

Wissenschaftstheorie im Unterrichtsfach Physik

Eine Illustration an Beispielen

Tobias Jung

24. Juni 2018

Warum Wissenschaftstheorie?

- Betrachtung einiger Aussagen:

„Die Masse eines Körpers ist ein Maß für dessen Energieinhalt; ändert sich die Energie um L , so ändert sich die Masse [...] um $L/9 \cdot 10^{20}$, wenn die Energie in Erg und die Masse in Grammen gemessen wird.“
(Einstein 1905, S. 314)

„Ist $E = Mc^2$ eine geschlechtsspezifische Gleichung? [...] Was in meinen Augen den möglicherweise geschlechtsspezifischen Charakter der Gleichung anzuzeigen scheint, ist [...] die Bevorzugung dessen, was am schnellsten ist [...].“ (Luce Irigaray, zit. nach Sokal et al. 1999, S. 130)

„Es zeigte sich, daß [...] [die Bindungsenergie] für Kerne fast 1% der Kernmasse beträgt. Dieses historisch als Massendefekt bezeichnete Phänomen war einer der ersten experimentellen Beweise der Masse-Energie-Relation $E = mc^2$.“ (Povh et al. 1995, S. 13)

- Welche der Aussagen sind wissenschaftlich, welche unwissenschaftlich?

Was ist Wissenschaftstheorie?



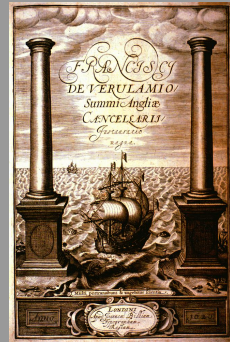
Bacon und die philosophische Begründung der beginnenden Naturwissenschaft im 17. Jahrhundert

- Francis Bacon (1561–1626), Philosoph der englischen Renaissance.
- Mögliche Quellen der menschlichen Erkenntnis:
 - ① Vernunft („reines“ Denken, Geist).
 - ② Sinneswahrnehmungen (Erfahrung, Empirie).
- Philosophische Richtungen:
 - ① **Rationalismus**: Lehre, dass letztlich alle Erkenntnis aus der Vernunft kommt.
 - ② **Empirismus**: Lehre, dass letztlich alle Erkenntnis aus sinnlicher Erfahrung stammt.



Bacon und die philosophische Begründung der beginnenden Naturwissenschaft im 17. Jahrhundert

- Vermittlung zwischen naivem Empirismus und naivem Rationalismus:
 - Abkehr von der Methode der Schulphilosophie (Scholastik des Mittelalters, Aristotelismus), d. h. vom „Herumphilosophieren und Disputieren“ im luftleeren Raum ohne Rückbindung an die Erfahrung.
 - Aber auch Abkehr vom blinden Herumexperimentieren (vgl. Alchimie).
- Programm: Gezieltes, systematisches, von einer Vorvorstellung geleitetes Experimentieren, um Wissen über die Natur zu erlangen zur Wohlfahrt des Menschen („Wissen ist Macht“).



Deduktion

- **Deduktion:** Aus einem allgemeinen Gesetz werden unter den gegebenen Voraussetzungen Aussagen z. B. über einen Einzelfall abgeleitet, die logisch zwingend sind.
- Der Schluss ist wahr, *wenn* die Prämissen wahr sind.
- Deduktion ist das Grundprinzip des **Rationalismus**, d. h. der Lehre, dass letztlich alle Erkenntnis aus der Vernunft kommt.
- *Beispiel:*

Gesetz: Alle Schwäne sind weiß.

Prämisse: Dieser Vogel ist ein Schwan.

Konklusion: Dieser Vogel ist weiß.

