

Carl Gustav Hempel: Der Zusammenhang von Gesetzen und wissenschaftlicher Erklärung

Michael Grevenstette

Inhaltsverzeichnis

1	Was sind wissenschaftliche Erklärungen?	2
2	Form wissenschaftlicher Erklärungen	3
2.1	Deduktiv-nomologische Erklärungen	3
2.2	Induktiv-probabilistische Erklärungen	4
2.3	Universelle Gesetze und akzidentelle Verallgemeinerungen	5
3	Kritik an der von Hempel aufgestellten klassischen Theorie	6

Literatur:

- Hempel, Carl G. (1966): *Philosophy of Natural Science*. Englewood Cliffs, New Jersey, S. 47-69 [¹]
Lambert, Karel u. Gordon G. Brittan (1992): *An Introduction to the Philosophy of Science*. Ridgeview Publishing Company, S. 9-20 [²]

In diesem kurzen Aufsatz soll es um die Hempelsche Theorie wissenschaftlicher Erklärung gehen. Diese wurde während des Seminarvortrags ausführlich vorgestellt, hier soll eine kurze Zusammenfassung erfolgen, die die wesentlichen Kernthemen des Vortrags behandelt und verdeutlicht. Zusätzlich werden auch Elemente der Diskussion während des Vortrags angesprochen.

1 Was sind wissenschaftliche Erklärungen?

Hempel versucht im oben aufgeführten Artikel [1] der Frage nachzugehen, was wissenschaftliche Erklärungen sind, welche Voraussetzungen für diese erfüllt sein müssen und welche Form diese annehmen. In diesem ersten Abschnitt soll es um die Voraussetzungen für wissenschaftliche Erklärungen gehen.

Nach der Auffassung von Hempel gibt es zwei grundlegende Wesensmerkmale bei wissenschaftlichen Erklärungen, d. h. es müssen zwei Basisbedingungen bzw. -forderungen erfüllt sein. Diese sind folgende:

1. *Die Forderung der erklärenden Relevanz*
2. *Die Forderung der Überprüfbarkeit*

Was hat es mit diesen beiden Forderungen auf sich bzw. wie sind diese zu verstehen?

Die Definition, was genau mit "erklärender Relevanz" gemeint ist, gibt Hempel selbst (aus [1], Seite 71):

... die angeführte erklärende Information liefert gute Gründe für die Annahme, dass das zu erklärende Phänomen tatsächlich eintritt oder eintrat.

Das bedeutet, die Beobachtung oder die Tatsache, die erklärt werden soll, muss durch die angeführten Gründe und Beweise klar und einsichtig werden, d. h. die angegebene Begründung ist relevant und aussagekräftig für das zu erklärende Phänomen. Dies soll anhand zweier Beispiele deutlich werden.

Zuerst die Erklärung eines Regenbogens. Dieser kann mit Hilfe der Annahme, dass weißes Licht auf kugelförmige Tropfen fällt und mit Hilfe der Gesetze der Optik für Brechung und Reflexion gedeutet werden. Die in dem weißen Licht enthaltenen Wellenlängen des sichtbaren Lichts werden entsprechend der Abhängigkeit des Brechungsindex des Wassers von der Wellenlänge unterschiedlich gebrochen und reflektiert, woraus die Aufspaltung nach Farben resultiert. Diese Erklärung ist auch für jemanden versteht- und einsehbar, der vorher noch keinen Regenbogen selbst gesehen hat, daher ist diese Erklärung eine, die den von Hempel geforderten ersten Punkt erfüllt.

