein.

#### 4 FORMEN DES KAUSALEN SCHLIESSENS

Wir unterscheiden drei Formen von kausalen Schlüssen: Diagnostische, prognostische und theoretische Schlüsse. In alle drei Schlussformen gehen neben den experimentellen Befunden die in Kapitel III, Abschnitt 4 diskutierten Kausalprinzipien ein. Im Falle theoretischer Kausalschlüsse sind zusätzlich Annahmen über den Hintergrundkontext einer untersuchten Ursache-Wirkungsfolge oder das Abhän-

<sup>15</sup> „Il est d’abord évident que l’action mutuelle de deux éléments de courants électriques est proportionnelle à leur longueur (...). Cette même action doit encore être proportionnelle aux intensités des deux courants“ (vgl. Ampère (1827), S. 199).

<sup>16</sup> Vgl. auch Broad (1930).



gigkeitsverhältnis zwischen den potentiellen Ursachen erforderlich. Wir werden diese Zusatzannahmen erst in den kommenden Kapiteln besprechen. Die kausalen Schlussformen werden an dieser Stelle deshalb erst einmal grob skizziert, wobei der Übersichtlichkeit halber auf eine vollständige Aufführung der Prämissen verzichtet wird.

#### 4.1 DIAGNOSTISCHE SCHLÜSSE

##### *Erläuterung VIII.2*

Mit einem diagnostischen Schluss schliesst man von

- (i) Hypothesen über kausale Regularitäten
- (ii) dem Auftreten einer Wirkung

---

auf das Vorliegen einer Ursache.

Kausale Regularitäten sind – wie wir im letzten Kapitel gesehen haben – kausal interpretierbare Regularitäten der Form  $A \rightarrow B$ . Ist ein solches Konditional kausal interpretierbar, legt es fest, dass  $A$  kausal relevant ist für  $B$ , d.h. behauptet „ $A$  ist kausal relevant für  $B$ “. Als zweite Prämisse geht eine Aussage wie „Ein Ereignis vom Typ  $B$  ist realisiert“ bzw. „ $b$  tritt auf“ in einen diagnostischen Schluss ein. Aus diesen Prämissen alleine kann aufgrund der Pluralität alternativer Ursachen von  $B$  natürlich nicht darauf geschlossen werden, dass  $b$  tatsächlich durch ein Ereignis  $a$  verursacht ist. Kausale Regularitäten sind wahr unabhängig davon, ob sie anlässlich eines konkreten Prozesses eine Instantiierung erfahren oder nicht. Weiss man hingegen zusätzlich um das Auftreten einer Instanz von  $A$  in geeigneter raum-zeitlicher Nähe zu  $b$ , so folgt, dass jenes Ereignis  $a$  (Mit-)Ursache von  $b$  ist. Für einen diagnostischen Schluss benötigt man also eine weitere Prämisse, die das Vorliegen eines Ereignisses vom Typ  $A$  vermerkt – also etwa eine Aussage wie „ $a$  tritt auf“.

Unter gewissen Bedingungen ist freilich ein diagnostischer Schluss auf „ $a$  verursacht  $b$ “ auch möglich, ohne dass man um eine Instantiierung von  $A$  weiss. Die alternativen Ursachen einer Wirkung bilden, wie wir gesehen haben, eine minimal notwendige Bedingung dieser Wirkung. Ist mithin bekannt, dass alle Alternativursachen bis auf eine anlässlich des Stattfindens der fraglichen Wirkung abwesend sind, so muss die einzige verbleibende Ursache in dieser Situation instantiiert sein. Denn das Kausalitätsprinzip verlangt, dass die Wirkung ohne Ursache nicht auftritt. Angenommen also,  $A$  und  $E$  seien die einzigen beiden Alternativursachen von  $B$ , d.h., es gelte:  $B \rightarrow A \vee E$ , und ferner wisse man, dass  $E$  im Vorfeld von  $b$  nicht instantiiert gewesen ist, so muss das Ereignis  $b$  durch eine Instanz von  $A$  verursacht sein.

## 4.2 PROGNOTISCHE SCHLÜSSE

### *Erläuterung VIII.3*

Mit einem prognostischen Schluss schliesst man von

- (i) Hypothesen über kausale Regularitäten
  - (ii) dem Auftreten einer (vollständigen) Ursache
- 
- auf das Eintreten einer Wirkung.