Beispiel zur Deduktion

- Als allgemeines Gesetz seien die Newtonschen Axiome, insbesondere $F = m \cdot a$, und die Formel für die Gewichtskraft im (näherungsweise) homogenen Gravitationsfeld an der Erdoberfläche, also $F_g = m \cdot g$, gegeben.
- Dann gilt:

$$\begin{aligned} F = F_g &\Rightarrow m \cdot a = m \cdot g \stackrel{m \neq 0}{\Rightarrow} a = g \\ \Rightarrow y = \frac{1}{2}gt^2 + v_0 t + y_0 &\stackrel{v_0=0; y_0=0}{\Rightarrow} y = \frac{1}{2}gt^2 . \end{aligned}$$

- Damit ist das Galileische Fallgesetz aus den Newtonschen Axiomen und der Gewichtskraft abgeleitet (*deduziert*).
- *Einbeziehung in den Unterricht*: „LehrplanPLUS Ph 8.1 Kräfte und ihre Wirkungen“.

Induktion

- **Induktion:** Aus endlich vielen gleichartigen oder ähnlichen Beobachtungen wird ein allgemeines Gesetz abgeleitet.
- Induktion ist das Grundprinzip des **Empirismus**, d. h. der Lehre, dass letztlich alle Erkenntnis aus sinnlicher Erfahrung stammt.
- *Beispiel:*

Beobachteter Vogel Nummer 1 ist ein Schwan und ist weiß.

Beobachteter Vogel Nummer 2 ist ein Schwan und ist weiß.

...

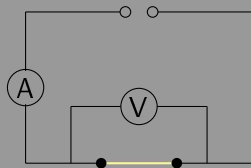
Beobachteter Vogel Nummer 784 ist ein Schwan und ist weiß.

Konklusion: Alle Schwäne sind weiß.

Beispiel zur Induktion

- Messung von Spannung U und Stromstärke I in einem einfachen Stromkreis mit einem Konstantendraht als „Verbraucher“:

$\frac{U}{V}$	1,0	1,5	5	9
$\frac{I}{A}$	0,56	0,82	2,7	4,9
$\frac{U}{I} \frac{V}{A}$	1,8	1,8	1,9	1,8



- Ohmsches Gesetz*: Für bestimmte Materialien gilt unter bestimmten Bedingungen:

$$\frac{U}{I} = \text{konstant.}$$

- Einbeziehung in den Unterricht*: „LehrplanPLUS Ph 8.2.2 Energie als Erhaltungsgröße: Elektrische Energie“.

Beispiel zu Induktion und Isolieren des gemeinsamen Faktors

- In einem Experiment werden bestimmte Faktoren konstant gehalten und nur wenige Parameter gezielt variiert.
- Untersuchung des freien Falls von verschiedenen Körpern in einer Vakuumröhre:

<i>Gegenstand</i>	<i>Farbe</i>	<i>Form</i>	<i>Resultat</i>
Ball	Rot	Kugel	Falldauer Δt
Ball	Blau	Kugel	Falldauer Δt
Buch	Rot	Quader	Falldauer Δt
Stein	Schwarz	Ellipsoid	Falldauer Δt

- Folgerung: Die Falldauer eines Gegenstandes ist von Farbe und Form unabhängig, d. h.: „Im Vakuum fallen alle Körper gleich schnell.“
- *Einbeziehung in den Unterricht:* „LehrplanPLUS NT 7.1.2 Mechanik: Geschwindigkeitsänderung als Folge einer Krafteinwirkung“.

Exemplarische Nachbetrachtung zu Induktion und Isolieren des gemeinsamen Faktors

- Beispiel eines – oft wiederholten und damit äußerst validen – Selbstversuches:

<i>Getränk</i>	<i>Resultat</i>
Wodka Cola	Betrunken
Campari Cola	Betrunken
Martini Cola	Betrunken
Bacardi Cola	Betrunken

- Folgerung durch *Isolieren des gemeinsamen Faktors*: Cola führt zum Zustand des Betrunkenseins. Also besser weglassen ...
- *Einbeziehung in den Unterricht*: ab 18 Jahren ...

Hume und die Frage nach der Erfahrungserkenntnis

- David Hume (1711–1776), schottischer Philosoph.
- Grundlegende Frage: Wie ist sicheres Wissen aufgrund von Erfahrung möglich?
- Empirismus wird konsequent zu Ende gedacht und dadurch zu einem Skeptizismus.



