

Die Unterscheidung zwischen theoretischen und empirischen Gesetz und die Bedeutung der Korrespondenzregeln

Geschrieben von Martin Frigge

Die folgende Ausarbeitung basiert in der Hauptsache auf einem Auszug (Kap. 23-25) aus „Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften“ von Rudolf Carnap.

Zum Autor

Rudolf Carnap ist am 18. Mai 1891 in Ronsdorf geboren und lebte bis zum 14. September 1970 (Los Angeles). 1910 begann er mit dem Studium der Philosophie, Mathematik und Physik in Jena und Freiburg. Zunächst arbeitete er als Physiker für die Armee, promovierte dann aber und wurde Privatdozent für theoretische Philosophie an der Universität Wien (1926-1930). Im Anschluss begab er sich als außerordentlicher Professor für Naturphilosophie an die naturwissenschaftliche Fakultät der Prager Deutschen Universität. Nach seiner Gastprofessur in Harvard (1936) wurde C. ab 1941 amerikanischer Staatsbürger und Professor für Philosophie in Chicago, Princeton und schließlich in Los Angeles.

Er war bekanntester Vertreter des Neopositivismus und damit des "Wiener-Kreises". Der Positivismus beschäftigt sich mit der rein logischen Beschreibung der Dinge, ohne metaphysische Betrachtung.

Zum Buch

Das Buch ist entstanden aus einer Tonbandaufnahme des Seminars „Philosophische Grundlagen der Physik“ bzw. „Begriffe, Theorie und Methoden der physikalischen Wissenschaft“ aus dem Jahr 1958. Die Gattin Rudolf Carnaps übernahm die Aufnahme und erste Verschriftlichung, bis das Buch nach acht Jahren und vielen Verbesserungen veröffentlicht werden konnte.

(Natur)-Gesetze

Um Naturgesetze unterscheiden zu können, müssen wir uns zunächst einmal die Frage stellen, was Naturgesetze sind. Carnap definiert sie als Aussagen, die die Regelmäßigkeiten der Welt so genau wie möglich beschreiben. Beispielsweise: „Feuer ist heiß.“; „Steine fallen zu Boden.“

Diese „Definition“ ist allerdings etwas schwammig. Da es aber nicht möglich ist, den Begriff der Naturgesetze eindeutig festzulegen, begnügt Carnap sich mit dieser Näherung. Im Folgenden wird zunächst der Begriff des „Gesetzes“ näher behandelt:

Nach Carnap kann man drei Klassen von Gesetzen unterscheiden.

Universalgesetze gelten überall und zu jeder Zeit. Sie sind so genannte Allaussagen, die eine logische Form der Art $\forall x \text{ gilt } P(x) \rightarrow Q(x)$ haben. Ausformuliert bedeutet das so viel wie „Wenn x die Eigenschaft P hat, dann hat x auch die Eigenschaft Q“. Ein Beispiel dafür wäre: „Alles Eis ist kalt.“

Die statistischen Gesetze gelten im Gegensatz dazu nur für gewisse Prozentsätze und nicht universell. Sie beruhen auf einem gewissen „Nicht-genau-Wissen“. Wir können also sagen, dass reife Äpfel für gewöhnlich rot sind. Diese Aussage ist dann aus vielen Messungen bzw. im Beispiel aus vielen gesehenen Äpfeln entstanden. Uns ist es aber nicht möglich, eine eindeutige Aussage zu machen. Häufig begegnet man solchen statistischen Gesetzen in der Medizin. Ein Pilz wird als giftig bezeichnet, da neun von zehn Menschen nach dem Verzehr dieser Pilzart Beschwerden hatten. Das bedeutet aber eben nicht, dass jeder diese bekommen wird. Mit diesen Gesetzen ist es aber schon möglich Tatsachen zu erklären und Vorhersagen zu machen.

Logische Gesetze dagegen enthalten keine Aussagen über die Wirklichkeit. Mathematische Gesetze etwa gelten in jeder logisch konsistent beschriebenen Welt. Nehmen wir das Beispiel, dass jede Cauchy-Folge im Raum der rationalen Zahlen konvergiert. Dieses Gesetz gilt selbst in sehr abstrakten Welten wie einer, in der Menschen zu Vögeln werden und Wolken darüber diskutieren. Solange die Welt sich in ihrer Beschreibung nicht logisch widerspricht, gelten dort die mathematischen Gesetze.

Begriffserklärung

Für den weiteren Formalismus bzw. auch für das Verständnis sind vorerst noch ein paar Begriffe zu definieren.

