

Die Struktur der wissenschaftlichen Erklärung

Der Begriff der **Erklärung** hat in der Umgangssprache sehr verschiedene Bedeutungen: In dem berühmten Film „Die Feurzangenbowle“ *erklärt* der Physiklehrer „die Dampfmaschine“ („do stelle mer uns janz domm...“); ein Staat kann einem anderen den Krieg *erklären*, ein Präsident *erklärt* die Olympischen Spiele für eröffnet, ein Kind fragt: „*Erklär* mir doch mal, was `Kompromiss` bedeutet.“ oder „Können Sie mir *erklären*, wie ich zum Bahnhof komme.“ Erklären kann also so viel wie Auseinandersetzen, Erläutern, Deklarieren, Proklamieren, Definieren oder noch manches andere bedeuten.

In den Wissenschaften versteht man jedoch unter einer **Erklärung oder Explikation** eine ganz spezifische Antwort auf eine Warum-Frage, nicht auf eine Wie- oder Was-Frage. Erklärt werden in den Wissenschaften ausschließlich **Ereignisse**, nicht aber Gegenstände, Eigenschaften oder Begriffe. Wie aber kann die Frage „Warum hat sich das Ereignis E ereignet?“ beantwortet, E also erklärt werden?

Carl Gustav HEMPEL und Paul OPPENHEIM haben 1948 in ihrer Publikation "*Studies in the Logic of Explanation*" eine Struktur beschrieben, die seither als das sogenannte **HEMPEL-OPPENHEIM-Schema** oder auch unter dem Namen Deduktiv-Nomologisches Modell (Covering law model) bekannt ist. Dieses lässt sich in aller Kürze wie folgt beschreiben:

Das deduktiv-nomologische Modell erklärt ein Ereignis oder einen Sachverhalt, indem es zeigt, daß das Ereignis / der Sachverhalt aus einem allgemeinen Gesetz und einer Reihe spezieller Umstände (Anfangsbedingungen) gefolgert werden kann. Eine Erklärung hat demnach folgende Struktur:

1. Allgemeines Gesetz: Falls die Ereignisse a des Typs A, b des Typs B, ... und n des Typs N eintreten, dann wird Ereignis x des Typs X eintreten.
2. Initialbedingungen:
Es treten die Ereignisse a des Typs A, b des Typs B, ... und n des Typs N ein.

3. Ereignis x des Typs X tritt ein.

Wenn 1. gilt und 2. zutrifft, dann ist 3. erklärt.

Mario Bunge erläutert hierzu: "...the scientific explanation of a fact consists, from a *logical* point of view, in showing that it is an *instance* of a general law. In turn, the scientific explanation of a uniformity or regularity will, when available, consist in its deduction from a higher-level law, that is, in its subsumption under a statement of greater generality." ¹

¹ Mario Bunge. *Causality and Modern Science*. New York 1979.

Tatsächlich jedoch ist die Struktur einer Erklärung etwas komplexer als es sich zunächst anhört. Um sie genau zu verstehen, wird dem Leser empfohlen, die Datei mit diesem Text noch ein zweites Mal auf den Bildschirm zu laden, um zwischen der nachfolgenden Beschreibung und der Graphik auf der folgenden Seite hin- und herwechseln zu können.²

Wir beginnen – ziemlich weit unten in der Graphik – mit den rot gezeichneten Symbolen für die **Ereignisse E1 und E2**. Streng genommen hätten wir zwischen den *objektiven* Ereignissen und ihren *Beobachtungen* noch unterscheiden müssen, haben dies aber vermieden, um die Graphik nicht allzu unübersichtlich zu machen. Mit E1 und E2 sind also zwei Ereignisse gemeint, die ein Beobachter wahrnimmt.³ Der Beobachter nimmt ferner wahr, dass die beiden Ereignisse **zeitlich auf einander folgen**. E1 ereignet sich zum Zeitpunkt t1 und E2 (später) zum Zeitpunkt t2. Die einzige beobachtbare Relation zwischen E1 und E2 ist demnach die einer zeitlichen **Sukzession**. Deswegen wird E1 auch als **Antezedent** und E2 als **Sukzedent** bezeichnet.

