
Kolloquium für Physiklehrer • Universität Ulm • WS 2004/05

EINSTEINS Leitideen als Triebfeder und Begrenzung seiner Theorienbildung

Prof. Dr. Peter C. Hägele

`peter.haegele@physik.uni-ulm.de`

`http://www.uni-ulm.de/~phaegele/`

EINSTEIN SIMPLIFIED



„Alles sollte so einfach wie möglich gemacht werden, aber nicht einfacher.“
(ALBERT EINSTEIN)

Der naturwissenschaftliche Zugriff auf die Welt

- **empirische Dimension**
Erfahrung, Beobachtung, Experiment

Der naturwissenschaftliche Zugriff auf die Welt

- **empirische Dimension**

Erfahrung, Beobachtung, Experiment

- **analytische (mathematische) Dimension**

Hypothesen, Modellbildung, mathematische Theorien

HEIDEGGER:

„Der Grundvorgang der Neuzeit ist die Eroberung der Welt als Bild.“

(HEIDEGGER: Die Zeit des Weltbildes. In: Holzwege. Frankfurt a.M.: 1950)

Der naturwissenschaftliche Zugriff auf die Welt

● empirische Dimension

Erfahrung, Beobachtung, Experiment

● analytische (mathematische) Dimension

Hypothesen, Modellbildung, mathematische Theorien

HEIDEGGER:

„Der Grundvorgang der Neuzeit ist die Eroberung der Welt als Bild.“

(HEIDEGGER: Die Zeit des Weltbildes. In: Holzwege. Frankfurt a.M.: 1950)

● thematische Dimension

Themata (G. HOLTON), Leitideen, Leitmotive (A. SCHLATTER),
Vorurteile (EINSTEIN),

Hintergrundüberzeugungen historischer, psychologischer, religiöser,
metaphysischer Art (W. KUHN)

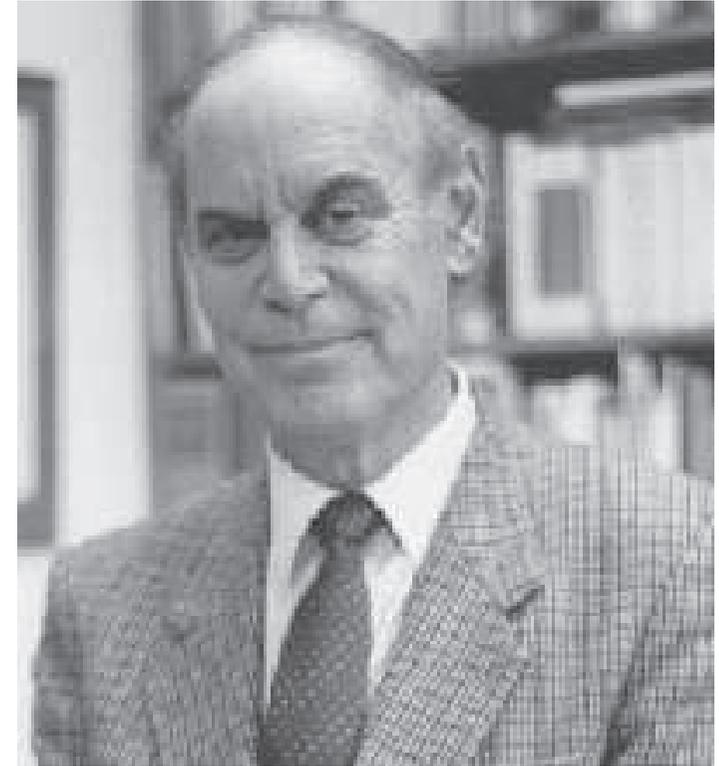
Gerald Holton

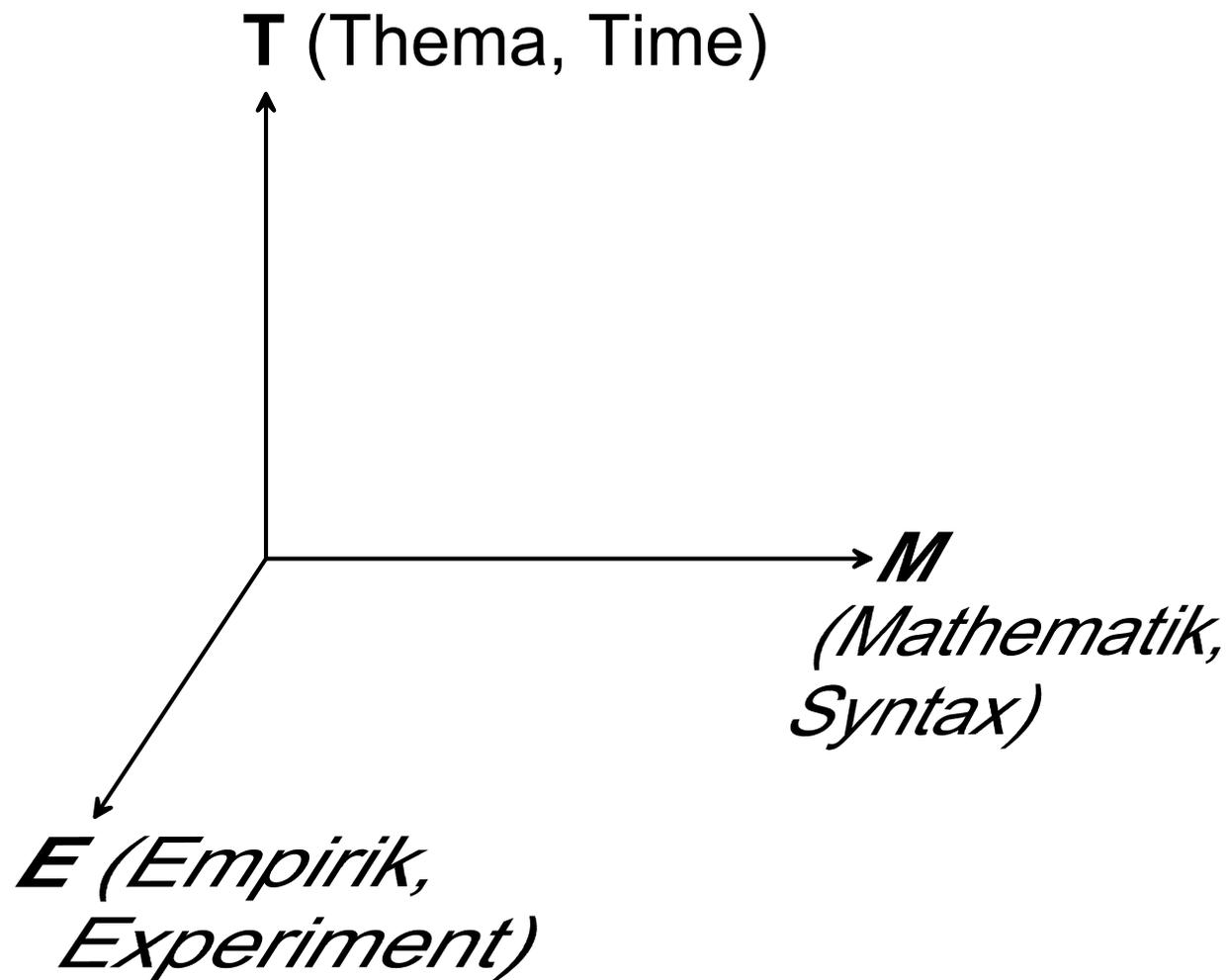
*1922 Berlin

Mallinckrodt Research Professor of Physics
and Research Professor of the History of
Science

Ph.D. in physics
as a student of P. W. Bridgman (1948)

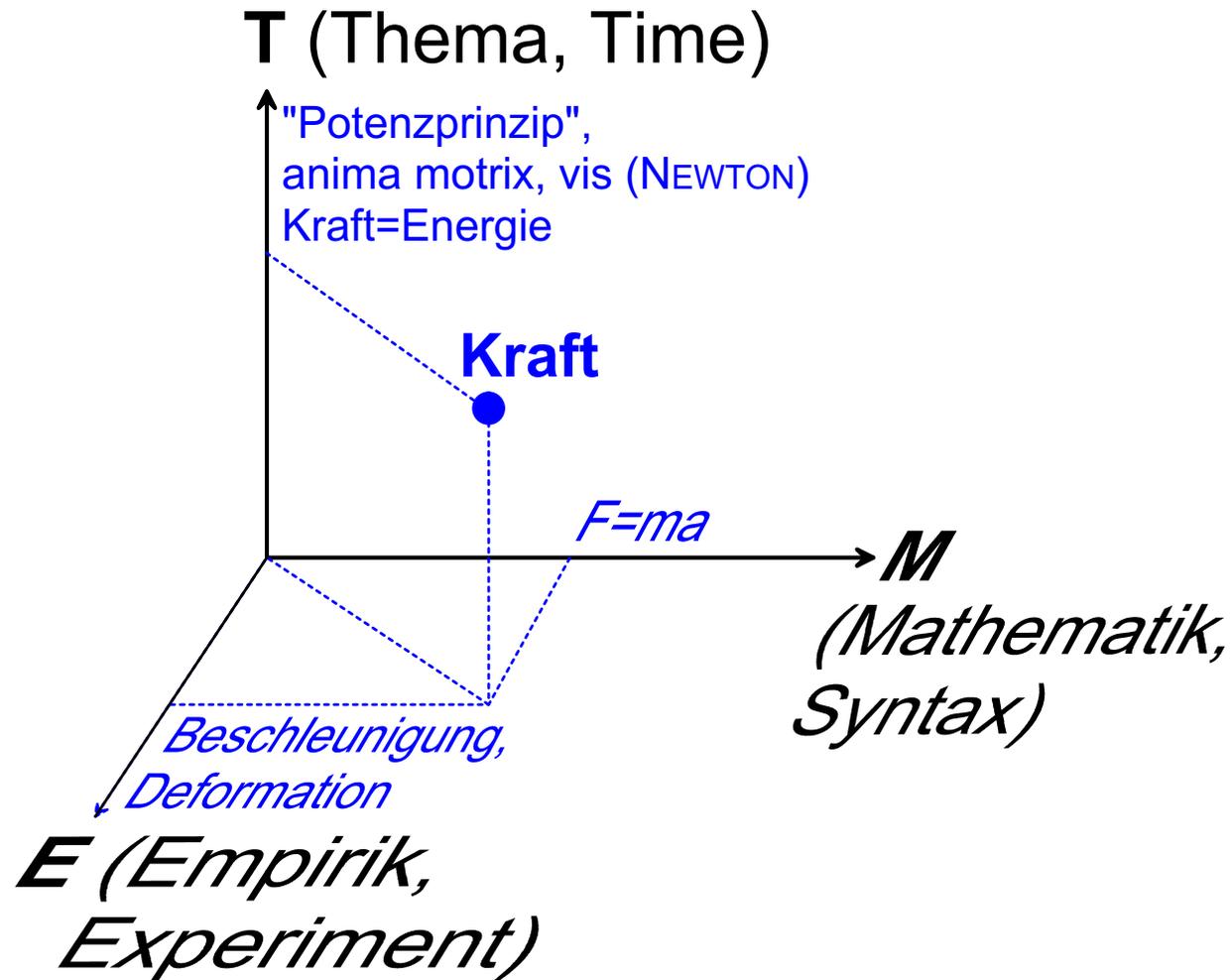
Emeritus at Harvard University





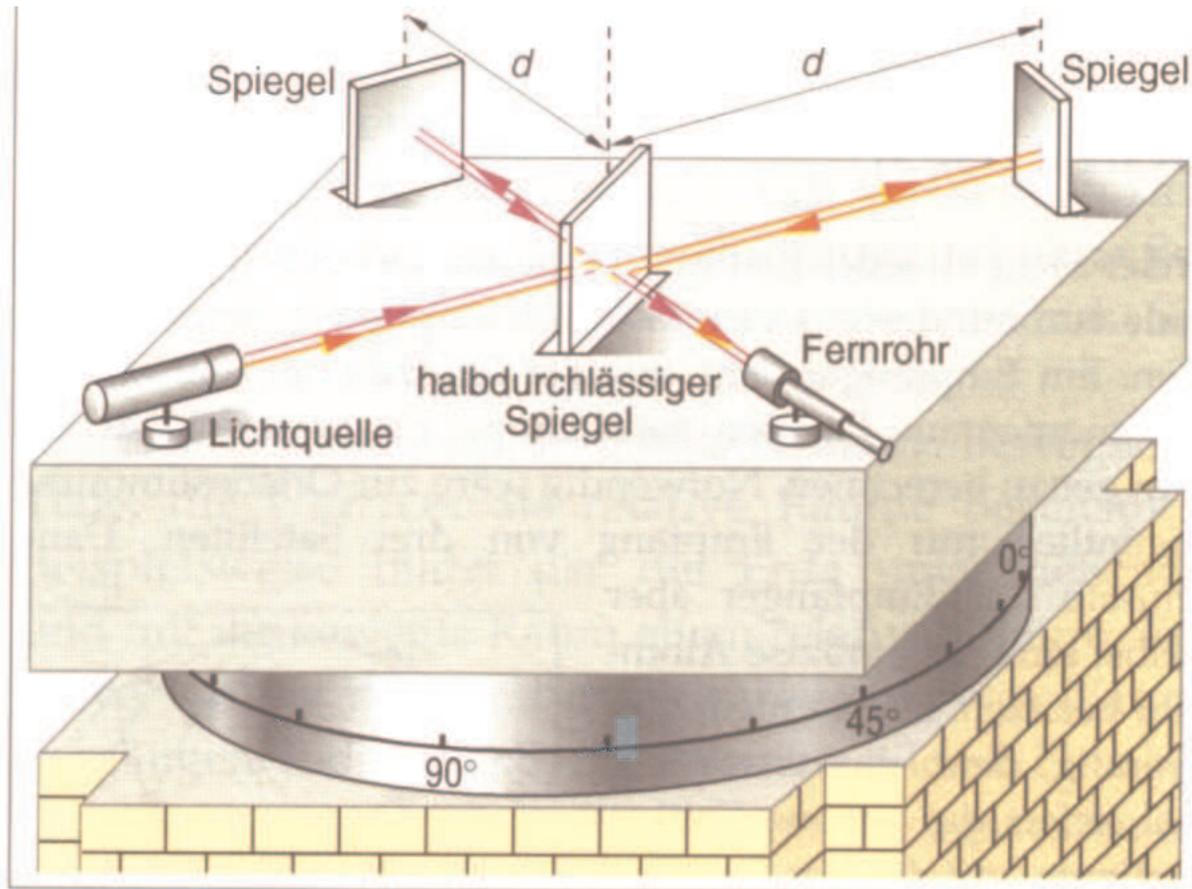
(nach W. KUHN: Ziel und Struktur physikalischer Theorien.
Praxis der Naturwissenschaften-Physik 2/39, 2–9 (1990))

Das TEM-Schema: „Kraft“



(nach W. KUHN: Ziel und Struktur physikalischer Theorien.
Praxis der Naturwissenschaften-Physik 2/39, 2–9 (1990))

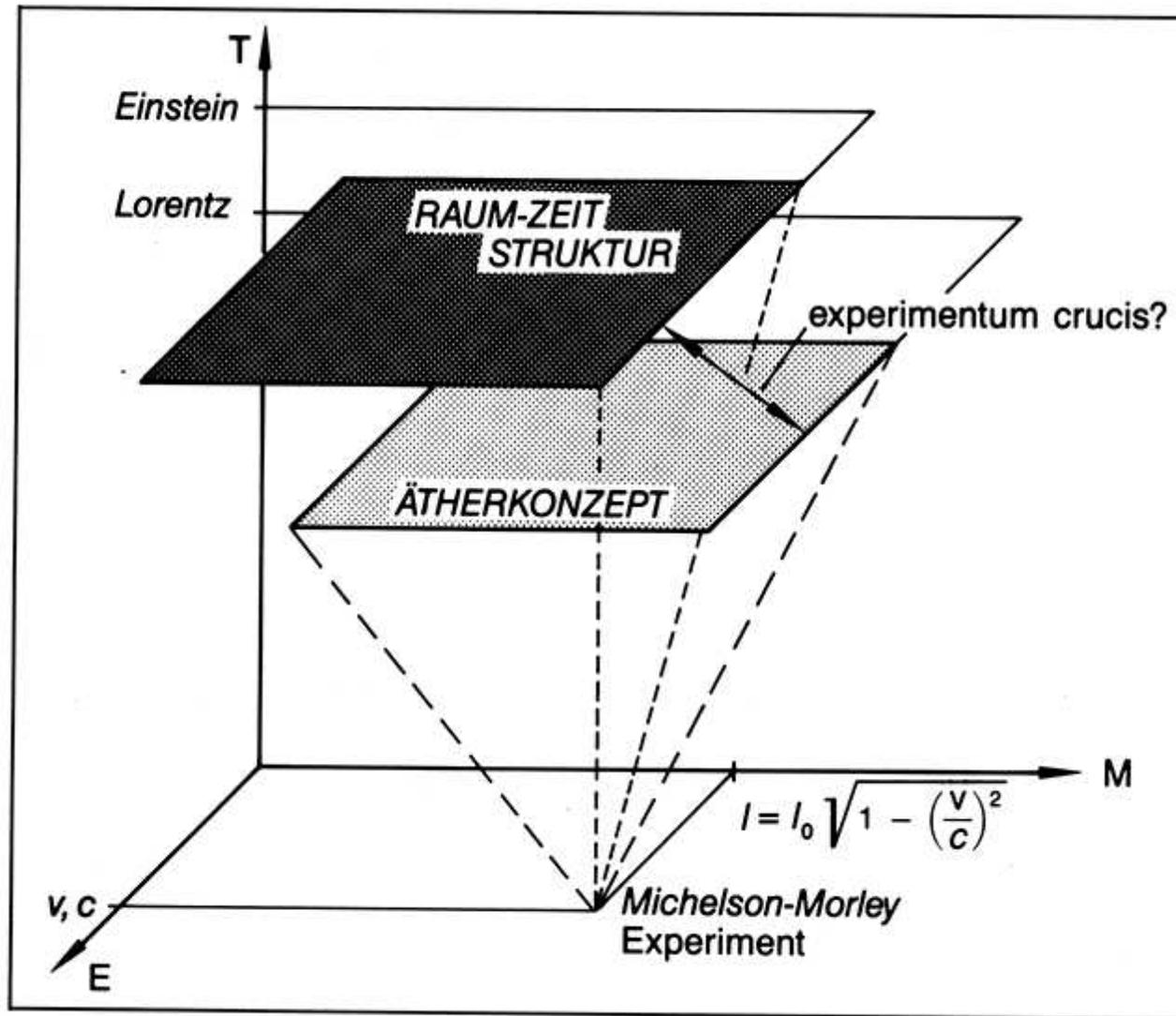
Michelson-Experiment



344.1 Der Michelson-Versuch mit der halb verspiegelten Glasplatte in der Mitte. Die Apparatur schwamm in einem Trog, gefüllt mit Quecksilber, und führte in fünf Minuten eine ganze Drehung aus. Nach Vorversuchen 1881 in Berlin begann MICHELSON 1886 die Arbeiten für das entscheidende Experiment in Cleveland, Ohio.

(Quelle: home.t-online.de/home/witthuser/)

Das TEM-Schema: Michelson-Experiment



(W. KUHN: Ziel und Struktur physikalischer Theorien.
Praxis der Naturwissenschaften-Physik 2/39, 2–9 (1990))

Der naturwissenschaftliche Zugriff auf die Welt

empirische Dimension

Erfahrung, Beobachtung, Experiment

analytische (mathematische) Dimension

Hypothesen, Modellbildung, mathematische Theorien

HEIDEGGER:

„Der Grundvorgang der Neuzeit ist die Eroberung der Welt als Bild.“

(HEIDEGGER: Die Zeit des Weltbildes. In: Holzwege. Frankfurt a.M.: 1950)

● **thematische Dimension**

Themata (G. HOLTON), Leitideen, Leitmotive (A. SCHLATTER),
Vorurteile (EINSTEIN),

Hintergrundüberzeugungen historischer, psychologischer, religiöser,
metaphysischer Art (W. KUHN)

„Thematische Analyse der Wissenschaft“ (G.HOLTON)

Themata

Der Wissenschaftshistoriker und Physiker G. HOLTON:

„Diese dritte, die thematische Dimension stellt die grundsätzlichen Annahmen, Begriffe, methodischen Urteile und Entscheidungen dar, die selbst nicht aus objektiv beobachteten Tatbeständen oder logisch mathematischen oder anderen Überlegungen ableitbar sind.“

(HOLTON, G.: Themata. Zur Ideengeschichte der Physik. Braunschweig: Vieweg 1984)

„Thematische Analyse der Wissenschaft“ (G.HOLTON)

Themata

Der Wissenschaftshistoriker und Physiker G. HOLTON:

„Diese dritte, die thematische Dimension stellt die grundsätzlichen Annahmen, Begriffe, methodischen Urteile und Entscheidungen dar, die selbst nicht aus objektiv beobachteten Tatbeständen oder logisch mathematischen oder anderen Überlegungen ableitbar sind.“

(HOLTON, G.: Themata. Zur Ideengeschichte der Physik. Braunschweig: Vieweg 1984)

Verwandte Begriffe:

„Ideale der Naturordnung“ (TOULMIN);

„Hintergrundüberzeugungen“ historischer, psychologischer, religiöser oder metaphysischer Art (W. KUHN).

