

HOMOGENITÄT, VIERERTEST, SCHLUSSREGELN

1 EINFÜHRUNG

Im Zentrum des vorliegenden Kapitels steht der theoretische Kausalschluss. Während diagnostische und prognostische Schlüsse bestehende Kausalhypthesen auf untersuchte Prozesse anwenden, liefert der theoretische Kausalschluss als Konklusion neue Hypthesen über kausale Regularitäten.¹ Der theoretische Kausalschluss ist also die Schlussform, die den beiden anderen Spielarten kausalen Schlussfolgern vorausgeht bzw. zugrunde liegt, und insofern die wichtigste Form kausalen Schliessens. Zugleich aber ist der theoretische Kausalschluss auch die mit den meisten Schwierigkeiten belastete Schlussform. Diagnostische und prognostische Schlüsse wenden im Wesentlichen einfach Allaussagen – kausale Hypthesen nämlich – auf Einzelfälle an. Diese Anwendung lässt sich vermittels eines unproblematischen deduktiven Schlusses bewerkstelligen. Gegeben die Wahrheit der Prämissen folgt die Wahrheit der Konklusion, bzw. ist die Konklusion falsch, so auch mindestens eine der Prämissen. Für den theoretischen Kausalschluss sind dagegen – wie wir im letzten Kapitel gesehen haben – traditionell induktive Schlussverfahren vorgeschlagen worden. Diese liefern grundsätzlich unzuverlässige Resultate. Aufgrund der mangelnden Schlüssigkeit der Induktion soll der theoretische Kausalschluss in diesem Kapitel auch als deduktiver Schluss formalisiert werden. Zu diesem Zweck freilich sind einige Zusatzannahmen erforderlich und es müssen gewisse Forderungen an die Testsituationen gestellt werden.

2 VORAUSSETZUNGEN EINES THEORETISCHEN KAUSALSCHLUSSES

2.1 DAS ERBE HUMES

Bevor ein Verfahren theoretischen kausalen Schliessens entwickelt oder in irgendeiner Weise zur Anwendung gebracht werden kann, muss Klarheit herrschen darüber, auf welche Art von Daten das Verfahren überhaupt anwendbar sein soll. Wir stellen uns in dieser Frage auf die Seite David Humes, der die Daten, die beim Ermitteln von Ursachen und Wirkungen zur Verfügung stehen, mit Nachdruck auf Ereignisabfolgen und Koinzidenzen von Faktoren einschränkte:

It appears, that, in single instances of the operation of bodies, we never can, by our utmost scrutiny, discover any thing but one event following another; without being able to comprehend any force or power, by which the cause operates, or any connexion between it and its supposed effect. (...) But when one particular species of event has always, in all instances, been

¹Vgl. Kapitel VIII, Abschnitt 4.

conjoined with another, we make no longer any scruple of foretelling one upon the appearance of the other, and of employing that reasoning, which can alone assure us of any matter of fact or existence. We then call the one object, *Cause*; the other, *Effect*.²

Ein kausales Band zwischen kausal verknüpften Ereignissen oder Ereignistypen entzieht sich – falls es ein solches Band überhaupt geben sollte – unserer Wahrnehmung. Die einzigen verfügbaren Daten über Ursache-Wirkungsbeziehungen sind Beobachtungen von Ereignissequenzen bzw. Faktorenkoinzidenzen. Ein Verfahren kausalen Schliessens muss deshalb in der Lage sein, einzig auf der Basis solcher empirischer Information kausale Regularitäten und Kausalhypothesen zu ermitteln.

Die meisten Theorien der Kausalität, die in den Kapiteln IV bis VI vorgestellt worden sind, definieren kausale Relevanz denn auch ausschliesslich für Ereignisfolgen oder Faktorenkoinzidenzen. Der einzige kausaltheoretische Ansatz, der von dieser Konvention abweicht, ist der transferenztheoretische.³ Die Transferenztheorie macht geltend, dass nicht Abfolgen von Ereignissen über das Vorliegen eines Verursachungsverhältnisses zwischen einzelnen Gliedern einer jeweiligen Folge entscheiden. Vielmehr bestehe eine kausale Abhängigkeit zwischen zwei Ereignissen genau dann, wenn eine Energieübertragung vom einen zum anderen stattfinde. Die Transferenztheorie behauptet also die Existenz eines sicht- oder zumindest messbaren kausalen Bandes zwischen Ursache und Wirkung und damit genau das, was Hume und in seiner Nachfolge die Mehrzahl späterer Kausaltheoretiker verneinen. Zwar gibt es tatsächlich eine Reihe kausaler Prozesse, in deren Verlauf Energieübertragung eine wesentliche Rolle spielt, doch ist Transfer von Energie keineswegs eine notwendige Bedingung für das Vorliegen eines Kausalprozesses. In vielen kausalen Zusammenhängen findet keine Übertragung von Energie statt. Davon abgesehen steht eine Rückführung des Verursachungsbegriffes auf den Begriff der Energieübertragung im Verdacht, zirkulär zu sein: Energietransfers sind wohl selbst nichts anderes als kausale Prozesse. Angesichts dieser Schwierigkeiten erscheint der transferenztheoretische Weg als wenig aussichtsreicher Ausgangspunkt für die Entwicklung eines Verfahrens kausalen Schlussfolgerns.

Die einzigen uns für einen theoretischen Kausalschluss verfügbaren empirischen Daten sind Faktorenkoinzidenzen und damit einhergehend Informationen über Ereignisfolgen.

2.2 KAUSALE BESTIMMTHEIT

Die Ereignisfolgen oder Faktorenkoinzidenzen, die in einen theoretischen Kausalschluss eingehen, sind noch genauer spezifizierbar. So geht, wer sich anschickt, einen Vorgang kausal zu analysieren, davon aus, dass dieser Vorgang in

²Hume (1999 (1748)), section 7, part 2, S. 144.

³Zur Transferenztheorie vgl. Kapitel VI, Abschnitt 3.

irgendeiner Weise *kausal strukturiert* ist. Es mag zwar letztlich nicht gelingen, die Ursachen für eine untersuchte Wirkung zu ermitteln, dennoch steht ausser Zweifel, dass die erklärungsbedürftige Wirkung das Resultat eines kausalen Prozesses ist.

Wir unterstellen also anlässlich jeder Anwendung der Verfahren theoretischen kausalen Schlussfolgerns, dass die jeweils untersuchten Prozesse tatsächlich kausal erzeugt und strukturiert sind. Würde man eine solche Annahme über die analysierten Ereignisfolgen und Koinzidenzen nicht machen, wäre selbstverständlich auch die Anwendung der Regeln kausalen Schliessens fehl am Platz. Diese zweite Voraussetzung eines theoretischen Kausalschlusses nennen wir die Annahme der *kausalen Bestimmtheit* von kausal analysierten Prozessen.

Die Annahme der kausalen Bestimmtheit mag auf den ersten Blick trivial erscheinen. Es ist klar, dass man ein Verfahren kausalen Schliessens vernünftigerweise nur dann anwendet, wenn man eine kausale Strukturiertheit des untersuchten Prozesses unterstellt. Auch ein Logiker, der mit Hilfe logischer Schlussverfahren die Ableitung eines interessanten Ausdruckes sucht, geht davon aus, dass es sich bei seinem Untersuchungsgegenstand um einen *logischen* Ausdruck und nicht um irgendeinen anderen Gegenstand handelt.

Die Annahme der kausalen Bestimmtheit von kausal analysierten Prozessen behauptet genau besehen aber wesentlich mehr, als man zunächst meinen könnte. Indem der Untersuchungsgegenstand eines Verfahrens kausalen Schliessens als Kausalprozess bestimmt wird, ist festgelegt, dass er sämtlichen begrifflichen Regulierungen gehorcht, die wir bisher für kausale Zusammenhänge etabliert haben. Das heisst unter anderem, dass die auf kausale Abhängigkeiten hin untersuchten Ereignisse Ereignistypen instantiieren, deren Zusammenhang sich als Minimale Theorie oder mit Hilfe von komplexen Kausalgraphen formalisieren lässt. Faktoren, denen das kausale Schlussverfahren kausale Relevanz zuschreibt, sind Teile minimal hinreichender Bedingungen der untersuchten Wirkung, welche ihrerseits immer dann auftritt, wenn mindestens eine ihrer minimal hinreichenden Bedingungen gegeben ist, und ausbleibt, wenn keine minimal hinreichende Bedingung instantiiert ist. Des Weiteren legt die Annahme kausaler Bestimmtheit fest, dass die Disjunktion der vom kausalen Schlussverfahren als alternative Ursachen diagnostizierten Faktoren(bündel) einer minimal notwendigen Bedingung der betreffenden Wirkung entspricht. Und schliesslich ist mit dieser Annahme insbesondere auch gesagt, dass der Gegenstand eines theoretischen Kausalschlusses sämtlichen Prinzipien unterliegt, deren Gültigkeit für kausale Prozesse in Kapitel III, Abschnitt 4 festgelegt worden ist. Das heisst, ein mit Hilfe eines Verfahrens kausalen Schlussfolgerns analysierter Vorgang gehorcht dem Determinismus- und dem Kausalitätsprinzip sowie den Prinzipien der Relevanz und der persistenten Relevanz.

2.3 REDUKTION VON KAUSALSTRUKTUREN

Das letzte Kapitel hat gezeigt, dass kausales Schliessen typischerweise anlässlich lückenhaften Kausalwissens zur Anwendung kommt. Wirkungen sind im Normalfall das Resultat komplexer kausaler Netze, deren Glieder einer kausal schliessenden Person nur beschränkt – wenn überhaupt – bekannt sind. Die verschiedenen Alternativursachen einer Wirkung werden üblicherweise unterschiedlich oft und nur selten gemeinsam instantiiert. Während einige von ihnen wohl bekannt sind, weil sie häufig auftreten, entziehen sich andere schon nur deshalb unserer Kenntnis, weil sie kaum je stattfinden. Ein Verfahren kausalen Schliessens wird also in keinem Fall in der Lage sein, das kausale Netz, das zu einer fraglichen Wirkung hinführt, auf einmal und damit gewissermassen in einem Aufguss zu ermitteln.

Kausales Schlussfolgern wird uns unter Absehung von möglichen Alternativursachen zunächst nur Klarheit über die kausale Relevanz einzelner Faktoren verschaffen und erst ausgehend hiervon zur Aufklärung komplexerer Kausalstrukturen fortschreiten können. Angenommen, wir interessieren uns für die Ursachen einer Wirkung W . Der kausale Graph, der die mit W kausal verhängten Ursachentypen und deren Beziehungen untereinander vollständig wiedergebe, sei in Abbildung IX.1 dargestellt. Wir wissen zunächst nichts über die für W kausal relevanten Faktoren. Es sei lediglich bekannt, dass die grau unterlegten Faktoren häufig in Verbindung mit W auftreten. Die entscheidende Frage, die es nun zu beantworten gilt, ist: Wie kann angesichts dieser lückenhaften Wissenslage geprüft werden, ob etwa der Faktor A kausal relevant für W ist?

Die einfache Beobachtung einer Abfolge der Ereignisse a und w liefert keine Hinweise auf eine mögliche kausale Relevanz von A für W . Auch eine wiederholte Korrelation von Ereignissen des Typs A und solchen des Typs W wird hierüber keinen Aufschluss geben. W könnte in jeder solchen Prüfsituation durch Instanzen von E , GH oder J hervorgerufen worden sein, ohne dass A irgendeinen kausalen Beitrag zum Auftreten eines Ereignisses vom Typ W geleistet hätte. Es könnte auch sein, dass A und W Wirkungen einer unbekannten gemeinsamen Ursache sind und die beiden Faktoren deshalb regelmässig korreliert auftreten. Ein mögli-

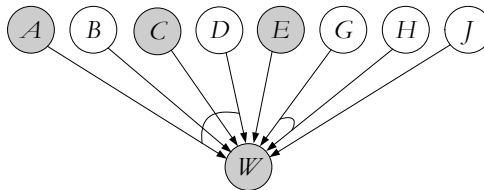


Abb. IX.1: Vollständiger Kausalgraph der Wirkung W . Von den grau gekennzeichneten Faktoren sei bekannt, dass sie regelmässig in Verbindung mit W auftreten.