Hume und das Induktionsproblem

- *Beispiel*: Auch wenn alle bisher beobachteten 784 Schwäne weiß waren, so ist es doch ohne weiteres möglich, weil widerspruchsfrei denkbar, dass der nächste Schwan, dem wir begegnen, schwarz sein wird.
- **Induktionsproblem**: Aus einer endlichen Anzahl von gleichartigen oder ähnlichen Beobachtungen kann kein allgemeines Gesetz abgeleitet werden.
- Die genaue Anzahl von Beobachtungen spielt dabei keine Rolle (Wittgenstein, *Philosophische Untersuchungen*, 1953, § 265):
„Als kaufte Einer mehrere Exemplare der heutigen Morgenzeitung, um sich zu vergewissern, daß sie die Wahrheit schreibt.“
- Die Antwort auf die grundlegende Frage, wie sicheres Wissen aufgrund von Erfahrung möglich ist, lautet: Durch Empirie, Erfahrung, wiederholte Experimente kann überhaupt kein *sicheres Wissen* gewonnen werden.

Beispiel zur Illustration des Induktionsproblems

- *Kosmologisches Prinzip* (Meyer et al. 2008, S. 28):
„Aufgrund aller bisherigen Erfahrungen und Erkenntnisse muss man davon ausgehen, dass kein Punkt im Universum in besonderer Weise ausgezeichnet ist.“
- Mögliche Situation:



„Die ganze Welt besteht aus Sand.“

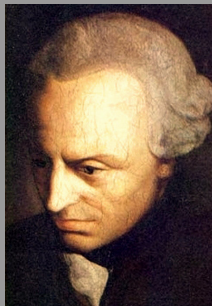


„Die Welt, mein Sohn, ist ein großer Kasten voller Wasser.“

- *Einbeziehung in den Unterricht*: „LehrplanPLUS Ph 10.2 Kreisbewegung und astronomisches Weltbild“.

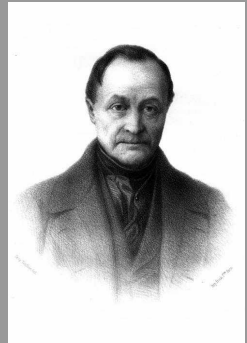
Kant

- Immanuel Kant (1724–1804), deutscher Philosoph der Aufklärung.
- Feststellung: Immer wieder drängen sich uns die großen Fragen der **Metaphysik** auf:
 - ① Existiert Gott?
 - ② Ist die Seele unsterblich?
 - ③ Ist der menschliche Wille frei?
- Grundlegende Frage: „Was kann ich wissen?“
- Objektives Wissen im Sinne der Naturwissenschaften ist auf den Bereich möglicher Erfahrung beschränkt.
- Weil die Fragen nach Gott, Seele und Welt den Bereich möglicher Erfahrung übersteigen, können sie nicht objektiv beantwortet werden und damit nicht Gegenstand einer Naturwissenschaft sein.



Comte als Begründer des Positivismus

- Auguste Comte (1798–1857), französischer Philosoph.
- **Positivismus**: Erkenntnis ist neben Mathematik und Logik auf die Interpretation von „positiven“ Befunden zu beschränken.
- „Positive“ Befunde sind solche, die unter vorab definierten Bedingungen „erbracht“ werden und damit gegeben sind.
- Der Positivismus zeichnet sich folglich durch *Metaphysikkritik* und einen *empirischen Charakter* (Bezug auf gegebene Sachverhalte, Tatsachen) aus.