„Paradigma“ (T. KUHN) (gelegentlich)

Vor-Urteile und Leitmotive in der Forschung

„Unsere Wissenschaft ist kein System von gesicherten Sätzen, auch kein System, das in stetem Fortschritt einem Zustand der Endgültigkeit zustrebt [. . .]. Wir wissen nicht, sondern wir raten. Und unser Raten ist geleitet vom unwissenschaftlichen, metaphysischen (aber biologisch erklärbaren) Glauben, dass es Gesetzmäßigkeiten gibt, die wir entschleiern, entdecken können. Mit Bacon können wir die ‚[. . .] Auffassung, der sich jetzt die Naturwissenschaft bedient, [. . .] Antizipation [. . .], leichtsinnige und voreilige Annahmen‘ nennen.“

(KARL R. POPPER: Logik der Forschung. S. 223. Tübingen: Mohr 1971)

Vor-Urteile und Leitmotive in der Forschung

EINSTEIN (1919):

„Wenn nämlich der Forscher ohne irgendwelche vorgefasste Meinung an die Dinge heranginge, wie sollte er aus der ungeheuren Fülle kompliziertester Erfahrung überhaupt Tatsachen herausgreifen können, die einfach genug sind, um gesetzmäßige Zusammenhänge offenbar werden zu lassen?“

(A. E.: „Induktion und Deduktion in der Physik“ (1919);

zit. in: HOLTON, G.: Themata. Zur Ideengeschichte der Physik. Braunschweig: Vieweg 1984. S. 149)

Vor-Urteile und Leitmotive in der Forschung

EINSTEIN (1919):

„Wenn nämlich der Forscher ohne irgendwelche vorgefasste Meinung an die Dinge heranginge, wie sollte er aus der ungeheuren Fülle kompliziertester Erfahrung überhaupt Tatsachen herausgreifen können, die einfach genug sind, um gesetzmäßige Zusammenhänge offenbar werden zu lassen?“

(A. E.: „Induktion und Deduktion in der Physik“ (1919);

zit. in: HOLTON, G.: Themata. Zur Ideengeschichte der Physik. Braunschweig: Vieweg 1984. S. 149)

A. SCHLATTER:

Es ist „für die Beobachtung nicht gleichgültig, welchen ‚Leitmotiven‘ sie von mir unterworfen wird.“

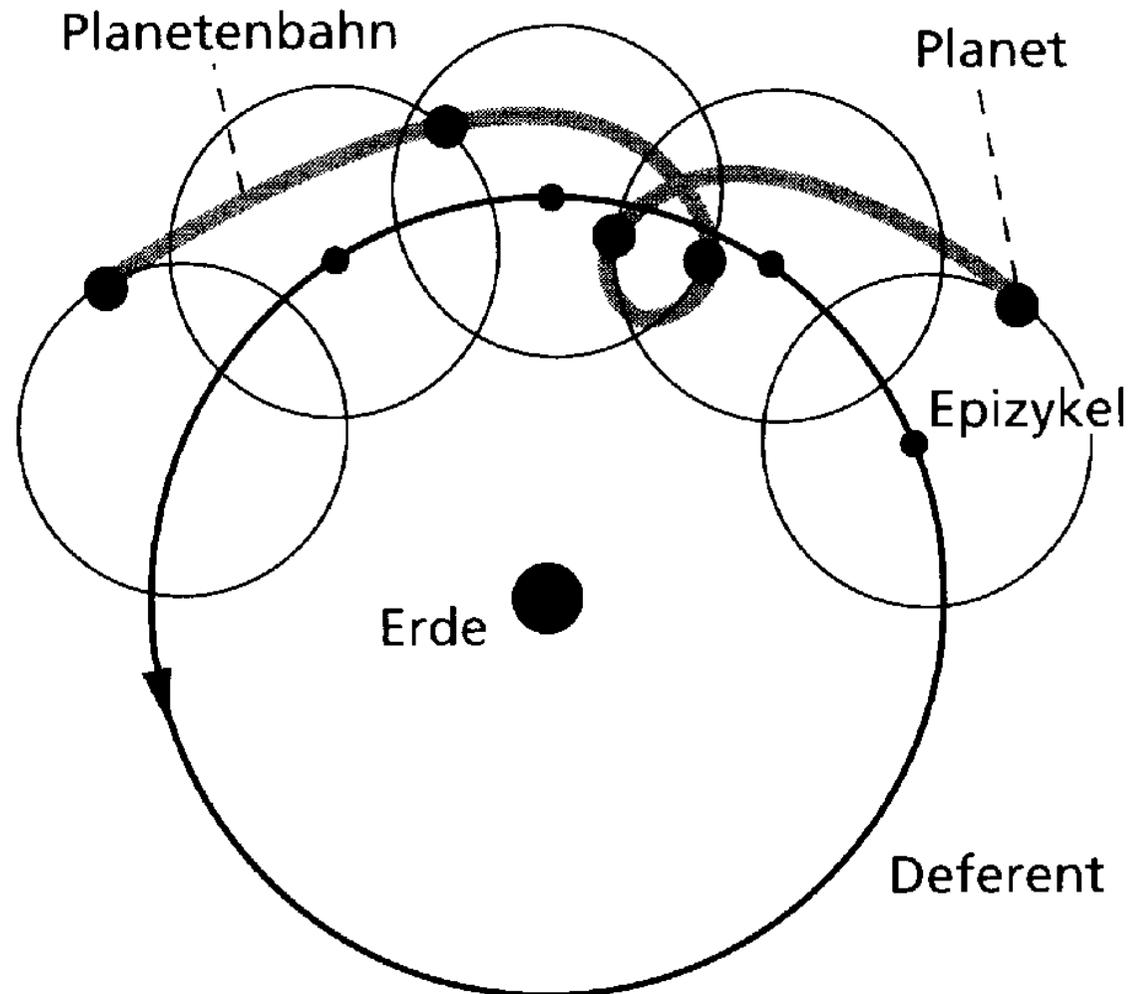
(SCHLATTER, A.: Atheistische Methoden in der Theologie [1905],

mit einem Beitrag von Paul Jäger. Hg. von H. Hempelmann. Wuppertal: R. Brockhaus 1985)

Leitidee: Kreisbahnen (I)



CLAUDIUS PTOLEMÄUS
(~100 - ~170)



Besonders instruktives Beispiel:

Leitidee der **Kreisbahnen der Himmelskörper**

Sie geht auf PLATON zurück.

Der Astronom C. PTOLEMÄUS (ca. 100–170 n.Chr.) formulierte:

„Wenn wir uns die Aufgabe gestellt haben, auch für die fünf Wandelsterne [...] den Nachweis zu führen, dass ihre scheinbaren Anomalien alle vermöge gleichförmiger Bewegungen auf Kreisen zum Ausdruck gelangen, weil nur diese Bewegungen der Natur der göttlichen Wesen entsprechen, während Regellosigkeit und Ungleichförmigkeit ihnen fremd sind, so darf man wohl das glückliche Vollbringen eines solchen Vorhabens als [...] Endziel der auf philosophischer Grundlage beruhenden mathematischen Wissenschaft“ bezeichnen.

(FÜRST, D. et al.: Astronomie. Berlin: PAETEC Ges. für Bildung und Technik mbH. 1997)

Leitidee: Methodischer Atheismus

Methodisches Minimalkonzept:

Metaphysische Fragen nach dem Ganzen, dem Woher, Wohin, dem Sinn werden ausgeklammert („*hypotheses non fingo*“ (I. NEWTON)). Vor allem:

Methodisches Minimalkonzept:

Metaphysische Fragen nach dem Ganzen, dem Woher, Wohin, dem Sinn werden ausgeklammert („*hypotheses non fingo*“ (I. NEWTON)). Vor allem:

- Die Gottesfrage wird zurückgestellt.
- Gott kommt in der Methode nicht vor.
„*etsi deus non daretur*“ (H. GROTHIUS 1625)
- Ein *deus ex machina* ist nicht zulässig.

Leitidee: Methodischer Atheismus

Methodisches Minimalkonzept:

Metaphysische Fragen nach dem Ganzen, dem Woher, Wohin, dem Sinn werden ausgeklammert („*hypotheses non fingo*“ (I. NEWTON)). Vor allem:

- Die Gottesfrage wird zurückgestellt.
- Gott kommt in der Methode nicht vor.
„*etsi deus non daretur*“ (H. GROTHIUS 1625)
- Ein *deus ex machina* ist nicht zulässig.

Anspruch:

- Beschreibung, nicht Erklärung der Welt
- Ergebnisse unabhängig von der Weltanschauung einsehbar, gültig

Leitidee: Methodischer Atheismus

Methodisches Minimalkonzept:

Metaphysische Fragen nach dem Ganzen, dem Woher, Wohin, dem Sinn werden ausgeklammert („*hypotheses non fingo*“ (I. NEWTON)). Vor allem:

- Die Gottesfrage wird zurückgestellt.
- Gott kommt in der Methode nicht vor.
„*etsi deus non daretur*“ (H. GROTHIUS 1625)
- Ein deus ex machina ist nicht zulässig.

Anspruch:

- Beschreibung, nicht Erklärung der Welt
- Ergebnisse unabhängig von der Weltanschauung einsehbar, gültig

Nicht beabsichtigt:

- die Welt allein aus der Welt *erklären* wollen (Letztbegründungen)
- dogmatischer Atheismus, weltanschauliche Übergriffe

Weitere Beispiele für Themata, Leitideen (I)

In den Naturwissenschaften lassen sich eine Fülle von Themata aufweisen. Sie lösten sich z.T. nacheinander ab; andere blieben oder bleiben nebeneinander bestehen.

Weitere Beispiele für Themata, Leitideen (I)

In den Naturwissenschaften lassen sich eine Fülle von Themata aufweisen. Sie lösten sich z.T. nacheinander ab; andere blieben oder bleiben nebeneinander bestehen.

- Alle Himmelskörper beschreiben Kreisbahnen (PLATON bis KOPERNIKUS, TYCHO BRAHE).

Weitere Beispiele für Themata, Leitideen (I)

In den Naturwissenschaften lassen sich eine Fülle von Themata aufweisen. Sie lösten sich z.T. nacheinander ab; andere blieben oder bleiben nebeneinander bestehen.

- Alle Himmelskörper beschreiben Kreisbahnen (PLATON bis KOPERNIKUS, TYCHO BRAHE).
- Die Natur als Maschine (Uhrwerk) (seit KEPLER)

Weitere Beispiele für Themata, Leitideen (I)

In den Naturwissenschaften lassen sich eine Fülle von Themata aufweisen. Sie lösten sich z.T. nacheinander ab; andere blieben oder bleiben nebeneinander bestehen.

- Alle Himmelskörper beschreiben Kreisbahnen (PLATON bis KOPERNIKUS, TYCHO BRAHE).
- Die Natur als Maschine (Uhrwerk) (seit KEPLER)
- Die Idee der Einheit der Natur (Suche nach der Vereinheitlichung der fundamentalen Wechselwirkungen; EINSTEIN, HEISENBERG)

Weitere Beispiele für Themata, Leitideen (I)

In den Naturwissenschaften lassen sich eine Fülle von Themata aufweisen. Sie lösten sich z.T. nacheinander ab; andere blieben oder bleiben nebeneinander bestehen.

- Alle Himmelskörper beschreiben Kreisbahnen (PLATON bis KOPERNIKUS, TYCHO BRAHE).
- Die Natur als Maschine (Uhrwerk) (seit KEPLER)
- Die Idee der Einheit der Natur (Suche nach der Vereinheitlichung der fundamentalen Wechselwirkungen; EINSTEIN, HEISENBERG)
- Die Idee der Erhaltungsgrößen (Impulserhaltung, Energieerhaltung; DESCARTES)

Weitere Beispiele für Themata, Leitideen (I)

In den Naturwissenschaften lassen sich eine Fülle von Themata aufweisen. Sie lösten sich z.T. nacheinander ab; andere blieben oder bleiben nebeneinander bestehen.

- Alle Himmelskörper beschreiben Kreisbahnen (PLATON bis KOPERNIKUS, TYCHO BRAHE).
- Die Natur als Maschine (Uhrwerk) (seit KEPLER)
- Die Idee der Einheit der Natur (Suche nach der Vereinheitlichung der fundamentalen Wechselwirkungen; EINSTEIN, HEISENBERG)
- Die Idee der Erhaltungsgrößen (Impulserhaltung, Energieerhaltung; DESCARTES)
- Die Ideen der diskreten und der kontinuierlichen Struktur der Materie (DEMOKRIT, NEWTON; HUYGENS, HEISENBERG)

Weitere Beispiele für Themata, Leitideen (I)

In den Naturwissenschaften lassen sich eine Fülle von Themata aufweisen. Sie lösten sich z.T. nacheinander ab; andere blieben oder bleiben nebeneinander bestehen.

- Alle Himmelskörper beschreiben Kreisbahnen (PLATON bis KOPERNIKUS, TYCHO BRAHE).
- Die Natur als Maschine (Uhrwerk) (seit KEPLER)
- Die Idee der Einheit der Natur (Suche nach der Vereinheitlichung der fundamentalen Wechselwirkungen; EINSTEIN, HEISENBERG)
- Die Idee der Erhaltungsgrößen (Impulserhaltung, Energieerhaltung; DESCARTES)
- Die Ideen der diskreten und der kontinuierlichen Struktur der Materie (DEMOKRIT, NEWTON; HUYGENS, HEISENBERG)
- Determinismus und Indeterminismus (LAPLACE und BORN)

Weitere Beispiele für Themata, Leitideen (II)

In den Naturwissenschaften lassen sich eine Fülle von Themata aufweisen. Sie lösten sich z.T. nacheinander ab; andere blieben oder bleiben nebeneinander bestehen.

- Komplementarität (BOHR)

Weitere Beispiele für Themata, Leitideen (II)

In den Naturwissenschaften lassen sich eine Fülle von Themata aufweisen. Sie lösten sich z.T. nacheinander ab; andere blieben oder bleiben nebeneinander bestehen.

- Komplementarität (BOHR)
- Einfachheit und Sparsamkeit der Mittel (OCCAM, EINSTEIN)

Weitere Beispiele für Themata, Leitideen (II)

In den Naturwissenschaften lassen sich eine Fülle von Themata aufweisen. Sie lösten sich z.T. nacheinander ab; andere blieben oder bleiben nebeneinander bestehen.

- Komplementarität (BOHR)
- Einfachheit und Sparsamkeit der Mittel (OCCAM, EINSTEIN)
- Symmetrie (etwa seit EINSTEIN)

Weitere Beispiele für Themata, Leitideen (II)

In den Naturwissenschaften lassen sich eine Fülle von Themata aufweisen. Sie lösten sich z.T. nacheinander ab; andere blieben oder bleiben nebeneinander bestehen.

- Komplementarität (BOHR)
- Einfachheit und Sparsamkeit der Mittel (OCCAM, EINSTEIN)
- Symmetrie (etwa seit EINSTEIN)
- Evolution, Fortschrittsgedanke (DARWIN)

Weitere Beispiele für Themata, Leitideen (II)

In den Naturwissenschaften lassen sich eine Fülle von Themata aufweisen. Sie lösten sich z.T. nacheinander ab; andere blieben oder bleiben nebeneinander bestehen.

- Komplementarität (BOHR)
- Einfachheit und Sparsamkeit der Mittel (OCCAM, EINSTEIN)
- Symmetrie (etwa seit EINSTEIN)
- Evolution, Fortschrittsgedanke (DARWIN)
- Kosmologische Prinzipien
(großräumige Homogenität und Isotropie des Kosmos; überall gleiche Naturgesetze; EINSTEIN)

Weitere Beispiele für Themata, Leitideen (II)

In den Naturwissenschaften lassen sich eine Fülle von Themata aufweisen. Sie lösten sich z.T. nacheinander ab; andere blieben oder bleiben nebeneinander bestehen.

- Komplementarität (BOHR)
- Einfachheit und Sparsamkeit der Mittel (OCCAM, EINSTEIN)
- Symmetrie (etwa seit EINSTEIN)
- Evolution, Fortschrittsgedanke (DARWIN)
- Kosmologische Prinzipien
(großräumige Homogenität und Isotropie des Kosmos; überall gleiche Naturgesetze; EINSTEIN)
- Selbstorganisation (EIGEN u.a.)

Weitere Beispiele für Themata, Leitideen (II)

In den Naturwissenschaften lassen sich eine Fülle von Themata aufweisen. Sie lösten sich z.T. nacheinander ab; andere blieben oder bleiben nebeneinander bestehen.

- Komplementarität (BOHR)
- Einfachheit und Sparsamkeit der Mittel (OCCAM, EINSTEIN)
- Symmetrie (etwa seit EINSTEIN)
- Evolution, Fortschrittsgedanke (DARWIN)
- Kosmologische Prinzipien
(großräumige Homogenität und Isotropie des Kosmos; überall gleiche Naturgesetze; EINSTEIN)
- Selbstorganisation (EIGEN u.a.)
- methodischer Atheismus
(Gott nicht als Erklärungsfaktor in der Wissenschaft;
DESCARTES, GROTHIUS, NEWTON)

EINSTEINs Annus mirabilis (1905)

Im Jahr 1905 publizierte der 26-jährige Einstein neben 21 Kurzrezensionen fünf bahnbrechende Arbeiten in kurzer Folge:

1. „Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen“ (EINSTEINs Dissertation)
2. „Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen“
3. „Zur Elektrodynamik bewegter Körper“ (Spezielle Relativitätstheorie)
4. „Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?“ ($E = mc^2$)
5. „Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt“ (Lichtquantenhypothese, $E = h\nu$)



ALBERT EINSTEIN im
Patentamt in Bern

War Einstein ein Philosoph? (I)

Unterschiedliche Beurteilungen:

- PAUL A. SCHILPP (Ed.): Albert Einstein. Philosoph – Scientist (1949)
(dt.: Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher. Stuttgart: Kohlhammer 1979)

War Einstein ein Philosoph? (I)

Unterschiedliche Beurteilungen:

- PAUL A. SCHILPP (Ed.): Albert Einstein. Philosoph – Scientist (1949)
(dt.: Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher. Stuttgart: Kohlhammer 1979)
- „*Einstein war Physiker und nicht Philosoph. Aber die naive Direktheit seiner Fragen war philosophisch.*“
(C. F. VON WEIZSÄCKER, A. CALAPRICE: Einstein sagt. München, Zürich: Piper 2003 (5. Aufl.)

War Einstein ein Philosoph? (I)

Unterschiedliche Beurteilungen:

- PAUL A. SCHILPP (Ed.): Albert Einstein. Philosoph – Scientist (1949)
(dt.: Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher. Stuttgart: Kohlhammer 1979)
- *„Einstein war Physiker und nicht Philosoph. Aber die naive Direktheit seiner Fragen war philosophisch.“*
(C. F. VON WEIZSÄCKER, A. CALAPRICE: Einstein sagt. München, Zürich: Piper 2003 (5. Aufl.)
- Kritik von P. JANICH („Protophysik“):
„Einsteins gelegentliche Äußerungen erkenntnistheoretischen Inhalts, [...] zählen meines Erachtens nicht zu seinen großen Leistungen [...] Vom heutigen Standpunkt der Diskussion in der Wissenschaftstheorie hält kein wissenschaftstheoretischer Beitrag Einsteins der Überprüfung stand.“
(JANICH, P.: Die erkenntnistheoretischen Quellen Einsteins, in: H. NELKOWSKI et al. (Eds.): Einstein Symposium Berlin, Lecture Notes in Physics, Bd. 100, Berlin: Springer 1979. S. 425)

War Einstein ein Philosoph? (II)

EINSTEIN über Physik und Philosophie (1936):

„Oft und gewiss nicht ohne Berechtigung ist gesagt worden, dass der Naturwissenschaftler ein schlechter Philosoph sei. Warum sollte es also nicht auch für den Physiker das Richtige sein, das Philosophieren dem Philosophen zu überlassen?“

In einer Zeit, in welcher die Physiker über ein festes, nicht angezweifeltes System von Fundamentalbegriffen und Fundamentalgesetzen zu verfügen glaubten, mag dies wohl so gewesen sein, nicht aber in einer Zeit, in welcher das ganze Fundament der Physik problematisch geworden ist, wie gegenwärtig.

In solcher Zeit des durch die Erfahrung erzwungenen Suchens nach einer neuen, solideren Basis kann der Physiker die kritische Betrachtung der Grundlagen nicht einfach der Philosophie überlassen, weil nur er selber am besten weiß und fühlt, wo ihn der Schuh drückt; [. . .]“

(ALBERT EINSTEIN: Aus meinen späten Jahren. S. 63. Stuttgart: DVA 1979)

War Einstein ein Philosoph? (III)

Ausgangspunkt von EINSTEINS Erkenntnistheorie:

● „*Alle Wissenschaft ist nur eine Verfeinerung des Denkens des Alltags.*“

(ALBERT EINSTEIN: Aus meinen späten Jahren. Stuttgart: DVA 1979)

So gehen auch viele analytische Philosophen vor.

War Einstein ein Philosoph? (III)

Ausgangspunkt von EINSTEINS Erkenntnistheorie:

- *„Alle Wissenschaft ist nur eine Verfeinerung des Denkens des Alltags.“*
(ALBERT EINSTEIN: Aus meinen späten Jahren. Stuttgart: DVA 1979)
So gehen auch viele analytische Philosophen vor.
- *„Die gegenseitige Beziehung von Erkenntnistheorie und Science ist von merkwürdiger Art. Sie sind aufeinander angewiesen. Erkenntnistheorie ohne Kontakt mit Science wird zum leeren Schema. Science ohne Erkenntnistheorie ist – soweit überhaupt denkbar – primitiv und verworren.“*

Beispiel:

Unsicherheit in der semantischen Referenz des Zustandsvektors $|\Psi\rangle$

(PAUL A. SCHILPP (Hrsg.): Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher. S. 507. Stuttgart: Kohlhammer 1979)

ERNST MACH – Physiker und Philosoph



ERNST MACH (1838–1916)

Programm des MACHschen Empirismus:

- Elimination aller Metaphysik
„*metaphysische Ungeheuer*“ absoluter Raum und absolute Zeit
Es gibt nichts anderes als „*Empfindungen*“ (oder „*Elemente*“)
und deren Verknüpfung.
„*Farben, Raum, Töne usw. Das sind die eigentlichen Realitäten. Andere gibt es nicht.*“

(GERALD HOLTON: Thematische Analyse der Wissenschaft. Die Physik Einsteins und seiner Zeit.
Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 293. Frankfurt: Suhrkamp 1981. S. 228,232)

(„Aus Machs wissenschaftlichen Tagebüchern“, Hugo Dingler: Die Grundgedanken der Machschen
Philosophie. Leipzig 1924. S. 98)

Programm des MACHschen Empirismus:

- Elimination aller Metaphysik
„*metaphysische Ungeheuer*“ absoluter Raum und absolute Zeit
Es gibt nichts anderes als „*Empfindungen*“ (oder „*Elemente*“)
und deren Verknüpfung.
„*Farben, Raum, Töne usw. Das sind die eigentlichen Realitäten. Andere gibt es nicht.*“

(GERALD HOLTON: Thematische Analyse der Wissenschaft. Die Physik Einsteins und seiner Zeit.
Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 293. Frankfurt: Suhrkamp 1981. S. 228,232)

(„Aus Machs wissenschaftlichen Tagebüchern“, Hugo Dingler: Die Grundgedanken der Machschen
Philosophie. Leipzig 1924. S. 98)

- Ziel: möglichst einfache Verknüpfung der „*Elemente*“ durch Begriffe
(Prinzip der Denkökonomie)

Struktur der Speziellen Relativitätstheorie:

- Erkenntnistheoretische Analyse von Raum und Zeit

Struktur der Speziellen Relativitätstheorie:

- Erkenntnistheoretische Analyse von Raum und Zeit
- Realität = was durch Sinneserfahrungen („*Ereignisse*“) gegeben ist;
Operieren mit Uhren und Maßstäben

Antipositivistische Tendenzen bei EINSTEIN (I)

EINSTEIN über MACH:

„[...] Seine Schwäche sehe ich darin, dass er mehr oder weniger glaubte, dass die Wissenschaft in einem bloßen ‚Ordnen‘ empirischen Materials bestehe; d.h. er hat das freie konstruktive Element in der Begriffsbildung verkannt. Er meinte gewissermaßen, dass Theorien durch Entdeckung und nicht durch Erfindung entstehen. Er ging sogar so weit, dass er die ‚Empfindungen‘ nicht nur als zu erfassendes Material, sondern gewissermaßen als die Bausteine der wirklichen Welt ansah; [...]“

(Brief an BESSO, 1948. GERALD HOLTON: Thematische Analyse der Wissenschaft.

Die Physik Einsteins und seiner Zeit. Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 293. Frankfurt: Suhrkamp

1981. S. 218)

Antipositivistische Tendenzen bei EINSTEIN (I)

EINSTEIN über MACH:

„[...] Seine Schwäche sehe ich darin, dass er mehr oder weniger glaubte, dass die Wissenschaft in einem bloßen ‚Ordnen‘ empirischen Materials bestehe; d.h. er hat das freie konstruktive Element in der Begriffsbildung verkannt. Er meinte gewissermaßen, dass Theorien durch Entdeckung und nicht durch Erfindung entstehen. Er ging sogar so weit, dass er die ‚Empfindungen‘ nicht nur als zu erfassendes Material, sondern gewissermaßen als die Bausteine der wirklichen Welt ansah; [...]“

(Brief an BESSO, 1948. GERALD HOLTON: Thematische Analyse der Wissenschaft.

Die Physik Einsteins und seiner Zeit. Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 293. Frankfurt: Suhrkamp
1981. S. 218)

„[...] alles in allem, was Mach geschaffen hat, ist ein Katalog, nicht ein System.“

GERALD HOLTON: *Thematische Analyse der Wissenschaft. Die Physik Einsteins und seiner Zeit. Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 293. Frankfurt: Suhrkamp 1981. S. 228)*

Antipositivistische Tendenzen bei EINSTEIN (II)

Zwei verschiedene Wissenschaftstheorien in der Speziellen Relativitätstheorie:

- empirisch-operationalistische Komponente (Uhren, Maßstäbe)

Antipositivistische Tendenzen bei EINSTEIN (II)

Zwei verschiedene Wissenschaftstheorien in der Speziellen Relativitätstheorie:

- empirisch-operationalistische Komponente (Uhren, Maßstäbe)
- thematisch geprägte Hypothesen (Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Relativitätsprinzip)

Verzicht auf unmittelbare Raum-Zeit-Erfahrung
(vierdimensionale MINKOWSKI-Geometrie)

Was heißt „beobachtbar“?

