

Kausalität und kausales Schliessen

Kausalität und kausales Schliessen

Eine Einführung mit interaktiven Übungen

Michael Baumgartner, Gerd Graßhoff



Bern Studies in the History and Philosophy of Science

Educational materials 6

Copyright ©2004 Bern Studies in the History and Philosophy of Science,
Universität Bern

Herstellung: Books on Demand, Norderstedt

Editor: Gerd Graßhoff, Bern

Co-editors: Timm Lampert, Bern; Kärin Nickelsen, Bern

Michael Baumgartner, Gerd Graßhoff:

Kausalität und kausales Schliessen – Eine Einführung mit interaktiven Übungen
/ Michael Baumgartner, Gerd Graßhoff. – Bern, 2004.

ISBN 3-9522882-1-7

Inhaltsverzeichnis

	<i>Vorbemerkung</i>	7
<i>I</i>	<i>Einleitung</i>	9
1	Zielsetzung und Aufbau	9
2	Kausalität im Alltag	10
3	Kausalität in der Wissenschaft	13
4	Kausale vs. nicht-kausale Prozesse	15
4.1	Was ist Verursachung? – Die wichtigsten Kausaltheorien vor dem 20. Jahrhundert	17
4.2	Intuition und Theorie	20
4.3	Was bedeutet „Verursachung“?	22
5	Kausalaussagen	23
5.1	Vierfache Verwendungsweise des Ursachenbegriffs	23
5.2	Implizite kausale Redeweise	24
5.3	Die Grundform kausaler Aussagen	25
6	Warum-Fragen	27
7	Fazit	29
<i>II</i>	<i>Die Relata der Kausalrelation</i>	31
1	Einführung	31
2	Ereignisse	31
2.1	Ereignisse als Relata der Kausalrelation	31
2.2	Der Ereignisbegriff	32
2.3	Zustände und Zustandsveränderungen	36
2.4	Singuläre Ereignisse und Ereignisbezeichnungen	37
3	Ereignistypen	38
3.1	Ähnlichkeit, Wiederholbarkeit, Instantiierung	38
3.2	Faktoren	40
4	Spezielle Formen von Ereignistypen	40
4.1	Hemmende Faktoren	40
4.2	Negative Faktoren	41
4.3	Qualitative und quantitative Faktoren	41

	4.4	Ursachen- und Wirkungstypen	42
5		Notation	43
6		Sequenzen und Koinzidenzen	44
	6.1	Sequenzen	44
	6.2	Koinzidenzen	44
	6.3	Koinzidenztabelle	46
III		<i>Kausale Relevanz und Kausalgraphen</i>	47
1		Einführung	47
2		Kausale Relevanz	47
	2.1	Relevante Faktoren und Ursachen	47
	2.2	Positive und negative Relevanz	49
	2.3	Direkte und indirekte Relevanz	50
	2.4	Transitivität	53
3		Komplexe kausal relevanter Faktoren	59
	3.1	Graphen	59
	3.2	Direkte Ursachen	62
	3.3	Komplexe Ursachen	62
	3.4	Alternative Ursachen	63
	3.5	Wechselwirkungen und kausale Zyklen	64
	3.6	Kausale Ketten	65
	3.7	Multiple Wirkungen, gemeinsame Ursachen	65
	3.8	Hemmende Ursachen	66
	3.9	Alternative Wirkungen?	66
	3.10	Katalog	67
4		Kausalprinzipien	68
	4.1	Determinismusprinzip	68
	4.2	Kausalitätsprinzip	68
	4.3	Prinzip der Relevanz	68
	4.4	Prinzip der persistenten Relevanz	69
IV		<i>Hinreichende und notwendige Bedingungen</i>	71
1		Einführung	71
2		Logische Grundlagen	71
	2.1	Allgemeine Bemerkungen	71
	2.2	Wahrheitsfunktionalität	72
	2.3	Konjunktion und Disjunktion	73
	2.4	Konditional und Bikonditional	75
	2.5	Quantifikation	76
	2.6	Abkürzung der Notation	77
3		Hinreichende Bedingungen	79
	3.1	Kausal relevante Faktoren als hinreichende Bedingungen	79