Comte und die positiven, aber prinzipiell unerreichbaren Erkenntnisse

- Comte war der Auffassung, dass es positives, aber prinzipiell unerreichbares Wissen gibt.
- Beispiel: Chemische Zusammensetzung und Dichte von Sternen.
- Comte (1835), S. 11, meine Übersetzung:

„[A]ber es ist auch ganz wahrnehmbar [...], dass unsere Erkenntnisse gegenüber den Gashüllen [d. h. den Sternen] notwendigerweise beschränkt sind auf jene ihrer Existenz, ihrer mehr oder weniger großen Ausdehnung und ihrer wahren Brechkraft, ohne dass wir in irgendeiner Weise ihre chemische Zusammensetzung oder ihre Dichte bestimmen könnten.“

Comte wird durch die Wissenschaftsgeschichte widerlegt

- 1859/1860: Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887) und Robert Wilhelm Bunsen (1811–1899) entdecken die Spektralanalyse, deren Anwendung auf Sternspektren die chemische Zusammensetzung von Sternen liefert.
- 1926: Arthur Stanley Eddington (1882–1944) formulierte die Masse-Leuchtkraft-Beziehung für Hauptreihensterne, auf deren Grundlage eine Aussage über die Dichte von Sternen möglich ist.
- Folgerung: Die chemische Zusammensetzung und die Dichte von Sternen sind damit *kein* Beispiel für positives, aber prinzipiell unerreichbares Wissen. Ob es ein solches gibt, bleibt aber offen.
- *Einbeziehung in den Unterricht:* „LehrplanPLUS Ph 10.3 Wellen, Licht und Quantenobjekte“.

Der *Wiener Kreis*

- Der *Wiener Kreis* war eine Gruppe von philosophisch interessierten Intellektuellen, die sich von 1924 bis 1936 unter der Leitung von Moritz Schlick (1882–1936) regelmäßig in Wien trafen.
- Zum *Wiener Kreis* werden neben Schlick vor allem Rudolf Carnap (1891–1970), Hans Hahn (1879–1934) und Otto Neurath (1882–1945) gezählt.



Der *Wiener Kreis* und die Metaphysikkritik

- Der *Wiener Kreis* knüpfte an die Metaphysikkritik des Positivismus an.
- Carnap (1934), S. 257:

„Wir werden einen Satz wie ‚die Welt ist die Selbstverwirklichung Gottes‘ nicht mehr widerlegen, indem wir etwa zu beweisen suchen: ‚die Welt ist nicht die Selbstverwirklichung Gottes‘. Denn damit würden wir, wo die Metaphysiker den Bock melken, das Sieb unterhalten. Wir werden vielmehr zeigen, daß jener Satz sinnlos ist, nicht etwa falsch; die Gegenthese ist daher ebenfalls sinnlos. Jener metaphysische Satz besagt nicht mehr als der Kindervers ‚ene mene minc mank‘; der Unterschied ist nur, daß sich an den metaphysischen Satz allerhand erhabene Gefühle anknüpfen.“

Der *Wiener Kreis* und das empiristische Sinnkriterium

- Es gibt zwei Klassen von Aussagen, die wissenschaftlich ernst genommen werden können:
 - ① **Logisch-analytische Sätze**, also alles, was sich logisch deduzieren oder mathematisch beweisen lässt.
 - ② **Empirisch-synthetische Sätze**, die von Einzelwissenschaften über „Tatsachen“ aufgestellt werden und an der Erfahrung überprüft werden können.

Der *Wiener Kreis* und das empiristische Sinnkriterium

- Das **empiristische Sinnkriterium** unterscheidet sinnvolle von sinnlosen Aussagen und grenzt damit Wissenschaft von Nichtwissenschaft ab:
 - Aussagen werden an tatsächliche und mögliche Erfahrung rückgebunden.
 - Die notwendige und hinreichende Bedingung dafür, dass eine Aussage empirisch sinnvoll ist, ist ihre **Verifizierbarkeit**.
 - Aussagen werden zunächst als Hypothese formuliert und dann empirisch getestet.
 - Hält die Hypothese dem Test stand, dann ist sie verifiziert, d. h. die Aussage gilt als gesichert bzw. wahr.
- Diese philosophische Richtung heißt **logischer Empirismus** oder auch **Neopositivismus**.

