

# Deduktion, Induktion, Abduktion und ihre Kombinationen

## Zur logischen Architektur wissenschaftlicher Erkenntnis

15. August 2026

© [Norbert Rieser](#)

### **Zusammenfassung**

Wenn ich wissenschaftliches Denken auf seine logische Struktur hin untersuche, erscheint mir die verbreitete Gegenüberstellung von Deduktion und Induktion als unzureichend. Wissenschaftliche Erkenntnis entsteht weder durch ein einziges Schlussverfahren noch durch eine einfache lineare Methode. Vielmehr greifen deduktive, induktive und abduktive Inferenzen ineinander; hinzu kommen probabilistische, analogische, kausale und nichtmonotone Formen des Schließens. Dabei ist eine begriffliche Differenzierung notwendig: Modus ponens und Modus tollens sind konkrete deduktive Schlussregeln, während Bayessches Schließen ein probabilistisches Verfahren der Evidenzaktualisierung darstellt und Kausalinferenz eine eigene Klasse inferentieller Probleme betrifft. In diesem Essay untersuche ich diese Formen mathematisch und wissenschaftstheoretisch. Ich vertrete die These, dass wissenschaftliche Erkenntnis am angemessensten als iterativer Zyklus aus Hypothesenerzeugung, Konsequenzableitung, empirischer Prüfung und probabilistischer Revision verstanden werden kann. Abduktion erzeugt dabei erklärende Hypothesen, Deduktion entwickelt aus ihnen überprüfbare Konsequenzen, Induktion verallgemeinert empirische Befunde und probabilistische Verfahren quantifizieren die Stärke der Evidenz.

## Inhaltsverzeichnis

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 1 Einleitung .....                                            | 3  |
| 2 Schlussform, Schlussregel und Evidenzverfahren.....         | 3  |
| 3 Deduktion und logische Gültigkeit.....                      | 4  |
| 3.1 Modus ponens .....                                        | 5  |
| 3.2 Modus tollens .....                                       | 5  |
| 3.3 Hypothetischer und disjunktiver Syllogismus.....          | 6  |
| 3.4 Deduktive Gültigkeit und Wahrheit .....                   | 7  |
| 4 Induktion und das Problem der Verallgemeinerung.....        | 7  |
| 5 Abduktion und die Erzeugung erklärender Hypothesen.....     | 8  |
| 6 Analogisches Schließen.....                                 | 9  |
| 7 Bayessches Schließen und probabilistische Evidenz.....      | 10 |
| 8 Kausalinferenz und Intervention .....                       | 12 |
| 9 Nichtmonotones und revidierbares Schließen .....            | 13 |
| 10 Die Kombination der Schlussformen in der Wissenschaft..... | 14 |
| 11 Das Duhem-Quine-Problem .....                              | 15 |
| 12 Mathematische Induktion als Sonderfall .....               | 16 |
| 13 Eine formale Synthese wissenschaftlichen Schließens .....  | 17 |
| 14 Schlussbetrachtung .....                                   | 18 |
| Literatur- und Quellenverzeichnis.....                        | 20 |

# 1 Einleitung

Wenn ich frage, wie wissenschaftliche Erkenntnis zustande kommt, frage ich letztlich danach, wie aus bereits vorhandenem Wissen neues Wissen gewonnen wird. Genau hier setzt die Theorie des logischen und wissenschaftlichen Schließens an. Die einfachste Antwort wäre, zwischen **Deduktion** und **Induktion** zu unterscheiden. Diese Zweiteilung greift jedoch zu kurz. In der Wissenschaft muss ich nicht nur aus allgemeinen Regeln Konsequenzen ableiten oder aus einzelnen Beobachtungen Verallgemeinerungen bilden. Ich muss zunächst überhaupt auf Hypothesen kommen, konkurrierende Erklärungen miteinander vergleichen, Unsicherheit quantifizieren, kausale von bloß statistischen Zusammenhängen unterscheiden und Schlussfolgerungen gegebenenfalls wieder zurücknehmen.

Die moderne Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie unterscheidet deshalb verschiedene inferentielle Verfahren. Besonders wichtig ist neben Deduktion und Induktion die von Charles Sanders Peirce systematisch ausgearbeitete **Abduktion**, also die Bildung erklärender Hypothesen.<sup>1</sup> Peirce fasste wissenschaftliche Forschung als Zusammenspiel von Abduktion, Deduktion und Induktion auf: Eine Hypothese wird zunächst erzeugt, anschließend werden aus ihr Konsequenzen abgeleitet und schließlich empirisch geprüft.<sup>2</sup>

Ich halte dieses Modell für besonders fruchtbar, möchte es jedoch erweitern. Moderne Wissenschaft arbeitet zusätzlich mit Wahrscheinlichkeitstheorie, statistischer Inferenz, Bayesscher Aktualisierung und formalen Methoden der Kausalinferenz. Mein Ziel ist deshalb nicht, eine immer längere Liste verschiedener „Logiken“ aufzustellen. Entscheidend ist vielmehr, ihre unterschiedlichen Funktionen innerhalb wissenschaftlicher Erkenntnis auseinanderzuhalten. Ich werde daher zunächst die Ebenen von Schlussform, Schlussregel und Evidenzverfahren trennen und anschließend zeigen, wie die verschiedenen Formen des Schließens in einem wissenschaftlichen Erkenntniszyklus ineinandergreifen.

---

<sup>1</sup> Vgl. Igor Douven, „Abduction“, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, substantive Revision 18. Juni 2025, <https://plato.stanford.edu/entries/abduction/> (Zugriff: 15. August 2026).