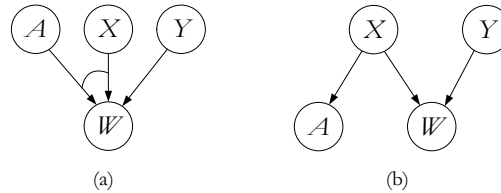


Abb. IX.2: Zwei auf den Prüffaktor A und die Wirkung W reduzierte Kausalstrukturen, die mit der empirischen Information häufig korrelierten Auftretens von A und W verträglich sind. A könnte, wie in Graph (a) dargestellt, kausal relevant sein für W . A und W könnten aber auch multiple Wirkungen einer unbekannten Ursache X sein (vgl. Graph (b)).

cher Grund für das vielfach gemeinsame Auftreten von A und W könnte es freilich auch sein, dass Ereignisse vom Typ A tatsächlich einen kausalen Beitrag zum Stattfinden der Instanzen von W leisten. Bei der Frage nach der kausalen Relevanz von A für W handelt es sich also genau besehen um ein Problem der Wahl zwischen verschiedenen denkbaren kausalen Hypothesen.

Um die Ursachen von W zu ermitteln, müssen wir zunächst von den vielen möglichen Alternativursachen von W absehen und uns auf einen Faktor konzentrieren, über dessen Relevanz befunden werden soll. Diese Fokussierung nennen wir die *Reduktion einer komplexen Kausalstruktur* auf einen Prüffaktor⁴ mit zugehöriger Wirkung. Das einzige empirische Datum, das anschließend zur Beurteilung der kausalen Relevanz des Prüffaktors, in unserem Fall A , für die Wirkung (W) zugänglich ist, sind Informationen über das gemeinsame Auftreten von A und W . Diese Informationen alleine reichen indes nicht aus, um die mutmassliche kausale Abhängigkeit von A und W zu beurteilen. Korreliertes Auftreten zweier Faktoren ist mit mehreren kausalen Hypothesen verträglich, zwischen denen es eine Wahl zu treffen gilt. Abbildung IX.2 stellt zwei der möglichen Kausalhypothesen graphisch dar. Ein Entscheid für bzw. gegen einen dieser alternativen Graphen kann nur herbeigeführt werden, wenn die Testsituationen die im folgenden Abschnitt behandelte Bedingung erfüllen.

2.4 HOMOGENITÄTSBEDINGUNG

John Stuart Mill, der ähnlich wie Hume nur Informationen über Ereignisfolgen und Koinzidenzen als Prämissen in einen kausalen Schluss einführen wollte, versuchte die Schwierigkeit, dass korreliertes Auftreten zweier Faktoren mit mehreren kausalen Hypothesen verträglich ist, zu lösen, indem er zusätzliche Anforderungen an Prüfsituationen stellte, die Aufschluss über kausale Relevanzen geben sollten:

If an instance in which the phenomenon under investigation occurs, and an instance in which it does not occur, have every circumstance in common

⁴Zum Begriff des Prüffaktors vgl. Kapitel II, Abschnitt 6.3.

save one, that one occurring only in the former; the circumstance in which alone the two instances differ is the effect, or the cause, or an indispensable part of the cause, of the phenomenon.⁵

Mill nannte dieses Verfahren zur Ursachendiagnose die *Differenzmethode*. Wenn es gelingt, zwei Prüfsituationen S_1 und S_2 herbeizuführen derart, dass sich S_1 und S_2 nur darin unterscheiden, dass in S_1 der Prüffaktor A und die Wirkung W instantiiert sind, während in S_2 Prüffaktor und Wirkung ausbleiben, so ist Mill zufolge der Schluss auf die kausale Relevanz von A für W zulässig. Der einzige Faktor, der für das Eintreten von W in S_1 verantwortlich sein kann, ist A , zumal es sich hierbei neben dem Eintreten bzw. Ausbleiben von W um die einzige Differenz zwischen S_1 und S_2 handelt.

Unter dieser Voraussetzung liesse sich tatsächlich ein Entscheid fällen zwischen den in Abbildung IX.2 dargestellten Kausalstrukturen. Gelingt es nämlich, zwei Prüfsituationen nach dem oben beschriebenen Muster zu realisieren, kann den beiden Faktoren nur der in Graph (a) abgebildete Kausalzusammenhang zugrunde liegen. Würde (b) die zwischen A und W bestehende kausale Abhängigkeit korrekt beschreiben, gäbe es keine zwei Situationen, die sich genau durch A und W voneinander unterscheiden. In jeder Situation, in der W instantiiert würde, fänden auch Instanzen von A und X statt. Andererseits wären in sämtlichen Situationen, in denen W ausbliebe, auch die Faktoren A und X nicht instantiiert.

Die Zusatzbedingung, die Mill an Prüfsituationen stellt, damit diese als Grundlage für einen theoretischen Kausalschluss dienen, nennt man die *Homogenitätsbedingung*. Für Mill sind zwei Prüfsituationen S_1 und S_2 genau dann homogen, wenn sie sich abgesehen vom möglichen Auftreten der Wirkung W in *genau einem* Faktor A voneinander unterscheiden. Tritt nun bei gegebenem A in S_1 die Wirkung W tatsächlich auf, während sie in S_2 ohne Instanz von A ausbleibt, gestattet diese Versuchsanlage den Schluss auf die kausale Relevanz von A für W . Findet andererseits nur in S_2 eine Wirkung statt, so folgt die kausale Relevanz von \bar{A} für W .

Mills zusätzliche Anforderung an kausale Schlüsse stützende Prüfsituationen löst die im vorigen Abschnitt diagnostizierte Schwierigkeit. Blossé – sogar oft wie-

Homogenitätsbedingung (I): In einem Kausaltest, der die kausale Relevanz eines Prüffaktors A und dessen Negation für eine Wirkung W (bzw. \bar{W}) untersucht, sind zwei Prüfsituationen S_1 und S_2 genau dann homogen, wenn alle Faktoren F_i in S_1 genau dann instantiiert sind, wenn F_i auch in S_2 instantiiert ist, wobei für F_i gilt:

- (i) $F_i \neq A, F_i \neq \bar{A}, F_i \neq W$ und $F_i \neq \bar{W}$.

⁵Mill (1879 (1843)), S. 256.

derholte – Beobachtungen von Ereignisfolgen lassen keine Kausalschlüsse zu. Erst, wenn diese Beobachtungen unter ganz bestimmten Voraussetzungen gemacht werden, bzw. erst, wenn die untersuchten Testsituationen bestimmten Bedingungen genügen, kann vom korrelierten Auftreten zweier Faktoren auf deren kausale Abhängigkeit geschlossen werden. Mills Version der Homogenitätsbedingung hat jedoch einen Makel: Sie ist so gut wie unerfüllbar. Es gibt faktisch keine zwei Situationen, die bis auf einen Prüffaktor übereinstimmen. Selbst ein einfacher Test zur Klärung der Frage, ob zwei Chemikalien miteinander reagieren, der zu diesem Zweck auf zwei Reagenzgläser abstellt oder die Vergleichssituationen zeitlich gestaffelt realisiert, würde gegen die Homogenitätsbedingung im Sinne von (I) verstossen. Die in einen solchen Test involvierten Reagenzgläser unterscheiden sich in ihrer molekularen Struktur bzw. in ihren raum-zeitlichen Eigenschaften. Die Millsche Homogenitätsbedingung ist viel zu scharf. Sie könnte zwar theoretisch als Grundlage eines funktionierenden Schlussverfahrens dienen, würde indes jegliche Anwendung dieses Schlussverfahrens verunmöglichen, da schlicht keine zwei in diesem strengen Sinn homogene Prüfsituationen existieren. Wir müssen die Homogenitätsbedingung demnach so abschwächen, dass sie von möglichst vielen Vergleichsfällen erfüllt werden kann und nichtsdestotrotz Schlüsse auf kausale Relevanzen ermöglicht.

Testsituationen, die einen Schluss auf das Vorliegen einer kausalen Abhängigkeit stützen, müssen abgesehen von Prüffaktor und möglichem Auftreten der Wirkung nicht vollständig übereinstimmen. Zur Herbeiführung einer Instanz des Prüffaktors A bzw. zur Manipulation von A wird man unter Umständen eine Reihe von Ursachentypen von A benötigen. Solange diese nicht – wie X in Graph (b) von Abbildung IX.2 – durch einen Kausalpfad mit der untersuchten Wirkung verbunden sind, auf dem A nicht angesiedelt ist, wird ihre kausale Relevanz für W stets durch A vermittelt. Der Schluss auf die kausale Relevanz von A für W wird dadurch, dass solche Ursachen von A in S_1 an- und in S_2 abwesend sind, nicht verhindert. Denn auch hier gilt: Würde Graph (b) von Abbildung IX.2 die zwischen A und W bestehende kausale Abhängigkeit korrekt beschreiben, gäbe es keine zwei Prüfsituationen, die sich genau durch W , A sowie dessen Ursachen, die nicht auf alternativen Pfaden ebenfalls kausal relevant für W sind, voneinander unterscheiden. Bei der Klasse der Ursachen, die zugleich kausal relevant sind für A und W , ohne dass die kausale Relevanz für A durch W bzw. die kausale Relevanz für W durch A vermittelt ist, handelt es sich um die *gemeinsamen Ursachen* von A und W .⁶ Die Faktoren, die kausal relevant sind für einen in einem Kausaltest auf kausale Relevanz hin untersuchten Faktor A oder dessen Negation, ohne zu den gemeinsamen Ursachen von A oder dessen Negation und der analysierten Wirkung zu gehören, werden in der Folge von einiger Wichtigkeit sein. Wir nennen sie der Kürze halber die *genuinen Ursachen* von A (bzw. \bar{A}). Handelt es sich bei A um den Prüffaktor eines Kausaltests sprechen wir von den *genuinen Prüffaktor-Ursachen*. Das heisst, S_1 und

⁶Vgl. Kapitel III, Abschnitt 3.7.

S_2 können sich neben Prüffaktor A und Wirkung W zusätzlich in den genuinen Prüffaktor-Ursachen voneinander unterscheiden.

Ferner ist klar, dass Faktoren, die eine allfällige kausale Relevanz des Prüffaktors für die Wirkung vermitteln, so dass diese Relevanz indirekter Natur ist, nicht nur variieren können, sondern in Vergleichssituationen von Kausaltests sogar variieren müssen. Faktoren also, die zwischen Prüffaktor und Wirkung auf einer Kette angesiedelt sind – kurz *Zwischenglieder* –, dürfen in zwei Testsituationen nicht homogenisiert werden.

Genuine Ursache: In einem Kausaltest ist ein Faktor Z genau dann genuine Ursache eines Faktors A (bzw. \bar{A}), wenn Z kausal relevant ist für A (bzw. \bar{A}), ohne eine gemeinsame Ursache von A (bzw. \bar{A}) und der im betreffenden Test untersuchten Wirkung zu sein.

Homogenitätsbedingung (II): In einem Kausaltest, der die kausale Relevanz eines Prüffaktors A und dessen Negation für eine Wirkung W (bzw. \bar{W}) untersucht, sind zwei Prüfsituationen S_1 und S_2 genau dann homogen, wenn alle Faktoren F_i in S_1 genau dann instantiiert sind, wenn F_i auch in S_2 instantiiert ist, wobei für F_i gilt:

- (i) $F_i \neq A, F_i \neq \bar{A}, F_i \neq W$ und $F_i \neq \bar{W}$,
- (ii) F_i ist keine genuine Prüffaktor-Ursache und kein Kettenglied zwischen Prüffaktor und Wirkung.