Verifizierung von Hypothesen durch Experimente

- Beispiele:
 - *Ohmsches Gesetz*: „Für alle metallischen Leiter gilt unter der Bedingung konstanter Temperatur, dass der Widerstand R konstant ist:

$$R = \frac{U}{I} = \text{konstant} .“$$

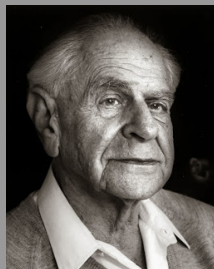
- *Galileisches Fallgesetz*:

$$y = \frac{1}{2}gt^2 .$$

- *Einbeziehung in den Unterricht*:
 - „LehrplanPLUS NT 7.1.1 Elektrischer Strom“.
 - „LehrplanPLUS Ph 10.1 Bewegungen und ihre Modellierung in der Physik“.

Popper und die Methode der Falsifikation

- Karl Raimund Popper (1902–1994), österreichisch-britischer Philosoph.
- Auseinandersetzung mit dem logischen Empirismus des *Wiener Kreises*.
- Aufgrund des Induktionsproblems ist eine Verifizierung von Hypothesen durch Experimente nicht möglich.
- Dagegen reicht ein einziges – akzeptiertes – Experiment, das einer Hypothese widerspricht, um diese Hypothese zu Fall zu bringen und zu *falsifizieren* (**Falsifikationismus**).
- *Abgrenzungskriterium zwischen Wissenschaft und Nichtwissenschaft*: Eine Theorie, Aussage, Hypothese ist dann wissenschaftlich, wenn sie falsifizierbar ist, wenn sie also durch eine empirische Überprüfung als falsch erwiesen werden kann.



Zwei Theorien für das Weltall: Urknalltheorie versus *Steady-State*-Theorie

- Urknalltheorie:
 - 1931: Georges Lemaître (1894–1966) formuliert ein Urknallmodell, bei dem das Weltall sich aus einem Uratom durch Zerfall entwickelt hat.
 - 1948: Ralph A. Alpher (1921–2007) und Robert C. Herman (1914–1997) prognostizieren Reststrahlung des Urknalls.
 - 1949: Fred Hoyle (1915–2001) prägt den aus seiner Sicht pejorativ verwendeten Begriff *big bang* („Urknall“).
- *Steady-State*-Theorie:
 - 1948: Hoyle formuliert zusammen mit Hermann Bondi (1919–2005) und Thomas Gold (1920–2004) eine Alternative zur Urknalltheorie.
 - Das Weltall expandiert zwar, die Dichte bleibt jedoch konstant, da immer im richtigen Verhältnis neue Materie entsteht (Verletzung des Energieerhaltungssatzes).
 - Das Weltall existiert seit unendlich langer Zeit, es gibt also keinen Anfang (in) der Zeit.

Die Falsifikation der *Steady-State*-Theorie

- 1964: Zufällige Entdeckung der kosmischen Mikrowellenhintergrundstrahlung durch Arno A. Penzias (geb. 1933) und Robert W. Wilson (geb. 1936).
- Sie entspricht der Reststrahlung in der Urknalltheorie.
- In der *Steady-State*-Theorie kann sie nicht ohne weitere Annahmen erklärt werden (Falsifikation der *Steady-State*-Theorie).
- *Einbeziehung in den Unterricht:*
 - „LehrplanPLUS Ph 10.2 Kreisbewegung und astronomisches Weltbild“.
 - „LehrplanPLUS PhA 12.5 Großstrukturen im Weltall“.



Beispiel für die Grenzen der Falsifizierung von Hypothesen: Die vermeintliche Widerlegung der Speziellen Relativitätstheorie ...

- Am 22. September 2011 wurde das Ergebnis einer Messung von Neutrinos, die etwa 730 km vom CERN in Genf zum Gran Sasso zurückgelegt hatten, bekannt, dem gemäß sich diese Teilchen mit Überlichtgeschwindigkeit bewegt hätten.
- Nach der Methode der Falsifikation bedeutet dieses Ergebnis die Falsifizierung der Speziellen Relativitätstheorie (SRT), der gemäß die Lichtgeschwindigkeit eine Obergrenze für die Ausbreitung von Signalen darstellt.