Das zweite Beispiel ist ein Gegenargument des Astronomen *Francesco Sizi* auf die von Galileo aufgestellte Behauptung, einen Jupitermond entdeckt zu haben. Sizi behauptete, es gäbe keinen Jupitermond und untermauerte dieses durch folgende Behauptung (aus [1], Seite 70):

Es gibt sieben Öffnungen im Kopf, zwei Nasenlöcher, zwei Ohren, zwei Augen und einen Mund; ebenso gibt es im Himmel zwei Sterne, die Gutes verheißen, zwei unheilvolle, zwei leuchtende, und den Merkur allein unentschlossen und indifferent. Hieraus und aus vielen anderen Naturphänomenen, wie den sieben Metallen usw., die aufzuzählen ermüden würde, schließen wir, dass die Anzahl der Planeten notwendigerweise sieben ist... Darüber hinaus sind die Satelliten für das bloße Auge unsichtbar und können deshalb keinen Einfluss auf die Erde haben und wären deshalb nutzlos und existierten deshalb nicht.

Das oben beschriebene "Argument" ist sicherlich keines nach heutigen Maßstäben, da nur Vergleiche aufgezählt werden, die nach unserem Kenntnisstand keinerlei Bezug zueinander und auch zur Problemstellung haben und daher auch keine zufriedenstellende Erklärung geben können. Die Informationen, die hier angegeben werden, erfüllen keine Forderungen, die an erklärende Relevanz gestellt werden, und bringen auch kein in sich korrekt zusammenhängendes logisches Argument. Dennoch erwecken Begriffe wie "deshalb" oder "hieraus ... schließen wir" den Eindruck von logischen Zusammenhängen und relevanter Erklärung.

In diesem Beispiel ist es offensichtlich, dass das Argument unsinnig und nicht relevant für die gegebene Problemstellung ist. Dennoch gibt es Erklärungen, bei denen es nicht so leicht erkennbar ist, ob die Begründung die Forderung der erklärenden Relevanz erfüllt.

Die Forderung nach erklärender Relevanz war die erste Bedingung, die von Hempel an wissenschaftliche Erklärung geknüpft wird. Jedoch ist diese nur eine notwendige Bedingung, d. h. sie reicht noch nicht aus, um wissenschaftliche Erklärungen vollständig zu charakterisieren.

Eine zweite notwendige Forderung ist diejenige nach Überprüfbarkeit, die oben schon angegeben worden ist. Das bedeutet, dass die Formulierungen, die die wissenschaftliche Erklärung beinhalten, einem experimentellen oder empirischen Test zugänglich sein müssen. Diese Forderung muss zumindest prinzipiell erfüllbar sein, denn es gibt Sätze und Aussagen, deren empirische Überprüfung beispielsweise technisch nicht oder nur sehr schwer realisierbar ist. Bei dem oben angeführten Beispiel der Erklärung eines Regenbogens ist die Möglichkeit einer Überprüfung sicherlich sehr leicht gegeben, diese ist nicht nur durch die Beobachtung des Wetterphänomens gegeben, sondern auch immer dann, wenn weißes Licht beispielsweise einer Lampe auf Wassertröpfchen fällt.

2 Form wissenschaftlicher Erklärungen

Im vorhergehenden Abschnitt ging es um die Voraussetzungen für wissenschaftliche Erklärung. In diesem Kapitel soll nun deren Form im Vordergrund stehen, d. h. welche Form diese nach Hempel annehmen sollen. Dabei unterscheidet Hempel zwei grundsätzliche Formen, zum einen deduktiv-nomologische Erklärungen (griechisch: nomos - das Gesetz) und zum anderen induktiv-probabilistische Erklärungen. Beide Formen werden im Folgenden genauer erläutert.

2.1 Deduktiv-nomologische Erklärungen

Diese Art wissenschaftlicher Erklärung soll am Beispiel des so genannten "Torricelli-Barometers" verdeutlicht werden. Dessen Quecksilbersäule nimmt beim Aufstieg eines Berges mit zunehmender Höhe ab. Für diese Phänomen kann man folgenden Lösungsweg skizzieren:

- (a) An jedem Ort ist der Druck, den die Quecksilbersäule in dem geschlossenen Teil des Torricelli-Apparates auf das darunter befindliche Quecksilber ausübt, gleich dem Druck, der auf die Oberfläche des Quecksilbers in dem offenen Gefäß durch die darüber stehende Luftsäule ausgeübt wird.
- (b) Die durch die Quecksilber- und Luftsäulen ausgeübten Drücke sind ihren Gewichten proportional; und je kürzer die Säulen desto geringer ihre Gewichte.
- (c) Als Périer den Apparat auf die Bergspitze trug, wurde die über dem offenen Gefäß stehende Luftsäule stetig kürzer.
- (d) Die Quecksilbersäule in dem geschlossenen Gefäß nahm (deshallb) während des Aufstiegs stetig ab.