Auch diese Abschwächung der Homogenitätsbedingung (I) ist kaum erfüllbar. Der oben beschriebene Test des Reaktionsverhaltens zweier Chemikalien würde auch von (II) verunmöglicht. Beliebige Prüfsituationen werden neben der Wirkung, dem Prüffaktor, den genuinen Prüffaktor-Ursachen und den Kettengliedern zwischen Prüffaktor und Wirkung in ihren raum-zeitlichen Koordinaten differieren. (II) muss weiter abgeschwächt werden:

In how much detail should we describe the situations in which this relation must obtain? We must include all and only the other causally relevant features.⁷

In dieser Passage deutet Nancy Cartwright eine mögliche zusätzliche Abschwächung der Homogenitätsbedingung an. Danach müssen zwei Prüfsituationen abgesehen von Prüffaktor, genuinen Prüffaktor-Ursachen, den Zwischengliedern und der Wirkung nicht hinsichtlich aller anderen Faktoren, sondern nur hinsichtlich aller anderen *kausal* für die Wirkung *relevanten* Faktoren kongruieren.

⁷ Cartwright (1983), S. 29.

Homogenitätsbedingung (III): In einem Kausaltest, der die kausale Relevanz eines Prüffaktors A und dessen Negation für eine Wirkung W (bzw. \overline{W}) untersucht, sind zwei Prüfsituationen S_1 und S_2 genau dann homogen, wenn alle Faktoren F_i in S_1 genau dann instantiiert sind, wenn F_i auch in S_2 instantiiert ist, wobei für F_i gilt:

- (i) $F_i \neq A, F_i \neq \overline{A}, F_i \neq W$ und $F_i \neq \overline{W}$,
- (ii) F_i ist keine genuine Prüffaktor-Ursache und kein Kettenglied zwischen Prüffaktor und Wirkung,
- (iii) F_i ist *kausal relevant* für W (bzw. \overline{W}).

Diese Abschwächung von (II) kann einige Plausibilität für sich beanspruchen. Wenn etwa mittels Differenzmethode geprüft werden soll, ob das Anstreichen eines Zündholzes kausal relevant sei für dessen Entflammen, so spielt es keine Rolle, ob die Schwefelköpfe der in zwei Prüfsituationen verglichenen Zündhölzer dieselbe Farbe haben oder ob die eine Prüfsituation kurz vor Mitternacht, die andere hingegen erst unmittelbar nach Mitternacht realisiert wird. Es reicht, wenn in beiden Situationen dieselben fürs Entflammen von Zündhölzern relevanten Faktoren instantiiert bzw. nicht instantiiert sind, d.h., wenn etwa in beiden Testsituationen Sauerstoff anwesend ist, die Hölzer trocken sind und vor allem wenn in beiden Situationen potentielle Alternativursachen des Zündholz-Anstreichens homogenisiert sind, also beispielsweise keine Funken fliegen und keine mit Schwefel reagierenden brennbaren Chemikalien im Spiel sind.

Diese dritte Version der Homogenitätsbedingung ist deutlich schwächer als die ersten beiden und entsprechend leichter realisierbar. Auch (III) dient als Grundlage kausalen Schlussfolgerns. Gelingt es etwa im Falle unseres in Abbildung IX.2 dargestellten Beispiels, zwei im Sinne von (III) homogene Prüfsituationen zu realisieren derart, dass in der einen Situation A und W gemeinsam instantiiert werden, während diese beiden Faktoren in der anderen Situation ausbleiben, so kann nur Graph (a) den A und W unterlegten kausalen Zusammenhang korrekt wiedergeben.⁸

Freilich stellt auch (III) noch weit reichende Forderungen an zwei Testsituationen, die Aufschluss geben sollen über die kausale Relevanz eines Prüffaktors. Wir wollen deshalb versuchen, die Homogenitätsbedingung weiter abzuschwächen. Tatsächlich ist es für eine erfolgreiche Anwendung der Differenzmethode nicht erforderlich, dass die Prüfsituationen abgesehen von Prüffaktor, genuine Prüffaktor-Ursachen, Zwischengliedern sowie etwaigem Eintreten der Wirkung in

⁸Viele Autoren vertreten denn auch diese abgeschwächte Version der Homogenitätsbedingung (vgl. z.B. Johnson (1963 (1924)), Bd. 3, oder Blalock (1961), S. 22ff).

allen kausal relevanten Faktoren übereinstimmen. Kausal relevante Faktoren sind, wie wir nun schon verschiedentlich gesehen haben, notwendige Teile minimal hinreichender Bedingungen der Wirkung. Um angesichts von zwei Testsituationen S_1 und S_2 derart, dass in S_1 die fragliche Wirkung W auftritt, während sie in S_2 ausbleibt, auf die kausale Relevanz von einem Prüffaktor A bzw. von dessen Negation \bar{A} für W schliessen zu können, muss lediglich sichergestellt sein, dass W in S_1 oder S_2 nicht durch alternative minimal für W hinreichende Bedingungen herbeigeführt worden ist, in denen weder A , \bar{A} , W noch \bar{W} enthalten sind, deren Teile keine genuine Prüffaktor-Ursachen und keine Zwischenglieder, aber kausal relevant sind. Die Formulierung (IVa) bzw. HOB der Homogenitätsbedingung bringt diese zusätzliche Abschwächung zum Ausdruck.

Homogenitätsbedingung (IVa) (HOB): In einem Kausaltest, der die kausale Relevanz eines Prüffaktors A und dessen Negation für eine Wirkung W (bzw. \bar{W}) untersucht, sind zwei Prüfsituationen S_1 und S_2 genau dann homogen, wenn von allen *minimal* für W (bzw. \bar{W}) *hinreichenden Bedingungen* X_i in S_1 genau dann mindestens ein Konjunkt nicht instantiiert ist, wenn mindestens ein Konjunkt von X_i in S_2 nicht instantiiert ist, wobei für X_i gilt:

- (i) A , \bar{A} , W und \bar{W} sind nicht Teil von X_i ,
- (ii) kein Teil von X_i ist genuine Prüffaktor-Ursache oder Ketten-glied zwischen Prüffaktor und Wirkung,
- (iii) die Teile von X_i sind kausal relevant für W (bzw. \bar{W}).

Ist von sämtlichen minimal hinreichenden Faktorenbündeln von W , welche die von HOB explizierten Bedingungen erfüllen, in S_1 genau dann mindestens ein Konjunkt abwesend wenn auch in S_2 mindestens ein Konjunkt abwesend ist, und liefert die Differenzmethode ein Testresultat dahingehend, dass W nur in S_1 , nicht aber in S_2 instantiiert wird, so folgt, dass A Teil einer in S_1 instantiierten kausal relevanten Bedingung von W ist. Wäre W in S_1 durch eine minimal hinreichende Bedingung X verursacht worden, deren Teil A nicht ist und die weder genuine Prüffaktor-Ursache noch Zwischenglied ist, so hätte W , gegeben die Einhaltung von HOB, auch in S_2 auftreten müssen, denn X wäre in der mit S_1 homogenen Situation S_2 ebenfalls instantiiert gewesen. Findet andererseits bei gegebener Homogenität HOB der Testsituationen in S_2 eine Instanz von W statt, während eine solche in S_1 ausbleibt, so folgt die kausale Relevanz von \bar{A} für W .

Von zwei Testsituationen S_1 und S_2 , die einen Schluss auf die kausale Relevanz eines Prüffaktors A bzw. \bar{A} für eine Wirkung W ermöglichen, muss demnach nicht Homogenität im Sinne von (III), sondern lediglich im Sinne (IVa) bzw. HOB ge-

fordert werden. Mit HOB sind bezüglich des Auftretens einzelner kausal relevanter Faktoren von W keine Voraussetzungen getroffen. In S_1 können andere kausal relevante Faktoren von W instantiiert sein als in S_2 – solange garantiert bleibt, dass von einer minimal hinreichenden Bedingung X_i , welche die von HOB explizierten Bedingungen erfüllt und die in S_1 nicht instantiiert ist, auch in S_2 mindestens ein Konjunkt abwesend ist. Die in S_1 und S_2 abwesenden Konjunkte von X_i können freilich verschieden sein. Sind dagegen in S_1 sämtliche Konjunkte von X_i instantiiert, so muss dasselbe für S_2 gelten.

Dass sämtliche Teile kausal relevanter minimal hinreichender Bedingungen, in denen Prüffaktor oder Wirkung enthalten sind, in Prüfsituationen beliebig variieren dürfen, erfordert an dieser Stelle noch eine gesonderte Erläuterung. Die Einhaltung der Homogenitätsbedingung durch Prüfsituationen dient der Verhinderung kausaler Fehlschlüsse bzw., sofern die Wirkung nur in einer der beiden Prüfsituationen S_1 und S_2 auftritt, der Sicherstellung der Gültigkeit eines Schlusses auf kausale Relevanzen. Findet also in S_1 eine Instanz der Wirkung statt, während dies in S_2 nicht der Fall ist, so muss die Homogenitätsbedingung die Gültigkeit des Schlusses auf die kausale Relevanz des Prüffaktors für die Wirkung garantieren. Ein solcher Schluss kann bei einer Variation der Faktoren, die Teil desselben kausal relevanten Faktorenbündels sind, in dem auch der Prüffaktor enthalten ist, nicht zu einer falschen Konklusion führen. Angenommen, X bilde wie in Graph (a) von Abbildung IX.2 dargestellt, gemeinsam mit A eine komplexe Ursache von W und unter Einhaltung von HOB trete W in S_1 auf und bleibe in S_2 aus, so ist in S_1 neben A auch X instantiiert. In S_2 dagegen wird der Prüffaktor unterdrückt. Damit fehlt in dieser Prüfsituation ein Teil des Faktorenbündels AX , und folglich ist das Bündel als Ganzes nicht instantiiert, egal, ob X in S_2 instantiiert ist oder nicht. Der Schluss auf die kausale Relevanz von A für W ist vor diesem Hintergrund ungeachtet einer möglichen Variation von X in S_2 korrekt. Ist X dagegen in S_1 ab- und in S_2 anwesend, so bleibt W – vorausgesetzt Graph (a) von Abbildung IX.2 repräsentiere die unterliegende Kausalstruktur und HOB werde eingehalten – in S_1 genau dann aus, wenn W auch in S_2 ausbleibt. Entweder sind in beiden Prüfsituationen alternative Ursachen instantiiert, so dass W sowohl in S_1 wie in S_2 auftritt, oder in beiden Prüfsituationen fehlen alternative Ursachen, so dass W in beiden Prüfsituationen ausbleibt – in S_1 , weil \bar{X} instantiiert ist, und in S_2 , weil \bar{A} instantiiert ist. Liefert ein Kausaltest ein solches Ergebnis, wird man natürlich auf einen kausalen Schluss verzichten. Das heisst, ist X in S_1 an- und in S_2 abwesend, kann unter Einhaltung von HOB korrekterweise auf die kausale Relevanz von A für W geschlossen werden, ist X dagegen in S_1 ab- und in S_2 anwesend, wird man sich eines kausalen Schlusses enthalten. Die Variation von X kann mithin keinen kausalen Fehlschluss generieren.

Minimal hinreichende Bedingungen von W andererseits, die W selbst enthalten, bestehen aus W als einzigem Konjunkt. W ist alleine minimal hinreichend für sich selbst. Jede konjunktive Ergänzung von W um weitere Faktoren würde re-

dundante Teile enthalten. Die Bedingung dahingehend, dass minimal hinreichende Bedingungen, die W (bzw. \overline{W}) enthalten, in S_1 und S_2 nicht homogenisiert werden dürfen, ist also nichts anderes, als die aus den vorherigen Spielarten der Homogenitätsbedingung bekannte Bestimmung, wonach sich Prüfsituationen von Kausaltests hinsichtlich des Auftretens der untersuchten Wirkung unterscheiden dürfen.