3.2	Kritische Beurteilung von HB	80
3.2.1	Testverfahren	81
3.2.2	Anwendung des Testverfahrens auf HB	84
3.3	Ceteris-paribus-Klausel	84
3.4	Kritische Beurteilung von HCP	86
4	Notwendige Bedingungen	87
4.1	Kausal relevante Faktoren als notwendige Bedingungen	87
4.2	Kritische Beurteilung von NB	89
4.3	Ceteris paribus notwendige Bedingungen	90
5	Fazit	91
<i>V</i>	<i>INUS-Bedingungen und Minimale Theorien</i>	<i>93</i>
1	Einführung	93
2	INUS-Bedingungen	93
2.1	Kausal relevante Faktoren als INUS-Bedingungen	93
2.2	Kritische Beurteilung von NSB – Manchester Factory Hooters	99
2.3	Das Hooters-Beispiel graphisch interpretiert	101
3	Minimale Theorien	103
3.1	Minimal hinreichende Bedingungen	103
3.2	Minimal notwendige Bedingungen	104
3.3	Darstellungsformen Minimaler Theorien	106
3.4	Lösung des Hooters-Problems	109
3.5	Richtung der Kausalität	110
<i>VI</i>	<i>Alternative Theorien der Kausalität</i>	<i>115</i>
1	Einführung	115
2	Die Kausalrelation als kontrafaktisches Konditional	115
3	Transferenztheorie	119
4	Probabilistische Kausalität	122
4.1	Die Kerngedanken Probabilistischer Kausalität – positive probabilistische Relevanz	122
4.2	Negative probabilistische Relevanz	127
4.3	Simpson Paradox	130
4.3.1	Umkehr probabilistischer Abhängigkeiten	130
4.3.2	Schwierigkeit der Anwendung von PK	133
4.3.3	Kausales Vorwissen	134
4.4	Probabilistische Unabhängigkeit	137
4.4.1	Die Annahmen von CMU	138
4.4.2	Der PC/IC*-Algorithmus	141
4.4.3	Kritische Würdigung des PC/IC*-Algorithmus	147
4.4.4	Verzicht auf eine Analyse kausaler Relevanz	151

<i>VII</i>	<i>Spezielle Formen von Kausalzusammenhängen und Ereignisidentität</i>	<i>153</i>
1	Einführung	153
2	Überdetermination, Kausalketten und leere Regularitäten	154
2.1	Überdetermination	154
2.1.1	Kontrafaktische Kausalität und Überdetermination	155
2.1.2	Probabilistische Kausalität und Überdetermination	157
2.1.3	INUS-Bedingungen bzw. Minimale Theorien und Überdetermination	160
2.2	Kausalketten	161
2.2.1	Kontrafaktische Kausalität und Kausalketten . . .	162
2.2.2	Probabilistische Kausalität und Kausalketten . . .	162
2.2.3	Minimale Theorien und Kausalketten	165
2.3	Leere Regularitäten	168
2.3.1	Kausale Regularitäten	169
2.3.2	Leere Regularitäten	170
3	Ereignisidentität	171
<i>VIII</i>	<i>Formen des kausalen Schliessens</i>	<i>179</i>
1	Einführung	179
2	Epistemische Lücken	180
2.1	Unvollständige Kenntnis der Kausalzusammenhänge	181
2.2	Falsche Hypothesen über Kausalzusammenhänge	183
2.3	Unvollständige Kenntnis der Ereignisfolgen	184
2.4	Unvollständige Kenntnis der zu berücksichtigenden Ereignistypen	185
2.5	Einschränkungen kausaler Schlussverfahren	186
3	Induktionsschlüsse	186
3.1	Induktion als Verallgemeinerung	188
3.2	Induktiver Schluss auf ein verallgemeinerndes Konditional . . .	189
3.3	Induktion als Übergang von Koinzidenzen zu kausalen Regularitäten	189
3.4	Induktion als epistemische Bekräftigung	190
3.5	Die Wissenschaft verfährt nicht induktiv	191
4	Formen des kausalen Schliessens	194
4.1	Diagnostische Schlüsse	195
4.2	Prognostische Schlüsse	196
4.3	Theoretische Schlüsse	196
<i>IX</i>	<i>Homogenität, Vierertest, Schlussregeln</i>	<i>199</i>
1	Einführung	199
2	Voraussetzungen eines theoretischen Kausalschlusses	199
2.1	Das Erbe Humes	199

