

***Einführung in die
Wissenschaftsphilosophie I:***

11. Vorlesung:

Die Unterbestimmtheit von Theorien

- (1) Einleitung***
- (2) Die Duhem-Quine Thesen***
- (3) Schwache Unterbestimmtheit***
- (4) Radikale („strong“) Unterbestimmtheit***
- (5) Antworten auf das radikale Unterbestimmtheitsargument***

Einleitung I: Theoretische Entitäten

- Wissenschaft postuliert häufig Entitäten, die sich ***nicht direkt (d.h. ohne Instrumente) beobachten*** lassen:

Gene

Elektronen

Schwarze Löcher

Elektromagnetische Strahlung

- Die Wissenschaft postuliert diese Entitäten, um Ereignisse zu ***erklären, die wir wahrgenommen haben.***

**Input: Beobach-
tungsdaten**



**Postulierte, unbe-
obachtbare Entitä-
ten und Prozesse**



**Output: Voraus-
gesagte Beobach-
tungen**

(1) Einleitung II: Unterbestimmtheit

- Schlüsselproblem der Wissenschaftstheorie
- Insbesondere im Streit zwischen ***Realismus und Anti-Realismus***
- Schon wiederholt im Hintergrund bei früheren Vorlesungen ...
 - Im Zusammenhang des Falsifikationismus
 - Im Zusammenhang der Bestätigungsproblematik:



(a) Metalle dehnen sich aus, wenn sie erwärmt werden.

(b) Dieser Metallstab wird gegenwärtig erwärmt.

(c) Dieser Metallstab dehnt sich aus.

(a): Hypothese

(b): Anfangsbedingung

(c): Beobachtungskonsequenz



- Wir benutzen im obigen Experiment eine Reihe von Instrumenten (Thermometer, Maßband, Bunsenbrenner). Wir nehmen an, dass diese Instrumente verlässlich arbeiten.

Diese Annahmen sind „**Zusatzannahmen**“ (*auxiliary hypotheses*) ... also:

H (Testhypothese)

A (Anfangsbedingungen)

Z (Zusatzannahmen)

B (Beobachtungskonsequenz)

- Wenn eine Beobachtungskonsequenz nicht den Erwartungen entspricht, können wir *dennoch an der Testhypothese festhalten*.
- Wir können den *Fehler* bei den *Anfangsbedingungen* oder den *Zusatzannahmen* suchen.

- Z.B. *Newton's Mechanik* sagte die Bewegungen des Planeten *Uranus* falsch voraus. Aber Newtons Mechanik blieb.
- Stattdessen wurde eine der *Zusatzannahmen über die Anzahl der Planeten* verändert. *Neptun* wurde dann tatsächlich gefunden.

(2) Die Duhem-Quine Thesen

(2.1) Duhems These

Pierre Duhem (1861-1916)



- Duhems zentrale Behauptung:

„Ein Experiment in der Physik kann keine isolierte Hypothese verurteilen, sondern *nur eine ganze theoretische Gruppe*.“ (1904-5)

Naive Vorstellung:

Hypothese $h \supset$ Beobachtung b

$\sim b$

$\sim h$

Modus Tollens:

$p \supset q$

$\sim q$

$\sim p$

Duhem:

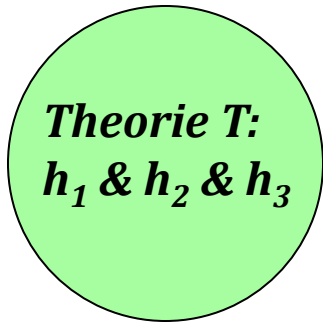
$$(h_1 \& h_2 \& h_3 \& a_1 \& a_2) \supset b$$

$$\sim b$$

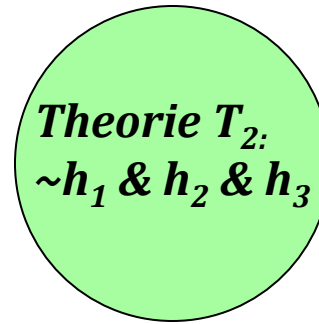
$$\sim(h_1 \& h_2 \& h_3 \& a_1 \& a_2)$$

Wir testen nie eine einzelne Hypothese, sondern *Gruppen von Hypothesen*, kombiniert mit *Hilfsannahmen* (= a).

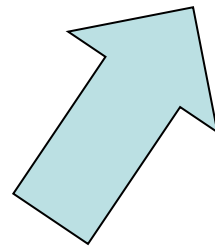
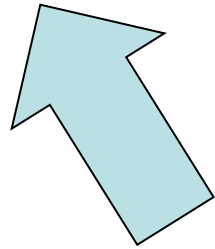
- Das Problem ist hier, dass wir jetzt noch nicht wissen, *welche(s) Element(e)* wir *aufgeben* sollen.
- Vgl.: *Uranus* und die Entdeckung von *Neptun* mit *Merkur* und der *Relativitätstheorie*
- Duhem schließt hieraus, dass es *keine* entscheidenden Experimente (*experimentum crucis*) geben kann: das Ausbleiben des vorausgesagten Ergebnisses kann immer durch eine der Hilfsannahmen erklärt werden.



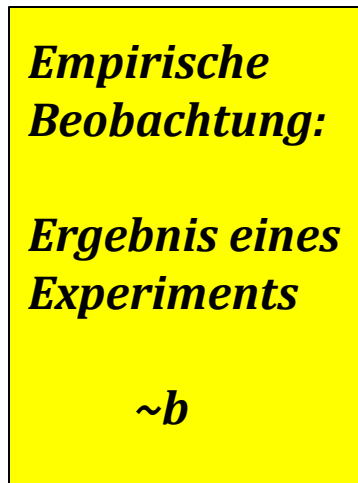
*inkom-
patibel*



$\& \sim a_1 \& a_2$



$\& a_1 \& a_2$



Unterbestimmtheit

Duhems Lösung: „**le bon sens**“:

„Reine Logik ist nicht die einzige Regel unserer Urteile; ... Diese Motive, die nicht aus der Logik folgen und doch unsere Wahl anleiten, diese **,Gründe, die die Vernunft nicht kennt'** und die den weitgefassten ‚Geist der Finnesse‘ aber nicht den ‚geometrischen Geist‘ ansprechen, konstituieren was man angemessener Weise den **,bon sens'** nennen kann.“ (1904-5)

Pascal: *Le cœur a ses raisons que la raison ne connaît point ...*

*Duhem beschränkt aber die **Unterbestimmtheit auf die Physik**
– er nimmt schon die Physiologie und die Chemie aus!*

(2.2) Quines These

- **Willard von Orman Quine (1908-2000)**



(2.2) Quines These

1951: „***Die zwei Dogmen des Empirizismus***“

(1) *Duhem* behauptet, Hypothesen in der Physik können nicht in Isolation getestet werden. ***Quine*** geht weiter:

„Die Einheit der empirischen Bedeutsamkeit ist die Gesamtheit der Wissenschaft.“

Theorien lassen sich nicht isoliert von anderen Theorien testen.

„Die Totalität unseres sogenannten Wissens oder unserer Annahmen—von den saloppsten Dingen der Erdkunde und Geschichte hin zu den fundamentalsten Gesetzen der Atomphysik oder sogar der reinen Mathematik und Logik—ist eine vom Menschen gemachte Struktur, die nur an den Rändern auf die Erfahrung stößt.“

Quine:

$(h_1 \& h_2 \& h_3 \& a_1 \& a_2 \& \text{die \u00fcbrige Wissenschaft}) \supset b$

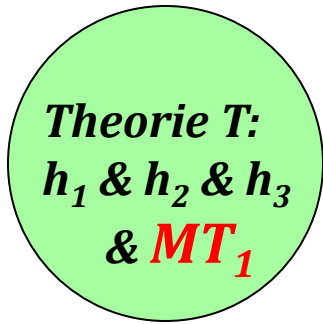
$\sim b$

$\sim(h_1 \& h_2 \& h_3 \& a_1 \& a_2 \& \text{die \u00fcbrige Wissenschaft})$

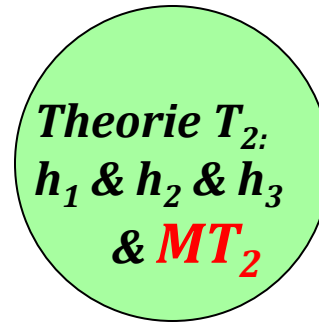
Quine lehnt den Begriff des „bon sens“ ab.