Natürlich stellt auch HOB noch hohe Anforderungen an Testsituationen, die Aufschluss geben sollen über die kausale Relevanz von A für W . Angesichts unseres lückenhaften Kausalwissens können wir nie wirklich sicher sein, ob zwei Prüfsituationen tatsächlich im Sinne von HOB homogen sind. Nichtsdestotrotz stützen nur homogene Testsituationen einen strengen theoretischen Kausalschluss. Die Frage allerdings, welche Annahmen in einen kausalen Schluss eingehen müssen und welchen Anforderungen experimentelle Versuchsanlagen zu genügen haben, um auf die kausale Relevanz eines Prüffaktors schliessen zu können, unterscheidet sich prinzipiell von der Frage, wie in einem konkreten Fall die an einen Kausalschluss gestellten Voraussetzungen erfüllt werden. Die erste Frage ist theoretischer oder logischer, die zweite praktischer oder epistemischer Natur.

Vorläufig geht es uns erst einmal darum, die theoretischen Voraussetzungen zu erarbeiten, die erfüllt sein müssen, bevor auf kausale Relevanzen geschlossen werden kann. Und zu diesen Voraussetzungen gehört Homogenität der Testsituationen im Sinne von HOB. Hat man sich einmal Klarheit darüber verschafft, welche theoretischen Anforderungen an einen verlässlichen Kausalschluss zu stellen sind, können konkrete Versuchsreihen und die tatsächlich daraus gezogenen kausalen Schlussfolgerungen daran gemessen werden. So wird jetzt beispielsweise deutlich, weshalb die in Kapitel VI, Abschnitt 4.3 vorgestellte Alopezin-Testreihe als Grundlage eines kausalen Schlusses untauglich ist: Die in ihrem Rahmen verglichenen Prüfsituationen sind nicht homogen.

Wie in einem konkreten experimentellen Kontext die Homogenitätsbedingung gerechtfertigt werden kann, wird in Kapitel X behandelt. Wir werden dort einerseits sehen, dass durchaus die Möglichkeit besteht, die Annahme, untersuchte Prüfsituationen seien homogen, experimentell zu rechtfertigen. Ausserdem wird sich in Kapitel X zeigen, dass man unter gewissen Umständen auch auf der Basis von Testsituationen, die nicht zweifelsfrei homogen sind, in verlässlicher Weise kausal schliessen kann.

3 ZWEIER- ODER DIFFERENZTEST

Die Anwendung der einfachen Differenzmethode, wie sie in Abschnitt 2.4 dargestellt worden ist, ergibt einen so genannten *Zweier- oder Differenztest*. Verglichen werden zwei Situationen, die im Sinne von HOB homogen sind. Ziel dieser Testanlage ist die Beantwortung der Frage, ob ein Prüffaktor A kausal relevant für eine untersuchte Wirkung W ist oder nicht.

D ₀	A	\bar{A}
	Feld 1 (F1)	Feld 2 (F2)

Tab. IX.1: Differenztests werden mit Hilfe von Koinzidenztabelle dieser Form notiert.

Damit ein solcher Zweiertest verlässliche Resultate liefert, müssen die in Abschnitt 2 besprochenen Annahmen und Voraussetzungen eines theoretischen Kausalschlusses unterstellt werden – insbesondere setzt ein Differenztest voraus, dass die analysierte Wirkung W überhaupt das Resultat eines kausalen Prozesses ist. Das heisst, bevor ein Zweiertest durchgeführt wird, geht man davon aus, dass irgendeine vorderhand noch unbekannte Minimale Theorie für W existiert. Symbolisiert wird jene einstweilen unbekannte Minimale Theorie mit Hilfe von Variablen:

$$(X_1 \vee Y) \Rightarrow W. \quad (H_1)$$

Das Ergebnis der Durchführung eines Zweiertests ist zunächst einmal ein empirisches Datum: Die Wirkung W tritt bei an- oder abwesendem Prüffaktor ein oder sie bleibt aus. Ein solches empirisches Datum wird mit Hilfe einer Koinzidenztabelle nach dem Muster von Tabelle IX.1 dargestellt. Die Felder 1 und 2 entsprechen zwei homogenen Prüfsituationen. Je nachdem, ob in einer jeweiligen Prüfsituation die Wirkung W eintritt oder nicht, wird eine „1“ bzw. eine „0“ ins entsprechende Feld eingetragen. Wir nennen die Felder 1 und 2 sinngemäss *Wirkungsfelder*. Insgesamt kann ein Differenztest $2^2 = 4$ verschiedene Ergebnisse liefern. Tabelle IX.2 stellt diese möglichen Ergebnisse zusammen.

Nicht jedes Ergebnis eines Differenztests ist kausal interpretierbar. Die Tabelle (a) von IX.2 stützt einen Schluss auf die kausale Relevanz von A für W . In Feld 1 dieser Tabelle ist, zumal W in dieser Prüfsituation auftritt, mindestens eine kausal relevante minimal hinreichende Bedingung von W instantiiert. A muss Mitglied mindestens einer dieser Bedingungen sein, denn andernfalls würde W in der von Feld 2 dargestellten homogenen Prüfsituation ebenfalls auftreten. Die Tabelle (b) ihrerseits ermöglicht einen kausalen Schluss auf die kausale Relevanz von \bar{A} für W . Wiederum rechtfertigt die unterstellte Homogenität der beiden Prüfsituationen

D ₁	A	\bar{A}	D ₂	A	\bar{A}	D ₃	A	\bar{A}	D ₄	A	\bar{A}
	1	0		0	1		1	1		0	0
(a)			(b)			(c)			(d)		

Tab. IX.2: Mögliche Ergebnisse eines Differenztests für die Wirkung W . Aus Tabelle (a) folgt die kausale Relevanz von A für W . Tabelle (b) dagegen stützt den Schluss auf die kausale Relevanz von \bar{A} für W . Die Tabellen (c) und (d) lassen keinen kausalen Schluss zu.

diesen Schluss. \bar{A} ist mit Sicherheit Teil einer der in Feld 2 instantiierten kausal relevanten minimal hinreichenden Bedingungen, denn wäre dies nicht der Fall, würde W auch in der durch Feld 1 wiedergegebenen Prüfsituation auftreten. Die Tabellen (c) und (d) von IX.2 hingegen lassen keinen kausalen Schluss zu. Während in den beiden Prüfsituationen von Tabelle (c) offensichtlich eine minimal hinreichende Bedingung instantiiert ist, die A nicht enthält, so dass sich über die kausale Relevanz von A für W nichts Gesichertes sagen lässt, stellt insbesondere Tabelle (d) einen interessanten Fall dar. Man könnte vielleicht zunächst meinen, (d) legitimiere einen Schluss auf die *kausale Irrelevanz* von A für W . Dem ist jedoch nicht so. HOB verlangt nicht, dass in Differenztestsituationen jeweils sämtliche Faktoren, die möglicherweise in Verbindung mit A oder \bar{A} eine komplexe Ursache von W konstituieren, instantiiert sein müssen. Liefert mithin ein Differenztest, das in Tabelle (d) dargestellte Ergebnis, kann man sich der kausalen Irrelevanz von A oder \bar{A} nicht sicher sein, denn W könnte etwa in Feld 1 von (d), obwohl A tatsächlich kausale Relevanz gebührte, einfach deshalb ausgeblieben sein, weil nicht alle zusammen mit A eine komplexe Ursache bildenden Faktoren instantiiert gewesen sind.

Würde man freilich von homogenen Differenztestsituationen verlangen, dass in ihnen von sämtlichen kausal relevanten minimal hinreichenden Bedingungen der Wirkung jeweils genau ein Konjunkt abwesend ist, könnte angesichts des Ergebnisses von Tabelle (d) von IX.2 auf die kausale Irrelevanz des Prüffaktors bzw. dessen Negation geschlossen werden. Denn tritt die Wirkung in beiden Prüfsituationen nicht auf, fällt offenbar weder der Prüffaktor noch seine Negation in irgendeiner minimal hinreichenden Bedingung die von der – wie oben beschrieben – verstärkten Homogenitätsbedingung geforderte Lücke. A und \bar{A} wären demnach kausal irrelevant für W . Freilich wäre eine derart verstärkte Homogenitätsbedingung deutlich schwieriger einzuhalten als HOB. Je stärker die Homogenitätsbedingung, desto schwieriger gestaltet sich die Durchführung von Differenztests. Wir tun deshalb gut daran, unserem Verfahren kausalen Schliessens eine möglichst schwache Homogenitätsbedingung zugrunde zu legen und verbleiben infolgedessen bei HOB. Dies geschieht allerdings um den Preis, dass unser Schlussverfahren nicht in der Lage sein wird, auf kausale Irrelevanzen zu schliessen.

Abgesehen von den Vor- und Nachteilen von HOB, legen die obigen Überlegungen vor allem den möglicherweise überraschenden Befund nahe, dass kausale Relevanz wesentlich einfacher und mit deutlich weniger technischem Aufwand nachweisbar ist als kausale Irrelevanz.

Erläuterung IX.1

Auf *kausale Irrelevanz* eines Prüffaktors für eine untersuchte Wirkung kann mit Hilfe von Differenztests und unter Voraussetzung der Homogenitätsbedingung HOB generell nicht geschlossen werden.

Liefert uns ein Differenztest die Tabellen (a) oder (b) von IX.2 als Ergebnis, lässt sich die kausale Ausgangshypothese (H_1) erweitern. Angesichts von Tabelle (a) ist die Minimale Theorie (H_1) erweiterbar zu:

$$(AX'_1 \vee Y) \Rightarrow W. \quad (H_2)$$

Tabelle (b) ihrerseits legitimiert eine Ergänzung von (H_1) zu:

$$(\overline{A}X'_1 \vee Y) \Rightarrow W. \quad (H_3)$$

Die Variable X_1 von (H_1) wird in (H_2) und (H_3) mit einem Strich versehen, weil ihr Gegenstandsbereich bei der Erweiterung von (H_1) ändert. In (H_2) bzw. (H_3) wird je ein Konjunkt, das in (H_1) noch von X_1 repräsentiert war, herausgegriffen und explizit gemacht. Diese explizite Nennung von A bzw. \overline{A} verändert den Gegenstandsbereich von X_1 .

4 VIERERTEST

Der einfache Differenz- oder Zweiertest (D_1 bis D_4) ermöglicht im günstigen Fall nur den Schluss auf die kausale Relevanz eines einzelnen Faktors. Er ist aber nicht in der Lage, das Zusammenwirken zweier Faktoren oder deren alternative Wirksamkeit nachzuweisen. Denn auf der Grundlage eines Zweiertests lässt sich zwei Faktoren A und B lediglich *unabhängig* voneinander kausale Relevanz für eine Wirkung W zusprechen. Wir könnten bei entsprechend ausfallenden Differenztests etwa darauf schliessen, dass sowohl A als auch B Teil einer kausal interpretierbaren minimal hinreichenden Bedingung von W sind, wüssten dabei aber nicht, ob wir die beiden Faktoren derselben Bedingung zuordnen sollen oder nicht. Um auf komplexe oder alternative Ursachen zu schliessen, ist eine erweiterte Testanlage nötig – der so genannte *Vierertest*.⁹

4.1 ALLGEMEINE TESTANLAGE UND AUSWERTUNGSVORAUSSETZUNGEN

In einen Vierertest gehen abgesehen von HOB dieselben Annahmen ein wie in einen Differenztest. Freilich ist auch für die Testsituationen eines Vierertests Homogenität erforderlich. HOB bzw. (IVa) definiert Homogenität indes nur für zwei Prüfsituationen – eine mit instantiiertem und eine mit unterdrücktem Prüffaktor. Ein Vierertest dagegen analysiert neben der kausalen Relevanz eines Prüffaktors B auch das kausale Zusammenspiel von B mit einem bereits als kausal relevant ausgewiesenen Faktor A . Zu diesem Zweck sind vier Prüfsituationen erforderlich, in denen die Testfaktoren A und B systematisch durchvariiert werden. Während in einem Differenztest sämtliche Restfaktoren komplexer Ursachen, in denen der

⁹Diese Einführung in die theoretischen Grundlagen von Vierertests sowie die anschließende Übersicht über deren mögliche Ergebnisse orientieren sich zu grossen Teilen an May (1999), S. 202ff.