Zunächst wird der Begriff der „Tatsache“, der schon im vorherigen Abschnitt verwendet wurde definiert. Im alltäglichen Sprachgebrauch verstehen wir häufig etwas anderes unter diesem Begriff als Definition, die Carnap ihm zuschreibt. Ein Beispiel für eine Tatsache ist: „Der Stift ist aus meiner Hand auf den Boden gefallen.“ Sagt man allerdings, dass alle Stifte, die man los lässt, zu Boden fallen, handelt es sich um ein Universalgesetz bzw universellen Tatsache mehr. Tatsachen sind also einzelne Ereignisse und keine Allaussagen. Möchte man nun eine Tatsache wie den gefallenen Stift erklären benötigt man mindest ein Gesetz dazu. Hier genügt das schon genannte Universalgesetz. Im Sprachgebrauch würde man auch die Antwort, dass man den Stift los gelassen habe, als Erklärung ansehen. Das ist aber nur der Fall, wenn beide Beteiligten, also der Fragende und der Antwortende, sich auf der Basis gewisser „Grundgesetze“ unterhalten. Der Gefragte geht in diesem Beispiel davon aus, dass der andere das Universalgesetz, welches besagt, dass Stifte zu

Boden fallen, kennt. Demzufolge wird auch hier die Tatsache, wenn auch indirekt, mit einem Gesetz erklärt.

Weiter ist noch der Begriff der „Vorhersage“ zu erläutern. Auch hier geben wir dem Wort häufig im Sprachgebrauch nicht die hier verwendete Bedeutung. Eine Vorhersage über eine sich in der Zukunft ereignende Sonnenfinsternis würden wir vielleicht als logischen Schluss aus bekannten Naturgesetzen ansehen. Eine Vorhersage ist bei Carnap aber als eine „noch“ unbekannte Tatsache, die in der Zukunft, aber auch Vergangenheit liegen kann, beschrieben. Eine solche Vorhersage kann, wie schon erwähnt, auf der Grundlage eines Gesetzes gemacht werden. Nimmt man das Gesetz über Wärmeausdehnung, ist damit eine Vorhersage über die Längenausdehnung eines sich erwärmenden Gegenstandes möglich. Wir machen jeden Tag viele Vorhersagen. Meist liegen diese zwar nicht im Rahmen naturwissenschaftlicher Forschung, aber auch hier wird die Notwendigkeit der Gesetze deutlich. Um eine Tür zu öffnen, benutzt man die Türklinke. Man hat im Laufe der Zeit viele Male beobachtet, dass wenn man die Klinke drückt, sich häufig die Tür öffnet. Daraus hat man dann ein statistisches Gesetz entwickelt und wendet dieses auf die vor einem befindliche Tür an. Vorhersagen über Naturereignisse, zum Beispiel der Wetterbericht, sind formal ebenso aufgebaut.

Dann soll noch der Begriff der „Observablen“ im physikalischen Sinne eingeführt werden. Philosophisch betrachtet ist eine Observable zum Beispiel Qualitäten wie, rot, hart oder heiß. Es ist eine mit menschlichen Sinnen direkt erfahrbare Größe.

Im physikalischen Sinne schießt der Begriff auch Größen wie Temperatur, Stromstärke oder Gewicht mit ein. Diese sind alle mit einfachen Messverfahren zu bestimmen. Mit einer Waage nutzt man zum Beispiel die Proportionalität der von einem Körper auf der Erde ausgeübten Kraft nach unten zu seiner Masse aus. Oder man kann die Stromstärke über die Stärke des erzeugten Magnetfeldes und den damit verbunden Zeigerausschlag in einem Amperemeter messen. Diese Messverfahren werden als einfach angesehen, wobei zu bemerken ist, dass diese Methoden auf Gesetzen basieren. Damit geht man davon aus, dass die verwendeten Gesetze als genügend bestätigt anzusehen sind. Zusammenfassend kann man Observablen im physikalischen Sinne als Größen beschreiben, die über einen genügend großen Raum oder eine genügend lange Zeit konstant sind. Dann spricht man auch von makroskopischen Größen. Mikroskopische Größen wie die Molekularbewegung zählen nicht mehr zu den Observablen. Hier sind die konstanten Raum-Zeit-Intervalle zu kurz, als dass sie mit einfachen Messverfahren bestimmt werden könnten. Es bleibt noch festzuhalten, dass die Trennung nicht eindeutig ist und man sich daher in Einzelfällen erst darüber klar sein muss, wo man eine Größe einordnet.

Unterscheidung theoretischer und empirischer Gesetze

Carnap führt eine Unterteilung der Naturgesetze in theoretische und empirische Gesetze ein, wobei Gegenstand der empirischen Gesetze die Observablen im physikalischen Sinne sind. Im Gegensatz dazu enthalten theoretische Gesetze Ausdrücke über Nicht-Observable, zum Beispiel „Teilchen“ oder „elektromagnetische Welle“.