<sup>2</sup> Vgl. Robert Burch, „Charles Sanders Peirce“, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/peirce/> (Zugriff: 15. August 2026).

## 2 Schlussform, Schlussregel und Evidenzverfahren

Zunächst muss ich drei Ebenen unterscheiden, die im alltäglichen Sprachgebrauch häufig vermischt werden.

Unter einer **Schlussform** verstehe ich eine allgemeine epistemische Bewegung. Deduktion bewegt sich beispielsweise von Prämissen zu einer logisch notwendigen Konsequenz; Induktion von beobachteten Fällen zu einer weiterreichenden Verallgemeinerung; Abduktion von einer erklärungsbedürftigen Beobachtung zu einer möglichen erklärenden Hypothese.

Eine **Schlussregel** ist dagegen eine präzise formallogische Operation. Modus ponens und Modus tollens sind hierfür klassische Beispiele. Sie gehören nicht als Alternativen neben die Deduktion, sondern sind konkrete gültige Schemata innerhalb deduktiver Logik.

Ein **Evidenzverfahren** beantwortet wiederum die Frage, wie stark Daten eine Hypothese stützen oder schwächen. Der Satz von Bayes gehört primär auf diese Ebene. Ihn einfach als „vierte Schlussart“ neben Deduktion, Induktion und Abduktion zu stellen, wäre begrifflich unsauber. Bayesianische Verfahren können vielmehr induktive oder abduktive Prozesse mathematisch präzisieren. Die moderne induktive Logik verwendet häufig bedingte Wahrscheinlichkeiten, um den Grad der evidenziellen Unterstützung einer Hypothese auszudrücken.<sup>3</sup>

Diese Differenzierung erscheint mir grundlegend. Andernfalls entsteht der falsche Eindruck, Modus tollens, Bayes, Analogie und Abduktion seien alternative Verfahren derselben logischen Kategorie. In Wirklichkeit beantworten sie unterschiedliche Fragen: Was folgt notwendig? Was ist aufgrund beobachteter Fälle wahrscheinlich? Welche Hypothese erklärt eine Beobachtung? Wie stark verändert neue Evidenz den rationalen Überzeugungsgrad? Und welche kausale Struktur ist mit Beobachtungs- oder Interventionsdaten vereinbar?

## 3 Deduktion und logische Gültigkeit

Deduktion ist die stärkste Form des Schließens hinsichtlich logischer Sicherheit. Wenn die Prämissen wahr sind und der Schluss formal gültig ist, kann die Konklusion nicht falsch sein. In der modelltheoretischen Logik lässt sich dies schreiben als

---

<sup>3</sup> Vgl. James Hawthorne, „Inductive Logic“, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/logic-inductive/> (Zugriff: 15. August 2026).

$$\Gamma \models C.$$

Dabei bezeichnet  $\Gamma$  eine Menge von Prämissen und  $C$  die Konklusion. Die Relation  $\models$  bedeutet, dass es kein zulässiges Modell gibt, in dem sämtliche Aussagen aus  $\Gamma$  wahr,  $C$  jedoch falsch ist. Deduktive Gültigkeit wird daher als Wahrheitserhaltung verstanden.<sup>4</sup>

Nehme ich beispielsweise an,

$$\forall x(M(x) \rightarrow S(x))$$

und

$$M(a),$$

so folgt

$$S(a).$$

Wenn alle Menschen sterblich sind und Sokrates ein Mensch ist, folgt zwingend, dass Sokrates sterblich ist. Entscheidend ist dabei nicht der konkrete Inhalt, sondern die Form des Arguments.

### 3.1 Modus ponens

Die elementare Form des Modus ponens lautet

$$\begin{array}{l} P \rightarrow Q, \\ P, \\ \therefore Q. \end{array}$$

Aus „Wenn  $P$ , dann  $Q$ “ und der Feststellung von  $P$  folgt  $Q$ . Diese Regel ist deduktiv gültig. Ihre Gültigkeit hängt nicht davon ab, wofür  $P$  und  $Q$  inhaltlich stehen.

### 3.2 Modus tollens

Ebenso fundamental ist der Modus tollens:

$$\begin{array}{l} P \rightarrow Q, \\ \neg Q, \\ \therefore \neg P. \end{array}$$

---

<sup>4</sup> Vgl. Jc Beall / Greg Restall, „Logical Consequence“, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/logical-consequence/> (Zugriff: 15. August 2026).

Diese Struktur spielt für wissenschaftliche Prüfungen eine erhebliche Rolle. Wenn eine Theorie  $H$  eine notwendige Beobachtung  $E$  impliziert,

$$H \rightarrow E,$$

und ich feststelle

$$\neg E,$$

folgt formal

$$\neg H.$$

Hier liegt der logische Kern der Falsifikation. Karl Popper stellte die Asymmetrie zwischen der Bestätigung und der Widerlegung universeller Aussagen in den Mittelpunkt seiner Wissenschaftstheorie.<sup>5</sup> Eine endliche Anzahl positiver Beobachtungen verifiziert eine universelle Aussage nicht deduktiv; ein echter Gegenfall kann sie hingegen logisch falsifizieren, sofern die getestete Implikation und ihre Hilfsannahmen tatsächlich gelten.