Im Falle des Auftretens einer vollständigen Ursache, d.h. sämtlicher Teile einer kausal relevanten minimal hinreichenden Bedingung, kann vor dem Hintergrund einer kausalen Regularität stets auf die Instantiierung einer Instanz der betreffenden Wirkung geschlossen werden. Das in Kapitel III eingeführte Determinismusprinzip garantiert eine solche eindeutige Zuordnung von Wirkungen zu Ursachen. Prognostische Kausalschlüsse sind ein Spezialfall eines Schlusses vom Antezedens eines Konditionals auf dessen Konsequens. Ist  $A$  eine hinreichende Bedingung für  $B$ , lässt sich von einer Instanz von  $A$  auf das Stattfinden eines Ereignisses vom Typ  $B$  schliessen, egal, ob  $A$  kausal relevant ist für  $B$  oder nicht. Ist das Sinken des Barometerzeigers hinreichend für einen Wetterumschlag, kann von Ersterem auf Letzteren geschlossen werden, obwohl Barometer keinen kausalen Einfluss auf das Wetter haben.

## 4.3 THEORETISCHE SCHLÜSSE

### *Erläuterung VIII.4*

Mit einem theoretischen Schluss schliesst man von

- (i) Hypothesen über kausale Regularitäten
  - (ii) Koinzidenzen bzw. dem Auftreten von Ereignisfolgen
- 
- auf neue kausale Hypothesen.

Theoretische Schlüsse erweitern bestehende kausale Hypothesen um zusätzliche Faktoren. Beim theoretischen Schliessen handelt es sich insofern um die wichtigste und uns in der Folge hauptsächlich beschäftigende Form kausalen Schlussfolgerns. Vorweg nur soviel: Das Erfordernis theoretischen kausalen Schliessens ergibt sich bei unvollständigem Kausalwissen. Ein theoretischer Schluss auf die Erweiterung kausalen Wissens ist dann unter bestimmten Voraussetzungen möglich – etwa wenn das Auftreten einer Wirkung beobachtet wird, ohne dass deren

bereits bekannte Kausalfaktoren instantiiert sind, oder wenn man die bekannten Kausalfaktoren unterdrückt und es trotzdem gelingt, die Wirkung herbeizuführen. In solchen Situationen muss die Wirkung durch eine vorgängig unbekannte Ursache veranlasst worden sein.

Die Prämissen eines theoretischen Schlusses bestehen aus einer kausalen Hypothese „ $A$  ist kausal relevant für  $B$ “ und Informationen über mindestens einen dritten Ereignistyp  $C$  dahingehend, dass  $C$  bei Ausbleiben eines Ereignisses vom Typ  $A$  der Wirkung  $B$  regelmässig vorausgeht. Geschlossen wird auf die kausale Relevanz dieses dritten Ereignistyps  $C$  für  $B$ . Ein solcher theoretischer Schluss ist, wie gesagt, nur unter gewissen Voraussetzungen bzw. Zusatzprämissen möglich. Diesen werden sich die folgenden Kapitel widmen. Sie sind an dieser Stelle noch nicht von Belang.

Theoretische Kausalschlüsse der hier vorgestellten Form setzen bereits Kausalwissen voraus: Es geht eine kausale Prämisse in sie ein. Freilich aber kann kausales Vorwissen nicht eine prinzipielle Voraussetzung der Etablierung neuen Kausalwissens sein, denn gesucht ist ein Schlussverfahren, das auch auf gänzlich unbekannte Prozesse anwendbar und in diesem Sinn kausale Zusammenhänge von Grund auf zu rekonstruieren in der Lage ist. Tatsächlich ist der Eingang einer kausalen Prämisse in einen theoretischen Kausalschluss optional. Unter gewissen Bedingungen ist es im Rahmen von Versuchsanordnungen möglich, einzig auf der Basis von Koinzidenzen auf kausale Regularitäten zu schliessen. Die Einzelheiten dieser Versuchsanordnungen werden im kommenden Kapitel diskutiert.

📖 ÜBUNG: *prognostisches, diagnostisches, theoretisches Schliessen*

Bevor wir uns in der Folge theoretisch dem Problem kausalen Schliessens annähern werden, erhält der Leser an dieser Stelle die Gelegenheit, sich ohne theoretisches Vorwissen einige unbekannte Kausalzusammenhänge zu erschliessen. Zu diesem Zweck hält die folgende Übung Simulationen mit Farbquadraten bereit, die kausale Prozesse darstellen, deren Struktur es zu ermitteln gilt.

📖 ÜBUNG: *Schliessen auf Kausalgraphen 1*