Prüffaktor enthalten ist, in Vergleichssituationen beliebig variieren dürfen,¹⁰ müssen solche Restfaktoren in Vierertests in je zwei von vier Prüfsituationen homogenisiert werden. Angenommen, BCD sei eine vollständige komplexe Ursache der Wirkung W . Die Prüfsituationen eines Vierertests mit B als Prüffaktor sind vor diesem Hintergrund nur dann homogen, wenn in jeder Prüfsituation, in der B gesetzt ist, *der Rest* von BCD , also CD , als Ganzes instantiiert, oder in jeder Prüfsituation, in der B gesetzt ist, als Ganzes nicht instantiiert ist. Das heisst, B tritt im Rahmen des betreffenden Vierertests entweder nur gemeinsam mit CD oder nur gemeinsam mit \overline{CD} , \overline{CD} oder \overline{CD} auf. Ohne eine solche Homogenisierung könnte es bei der Verortung eines kausal relevanten Prüffaktors in einer bestehenden Kausalstruktur zu Fehlern kommen.¹¹ (IVb) ergänzt HOB um diese Zusatzbedingung (2).

Homogenitätsbedingung (IVb): In einem Vierertest, der die kausale Relevanz der Testfaktoren A, \overline{A}, B und \overline{B} für eine Wirkung W (bzw. \overline{W}) untersucht, sind die vier Prüfsituationen genau dann homogen, wenn

- (1) von allen *minimal* für W (bzw. \overline{W}) *hinreichenden Bedingungen* X_i in einer der Prüfsituationen genau dann mindestens ein Konjunkt nicht instantiiert ist, wenn mindestens ein Konjunkt von X_i in den anderen drei Prüfsituationen nicht instantiiert ist, wobei für X_i gilt:
 - (i) $A, \overline{A}, B, \overline{B}, W$ und \overline{W} sind nicht Teil von X_i ,
 - (ii) kein Teil von X_i ist genuine Ursache von A, \overline{A}, B oder \overline{B} oder Kettenglied zwischen A, \overline{A}, B oder \overline{B} und der Wirkung,
 - (iii) die Teile von X_i sind kausal relevant für W (bzw. \overline{W}).
- (2) der Rest einer komplexen Ursache X_j von W (bzw. \overline{W}), deren Teil A, \overline{A}, B oder \overline{B} ist, in den Prüfsituationen, in denen der/die in X_j enthaltene(n) Testfaktor(en) instantiiert ist/sind, *nicht variiert*.

Die Ergebnisse eines Vierertests werden in Koinzidenztabelle(n) (vgl. Tab. IX.3) zusammengestellt, die nach folgender Konvention aufgebaut sind:

- (i) Es wird die kausale Relevanz eines Prüffaktors B und dessen Zusammenspiel mit einem bereits als kausal relevant ausgewiesenen Faktor A getestet.

¹⁰Vgl. S. 209 oben.

¹¹Vgl. Abschnitt 5.2 unten.

V_0	B	\bar{B}
A	Feld 1 (F1)	Feld 2 (F2)
\bar{A}	Feld 3 (F3)	Feld 4 (F4)

Tab. IX.3: Die Ergebnisse von Vierertests werden mit Hilfe von Koinzidenztabelle dieser Form zusammengestellt. B ist Prüffaktor. An den Beginn der Zeilen werden – systematisch durchvariiert – die Faktoren eingetragen, deren Zusammenspiel mit dem Prüffaktor getestet werden soll – A und \bar{A} in diesem Fall.

Die zwei Spalten der Testanlage stehen für Situationen, in denen B gegeben bzw. unterdrückt ist.

- (ii) Am Beginn der beiden Zeilen steht einmal A und einmal \bar{A} . Die Felder 1 bis 4 repräsentieren homogene Testsituationen. In sie wird jeweils gleich wie beim Differenztest eine „1“ für das Auftreten der untersuchten Wirkung und eine „0“ für deren Ausbleiben notiert. Wie im Fall von Differenztesttabellen nennen wir die Felder 1 bis 4 *Wirkungsfelder*.

Ein Vierertest folgt üblicherweise auf die Durchführung eines Differenztests, der zu einem ersten kausal interpretierbaren Resultat geführt hat. Wir greifen zur Veranschaulichung das im letzten Abschnitt angefangene Beispiel wieder auf. Angenommen, ein erfolgreicher Differenztest habe die kausale Relevanz des Faktors A für die Wirkung W und damit die Erweiterung von (H_1) zu (H_2) ergeben. Vor der Durchführung eines Vierertests sei also die Gültigkeit von (H_2) etabliert. Bei bereits erschlossener kausaler Relevanz von A wollen wir nun einen zweiten Faktor B auf seine kausale Relevanz für W hin untersuchen und darüber hinaus entscheiden, wo B gegebenenfalls in (H_2) integriert werden muss.

In dieser epistemischen Situation wird der in Abbildung IX.3 dargestellte Graph als gültiges Kausalwissen vorausgesetzt. Der Faktor A ist kausal relevant für W . Doch man muss davon ausgehen, dass A nicht alleine hinreichend ist für W . A ist Teil einer komplexen Bedingung AX'_1 , die ihrerseits nicht notwendig für W ist. Der unvollständig bekannte Kausalgraph aus Abbildung IX.3 ist in mancherlei Hinsicht expandierbar. So kann beispielsweise das Faktorenbündel AX'_1 um

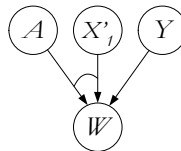


Abb. IX.3: Kausalgraph der Wirkung W mit A als einzigem bekanntem Ursachentyp.

zusätzliche Faktoren erweitert werden, oder der Graph lässt neben AX'_1 Platz für alternative Ursachen X_2 oder für Faktoren, die zwischen AX'_1 und W auf einer Kette angesiedelt sind, oder auch für Faktoren, die ihrerseits kausal relevant für A sind.

Die Frage, die es deshalb bei einer fortgesetzten Analyse des zu W hinführenden Prozesses zu beantworten gilt, ist die, ob der zweite Prüffaktor B in den Graphen aus Abbildung IX.3 aufgenommen werden soll, und, wenn ja, an welcher Stelle er einzufügen ist. Der Faktor B ist, vorausgesetzt er ist kausal relevant für W , auf viererlei Weise in diesen Graphen integrierbar.

- B könnte als Konjunkt an die minimal hinreichende Bedingung, welche bereits den Faktor A enthält, angehängt werden.
- Bei B könnte es sich um einen Teil einer alternativen minimal hinreichenden Bedingung handeln, von der B der einzige bekannte Faktor wäre.
- B könnte zwischen AX'_1 und W auf einer Kausalkette angesiedelt sein, so dass die kausale Relevanz von A für W nicht direkter, sondern indirekter Natur wäre.
- B könnte bloss indirekt kausal relevant sein für W , und zwar über die Vermittlung durch A .

Abbildung IX.4 stellt diese vier Integrationsmöglichkeiten graphisch dar.

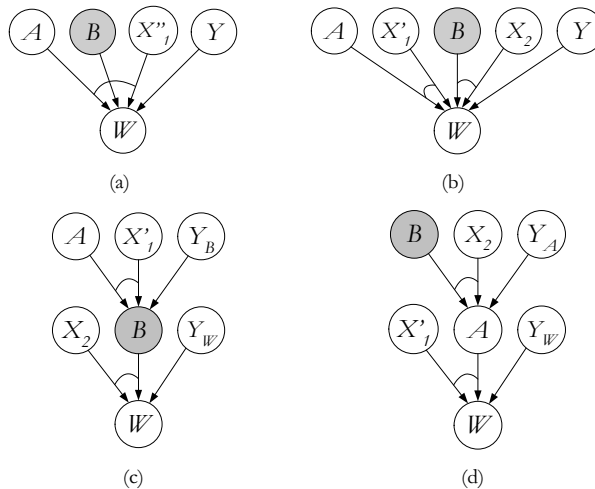


Abb. IX.4: Vier Möglichkeiten, den Faktor B , vorausgesetzt er ist kausal relevant für W , in den Graphen von Abbildung IX.3 zu integrieren.

Das Schliessen auf kausale Verkettungen und die Probleme, die damit verbunden sind, werden in Kapitel XII thematisiert. Wir stellen diese Schwierigkeit und damit die Unterscheidung zwischen den Fällen (a) und (b) einer- sowie (c) und (d) andererseits deshalb an dieser Stelle zurück und setzen voraus, der neue Prüffaktor B und der bereits ermittelte Kausalfaktor A seien *kausal unabhängig* voneinander. Wenn B kausal relevant für W ist, dann ist B aufgrund dieser Unabhängigkeitsannahme nur als Wurzelfaktor auf derselben Ebene wie A in den Graphen von Abbildung IX.3 integrierbar. Wir werden uns mithin im Folgenden auf die Unterscheidung zwischen den Fällen (a) und (b) von Abbildung IX.4 beschränken.

Neben den in Kapitel III besprochenen Kausalprinzipien und der Homogenitätsbedingung (IVb) geht dementsprechend die folgende Unabhängigkeitsannahme in die anschliessend erörterte Auswertung von Vierertests ein:

Unabhängigkeit von Prüffaktor und systematisch variierten Kausalfaktoren (UPK):

Die zu Testzwecken systematisch durchvariierten Kausalfaktoren und der Prüffaktor eines Vierertests sind kausal unabhängig voneinander.

Werden die Randspalten bzw. -zeilen einer Vierertesttabelle mit den beiden Faktoren A und B gemäss der oben beschriebenen Konvention ausgefüllt, resultieren insgesamt $2 \times 2 = 4$ Felder, in denen ein Auftreten oder Ausbleiben der Wirkung W vermerkt werden kann. Für diese vier Felder gibt es 2^4 mögliche Ergebnisse, d.h., die Wirkung kann darin in 16 verschiedenen Kombinationen an- oder abwesend sein.

Wir werden nun der Reihe nach diese 16 möglichen Ergebnisse eines Vierertests durchgehen und uns jeweils überlegen, welche kausalen Schlüsse unter Voraussetzung der Kausalprinzipien, der Homogenitätsbedingung im Sinne von (IVb) sowie von UPK aus den einzelnen Konstellationen von an- und abwesenden Wirkungen zu ziehen sind. Geordnet werden die 16 Vierertesttafeln anhand der Anzahl darin auftretender Wirkungen. Wir betrachten also zunächst jene Verteilungen mit einer Wirkung, dann diejenigen mit zwei Wirkungen usw.

4.2 EINE AUFTRETENDE WIRKUNG

Tritt die Wirkung während eines Vierertests nur einmal auf, gibt es vier mögliche Verteilungen. Eine Vierertesttabelle hat vier Felder. In jedem Feld kann eine 1 stehen, während die Wirkung in den übrigen drei Feldern ausbleibt. Wir nummerieren die verschiedenen Testergebnisse mit V_1, V_2 usw. Neben den eigentlichen Vierertesttafeln werden unten auch die aus einer jeweiligen Tabelle ableitbaren Erweiterungen der anfänglichen Minimalen Theorie (H_2) aufgeführt. Diese Ableitungen unterliegen Regeln, die im Anschluss an die Übersicht über die möglichen Ergebnisse eines Vierertest eingeführt werden.