(2) Auch die Logik und die Mathematik (als Hypothesen oder Hilfsannahmen) sind durch Erfahrung revidierbar.

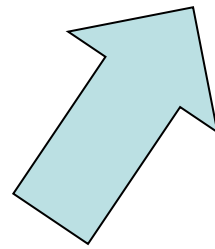
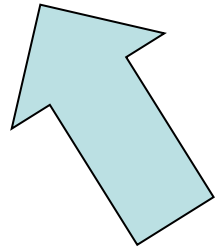
Manchmal wird tatsächlich die Mathematik aufgrund von empirischen Befunden geändert: Das Beispiel der **non-Euklidischen Geometrie**.



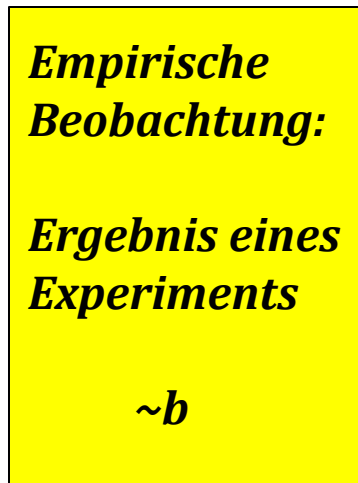
*inkom-
patibel*



$\& \sim a_1 \& a_2$



$\& a_1 \& a_2$

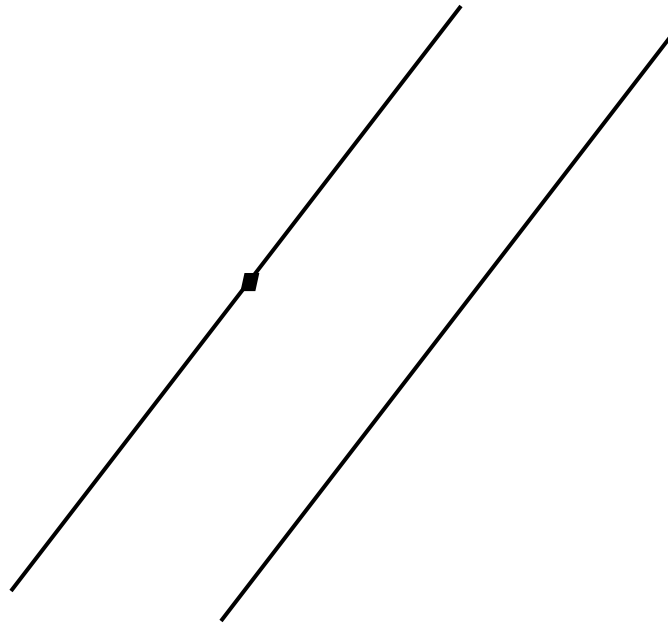


Unterbestimmtheit

Die fünf Postulate der Euklidischen Geometrie:

- (i) dass man von jedem Punkt nach jedem Punkt eine Strecke ziehen könne,
- (ii) dass man eine begrenzte gerade Linie zusammenhängend gerade verlängern könne,
- (iii) dass man mit jedem Mittelpunkt und Abstand den Kreis zeichnen könne,
- (iv) dass alle rechten Winkel einander gleich seien,
- (v) dass, zu einer geraden Linie l und einem Punkt p , der nicht auf l liegt, es genau eine, und nur eine Gerade m gibt, auf der p liegt, und die zu l parallel verläuft.

- (v) dass, zu einer geraden Linie l und einem Punkt p , der nicht auf l liegt, es genau eine, und nur eine Gerade m gibt, auf der p liegt, und die zu l parallel verläuft.



- In früher Neuzeit viele Versuche (v) aus (i)-(iv) abzuleiten.
- Genauer gesagt: Zu zeigen, dass die *Negation von (v) zu einem Widerspruch mit (i) bis (iv) führen muss: reductio ad absurdum.*

(i)
(ii)
(iii)
(iv)

(v)

(i)
(ii)
(iii)
(iv)
~(v)

p & ~p

(i)
(ii)
(iii)
(iv)

(v)

(i)
(ii)
(iii)
(iv)
~(v)

~~*p & ~p*~~

Überraschendes Ergebnis: man kann (v) negieren, ohne mit (i)-(iv) in Widerspruch zu geraten.

(v): dass, zu einer geraden Linie l und einem Punkt p , der nicht auf l liegt, es genau **eine, und nur eine** Gerade m gibt, auf der p liegt, und die zu l parallel verläuft.

Negationen von (v):

Es gibt **keine** solche Linien m :

Riemannsche Geometrie

Es gibt **mehr als eine** solche Linie m :

Bolyai-Lobachevsky
Geometrie

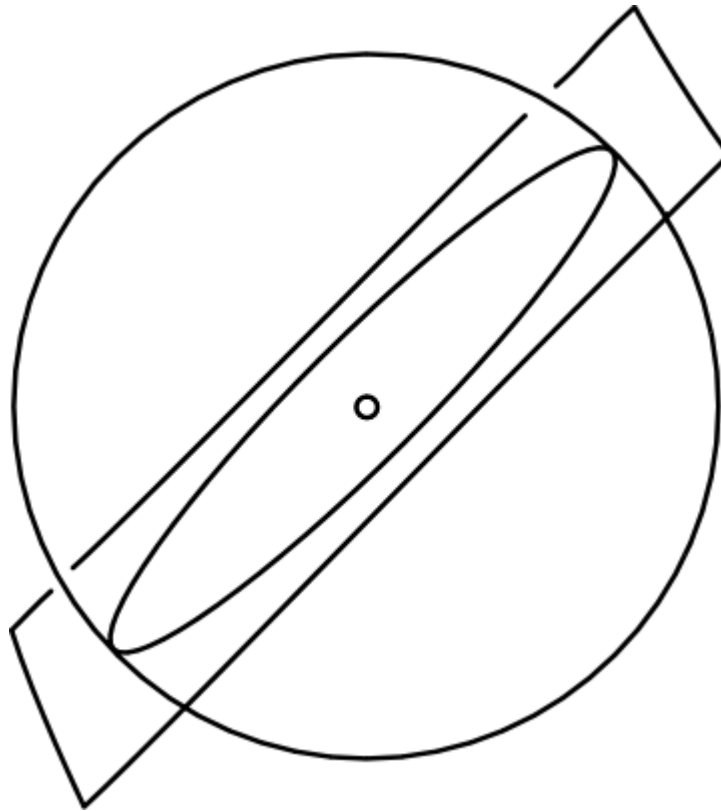
- Man kann die Riemannsche Geometrie dadurch anschaulich machen, indem man sie ***Euklidisch deutet***; die Riemannsche Geometrie entspricht der Projektion der Euklidischen auf die Oberfläche einer Kugel.

- Eine *Gerade* in der *Riemannschen Fläche* entspricht einem „*grossen Kreis*“ auf der Kugel:

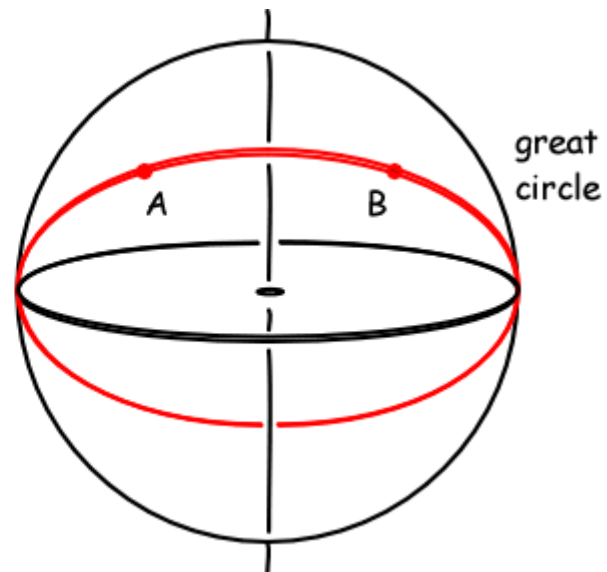
ein grosser Kreis ist ein Kreis, dessen Mittelpunkt der Mittelpunkt der Kugel ist:

- jede gerade Linie ist endlich (einmal um die Mitte herum)
- keine Geraden sind parallel.

Der Kreis, der entsteht, wenn man eine Kugel derart durch eine Fläche schneidet (intersects), dass der Mittelpunkt der Kugel in der Fläche liegt.