Empirische Gesetze werden aufgrund beobachteter Tatsachen aufgestellt. Führt man viel einzelne Messungen durch und findet eine Gesetzmäßigkeit im Verhalten der gemessenen Größen zueinander, so kann man über diese Größen ein neues empirisches Gesetz aufstellen. Man versucht dann, diese Gesetzmäßigkeiten möglichst allgemein zu formulieren. Ein theoretisches Gesetz dagegen entsteht aus einer wissenschaftlichen Hypothese und nicht aus Beobachtungen. Man kann beispielsweise noch so viele Temperatur- und Längenmessungen sämtlicher Gegenstände durchführen und würde dadurch trotzdem nicht auf eine Gesetzmäßigkeit in der Molekularbewegung stoßen.

Gesetze haben im Allgemeinen nur einen Sinn, wenn sie wissenschaftlich prüfbar sind. Bei empirischen Gesetzen ist dies einfach zu realisieren, da eine auf diesen Gesetzen beruhende Vorhersage experimentell mit einfachen Verfahren überprüft werden kann. Möchte man das Gesetz über die Wärmeausdehnung überprüfen, kann man die Länge eines Gegenstandes vor und nach erwärmen messen und mit der theoretischen Vorhersage vergleichen. Ein theoretisches Gesetz enthält aber Nicht-Observablen, die eben nicht direkt messbar sind. Es kann also nur indirekt überprüft werden, indem man sich überlegt, dass einige empirische Gesetze gelten müssten, wenn das theoretische Gesetz richtig ist. Diese abgeleiteten Gesetze können dann, wie schon beschrieben, einfach geprüft werden.

Mit beiden Gesetzen kann man Tatsachen erklären und Vorhersagen machen. Darüber hinaus können mit theoretischen Gesetzen empirische Gesetze erklärt, vorhergesagt und verknüpft werden. Mit der Molekularbewegung kann man beispielsweise die Wärmeausdehnung erklären. Wenn sich die Atome schneller und mit größerer Amplitude bewegen, benötigen sie im Mittel mehr Platz, dadurch dehnt sich der Körper aus.

Weiter ist noch zu bemerken, dass theoretische Gesetze zu neuen empirischen Gesetzen führen können. Ausgehend von der Relativitätstheorie ist man auf die Lichtkrümmung in der Nähe großer Massen gekommen.

Theoretische Gesetze werden auch als mikroskopische Gesetze bezeichnet, da sie Aussagen über mikroskopische Größen enthalten. Die empirischen Gesetze werden analog auch als makroskopische Gesetze bezeichnet.

Für beide Gesetze gilt, dass sie immer nur partiell und niemals vollständig und absolut zu bestätigen sind. Es werden immer nur Tatsachen gemessen und man geht davon aus, dass sich die Welt in der Zukunft genau so wie jetzt und in der Vergangenheit verhalten wird.

Die Aussage, dass empirische Gesetze aus theoretischen Gesetzen abgeleitet werden können, ist soweit richtig, jedoch stark vereinfacht und bedarf eine nähere Erläuterung. Wie genau kommt man nun von einem theoretischen Gesetz über die Molekülbewegung zu Gesetzen über Druck, Volumen und Temperatur? Für dieses Ableiten benötigt man noch die *Korrespondenzregeln*, wie Carnap sie bezeichnet.

Korrespondenzregeln

Zum allgemeinen Verständnis sind noch zwei weitere neue Begriffe einzuführen.

Empirische Gesetze enthalten nur Beobachtungs-Terme, also Aussagen über beobachtbare Dinge. Im Gegensatz dazu enthalten theoretische Gesetze nur Theorie-Terme, wie zum Beispiel eine Aussage über die Teilchenbewegung. Diese ist aber wie zuvor schon erwähnt nicht beobachtbar und muss, um die Theorie zu bestätigen, mit einem Beobachtungs-Term verknüpft werden. Hier zum Beispiel mit Druck, Volumen und Temperatur.

Diese Verknüpfungen nennt Carnap „*Korrespondenzregeln*“. Damit können als Beispiel eine elektromagnetische Welle einer Wellenlänge $\lambda=620\text{nm}$ mit der Farbe rot in Verbindung gebracht werden und somit indirekt beobachtet werden. Oder es könne die mittlere Teilchengeschwindigkeit der Atome eines Gases mit der Temperatur in Zusammenhang gebracht werden.