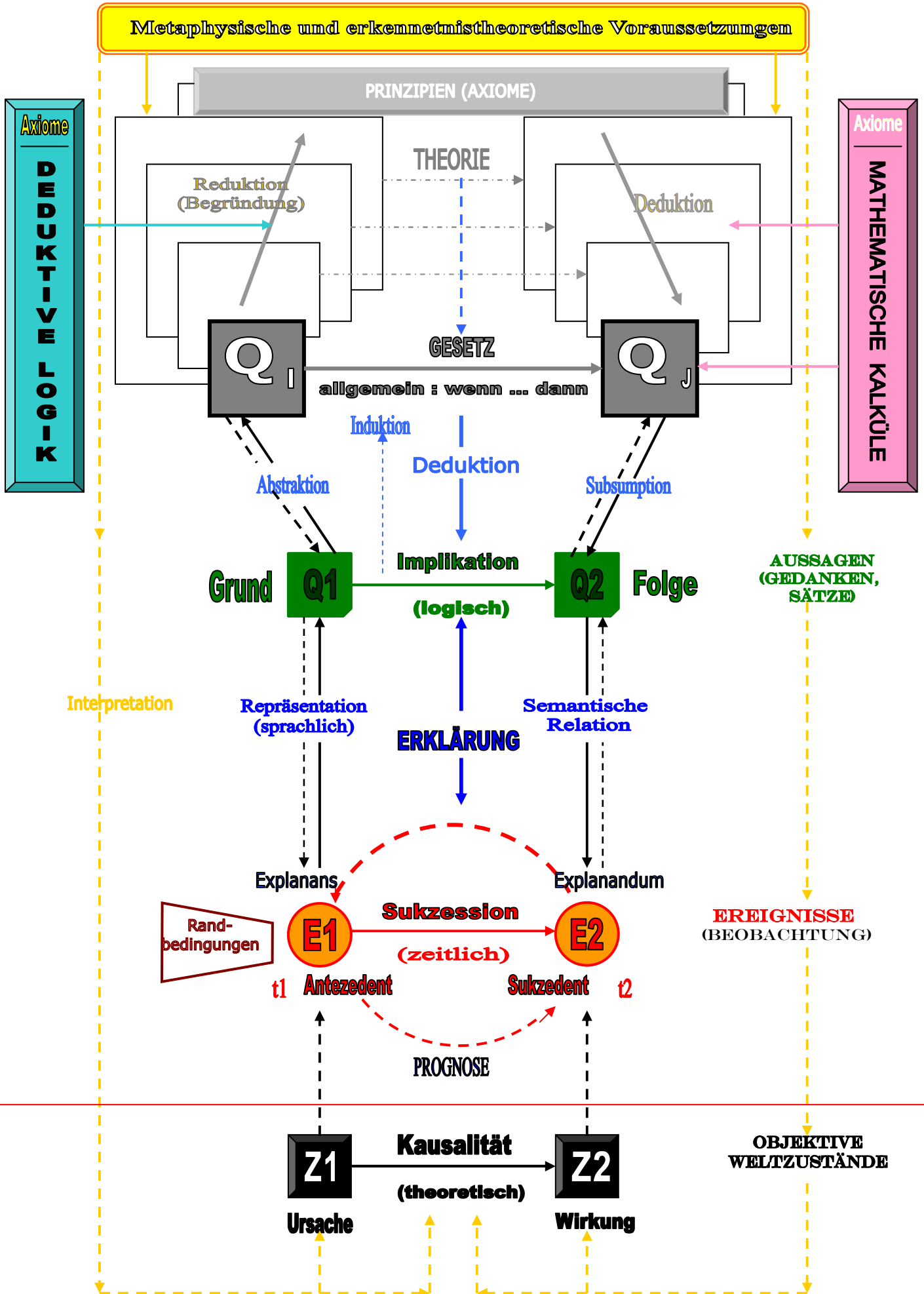
Wir haben der Einfachheit halber hier nur einen einzigen Antezedenten angenommen: E1. Das HEMPEL-OPPENHEIM-Schema schließt jedoch auch die Möglichkeit ein, dass es mehrere verschiedene und von einander unabhängige Antezedenten (Ereignisse) geben kann, die dem Sukzedenten zeitlich vorausgehen. So wird zum Beispiel das Anzünden eines Streichholzes (1. Antezedent) für gewöhnlich keinen Großbrand auslösen, wohl aber dann, wenn die Luft in dem betreffenden Raum mit einem explosiven Gasgemisch gefüllt wurde (Antezedent 2). Was jeweils geschieht, wenn beide (oder mehrere) Antezedenten eingetreten sind, kann überdies noch von bestimmten Randbedingungen abhängen.