	V_1	B	\bar{B}
(i)	A	1	0
	\bar{A}	0	0

Schluss: $(ABX_1'' \vee Y) \Rightarrow W$

Die erste Spalte von V_1 erweist mittels Differenzmethode die kausale Relevanz von A , die erste Zeile leistet dasselbe für B . Fehlt einer der beiden Faktoren, tritt keine Wirkung ein. Zumal in dieser homogenen Testanlage der einzig relevante Unterschied zwischen den vier Wirkungsfeldern die An- bzw. Abwesenheit von A und B ist, stützt V_1 den Schluss, dass A und B Teil desselben Ursachenbündels sind. Es steht aber nicht fest, ob das Bündel AB eine vollständige hinreichende Bedingung von W darstellt oder nicht. In jedem Feld von V_1 könnten weitere (unbekannte) kausal relevante Faktoren anwesend sein, die derselben Bedingung angehören wie A und B und dank deren Anwesenheit das Bündel AB überhaupt erst kausale Wirksamkeit entfalten kann. Über die graphische Verortung solcher zusätzlicher Faktoren ist alleine aufgrund von V_1 nicht zu befinden. Die aus V_1 abgeleitete Minimale Theorie muss somit offen bleiben für spätere Erweiterungen. Diesem Umstand wird in bekannter Manier mit der über zusätzliche Konjunkte laufenden Variablen X_1'' Rechnung getragen.

	V_2	B	\bar{B}
(ii)	A	0	1
	\bar{A}	0	0

Schluss: $(A\bar{B}X_1'' \vee Y) \Rightarrow W$

Dieser Schluss ist analog zu dem aus V_1 gezogenen Schluss zu rechtfertigen.

	V_3	B	\bar{B}
(iii)	A	0	0
	\bar{A}	1	0

Schluss: $(AX_1' \vee \bar{A}BX_2 \vee Y') \Rightarrow W$

Aus Feld 3 ergibt sich die kombinierte kausale Relevanz von \bar{A} und B . \bar{A} und B sind Teile desselben Ursachenbündels, von dem aufgrund von V_3 wie im Fall der beiden ersten Tabellen nicht gesagt werden kann, ob es mit $\bar{A}B$ vollständig spezifiziert ist oder nicht – deshalb die Variable X_2 . Das erste Disjunkt von $AX_1' \vee \bar{A}BX_2 \vee Y'$ dagegen ergibt sich nicht aus V_3 , sondern wird (H_2) , d.h. der bereits etablierten

Minimalen Theorie, entnommen. (H₂) geht, wie gesagt, in den kausalen Schluss aus V₃ mit ein. Die von dieser Kausalhypothese behaupteten kausalen Relevanzen können insofern auf die Konklusion übertragen werden.

$$(iv) \quad \begin{array}{c|c|c} V_4 & B & \overline{B} \\ \hline A & 0 & 0 \\ \hline \overline{A} & 0 & 1 \end{array}$$

Schluss: $(AX'_1 \vee \overline{A}BX_2 \vee Y') \Rightarrow W$

Die Rechtfertigung dieses Schlusses ergibt sich auf analoge Weise aus der Rechtfertigung des aus V₃ gezogenen Schlusses.

4.3 ZWEI AUFTRETENDE WIRKUNGEN

Bei insgesamt sechs Verteilungen tritt jeweils in zwei Feldern eine Wirkung auf.

$$(v) \quad \begin{array}{c|c|c} V_5 & B & \overline{B} \\ \hline A & 1 & 1 \\ \hline \overline{A} & 0 & 0 \end{array}$$

Schluss: B ist nicht Teil von mindestens einer minimal hinreichenden Bedingung, die A enthält.

Die Differenzen zwischen F1 und F3 bzw. F2 und F4 erlauben den Schluss, dass in F1 und F2 eine kausal relevante minimal hinreichende Bedingung instantiiert ist, die A enthält. Wäre B Teil jeder minimal hinreichenden Bedingung, die A enthält, würde in F2 die Wirkung nicht eintreten. Also existiert mindestens eine minimal hinreichende Bedingung AX_1 , deren Teil B nicht ist. Aus V₅ folgt hingegen nicht, dass B nicht Teil einer alternativen Bedingung von W ist. Weder über die kausale Relevanz von B noch über die etwaige Verortung dieses Faktors in einer Minimalen Theorie von W lässt sich aufgrund von V₅ etwas Gesichertes sagen.

$$(vi) \quad \begin{array}{c|c|c} V_6 & B & \overline{B} \\ \hline A & 1 & 0 \\ \hline \overline{A} & 1 & 0 \end{array}$$

Schluss: $(AX'_1 \vee BX_2 \vee Y') \Rightarrow W$

Aus der ersten Zeile ergibt sich die kausale Relevanz von B , diejenige von A folgt aus (H₂). A und B sind indes nicht Teile desselben Ursachenbündels, denn die Wirkung tritt auch auf, wenn $\overline{A}B$ gegeben ist. Letzteres wäre nicht der Fall, würde B zusammen mit A eine komplexe Ursache bilden.

	V ₇	B	\overline{B}
(vii)	A	0	1
	\overline{A}	0	1

$$\text{Schluss: } (AX'_1 \vee \overline{B}X_2 \vee Y') \Rightarrow W$$

Dieser Schluss ist ganz analog zu dem aus V₆ gezogenen Schluss zu rechtfertigen. Hier werden die Vorteile der Anlage von Vierertests deutlich. Die einfache Differenzmethode könnte zwischen V₁ und V₆ bzw. V₂ und V₇ nicht unterscheiden. Sie gestattet bloss den Nachweis der kausalen Relevanz von B bzw. \overline{B} und wäre nicht in der Lage, B in (H₂) zu verorten. Erst die zweite Zeile einer Vierertesttabelle ermöglicht eine solche Verortung.

	V ₈	B	\overline{B}
(viii)	A	1	0
	\overline{A}	0	1

$$\text{Schluss: } (ABX''_1 \vee \overline{A}\overline{B}X_2 \vee Y') \Rightarrow W$$

V₈ entspricht der Kombination von V₁ und V₄. A und B bzw. \overline{A} und \overline{B} sind je Teil desselben Ursachenbündels. Die Bündel AB und $\overline{A}\overline{B}$ schliessen einander wegen des entgegengesetzten Vorzeichens aus. Sie können daher nicht Teil derselben minimal hinreichenden Bedingung sein.

	V ₉	B	\overline{B}
(ix)	A	0	1
	\overline{A}	1	0

$$\text{Schluss: } (A\overline{B}X''_1 \vee \overline{A}BX_2 \vee Y') \Rightarrow W$$

Dieser Schluss erhält seine Rechtfertigung auf analoge Weise wie der aus V₈ gezogene Schluss.

	V ₁₀	B	\overline{B}
(x)	A	0	0
	\overline{A}	1	1

$$\text{Schluss: } (AX'_1 \vee \overline{A}X_2 \vee Y') \Rightarrow W$$

Aus der Differenz zwischen der ersten und der zweiten Zeile ergibt sich die kausale Relevanz von \overline{A} . Dass A kausal relevant ist, folgt aus (H₂). A und \overline{A} können nicht demselben Ursachenbündel angehören, da sie sich gegenseitig ausschliessen.

4.4 DREI AUFTRETENDE WIRKUNGEN

(xi)	V_{11}	B	\bar{B}
	A	1	1
	\bar{A}	1	0

Schluss: $(AX'_1 \vee BX_2 \vee Y') \Rightarrow W$

Hier sind mindestens zwei Ursachen im Spiel. Die erste Zeile ermöglicht den Schluss auf eine kausal relevante minimal hinreichende Bedingung, zu der B nicht gehört, da die Wirkung auch bei abwesendem B eintritt. Die erste Spalte dagegen beweist aus einem analogen Grund das Vorliegen eines Ursachenbündels, zu dem A nicht gehört. A und B sind damit Teile verschiedener komplexer Ursachen.

(xii)	V_{12}	B	\bar{B}
	A	1	1
	\bar{A}	0	1

Schluss: $(AX'_1 \vee \bar{B}X_2 \vee Y') \Rightarrow W$

Dieser Schluss ist analog zu dem aus V_{11} gezogenen Schluss begründbar.

(xiii)	V_{13}	B	\bar{B}
	A	1	0
	\bar{A}	1	1

Schluss: $(AX'_1 \vee \bar{A}X_2 \vee Y') \Rightarrow W$

In dieser Konstellation lässt sich neben der kausalen Relevanz von \bar{A} zwar auch diejenige von B konstatieren, doch kann B nicht eindeutig in (H_2) verortet werden. B könnte sowohl als Konjunkt an AX'_1 angehängt werden oder auch Teil einer alternativen, von AX'_1 und $\bar{A}X_2$ verschiedenen Bedingung sein. Es sind also zwei mit V_{13} verträgliche Erweiterungen von (H_2) denkbar:

$$(ABX'_1 \vee \bar{A}X_2 \vee Y') \Rightarrow W$$

oder

$$(AX'_1 \vee \bar{A}X_2 \vee BX_3 \vee Y') \Rightarrow W.$$

Obwohl die Differenz zwischen F1 und F2 die kausale Relevanz von B beweist, verzichten wir aufgrund der nicht eindeutigen Verortbarkeit von B in (H_2) auf eine Erweiterung unserer kausalen Ausgangshypothese mit Bezug auf B .

	V ₁₄	B	\overline{B}
(xiv)	A	0	1
	\overline{A}	1	1

Schluss: $(AX'_1 \vee \overline{A}X_2 \vee Y') \Rightarrow W$

Dieser Schluss ist analog zu dem aus V₁₃ gezogenen Schluss zu rechtfertigen.

4.5 SPEZIALFÄLLE


Schliesslich existieren zwei Spezialfälle. Es ist der Fall denkbar, dass in keinem Feld der Vierertesttable eine Wirkung auftritt oder dass die Wirkung in jedem der Felder anwesend ist. In beiden Fällen kann die kausale Relevanz von B nicht beurteilt werden. Eine Verortung von B in (H₂) ist damit erst recht ausgeschlossen.

	V ₁₅	B	\overline{B}
(xv)	A	0	0
	\overline{A}	0	0

Schluss: Kein kausaler Schluss ist möglich.

	V ₁₆	B	\overline{B}
(xvi)	A	1	1
	\overline{A}	1	1

Schluss: Kein kausaler Schluss ist möglich.

 ÜBUNG: Vierertest und Minimale Theorien 1

 ÜBUNG: Vierertest und Minimale Theorien 2

5 SCHLUSSREGELN

Unter Voraussetzung der im vorigen Abschnitt behandelten Annahmen, dem Vorliegen homogener Prüfsituationen sowie einer kausalen Ausgangshypothese bildet der Vierertest die Grundlage eines kausalen Schlussverfahrens. Dieser Abschnitt erweitert die bisherigen Ausführungen zum Vierertest um ein insgesamt dreiteiliges Regelwerk.