An obigem Beispiel soll ein großer Teil derjenigen Erklärungen, die nach Hempel als solche gelten, erläutert werden. Das Phänomen oder der Satz, der erklärt werden soll, ist in (d) angegeben. Man nennt diesen zu erklärenden Satz auch *Explanandum-Satz* oder auch kurz *Explanandum*. Dieser zu erklärende Satz folgt logisch und folgerichtig aus den in (a) bis (c) angegebenen Prämissen, die man *Explanans-Sätze* oder zusammengefasst kurz *Explanans* nennt. Dabei kann man die obigen Prämissen (a) bis (c) noch spezifischer unterteilen. Die ersten beiden Sätze (a) und (b) sind allgemeine Aussagen bzw. Gesetze, die universell und allgemeingültig sind. Dagegen ist Satz (c) eine spezielle Aussage, die man als Randbedingung oder als eine bestimmte besondere Tatsache auffassen kann. Die Sätze (a) bis (c) zusammen bilden dann als *Explanans* die Grundlage zur Erklärung von Satz (d), der dann "deduktiv logisch" aus (a), (b) und (c) folgt. Der Explanandum-Satz ist also die logische Konklusion aus den vorhergehenden Sätzen.

Die allgemeine Form für das deduktiv nomologische Modell sieht folgendermaßen aus:

$$\begin{array}{ccc}
 \text{allgemeine Gesetze} & L_1, L_2, \dots, L_r & \left. \right\} \text{Explanans} \\
 \text{spezielle Fakten} & C_1, C_2, \dots, C_k & \\
 \hline
 \text{Konklusion} & E & \text{Explanandum}
 \end{array} \tag{1}$$

Zu dem Modell, wie es in seinem generellen Aufbau in (1) dargestellt ist, sind noch einige Bemerkungen zu machen. Erstens können die Sätze, die als Explanandum auftreten, wieder allgemeine Aussagen oder

Sätze sein. Diese können als Grundlage (dann im Explanans) für neue Aussagen dienen. Eine zweite Bemerkung zielt auf die Schwierigkeit bzw. das Problem, dass Theorien wie z. B. die Newtonsche Theorie der Gravitation im Laufe der Zeit durch genauere ersetzt werden, also die Allgemeine und Spezielle Relativitätstheorie Einsteins. Da jedoch die Newtonsche Theorie in sehr guter Näherung für viele Problemstellungen erfüllt ist, sollen auch derartige Aussagen bzw. Theorien nach dem deduktiv-nomologischen Modell als Erklärungen zugelassen werden.

Das obige Modell nennt Hempel auch das “covering-law-Modell“ (engl. to cover = umfassen), da die Gesetze, die in den wissenschaftlichen Erklärungen verwendet werden, das Explanandum-Phänomen gleichsam umfassen. Hempel bezeichnet die deduktiv nomologischen Aussagen auch als eine *deduktive Subsumtion* unter allgemeine Gesetze, weil das zu erklärende Phänomen (oder die allgemeine Aussage) eine den im Explanans enthaltenen allgemeinen Gesetzen untergeordnete Aussage ist.

Mit Hilfe der deduktiv-nomologischen Erklärungen ist ein großer Teil der Aussagen, die im wissenschaftlichen Bereich vorkommen, abgedeckt, sie entsprechen damit nach Hempel wissenschaftlichen Erklärungen. Dennoch gibt es zum Beispiel in der Physik oder auch oftmals in der Biologie Gesetzmäßigkeiten, die nur Aussagen über Wahrscheinlichkeiten machen. Um diese große Klasse von Gesetzen soll es im Folgenden gehen.