### 3.3 Hypothetischer und disjunktiver Syllogismus

Eine weitere gültige Form ist die Verkettung von Implikationen:

$$P \rightarrow Q, Q \rightarrow R \\ \therefore P \rightarrow R.$$

Beim disjunktiven Syllogismus gilt:

$$P \vee Q, \neg P \\ \therefore Q.$$

Auch die Kontraposition gehört in diesen Zusammenhang. Aus

$$P \rightarrow Q$$

folgt logisch äquivalent

$$\neg Q \rightarrow \neg P.$$

Damit gilt

$$P \rightarrow Q \equiv \neg Q \rightarrow \neg P.$$

Nicht gültig ist dagegen die Bejahung des Konsequens:

---

<sup>5</sup> Vgl. Stephen Thornton, „Karl Popper“, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, substantive Revision 31. Juli 2026, <https://plato.stanford.edu/entries/popper/> (Zugriff: 15. August 2026); ferner Karl R. Popper, *The Logic of Scientific Discovery*, Routledge.

$$P \rightarrow Q, Q \\ \therefore P.$$

Diese Form ist als Deduktion fehlerhaft, weil  $Q$  auch durch andere Bedingungen verursacht oder erklärt werden kann. Genau diese formale Nähe wird später bei der Abduktion bedeutsam: Die Abduktion macht aus der ungültigen deduktiven Rückwärtsbewegung keinen Beweis, sondern einen fehlbaren Erklärungsschluss.

### 3.4 Deduktive Gültigkeit und Wahrheit

Ein gültiger Schluss muss nicht notwendigerweise zu einer tatsächlich wahren Aussage führen. Deduktive Gültigkeit bedeutet lediglich

Wahre Prämissen  $\Rightarrow$  wahre Konklusion.

Sind die Prämissen falsch, kann ein formal gültiger Schluss trotzdem zu einer falschen Konklusion führen. Daher unterscheide ich zwischen **Gültigkeit** und **Schlüssigkeit**. Ein Argument ist schlüssig, wenn es gültig ist und seine Prämissen tatsächlich wahr sind.

Deduktion erzeugt insofern keine empirische Gewissheit aus dem Nichts. Sie überträgt die epistemische Qualität ihrer Ausgangsannahmen auf deren Konsequenzen. Gerade deshalb muss ich in wissenschaftlichen Anwendungen stets fragen, ob nicht nur der Schluss korrekt, sondern auch die zugrunde gelegten Prämissen, Messannahmen und Randbedingungen gerechtfertigt sind.

## 4 Induktion und das Problem der Verallgemeinerung

Induktion verläuft in einer anderen Richtung. Ich beobachte eine endliche Anzahl von Fällen und schließe auf eine Regelmäßigkeit, die über diese Fälle hinausgeht. Vereinfacht kann ich schreiben:

$$P(a_1), P(a_2), \dots, P(a_n)$$

und daraus

$$\therefore \forall x P(x).$$

Dieser Schluss ist jedoch nicht deduktiv gültig:

$$P(a_1) \wedge \dots \wedge P(a_n) \not\models \forall x P(x).$$

Selbst wenn ich zehntausend schwarze Raben beobachtet habe, folgt logisch nicht, dass alle Raben schwarz sind. Ein einziger andersfarbiger Rabe würde genügen, die universelle Aussage zu widerlegen.

David Hume identifizierte hier eines der grundlegenden Probleme empirischer Erkenntnis. Vergangene Regelmäßigkeit liefert für sich genommen keinen deduktiven Beweis dafür, dass dieselbe Regelmäßigkeit auch künftig oder in unbeobachteten Fällen gelten muss.<sup>6</sup> Die Rechtfertigung induktiver Schlüsse kann nicht einfach wiederum auf einer induktiv gewonnenen Annahme beruhen, ohne zirkulär zu werden.

In moderner Statistik tritt an die Stelle einer naiven universellen Verallgemeinerung häufig die Parameterschätzung. Sei

$$X_1, \dots, X_n$$

eine Stichprobe einer Population. Möchte ich den unbekannten Erwartungswert  $\mu$  schätzen, kann ich den Stichprobenmittelwert verwenden:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i.$$

Bei einer binären Eigenschaft lautet eine entsprechende Schätzung

$$\hat{p} = \frac{k}{n},$$

wobei  $k$  die Zahl der beobachteten Erfolge und  $n$  die Stichprobengröße bezeichnet.

Entscheidend ist für mich: Die Statistik beseitigt das Induktionsproblem nicht. Sie macht vielmehr die mit induktiven Schlüssen verbundene **Unsicherheit mathematisch analysierbar**. Durch Stichprobenmodelle, Konfidenzintervalle, Fehlerwahrscheinlichkeiten oder posteriori Verteilungen kann ich präzisieren, wie stark die Daten bestimmte Verallgemeinerungen tragen. Ich darf diese Quantifizierung jedoch nicht mit logischer Gewissheit verwechseln.

---

<sup>6</sup> Vgl. David Hume, *An Enquiry Concerning Human Understanding*, insbesondere Sections IV und V, Project Gutenberg, <https://www.gutenberg.org/files/9662/9662-h/9662-h.htm>; zur systematischen Rekonstruktion Leah Henderson, „The Problem of Induction“, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/induction-problem/> (jeweils Zugriff: 15. August 2026).