Ereignisse im hier verstandenen Sinn sind stets **Wahrnehmungen** eines Beobachters, und Wahrnehmungen sind keine Gedanken! Um zu einer Erklärung für das Eintreten von E2 zu gelangen, müssen diese Beobachtungen zunächst gleichsam übersetzt werden in sprachliche **Aussagen** (deskriptive Sätze). Die sprachliche Beschreibung für das Ereignis E1 könnte dann zum Beispiel lauten: „Das Gas in dem Behälter X wurde um die Hälfte seines Volumens komprimiert.“(Q1) Und die für E2 könnte dann lauten: „Die Temperatur innerhalb des Behälters X ist um y Grad Celsius gestiegen.“ (Q2)

Die Beziehung, durch die man von der Wahrnehmung oder Beobachtung E1 bzw. E2 zu den entsprechenden Aussagen Q1 und Q2 gelangt, ist die einer **sprachlichen Repräsentation**. Umgekehrt bezeichnet man die Relation der

² Wenn die Graphik auf Ihrem Computer nicht korrekt angezeigt wird, rufen Sie die Bilddatei „Erklärung Schema“ auf, die sich im Ordner „Ergänzungen“-„Bilder“ befindet!

³ Alles was sich in der Graphik oberhalb der horizontalen roten Linie befindet, gehört dem **Subjekt-Bereich** an, der auch in den übrigen Graphiken zur Vorlesung stets rot markiert wurde – im Unterschied zur sogenannten **objektiven „Außenwelt“**, die stets schwarz gezeichnet wurde (wie auch hier).



Aussagen Q_1 und Q_2 zu den Ereignissen E_1 und E_2 , auf die sie sich beziehen, als **semantische Relation**: E_1 ist die **Bedeutung** von Q_1 .

Erklärt werden soll, warum E_2 eingetreten ist, nachdem E_1 eintrat. E_2 heißt daher auch das **Explanandum** (das zu Erklärende) und E_1 das **Explanans** (das Erklärende). E_2 kann aber *aus* E_1 nur dann erklärt werden, wenn zwischen den diese Ereignisse beschreibenden Aussagen Q_1 und Q_2 eine **logische Verknüpfung** hergestellt werden kann, die man als **Implikation** bezeichnet: Q_1 heißt dann der **Grund** und Q_2 die **Folge** (oder Folgerung). Dies ist jedoch nur dann möglich, wenn ein allgemeines **Gesetz** existiert, das die **Klasse** aller entsprechenden Aussagen Q_i ⁴ mit der Klasse aller Aussagen Q_j gemäß einer „Wenn...dann“-Beziehung miteinander verbindet. Im Beispielfalle könnte diese gesetzmäßige Verknüpfung (vereinfacht) etwa lauten: „Wenn man ein Gas komprimiert, dann erhöht sich seine Temperatur.“ Der „Wenn“-Teil dieses Gesetzes (Q_i) bezieht sich auf die Klasse oder Menge beliebiger Kompressionen *aller beliebigen* Gase, die Aussage Q_1 hingegen nur auf ein ganz spezifisches Gas, nämlich konkret jenes, welches man beobachtet hat, sowie auf die spezielle Verdichtung desselben, die durch E_1 beschrieben wird. Man gelangt also von Q_1 zu Q_i durch Verallgemeinerung oder **Abstraktion**; umgekehrt können Q_1 bzw. Q_2 als Spezialfälle den allgemeinen Aussageklassen Q_i bzw. Q_j subsumiert werden (**Subsumption**): Q_2 etwa *fällt unter* Q_j .