Berlin 1926: HEISENBERG hält ein Kolloquium über seine neue Quantentheorie und berichtet:

EINSTEIN fragte: *„Was Sie uns da erzählt haben, klingt ja sehr ungewöhnlich. Sie nehmen an, dass es Elektronen im Atom gibt, und darin werden Sie sicher recht haben. Aber die Bahnen der Elektronen im Atom, die wollen Sie ganz abschaffen, obwohl man doch die Bahnen der Elektronen in einer Nebelkammer unmittelbar sehen kann. Können Sie mir die Gründe für diese merkwürdigen Annahmen etwas genauer erklären.“*

Was heißt „beobachtbar“?

Berlin 1926: HEISENBERG hält ein Kolloquium über seine neue Quantentheorie und berichtet:

EINSTEIN fragte: „Was Sie uns da erzählt haben, klingt ja sehr ungewöhnlich. Sie nehmen an, dass es Elektronen im Atom gibt, und darin werden Sie sicher recht haben. Aber die Bahnen der Elektronen im Atom, die wollen Sie ganz abschaffen, obwohl man doch die Bahnen der Elektronen in einer Nebelkammer unmittelbar sehen kann. Können Sie mir die Gründe für diese merkwürdigen Annahmen etwas genauer erklären.“

„Die Bahnen der Elektronen im Atom kann man nicht beobachten“, habe ich wohl erwidert, „aber aus der Strahlung, die von einem Atom bei einem Entladungsvorgang ausgesandt wird, kann man doch unmittelbar auf die Schwingungsfrequenzen und die zugehörigen Amplituden der Elektronen im Atom schließen. [...] Da es aber doch vernünftig ist, in eine Theorie nur die Größen aufzunehmen, die beobachtet werden können, schien es mir naturgemäß, nur diese Gesamtheiten, sozusagen als Repräsentanten der Elektronenbahnen, einzuführen.“

Was heißt „beobachtbar“?

„Aber Sie glauben doch nicht im Ernst“, entgegnete EINSTEIN, „dass man in eine physikalische Theorie nur beobachtbare Größen aufnehmen kann.“

Was heißt „beobachtbar“?

„Aber Sie glauben doch nicht im Ernst“, entgegnete EINSTEIN, „dass man in eine physikalische Theorie nur beobachtbare Größen aufnehmen kann.“

„Ich dachte“, fragte ich erstaunt, „dass gerade Sie diesen Gedanken zur Grundlage Ihrer Relativitätstheorie gemacht hätten? Sie hatten doch betont, dass man nicht von absoluter Zeit reden dürfe, da man diese absolute Zeit nicht beobachten kann. Nur die Angaben der Uhren, sei es im bewegten oder im ruhenden Bezugssystem, sind für die Bestimmung der Zeit maßgebend.“

Was heißt „beobachtbar“?

„Vielleicht habe ich diese Art von Philosophie benützt“, antwortete EINSTEIN, „aber sie ist trotzdem Unsinn. Oder ich kann vorsichtiger sagen, es mag heuristisch von Wert sein, sich daran zu erinnern, was man wirklich beobachtet. Aber vom prinzipiellen Standpunkt aus ist es ganz falsch, eine Theorie nur auf beobachtbare Größen gründen zu wollen.“

Was heißt „beobachtbar“?

„Vielleicht habe ich diese Art von Philosophie benützt“, antwortete EINSTEIN, „aber sie ist trotzdem Unsinn. Oder ich kann vorsichtiger sagen, es mag heuristisch von Wert sein, sich daran zu erinnern, was man wirklich beobachtet. Aber vom prinzipiellen Standpunkt aus ist es ganz falsch, eine Theorie nur auf beobachtbare Größen gründen zu wollen.

Denn es ist ja in Wirklichkeit genau umgekehrt. **Erst die Theorie entscheidet darüber, was man beobachten kann.** [...] Nur die Theorie, das heißt die Kenntnis der Naturgesetze, erlaubt uns [...], aus dem sinnlichen Eindruck auf den zugrunde liegenden Vorgang zu schließen. [...] Obwohl wir uns anschicken, neue Naturgesetze zu formulieren, die nicht mit den bisherigen übereinstimmen, vermuten wir doch, dass die bisherigen Naturgesetze auf dem Weg vom zu beobachtenden Vorgang bis zu unserem Bewusstsein so genau funktionieren, dass wir uns auf sie verlassen und daher von Beobachtungen reden dürfen. [...]

(W. HEISENBERG: Der Teil und das Ganze. S. 79–80. München: DTV 1975. 2. Aufl.)

EINSTEINS rationalistischer Realismus

EINSTEIN 1930 an MORITZ SCHLICK:

*„Die Physik ist ein Versuch der begrifflichen Konstruktion eines Modells der **realen Welt** sowie von deren gesetzlicher Struktur. Allerdings muss sie die empirischen Relationen zwischen den uns zugänglichen Sinnenerlebnissen exakt darstellen, aber nur so ist sie an letztere gekettet.“*

MAX BORN über EINSTEIN:

„Er glaubte an die Kraft der Vernunft, die Gesetze intuitiv zu erfassen, nach denen Gott die Welt eingerichtet hat.“

(GERALD HOLTON: Thematische Analyse der Wissenschaft. Die Physik Einsteins und seiner Zeit. Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 293. Frankfurt: Suhrkamp 1981. S. 232f. [Hervorhebung im Original])

EINSTEIN glaubte (wie auch PLANCK), dass die physikalischen Sätze eine von uns unabhängige Realität in Raum und Zeit beschreiben.

Problem: Quantenmechanik

Die „Akademie Olympia“ (Bern, um 1902)



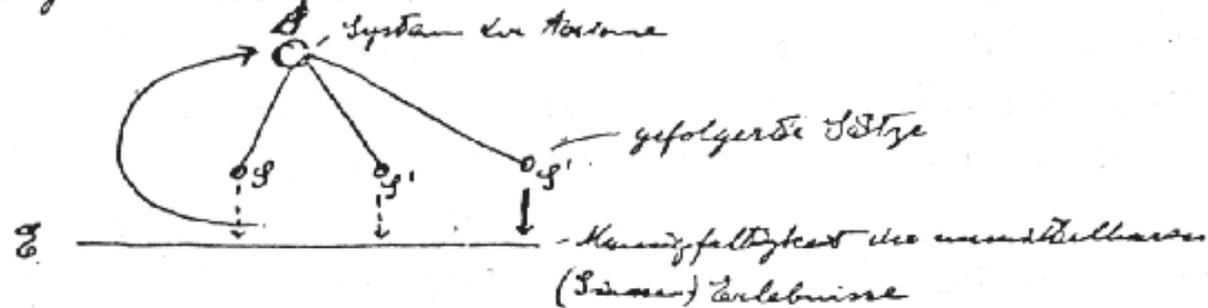
C. HABICHT

M. SOLOVINE

A. EINSTEIN

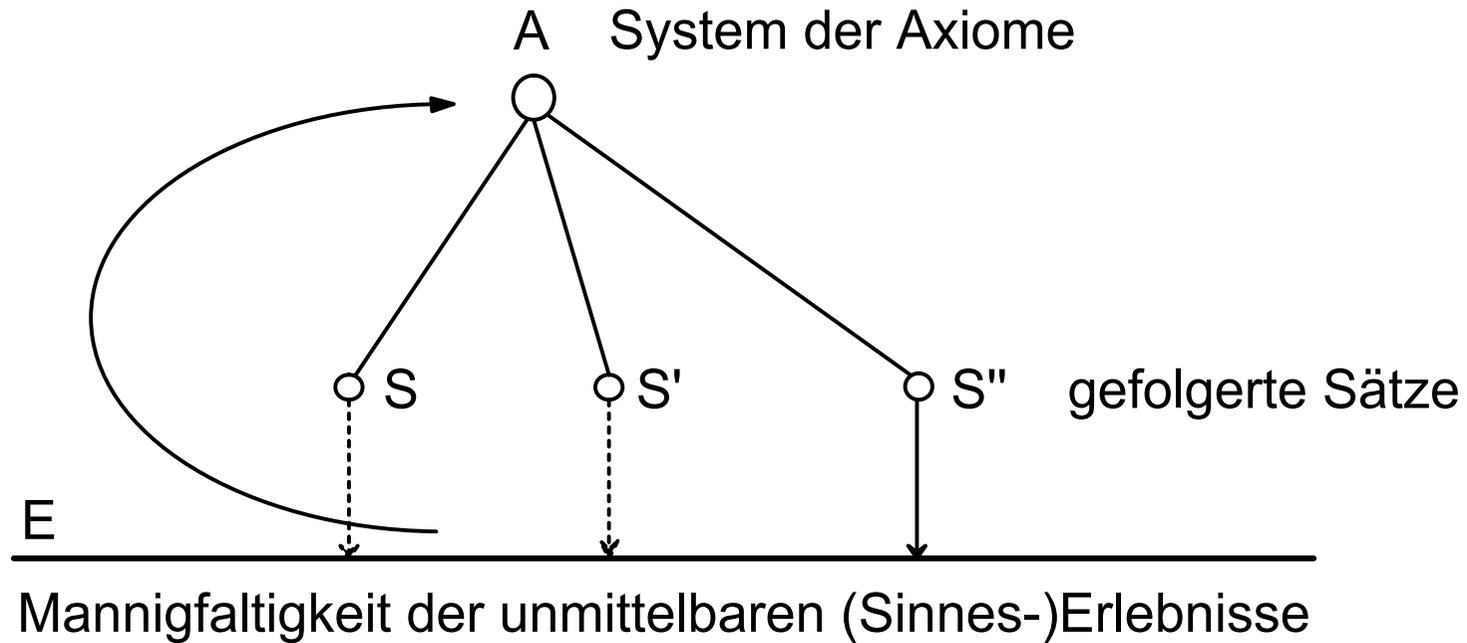
Ich sehe die Sache schematisch so ...

Mit den erkenntnis-theoretischen Sachen haben Sie mich gründliche
 unterhalten; wahrscheinlich habe ich mich nicht schlecht
 angedrückt. Ich sehe die Sache schematisch so



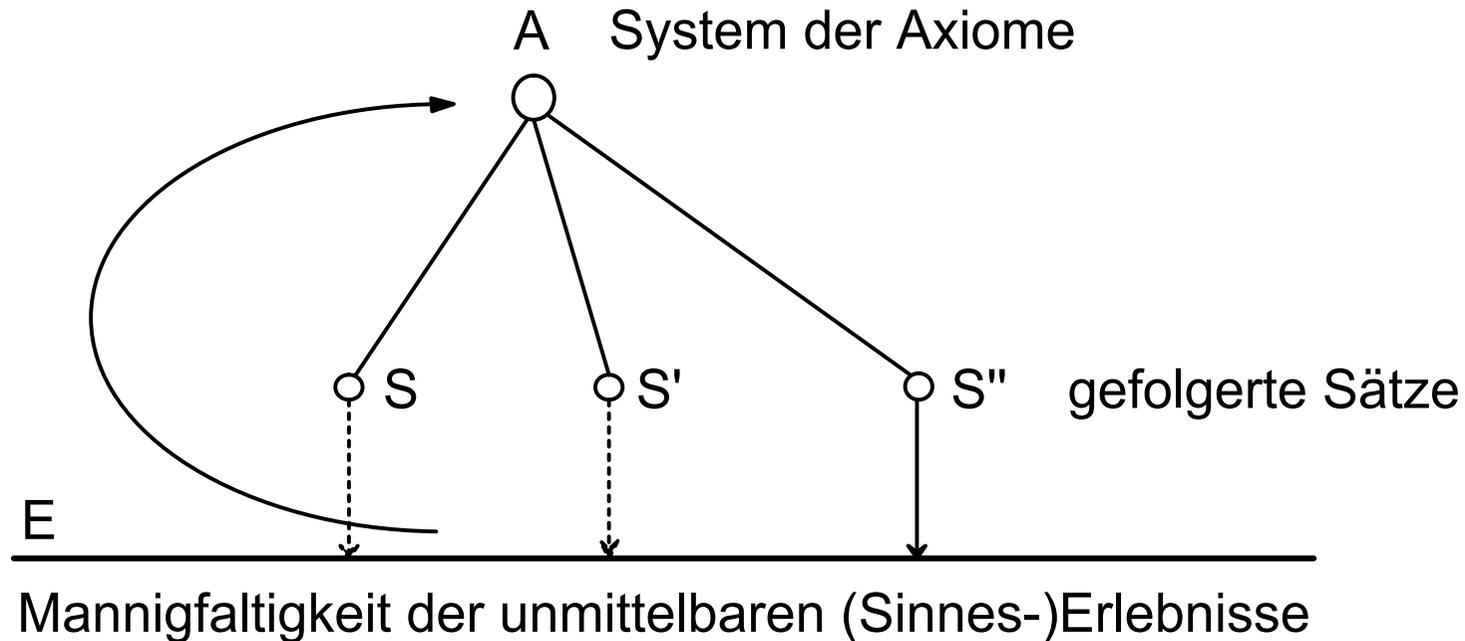
- (1) Die ^(Erlebnisse) E sind uns gegeben.
- (2) A sind die Axiome, aus denen wir Folgerungen ziehen.
 Psychologisch beruhen die A auf E . Es gibt aber keinen
 logischen Weg von den E zu A , sondern nur einen induktiven (psycholog. u.
 Zusammenhang, der immer „auf Wiederholung“ ist
- (3) Aus A werden auf logischen Wegen Einzel-Aussagen S abgeleitet
 welche Abkürzungen der Aussprüche auf Richtigkeit erheben können
- (4) Die S werden mit dem E in Beziehung gebracht (Prüfung
 an der Erfahrung). Diese Prozedur gehört genau betrachtet
 ebenfalls der extra-logischen ^(empirischen) Sphäre an, weil die Beziehung
 die in den S auftretenden Begriffen zu den Erlebnissen E
 nicht logischer Natur sind.

(EINSTEIN, Brief vom 7. Mai 1952 an MAURICE SOLOVINE)

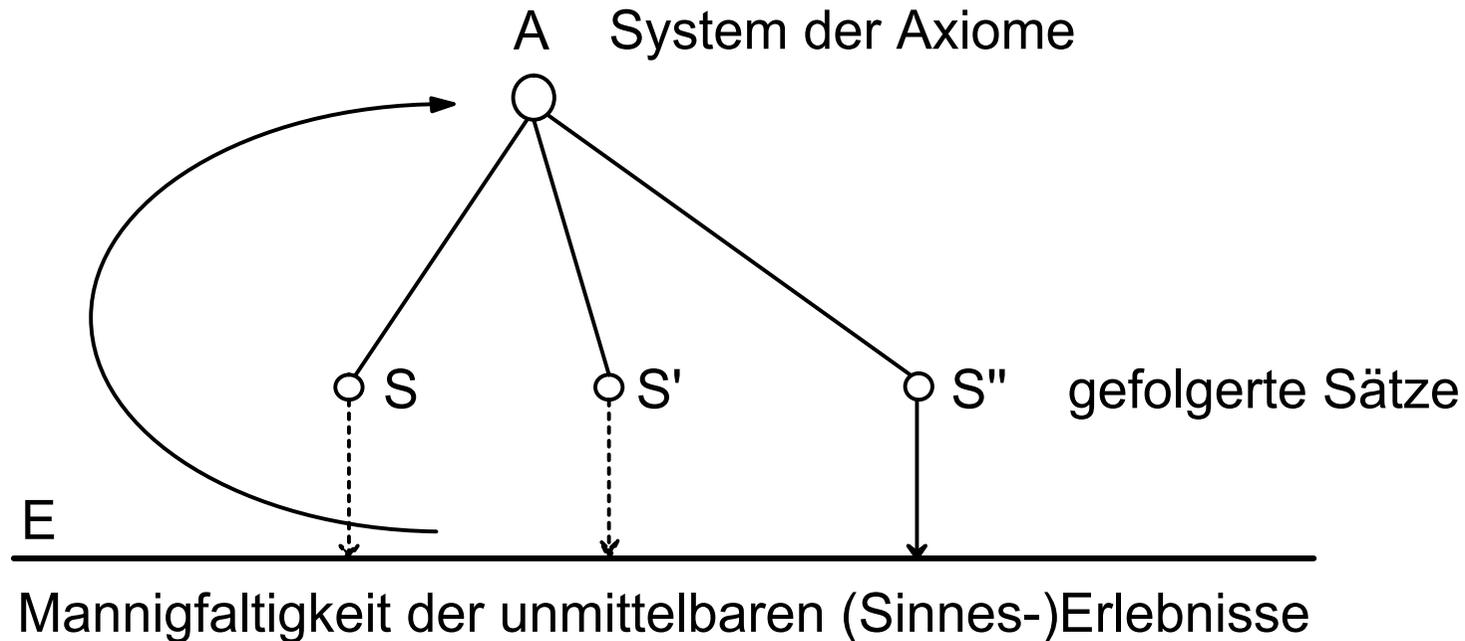


Verbindung von drei Ebenen: E, A, S

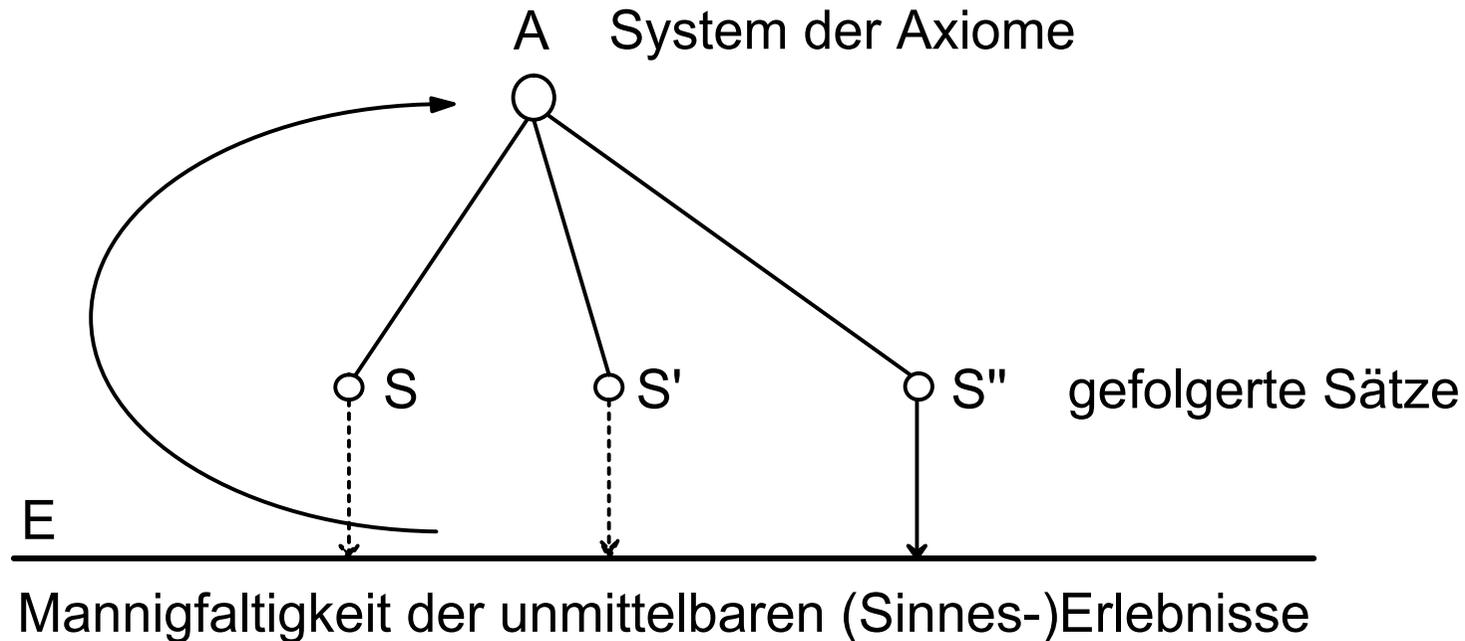
- „(1) Die E (Erlebnisse) sind uns gegeben.“



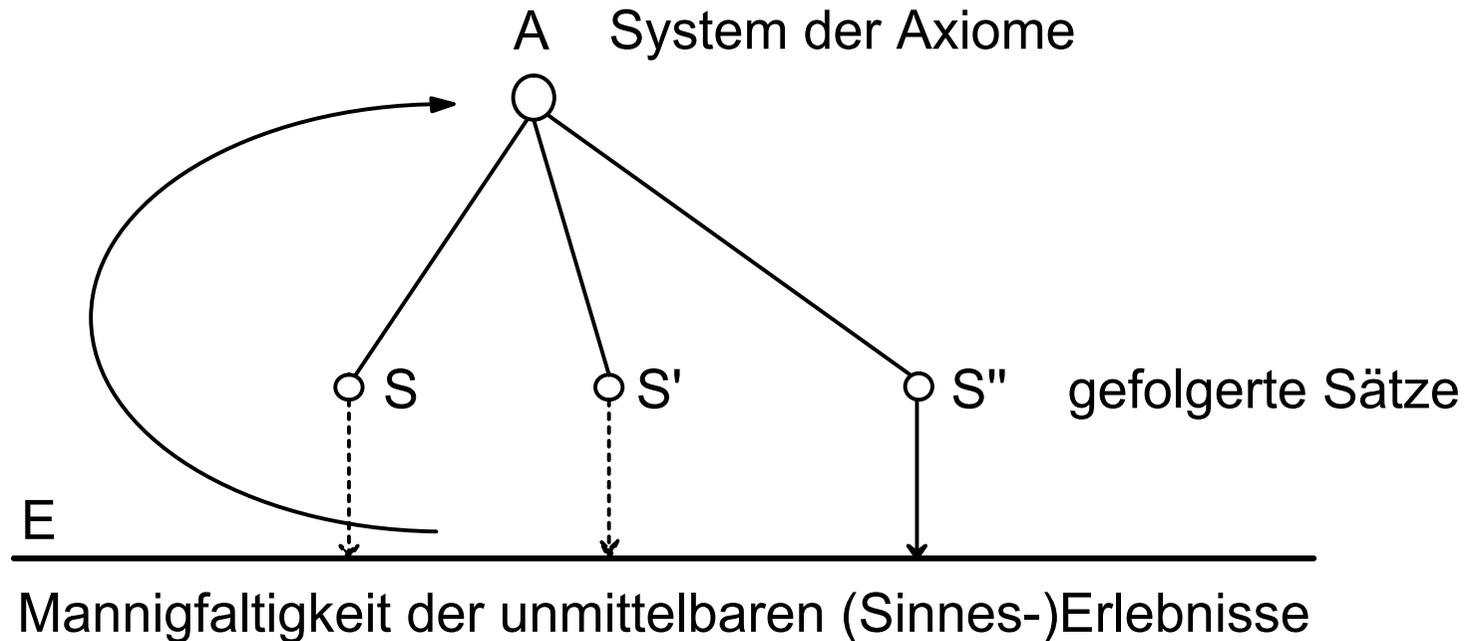
- „(2) *A* sind die Axiome, aus denen wir Folgerungen ziehen. Psychologisch beruhen die *A* auf *E*. Es gibt aber keinen logischen Weg von den *E* zu den *A*, sondern nur einen intuitiven (psychologischen) Zusammenhang, der immer ‚auf Widerruf‘ ist.“



- „(3) Aus A werden auf logischem Wege Einzelaussagen S abgeleitet, welche Ableitungen den Anspruch auf Richtigkeit erheben können.“



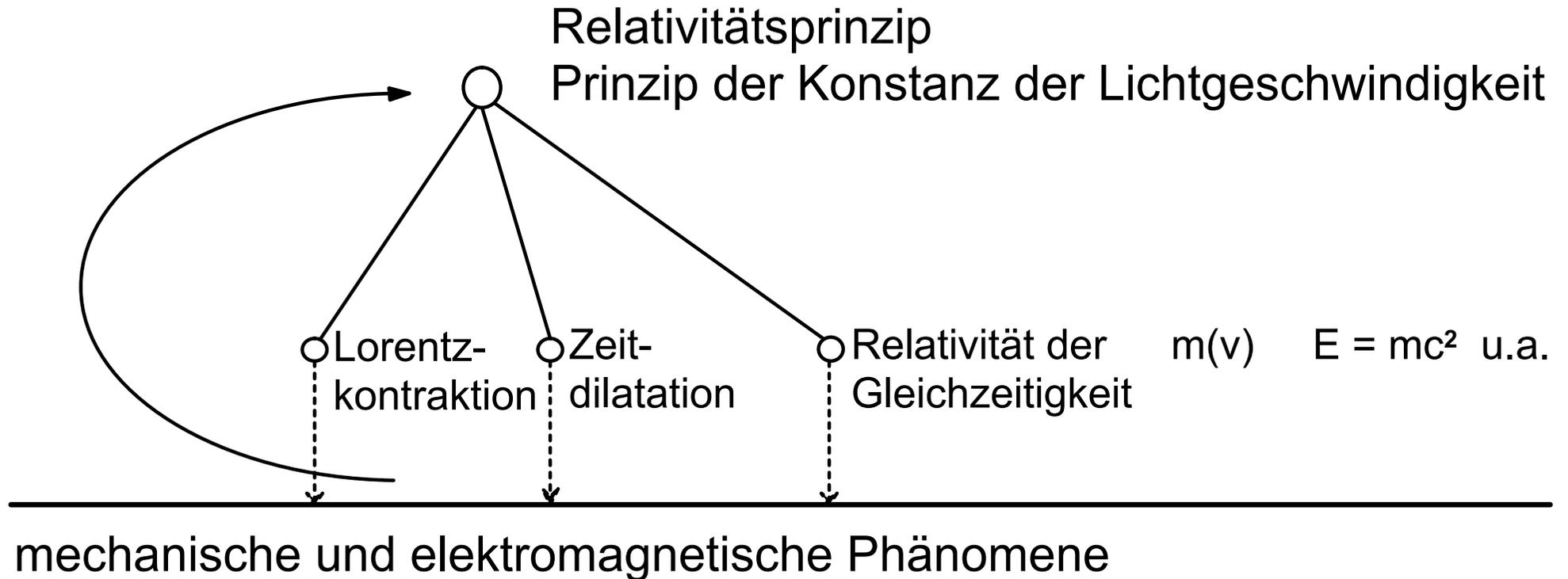
- „(4) Die S werden mit den E in Beziehung gebracht (Prüfung an der Erfahrung). Diese Prozedur gehört genau betrachtet ebenfalls der extralogischen (intuitiven) Sphäre an, weil die Beziehung[en] der in den S auftretenden Begriffe zu den Erlebnissen E nicht logischer Natur sind. Diese Beziehung der S zu den E ist aber (pragmatisch) viel weniger unsicher als die Beziehung der A zu den E . (Beispiel der Begriff Hund und die entsprechenden Erlebnisse).“



- „Wäre solches Entsprechen nicht mit großer Sicherheit erzielbar, (obwohl nicht logisch fassbar), so würde die logische Maschinerie für das ‚Begreifen der Wirklichkeit‘ völlig wertlos (Beispiel Theologie). – Die Grundessenz ist der ewig problematische Zusammenhang alles Gedanklichen mit dem Erlebbar (Sinnen-Erlebnisse).“

(EINSTEIN, Brief vom 7. Mai 1952 an SOLOVINE)

Die Spezielle Relativitätstheorie als Prinzipientheorie



Prinzipien (Axiome) der Speziellen Relativitätstheorie

- Durch keine physikalische Messung (auch nicht-mechanische) ist ein prinzipieller Unterschied von Inertialsystemen feststellbar.