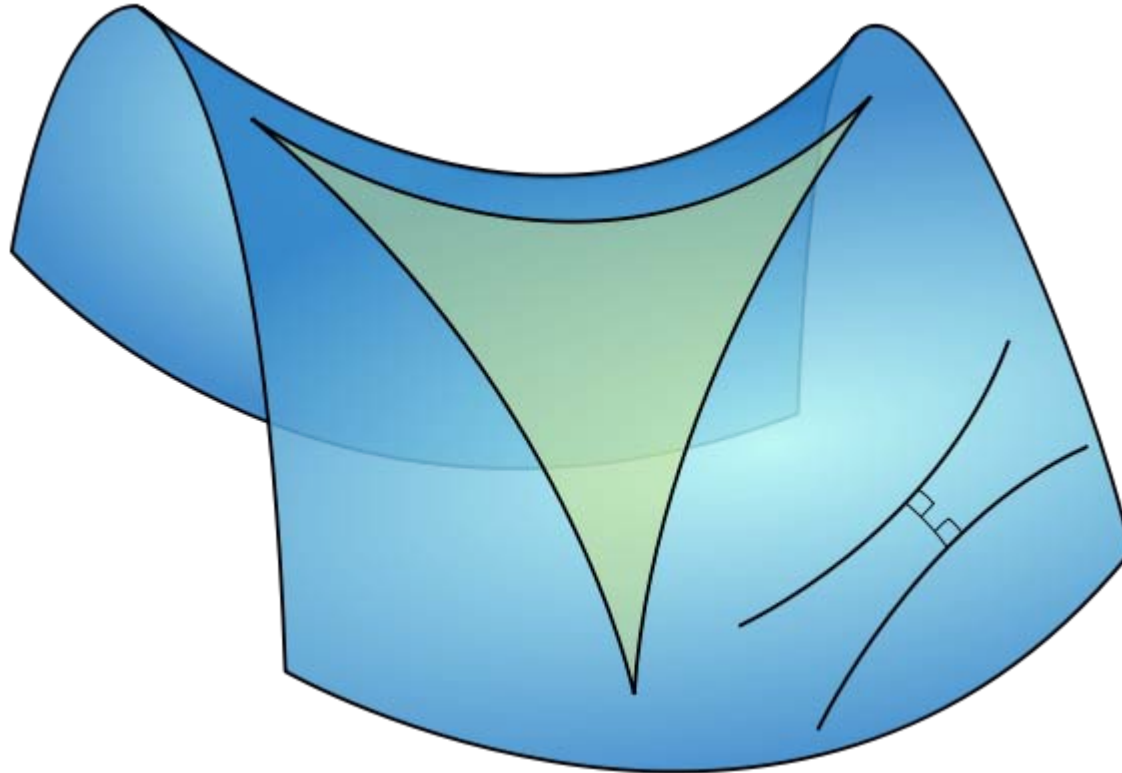


Keine parallelen Geraden ...



Bolyai-Lobachevsky ...

Sattelfläche konstanter Gaußscher Krümmung
(die sogenannten *Pseudosphäre*)



„Parallel“ heisst: keine Punkte gemeinsam haben.

Zentraler Punkt:

- Zuerst meinte man, diese verschiedenen Non-euklidischen Geometrien seien zwar *mathematisch* interessant, aber nicht *physikalisch*.



- Vgl. *Henri Poincaré (1854-1912) (1905):*

Kein Experiment wird uns jemals dazu veranlassen, die Euklidische Annahme (=EA) aufzugeben. Wir werden immer andere Annahmen ändern.

$$(EA \ \& \ h_1 \ \& \ h_2 \ \& \ h_3 \ \& \ a_1 \ \& \ a_2) \supset b$$
$$\sim b$$

$$\sim(EA \ \& \ h_1 \ \& \ h_2 \ \& \ h_3 \ \& \ a_1 \ \& \ a_2)$$

- ***Einsteins*** Allgemeine Relativitätstheorie zeigt, dass ***Poincaré*** ***unrecht hat.***

Einstein zeigt, dass der ***physikalische Raum der Riemannschen*** ***und nicht der Euklidischen Geometrie entspricht.***

(3) Schwache Unterdeterminiertheit (weak underdetermination)

Grundidee:

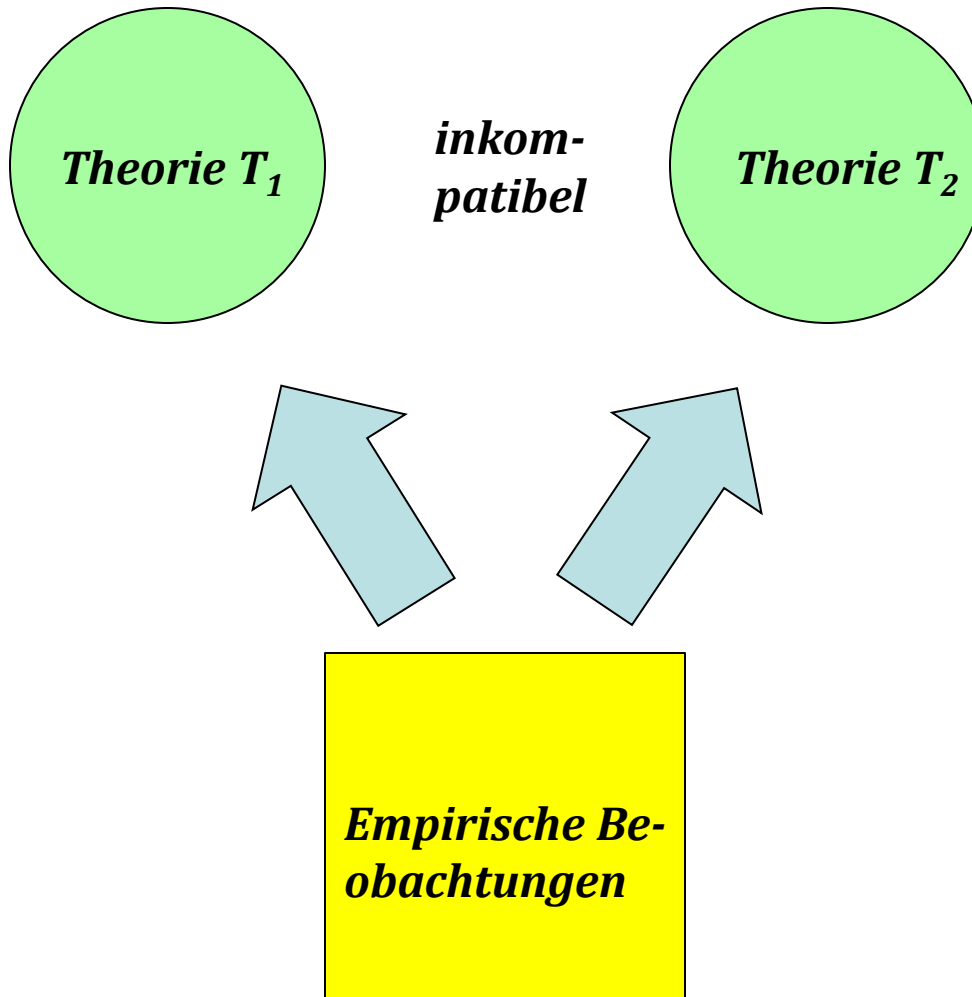
- (a) **Eine** Theorie T_1 ist bekannt, und die Gesamtheit des empirischen Beweismaterials ist mit T_1 vereinbar.

- (b) Es gibt **eine zweite** Theorie T_2 , die ebenso mit der Gesamtheit des Beweismaterials für T_1 vereinbar ist.

D.h. T_1 und T_2 sind **schwach empirisch äquivalent**: beide sind mit dem **verfügbaren** Beweismaterial vereinbar.

- (c) Wenn das **gesamte verfügbare** Beweismaterial für T_1 mit einer anderen Theorie T_2 vereinbar ist, dann gibt es keinen Grund, T_1 und nicht T_2 für wahr zu halten.

Ergo: es gibt keinen Grund T_1 und nicht T_2 für wahr zu halten.