Beispiel für die Grenzen der Falsifizierbarkeit von Hypothesen: ... und ein defektes Glasfaserkabel

- Aber die Physiker sahen nicht die SRT als widerlegt an, sondern suchten nach Fehlern im Aufbau und bei der Durchführung des Experimentes.
- Unter den möglichen Fehlerquellen des Experimentes war auch ein defektes Glasfaserkabel.
- *Einbeziehung in den Unterricht:* „LehrplanPLUS Ph 10.1 Bewegungen und ihre Modellierung in der Physik“.

Immunisierung und Ad-hoc-Annahmen

- Wird eine Hypothese widerlegt, dann kann sie ggf. durch Einführung einer zusätzlichen, nicht weiter gerechtfertigten Annahme (**Ad-hoc-Annahme**) modifiziert und so „gerettet“ werden.
- Hebt die Ad-hoc-Annahme die Falsifizierbarkeit der Hypothese auf, spricht man von **Immunisierung** der Hypothese. (Nach Popper wäre die Hypothese nicht mehr wissenschaftlich.)
- Beispiel aus der Wissenschaftsgeschichte:
 - Nach Aristoteles (384 v. Chr. – 322 v. Chr.) sind die Himmelskörper göttlich und vollendet und haben deshalb Kugelgestalt.
 - Galileo Galilei (1564–1642) entdeckt im Jahre 1610 Gebirge auf dem Mond und falsifiziert damit diese Hypothese.

Immunisierung und Ad-hoc-Annahmen

- Die Aristoteliker führen eine Ad-hoc-Hypothese ein und immunisieren ihre Hypothese: Sie behaupten, es gäbe einen *unsichtbaren Stoff*, der die Täler des Mondes bis zu den Mondgebirgen so auffüllt, dass der Mond in Wirklichkeit Kugelform aufweist.
- Diese neue Hypothese lässt sich nicht falsifizieren, weil ein unsichtbarer Stoff *per definitionem* nicht gesehen werden kann.
- Galilei gibt den Aristotelikern eine polemische Antwort: er gestehe ihnen die Existenz dieser kristallinen Substanz zu, aber dann müsse es ihm erlaubt sein, aus dieser Substanz Berge aufzuschichten, die zehnmal so hoch seien wie die Berge, die er tatsächlich auf dem Mond vermessen habe.
- *Einbeziehung in den Unterricht:* „LehrplanPLUS Ph 10.2 Kreisbewegung und astronomisches Weltbild“.

Albert und das Münchhausen-Trilemma

- Hans Albert (geb. 1921): *Traktat über kritische Vernunft*, 1968.
- Die Frage nach der **Letztbegründung**, d. h. die Forderung nach einem Abschluss der Begründung, führt auf drei Möglichkeiten:
 - **Unendlicher Regress** (*regressus infinitus*).
 - **Zirkelschluss** (auch *circulus vitiosus*).
 - Abbruch des Verfahrens (**Dogma**, dogmatische Setzung).
- Da alle drei Möglichkeiten unbefriedigend sind, spricht Albert vom **Münchhausen-Trilemma**: eine Begründung kann sich nicht am eigenen Schopf aus dem Begründungssumpf ziehen ...



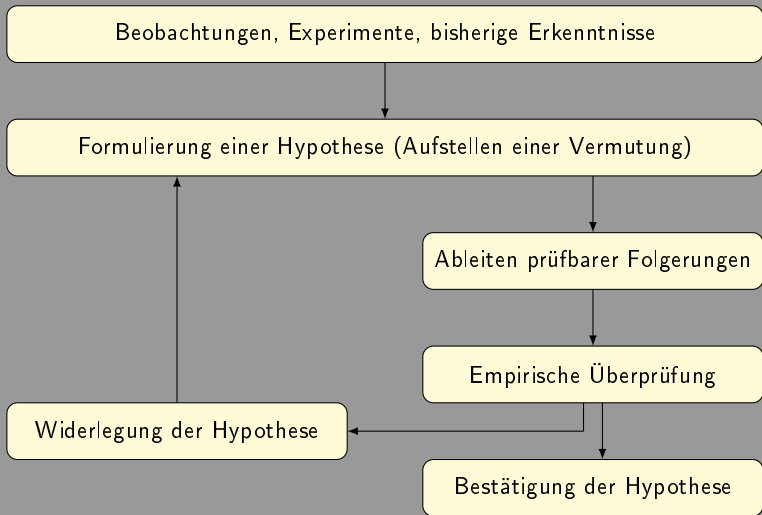
Beispiel für einen Abbruch des Verfahrens