Das klassische Relativitätsprinzip soll nicht nur in der Mechanik, sondern in der ganzen Physik (ohne Gravitation) gelten.

Prinzipien (Axiome) der Speziellen Relativitätstheorie

- Durch keine physikalische Messung (auch nicht-mechanische) ist ein prinzipieller Unterschied von Inertialsystemen feststellbar.

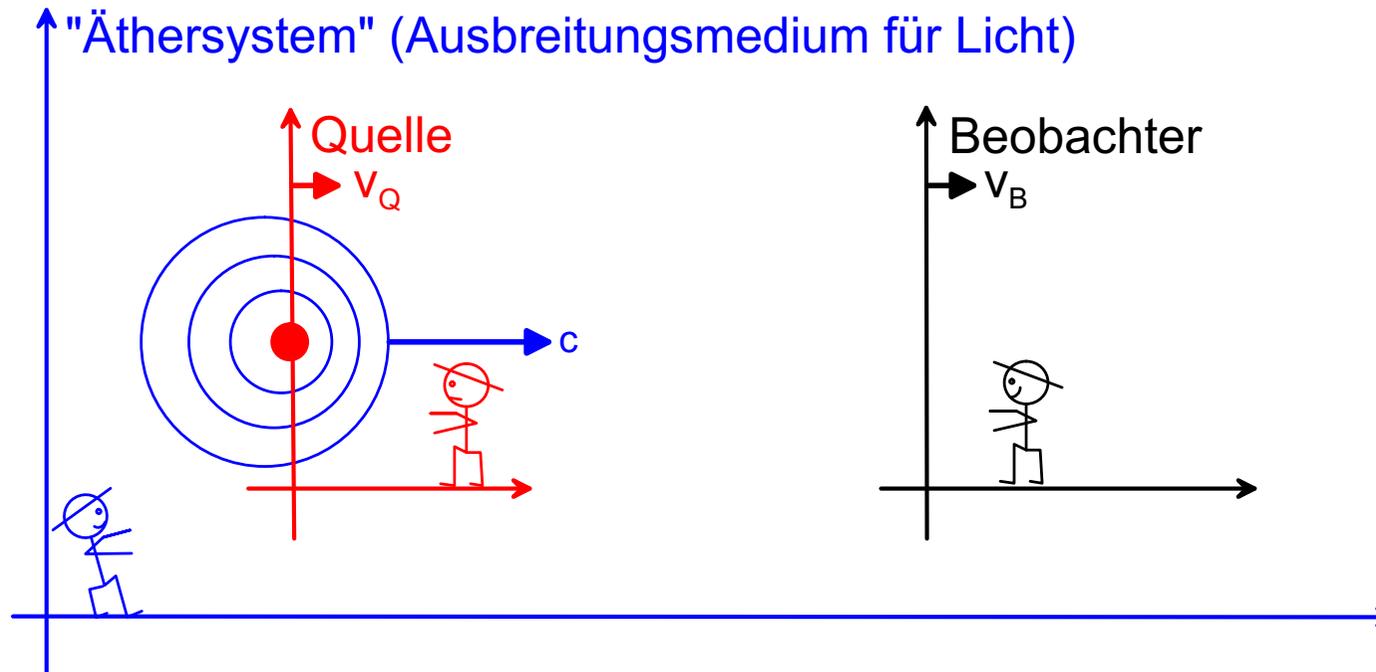
Das klassische Relativitätsprinzip soll nicht nur in der Mechanik, sondern in der ganzen Physik (ohne Gravitation) gelten.

- Die Lichtgeschwindigkeit (im Vakuum) ist für alle Beobachter eine absolute Konstante.

Sie ist von der Geschwindigkeit des Beobachters und derjenigen der Quelle unabhängig.

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s} = \text{konstant}$$

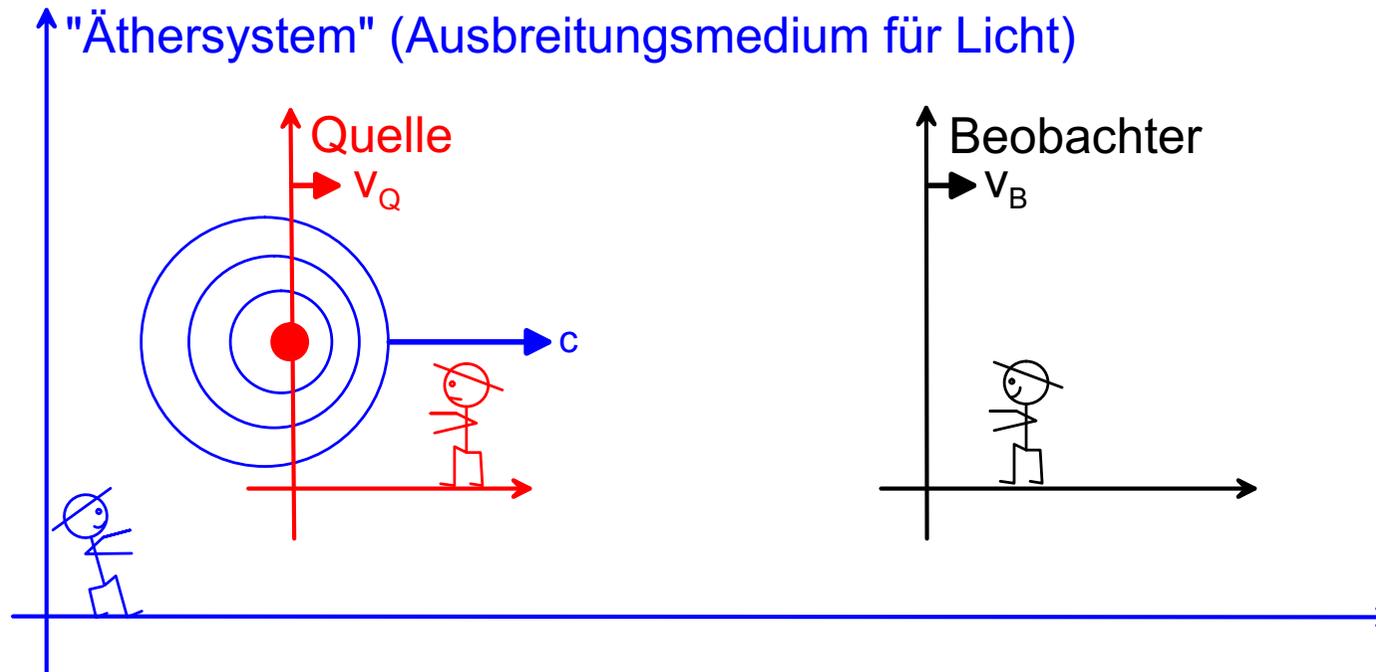
Lichtgeschwindigkeit in bewegten Systemen (I)



Klassische Wellenvorstellung:

Licht breitet sich im Äther aus wie Wellen in Wasser.

Lichtgeschwindigkeit in bewegten Systemen (I)

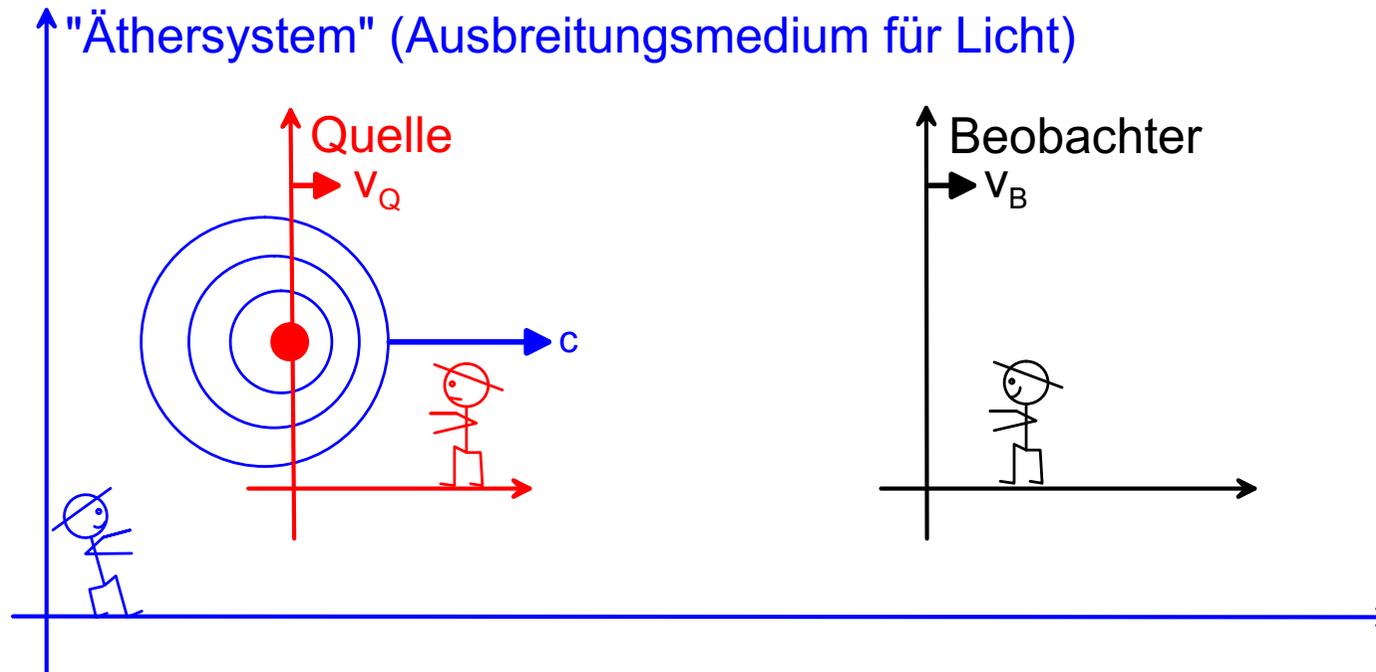


Klassische Wellenvorstellung:

Licht breitet sich im Äther aus wie Wellen in Wasser.

- c ist konstant im Äthersystem unabhängig von v_Q .

Lichtgeschwindigkeit in bewegten Systemen (I)

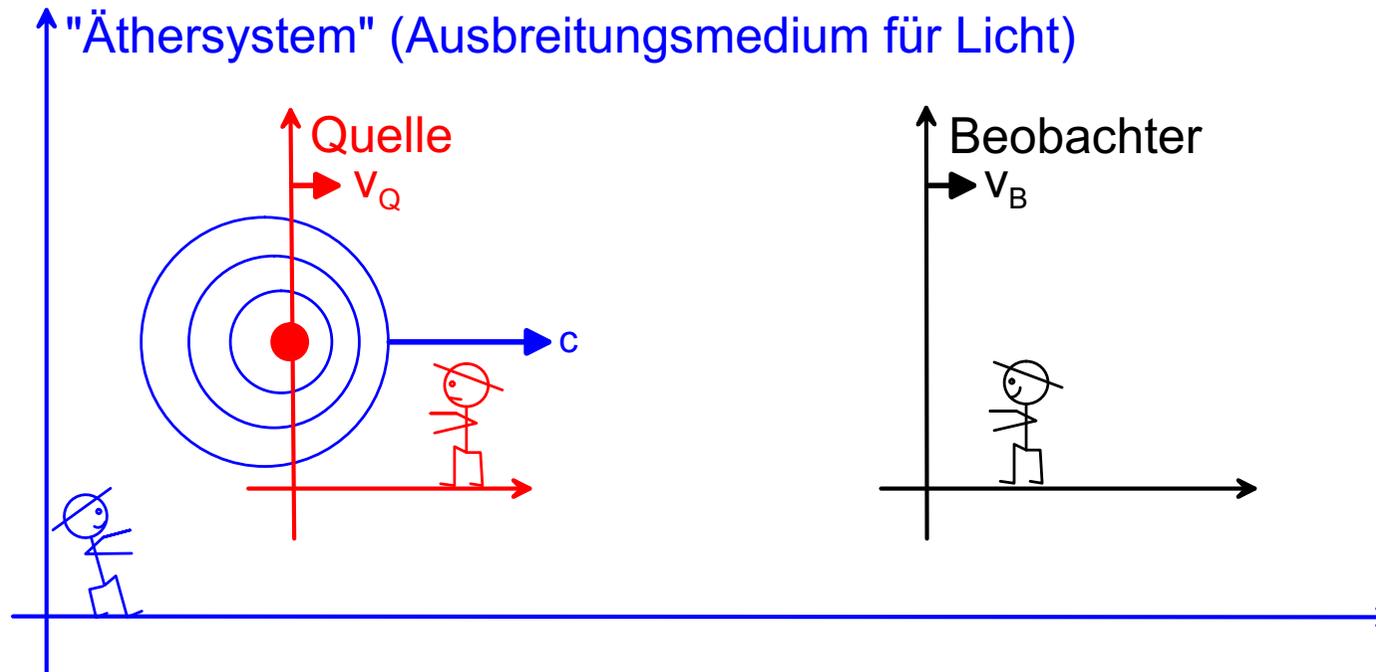


Klassische Wellenvorstellung:

Licht breitet sich im Äther aus wie Wellen in Wasser.

- c ist konstant im Äthersystem unabhängig von v_Q .
- c ist *nicht* konstant relativ zur Quelle.

Lichtgeschwindigkeit in bewegten Systemen (I)



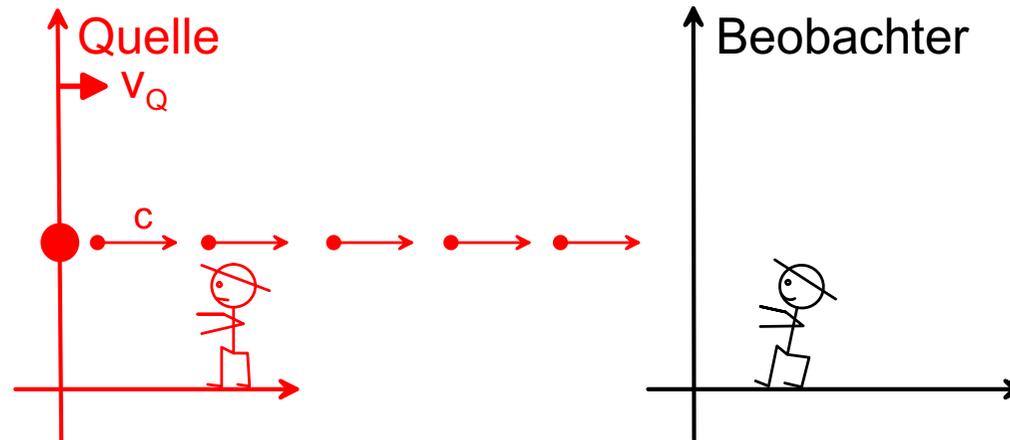
Klassische Wellenvorstellung:

Licht breitet sich im Äther aus wie Wellen in Wasser.

- c ist konstant im Äthersystem unabhängig von v_Q .
- c ist *nicht* konstant relativ zur Quelle.
- c ist *nicht* konstant relativ zum Beobachter.

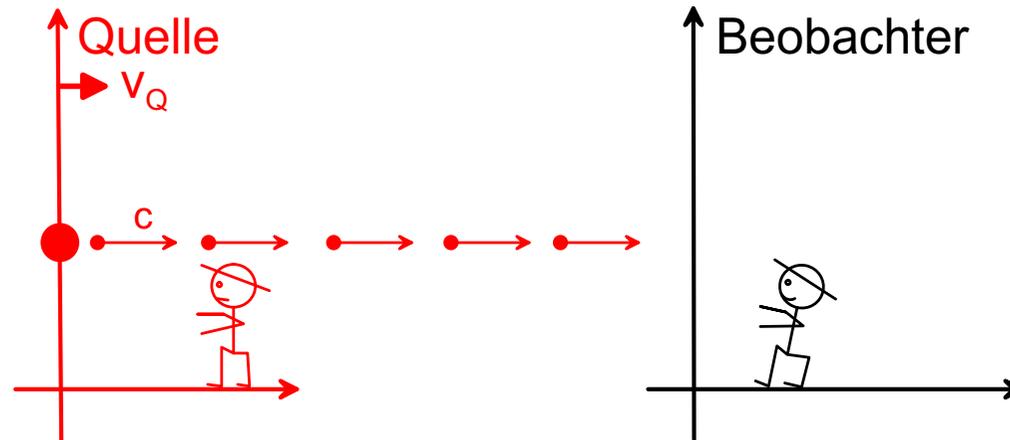
⇒ Widerspruch zu Experimenten!

Lichtgeschwindigkeit in bewegten Systemen (II)



Teilchenvorstellung (Emissionstheorie von RITZ u.a.):
Licht als Geschosshagel von Teilchen

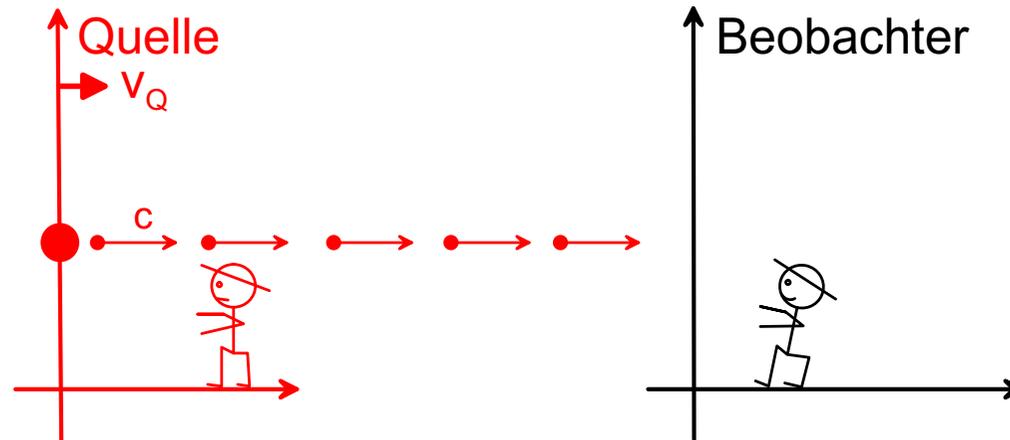
Lichtgeschwindigkeit in bewegten Systemen (II)



Teilchenvorstellung (Emissionstheorie von RITZ u.a.):
Licht als Geschosshagel von Teilchen

● c ist konstant relativ zur Quelle.