Andere Wissenschaftstheoretiker gehen sogar so weit, von einem Wörterbuch (Theorie-Terme – Beobachtungs-Terme) zu sprechen, allerdings ist diese Bezeichnung mit Vorsicht zu betrachten, da man schnell versucht ist, diese Verknüpfung als Definition aufzufassen. Außerdem müsste man physikalische Größen dann nach ihrem Messverfahren benennen. Es gäbe dann also nicht mehr nur einen Begriff der Stromstärke, sondern einen zu jedem der vielen Messverfahren.

Allgemein kann man sagen, dass ein Theorie-Term einen Beobachtungs-Term erläutern kann, nicht aber umgekehrt. Eisen ist ein Verbund vieler Atome in einer geordneten Struktur. Ein Elektron kann aber nicht mit Beobachtungs-Termen erklärt werden, da es keine Bilder einer Elektron gibt und niemand weiß, welche Farbe es hat oder wie es sich anfühlt. Man kann also Theorie-Terme nicht mit Observablen definieren. Eine Gerade kann näherungsweise mit einer gespannten Schnur beschrieben werden, diese ist aber weder unendlich lang noch ist sie wirklich gerade.

In mathematischen Theorien können die Definitionen vollständig gegeben werden, da kein Bezug zur realen Welt hergestellt wird. Bei physikalischen Theorien müssen aber Elektronen oder Felder

durch Korrespondenzregeln interpretiert werden, um sie mit Observablen zu verknüpfen. Diese „Definitionen“ sind stets unvollständig, da immer neue Zuordnungen gefunden werden. In dieser Unvollständigkeit liegt der generelle Unterschied zur mathematischen Betrachtung. Würde man irgendwann einen Theorie-Term vollständig durch Beobachtungs-Terme erläutern könne, wird dieser quasi per Definition zu einem Beobachtungs-Term.

Mit diesen Regeln erhält man also einen Katalog, in dem man nachschlagen kann, wie man welche Größe indirekt überprüfen kann. Im Laufe der Zeit werden durch neue Erkenntnisse in diesen Katalog immer mehr Daten aufgenommen.

Nun kann man also neue empirische Gesetze aus theoretischen Gesetzen erlangen. Dies kann man sich am besten an einem Beispiel verdeutlichen. Man kann aus einem theoretischen Gesetz über Atome und Elektronen eines Körpers ableiten, dass diese stärker in Schwingung geraten, wenn man den Körper erhitzt. Weiter kann man sagen, dass mit der Schwingung eine bestimmte elektromagnetische Welle verbunden ist, die einem bestimmtem Spektrum oder einer bestimmten Farbe entspricht. Die Änderung des Schwingungszustandes ist also mit einer Änderung des Spektrums verbunden, welches gemessen werden kann. So gewinnt man ein neues empirisches Gesetz, welches die Temperatur des Körpers mit einer Farbe der emittierten Welle verbindet.

Nutzen von theoretischen Gesetzen

Der größte Wert eines theoretischen Gesetzes liegt darin, dass daraus neue empirische Gesetze abgeleitet werden können. Darüber hinaus ist auch die Möglichkeit, schon bekannte empirische Gesetze nun erklären zu können, sehr wertvoll.

Ein weiteres gutes Beispiel des Nutzens sind die Maxwell-Gleichungen der Elektrodynamik. Die aus ihnen abgeleiteten Überlegungen haben zur Entdeckung der elektromagnetischen Strahlung geführt. Da diese Gleichungen auch für Lichtstrahlen gültig sind hat man es geschafft, zwei Teilbereiche der Physik zu verbinden, bzw. durch den einen den anderen zu bestätigen. Das Gleiche ist bei der Betrachtung von Schallwellen als elastische Wellen, die sich im Medium ausbreiten, der Fall ebenso werden bei der Beschreibung der Molekularbewegung, hier Wärmelehre und Mechanik miteinander verbunden.

Außerdem haben theoretische Gesetze einen „ästhetischen“ Wert, sämtliche Formeln der Elektrodynamik können auf die vier Maxwell-Gleichungen zurückgeführt werden.

Man könnte sagen, dass die Naturwissenschaft auf möglichst allgemeine Beschreibungen abzielt. Zum Beispiel schaffte Newton 1670 mit seiner Theorie über die Gravitation die Trennung zwischen Himmelskörpern und irdischen Körpern ab.

Beim Aufstellen neuer Hypothesen für theoretische Gesetze ist zu beachten, dass es „theoretisch“ eine Möglichkeit geben muss diese Gesetze zu bestätigen. Wenn man entsprechende Raumschiffe bauen könnte, könnte man auch die Existenz eines Schwarzen Lochs überprüfen, wohingegen eine Theorie, in der die Welt von einem Wesen höherer Art gelenkt wird, keine Möglichkeit der Bestätigung beinhaltet und somit auch nicht wissenschaftlich ist.