2.2 Induktiv-probabilistische Erklärungen

Wie im vorherigen Unterkapitel soll dieser Typus wissenschaftlicher Erklärung mit Hilfe eines Beispiels eingeführt und daran anschaulich erläutert werden. In diesem Fall geht es um eine Erklärung, die Sätze, Argumente oder Tatsachen mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsthesen verknüpft:

- (a) Die Wahrscheinlichkeit, dass Menschen, die den Masern ausgesetzt sind, sich anstecken, ist sehr hoch.
- (b) Tim war den Masern ausgesetzt, denn der Rest seiner Familie hatte Masern.
- (c) Tim hat sich mit Masern infiziert.

Beim Vergleich mit dem obigen Beispiel fällt auf, dass die Art und Weise der Darstellung bzw. der Argumentation ähnlich ist. Jedoch kann in diesem Fall das Explanandum-Phänomen (c) nur mit einer hohen Wahrscheinlichkeit erklärt werden, eine endgültige logische Folgerung von (c) aus dem Explanans (a) und (b) ist nicht möglich, denn Tim könnte sich noch auf andere Weise mit den Masern infiziert haben als bei seiner Familie. Aus diesem Grund ist das deduktiv-nomologische Modell aus dem vorherigen Kapitel nicht mehr anwendbar, denn dort folgt das Explanandum immer logisch zwingend aus dem Explanans, was in den Fällen, in denen probabilistische Aussagen getroffen werden, nicht möglich ist. Daher muss für diese Art wissenschaftlicher Erklärungen ein modifiziertes Modell gefunden werden. Dies ist das *induktiv probabilistische Modell* von Hempel, welches in allgemeiner Form wie folgt aussieht:

$$\begin{array}{ccc}
 \text{allg. (probab.) Gesetze} & L_1, L_2, \dots, L_r & \left. \right\} \text{Explanans} \\
 \text{spezielle Fakten} & C_1, C_2, \dots, C_k & \left. \right\} \text{Explanans} \\
 \hline
 \text{Konklusion} & E & \text{Explanandum} \\
 & & \text{[macht sehr wahrscheinlich]}
 \end{array} \tag{2}$$

Das obige Modell ist insofern eine Modifikation des Modells 1 (vgl. S. 3), als an die Stelle der allgemeinen Gesetze die allgemeinen Aussagen probabilistischer Art treten und das Explanandum nur noch mit einer hohen Wahrscheinlichkeit aus dem Explanans folgt anstatt logisch deduktiv wie im Modell 1.

Bei diesen Aussagen induktiv-probabilistischer Art sind einige Bemerkungen zu machen. Bei den Wahrscheinlichkeitsaussagen handelt es sich um induktive (logische) Wahrscheinlichkeiten, die von statistischen

Wahrscheinlichkeiten unterschieden werden müssen. Letztere machen Aussagen über die Wahrscheinlichkeitsverteilungen bei gleichartigen Ereignissen, zum Beispiel beim wiederholten Ziehen gleichartiger Kugeln aus einer Urne und der dabei gefundenen Verteilung von beispielsweise schwarzen oder roten Kugeln. Dagegen machen induktive (logische) Wahrscheinlichkeiten immer Aussagen über die Beziehung von Erklärungen, Argumenten oder auch Gesetzen. Für die beiden angesprochenen Wahrscheinlichkeiten gibt es auch Gemeinsamkeiten, so sind die mathematischen Regeln für beide dieselben (beispielsweise ist die Wahrscheinlichkeit nie größer als 1, usw.).