Lichtgeschwindigkeit in bewegten Systemen (II)

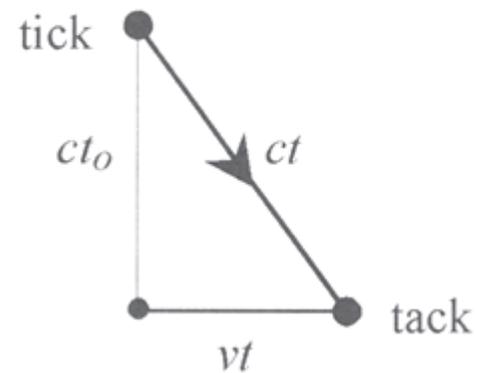
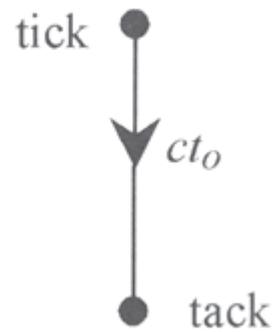
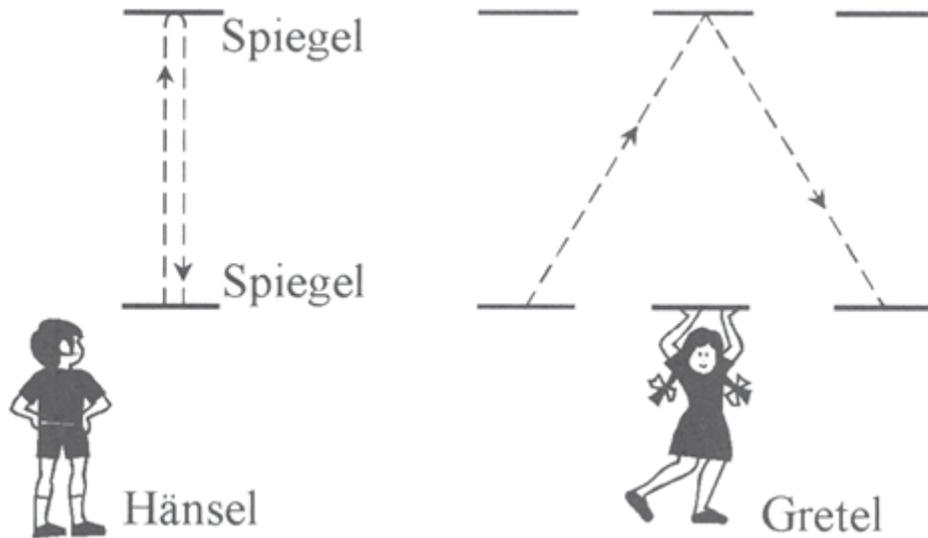


Teilchenvorstellung (Emissionstheorie von RITZ u.a.):
Licht als Geschosshagel von Teilchen

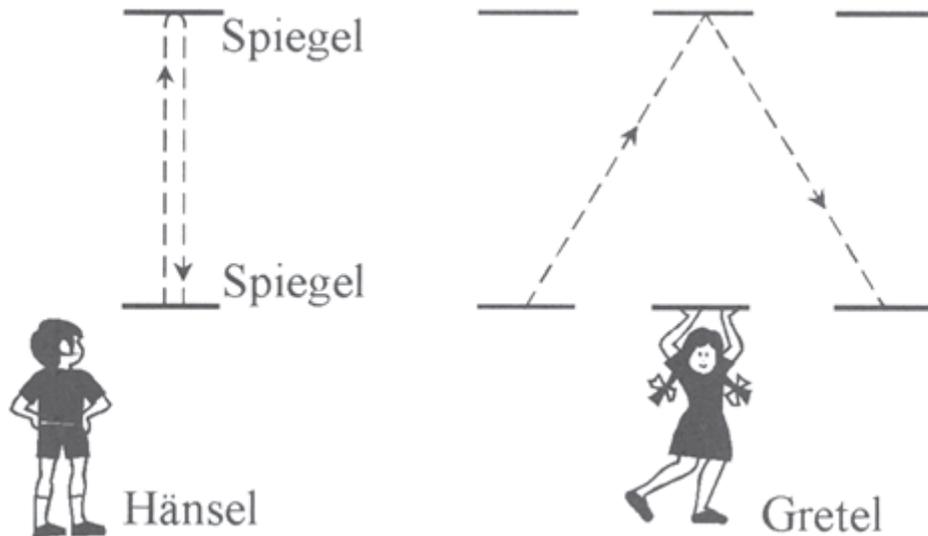
- c ist konstant relativ zur Quelle.
- c ist *nicht* konstant relativ zum Beobachter.

⇒ Widerspruch zu Experimenten!

Die Zeitdilatation

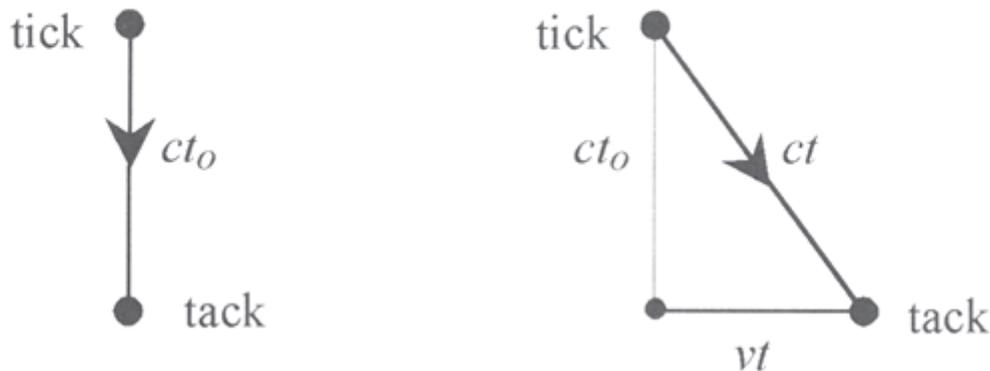


Die Zeitdilatation



Ein Beobachter, der sich relativ zu einer Folge von Ereignissen bewegt, misst die Zeitintervalle zwischen den Ereignissen länger als ein relativ zu den Ereignissen ruhender Beobachter.

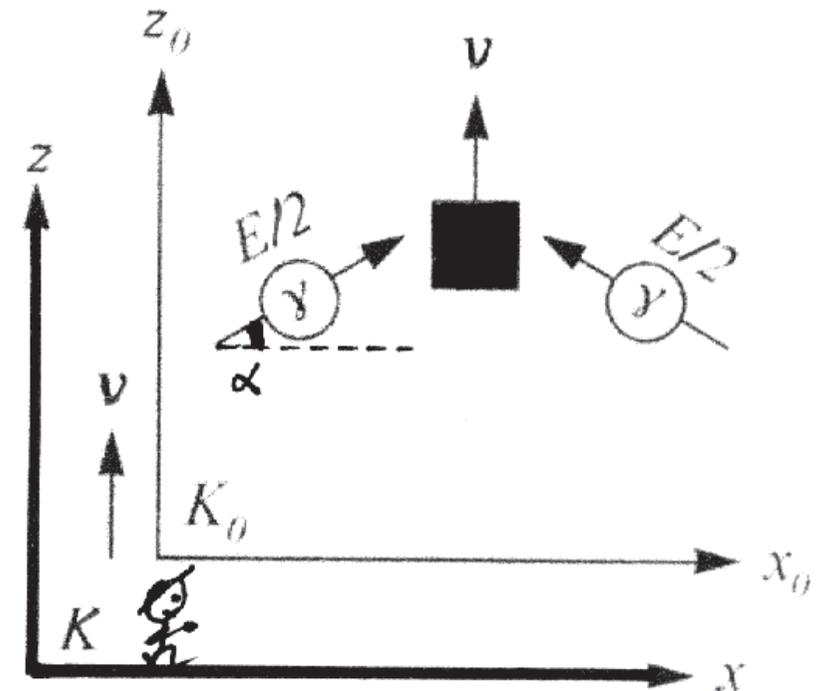
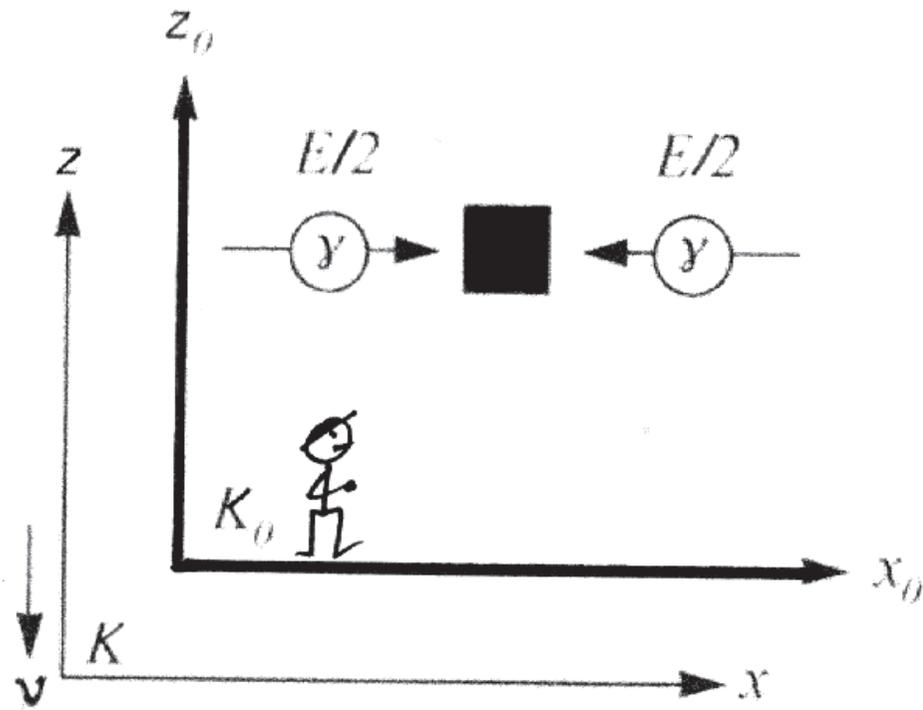
„Bewegte Uhren gehen langsamer.“



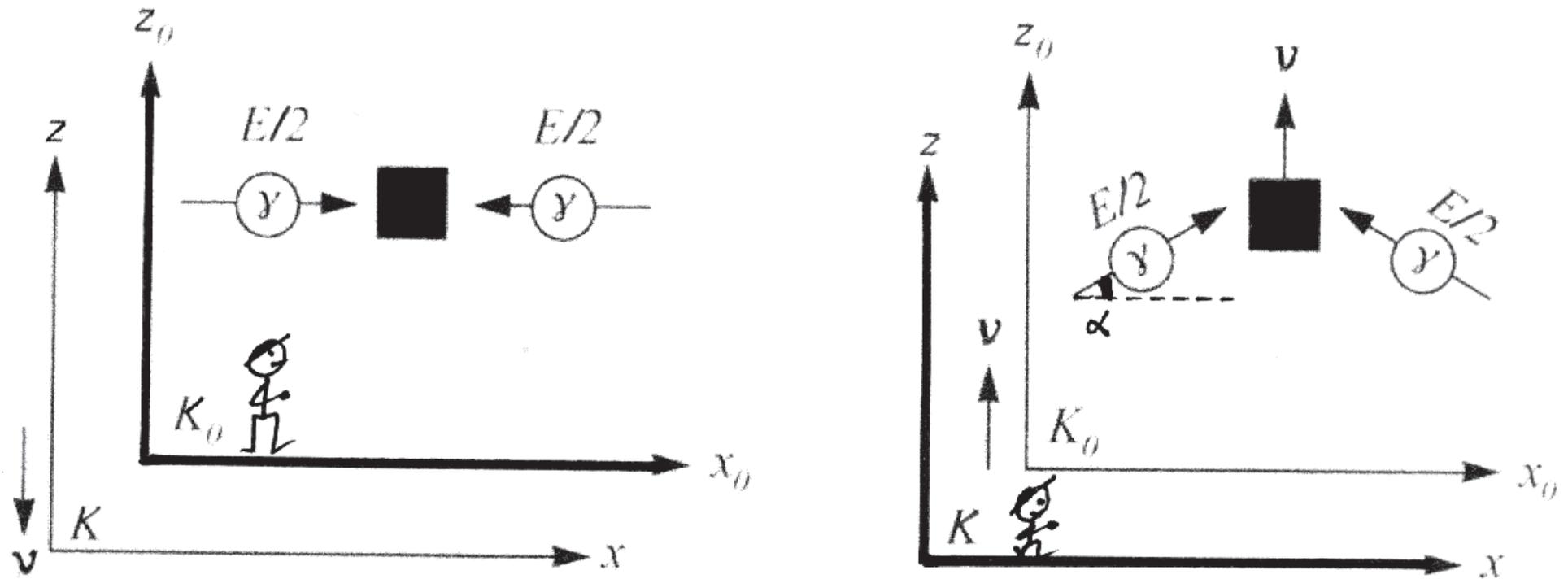
$$t = t_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

(H. Genz: Gedankenexperimente.
Weinheim: WILEY-VCH, 1999)

EINSTEINs elementare Herleitung von $E = mc^2$



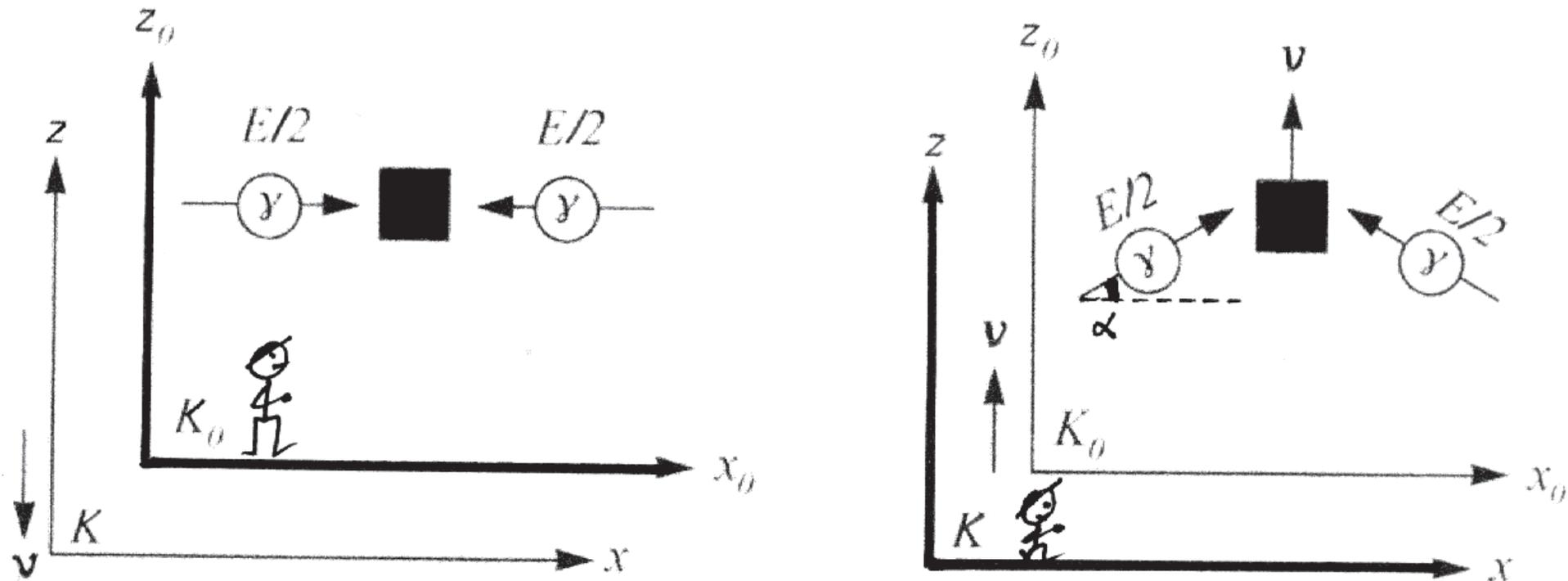
EINSTEINs elementare Herleitung von $E = mc^2$



Voraussetzungen:

1. Impulserhaltungssatz gültig in allen Inertialsystemen (Relativitätsprinzip)

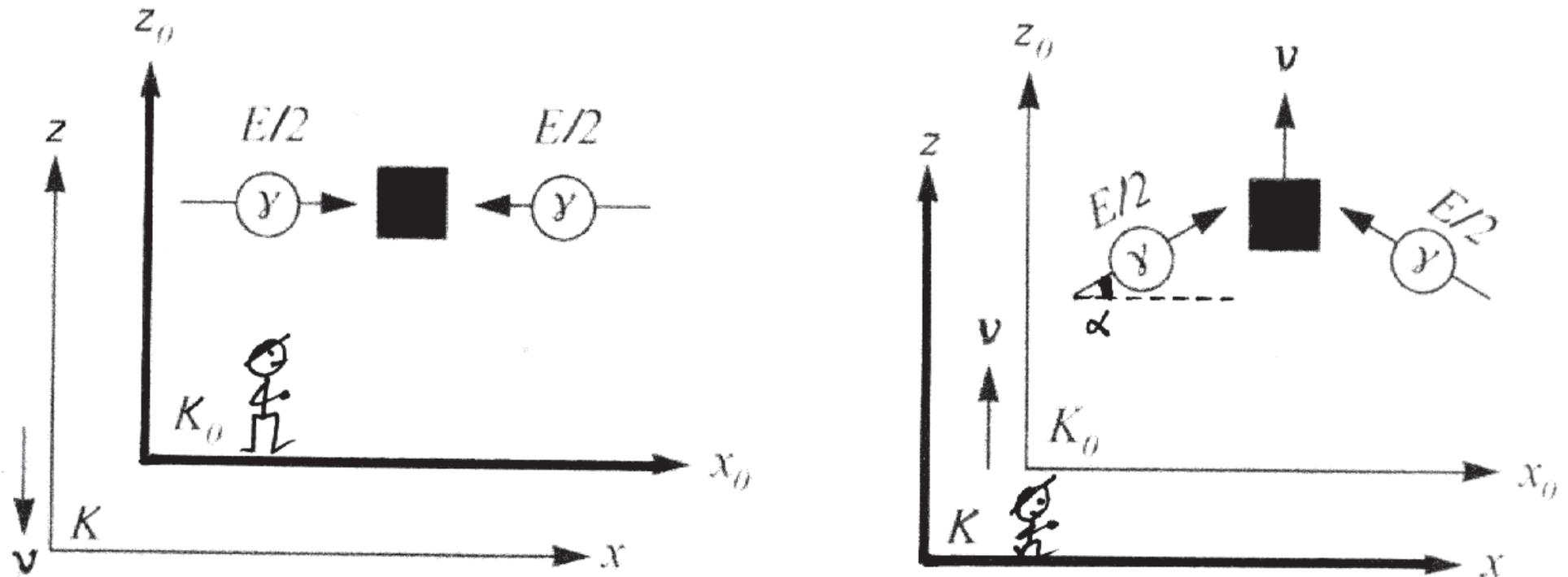
EINSTEINs elementare Herleitung von $E = mc^2$



Voraussetzungen:

1. Impulserhaltungssatz gültig in allen Inertialsystemen (Relativitätsprinzip)
2. Impuls einer Strahlung (Lichtdruck) mit Energie E ist $\frac{E}{c}$
(wohlbekannt aus der MAXWELLSchen Elektrodynamik)

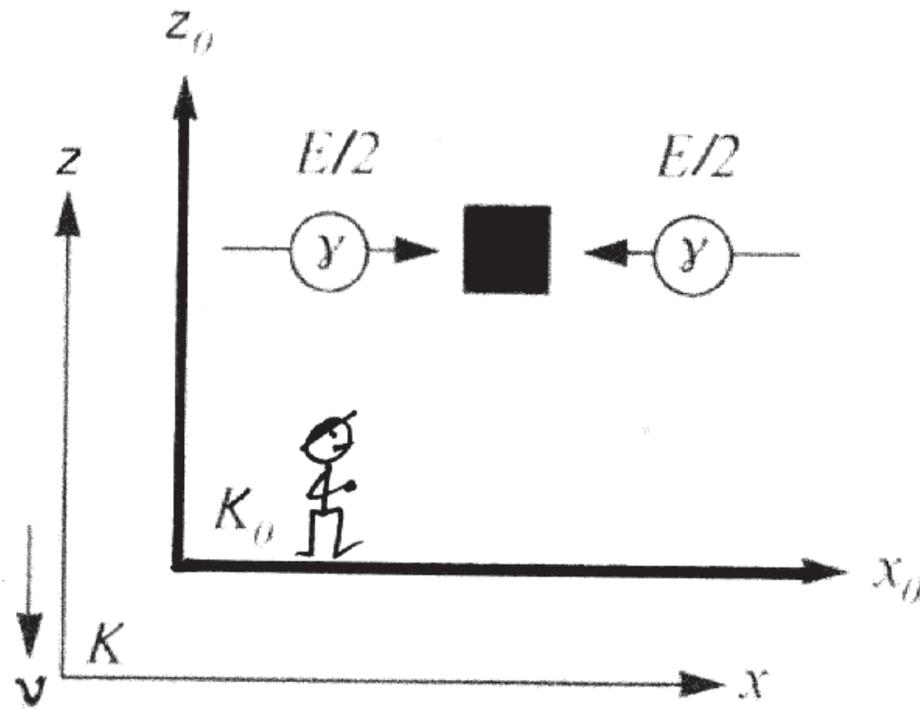
EINSTEINs elementare Herleitung von $E = mc^2$



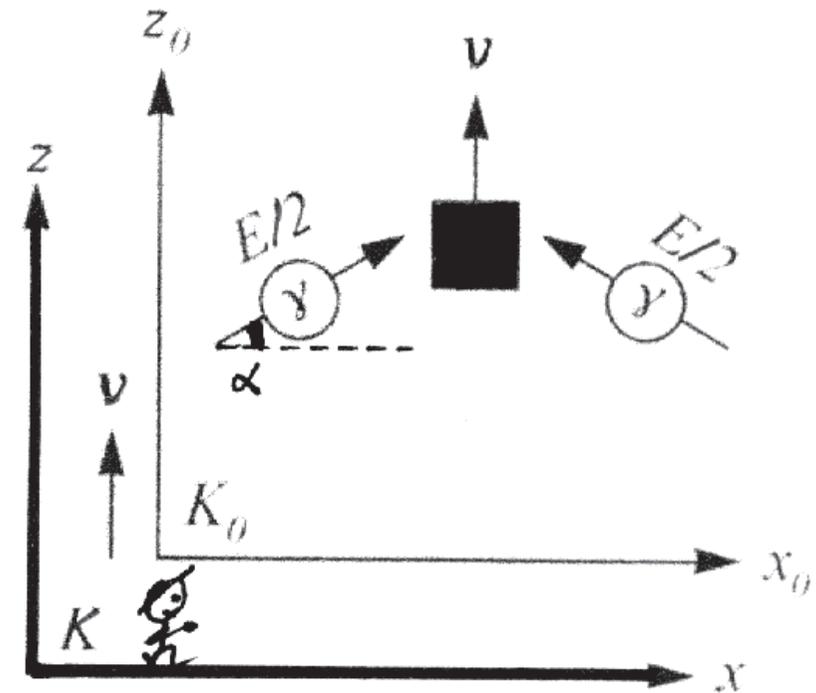
Voraussetzungen:

1. Impulserhaltungssatz gültig in allen Inertialsystemen (Relativitätsprinzip)
2. Impuls einer Strahlung (Lichtdruck) mit Energie E ist $\frac{E}{c}$
(wohlbekannt aus der MAXWELLSchen Elektrodynamik)
3. Aberration des Lichts (BRADLEY 1728) für $v \ll c$: $\sin \alpha = \frac{v}{c}$

EINSTEINs elementare Herleitung von $E = mc^2$



Impuls vorher: 0
 Impuls nachher: 0



Impuls (z-Richtung) vorher: $mv + 2 \cdot \frac{E}{2c} \cdot \frac{v}{c}$
 Impuls (z-Richtung) nachher: $m'v$

$$mv + 2 \cdot \frac{E}{2c} \cdot \frac{v}{c} \stackrel{!}{=} m'v : \quad \boxed{m' - m = \frac{E}{c^2}}$$

(EINSTEIN (1946) in: Aus meinen späten Jahren. Stuttgart: DVA 1979)

EINSTEIN erklärt die Äquivalenz von Energie und Masse

„It followed from the special theory of relativity that mass and energy are both but different manifestations of the same thing – a somewhat unfamiliar conception for the average mind.

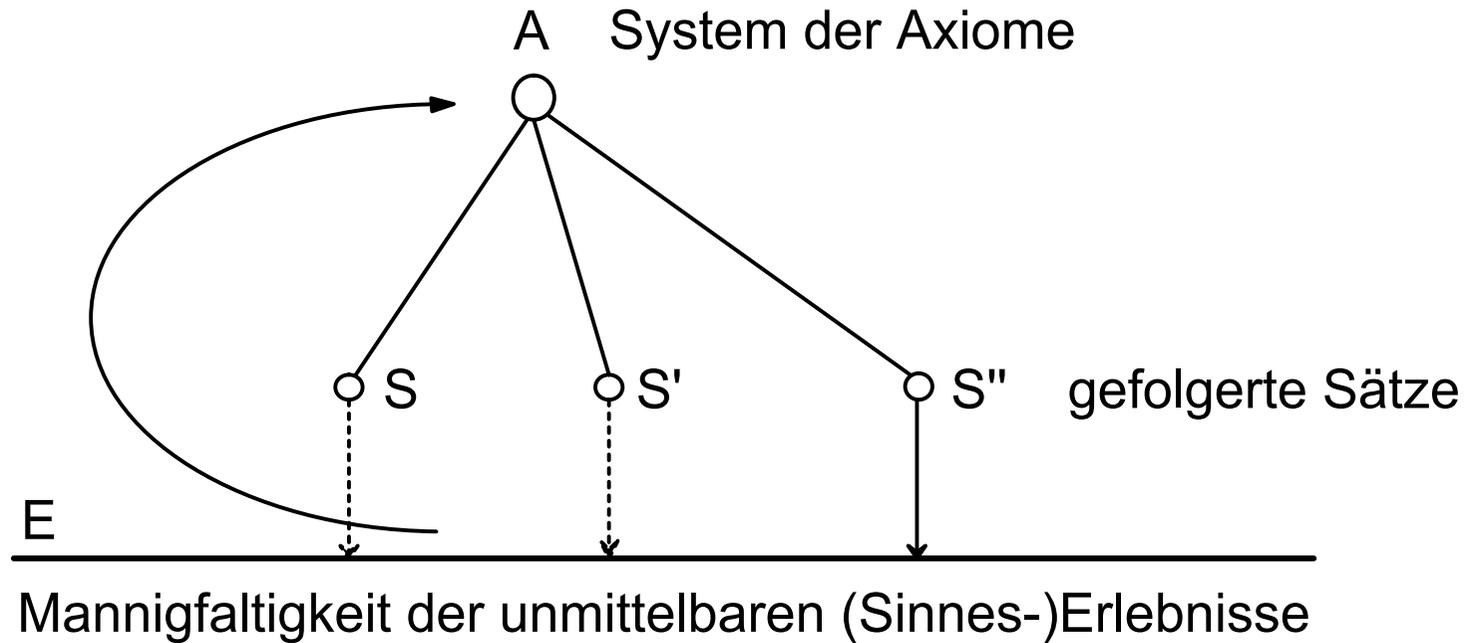
Furthermore, the equation E is equal $m c$ -squared, in which energy is put equal to mass, multiplied with the square of the velocity of light, showed that very small amounts of mass may be converted into a very large amount of energy and vice versa.