5.1 DIFFERENZREGEL

Der einfache Differenz- oder Zweiertest vergleicht zwei homogene Prüfsituationen S_1 und S_2 . Tritt die Wirkung W bei anwesendem Prüffaktor A ein (S_1) und bleibt bei dessen Abwesenheit aus (S_2), folgt zunächst, dass in S_1 mindestens eine minimal hinreichende Bedingung von W instantiiert ist, während dies in S_2 nicht der Fall ist. Da sich ferner S_1 bei unterstellter Einhaltung von HOB nur durch minimal für W hinreichende Bedingungen, deren Teil der Prüffaktor ist, durch genuine Prüffaktor-Ursachen oder Zwischenglieder von S_2 unterscheidet, kann aus der Abwesenheit von W in S_2 abgeleitet werden, dass in S_1 *keine* minimal hinreichende Bedingung von W gegeben ist, die A *nicht* enthält oder *nicht* genuine Prüffaktor-Ursache oder *nicht* Zwischenglied zwischen A und W ist. Mindestens eine der in S_1 instantiierten minimal hinreichenden Bedingungen von W ist kausal interpretierbar, denn gemäss dem Kausalitätsprinzip tritt W ohne Ursache nicht auf. Genuine Prüffaktor-Ursachen oder Zwischenglieder sind nur dann minimal hinreichend für W , wenn es in S_1 auch eine kausal interpretierbare minimal hinreichende Bedingung von W gibt, in der A enthalten ist. Alle minimal hinreichenden Bedingungen von W in S_1 , die nicht genuine Prüffaktor-Ursachen oder Zwischenglieder sind, enthalten A . Es gilt mithin: (a) Entweder mindestens eine der minimal hinreichenden Bedingungen von W in S_1 ist genuine Prüffaktor-Ursache oder Zwischenglied, oder (b) alle minimal hinreichenden Bedingungen von W in S_1 enthalten A . (a) ist nur dann der Fall, wenn es in S_1 zusätzlich mindestens eine kausal relevante minimal hinreichende Bedingung von W gibt, deren Teil A ist. Gilt dagegen (b), so ist mindestens eine sämtlicher in S_1 instantiierten minimal hinreichender Bedingungen von W kausal relevant für W und enthält A . Daraus ergibt sich, dass, egal ob (a) oder (b) der Fall ist, A Teil mindestens einer kausal relevanten minimal hinreichenden Bedingung von W und folglich selbst kausal relevant für W ist.

Damit haben wir die erste und fundamentale Regel kausalen Schliessens hergeleitet. Die so genannte *Differenzregel* lautet:

Differenzregel: Für einen Prüffaktor A , zwei homogene Prüfsituationen S_1 und S_2 und eine Wirkung W gilt: Wenn in S_1 A gemeinsam mit W und in S_2 \bar{A} gemeinsam mit \bar{W} instantiiert ist, dann ist in S_1 mindestens eine kausal relevante minimal hinreichende Bedingung von W realisiert, die A enthält.

Mit Hilfe der Differenzregel lässt sich in einem Zweiertest die kausale Relevanz eines einzelnen Faktors A etablieren. Um einen solchen Nachweis zu führen, reicht es also nicht aus zu zeigen, dass in der Situation S_1 mit auftretender Wirkung W eine minimal hinreichende Bedingung sowie der Prüffaktor A instantiiert sind. Die kausale Relevanz von A lässt sich erst dann ableiten, wenn darüber hi-

naus garantiert ist, dass in S_1 keine minimal hinreichende Bedingung realisiert ist, die A nicht enthält oder nicht genuine Prüffaktor-Ursache oder nicht Zwischenglied zwischen A und W ist. Und um sich dessen sicher zu sein, wird eine mit S_1 homogene Kontrollsituation S_2 benötigt, in welcher W bei abwesendem A nicht auftritt.

5.2 KOMBINATIONSREGEL

Ein Kausaltest soll nicht nur Aufschluss darüber geben, welche Faktoren kausal relevant sind für eine untersuchte Wirkung. Vielmehr brauchen wir ein kausales Schlussverfahren, das uns in die Lage versetzt, kausal relevante Faktoren als Konjunkte komplexer Bedingungen oder als Disjunkte alternativer Bedingungen zu identifizieren. Die Inferenzregel, welche unter Voraussetzung der Unabhängigkeitsannahme **UPK** die Verknüpfung kausal relevanter Faktoren zu komplexen Ursachen gestattet, ist die *Kombinationsregel*. Zur Herleitung der Kombinationsregel betrachten wir das Beispiel der Vierertesttafel V_1 .¹²

V_1	B	\bar{B}
A	1	0
\bar{A}	0	0

Die Felder F1 bis F4 stehen für vier im Sinne von (IVb) homogene Testsituationen. Die Wirkung tritt nur in F1 auf. Nur in F1 ist damit eine kausal relevante minimal hinreichende Bedingung von W realisiert. Aus der Abwesenheit der Wirkung in F2 ergibt sich aufgrund der Differenzregel, dass in F1 eine kausal relevante minimal hinreichende Bedingung instantiiert ist, die den Faktor B enthält. Des Weiteren folgt aus der Abwesenheit der Wirkung in F3, dass in F1 eine kausal relevante minimal hinreichende Bedingung instantiiert ist, deren Teil A ist. Auf der Basis der Unabhängigkeitsannahme **UPK** steht darüber hinaus fest, dass weder A Teil einer kausal relevanten minimal hinreichenden Bedingung von B , noch umgekehrt B Teil einer kausal relevanten minimal hinreichenden Bedingung von A ist. Bleibt also die Frage, ob (a) A und B in F1 Teil derselben komplexen Ursache von W oder (b) je in alternativen Ursachen enthalten sind. Dass (a) der Fall ist, lässt sich indirekt darüber zeigen, dass (b) vor dem Hintergrund von V_1 ausgeschlossen ist. Wären in F1 nämlich zwei alternative Ursachen AX_1 und BX_2 von W instantiiert, so würde W angesichts der Einhaltung von (IVb) auch bei Unterdrückung von A bzw. von B , d.h. in F2 und F3, auftreten. Dies ist in V_1 nicht der Fall, also sind A und B in F1 Teil derselben kausal relevanten minimal hinreichenden Bedingung von W . An dieser Stelle wird nun deutlich, weshalb die für Vierertests angepasste Homogenitätsbedingung (IVb) die Zusatzbedingung (2) enthält. Denn wäre nicht garantiert, dass die Restfaktoren einer minimal für W hinreichenden Bedingung,

¹²Vgl. S. 218.

Kombinationsregel: Für eine Reihe von Faktoren A_1, \dots, A_n , $1 \leq n$, eine Reihe homogener Prüfsituationen S_1, \dots, S_{2^n} und eine Wirkung W gilt: Wenn in einer der Prüfsituationen S_i die Koinzidenz $A_1 A_2 \dots A_n W$ auftritt, und ferner gilt:

- A_1 bis A_n sind kausal unabhängig voneinander (UPK) und
- in keiner anderen Prüfsituation S_j , $j \neq i$, ist ein um ein Konjunkt reduzierter Teil der Koinzidenz $A_1 A_2 \dots A_n$ gemeinsam mit W instantiiert,

dann sind A_1 bis A_n Teile *derselben* kausal relevanten minimal hinreichenden Bedingung von W .

in welcher der Prüffaktor enthalten ist, in F1 und F3 homogenisiert sind, so wäre auch der Fall (b) verträglich mit V_1 und folglich B nicht in der bestehenden Kausalstruktur (H_2) verortbar.

Gibt es mithin in einer von vier homogenen Prüfsituationen eines Vierertests sowohl eine kausal relevante minimal hinreichende Bedingung von W , die A enthält, wie eine, die B enthält, und in keiner der Prüfsituationen ist $\overline{A}B$ gemeinsam mit W und in keiner der Prüfsituationen $\overline{A}B$ gemeinsam mit W instantiiert, so folgt unter Voraussetzung von UPK, dass A und B Teil derselben kausal relevanten minimal hinreichenden Bedingung von W sind. Die Differenzregel garantiert, dass in F1 eine kausal relevante hinreichende Bedingung instantiiert ist, die A und B enthält. Die Frage, welche der Vergleich von F1 mit F2 bzw. F3 beantwortet, ist die nach der Minimalität dieser hinreichenden Bedingung. Ist ein um ein Konjunkt reduzierter Teil dieser Bedingung hinreichend für W , so tritt W auch in F2 oder F3 auf. Ist dies nicht der Fall, so sind A und B Teil derselben kausal relevanten minimal hinreichenden Bedingung.

5.3 ALTERNIERUNGSREGEL

Mit der Kombinationsregel haben wir ein Instrument zur Hand, das es uns auf Grundlage der Ergebnisse eines Vierertests ermöglicht, komplexe Ursachen als solche zu identifizieren. Was jetzt noch fehlt, ist eine Regel, die festlegt, unter welchen Umständen die in einem Vierertest auf ihre kausale Relevanz hin untersuchten Faktoren A und B alternativen Ursachenbündeln zugeordnet werden müssen. Genau dies leistet die so genannte *Alternierungsregel*:

Alternierungsregel: Wenn eine Wirkung W in einer Situation S_1 vorliegt, in der keine der bekannten kausal relevanten minimal hinreichenden Bedingungen realisiert ist, dann gibt es mindestens eine weitere kausal relevante minimal hinreichende Bedingung.

Dem Kausalitätsprinzip zufolge hat jedes in einen kausalen Prozess eingebundene Ereignis eine Ursache. Tritt also eine Wirkung ein, obwohl von jedem ihrer bekannten Ursachenbündel mindestens ein Faktor abwesend ist, muss sie in der betreffenden Situation durch eine andere, bislang unbekannte Ursache herbeigeführt worden sein.

Betrachten wir auch ein Beispiel für die Anwendung dieser dritten Inferenzregel. Bei unterstellter Gültigkeit der kausalen Ausgangshypothese (H_2) liefere uns ein Vierertest folgenden empirischen Befund (V_3):

V_3	B	\overline{B}
A	0	0
\overline{A}	1	0

In F3 tritt die Wirkung W auf, ohne dass eine von deren bisher bekannten Ursachen anwesend wäre. Denn vor der Durchführung des Vierertests ist durch (H_2) lediglich die kausale Relevanz des Faktors A etabliert. A aber fehlt in F3 und damit jedes geläufige Ursachenbündel von W .¹³ Das Eintreten von W in F3 ist laut Alternierungsregel folglich auf eine andere, eine alternative und bisher unbekannte kausal relevante minimal hinreichende Bedingung zurückzuführen. Unter Anwendung der Kombinationsregel kann ferner erschlossen werden, dass die Faktoren \overline{A} und B gemeinsam Teil jener unbekannten Ursache von W sein müssen. Die Ausgangshypothese (H_2) ist aufgrund eines gestaffelten Einsatzes von Alternierungs- und Kombinationsregel somit erweiterbar zu $(AX'_1 \vee \overline{A}BX_2 \vee Y') \Rightarrow W$.

5.4 BEWEISSCHEMA FÜR KAUSALE SCHLÜSSE

Der vorige Abschnitt hat es bereits angedeutet: Erst der kombinierte Einsatz der Regeln kausalen Schliessens ermöglicht eine vollumfängliche Auswertung einer Vierertesttafel. Die gestaffelte Anwendung der drei Inferenzregeln soll nun anhand eines Beispiels verdeutlicht werden. Wir analysieren dazu Vierertesttafel V_4 erneut, diesmal freilich in allen Details und unter Zugrundelegung der Inferenzregeln. Die neuerliche Analyse von V_4 soll nicht zuletzt auch dazu dienen, ein Schema für den Beweis von kausalen Schlüssen einzuführen.

V_4	B	\overline{B}
A	0	0
\overline{A}	0	1

Auf der Grundlage dieser empirischen Daten kann die kausale Ausgangshypothese (H_2) unter kombinierter Anwendung der drei Inferenzregeln erweitert werden zu

$$(AX'_1 \vee \overline{A}BX_2 \vee Y') \Rightarrow W. \quad (I)$$

¹³Im Übrigen zeigt das Ausbleiben von W in F1, dass A nicht alleine hinreichend ist für W .

Betrachten wir diesen Schluss genauer. Vermittels der Differenzregel etabliert ein Vergleich der Felder F3 und F4 die kausale Relevanz von \overline{B} . Denselben Befund liefert eine Gegenüberstellung von F2 und F4 für den Faktor \overline{A} . F4 ist das einzige Wirkungsfeld, in dem die Wirkung auftritt. Gemäss Kombinationsregel folgt daraus, dass A und \overline{B} Teil derselben kausal relevanten minimal hinreichenden Bedingung ($\overline{AB}X_2$) sind. Zumal ausserdem der einzige bislang bekannte Kausalfaktor A in F4 fehlt, muss das Auftreten von W in F4 auf das Vorliegen einer anderen, vormals unbekannten Ursache zurückgeführt werden. Schliesslich ermöglicht also die Alternierungsregel den Schluss, dass A und \overline{AB} Teil verschiedener Bedingungen sind. Damit ist (I) bewiesen.

