Am Max Planck Institut für Intelligente Systeme in Tübingen wird mathematisch-philosophische Grundlagenforschung betrieben. Die Wissenschaftler untersuchen mathematische Modelle für Kausalität – und werfen ein neues Licht auf die alte Geschichte vom Storch und den Kindern.

Die Story vom Storch

Von Michael Schober

Was haben Wissenschaftler nicht schon alles herausgefunden? Raucher sterben früher als Nichtrauche, ein Glas Rotwein am Tag ist gut fürs Herz, Stripperinnen verdienen mehr während ihrer fruchtbaren Phasen und mit den Störchen kommen die Kinder. Über diese Aussagen sind sich die Experten einig. Meinungen von Müttern und Vätern sollten demnach revidiert und gängige Lehrinhalte aus dem Biologieunterricht nochmals kritisch hinterfragt werden; schließlich hielten all diese Ergebnisse strengen Begutachtungsprozessen wissenschaftlicher Fachzeitschriften stand und wurden daraufhin veröffentlicht (z. B. im Fall der Storche: R. Matthews: Storks Deliver Babies (p = 0.008), Teaching Statistics, 22(2):36-8, 2000).
Es scheint außer Frage zu stehen, dass die Daten aus verlässlichen Quellen stammen. Dennoch lassen sich manche Erkenntnisse nicht mit unserem Alltagswissen vereinbaren, weshalb die Ursache des Problems wohl in den angewandten Analysemethoden liegen muss. Was geht hier also schief? Zunächst muss man sich klar werden, dass bspw. zwischen den beiden Aussagen a) „Raucher sterben früher als Nichtraucher" und b) „Raucher sterben aufgrund des Rauchens früher als Nichtraucher" ein erheblicher Unterschied besteht. Während die erste Aussage nur eine gemeinsame Häufung von Ereignissen – also eine Statistik – beschreibt, postuliert die zweite einen kausalen Zusammenhang und gibt auch die Wirkungsrichtung gleich mit an. Aussage a) lässt dies offen und eine andere mögliche Interpretation lautet, dass Menschen, die rauchen, auch zu anderen ungesunden Lebensgewohnheiten neigen und deswegen früher sterben. Üblicherweise wird die Stärke des gemeinsamen Auftretens mit Hilfe des Korrelationskoeffzienten gemessen. Dieser ist eine gemeinsame Maßzahl zweier Messgrössen, die zwischen -1 und 1 liegt. Beträgt die Korrelation ungefähr null, ist das ein Anzeichen dafür, dass die betreffenden Größen nichts miteinander zu tun haben. Liegt der Wert wiederum eher bei 1 oder -1, so sagt man, dass die Größen miteinander korreliert sind, und die Vermutung liegt nahe, dass eine kausale Abhängigkeit besteht.

Reichenbachs „Common Cause Principle“
Diese Vermutung liegt in der Tat so nahe, dass der Philosoph Hans Reichenbach ihr eine besondere Bedeutung zugestand und diesem Phänomen den Namen „Common Cause Principle“ gab. Es besagt, dass, bei Korrelation zweier Ereignisse X und Y, einer von drei Fällen vorliegen muss: entweder verursacht Ereignis X Ereignis Y, oder Y ist eine Ursache von X, oder aber es gibt einen gemeinsamen Grund Z, der sowohl X als auch Y verursacht (Abb.1).
Dieses Postulat hat man sich in der Vergangenheit zu nütze gemacht. Man entwickelte Verfahren, mit deren Hilfe man aus einer Reihe von Messwerten verschiedener Messgrößen diejenigen kausalen Abhängigkeiten bestimmen kann, die unter Reichenbachs Prinzip zu den beobachteten Daten passen. Aber auch wenn einige der Methoden gut funktionieren, so gab es bisher zwei Probleme: zum einen liefern sie keine eindeutigen Lösungen, sondern alle verschiedenen Konfigurationen, die zu den Daten passen – was mitunter ganz schön viele sein können. Zum anderen braucht man mindestens 3 Variablen, um diese Verfahren überhaupt anwenden zu können. Liegen nur zwei Kategorien vor und will man wissen, ob das eine Ursache des anderen ist oder nicht, so ist man doch wieder auf die Statistik angewiesen, deren Verfahren aber schon rein prinzipiell keine Aussage über die Wirkungsrichtung treffen können. Und genau hier konnten die Forscher des Max Planck

Instituts Lücken schließen und Verfahren entwickeln, die nur noch zwei beobachtete Größen benötigen.

Auftritt der Punktwolken

Wenn man Dominik Janzing, den Mitbegründer der Causality-Gruppe, fragt, worauf die neuen Verfahren beruhen, so antwortet er: „Im Grunde schauen wir uns die Form der Punktwolken an." Die Punktwolken, damit sind die Grafiken gemeint, die man erhält, wenn man die jeweiligen Messungen der Variablen als zweidimensionale Koordinaten auffasst.
Beispiele für solche Punktwolken zeigen die Abbildungen 2a bis 2c. So haben einige beispielsweise bei Abbildung 2a ganz klar in der x-Achsen-Variablen die Ursache für die Variable auf der y-Achse erkannt. Als man eine Doktorandin nach einer Begründung für ihre Vermutung fragte, antwortete sie: „So ist es viel natürlicher. Andersherum betrachtet wäre es viel chaotischer." Heißt: wir nehmen diejenige Richtung als den zugrundeliegenden Ursache-Wirkungs-Mechanismus an, die nach mathematisch geschultem Blick mehr Ordnung aufweist. Wenn man sich klar macht, was diese Aussage mathematisch bedeuten kann, versteht man, wie man mittels dieser Intuition zu folgendem Verfahren gelangt.