The mass and energy were in fact equivalent, according to the formula mentioned above. This was demonstrated by Cockroft and Walton in 1932, experimentally.“

(From the soundtrack of the film Atomic Physics, J. Arthur Rank Organization, Ltd., 1948)

(<http://www.aip.org/history/einstein/voice1.htm>)

Nochmals: Das EASE-Schema (I)



Verbindung von drei Ebenen: E, A, S

Nochmals: Das EASE-Schema (II)

● „(1) Die *E* (Erlebnisse) sind uns gegeben.“

„Gesamtheit der Sinnenerlebnisse“,

„Gesamtheit der Erfahrungstatsachen“

Tatsachen bei EINSTEIN auch: Inertialbewegung, Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Gleichheit der schweren und trägen Masse, ...

Nochmals: Das EASE-Schema (II)

● „(1) Die E (Erlebnisse) sind uns gegeben.“

„Gesamtheit der Sinnenerlebnisse“,

„Gesamtheit der Erfahrungstatsachen“

Tatsachen bei EINSTEIN auch: Inertialbewegung, Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Gleichheit der schweren und trägen Masse, ...

● Phänomenvielfalt vom Typ einer chaotischen Menge,
keine Ordnungsstrukturen

„Wissenschaft ist der Versuch, der chaotischen Mannigfaltigkeit der
Sinnenerlebnisse ein logisch einheitliches gedankliches System zuzu-
ordnen.“ (1940)

(G. HOLTON: Thematische Analyse der Wissenschaft. Die Physik Einsteins und seiner Zeit.
Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 293. S. 377f. Frankfurt: Suhrkamp 1981)

(B. KANITSCHIEDER: Das Weltbild Albert Einsteins. S. 29ff. München: C. H. Beck 1988; Frankfurt, Wien:
Büchergilde Gutenberg 1989)

Nochmals: Das EASE-Schema (III)

- „(1) Die *E* (Erlebnisse) sind uns gegeben.“
- Es gibt eine objektive Realität hinter den Erscheinungen, eine verborgene autonome Schicht, die allen Beobachtungen zugrunde liegt (Realismus-Annahme).

Nochmals: Das EASE-Schema (III)

- „(1) Die E (Erlebnisse) sind uns gegeben.“
- Es gibt eine objektive Realität hinter den Erscheinungen, eine verborgene autonome Schicht, die allen Beobachtungen zugrunde liegt (Realismus-Annahme).
- EINSTEIN weiß: Beobachtungen nie rein und unverfälscht, sondern theorieabhängig: Gespräch mit HEISENBERG (1926)

(G. HOLTON: Thematische Analyse der Wissenschaft. Die Physik Einsteins und seiner Zeit. Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 293. S. 377f. Frankfurt: Suhrkamp 1981)

(B. KANITSCHIEDER: Das Weltbild Albert Einsteins. S. 29ff. München: C. H. Beck 1988; Frankfurt, Wien: Büchergilde Gutenberg 1989)

Nochmals: Das EASE-Schema (IV)

- „(2) *A* sind die Axiome, aus denen wir Folgerungen ziehen. Psychologisch beruhen die *A* auf *E*. Es gibt aber keinen logischen Weg von den *E* zu den *A*, sondern nur einen intuitiven (psychologischen) Zusammenhang, der immer ‚auf Widerruf‘ ist.“
- Es führt kein induktiver Weg vom Empirischen zur Theorie.
EINSTEIN übernimmt hier die HUMESche Induktionskritik.
Beispiel Spez. Relativitätstheorie: Einige Experimente; Asymmetrien

Nochmals: Das EASE-Schema (IV)

- „(2) *A* sind die Axiome, aus denen wir Folgerungen ziehen. Psychologisch beruhen die *A* auf *E*. Es gibt aber keinen logischen Weg von den *E* zu den *A*, sondern nur einen intuitiven (psychologischen) Zusammenhang, der immer ‚auf Widerruf‘ ist.“
- Es führt kein induktiver Weg vom Empirischen zur Theorie.
EINSTEIN übernimmt hier die HUMESche Induktionskritik.
Beispiel Spez. Relativitätstheorie: Einige Experimente; Asymmetrien
- Annahme eines eindeutigen Weges führte historisch oft in die Irre:
Euklidische Geometrie; absolute Zeit

Nochmals: Das EASE-Schema (IV)

- „(2) *A* sind die Axiome, aus denen wir Folgerungen ziehen. Psychologisch beruhen die *A* auf *E*. Es gibt aber keinen logischen Weg von den *E* zu den *A*, sondern nur einen intuitiven (psychologischen) Zusammenhang, der immer ‚auf Widerruf‘ ist.“
- Es führt kein induktiver Weg vom Empirischen zur Theorie.
EINSTEIN übernimmt hier die HUMESche Induktionskritik.
Beispiel Spez. Relativitätstheorie: Einige Experimente; Asymmetrien
- Annahme eines eindeutigen Weges führte historisch oft in die Irre:
Euklidische Geometrie; absolute Zeit
- Basisbegriffe, Verknüpfungen:
freie Schöpfungen des menschlichen Geistes
„Der Sprung ist frei, aber nicht beliebig.“

(G. HOLTON: Thematische Analyse der Wissenschaft. Die Physik Einsteins und seiner Zeit.
Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 293. S. 377f. Frankfurt: Suhrkamp 1981)

(B. KANITSCHIEDER: Das Weltbild Albert Einsteins. S. 29ff. München: C. H. Beck 1988; Frankfurt, Wien:
Büchergilde Gutenberg 1989)

Nochmals: Das EASE-Schema (V)

- „(2) *A* sind die Axiome, aus denen wir Folgerungen ziehen. Psychologisch beruhen die *A* auf *E*. Es gibt aber keinen logischen Weg von den *E* zu den *A*, sondern nur einen intuitiven (psychologischen) Zusammenhang, der immer ‚auf Widerruf‘ ist.“
- Der Sprung ist zweifach:
 1. bzgl. Begriffsbildungen
 2. bzgl. Aussagesystemen

Nochmals: Das EASE-Schema (V)

- „(2) *A* sind die Axiome, aus denen wir Folgerungen ziehen. Psychologisch beruhen die *A* auf *E*. Es gibt aber keinen logischen Weg von den *E* zu den *A*, sondern nur einen intuitiven (psychologischen) Zusammenhang, der immer ‚auf Widerruf‘ ist.“
- Der Sprung ist zweifach:
 1. bzgl. Begriffsbildungen
 2. bzgl. Aussagesystemen
- Der Sprung kann scheitern (Fallibilismus):
Begriffsbildungen können unanwendbar werden;
Aussagesysteme können scheitern.

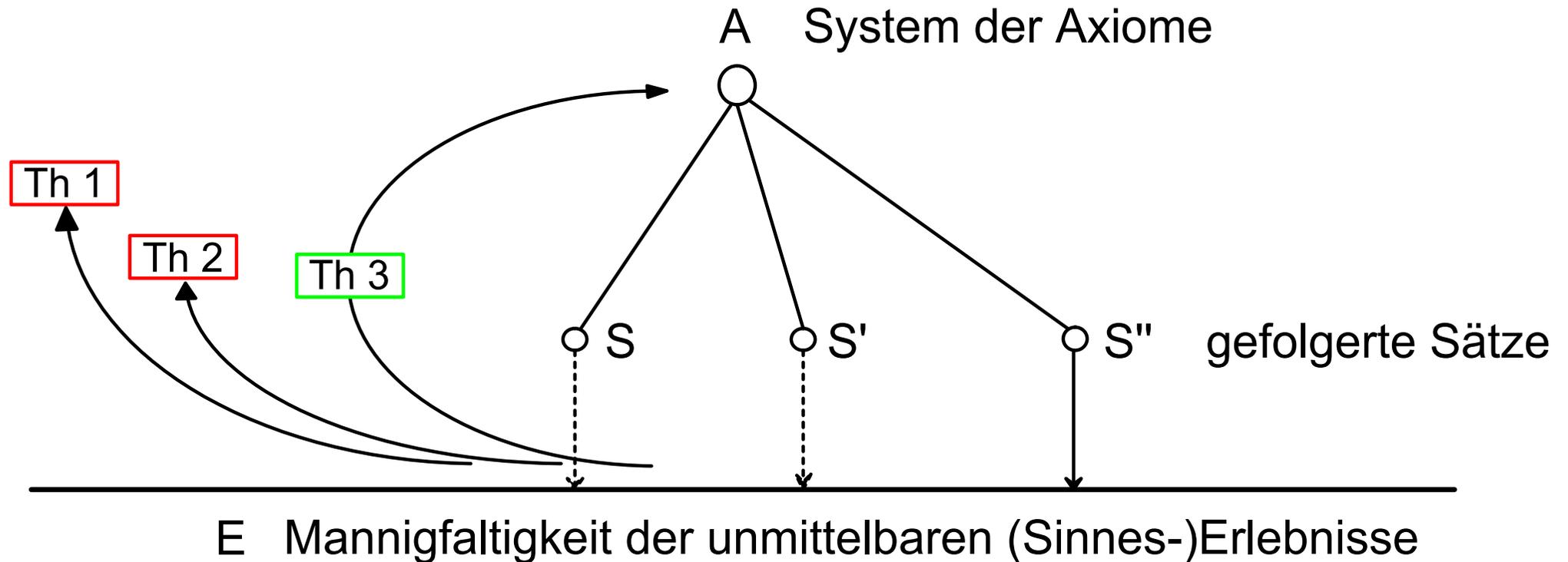
Nochmals: Das EASE-Schema (V)

- „(2) *A* sind die Axiome, aus denen wir Folgerungen ziehen. Psychologisch beruhen die *A* auf *E*. Es gibt aber keinen logischen Weg von den *E* zu den *A*, sondern nur einen intuitiven (psychologischen) Zusammenhang, der immer ‚auf Widerruf‘ ist.“
- Der Sprung ist zweifach:
 1. bzgl. Begriffsbildungen
 2. bzgl. Aussagesystemen
- Der Sprung kann scheitern (Fallibilismus):
Begriffsbildungen können unanwendbar werden;
Aussagesysteme können scheitern.
- Die konstruktive Komponente erzeugt Offenheit für neue Ideen:
Lichtquanten; gekrümmte Räume

(G. HOLTON: Thematische Analyse der Wissenschaft. Die Physik Einsteins und seiner Zeit. Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 293. S. 377f. Frankfurt: Suhrkamp 1981)

(B. KANITSCHIEDER: Das Weltbild Albert Einsteins. S. 29ff. München: C. H. Beck 1988; Frankfurt, Wien: Büchergilde Gutenberg 1989)

Leitideen, Themata beim „Sprung“:



(nach G. HOLTON: Thematische Analyse der Wissenschaft. Die Physik Einsteins und seiner Zeit. Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 293. S. 377f. Frankfurt: Suhrkamp 1981)

EINSTEINS Leitideen, Vorurteile, Themata :

„Ginge der Forscher ohne jedes Vorurteil an seine Arbeit heran, wie sollte er dann überhaupt aus der unendlichen Vielfalt komplexer Erfahrungen jene Tatsachen herausfinden, die einfach genug sind, um naturgesetzliche Verknüpfungen evident zu machen?“

Das Festhalten an Themata zeigt sich in oft großer Hartnäckigkeit, mit der er an Theorien in einer bestimmten Richtung arbeitete, obwohl eine empirische Prüfung schwierig war.

(G. HOLTON: Thematische Analyse der Wissenschaft. Die Physik Einsteins und seiner Zeit. Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 293. S. 406; („Induktion und Deduktion in der Physik“, Berliner Tagblatt 25. Dez. 1919, 4. Beiblatt.) Frankfurt: Suhrkamp 1981)

EINSTEINS Leitideen, Vorurteile, Themata :

- **Das Primat der formalen** (anstelle der materialistischen) **Erklärung**

Mathematik (speziell partielle Differentialgleichungen)
statt mechanischer Modelle

(G. HOLTON: Thematische Analyse der Wissenschaft. Die Physik Einsteins und seiner Zeit.
Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 293. S. 407ff.; Frankfurt: Suhrkamp 1981)

EINSTEINs Leitideen, Vorurteile, Themata :

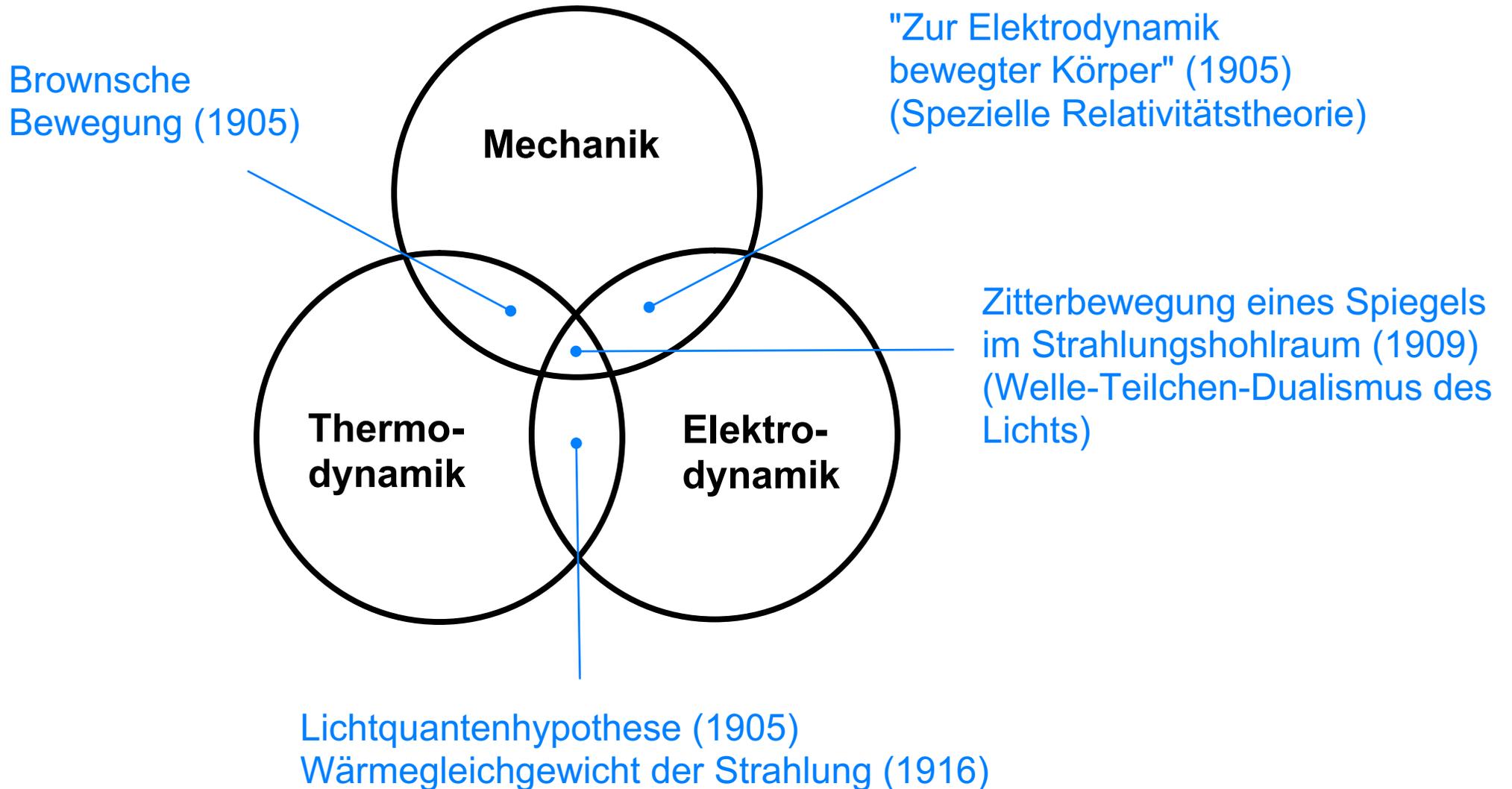
- **Einheit** (oder vielmehr **Vereinheitlichung**)

EINSTEINS Leitideen, Vorurteile, Themata :

- **Einheit** (oder vielmehr **Vereinheitlichung**)
 - Einheit von Raum und Zeit („Welt“, Vierervektoren)
 - Vereinheitlichung von Erhaltungssätzen (Masse, Energie, Impuls)
 - Einheit von elektrischem und magnetischem Feld
 - einheitliche Feldtheorie für die fundamentalen Wechselwirkungen
 - ...

(G. HOLTON: Thematische Analyse der Wissenschaft. Die Physik Einsteins und seiner Zeit. Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 293. S. 407ff.; Frankfurt: Suhrkamp 1981)

Wo Theorien sich überlappen ...



(Abb. nach J. RENN, Berlin (2004))

EINSTEINs Leitideen, Vorurteile, Themata :

● Die kosmische Dimension

Generalisierbarkeit sowie gleiche Anwendbarkeit der Gesetzmäßigkeiten quer durch den Gesamtbereich der Erfahrung

EINSTEINS Leitideen, Vorurteile, Themata :

● Die kosmische Dimension

Generalisierbarkeit sowie gleiche Anwendbarkeit der Gesetzmäßigkeiten quer durch den Gesamtbereich der Erfahrung

- Relativitätsprinzip für die ganze Physik
- Felder
- Kosmologie

(G. HOLTON: Thematische Analyse der Wissenschaft. Die Physik Einsteins und seiner Zeit. Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 293. S. 407ff.; Frankfurt: Suhrkamp 1981)

EINSTEINs Leitideen, Vorurteile, Themata :

● **Logische Sparsamkeit; Notwendigkeit**

„Vornehmstes Ziel aller Theorie ist es, jene irreduziblen Grundelemente so einfach und so wenig zahlreich als möglich zu machen, ohne auf die zutreffende Darstellung irgendwelcher Erfahrungsinhalte verzichten zu müssen.“

(A. EINSTEIN: Mein Weltbild. Ullstein-Buch 65. Berlin: Ullstein 1957)

EINSTEINS Leitideen, Vorurteile, Themata :

● **Logische Sparsamkeit; Notwendigkeit**

„Vornehmstes Ziel aller Theorie ist es, jene irreduziblen Grundelemente so einfach und so wenig zahlreich als möglich zu machen, ohne auf die zutreffende Darstellung irgendwelcher Erfahrungsinhalte verzichten zu müssen.“

(A. EINSTEIN: Mein Weltbild. Ullstein-Buch 65. Berlin: Ullstein 1957)

„Das große Ziel aller Wissenschaft ist es, die größte Anzahl empirischer Tatsachen durch logische Herleitung aus der kleinsten Anzahl von Hypothesen oder Axiomen zu erfassen.“

(A. CALAPRICE: Einstein sagt. Zitate, Einfälle, Gedanken. München, Zürich: Piper 2003 (5. Aufl.))

● doppeltes Vorkommen der Masse als träge und schwere Masse

● Inertialsysteme und beschleunigte Systeme

EINSTEINS Leitideen, Vorurteile, Themata :

• Symmetrie

Symmetrien in den Phänomenklassen sollten durch ebenso symmetrische Theorien beschrieben werden.

EINSTEINs Leitideen, Vorurteile, Themata :

● Symmetrie

Symmetrien in den Phänomenklassen sollten durch ebenso symmetrische Theorien beschrieben werden.

● Einstein störten Unsymmetrien, Asymmetrien:

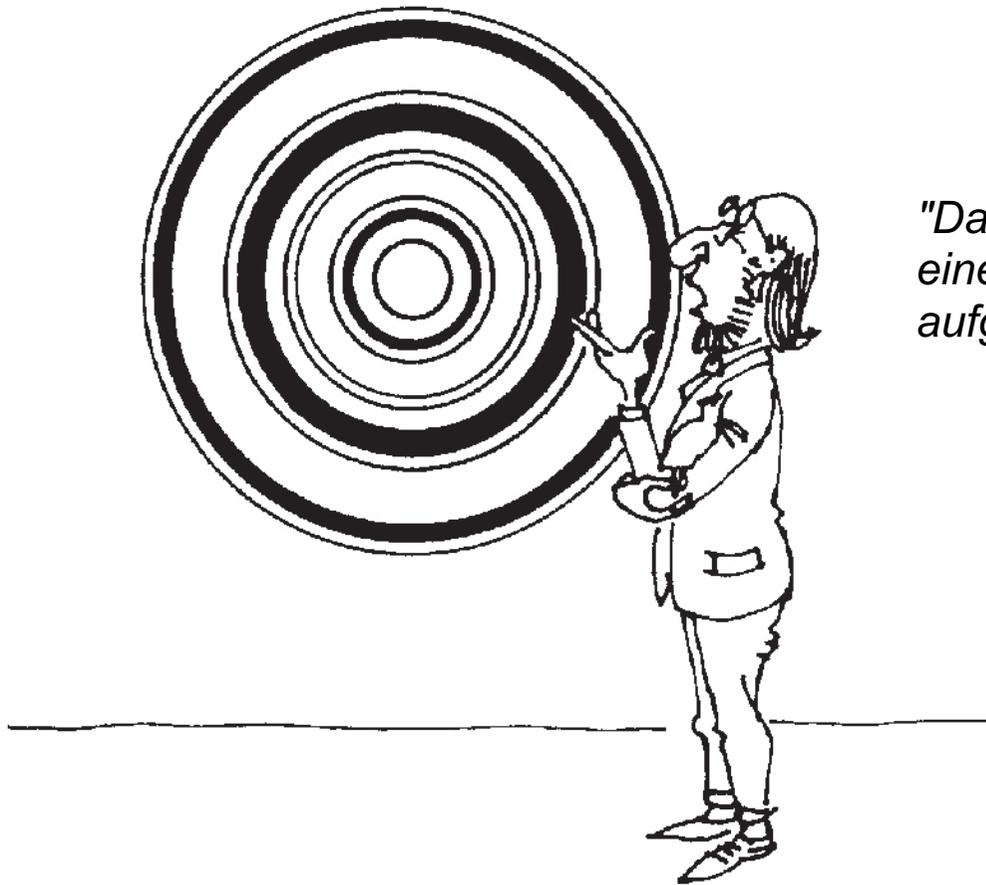
1. Beschreibung der elektrischen Induktion
2. in Kraftgesetzen treten keine Massen auf, außer im Gravitationsgesetz: „*innere Unsymmetrie*“

(A. EINSTEIN: Autobiographisches. In: PAUL A. SCHILPP (Hrsg.): Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher. Stuttgart: Kohlhammer 1979)

3. *Zur Elektrodynamik bewegter Körper;* *von A. Einstein.*

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhaften scheinen, ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt hier nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, daß der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng voneinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissem Energiewerte, welches an den Orten, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten kein elektrisches Feld, dagegen im Leiter eine elektromotorische Kraft, welcher an sich keine Energie entspricht, die aber — Gleichheit der Relativbewegung bei den beiden ins Auge gefaßten Fällen vorausgesetzt — zu elektrischen Strömen von derselben Größe und demselben Verlaufe Veranlassung gibt, wie im ersten Falle die elektrischen Kräfte.