## 5 Abduktion und die Erzeugung erklärender Hypothesen

Abduktion beantwortet eine andere Frage als Deduktion und Induktion. Sie fragt nicht primär, was aus einer Theorie folgt oder welche Regel sich aus vielen Beobachtungen verallgemeinern lässt, sondern: **Welche Hypothese könnte eine überraschende Beobachtung erklären?**

Eine vereinfachte Struktur lautet

$$\begin{array}{c} H \rightarrow E, \\ E, \\ \therefore H? \end{array}$$

Als deduktiver Schluss wäre dies ungültig. Es handelt sich formal um eine Bejahung des Konsequens. Aus  $H \rightarrow E$  und  $E$  folgt eben nicht notwendig  $H$ , denn möglicherweise existieren weitere Hypothesen

$$H_2, H_3, \dots, H_n,$$

für die ebenfalls gilt

$$H_i \rightarrow E.$$

Die Abduktion behauptet deshalb nicht,  $H$  bewiesen zu haben. Sie erzeugt eine **erklärende Kandidatenhypothese**. Peirce behandelte die Abduktion als nichtdeduktiven Schluss, durch den neue Hypothesen in die Untersuchung eingeführt werden; die moderne Literatur spricht häufig von „Inference to the Best Explanation“.<sup>7</sup>

Eine abstrakte Form kann ich als Optimierungsproblem schreiben:

$$H_{best} = \underset{H_i}{argmax} ExplanatoryQuality(H_i, E).$$

Dabei bezeichnet  $H_{best}$  diejenige Hypothese, welche die vorhandene Evidenz  $E$  nach einem bestimmten Erklärungskriterium am besten erklärt.

Damit entsteht jedoch sofort eine weitere Frage: Was bedeutet „beste Erklärung“? Einfachheit, Vorhersagekraft, Vereinbarkeit mit bestehendem Wissen, kausale Plausibilität, Erklärungstiefe und empirische Bewährung können unterschiedliche Hypothesen

---

<sup>7</sup> Vgl. Igor Douven, „Abduction“, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/abduction/> (Zugriff: 15. August 2026).

unterschiedlich bewerten. Eine elegante Erklärung kann falsch sein. Die abduktiv erzeugte Hypothese muss daher anschließend deduktive und empirische Prüfungen durchlaufen.

Ich sehe die Abduktion deshalb vor allem als **Entdeckungs- und Auswahlmechanismus unter Hypothesen**, nicht als Garantie ihrer Wahrheit. Ihre wissenschaftliche Stärke besteht darin, dass sie überhaupt testbare Erklärungskandidaten bereitstellt, deren Konsequenzen anschließend streng geprüft werden können.

## 6 Analogisches Schließen

Auch Analogien spielen in wissenschaftlicher Erkenntnis eine bedeutende Rolle. Bei einem Analogieschluss erkenne ich strukturelle Gemeinsamkeiten zwischen zwei Systemen und übertrage auf dieser Grundlage eine zusätzliche Eigenschaft.

Angenommen,

$$A = (p_1, p_2, \dots, p_k, q)$$

und

$$B = (p_1, p_2, \dots, p_k, ?).$$

Dann schließe ich möglicherweise

$$B(q).$$

Der Schluss ist nicht deduktiv zwingend. Seine Stärke hängt davon ab, ob die gemeinsamen Eigenschaften  $p_1, \dots, p_k$  für  $q$  tatsächlich relevant sind. Philosophische Analysen analogischen Schließens betonen entsprechend, dass eine Analogie aus anerkannten Ähnlichkeiten Unterstützung für eine weitere vermutete Ähnlichkeit gewinnt, ohne diese logisch zu erzwingen.<sup>8</sup>

Eine mathematische Ähnlichkeitsfunktion könnte beispielsweise als

$$S(A, B) \in [0, 1)$$

definiert werden. Ein hoher Wert von  $S(A, B)$  allein rechtfertigt jedoch noch keine Übertragung. Entscheidend ist zusätzlich die kausale oder strukturelle Relevanz der übereinstimmenden Merkmale für die zu übertragende Eigenschaft.

---

<sup>8</sup> Vgl. Paul Bartha, „Analogy and Analogical Reasoning“, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/reasoning-analogy/> (Zugriff: 15. August 2026).

Darin erkenne ich eine verbreitete Denkfalle: Eine große Zahl oberflächlicher Gemeinsamkeiten kann epistemisch schwächer sein als eine einzige strukturell relevante Gemeinsamkeit. Ein guter Analogieschluss benötigt daher nicht bloß Ähnlichkeit, sondern eine begründete Theorie darüber, **warum gerade diese Ähnlichkeit für die fragliche Eigenschaft relevant ist.**

## 7 Bayessches Schließen und probabilistische Evidenz

Die Bayessche Theorie ermöglicht es mir, die Veränderung rationaler Überzeugungsgrade durch neue Evidenz mathematisch auszudrücken. Für eine Hypothese  $H$  und Evidenz  $E$  gilt

$$P(H|E) = \frac{P(E|H)P(H)}{P(E)}.$$

Dabei ist  $P(H)$  die Prior-Wahrscheinlichkeit der Hypothese,  $P(E|H)$  die Wahrscheinlichkeit, die beobachtete Evidenz unter Voraussetzung der Hypothese zu erhalten, und  $P(H|E)$  die Posterior-Wahrscheinlichkeit nach Berücksichtigung der Evidenz.<sup>9</sup>

Besonders aufschlussreich finde ich die Darstellung durch Odds:

$$\frac{P(H|E)}{P(\neg H|E)} = \frac{P(H)}{P(\neg H)} \cdot \frac{P(E|H)}{P(E|\neg H)}.$$

In Worten lässt sich dies ausdrücken als

$$\text{Posterior Odds} = \text{Prior Odds} \times \text{Likelihood Ratio}.$$

Damit wird deutlich, was gute Evidenz auszeichnet. Eine Beobachtung unterstützt  $H$  nicht schon deshalb stark, weil sie unter  $H$  wahrscheinlich ist. Entscheidend ist vielmehr, ob sie unter  $H$  **wahrscheinlicher ist als unter konkurrierenden Hypothesen.**