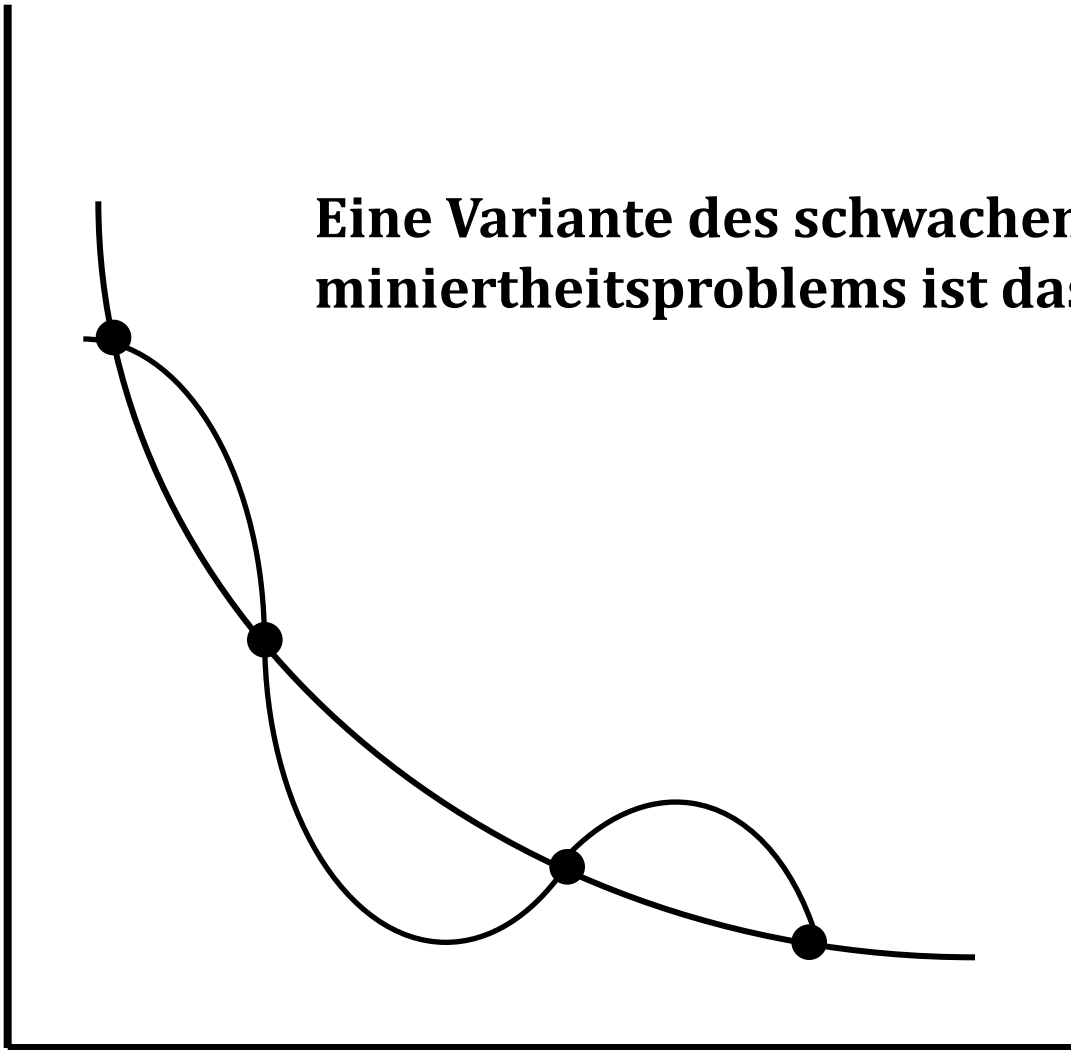
T₁ und T₂ postulieren verschiedene theoretische (nicht beobachtbare) Entitäten.

Schwache Unterbestimmtheit

Unklar, ***ob und wann*** es Situationen gegeben hat, in denen zwei Theorien in diesem Sinne empirisch äquivalent waren:

- die ***Ptolomäische und die Kopernikanische Astronomie*** zwischen 1540 und dem frühen 17. Jahrhundert
- die ***Newtonische und die Cartesische Physik*** vor der Mitte des 18. Jahrhunderts
- die ***Wellen und Partikel Optiken*** im 18. Jahrhundert
- ***Atomismus und Anti-Atomismus*** zwischen 1815 und 1880

Eine Variante des schwachen Unterbestimmtheitsproblems ist das „*curve fitting*“



Diese schwache Form der Underdeterminiertheit ist ein *alltägliches Problem* in der Wissenschaft. WissenschaftlerInnen suchen es zu lösen durch:

- neue *experimentelle Tests*
- neue *Daten*
- neue *Instrumente* ...

Drastischere Version der schwachen UB-These:

- (a) Für ***jede*** Theorie T_1 gibt es ***immer eine andere*** Theorie T_2 derart dass:

- (b) T_1 & T_2 sind ***schwach empirisch äquivalent***.

- (c) Wenn T_1 & T_2 schwach empirisch äquivalent sind, dann gibt es keinen Grund T_1 und nicht T_2 zu glauben.

Ergo: Es gibt keinen Grund T_1 und nicht T_2 zu glauben.

Mögliche Kritik:

- Die bloße Existenz einer alternativen Theorie, die mit dem bisherigen Beweismaterial vereinbar ist, ***schließt nicht aus, dass wir einen Grund haben, T_1 oder T_2 zu bevorzugen.***
- Z.B. ***T_2 mag ad hoc sein*** (Popper) und ***keine neuen Voraussagen*** beinhalten. (Evolutionstheorie vs. Kreationismus)

(4) Radikale („strong’) Unterbestimmtheit

Hier wird die zweite Prämisse im obigen Argument verstärkt:

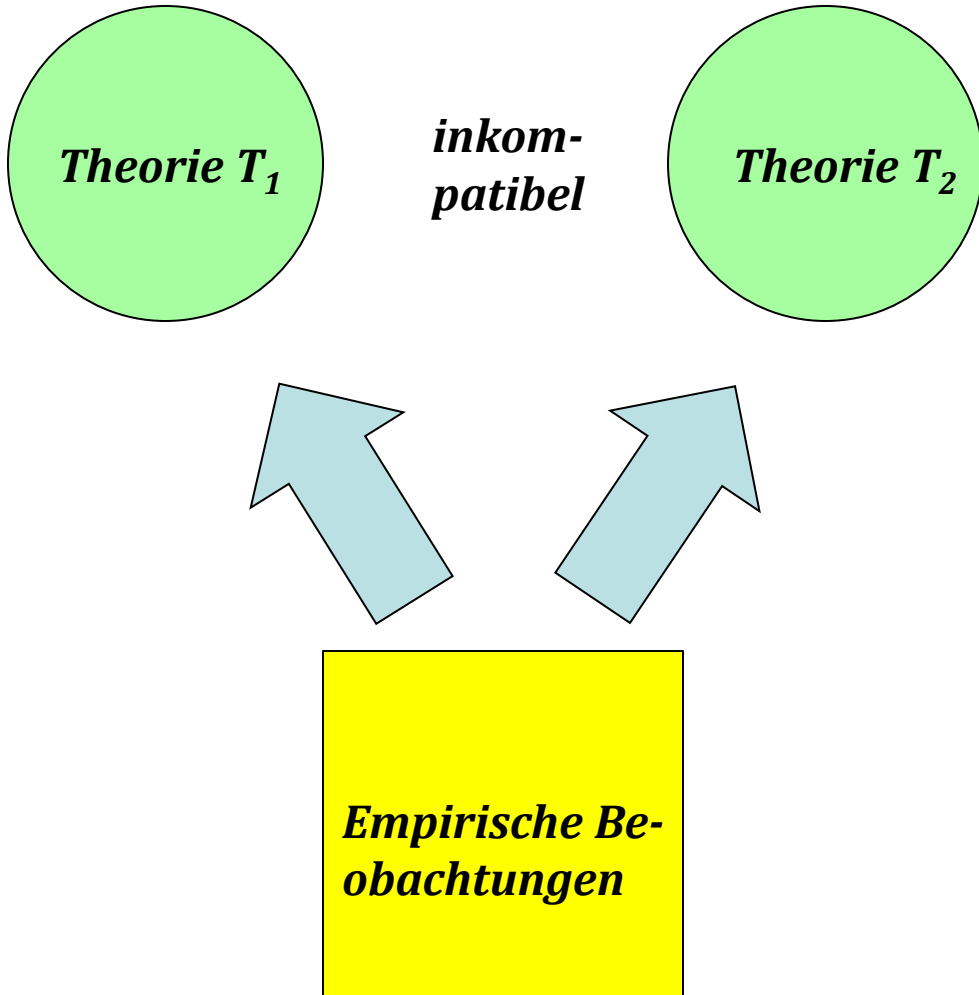
(b*) Es gibt ***eine zweite*** Theorie T_2 , die ***nicht nur mit der Gesamtheit des existierenden Beweismaterials*** für T_1 , sondern mit ***allen Vorhersagen*** von T_1 vereinbar ist.