(A. EINSTEIN, Annalen der Physik 17,
891 – 921 (1905))



*"Da hat doch schon wieder
einer das Bild verkehrt 'rum
aufgehängt!"*

(H. GENZ, R. DECKER: Symmetrie und Symmetriebrechung in der Physik. Braunschweig: Vieweg 1991)

Was ist eine Symmetrieoperation?



HERMANN WEYL
(1885 – 1955)

„Ein Ding ist symmetrisch, wenn wir etwas mit ihm machen können, so dass es danach genauso aussieht wie zuvor.“

Was ist eine Symmetrieoperation?



HERMANN WEYL
(1885 – 1955)

„Ein Ding ist symmetrisch, wenn wir etwas mit ihm machen können, so dass es danach genauso aussieht wie zuvor.“

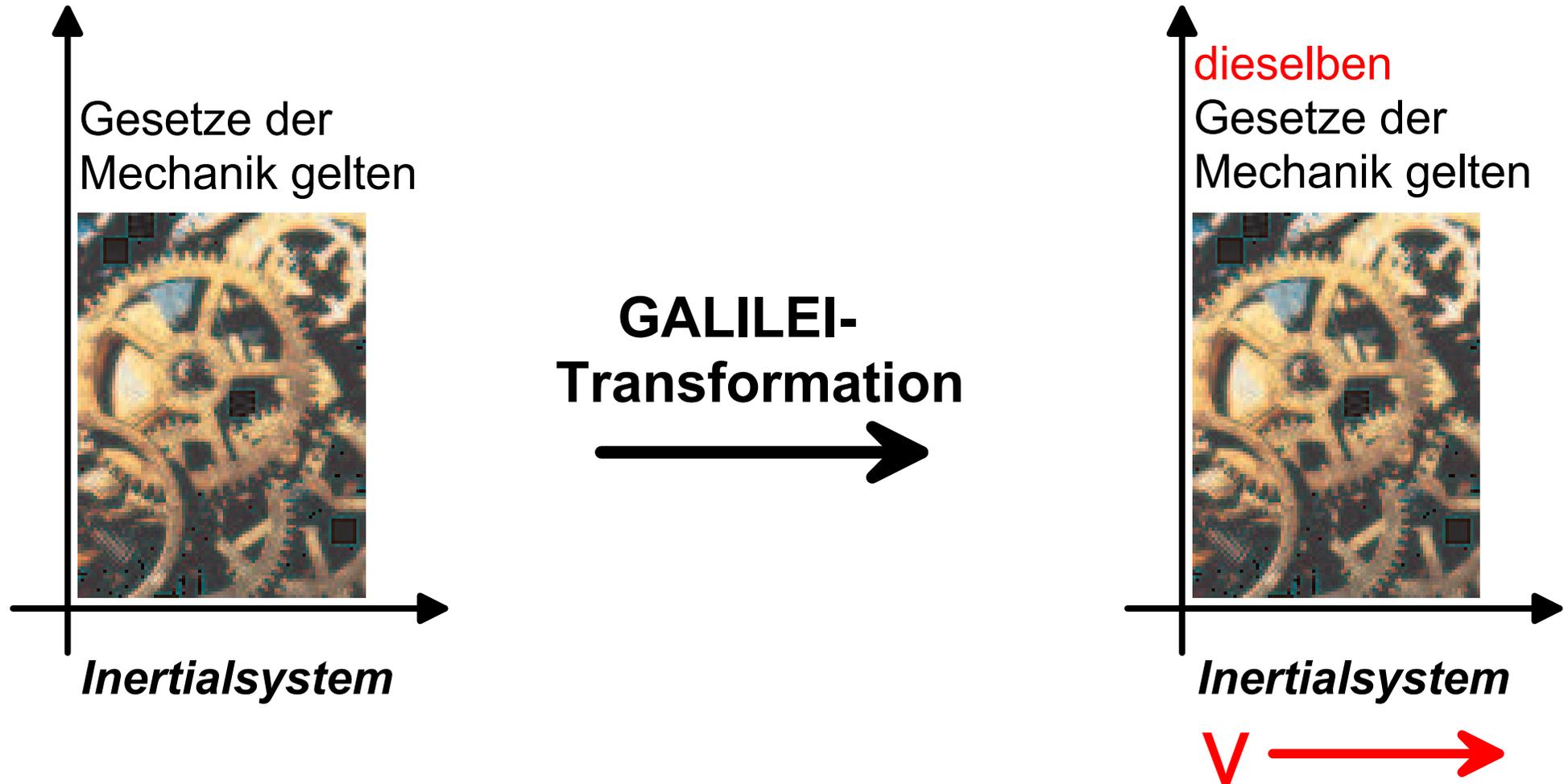
Symmetrieoperation{Ding} = Ding

(nach T. NATTERMANN, Uni Köln)

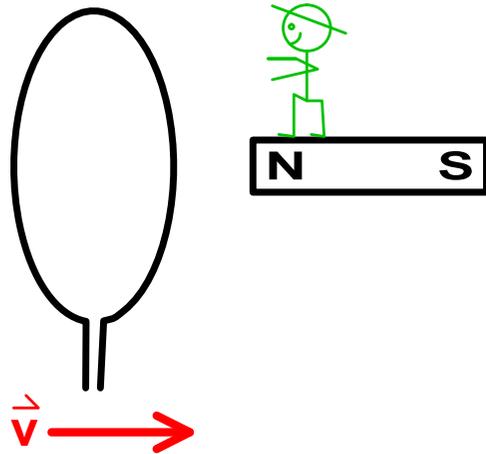


$t \rightarrow -t$ ist Symmetrieoperation für $\vec{F} = m \cdot \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$

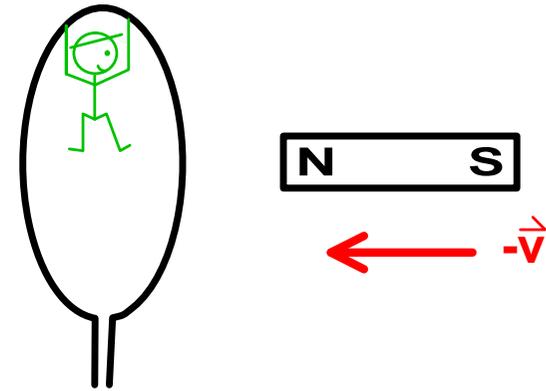
Die GALILEI-Transformation als Symmetrietransformation



Asymmetrie in der Elektrodynamik



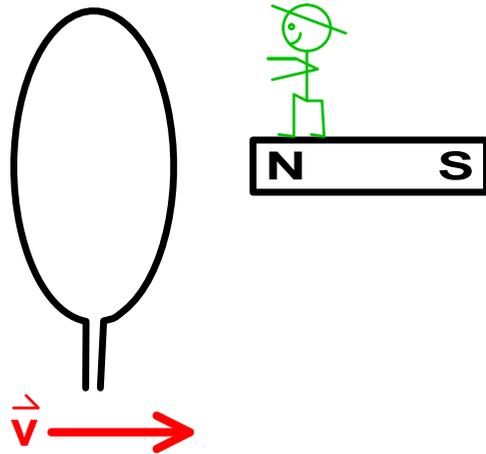
Magnetisches Feld \vec{B} zeitlich konstant;
LORENTZkraft $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ bewirkt
induzierte Spannung



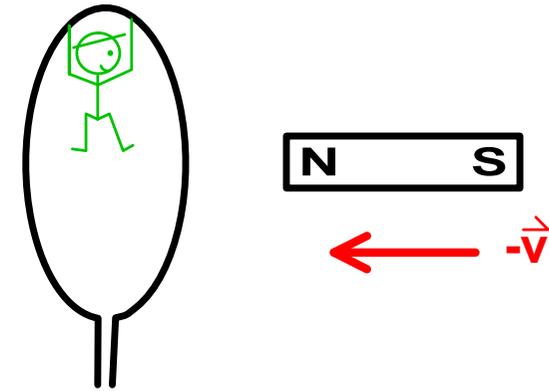
Magnetisches Feld \vec{B} zeitlich nicht
konstant;

elektrisches Feld: $\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} \vec{B}$
(FARADAYSches Induktionsgesetz
(1831))

Asymmetrie in der Elektrodynamik



Magnetisches Feld \vec{B} zeitlich konstant;
LORENTZkraft $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ bewirkt
induzierte Spannung



Magnetisches Feld \vec{B} zeitlich nicht
konstant;

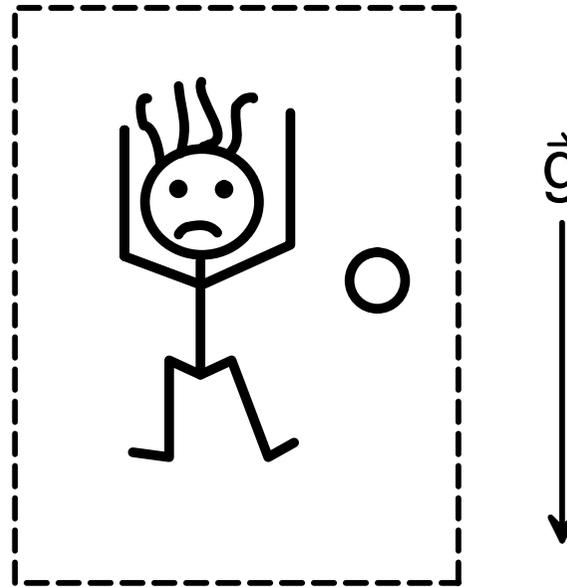
elektrisches Feld: $\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} \vec{B}$
(FARADAYSches Induktionsgesetz
(1831))

*„Der Gedanke, dass es sich hier um zwei wesens-verschiedene Fälle handele,
war mir unerträglich.“*

(A. E.: Grundlegende Ideen und Methoden der Relativitätstheorie, in ihrer Entwicklung dargestellt (ca. 1919)
zit. in: G. HOLTON: Themata. Zur Ideengeschichte der Physik. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg 1984)

Relativität des Schwerfeldes

„Da kam mir der glücklichste Gedanke meines Lebens in folgender Form:“



Für den frei fallenden Beobachter existiert (in seiner unmittelbaren Umgebung) kein Gravitationsfeld!

„Das Gravitationsfeld hat [...] in ähnlicher Weise nur eine relative Existenz wie das durch magnetoelektrische Induktion erzeugte elektrische Feld.“

(A. E.: Grundlegende Ideen und Methoden der Relativitätstheorie, in ihrer Entwicklung dargestellt (ca. 1919)
zit. in: G. HOLTON: Themata. Zur Ideengeschichte der Physik. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg 1984)

EINSTEINS Leitideen, Vorurteile, Themata :

● Einfachheit

Allzu verwickelte Theorien sind schwieriger zu testen als einfachere.
„Nach unserer bisherigen Erfahrung sind wir nämlich zum Vertrauen berechtigt, dass die Natur die Realisierung des mathematisch denkbar Einfachsten ist.“

(A. EINSTEIN: Mein Weltbild. Ullstein-Buch 65. Berlin: Ullstein 1957)

EINSTEINS Leitideen, Vorurteile, Themata :

● Einfachheit

Allzu verwickelte Theorien sind schwieriger zu testen als einfachere.
„Nach unserer bisherigen Erfahrung sind wir nämlich zum Vertrauen berechtigt, dass die Natur die Realisierung des mathematisch denkbar Einfachsten ist.“

(A. EINSTEIN: Mein Weltbild. Ullstein-Buch 65. Berlin: Ullstein 1957)

Ist das nicht ein Trugschluss? Wir wählen die einfachste Mathematik und sind dann erstaunt, wie viel man damit versteht.
EINSTEIN: *„Wunderglaube“*, Annahme, die sich *„in erstaunlichem Maße bestätigt.“*

G. HOLTON: Einsteins Methoden zur Theorienbildung. In: Aichelburg, P. C., Sexl, R. U. (Hrsg.): Albert Einstein. Sein Einfluss auf Physik, Philosophie und Politik. Braunschweig: Vieweg 1979.

EINSTEINS Leitideen, Vorurteile, Themata :

● Einfachheit

Vereinigung von Gravitation und Elektromagnetismus?

EINSTEIN gab 1931 eine bestimmte Fassung der vereinheitlichten Feldtheorie (Riemannsche Geometrie mit Fernparallelismus) endgültig auf.

Wie er später feststellte, führte diese *„formal recht interessante Theorie [...] eben auf keine Weise zu einer Darstellung des elektromagnetischen Feldes. Ich habe lange Zeit gebraucht, um dies mit Sicherheit einzusehen, weil ich durch die formale Natürlichkeit der Theorie so sehr fasziniert war.“*

(A. FÖLSING: Albert Einstein. Eine Biographie. Suhrkamp Taschenbuch 2490. S. 730. Frankfurt a.M.: Suhrkamp 1995)

EINSTEINs Leitideen, Vorurteile, Themata :

● Kausalität

An MAX BORN (1926):

„Die Quantentheorie ist sehr achtungs-gebietend. Aber eine innere Stimme sagt mir, dass das doch nicht der wahre Jakob ist. Die Theorie liefert viel, aber dem Geheimnis des Alten bringt sie uns doch nicht näher. Jedenfalls bin ich überzeugt davon, dass der nicht würfelt.“

(A. CALAPRICE: Einstein sagt. Zitate, Einfälle, Gedanken.) München, Zürich: Piper 2003 (5. Aufl.)

EINSTEINS Leitideen, Vorurteile, Themata :

● Kausalität

An MAX BORN (1926):

„Die Quantentheorie ist sehr achtungs-gebietend. Aber eine innere Stimme sagt mir, dass das doch nicht der wahre Jakob ist. Die Theorie liefert viel, aber dem Geheimnis des Alten bringt sie uns doch nicht näher. Jedenfalls bin ich überzeugt davon, dass der nicht würfelt.“

(A. CALAPRICE: Einstein sagt. Zitate, Einfälle, Gedanken.) München, Zürich: Piper 2003 (5. Aufl.)

An MAX BORN:

„In unserer wissenschaftlichen Erwartung haben wir uns zu Antipoden entwickelt. Du glaubst an den würfelnden Gott und ich an die volle Gesetzmäßigkeit in einer Welt von etwas objektiv Seiendem, das ich auf wild spekulative Weise zu erhaschen suche.“

(PETER G. BERGMANN: Die Entwicklung der Relativitätstheorie. In: Aichelburg, P. C., Sexl, R. U.

(Hrsg.): Albert Einstein. Sein Einfluss auf Physik, Philosophie und Politik. Braunschweig: Vieweg 1979)

EINSTEINs Leitideen, Vorurteile, Themata :

☛ **Pantheismus** (SPINOZA: „deus sive natura“)

EINSTEIN hat sich oft mit personalen Metaphern über Gott geäußert. Bei Nachfragen hat er sich aber immer mit aller Deutlichkeit pantheistisch geäußert.

EINSTEINS Leitideen, Vorurteile, Themata :

● **Pantheismus** (SPINOZA: „deus sive natura“)

EINSTEIN hat sich oft mit personalen Metaphern über Gott geäußert. Bei Nachfragen hat er sich aber immer mit aller Deutlichkeit pantheistisch geäußert.

EINSTEIN im Jahr 1921 im Zusammenhang mit der Äther-Problematik:
„Raffiniert ist der Herrgott, aber boshaft ist er nicht.“

Im Jahr 1930 interpretierte er diese Feststellung auf Anfrage:
„Die Natur verbirgt ihr Geheimnis durch die Erhabenheit ihres Wesens, aber nicht durch List.“

(A. Pais: Raffiniert ist der Herrgott ... Albert Einstein. Eine wissenschaftliche Biographie.
Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg 1986)

EINSTEINS Leitideen, Vorurteile, Themata :

● **Pantheismus** (SPINOZA: „deus sive natura“)

Grundannahme SPINOZAS:

„in rerum natura nullum datur contingens“
(„In der Natur gibt es nichts Zufälliges.“)

(M. JAMMER: Einstein und die Religion. Konstanz: Universitätsverlag Konstanz 1995)

„Ich glaube an Spinozas Gott, der sich in der gesetzlichen Harmonie des Seienden offenbart, nicht an einen Gott, der sich mit dem Schicksal und den Handlungen der Menschen abgibt.“

„Unser Handeln sei getragen von dem lebendigen Bewusstsein, dass die Menschen in ihrem Denken, Fühlen und Tun nicht frei sind, sondern ebenso kausal gebunden wie die Gestirne in ihren Bewegungen.“

(A. CALAPRICE: Einstein sagt. Zitate, Einfälle, Gedanken. München, Zürich: Piper 2003 (5. Aufl.))

EINSTEINs Leitideen, Vorurteile, Themata :

● **Pantheismus** (SPINOZA: „deus sive natura“)

„Der Forscher aber ist von der Kausalität alles Geschehens durchdrungen. Die Zukunft ist ihm nicht minder notwendig und bestimmt wie die Vergangenheit [. . .]

Seine Religiosität liegt in dem verzückten Staunen über die Harmonie der Naturgesetzlichkeit, in der sich eine so überlegene Vernunft offenbart, dass alles Sinnvolle menschlichen Denkens und Anordnens dagegen ein gänzlich nichtiger Abglanz ist.“

(M. JAMMER: Einstein und die Religion. Konstanz: Universitätsverlag Konstanz 1995)

EINSTEINs Leitideen, Vorurteile, Themata :

● **Vollständigkeit**

Alles über ein System Sagbares soll die Theorie ausdrücken.

EINSTEINs Leitideen, Vorurteile, Themata :

● **Vollständigkeit**

Alles über ein System Sagbares soll die Theorie ausdrücken.

„Höchste Aufgabe der Physiker ist also das Aufsuchen jener allgemeinsten elementaren Gesetze, aus denen durch reine Deduktion das Weltbild zu gewinnen ist.“

(A. EINSTEIN: Mein Weltbild. Ullstein-Buch 65. Berlin: Ullstein 1957)

EINSTEIN bezweifelte lebenslang die Vollständigkeit der Quantentheorie.

EINSTEINS Leitideen, Vorurteile, Themata :

● Kontinuum

EINSTEIN war auch Atomist, aber er sah das Kontinuum als grundlegender an und suchte nach einer allgemeinen Feldtheorie:

„Der schwierigste Punkt für eine derartige Feldtheorie liegt einstweilen in dem Begreifen der atomistischen Struktur der Materie und der Energie.“

(A. EINSTEIN: Mein Weltbild. Ullstein-Buch 65. S. 118. Berlin: Ullstein 1957)

EINSTEINS Leitideen, Vorurteile, Themata :

● **Konstanz und Unveränderlichkeit**

Zeit als Illusion:

Über EINSTEINS Freund MICHELE BESSO (1955): *„Nun ist er mir auch mit dem Abschied von dieser sonderbaren Welt ein wenig vorausgegangen. Dies bedeutet nichts. Für uns gläubige Physiker hat die Scheidung zwischen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft nur die Bedeutung einer wenn auch hartnäckigen Illusion.“*

EINSTEINS Leitideen, Vorurteile, Themata :

● Konstanz und Unveränderlichkeit

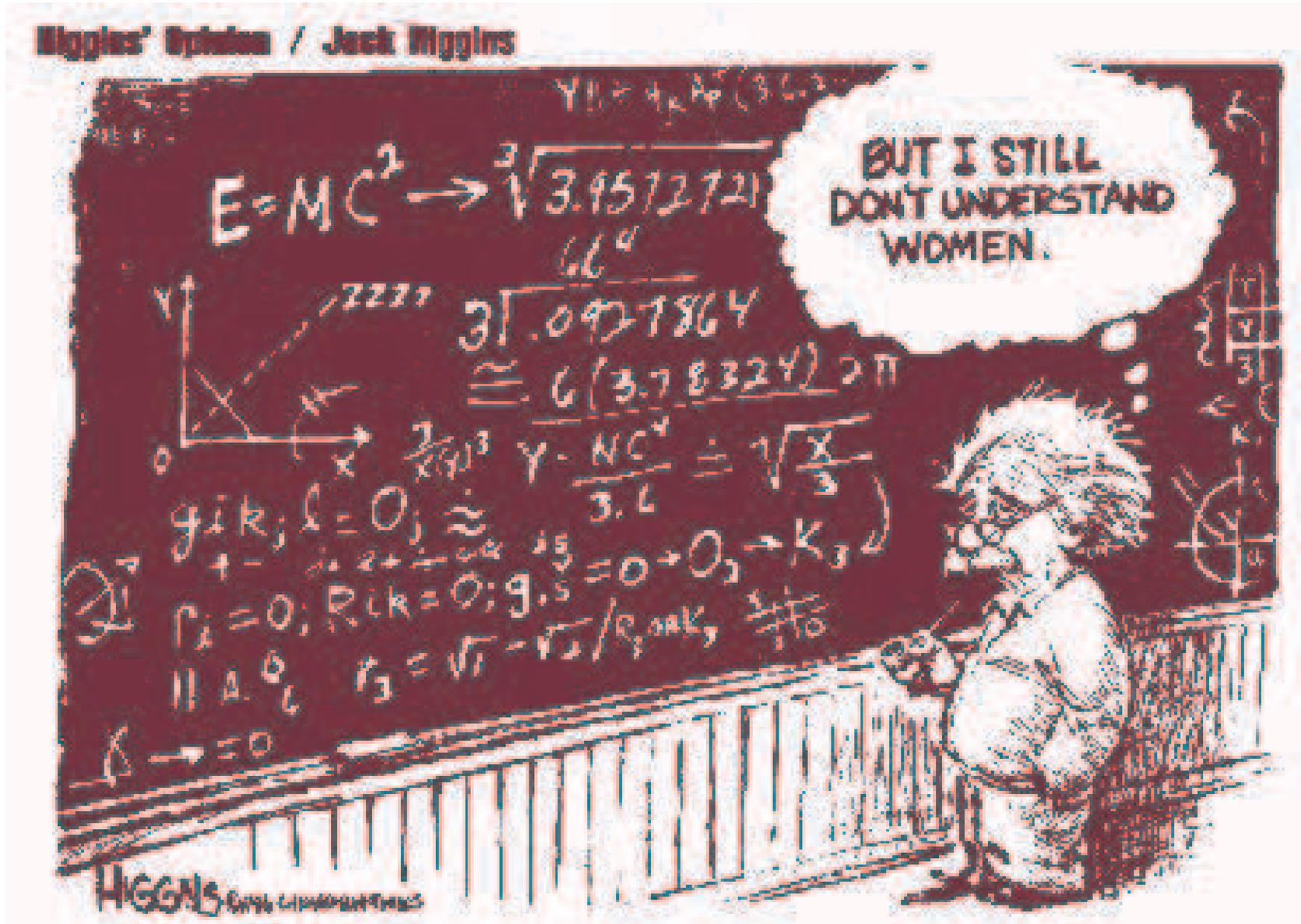
Zeit als Illusion:

Über EINSTEINS Freund MICHELE BESSO (1955): *„Nun ist er mir auch mit dem Abschied von dieser sonderbaren Welt ein wenig vorausgegangen. Dies bedeutet nichts. Für uns gläubige Physiker hat die Scheidung zwischen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft nur die Bedeutung einer wenn auch hartnäckigen Illusion.“*

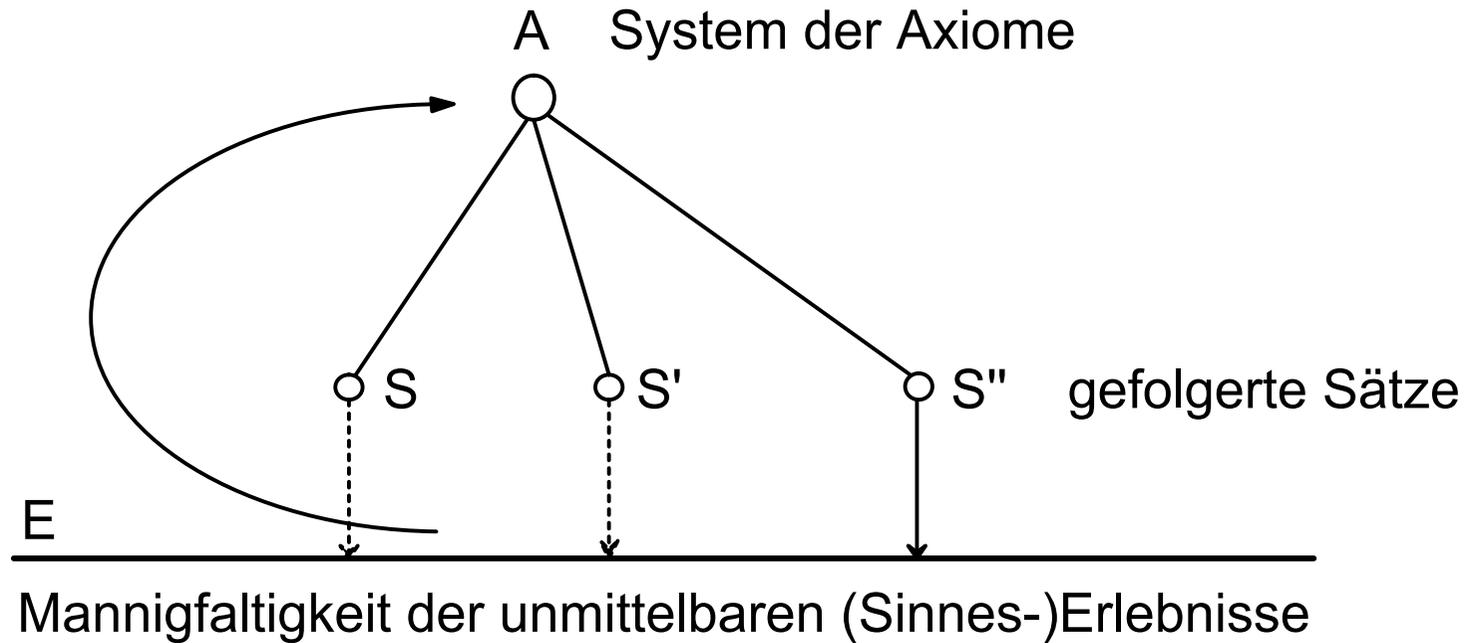
„Was ich aber am meisten an ihm als Menschen bewunderte, ist der Umstand, dass er es fertig gebracht hat, viele Jahre lang nicht nur im Frieden, sondern sogar in dauernder Konkordanz mit einer Frau zu leben – ein Unterfangen, in dem ich zweimal ziemlich schmachvoll gescheitert bin.“

(A. CALAPRICE: Einstein sagt. Zitate, Einfälle, Gedanken. München, Zürich: Piper 2003 (5. Aufl.))