Angenommen,

$$P(E|H) = 0,95,$$

aber gleichzeitig

$$P(E|\neg H) = 0,90.$$

Dann ist die Evidenz trotz der hohen ersten Wahrscheinlichkeit nur schwach diskriminierend. Ist dagegen

---

<sup>9</sup> Vgl. James Joyce, „Bayes’ Theorem“, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/bayes-theorem/>; Hanti Lin, „Bayesian Epistemology“, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/epistemology-bayesian/> (jeweils Zugriff: 15. August 2026).

$$P(E|H) = 0,80$$

und

$$P(E|\neg H) = 0,01,$$

beträgt das Likelihood-Verhältnis

$$\frac{0,80}{0,01} = 80.$$

Die Beobachtung ist dann wesentlich informativer.

Bayessches Denken ergänzt die Abduktion besonders gut. Aus konkurrierenden Hypothesen  $H_1, \dots, H_n$  kann ich nach Beobachtung von  $E$  Posterior-Wahrscheinlichkeiten berechnen:

$$P(H_i|E) = \frac{P(E|H_i)P(H_i)}{\sum_j P(E|H_j)P(H_j)}.$$

Eine mögliche Entscheidungsregel lautet

$$H_{best} = \underset{H_i}{\operatorname{argmax}} P(H_i|E).$$

Ich würde dies jedoch nicht mit der Abduktion gleichsetzen. Die Abduktion betrifft auch die **Erzeugung** möglicher Erklärungen. Bayessche Inferenz setzt dagegen voraus, dass Hypothesen und Wahrscheinlichkeitsmodelle bereits spezifiziert wurden. Bayes bewertet Kandidaten; Abduktion kann Kandidaten überhaupt erst hervorbringen.

## 8 Kausalinferenz und Intervention

Eine weitere Ebene wissenschaftlichen Schließens betrifft Kausalität. Aus statistischer Abhängigkeit folgt nicht automatisch ein kausaler Zusammenhang. Aus

$$P(Y|X) \neq P(Y)$$

folgt nicht

$$X \rightarrow Y$$

im kausalen Sinn.

Diese Differenz ist deshalb bedeutsam, weil ein statistischer Zusammenhang durch eine gemeinsame Ursache  $Z$ , Selektionsmechanismen, Kollidervariablen oder andere Strukturen entstehen kann. Beobachtung allein identifiziert nicht automatisch den Effekt einer Intervention.

In der von Judea Pearl entwickelten formalen Kausalinferenz wird deshalb zwischen Beobachtung und Intervention unterschieden.<sup>10</sup> Die gewöhnliche bedingte Wahrscheinlichkeit

$$P(Y|X = x)$$

fragt, wie sich  $Y$  bei beobachtetem  $X = x$  verteilt. Der interventionale Ausdruck

$$P(Y|do(X = x))$$

fragt dagegen, wie sich  $Y$  verhält, wenn ich  $X$  durch einen Eingriff auf  $x$  setze.

Diese beiden Größen können verschieden sein:

$$P(Y|X = x) \neq P(Y|do(X = x)).$$

Genau diese Ungleichheit zeigt, weshalb „Korrelation ist nicht Kausalität“ mehr als eine rhetorische Warnung darstellt. Es handelt sich um einen formal beschreibbaren Unterschied zwischen Beobachtungs- und Interventionsverteilungen.

Kausalinferenz ist damit wiederum nicht einfach eine vierte oder fünfte Schlussform. Sie ist ein eigener inferentieller Gegenstandsbereich, in dem deduktive, probabilistische und strukturelle Verfahren kombiniert werden. Für eine kausale Schlussfolgerung benötige ich nicht nur Daten, sondern auch Annahmen darüber, welche Variablen auf welche anderen Variablen einwirken können und welche Störfaktoren berücksichtigt werden müssen.

## 9 Nichtmonotones und revidierbares Schließen

Klassische Deduktion ist **monoton**. Wenn

$$\Gamma \models C,$$

so gilt auch für zusätzliche Prämissen  $\Delta$ :

$$\Gamma \cup \Delta \models C.$$

Neue Prämissen können eine bereits logisch gültige Konsequenz nicht wieder ungültig machen.

Unser alltägliches und wissenschaftliches Denken funktioniert jedoch häufig anders. Angenommen, ich weiß, dass Vögel normalerweise fliegen können, und erfahre, dass Tweety

---

<sup>10</sup> Vgl. Judea Pearl, „Causal Inference“, *Proceedings of Workshop on Causality: Objectives and Assessment at NIPS 2008*, PMLR 6 (2010), S. 39–58, <https://proceedings.mlr.press/v6/pearl10a.html> (Zugriff: 15. August 2026).

ein Vogel ist. Dann kann ich vorläufig schließen, dass Tweety fliegen kann. Erfahre ich später, dass Tweety ein Pinguin ist, muss ich die vorherige Schlussfolgerung zurücknehmen.

Eine solche revidierbare Konsequenzrelation kann ich symbolisch schreiben als

$$\Gamma \rightsquigarrow C,$$

für die nicht notwendigerweise gilt

$$\Gamma \rightsquigarrow C \Rightarrow \Gamma \cup \Delta \rightsquigarrow C.$$

Nichtmonotones oder defeasibles Schließen modelliert genau solche vorläufigen Schlussfolgerungen, die durch zusätzliche Information außer Kraft gesetzt werden können.<sup>11</sup>

Für Wissenschaft ist dies zentral. Wissenschaftliche Aussagen werden nicht bloß kumulativ angesammelt. Neue Evidenz kann frühere Interpretationen verändern, Einschränkungen erzwingen oder ganze theoretische Strukturen revidieren. Rationalität verlangt daher nicht, an einmal gezogenen Schlussfolgerungen festzuhalten, sondern ihre Abhängigkeit von den jeweils verfügbaren Informationen transparent zu machen.