- (a) **Eine** Theorie T_1 ist bekannt, und die Gesamtheit des Beweismaterials ist mit T_1 vereinbar.
- (b*) Es gibt **eine zweite** Theorie T_2 , die nicht nur mit der **Gesamtheit des existierenden Beweismaterials** für T_1 , sondern mit **allen Vorhersagen** von T_1 vereinbar ist.

D.h. T_1 und T_2 sind **radikal empirisch äquivalent**.

- (c) Wenn das gesamte verfügbare Beweismaterial für T_1 mit einer anderen Theorie T_2 vereinbar ist, dann gibt es keinen Grund, T_1 und nicht T_2 für wahr zu halten.

Ergo: es gibt keinen Grund T_1 und nicht T_2 für wahr zu halten.

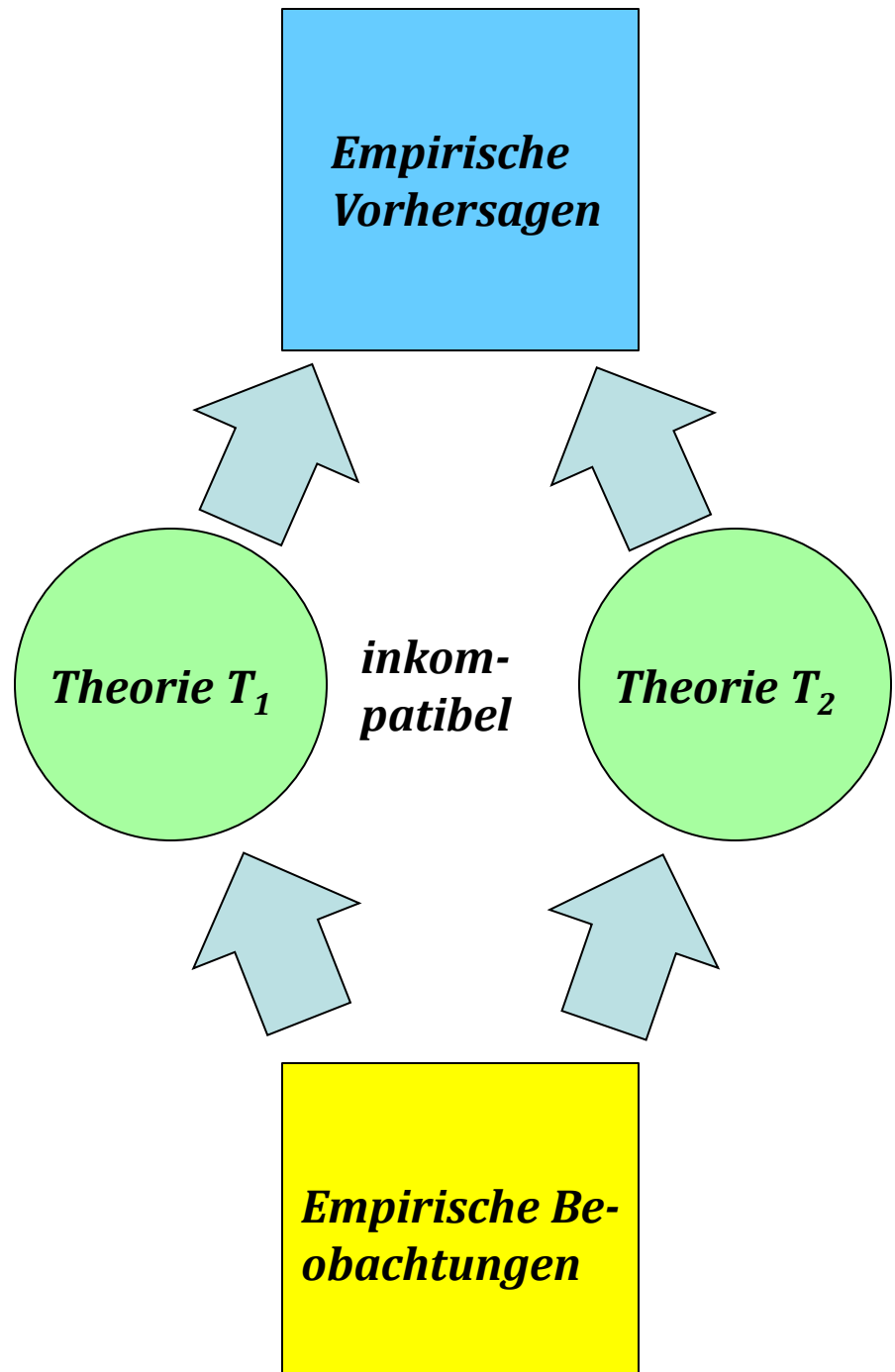


T₁ und T₂ postulieren verschiedene theoretische (nicht beobachtbare) Entitäten.

Schwache Unterbestimmtheit

***Radikale („strong“)
Unterbestimmtheit***

*T₁ und T₂ postulieren
verschiedene theoreti-
sche (nicht beobacht-
bare) Entitäten.*



- ***Radikale Unterbestimmtheit*** spielt in skeptischen Argumenten eine wichtige Rolle.
- Z.B. im ***Skeptizismus von Descartes***: Wenn wir jetzt träumen (= **T_2**) dann sind unsere Erfahrungen genau dieselben als wenn wir jetzt wach sind (= **T_1**).

Wenn ich weiß, dass ich jetzt Studierende vor mir habe,
dann weiß ich auch, dass ich jetzt nicht träume.

Ich weiß aber nicht, dass ich jetzt nicht träume.



Ich weiß nicht, dass ich jetzt Studierende vor mir habe.

- Viele philosophischen Argumente drehen sich dann darum, ***ob ich wirklich wissen muss***, dass ich nicht träume, um zu wissen, dass ich z.B. jetzt unterrichte.
- D.h. viele Philosophen meinen, dass ***nur relevante Alternativen ausgeschlossen werden müssen***, und dass die Traumhypothese keine relevante Alternative ist.
- ***Sind radikale Unterbestimmtheitsargumente relevant*** um zu entscheiden, ob die Wissenschaft der Wahrheit näher kommt?

Das Argument für radikale Unterbestimmtheit:

- (i) ***Für jede*** Theorie gibt es ***eine Unzahl*** von ***radikal-empirisch-äquivalenten, inkompatiblen*** rivalisierenden Theorien.

- (ii) Sind zwei Theorien ***radikal empirisch äquivalent***, dann sind sie auch ***hinsichtlich ihrer Rechtfertigung äquivalent***.

- (iii) Es gibt keinerlei Form der Rechtfertigung, die eine Theorie vor ihren radikal-empirisch-äquivalenten Rivalen auszeichnet; ***die Theoriwahl ist daher radikal unterbestimmt***.

(5) Antworten auf das radikale Unterbestimmtheitsargument

(5.1) Die angebliche Inkohärenz der radikalen empirischen Äquivalenzthese – gegen (i).

(a) Um sinnvoll von empirischer Äquivalenz sprechen zu können, muss es möglich sein, die **beobachtbaren Konsequenzen einer Theorie** zu identifizieren. Aber es gibt **keine nicht-willkürliche Unterscheidung** zwischen beobachtbar und nicht-beobachtbar:

z.B.: Ein **Baum** ist beobachtbar.