Nach Auffassung der Empiristen gelangt man zu dem jeweiligen Gesetz durch **Induktion**, nachdem man viele Male – unter systematischer Variation der Randbedingungen – beobachtet hat, dass nach dem Auftreten von E_1 stets (und ohne Ausnahme) E_2 eintritt. Heute dominiert indessen die rationalistische Auffassung, wonach das fragliche Gesetze durch **Deduktion** aus einer übergreifenden (und der Beobachtung vorausgehenden) **Theorie** hergeleitet werden muss. Eine Theorie ist ein hierarchisches und widerspruchsfreies System von Aussage-Verknüpfungen *unterschiedlichen Allgemeinheitsgrades*: in der Graphik haben wir die noch allgemeineren Satzklassen, aus denen das Gesetz „Wenn Q_i , dann Q_j “ deduktiv folgt, durch einige übereinander geschachtelte ‚Kästen‘ symbolisiert. In unserem Beispiel müsste das Gesetz etwa aus der Kinetischen Gastheorie, aus der Statistischen Mechanik oder der Allgemeinen Theorie der Thermodynamik ableitbar sein. Jede Theorie fußt ihrerseits auf einer begrenzten Anzahl von Grundannahmen oder Prinzipien (die Klassische Mechanik etwa auf NEWTONS drei Fundamentalgesetzen). Alle Aussagenverknüpfungen der Theorie müssen sich aus diesen Prinzipien oder Axiomen durch logische **Deduktion** ableiten lassen; oder umgekehrt ausgedrückt: jede speziellere Gesetzhypothese muss sich auf jene Prinzipien zurückführen lassen (**Reduktion** oder **Begründung**). Der logische Kalkül, der diesen formalen Zusammenhang verbürgt, ist der der **Deduktiven Logik**, welcher seinerseits auf drei **Axiomen** basiert.

⁴ Dieses Zeichen ist ein Mengensymbol mit Doppelstrich. Falls Sie es auf Ihrem Computer nicht sehen können, müssen Sie die Schrifttype (Font) „Mathmeng“ installieren. Das Installationsprogramm – mit Anleitung – findet sich unter <http://grossmann.info/mathmtf.htm>.

Besonders in der Physik werden Theorien zudem in mathematischer Sprache formuliert. Dabei wird zumeist ein spezieller **mathematischer Kalkül** verwendet: etwa die Matrizenalgebra in der HEISENBERGSchen Formulierung der Quantentheorie oder die RIEMANNSche Geometrie in EINSTEINS Relativitätstheorie. Auch der jeweilige mathematische Formalismus ist stets ein deduktives System, das aus einer begrenzten Anzahl von spezifischen **Axiomen** entwickelt wird.

In unserer Graphik sind wir jetzt fast ganz oben angelangt; aber um von dort wieder hinunter zu gelangen, müssen wir auf die Inschrift „**Metaphysische und erkenntnistheoretische Voraussetzungen**“ achten. *Jede* Theorie, die Aussagen über die empirische Welt macht, beruht auf Annahmen, die insofern metaphysisch sind als sie weder beweisbar noch widerlegbar sind. Hierzu gehören u. a. alle Annahmen, die unterstellen, dass das Universum geordnete Strukturen aufweist, oder jene, die davon ausgehen, dass der menschliche Verstand in der Lage sei, diese Strukturen (mehr oder minder) zuverlässig zu erkennen. Von besonderer Bedeutung ist in unserem Zusammenhang die ontologische Grundannahme, dass es im Kosmos so etwas wie **Kausalität** gebe. Kausalität selbst ist niemals beobachtbar, und es ist unmöglich, ein Experiment zu ersinnen, durch welches sich ‚Kausalität‘ etwa empirisch nachweisen ließe. Wenn es uns jedoch gelungen ist, das Ereignis E2 (das Explanandum) durch Rückgriff auf ein allgemeines, theoretisch deduziertes Gesetz aus E1 (dem Explanans) zu erklären, dann *deuten* wir den Zusammenhang zwischen E1 und E2 im Lichte unserer metaphysisch-ontologischen Grundannahmen *als kausal*. Das heißt: Wir **interpretieren** die rein zeitliche Sukzession von E1 und E2 als Ausdruck einer transzendentalen **Kausalrelation** zwischen **objektiven Weltzuständen Z1** und **Z2**, wobei wir den ersten als **Ursache**, den zweiten als **Wirkung** charakterisieren.⁵

Unter der Annahmen eines solchen subjektunabhängigen und subjekt-jenseitigen **Kausalnexus** können wir die Relation zwischen Explanandum und Explanans auch *umkehren* und beim Auftreten eines Ereignisses vom Typus E1 *vorhersagen*, dass darauf ein Ereignis vom Typus E2 eintreten wird. Eine **Prognose** ist nichts anderes als die logische Umkehrung einer Erklärung. Eine Erklärung führt das Auftreten eines Sukzedenz-Ereignisses unter Angabe des jeweiligen Gesetzes auf einen oder mehrere Antezedenten zurück; eine Prognose sagt unter Bezug auf das nämliche Gesetz das Auftreten des Sukzedenten voraus, wenn der Antezedent oder die Antezedenten, der/die das Gesetz fordert, eingetreten sind.