## 10 Die Kombination der Schlussformen in der Wissenschaft

Die eigentliche Stärke wissenschaftlichen Denkens erkenne ich nicht in einer einzelnen Schlussform, sondern in deren **systematischer Kombination**. Ein vereinfachter Forschungszyklus lässt sich schreiben als

$$E \xrightarrow{\text{Abduktion}} H \xrightarrow{\text{Deduktion}} P \xrightarrow{\text{Experiment}} D \xrightarrow{\text{Induktion/Bayes}} H'.$$

Dabei bezeichnet  $E$  eine erklärungsbedürftige Beobachtung,  $H$  eine Hypothese,  $P$  eine aus der Hypothese deduzierte Vorhersage,  $D$  neue Daten und  $H'$  den nach der empirischen Prüfung aktualisierten epistemischen Status der Hypothese. Das Schema ist eine idealisierte Rekonstruktion; reale Forschung enthält zusätzliche Schritte wie Operationalisierung, Messmodellierung, Fehleranalyse, Replikation und Modellvergleich.<sup>12</sup>

Zunächst tritt eine Beobachtung auf:

$$E.$$

<sup>11</sup> Vgl. „Defeasible Reasoning“, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Archiv Sommer 2014, <https://plato.stanford.edu/archives/sum2014/entries/reasoning-defeasible/> (Zugriff: 15. August 2026).

<sup>12</sup> Vgl. „Scientific Method“, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/scientific-method/>; „Confirmation“, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/confirmation/> (jeweils Zugriff: 15. August 2026).

Durch abduktives Denken entstehen mögliche Erklärungen:

$$E \Rightarrow \{H_1, H_2, \dots, H_n\}.$$

Aus jeder Hypothese leite ich anschließend deduktiv erwartbare Konsequenzen ab:

$$H_i \wedge B \rightarrow P_i,$$

wobei  $B$  Hintergrundannahmen bezeichnet.

Dann erhebe ich neue Daten  $D$ . Diese Daten verändern die Unterstützung der Hypothesen. In Bayesscher Schreibweise gilt proportional

$$P(H_i|D) \propto P(D|H_i)P(H_i).$$

Daraufhin entstehen gegebenenfalls neue Fragen und neue Abduktionen. Der Erkenntnisprozess ist deshalb nicht linear, sondern rekursiv:

$$H_t \rightarrow P_t \rightarrow D_t \rightarrow H_{t+1} \rightarrow P_{t+1} \rightarrow D_{t+1} \rightarrow \dots$$

Peirces Modell der wissenschaftlichen Methode kommt dieser Struktur bereits nahe: Abduktion erzeugt Hypothesen, Deduktion entwickelt deren überprüfbare Konsequenzen, und Induktion dient ihrer empirischen Prüfung.<sup>13</sup> Die moderne Wissenschaft ergänzt diesen Zyklus um statistische Modellierung, Bayessche Evidenzbewertung, experimentelles Design und formale Kausalinferenz.

Für mich liegt hierin eine wesentliche Einsicht: Eine einzelne Schlussform kann die Wissenschaft nicht vollständig charakterisieren. Abduktion ohne Deduktion produziert Erklärungen ohne präzise Konsequenzen. Deduktion ohne empirische Prüfung bewegt sich nur innerhalb bereits gesetzter Prämissen. Induktion ohne theoretische Struktur kann Regelmäßigkeiten beschreiben, erklärt aber noch nicht, warum sie auftreten. Bayessche Bewertung wiederum kann nur Hypothesen bewerten, die bereits spezifiziert sind.

## 11 Das Duhem-Quine-Problem

Eine entscheidende Komplikation entsteht dadurch, dass wissenschaftliche Hypothesen selten isoliert getestet werden. Die naive Struktur

$$H \rightarrow E$$

ist in realen Experimenten meist zu einfach. Tatsächlich gilt eher

---

<sup>13</sup> Vgl. Robert Burch, „Charles Sanders Peirce“, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/peirce/> (Zugriff: 15. August 2026).

$$H \wedge A_1 \wedge A_2 \wedge \cdots \wedge A_n \rightarrow E,$$

wobei  $A_1, \dots, A_n$  Hilfshypothesen, Messannahmen, theoretische Hintergrundannahmen und Bedingungen des Experiments darstellen.

Wird nun

$$\neg E$$

beobachtet, folgt mittels Modus tollens lediglich

$$\neg(H \wedge A_1 \wedge \cdots \wedge A_n).$$

Nach De Morgans Gesetz ergibt sich

$$\neg H \vee \neg A_1 \vee \cdots \vee \neg A_n.$$

Ich kann daraus nicht deduktiv bestimmen, welche einzelne Annahme gescheitert ist. Genau hier liegt das mit Pierre Duhem und später W. V. O. Quine verbundene Problem der Underdetermination: Empirische Tests betreffen häufig ganze Verbünde theoretischer und auxiliärer Annahmen und nicht eine isolierte Hypothese.<sup>14</sup>

Dies begrenzt eine allzu einfache Interpretation des Popperschen Falsifikationismus. Zwar bleibt die logische Struktur des Modus tollens korrekt, aber ihre Anwendung auf reale wissenschaftliche Theorien ist komplizierter als das Schema

$$H \rightarrow E, \neg E \therefore \neg H$$

vermuten lässt. Ein misslungenes Experiment kann auf eine falsche Theorie, eine falsche Hilfsannahme, ein fehlerhaftes Messinstrument, eine unzutreffende Randbedingung oder eine unzureichende Operationalisierung zurückgehen. Die logische Falsifikation ist deshalb oft eindeutig, die wissenschaftliche Diagnose des Fehlers hingegen nicht.