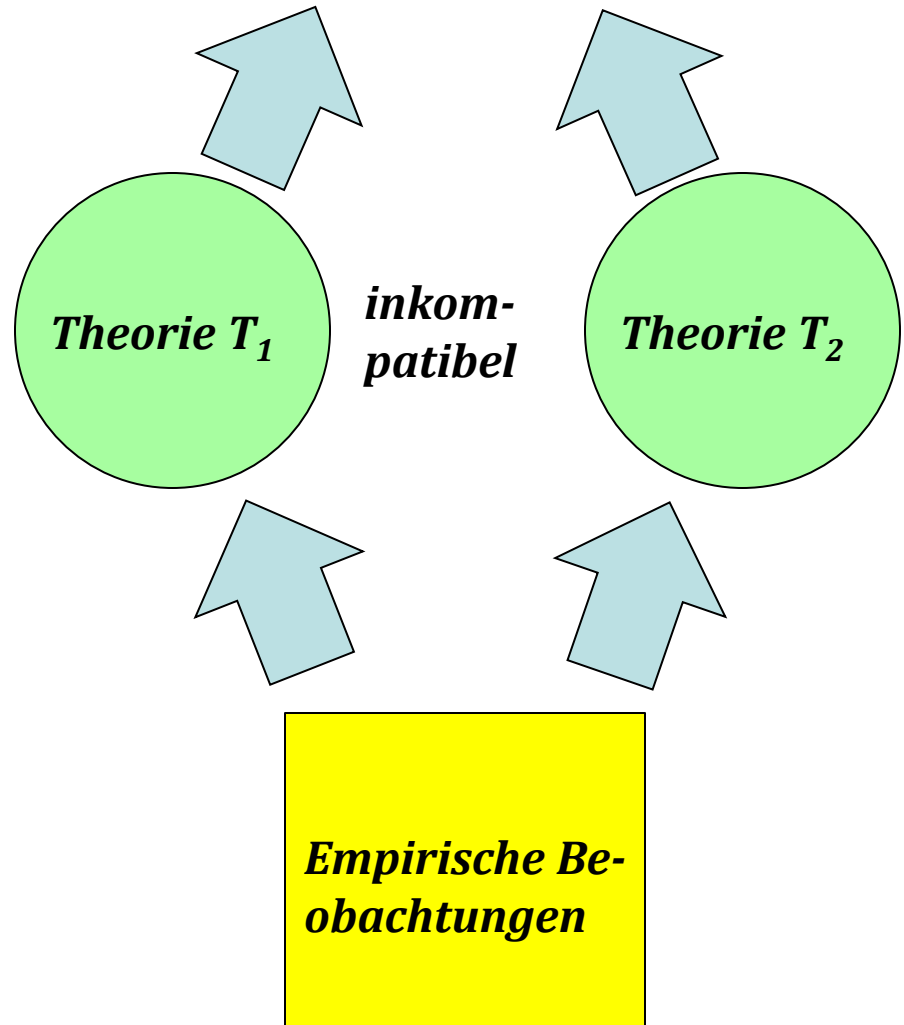
Ein **Elektron** ist nicht beobachtbar.

Aber wie steht es z.B. mit Dingen (**Amöben**) die nur durch Mikroskope wahrgenommen werden können?

**Empirische
Vorhersagen ...
Beobachtbare
Konsequenzen**

**Radikale („strong“)
Unterbestimmtheit**

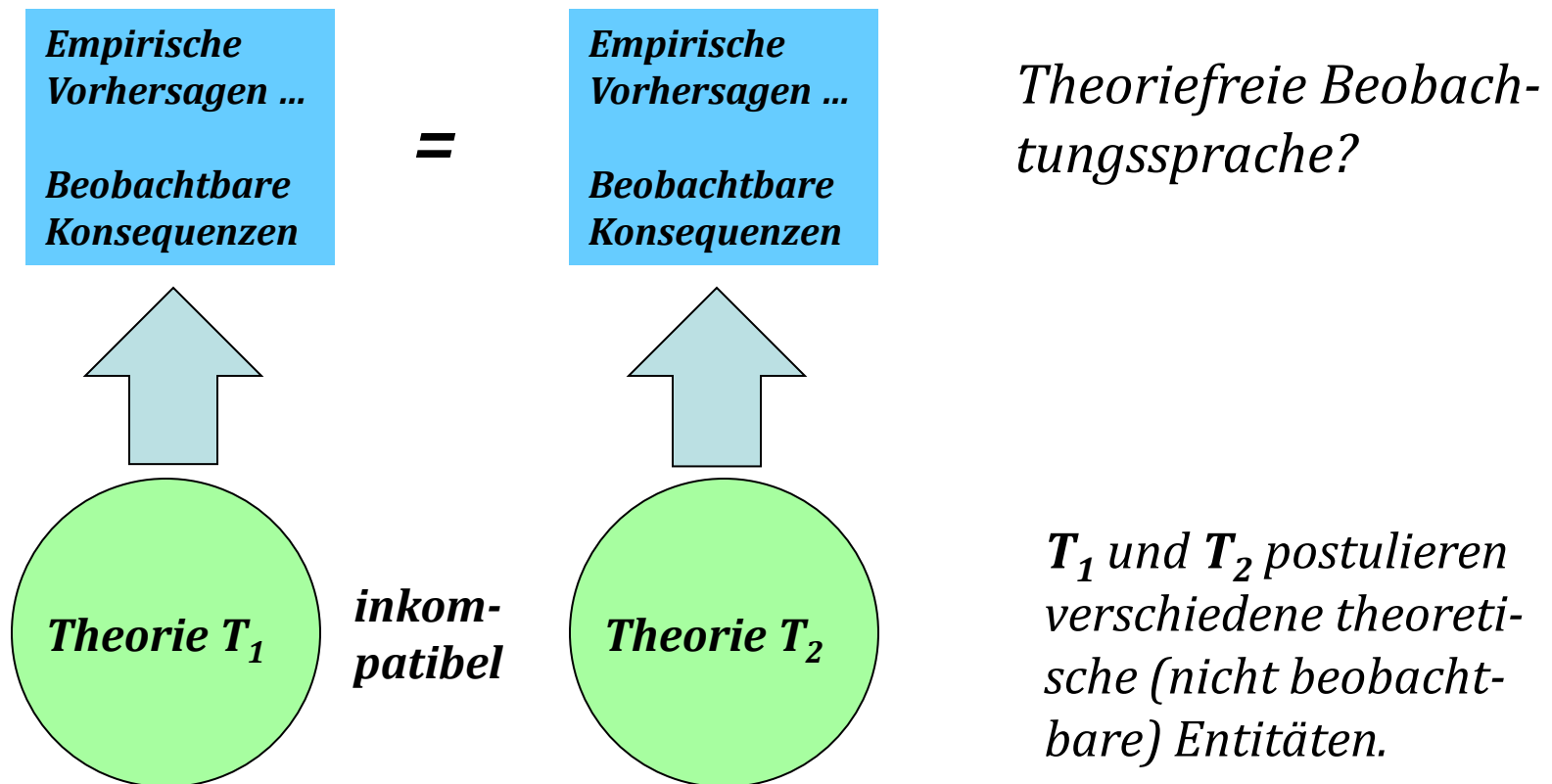
*T₁ und T₂ postulieren
verschiedene theoreti-
sche (nicht beobacht-
bare) Entitäten.*