Bei diesem Typus von wissenschaftlicher Erklärung ist natürlich der Begriff der hohen Wahrscheinlichkeit noch genauer zu spezifizieren. Für diesen Begriff gibt es keine mathematische Definition, auch wenn es beispielsweise in der Physik Begriffe wie Unsicherheit sowie Standardabweichung gibt. Da eine hohe Wahrscheinlichkeit jedoch eine subjektive Aussage darstellt, sind kontroverse Diskussionen über die Aussagekraft probabilistischer Erklärungen zu erwarten. Das bedeutet, dass bei diesen Erklärungen auch immer zu hinterfragen ist, wann eine hohe Wahrscheinlichkeit vorliegt, z. B. wenn es um Aussagen in der Medizin über Heilungschancen oder auch Nebenwirkungen eines bestimmten Medikaments geht. In diesem Zusammenhang spielt es dann eine große Rolle, welche Abweichungen es gibt und wie häufig diese auftreten. Daher kann man auch, anstatt eine hohe Wahrscheinlichkeit zu fordern, die konkrete Wahrscheinlichkeit angeben, falls dies möglich ist.

Um beide Modelle abschließend zu charakterisieren, kann man sagen, dass die deduktiv-nomologischen Erklärungen eine deduktive Subsumtion unter Gesetze universeller Art darstellen, wohingegen die induktiv-probabilistischen Erklärungen eine induktive Subsumtion unter Erklärungen probabilistischer Art darstellen.

2.3 Universelle Gesetze und akzidentelle Verallgemeinerungen

In diesem Unterkapitel geht es wiederum um die deduktiv-nomologischen Erklärungen. In Kapitel 2.1 wurde erklärt, dass universelle (allgemeine) Gesetze als Explanandum aus dem Explanans folgen können. Universelle Gesetze oder auch Erklärungen werden als *wahre* Aussagen anerkannt, man spricht auch von wahren Naturgesetzen und nicht von falschen. Das Problem an dieser Sache ist, dass wahre Aussagen im Umkehrschluß nicht notwendigerweise wissenschaftliche Erklärungen darstellen. Man nennt solche Aussagen oder Sätze akzidentelle Verallgemeinerungen, also Sätze, die wie im folgenden Beispiel zufällig wahr sind:

Alle Steine in dieser Kiste enthalten Eisen.

Die akzidentelle Verallgemeinerung stellt nach unseren subjektiven Maßstäben keine wissenschaftliche Erklärung dar, allerdings könnte sie nach Hempelschen Modell der Erklärung als solche gelten. Wie können solche zufälligen Verallgemeinerungen als wissenschaftliche Erklärungen ausgeschlossen werden? Wie kann man wissenschaftliche Erklärungen noch genauer charakterisieren?

Eine erste Bedingung für wissenschaftliche Erklärungen ist, dass diese auch *irreale Konditionalsätze* stützen sollen. Diese Forderung erfüllen akzidentelle Verallgemeinerungen im Allgemeinen nicht, denn der Satz

Wenn ich der Kiste noch einen weiteren Stein hinzufügen würde, dann enthielte auch dieser Eisen.

ist nicht notwendigerweise wahr, das bedeutet, man kann mit Hilfe dieser Bedingung schon eine große Anzahl akzidenteller Verallgemeinerungen ausschließen.

Ein weiteres Charakteristikum zufälliger Verallgemeinerungen ist, dass diese nicht als Grundlage für neue wissenschaftliche Erklärungen (im Explanans) dienen können. Die Aussagekraft zufälliger Verallgemeinerungen ist sehr gering und trägt dem Argument von erklärender Relevanz keine Rechnung.

3 Kritik an der von Hempel aufgestellten klassischen Theorie

In diesem Kapitel geht es um Kritikpunkte, insbesondere auch aus der Diskussion während des Seminarvortrags, an der von Hempel aufgestellten so genannten klassischen Theorie. Diese ist im Buch von *Lambert und Brittan* [2] formuliert. Die beiden Autoren versuchen auch Ansatzpunkte für die Rechtmäßigkeit und auch die Widerlegung dieser Kritik zu geben. Die Theorie nach Hempel sei zwar sehr erfolgreich (was auch die beiden Autoren bestätigen), jedoch gibt es einige Ansätze zur Kritik.