## 12 Mathematische Induktion als Sonderfall

Die Bezeichnung „mathematische Induktion“ kann zu einem Missverständnis führen. Sie ist keine empirische Induktion im oben beschriebenen Sinn, sondern ein **deduktives Beweisprinzip**.

Für eine Aussage  $P(n)$  zeige ich zunächst den Induktionsanfang:

---

<sup>14</sup> Vgl. Kyle Stanford, „Underdetermination of Scientific Theory“, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/scientific-underdetermination/> (Zugriff: 15. August 2026).

$$P(0).$$

Anschließend beweise ich den Induktionsschritt:

$$\forall n \in N: P(n) \rightarrow P(n + 1).$$

Daraus folgt

$$\forall n \in N: P(n).$$

Formal kann ich den Schluss schreiben als

$$P(0) \wedge \forall n(P(n) \rightarrow P(n + 1)) \vdash \forall n P(n).$$

Das Induktionsprinzip ist eng mit der axiomatischen Struktur der natürlichen Zahlen verbunden.<sup>15</sup> Die Differenz zur empirischen Induktion ist fundamental.

Empirisch wäre lediglich

$$P(1), P(2), \dots, P(10000)$$

und daraus die Vermutung

$$\forall n P(n).$$

Das wäre fehlbar. Bei der mathematischen Induktion beweise ich dagegen nicht nur viele Einzelinstanzen. Ich beweise eine Regel, die den Übergang von jedem beliebigen  $n$  auf  $n + 1$  gewährleistet. Deshalb ist die Schlussfolgerung innerhalb des zugrunde gelegten formalen Systems deduktiv zwingend.

### 13 Eine formale Synthese wissenschaftlichen Schließens

Nach diesen Unterscheidungen würde ich wissenschaftliches Schließen nicht als einzelne Methode, sondern als System miteinander gekoppelter Operationen darstellen.

Seien  $E$  die Evidenz,  $H$  eine Hypothese,  $B$  das Hintergrundwissen,  $P$  eine Vorhersage und  $D$  neu erhobene Daten. Dann kann ich den Prozess zunächst als Abduktion darstellen:

$$(E, B) \xrightarrow{A} H.$$

Die Hypothese wird nicht bewiesen, sondern als erklärende Möglichkeit erzeugt. Danach folgt Deduktion:

---

<sup>15</sup> Vgl. *Encyclopedia of Mathematics*, „Number“, insbesondere zum Induktionsaxiom, <https://encyclopediaofmath.org/wiki/Number> (Zugriff: 15. August 2026).

$$(H, B) \xrightarrow{D} P,$$

wobei formal gilt

$$H \wedge B \models P.$$

Anschließend erfolgt die empirische Datenerhebung:

$$P \xrightarrow{\text{Test}} D.$$

Die Daten werden danach induktiv oder probabilistisch auf die Hypothese zurückbezogen:

$$(D, H, B) \xrightarrow{\text{Induktion/Bayes}} P(H|D, B).$$

Der vollständige Zyklus lautet somit

$$E \xrightarrow{\text{Abduktion}} H \xrightarrow{\text{Deduktion}} P \xrightarrow{\text{Experiment}} D \xrightarrow{\text{Induktion/Bayes}} P(H|D).$$

Anschließend beginnt der Prozess erneut:

$$P(H|D) + E_{\text{neu}} \rightarrow H_{\text{neu}}.$$

Wissenschaftlicher Fortschritt erscheint mir deshalb weniger wie eine Gerade als wie eine **iterative epistemische Rückkopplungsschleife**.

Eine noch abstraktere Darstellung lautet

$$K_{t+1} = F(K_t, E_t, H_t, M_t),$$

wobei  $K_t$  den Wissenszustand zum Zeitpunkt  $t$ ,  $E_t$  neue Evidenz,  $H_t$  die Menge betrachteter Hypothesen und  $M_t$  die verwendeten methodischen Verfahren bezeichnet.

Wissenschaft ist dann ein Prozess, in dem

$$K_t \rightarrow K_{t+1} \rightarrow K_{t+2} \rightarrow \dots$$

nicht bloß durch das Hinzufügen neuer Aussagen entsteht, sondern durch Erzeugung, Prüfung, Gewichtung und Revision von Hypothesen. Diese Darstellung erhebt keinen Anspruch darauf, reale Forschungsprozesse vollständig algorithmisch abzubilden. Sie dient mir vielmehr als formale Landkarte dafür, welche inferentiellen Funktionen in wissenschaftlicher Erkenntnis unterschieden werden müssen.

## 14 Schlussbetrachtung

Aus meiner Analyse folgt, dass die Frage „Welche logischen Schlüsse gibt es?“ nur dann präzise beantwortet werden kann, wenn verschiedene Ebenen auseinandergehalten werden.

Deduktion unterscheidet sich fundamental von Induktion und Abduktion, weil sie wahrheitserhaltend ist. Gültige deduktive Schlüsse übertragen die Wahrheit der Prämissen notwendig auf ihre Konklusionen. Modus ponens, Modus tollens, der hypothetische Syllogismus und ähnliche Verfahren sind konkrete Regeln innerhalb dieser deduktiven Logik.