EINSTEIN'S Themata (XVI)



Nochmals: Das EASE-Schema (I)



Verbindung von drei Ebenen: E, A, S

Nochmals: Das EASE-Schema (VI)

- „(3) Aus A werden auf logischem Wege Einzelaussagen S abgeleitet, welche Ableitungen den Anspruch auf Richtigkeit erheben können.“

Nochmals: Das EASE-Schema (VI)

- „(3) Aus A werden auf logischem Wege Einzelaussagen S abgeleitet, welche Ableitungen den Anspruch auf Richtigkeit erheben können.“
 - Deduktives Vorgehen: logisch zwingend
 - Strategie: hypothetisch-deduktives Denken

(B. KANITSCHIEDER: Das Weltbild Albert Einsteins. München: C. H. Beck 1988; Frankfurt, Wien: Büchergilde Gutenberg 1989)

Nochmals: Das EASE-Schema (VII)

- *„(4) Die S werden mit den E in Beziehung gebracht (Prüfung an der Erfahrung). [...] Die Grundessenz ist der ewig problematische Zusammenhang alles Gedanklichen mit dem Erlebbaren (Sinnen-Erlebnisse).“*

Nochmals: Das EASE-Schema (VII)

- „(4) Die S werden mit den E in Beziehung gebracht (Prüfung an der Erfahrung). [...] Die Grundessenz ist der ewig problematische Zusammenhang alles Gedanklichen mit dem Erlebbaren (Sinnen-Erlebnisse).“
- Die S , S' , S'' enthalten auch theoretische Begriffe.
EINSTEIN wusste: Synthetische Brücke zwischen der theoretischen und der empirischen Sprache ist nötig!

Nochmals: Das EASE-Schema (VII)

- „(4) Die *S* werden mit den *E* in Beziehung gebracht (Prüfung an der Erfahrung). [...]

Die Grundessenz ist der ewig problematische Zusammenhang alles Gedanklichen mit dem Erlebbaren (Sinnen-Erlebnisse).“

- Die *S*, *S'*, *S''* enthalten auch theoretische Begriffe.
EINSTEIN wusste: Synthetische Brücke zwischen der theoretischen und der empirischen Sprache ist nötig!
- Verifikationismus oder Falsifikationismus?
Spricht von „*Bewährung*“ des EASE-Prozesses.
EINSTEIN wusste:
 1. Auch aus falschen *A* können richtige Prognosen folgen.
 2. Daten sind oft fehlerhaft.

(B. KANITSCHIEDER: Das Weltbild Albert Einsteins. München: C. H. Beck 1988; Frankfurt, Wien: Büchergilde Gutenberg 1989)

Nochmals: Das EASE-Schema (VIII)

- *„(4) Die S werden mit den E in Beziehung gebracht (Prüfung an der Erfahrung). [...] Die Grundessenz ist der ewig problematische Zusammenhang alles Gedanklichen mit dem Erlebbaren (Sinnen-Erlebnisse).“*

Nochmals: Das EASE-Schema (VIII)

- „(4) Die *S* werden mit den *E* in Beziehung gebracht (Prüfung an der Erfahrung). [...]

Die Grundessenz ist der ewig problematische Zusammenhang alles Gedanklichen mit dem Erlebbaren (Sinnen-Erlebnisse).“

Zwei Forderungen an eine gute Theorie:

Nochmals: Das EASE-Schema (VIII)

- „(4) Die *S* werden mit den *E* in Beziehung gebracht (Prüfung an der Erfahrung). [...]

Die Grundessenz ist der ewig problematische Zusammenhang alles Gedanklichen mit dem Erlebbaren (Sinnen-Erlebnisse).“

Zwei Forderungen an eine gute Theorie:

- „äußere Bewährung“

Theorie darf den Tatsachen nicht widersprechen:

Bewährung = fehlende Falsifikation;

auch: hartnäckige Falsifikationsversuche (Unschärferelationen)

Nochmals: Das EASE-Schema (VIII)

- „(4) Die *S* werden mit den *E* in Beziehung gebracht (Prüfung an der Erfahrung). [...]

Die Grundessenz ist der ewig problematische Zusammenhang alles Gedanklichen mit dem Erlebbareren (Sinnen-Erlebnisse).“

Zwei Forderungen an eine gute Theorie:

- „äußere Bewährung“

Theorie darf den Tatsachen nicht widersprechen:

Bewährung = fehlende Falsifikation;

auch: hartnäckige Falsifikationsversuche (Unschärferelationen)

- „innere Vollkommenheit“

Weiche Kriterien: „*Natürlichkeit*“, „*logische Einfachheit*“ (Thema!),

kein Flickwerk von ad-hoc-Annahmen.

Ist von der Wissenschaftstheorie nicht analysiert!

(G. HOLTON: Einsteins Methoden zur Theorienbildung. In: Aichelburg, P. C., Sexl, R. U. (Hrsg.): Albert Einstein. Sein Einfluss auf Physik, Philosophie und Politik. Braunschweig: Vieweg 1979)

(B. KANITSCHIEDER: Das Weltbild Albert Einsteins. München: C. H. Beck 1988; Frankfurt, Wien: Büchergilde Gutenberg 1989)

Ist die Quantenmechanik widerspruchsfrei? (I)

Die Energie-Zeit-Unschärfe

Achtung! Anderer Typ von Unschärferelation als z.B. Orts-Impuls-Unschärfe!

Ist die Quantenmechanik widerspruchsfrei? (I)

Die Energie-Zeit-Unschärfe

Achtung! Anderer Typ von Unschärferelation als z.B. Orts-Impuls-Unschärfe!
Es gibt drei etwas unterschiedliche Bedeutungen:

Ist die Quantenmechanik widerspruchsfrei? (I)

Die Energie-Zeit-Unschärfe

Achtung! Anderer Typ von Unschärferelation als z.B. Orts-Impuls-Unschärfe!
Es gibt drei etwas unterschiedliche Bedeutungen:

- Bei einem Mikroobjekt („Teilchen“) ist seine Energie und sein zeitliches Auftreten (an einem Ort) nicht gleichzeitig scharf bestimmt:

$$\Delta E \cdot \Delta t \gtrsim \hbar$$

Ist die Quantenmechanik widerspruchsfrei? (I)

Die Energie-Zeit-Unschärfe

Achtung! Anderer Typ von Unschärferelation als z.B. Orts-Impuls-Unschärfe!
Es gibt drei etwas unterschiedliche Bedeutungen:

- Bei einem Mikroobjekt („Teilchen“) ist seine Energie und sein zeitliches Auftreten (an einem Ort) nicht gleichzeitig scharf bestimmt:

$$\Delta E \cdot \Delta t \gtrsim \hbar$$

- Eine Energiemessung mit der Genauigkeit ΔE benötigt mindestens die Zeit $\Delta t = \frac{\hbar}{\Delta E}$.

Ist die Quantenmechanik widerspruchsfrei? (I)

Die Energie-Zeit-Unschärfe

Achtung! Anderer Typ von Unschärferelation als z.B. Orts-Impuls-Unschärfe!
Es gibt drei etwas unterschiedliche Bedeutungen:

- Bei einem Mikroobjekt („Teilchen“) ist seine Energie und sein zeitliches Auftreten (an einem Ort) nicht gleichzeitig scharf bestimmt:

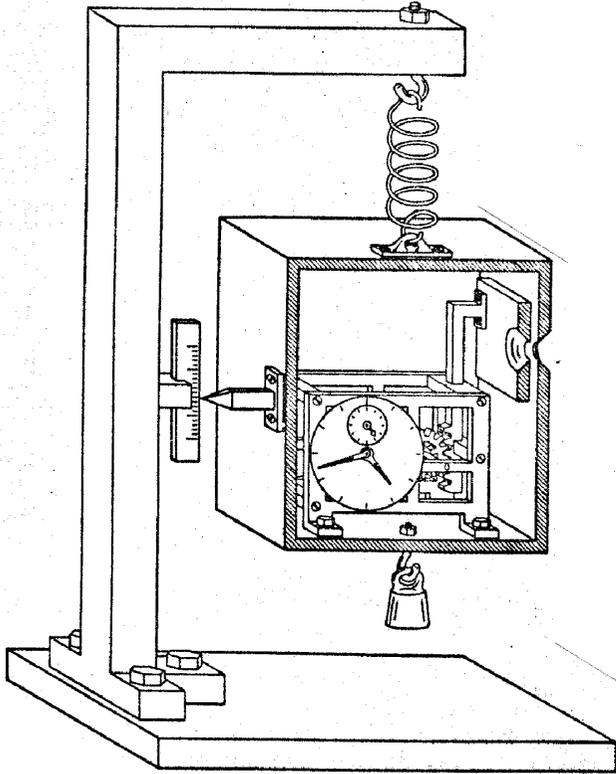
$$\Delta E \cdot \Delta t \gtrsim \hbar$$

- Eine Energiemessung mit der Genauigkeit ΔE benötigt mindestens die Zeit $\Delta t = \frac{\hbar}{\Delta E}$.
- Ein Energiezustand mit der mittleren Lebensdauer τ hat die Energieunschärfe $\Delta E \approx \frac{\hbar}{\tau}$.

(F. SCHWABL: Quantenmechanik. Berlin, Heidelberg: Springer 1992. S. 93ff.)

Ist die Quantenmechanik widerspruchsfrei? (II)

Gilt die Energie-Zeit-Unschärfe für ein Photon, das aus dem Kasten tritt?



Ist die Quantenmechanik widerspruchsfrei? (II)

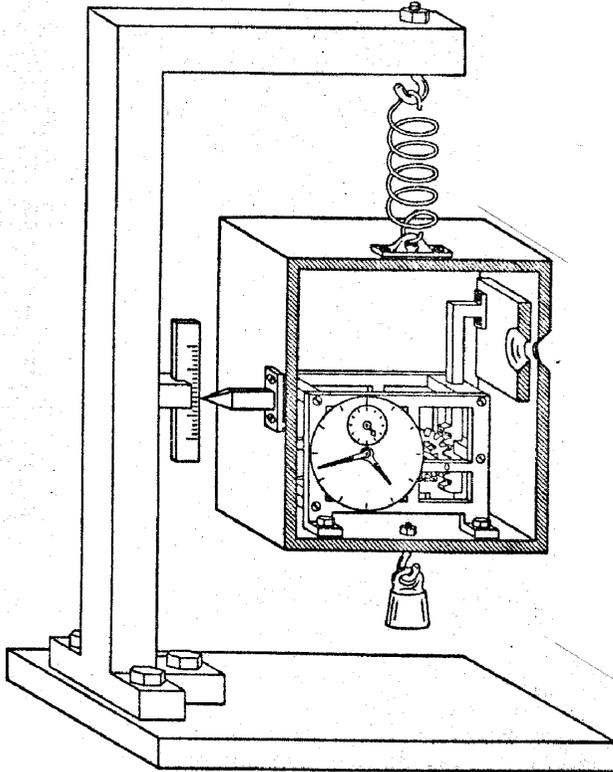
Gilt die Energie-Zeit-Unschärfe für ein Photon, das aus dem Kasten tritt?

EINSTEINS Idee (Debatte mit BOHR (1930)):

Photon verlässt Kasten:
Zeitl. Festlegung Δt mit Uhr und Schieber beliebig genau.

Energiemessung über Gewichtsmessung $g\Delta m$
mit $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$ auch beliebig genau.

Widerspruch zu $\Delta E \cdot \Delta t \gtrsim \hbar$!



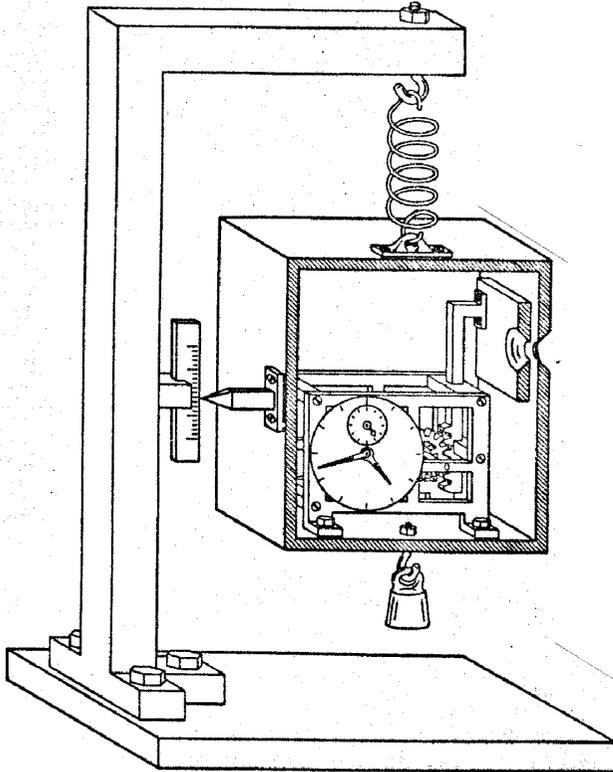
Ist die Quantenmechanik widerspruchsfrei? (III)

Gilt die Energie-Zeit-Unschärfe für ein Photon, das aus dem Kasten tritt?

Wägung des Kastens:

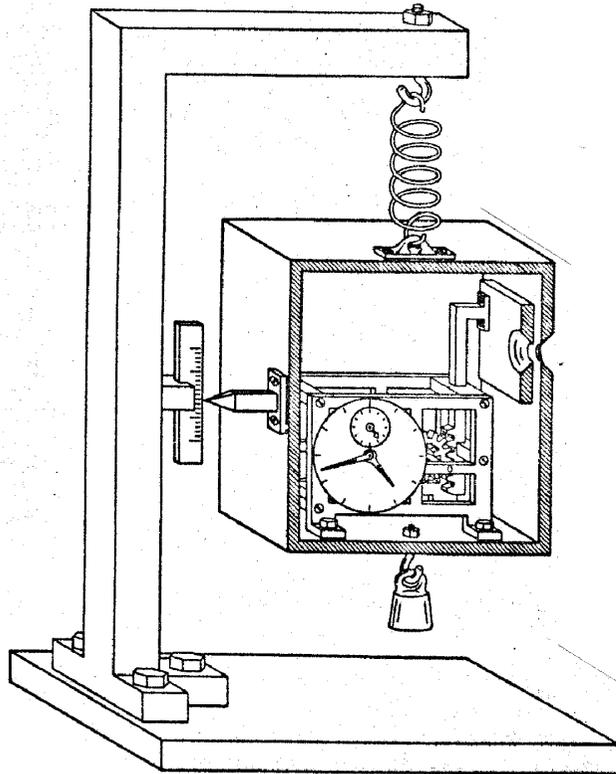
Koordinate x mit Genauigkeit Δx .

Photon überträgt in der Messzeit t mittleren Impuls $g\Delta m \cdot t$.



Ist die Quantenmechanik widerspruchsfrei? (III)

Gilt die Energie-Zeit-Unschärfe für ein Photon, das aus dem Kasten tritt?



Wägung des Kastens:

Koordinate x mit Genauigkeit Δx .

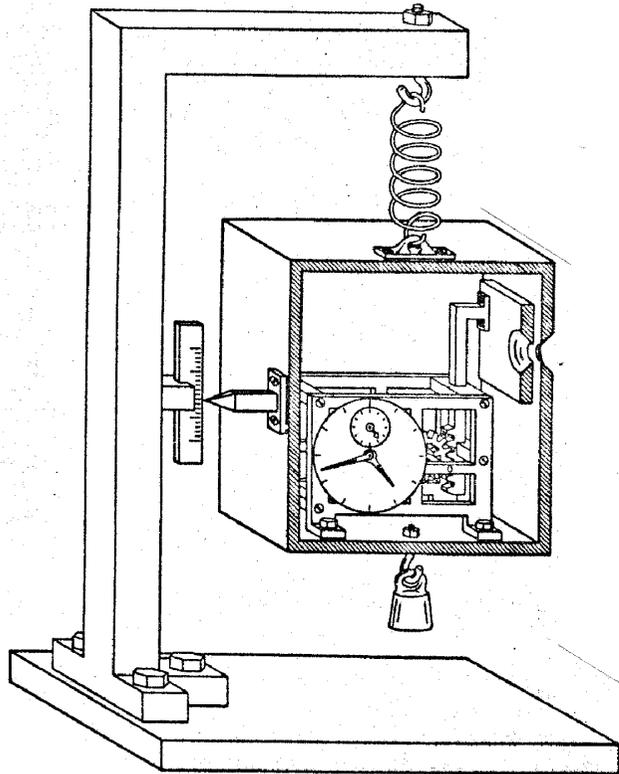
Photon überträgt in der Messzeit t mittleren Impuls $g\Delta m \cdot t$.

Es muss gelten:

$$\frac{\hbar}{\Delta x} \approx \Delta p_x \stackrel{!}{<} g\Delta m \cdot t$$

Ist die Quantenmechanik widerspruchsfrei? (III)

Gilt die Energie-Zeit-Unschärfe für ein Photon, das aus dem Kasten tritt?



Wägung des Kastens:

Koordinate x mit Genauigkeit Δx .

Photon überträgt in der Messzeit t mittleren Impuls $g\Delta m \cdot t$.

Es muss gelten:

$$\frac{\hbar}{\Delta x} \approx \Delta p_x < g\Delta m \cdot t$$

Im Schwerfeld gilt aber (Allg. Relativitätstheorie):

$$\frac{\Delta t}{t} = \frac{g\Delta x}{c^2}$$

Damit ergibt sich wieder $\Delta E \cdot \Delta t \gtrsim \hbar$!

(N. BOHR: Erkenntnistheoretische Probleme in der Atomphysik. In: PAUL A. SCHILPP (Hrsg.):
Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher. Stuttgart: Kohlhammer 1979. S. 136ff.)

Nochmals: Das EASE-Schema (IX)

- *„(4) Die S werden mit den E in Beziehung gebracht (Prüfung an der Erfahrung). [...] Die Grundessenz ist der ewig problematische Zusammenhang alles Gedanklichen mit dem Erlebbaren (Sinnen-Erlebnisse).“*

Nochmals: Das EASE-Schema (IX)

- „(4) Die *S* werden mit den *E* in Beziehung gebracht (Prüfung an der Erfahrung). [...]

Die Grundessenz ist der ewig problematische Zusammenhang alles Gedanklichen mit dem Erlebbaren (Sinnen-Erlebnisse).“

Rationalistisches Ziel einer umfassenden, vollkommenen Theorie (1929):

„Wir wollen nicht nur wissen, wie die Natur ist (und wie ihre Vorgänge ablaufen) sondern wir wollen nach Möglichkeit das utopische und anmaßend erscheinende Ziel erreichen zu wissen, warum die Natur so und nicht anders ist.“

(B. KANITSCHIEDER: Das Weltbild Albert Einsteins. München: C. H. Beck 1988; Frankfurt, Wien: Büchergilde Gutenberg 1989)

Nochmals: Das EASE-Schema (X)

EINSTEIN vertritt einen Pluralismus der Erkenntnisweisen:

*„Der Wissenschaftler erscheint als **Realist** insofern, als er eine von den Akten der Wahrnehmung unabhängige Welt darzustellen sucht;
als **Idealist** insofern, als er die Begriffe und Theorien als freie Erfindungen des menschlichen Geistes ansieht;*

*als **Positivist** insofern, als er seine Begriffe und Theorien nur soweit für begründet ansieht, als sie eine logische Darstellung von Beziehungen zwischen sinnlichen Erlebnissen liefern.*

*Er kann sogar als **Platoniker** oder **Pythagoräer** erscheinen, insofern er den Gesichtspunkt der logischen Einfachheit als unentbehrliches und wirksames Werkzeug seines Forschens betrachtet.“*

(Hervorhebungen: P.C.H.; H. Hönl: Albert Einstein und Ernst Mach. Das Machsche Prinzip und die Krise des logischen Positivismus. Phys. Blätter 35(11), 405-494 (1979); Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher, Autobiographisches; herausgegeben von P. A. Schilpp, W. Kohlhammer-Verlag (Living Philosophers) 1949)

War EINSTEIN ein Philosoph?

A. Fölsing:

Einstein betrieb Philosophie

„aus der Perspektive eines respektlosen Liebhabers“.

(A. FÖLSING: Albert Einstein. Eine Biographie. Suhrkamp Taschenbuch 2490. S. 730.
Frankfurt a.M.: Suhrkamp 1995)

B. KANITSCHIEDER:

„Durch wissenschaftlichen Instinkt geleitet, hat er die Liberalisierung der Wissenschaftsphilosophie vollzogen, sich vom Machschen Phänomenalismus abgewendet zu einem erkenntnistheoretischen Realismus ohne Scheu. [...] Einstein hatte genau die neuralgischen Punkte erfasst, was dadurch belegt wird, dass zur gleichen Zeit und oft nur wenig später die gleichen Fragen in der innerphilosophischen Diskussion eine entscheidende Rolle spielten.“

(B. KANITSCHIEDER: Das Weltbild Albert Einsteins. München: C. H. Beck 1988;
Frankfurt, Wien: Büchergilde Gutenberg 1989)