Zum einen lässt die Theorie nach Hempel Erklärungen zu, die Verknüpfungen zwischen Gesetzen herstellen, zwischen denen kein kausaler Zusammenhang besteht. Als Beispiel kann hier die Gesetz über die Gravitationswechselwirkung von Mond und Erde bekannt sein. Damals konnten nur Regelmäßigkeiten zwischen den obigen Ereignissen gegeben werden, allerdings würden diese Regelmäßigkeiten nach Hempel als Grundlage für wissenschaftliche Erklärung hinreichen.

Als Reaktion auf diese Kritik gibt es nach Lambert und Brittan zwei Antwortversuche. Einerseits wird die Kritik als unbegründet abgewiesen, weil Hempel in seinem Modell keine Forderung an einen kausalen Zusammenhang stellt, er möchte stattdessen nur Regelmäßigkeiten feststellen. Andererseits kann die Kritik als berechtigt angenommen werden, jedoch stellt sich dann die Frage nach dem Begriff der Kausalität bzw. nach Kausalgesetzen. Diese Begriffe und auch deren Anwendbarkeit sind noch ungeklärt und wurden zum Teil auch während des Seminars schon behandelt.

Während des Seminarvortrags gab es eine kontroverse Diskussion um die fehlende Kausalitätsforderung in Hempels Modell begleitet mit der Anregung, dass Modell in dieser Hinsicht zu erweitern.

Ein weiterer Kritikpunkt, den Lambert und Brittan ansprechen, bezieht sich darauf, dass nach der klassischen Theorie der Erklärung auch irrelevante Informationen als Grundlage für wissenschaftliche Erklärungen und Gesetze diesen können. Ein Beispiel hierfür ist, dass einem Marsmenschen, der sich seit langem auf der Erde befindet, das Phänomen, dass Männer nicht schwanger werden können, dadurch erklärt wird, dass alle Männer eine Anti-Baby-Pille nähmen und dieses der Grund sei, dass es nicht zu einer Schwangerschaft komme. Diese Information ist sicher irrelevant für das angesprochene Problem und nach unseren Maßstäben auch falsch, denn allein biologische Gründe sind dafür verantwortlich, jedoch ist die gesamte Erklärung nach Hempel der Form nach korrekt und müsste als wissenschaftliche Erklärung gelten.

Dieser Kritikpunkt wurde während des Seminars ausführlich diskutiert, denn die Tatsache, dass überhaupt irrelevante Informationen für wissenschaftliche Erklärungen zugelassen werden können, stand nach

Meinung vieler Zuhörer im Widerspruch zu den Aussagen, die Hempel in Kapitel 1 in Zusammenhang mit der Forderung der erklärenden Relevanz macht. Eine abschließende Lösung hinsichtlich dieses Kritikpunktes wurde jedoch nicht gefunden.

Meiner Meinung nach ist abschließend zu sagen, dass ich das Hempelsche Modell für wissenschaftliche Erklärungen im Bereich der Physik für sehr erfolgreich erachte, das bedeutet, Hempels Modell kann meiner Meinung nach auf beinahe jede physikalische Erklärung angewendet werden. Bei den im vorherigen Kapitel angesprochenen Kritikpunkten hinsichtlich der nichtgeforderten Kausalität sollte Hempels Theorie meiner Ansicht nach präzisiert werden, denn, obwohl Physiker oft auch nur Regelmäßigkeiten beobachten und diese dann beschreiben, so ist es zu erstreben, zwischen den Aussagen, die die Erklärung bilden, einen kausalen Zusammenhang zu finden. Der zweite Kritikpunkt, dass irrelevante Informationen als Grundlage für wissenschaftliche Erklärung dienen können, muss meiner Ansicht nach durch eine präzisere Fassung des Modells auszuschließen sein.