	2.2	Kausale Bestimmtheit	200
	2.3	Reduktion von Kausalstrukturen	202
	2.4	Homogenitätsbedingung	203
3		Zweier- oder Differenztest	210
4		Vierertest	213
	4.1	Allgemeine Testanlage und Auswertungsvoraussetzungen . . .	213
	4.2	Eine auftretende Wirkung	217
	4.3	Zwei auftretende Wirkungen	219
	4.4	Drei auftretende Wirkungen	221
	4.5	Spezialfälle	222
5		Schlussregeln	222
	5.1	Differenzregel	223
	5.2	Kombinationsregel	224
	5.3	Alternierungsregel	225
	5.4	Beweisschema für kausale Schlüsse	226
6		Erweiterung des Vierertestverfahrens	228
	6.1	Allgemeine Versuchsanordnung	228
	6.2	Anwendung der allgemeinen Versuchsanordnung	229
<i>X</i>		<i>Prüfung der Homogenitätsbedingung</i>	<i>233</i>
1		Einführung	233
2		Differenztest und Homogenität	233
3		Störfaktoren	234
4		Prüfverfahren für die Einhaltung der Homogenitätsbedingung . .	238
	4.1	Grundidee	238
	4.2	Replikation eines Differenztests	239
	4.3	Unabhängigkeitsannahmen zur Abschätzung von $P(Y_u)$ und $P(X_u)$	241
	4.3.1	Rechtfertigung von $(U \perp\!\!\!\perp X_u)$	242
	4.3.2	Rechtfertigung von $(U \perp\!\!\!\perp Y_u)$	242
	4.3.3	Rechtfertigung von $(U \perp\!\!\!\perp X_u Y_u)$	244
	4.3.4	Rechtfertigung von $(X_u \perp\!\!\!\perp Y_u)$	244
	4.4	Abschätzung von $P(Y_u)$ und $P(X_u)$	245
	4.5	Wahrscheinlichkeiten der Hintergrundszarien	246
	4.6	Allgemeines Testverfahren	248
<i>XI</i>		<i>Experiment</i>	<i>251</i>
1		Einführung	251
2		Beispiel I: Die Bose-Einstein-Kondensation	251
3		Kausale Prozesse im Experiment	253
4		Beispiel II: Eiskalorimeter	256
5		Kausales Schliessen und Quantitäten	258
	5.1	Quantitative Kausalfaktoren	258

5.2	Qualitative vs. quantitative Kausalanalysen	260
5.3	Messgrößen und Werte	263
5.4	Mathematische Beschreibungen	264
6	Messprozesse	265
6.1	Direkte und indirekte Messungen	267
6.2	Messfehler	267
6.3	Stochastische und systematische Störgrößen	268
7	Beispiel III: Harnstoffsynthese	269
7.1	Forschungsergebnisse vs. Forschungsprozesse	269
7.2	Der Harnstoffzyklus	270
7.3	Die kausale Relevanz von Ornithin	271
	7.3.1 Einträge im Laborbuch	271
	7.3.2 Auswertung der Ergebnisse	276
7.4	Kausaltheoretische Interpretation des Ornithin-Experimentes	277
8	Kausales Schließen im Experiment	278
<i>XII</i>	<i>Komplexe Kausalstrukturen</i>	<i>281</i>
1	Einführung	281
2	Identifikation kausaler Verkettungen im Rahmen Kontrafaktischer und Probabilistischer Kausalität	281
3	Minimale Theorien und komplexe Kausalstrukturen	284
	3.1 Einfache vs. komplexe Kausalstrukturen	284
	3.2 Komplexe Minimale Theorien	285
	3.3 Zuordnung von Minimalen Theorien zu komplexen Kausalstrukturen	287
4	Schließen auf komplexe Kausalstrukturen	292
	4.1 Grundidee eines Schlussverfahrens	292
	4.2 Preisgabe von UPK	292
	4.3 Kettenproblem	295
	4.3.1 Unterschiedliche Kausalstrukturen, eine Koinzidenzgruppe	295
	4.3.2 Kausalintuition und komplexe Kausalstrukturen	300
	4.4 Schließen auf Ketten und die begrifflichen Grundlagen von MT	303
	4.4.1 Kausale Interpretation von Faktorenverschränkungen	303
	4.4.2 Präzisierung der begrifflichen Grundlagen von MT	307
	4.5 Kausale Interpretation von minimal notwendigen Bedingungen	309
	4.6 Kausalanalysen und Koinzidenzgruppen	311
	<i>Index</i>	<i>313</i>
	<i>Literatur</i>	<i>318</i>