- Die Elementarteilchenphysik befasst sich mit der alten naturphilosophischen Frage nach der *Teilbarkeit der Materie*: Ist die Materie *ad infinitum* teilbar oder gibt es letzte, nicht mehr weiter teilbare Bausteine der Materie (*Elementarteilchen*)?
- Auskunft der heutigen Elementarteilchenphysik im Rahmen des Standardmodells der Elementarteilchenphysik: Quarks und Leptonen als Elementarteilchen.

Beispiel für einen Abbruch des Verfahrens

- *Zweite kosmologische Antinomie* von Kant: Es lässt sich empirisch weder beweisen, dass die Materie aus kleinsten, nicht mehr teilbaren Teilchen besteht, noch lässt sich beweisen, dass die Materie *ad infinitum* geteilt werden kann.
- Die Frage nach der Teilbarkeit der Materie ist uns *aufgegeben*, sie ist eine unendliche Aufgabe.
- *Die historische Relativität der Elementarteilchen*:
 - 1808: Gesetz der multiplen Proportionen von John Dalton (1766–1844) als Hinweis auf Atome (ἄτομος – „unteilbar“).
 - 1919: Proton-Elektron-Modell des Atoms von Ernest Rutherford (1871–1937).
 - Ab den 1960er Jahren: Festigung des *Standardmodells*.
- *Einbeziehung in den Unterricht*: „LehrplanPLUS Ph 12.1.2 Wandel des physikalischen Weltbilds im 20. Jahrhundert: Eigenschaften von Quantenobjekten“.

Die naturwissenschaftliche Methode



Kuhn und die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen

- Thomas Samuel Kuhn (1922–1996), US-amerikanischer Physiker, Wissenschaftshistoriker und Wissenschaftsphilosoph.
- Theorie der Entwicklung der Wissenschaftsgeschichte: Phasen von Normalwissenschaft, die durch wissenschaftliche Revolutionen (Paradigmenwechsel) verbunden sind.



- Beispiel: Masse m in der Newtonschen Mechanik und „geschwindigkeitsabhängige Masse“ $m(v)$ in der SRT.
- *Einbeziehung in den Unterricht*: „LehrplanPLUS Ph 12.1.1 Wandel des physikalischen Weltbilds im 20. Jahrhundert: Spezielle Relativitätstheorie und Hochenergiephysik“.

Feyerabend und seine Kritik der Wissenschaftstheorie

- Paul Karl Feyerabend (1924–1994), österreichischer Philosoph.
- These: Wissenschaftshistorische Analysen zeigen, dass es zu von der Wissenschaftstheorie formulierten „Methoden“ jeweils Ausnahmen gibt, in denen gerade die Abweichung von dieser Regel zum „Erfolg“ führte.
- Vor diesem Hintergrund müsste ein Wissenschaftstheoretiker erstaunt ausrufen: *anything goes*, d. h. es gibt keine allgemeine Methode.

Weiterführende Literatur

-  Andreas Bartels, Manfred Stöckler (Hrsg.)
Wissenschaftstheorie. Ein Studienbuch
mentis: Paderborn, ²2009
-  Martin Carrier
Wissenschaftstheorie zur Einführung
Junius: Hamburg, 2006
-  Alan F. Chalmers
Wege der Wissenschaft. Einführung in die Wissenschaftstheorie
Springer: Berlin / Heidelberg, ⁶2007, hrsg. und übersetzt von Niels Bergemann und Christine Altstötter-Gleich
-  Karel Lambert und Gordon G. Brittan
Eine Einführung in die Wissenschaftsphilosophie
Walter de Gruyter: Berlin / New York, 1991, aus dem Amerikanischen
übersetzt von Joachim Schulte

Quellen I



Gerhard Börner

The Early Universe. Facts and Fiction

Springer: Berlin u. a., ³1993



Rudolf Carnap

Theoretische Fragen und praktische Entscheidungen

In: *Natur und Geist* 2, 1934, S. 257–260



Auguste Comte

Cours de Philosophie Positive, Tome II: La Philosophie Astronomique et la Philosophie de la Physique

Bachelier: Paris, 1835



Martin Donat et al.