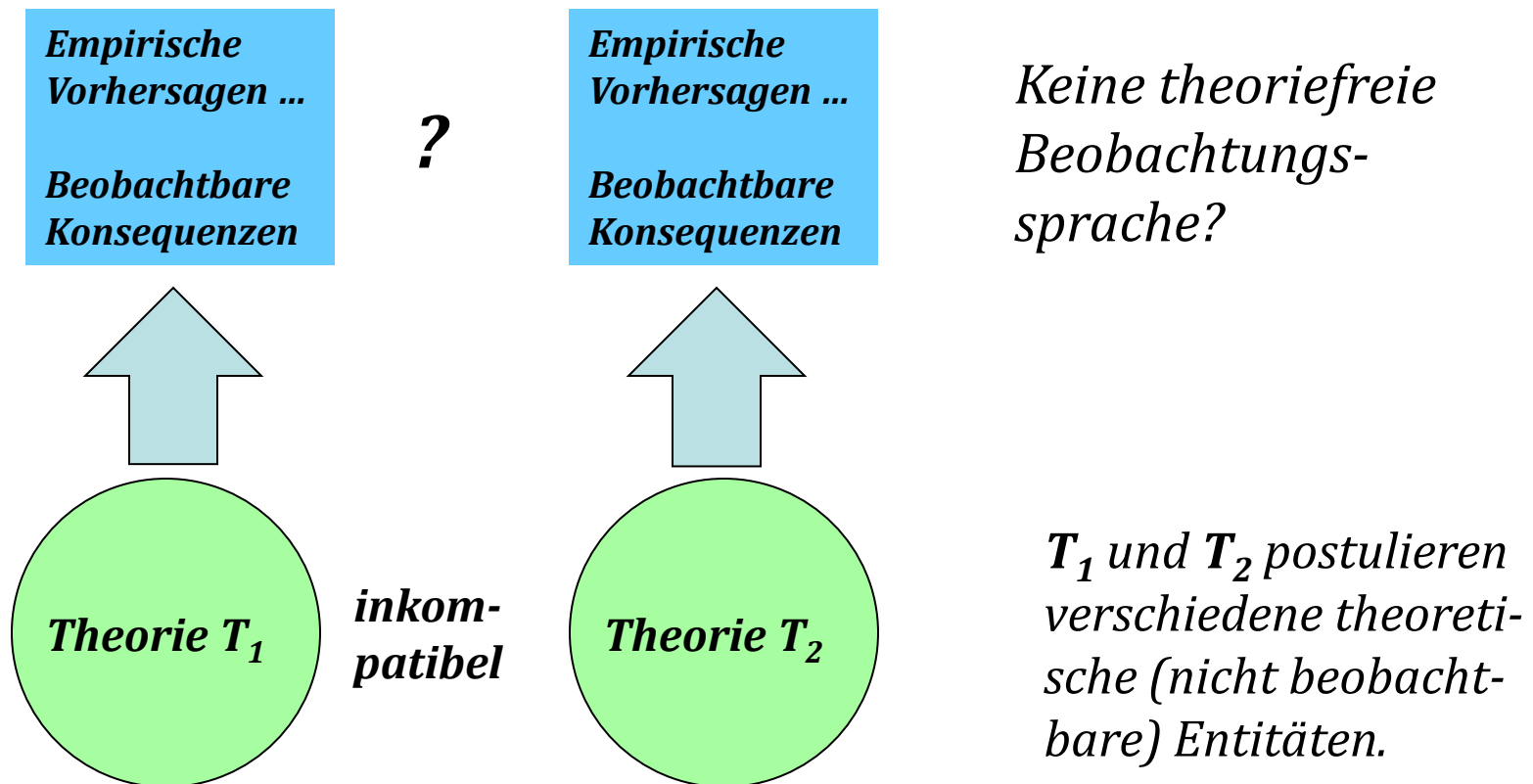
Mögliche Antworten:

Auch wenn die Unterscheidung ***nicht scharf*** ist, so ist sie dennoch ***nicht schon willkürlich***. Elektronen und Quarks sind nicht direkt beobachtbar, Flüsse sind es.

- (b) Um zu sagen, dass zwei inkompatible Theorien die **gleichen Beobachtungskonsequenzen** haben, müssen sich diese Beobachtungen in einer **theoriefreien Beobachtungssprache** formulieren lassen. Aber diese Annahme ist problematisch.



- (b) Um zu sagen, dass zwei inkompatible Theorien die **gleichen Beobachtungskonsequenzen** haben, müssen sich diese Beobachtungen in einer **theoriefreien Beobachtungssprache** formulieren lassen. Aber diese Annahme ist problematisch.

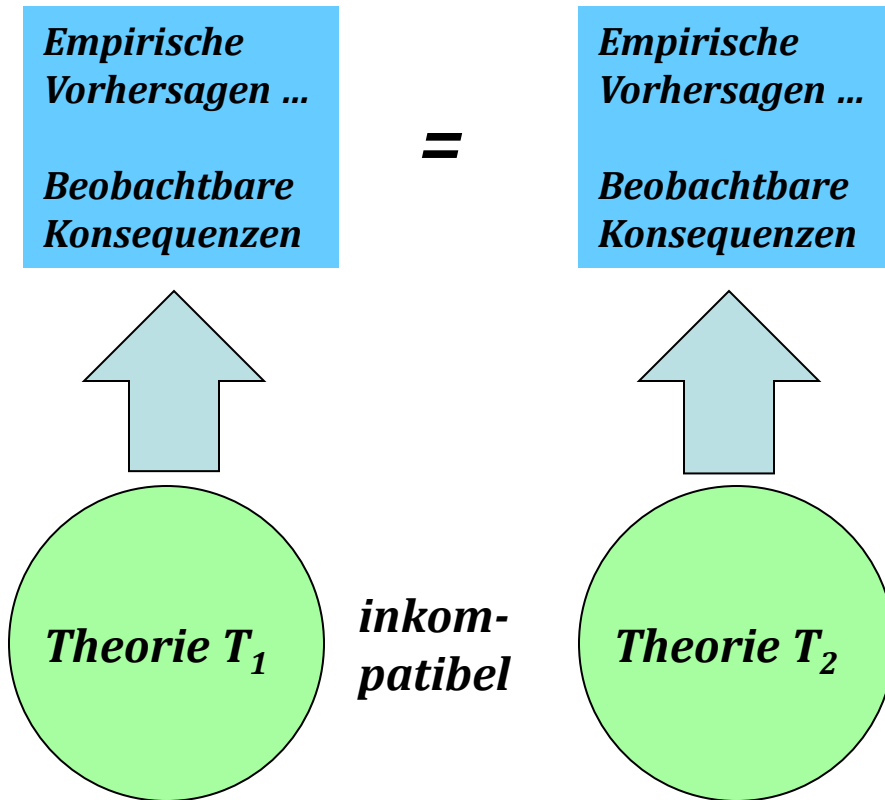


Mögliche Antwort:

Wir können die Unterscheidung präzise machen wenn wir von einer bestimmten Theorie sprechen.

Wir können dann z.B. unter den ***Beobachtungstermini*** einer Theorie diejenigen Termini verstehen, die von der bestimmten Theorie unabhängig sind (obwohl sie auch theoretisch sind).

Z.B. ***Temperatur*** und ***Geschwindigkeit*** sind unabhängig von der elektromagnetischen Theorie (aber nicht Termini wie ***Ladungsdichte*** oder ***Potential***).



*Relativ theoriefreie
Beobachtungsspra-
che ...*

*T_1 und T_2 postulieren
verschiedene theoreti-
sche (nicht beobacht-
bare) Entitäten.*

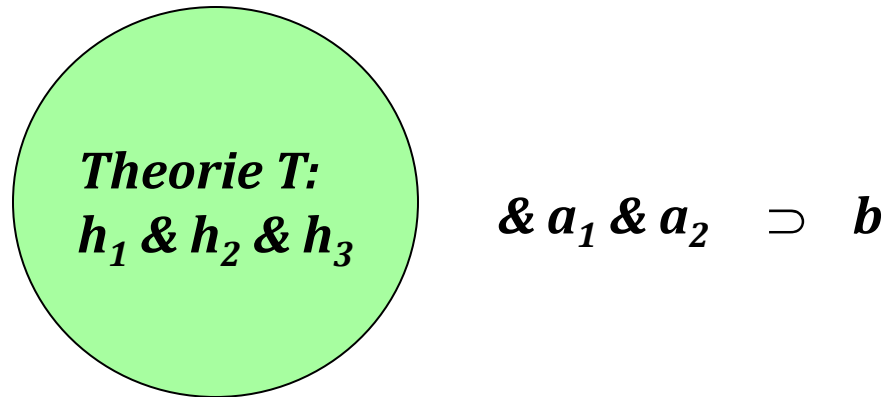
- (c) Die Unterscheidung beobachtbar/unbeobachtbar ändert sich mit der Zeit, und daher sind die empirischen Konsequenzen einer Theorie *relativ auf einen bestimmten Zeitpunkt*.

Antworten:

(i) Nun gut, dann relativieren wir es eben. Aber das Phänomen der Unterbestimmtheit besteht auch dann noch.

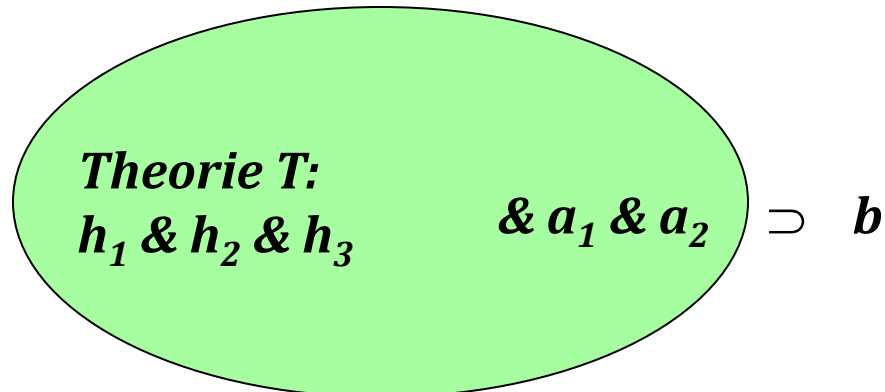
(ii) Und was wäre, wenn wir eine „*totale Theorie*“ hätten, die sich nicht mehr verändert?