„Wir bringen das mal in Ordnung"

Ordnung scheint zu bedeuten, dass wir aus der Ursache ihre Wirkung in etwa voraussagen können. So könnte es zum Beispiel sein, dass wir eine Funktion finden, die der Wahrheit schon recht nahe kommt, bis auf einen zufälligen Fehler, der beschreibt, dass wir eben doch nicht alles wissen oder nicht genau genug gemessen haben. Allerdings erwarten wir, dass die Struktur dieses Fehlers überall ungefähr gleich ist – unser Unwissen und unsere Sorgfalt ist unabhängig von den Messwerten und hat daher immer die gleiche Größenordnung. Diese Postulate können wir jetzt in die Sprache der Mathematik überführen. Sie sagen, dass die Wirkung y eine Funktion der Ursache x plus einem zufälligen Fehler ist, d.h. $yi = f(xi) + \xi i$, wobei ξ eine zufällige Zahl ist und der Index i andeutet, dass wir die i-te Beobachtung betrachten. Anschaulich hat diese Formel eine wichtige Konsequenz: Die Summe führt dazu, dass es einen Schlauch um die Funktion geben sollte, der überall die gleiche Höhe hat, aber dessen Breite sich mit der Steilheit der Funktion ändert. Abbildung 3 beschreibt den Vorgang. Mit dem Computer habe ich Messungen simuliert (blaue Punkte), die ohne Fehler auf der orange-eingezeichneten Funktion liegen würden. Die roten Linien sind der Schlauch um die Funktion, in dem die meisten Punkte erwartet werden. Man sieht sofort, dass die Höhe überall gleich ist und die Breite variiert. Wäre es genau umgekehrt, also x eine Funktion von y, liefe die Argumentation so ähnlich, nur das eben diesmal die Breite des Schlauches konstant bleiben sollte und die Höhe nicht.
In Abbildung 4 habe ich versucht, diese Intuition in die erste Punktwolke einzuzeichnen. In vertikaler Richtung scheint der Schlauch konstant zu sein, in horizontaler Richtung gibt es Unterschiede. Daher scheint die Größe der x-Achse die Ursache für die Beobachtungen der y-Achse zu sein. Und in der Tat: die x-Achse gibt die Höhenmeter eines Ortes an und die y-Achse die an dem Ort gemessene Durchschnittstemperatur.

Quo vadis?

Doch das ist noch nicht alles. Nachdem die mathematischen Implikationen der Intuition erst mal völlig überblickt waren, konnte das beschriebene Verfahren noch etwas verallgemeinert und verfeinert werden. Es wurden zudem genaue Bedingungen gefunden, die gelten müssen, damit diese kausale Analyse gültig ist. Und auch für andere Modelle konnten in der Zwischenzeit entsprechende Verfahren entwickelt werden, so beispielsweise auch für komplett fehlerfreie, deterministische Beobachtungen – ein Fall, der für besonders schwierig gehalten wurde.
Heißt das jetzt, dass diese Verfahren die statistischen Analysen revolutionieren werden? Sicherlich nicht zum jetzigen Zeitpunkt. Die herkömmlichen Verfahren haben sich bewährt, sie sind gründlich untersucht und verstanden, und die meisten Anwender kennen die

Gefahren und Symptome, so dass bei sorgfältiger Arbeit verlässliche Analysen möglich sind. Die kausalen Methoden leiden bisher noch darunter, dass man sowohl einen Experten der kausalen Analyse, als auch einen Experten des Forschungsgegenstands benötigt, die die Ergebnisse zusammen interpretieren und in den richtigen Zusammenhang setzen. Allerdings bieten die neuen Verfahren weitere Interpretationshilfen und so können sie die Auswertung mit weiteren Argumenten stützen oder verfeinern.

Bleibt nur noch die Frage, wer jetzt die Kinder bringt – der Storch oder werden sie doch von Vätern und Müttern verursacht? Dem aufmerksamen Leser wird vielleicht nicht entgangen sein, dass der Name der Fachzeitschrift weniger auf eine biologische, als auf eine mathematische Publikation hindeutet. Die Daten sind allerdings korrekt und so muss es laut Reichenbachs „Common Cause Principle“ einen kausalen Zusammenhang zwischen der Anzahl der Störche und der Geburtenrate geben. Es bleiben drei mögliche Fälle: Dass die Störche die Geburtenrate direkt beeinflussen, schließen wir aufgrund unseres Vorwissens aus, ebenso den umgekehrten Fall. Als einziger Schluss bleibt, dass eine nicht beobachtete Grösse Z auf die Zahl der Störche und die Geburtenrate gleichermaßen wirkt. In der Tat wollte der Autor des Artikels auf genau dieses Problem aufmerksam machen – und so können wir auch in Zukunft unseren Biologielehrern in dieser Sache vertrauen.