Impulse Natur + Technik 7 Schwerpunkt Physik für die Gymnasien in Bayern

Ernst Klett: Stuttgart / Düsseldorf / Leipzig, 2005

Quellen II



Albert Einstein

Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?

In: *Annalen der Physik* 18, 1905, S. 639–641



Philip Kitcher

A Plea for Science Studies

In: Koertge (1998), S. 32–56



Noretta Koertge (Hrsg.)

A House Built on Sand: Exposing Postmodernist Myths About Science

In: Oxford University Press: Oxford, 1998



Lothar Meyer und Gerd-Dietrich Schmidt (Hrsg.)

Physik 10. Lehrbuch für die Klasse 10. Gymnasium Bayern

Duden Paetec und C. C. Buchner: Berlin und Bamberg, 2008

Quellen III



Bogdan Povh, Klaus Rith, Christoph Scholz und Frank Zetsche
Teilchen und Kerne. Eine Einführung in die physikalischen Konzepte
Springer: Berlin / Heidelberg / New York, ³1995



Alan Sokal und Jean Bricmont
Eleganter Unsinn. Wie die Denker der Postmoderne die Wissenschaften
mißbrauchen
C. H. Beck: München, 1999, ins Deutsche übertragen von Johannes
Schwab und Dietmar Zimmer



Hans Stephani
*Allgemeine Relativitätstheorie. Eine Einführung in die Theorie des
Gravitationsfeldes*
VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften: Berlin, ²1980

Quellen IV



Ludwig Wittgenstein

Philosophische Untersuchungen

Suhrkamp: Frankfurt am Main, 2003, auf der Grundlage der
Kritisch-genetischen Edition neu herausgegeben von Joachim Schulte

Abbildungsverzeichnis I

- Folie 4: ▶ Francis Bacon (letzter Zugriff am 9. April 2018).
- Folie 5: ▶ Francis Bacon: *Novum Organon* (letzter Zugriff am 9. April 2018).
- Folie 12: ▶ David Hume (letzter Zugriff am 9. April 2018).
- Folie 14 (links): Abbildung aus Börner (1993), S. 127.
- Folie 14 (rechts): Abbildung aus Stephani (1980), S. 230.
- Folie 15: ▶ Immanuel Kant (letzter Zugriff am 9. April 2018).
- Folie 16: ▶ Auguste Comte (letzter Zugriff am 25. Juni 2018).
- Folie 19, linkes Bild: ▶ Schlick, Moritz (letzter Zugriff am 21. Juni 2018).
- Folie 19, rechtes Bild: ▶ Otto Neurath (letzter Zugriff am 25. Juni 2018).

Abbildungsverzeichnis II

- Folie 24: ▶ [Karl R. Popper](#) (letzter Zugriff am 25. Juni 2018).
- Folie 26: ▶ [Robert W. Wilson und Arno A. Penzias](#) (letzter Zugriff am 21. Juni 2018). (letzter Zugriff am 21. Juni 2018).
- Folie 31: ▶ [Hans Albert](#) (© Evelin Frerk) (letzter Zugriff am 21. Juni 2018).
- Folie 34: Zur Abbildung vgl. Meyer et al. (2008), S. 59, und Donat et al. (2005), S. 6.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

„Wissenschaftstheorie ist für Wissenschaftler ähnlich nützlich wie die Ornithologie für die Vögel.“

Richard Phillips Feynman (1918–1988), US-amerikanischer Physiker, Nobelpreis für Physik 1965, zit. nach Kitcher 1998, S. 32, meine Übersetzung.