Induktion überschreitet dagegen das bereits Beobachtete. Sie ermöglicht Verallgemeinerung und Prognose, erkaufte diese Reichweite jedoch mit prinzipieller Fehlbarkeit. Die Statistik beseitigt diese Unsicherheit nicht, sondern macht sie messbar und methodisch kontrollierbar.

Abduktion erfüllt wiederum eine andere Funktion. Sie ermöglicht mir, von einer erklärungsbedürftigen Beobachtung zu möglichen Hypothesen zu gelangen. Damit ist sie für wissenschaftliche Entdeckung besonders bedeutsam. Ohne Abduktion könnte ich aus vorhandenen Theorien Konsequenzen ableiten und Daten verallgemeinern, hätte aber noch keine allgemeine inferentielle Beschreibung dafür, wie neue Erklärungskandidaten entstehen.

Bayessches Schließen ergänzt diese Verfahren durch eine quantitative Theorie rationaler Evidenzaktualisierung. Die Formel

$$P(H|E) = \frac{P(E|H)P(H)}{P(E)}$$

zeigt, dass wissenschaftliche Überzeugungen nicht nur binär als wahr oder falsch behandelt werden müssen, sondern graduell verändert werden können.

Kausalinferenz erweitert diesen Rahmen, indem sie zwischen Beobachtung und Intervention unterscheidet:

$$P(Y|X = x) \neq P(Y|do(X = x)).$$

Nichtmonotone Logik wiederum macht verständlich, weshalb rationale Schlussfolgerungen unter neuer Information zurückgenommen werden können.

Für mich ergibt sich daraus ein übergeordnetes Bild: Wissenschaftliche Rationalität besteht nicht darin, eine einzige vollkommen sichere Methode anzuwenden. Sie besteht vielmehr darin, unterschiedliche Arten von Unsicherheit mit der jeweils angemessenen inferentiellen Operation zu behandeln. Ich kann dieses Verhältnis in verdichteter Form so darstellen:

Entdecken → Erklären → Ableiten → Prüfen → Revidieren.

Diesen Bewegungen entsprechen in idealisierter Form

Abduktion → Deduktion → Experiment → Induktion/Bayes → neue Abduktion.

Die eigentliche Leistungsfähigkeit wissenschaftlichen Denkens liegt meines Erachtens daher nicht in Deduktion, Induktion oder Abduktion isoliert, sondern in ihrer methodisch kontrollierten Wechselwirkung. Wissenschaft wird gerade dadurch rational, dass sie Hypothesen nicht mit Gewissheiten verwechselt, deduktive Gültigkeit nicht mit empirischer Wahrheit gleichsetzt, statistische Evidenz nicht als Kausalbeweis behandelt und Schlussfolgerungen unter neuer Evidenz revidierbar hält.

## Literatur- und Quellenverzeichnis

- Bartha, Paul: „Analogy and Analogical Reasoning“. In: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford University. <https://plato.stanford.edu/entries/reasoning-analogy/>
- Beall, Jc / Restall, Greg: „Logical Consequence“. In: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford University. <https://plato.stanford.edu/entries/logical-consequence/>
- Burch, Robert: „Charles Sanders Peirce“. In: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford University. <https://plato.stanford.edu/entries/peirce/>
- Douven, Igor: „Abduction“. In: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford University. <https://plato.stanford.edu/entries/abduction/>
- Encyclopedia of Mathematics*: „Number“. European Mathematical Society. <https://encyclopediaofmath.org/wiki/Number>
- Hawthorne, James: „Inductive Logic“. In: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford University. <https://plato.stanford.edu/entries/logic-inductive/>
- Henderson, Leah: „The Problem of Induction“. In: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford University. <https://plato.stanford.edu/entries/induction-problem/>
- Hume, David: *An Enquiry Concerning Human Understanding*. 1748. Elektronische Ausgabe nach der von L. A. Selby-Bigge herausgegebenen Edition. Project Gutenberg. <https://www.gutenberg.org/files/9662/9662-h/9662-h.htm>
- Joyce, James: „Bayes’ Theorem“. In: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford University. <https://plato.stanford.edu/entries/bayes-theorem/>
- Lin, Hanti: „Bayesian Epistemology“. In: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford University. <https://plato.stanford.edu/entries/epistemology-bayesian/>
- Pearl, Judea: „Causal Inference“. In: *Proceedings of Workshop on Causality: Objectives and Assessment at NIPS 2008*. Proceedings of Machine Learning Research 6, 2010, S. 39–58. <https://proceedings.mlr.press/v6/pearl10a.html>
- Popper, Karl R.: *The Logic of Scientific Discovery*. Routledge, London/New York.
- Stanford, Kyle: „Underdetermination of Scientific Theory“. In: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford University. <https://plato.stanford.edu/entries/scientific-underdetermination/>
- Thornton, Stephen: „Karl Popper“. In: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford University. <https://plato.stanford.edu/entries/popper/>
- Stanford Encyclopedia of Philosophy*: „Scientific Method“. Stanford University. <https://plato.stanford.edu/entries/scientific-method/>
- Stanford Encyclopedia of Philosophy*: „Confirmation“. Stanford University. <https://plato.stanford.edu/entries/confirmation/>
- Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Archiv Sommer 2014: „Defeasible Reasoning“. Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/sum2014/entries/reasoning-defeasible/>