- (d) Theorien haben empirische Konsequenzen nur relativ auf ***Hilfsannahmen und Hintergrundannahmen***. Und daher ist der Begriff der empirischen Konsequenzen einer Theorie inkohärent.



Mögliche Antwort

Wir können wieder von *totalen Theorien* sprechen, die keine Hilfsannahmen außerhalb ihrer selbst benötigen.



- Der interessante Fall betrifft also die Frage, ob es *Beispiele von totalen Theorien* gibt, die wichtige empirisch äquivalente Theorien haben.

(5.2.) Die angebliche Falschheit der radikalen empirischen Äquivalenz-These (i)

(i) **Für jede** Theorie gibt es **eine Unzahl** von radikal-empirisch-äquivalenten, inkompatiblen rivalisierenden Theorien.

(a) Fälle radikaler empirischer Äquivalenz sind **außerordentlich selten**;

(b) die einzig möglichen, radikal empirisch äquivalenten, Rivalen sind **gar keine richtige Theorien**.

Damit die These (i) Biss hat, darf sie nicht nur für spezielle Fälle gültig sein, sondern muss allgemein sein.

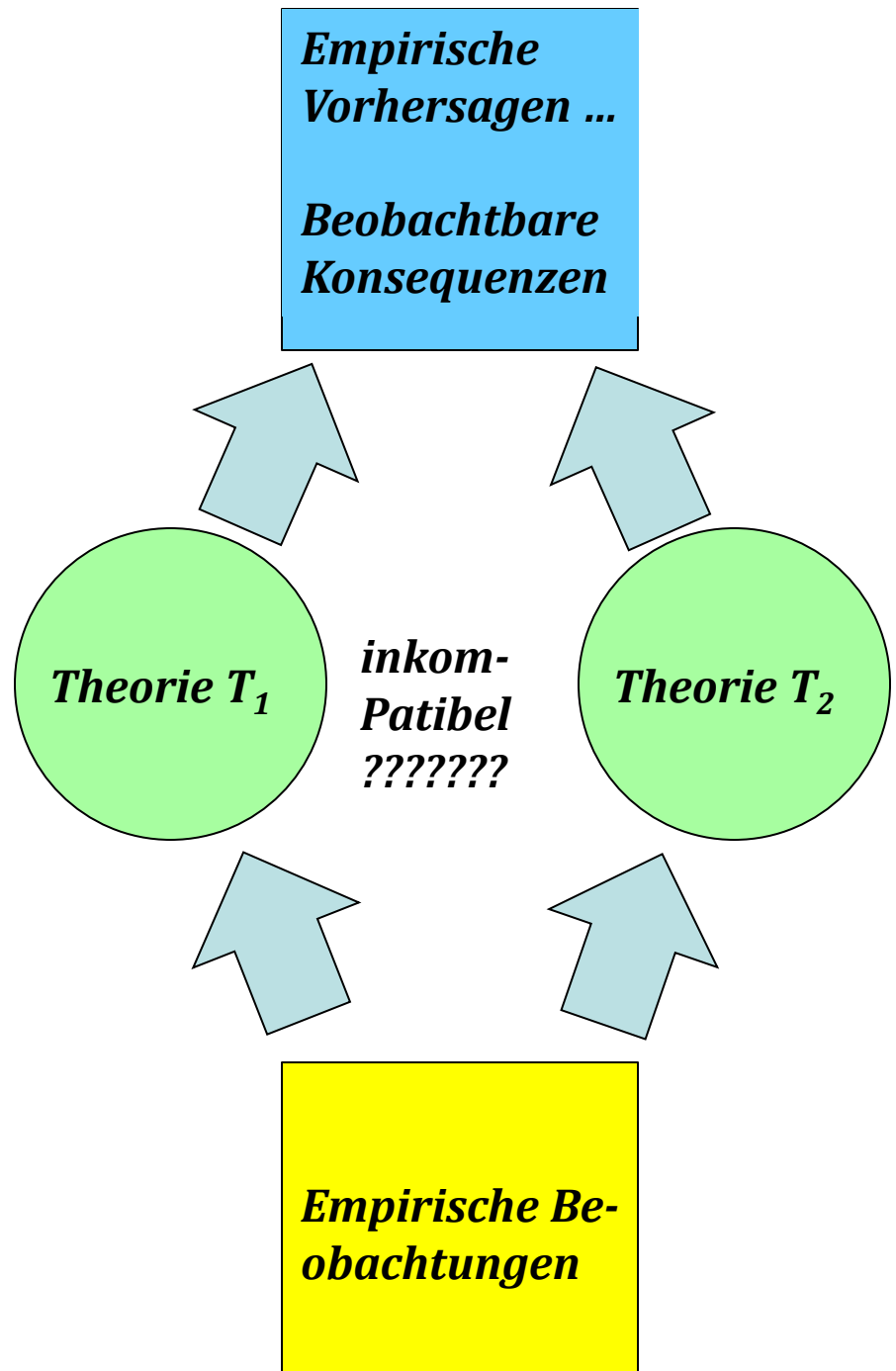
Wie konstruieren wir die relevanten Rivalen:

Vorschlag I: Indem wir eine Hypothese/Annahme zu T hinzufügen, die empirisch nichts aussagt:

Vgl. (a) Newtons Mechanik, und
(b) Newtons Mechanik & „Gott existiert“.

Aber dies generiert keine Theorie, die mit Newtons Mechanik unvereinbar wäre.

*Radikale („strong“)
Unterbestimmtheit*



Vorschlag II:

Gegeben sei T_1 .

T_2 ist die Theorie, dass die empirischen Voraussagen von T_1 alle wahr sind, dass aber ***die theoretischen Entitäten***, die T_1 annimmt, ***nicht existieren***.

T_1 und T_2 sind unvereinbar, aber sie haben per Definition die gleichen empirischen Konsequenzen.

Vorschlag III:

Gegeben sei T_1 .

T_2 sagt, dass T_1 gilt wann immer irgend jemand etwas beobachtet, aber dass eine andere Theorie, T_3 gilt, die inkompatibel mit T_1 ist, sobald niemand etwas beobachtet.

Sind das nur „billige Tricks“?

- Meist wird das so behauptet (*Laudan* et al.)
- Natürlich sind diese Theorien *irgendwie künstlich*, aber es ist ja nicht offensichtlich, was genau die Kriterien einer „richtigen“, d.h. nicht-künstlichen, Theorie sein sollen.
- Sind dies wirklich *relevante Alternativen*?
- *WissenschaftlerInnen* halten sie nicht für relevant!
- Aber *muss das entscheidend sein*?

(5.3.) Empirische Äquivalenz impliziert keine Äquivalenz der Rechtfertigung -- (ii) ist falsch

(ii) Sind zwei Theorien ***radikal empirisch äquivalent***, dann sind sie auch ***hinsichtlich ihrer Rechtfertigung äquivalent***.

- Zwei Theorien können *die gleichen Phänomene vorher-sagen*, aber dennoch verschieden gut gerechtfertigt sein.
- Zwei Theorien können *gleich gut mit allen empirischen Beobachtungen übereinstimmen* und doch verschieden gut gerechtfertigt sein.
- „*Überempirische Tugenden*“ von Theorien: Einfachheit, Nicht-ad-hoc-zu-sein, die Fähigkeit zu neuen Vorhersagen, Eleganz, die Fähigkeit zu erklären.

- Es ist *erwiesen*, dass Wissenschaftler nicht nur auf der Grundlage von empirischen Gründen entscheiden.
- Aber ein *Problem* hier: es gibt keine klaren Kriterien dazu, wie diese verschiedenen *Tugenden in eine Reihenfolge* zu bringen sind. Und natürlich müssen die verschiedenen Tugenden *nicht alle in die gleiche Richtung* weisen.
- Ferner: diese Tugenden sind *nicht epistemisch* (sie geben uns keinen Grund, etwas für wahr zu halten), sondern sie sind eher pragmatisch, praktisch orientiert.

(5.4) Theorien-Wahl ist unterdeterminiert: (iii) ist wahr

- (iii) Es gibt keinerlei Form der Rechtfertigung, die eine Theorie vor ihren radikal-empirisch-äquivalenten Rivalen auszeichnet; ***die Theoriwahl ist daher radikal unterbestimmt.***