Am wichtigsten ist, dass man die **kausale** Relation zwischen Z1 und Z2 niemals mit der **zeitlichen** Relation zwischen E1 und E2 und auch nicht mit der **logischen** Relation zwischen Q1 und Q2 verwechselt!

⁵ In den exakten Naturwissenschaften ist der mathematische Ausdruck einer strengen Kausalbeziehung für gewöhnlich eine Differentialgleichung. Behauptete Kausalzusammenhänge, die sich nicht auf eine solche mathematische Beschreibung bringen lassen, sind zweifelhaft, im Grunde nicht einmal ernst zu nehmen. Dies gilt im besonderen für den Psychologischen Determinismus.

Umberto Maturana und Francisco Varela haben in ihrem System den Begriff der Erklärung und die Struktur der ihm zugrundeliegenden Prozedur erheblich modifiziert (Maturana/Varela 1987, p. 34 f.)

„Eine Erklärung ist immer ein Satz, der Beobachtungen eines Phänomens in einem System von Konzepten neu formuliert oder neu schafft, welche für eine Gruppe von Personen, die ein Validitätskriterium teilen, annehmbar sind. Die Magie zum Beispiel hat denselben Erklärungswert für diejenigen, die sie akzeptieren, wie die Wissenschaft für diejenigen, die diese akzeptieren. Der spezifische Unterschied zwischen der magischen und der wissenschaftlichen Erklärung liegt in der Art, wie ein wissenschaftliches Erklärungssystem erzeugt wird. Diese Art bildet in der Tat sein Validitätskriterium. So können wir im wesentlichen vier Bedingungen unterscheiden, die beim Aufstellen einer wissenschaftlichen Erklärung erfüllt sein müssen. Dies braucht nicht notwendigerweise in der angegebenen Sequenz, sondern kann in überlappender Anordnung geschehen:

- a) Beschreibung von dem (den) zu erklärenden Phänomenen) in einer für die Gemeinschaft der Beobachter annehmbaren Weise.
- b) Aufstellung eines Systems von Konzepten, das fähig ist, das zu erklärende Phänomen in einer für die Gemeinschaft der Beobachter annehmbaren Weise zu erzeugen (explikative Hypothese).
- c) Ausgehend von b) Ableitung von anderen in dieser Aufstellung nicht explizit berücksichtigten Phänomenen, sowie Beschreibung der Beobachtungsbedingungen in der Gemeinschaft der Beobachter.
- d) Beobachtung dieser aus b) abgeleiteten Phänomene.



Erklärung des Erkennens

- I. Zu erklärendes Phänomen: effektive Handlung des Lebewesens in seinem Milieu.
- II. Explikative Hypothese: autonome Organisation des Lebewesens; phylogenetisches und ontogenetisches Driften unter Erhaltung der Anpassung (strukturelle Koppelung).
- III. Ableitung anderer Phänomene: Verhaltenskoordination der rekursiven Interaktionen zwischen Lebewesen sowie rekursive Verhaltenskoordination über die Verhaltenskoordination.
- IV. Zusätzliche Beobachtungen: soziale Phänomene, sprachliche Bereiche, Sprache und Selbstbewußtsein.

Erkennen

Erkennen ist effektive Handlung, das heißt, operationale Effektivität im Existenzbereich des Lebewesens.

Eine Erklärung ist somit nur dann eine wissenschaftliche Erklärung, wenn sie dieses Validitätskriterium erfüllt, und eine Behauptung ist nur dann eine wissenschaftliche Behauptung, wenn sie auf wissenschaftlichen Erklärungen gründet.

Dieser Zyklus von vier Komponenten ist unserem alltäglichen Denken nicht fremd. Wir benutzen ihn häufig, wenn wir solch unterschiedliche Phänomene wie eine Autopanne oder Präsidentschaftswahlen erklären wollen. Wissenschaftler bemühen sich vornehmlich darum, grundsätzlich konsistent und explizit in jedem ihrer Schritte zu sein und Dokumente darüber zu hinterlassen, die eine Tradition schaffen, welche über eine Person oder eine Generation hinausreicht.