Fassen wir diesen Beweis in ein Schema zusammen:

INFERENZ	RECHTFERTIGUNG	REGEL
(1) \overline{B} ist kausal relevant.	Differenz F3, F4	Differenz
(2) \overline{A} ist kausal relevant.	Differenz F2, F4	Differenz
(3) \overline{B} und \overline{A} sind Teil derselben Bedingung.	F4, (1), (2)	Kombination
(4) \overline{AB} und A sind Teile verschiedener Bedingungen.	F4, (H ₂)	Alternierung

Diese Tabelle stellt ein Beweisschema für kausale Schlussfolgerungen dar. In der mit „Inferenz“ überschriebenen Spalte sind die aus der kausalen Ausgangshypothese und einer Vierertesttafel gezogenen Schlüsse aufgeführt. Die nächste Spalte vermerkt empirische Daten – Wirkungsfelder der Vierertesttafel – oder vorgängige kausale Befunde, welche den jeweiligen Kausalschluss rechtfertigen. Die letzte Spalte schliesslich benennt die Inferenzregel, die bei der entsprechenden Schlussfolgerung zur Anwendung kommt.

Damit haben wir unser Verfahren kausalen Schliessens mit einem Regelwerk unterlegt, das eine verlässliche Analyse von Vierertesttafeln garantiert und für kausale Schlüsse ein Beweisverfahren bereithält.

📖 ÜBUNG: *Schlussregeln und Vierertest*

📖 ÜBUNG: *kausales Schliessen und Koinzidenztafeln 1*

📖 ÜBUNG: *kausales Schliessen und Koinzidenztafeln 2*

6 ERWEITERUNG DES VIERERTESTVERFAHRENS

6.1 ALLGEMEINE VERSUCHSANORDNUNG

Ein Vierertest prüft das kausale Zusammenspiel eines Prüffaktors und eines anderen Kausalfaktors. Diese Testanlage ist sehr eingeschränkt und nur ganz zu Beginn einer kausalen Untersuchung anwendbar. Eine Minimale Theorie ist nach Erweiterung um einen oder zwei Faktoren noch keineswegs vollständig spezifiziert. Sobald mehr als zwei Kausalfaktoren einer erklärungsbedürftigen Wirkung bekannt sind, können zusätzliche Prüffaktoren jedoch nicht mehr mit Hilfe eines einfachen Vierertests in der betreffenden Kausalstruktur verortet werden. Dazu ist eine Erweiterung der Anlage einfacher Vierertests nötig.

Das erweiterte Experimentdesign zeichnet sich im Wesentlichen durch zwei Charakteristika aus. Zum einen benötigt man bei der Anlage einer mehr als zwei Faktoren umfassenden Testtabelle für jeden zusätzlich durchvariierten Faktor eine weitere Zeile, in der dieser Faktor unterdrückt wird, während er in allen übrigen Zeilen instantiiert ist. Zum anderen sollte von jeder ermittelten Alternativursache der untersuchten Wirkung mindestens ein Faktor unterdrückt werden. Die Negation bekannter Alternativursachen dient lediglich einer Erhöhung der Wahrscheinlichkeit, ein kausal interpretierbares Resultat zu erhalten. Man könnte, solange Homogenität garantiert bleibt, durchaus auf die Unterdrückung von Alternativursachen verzichten. Kausale Fehlschlüsse würden dadurch nicht entstehen. Mit dem erweiterten Experimentdesign steigt indessen die Komplexität des Versuchsaufbaues deutlich an. Nicht auswertbare Resultate, die von nicht unterdrückten Alter-

Erläuterung IX.2

ALLGEMEINE VERSUCHSANORDNUNG:

Sei A die Menge $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ der bekannten Mitglieder des aktuell untersuchten Ursachenbündels der Wirkung W . Bestehe die Faktorenmenge C aus den Faktoren C_1, C_2, \dots, C_n derart, dass von sämtlichen bekannten Alternativursachen von W jeweils ein Faktor Element von C ist, und sei B der Prüffaktor. Bei der allgemeinen Testanlage T_n mit dem Ziel, B auf seine kausale Relevanz für W zu prüfen und gegebenenfalls in der bestehenden Kausalstruktur zu verorten, orientiere man sich an nachstehendem Versuchsplan:

- (i) Variiere in den Zeilen von T_n sämtliche Faktoren aus A systematisch hinsichtlich An- und Abwesenheit.
- (ii) Realisiere auf jeder Zeile in der ersten Spalte den Faktor B , in der zweiten Spalte den Faktor \bar{B} .
- (iii) Unterdrücke in sämtlichen Zeilen die Faktoren in C .

nativursachen herrühren, sind vor diesem Hintergrund ärgerlich.

Der Erläuterungskasten IX.2 stellt die allgemeine Versuchsanordnung zusammen. In den Zeilen der ersten Spalte einer erweiterten Prüftabelle werden die bekannten n Mitglieder eines aktuell untersuchten Ursachenbündels hinsichtlich ihrer An- und Abwesenheit systematisch durchvariiert. Insgesamt entsteht derart auch bei der allgemeinen Testanordnung eine Koinzidenztafel mit 2^{n+1} Wirkungsfeldern. Der einfache Vierertest ist, wie gesagt, ein Spezialfall dieses allgemeinen Designs.

Ermöglicht die allgemeine Versuchsanordnung keine kausale Verortung eines Prüffaktors B relativ zu einem aktuell untersuchten Ursachenbündel, wiederhole man das Verfahren, indem man anstelle von $A_1A_2 \dots A_n$ eine der bisher unterdrückten Alternativursachen in der ersten Zeile realisiere. Eine derart iterierte Testserie endet entweder mit der konjunktiven Verbindung von B mit einem der bekannten Ursachenbündel, mit dem Nachweis, dass B einer bisher unbekannten Alternativursache angehört, oder mit der Unmöglichkeit einer kausalen Verortung von B . Wie im Fall des einfachen Vierertests gilt es auch im vorliegenden Zusammenhang zu bedenken, dass die Unmöglichkeit, B in den kausalen Entstehungskontext von W einzuordnen, keineswegs gleichbedeutend ist mit der kausalen Irrelevanz von B für W . Es ist immer der Fall denkbar, dass B seine kausale Wirksamkeit einfach deshalb nicht unter Beweis stellen kann, weil in sämtlichen Testsituationen einer der zusammen mit B hinreichenden Faktoren abwesend ist.

6.2 ANWENDUNG DER ALLGEMEINEN VERSUCHSANORDNUNG

Die kausale Analyse von mittels allgemeiner Versuchsanordnung gewonnenen empirischen Daten erfolgt auf der Basis derselben Inferenzregeln wie beim einfachen Vierertest. Wir sind deshalb bereits in der Lage, die erweiterte Testanlage zur Untersuchung kausaler Relevanzen auf einen konkreten Fall anzuwenden. Ausgangspunkt des folgenden Beispiels bilde die kausale Hypothese

$$(ABX_1 \vee CX_2) \Rightarrow W. \quad (H_4)$$

Geprüft werden soll die kausale Relevanz eines Prüffaktors D und dessen etwaige Einbindung in obiges Fragment einer Minimalen Theorie, welche der Einfachheit halber bloss aus zwei Alternativursachen, ABX_1 und CX_2 , bestehe. Bei entsprechender allgemeiner Versuchsanordnung erhalten wir die in Tabelle (a) von IX.4 zusammengestellten Testresultate.

Die einzige Alternativursache zu ABX_1 ist durch Unterdrückung des Faktors C in allen Zeilen verhindert. Die bekannten Kausalfaktoren sind in der ersten Zeile gesetzt und in den folgenden Zeilen jeweils systematisch hinsichtlich An- und Abwesenheit durchvariiert. Dieses Ergebnis einer allgemeinen Versuchsanordnung ermöglicht den kausalen Schluss auf folgende Erweiterung von (H_4) :

$$(ABDX'_1 \vee CX_2) \Rightarrow W. \quad (H_5)$$

T_1	D	\bar{D}		D	\bar{D}
$AB \quad \bar{C}$	1	0	$AB \quad \bar{C}$	Feld 1 (F1)	Feld 2 (F2)
$\bar{A}B \quad \bar{C}$	0	0	$\bar{A}B \quad \bar{C}$	Feld 3 (F3)	Feld 4 (F4)
$A\bar{B} \quad \bar{C}$	0	0	$A\bar{B} \quad \bar{C}$	Feld 5 (F5)	Feld 6 (F6)
$\bar{A}\bar{B} \quad \bar{C}$	0	0	$\bar{A}\bar{B} \quad \bar{C}$	Feld 7 (F7)	Feld 8 (F8)

(a) (b)

Tab. IX.4: Tabelle (a) stellt exemplarisch ein mögliches Resultat einer erweiterten Versuchsreihe zusammen. Tabelle (b) führt die in Abschnitt 4.1 angefangene Nummerierung der Wirkungsfelder fort.

Beweis:

	INFERENZ	RECHTFERTIGUNG	REGEL
(1)	A ist kausal relevant.	Differenz F1, F3	Differenz
(2)	B ist kausal relevant.	Differenz F1, F5	Differenz
(3)	D ist kausal relevant.	Differenz F1, F2	Differenz
(4)	A, B und D sind Teil der- selben Bedingung.	F1, (1), (2), (3), (H4)	Kombination


Es zeigt sich nun, dass bei mehr als einem vorgängig bekannten Kausalfaktor ohne die dritte Zeile der erweiterten Versuchsanordnung kein kausaler Schluss möglich wäre. Ohne Zeile 3 bestünde nämlich die Möglichkeit, dass D nicht Teil der Bedingung ABX_1 ist, sondern etwa in Verbindung mit A einer neuen, bislang unbekannten Alternativursache angehört. Das heisst, bei einem Verzicht auf Zeile 3 könnte eine Erweiterung von (H4) auch lauten:

$$(ABX_1 \vee CX_2 \vee ADX_3) \Rightarrow W. \quad (H_6)$$

Doch das Ausbleiben von W in F3 und F5 lässt den Schluss zu, dass in F1 eine kausal relevante minimal hinreichende Bedingung realisiert ist, die A, B und D enthält (Kombinationsregel).

Das hier für drei bekannte Kausalfaktoren veranschaulichte allgemeine Test- und Analyseverfahren kann zur Ermittlung kausaler Relevanzen bei beliebig vielen Faktoren genutzt werden. Mit zunehmender Anzahl der in die Testanlage involvierten Faktoren nimmt die Menge der möglichen Versuchsergebnisse freilich exponentiell zu und die damit einhergehende Auswertung wird dementsprechend komplizierter. Die Auswertung dieser fortschreitend erweiterten Testanlage bei n Faktoren neben dem Prüffaktor skizziert May wie folgt:

Da die Anzahl der möglichen Versuchsergebnisse mit der Formel (...) $[2^{2^{(n+1)}}]$ anwächst, ist eine vollständige Übersicht über die Schlüsse nicht praktikabel, zumal es keine prinzipielle obere Grenze für n gibt. Eine vollständige Übersicht ist aber auch nicht erforderlich, da wir ein Auswertungsverfahren angeben können, das auf beliebig viele Zeilen anwendbar ist. Die Idee ist, den erweiterten Test als eine Art n -fachen Vierertest auszuwerten. Zunächst wird die Zeile 1 mit der Zeile 2 verglichen, dann Zeile 1 mit Zeile 3, dann mit Zeile 4 usw. Jeder dieser so entstehenden 4-Felder-Tafeln kann ähnlich dem besprochenen Vierertest ausgewertet werden. Der Unterschied besteht darin, dass die übrigen Zeilen als Kontrolle herangezogen werden können, um Hypothesen auszuschliessen, die aufgrund der 4-Felder-Tafel alleine nicht ausgeschlossen werden können.¹⁴

 ÜBUNG: *erweiterte Testanlage*

¹⁴May (1999), S. 219.