VORBEMERKUNG

Das Verhältnis zwischen Ursache und Wirkung hat namentlich in den vergangenen 200 Jahren die Aufmerksamkeit zahlloser Philosophen und Wissenschaftstheoretiker auf sich gezogen. Zu den wichtigsten Ursachenbegriffen, die im Verlauf dieser eingehenden Auseinandersetzung mit der Theorie der Kausalität entwickelt worden sind und weiterhin intensiv debattiert werden, gehören diejenigen der *Regularitätstheorie*, der so genannten *Probabilistischen* und *Kontrafaktischen Kausalität* sowie jener der *Transferenztheorie*. Die vorliegende Einführung ins Thema Kausalität stellt in einem ersten Teil die begrifflichen Grundlagen einer Analyse der Kausalrelation bereit und bietet einen gebündelten Überblick über jene verschiedenen theoretischen Ansätze zur formalen Modellierung der Kausalrelation. Dabei wird jeder kausaltheorietische Ansatz eingehend auf seine Brauchbarkeit geprüft. Es wird sich zeigen, dass die insbesondere in den letzten Jahren grosse Fortschritte machende Regularitätstheorie die tragfähigsten Mittel zur Verfügung stellt, um das Verhältnis zwischen Ursache und Wirkung erfolgreich zu analysieren.


Aufbauend auf dieser Erarbeitung der kausaltheorietischen Grundlagen werden anschliessend in einem zweiten Teil die zentralen Techniken und Regeln kausalen Schliessens vermittelt. Kausales Schliessen ist in jüngster Zeit zu einem verstärkt bearbeiteten Gegenstand wissenschaftstheoretischer Forschung geworden. Das Schliessen auf Ursachen und Wirkungen ist zentrale Voraussetzung diagnostischer Schlussverfahren und findet Anwendung in einem weiten Feld experimenteller Wissenschaften.

Begleitend zum vorliegenden Buch ist ein webbasiertes Übungsmodul entwickelt worden, das Studierenden und anderen an Kausalität Interessierten im Internet zum interaktiven Selbststudium zur Verfügung steht. Die Einstiegsseite dieses im Rahmen des Schweizerischen Virtuellen Campus entstandenen Moduls findet sich unter der Adresse:

Die interaktiven Übungseinheiten bieten dem Leser die Möglichkeit, wichtige Aspekte des Stoffes zu wiederholen und sich selbst aktiv mit der Kausalitätsproblematik vertraut zu machen. Verteilt über das gesamte Buch finden sich dementsprechend Verweise auf solche Übungen, die als Vervollständigung und Vertiefung der theoretischen Darstellungen gedacht sind. Das Übungsmodul ist auch direkt abrufbar, und zwar unter:

Um eine übersichtliche Verwaltung der Übungsergebnisse zu ermöglichen, wird man anlässlich des ersten Besuches des Übungsmoduls gebeten, sich ein persönliches und passwortgeschütztes Konto einzurichten. Die Ergebnisse, die anschliessend bei der Bearbeitung der Übungen erzielt werden, können dadurch in einer

Datenbank abgelegt werden, die im Verlauf des Kurses der eigenen Lernkontrolle dienen soll. Weitere Hinweise zur technischen Handhabung der Übungen hält die oben genannte Einstiegsseite bereit.

Zusätzlich zu den Verweisen auf Übungen finden sich verteilt über den ganzen Text Erläuterungs- und Definitionsboxen, die besonders wichtige Ergebnisse eines Kapitels graphisch hervorheben und in kompakter Form zusammenfassen. Bei den mit  gekennzeichneten Abschnitten handelt es sich um Ergänzungen und Vertiefungen eines jeweiligen Themas, deren Lektüre nicht klausurrelevant ist.

DANKSAGUNGEN

Ganz besonderer Dank gebührt Daniel Engler. Er hat die Simulationen, die Übungsaufgaben und die Klausuren programmiert sowie die technische Betreuung des Kurses übernommen. Timm Lampert und Silvan Imhof haben den Text Korrektur gelesen und durch ihre Sorgfalt und kritischen Einwände zu wertvollen Verbesserungen beigetragen. Christian Jakob, Marco Manni, Lukas Rosenberger und Adrian Wüthrich danken wir für gründliche Lektorierung und hilfreiche Kommentare zu den Kapiteln 3 bis 10. In den Wintersemestern 2002 und 2003 ist der vorliegende Text Grundlage von Einführungskursen an der Universität Bern gewesen. Den Teilnehmern an diesen Kursen sei ebenfalls für nützliche Hinweise gedankt. Als besonderen Hintergrund, auf den dieses Buch aufbaut, hervorzuheben gilt es Michael Mays einschlägige Arbeit mit dem Titel *kausales Schliessen* (May 1999). Gedankt sei schliesslich auch dem Schweizerischen Nationalfonds für die finanzielle Unterstützung unserer Arbeit an der Kausalitätsthematik (Beitrag 1114-066803.01/1).