

# Wissenschaftstheorie

## Vierte Vorlesung (4/9)

Theorien als Strukturen / Modelle.  
Das D-N-Modell der Erklärung

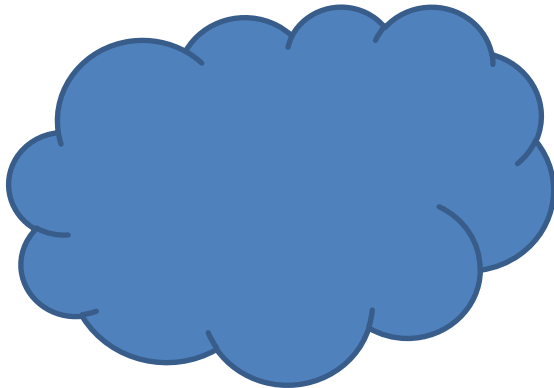
Christian Damböck  
Institut Wiener Kreis

<http://homepage.univie.ac.at/christian.damboeck/vo14/index.html>

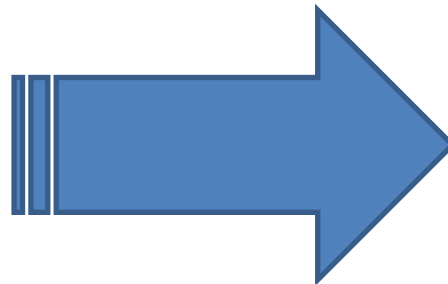
# Theorien als Strukturen / Modelle

# Das Problem

Elektronen, Quarks,  
Impulse und andere theoretische  
Entitäten im Nicht-Beobachtbaren  
Bereich der Quantenphysik



**Sätze der theoretischen  
Quantenphysik**



**???**

**Gesucht ist eine Reduktion  
dieser Sätze einer rein  
theoretischen Sprache auf  
die Sätze einer  
Beobachtungssprache.  
Beispiel: Vorgänge im  
Teilchenbeschleuniger,  
Spuren am Bildschirm,  
sonstige Beobachtungen  
der Experimentatoren**

**→ Wir diskutieren drei  
Lösungsvorschläge:**

# Lösung 3: Die Semantische Theorienauffassung

- Eine elegante Alternative zum Zwei-Sprachen-Modell wurde seit den 1950er-Jahren durch Patrick Suppes, Joseph Sneed, Wolfgang Stegmüller, Bas van Fraassen und andere entwickelt
- Die Idee ist, Theorien überhaupt nicht mehr als Mengen von Sätzen aufzufassen, sondern als Mengen (bzw. Klassen) von „Strukturen“

# Was ist eine Struktur?

- Wir führen alle Objekte, über die wir in der Theorie reden möchten, in der Gestalt von *Mengen* ein, also anhand der Objektdomänen  $D_1, \dots, D_m$  (Beispiele: Raumzeitpunkte, Elektronen, Zeitpunkte, Raumpunkte)
- Eine *Struktur* ist dann eine Kollektion folgender Dinge:
  1. Konkrete Mengen, die die Domänen  $D_1, \dots, D_m$  instanziiieren
  2. Eine Menge von Prädikaten über diesen Domänen
  3. Eine Menge von Funktionen über diesen Domänen
  4. Die konkrete Zuordnung aller einschlägigen Sprachbestandteile unserer Logik (Individuenkonstanten, Prädikatenkonstanten, Funktionenkonstanten) zu einschlägigen Bestandteilen der Struktur (Objekten aus Domänen, Prädikate, Funktionen)

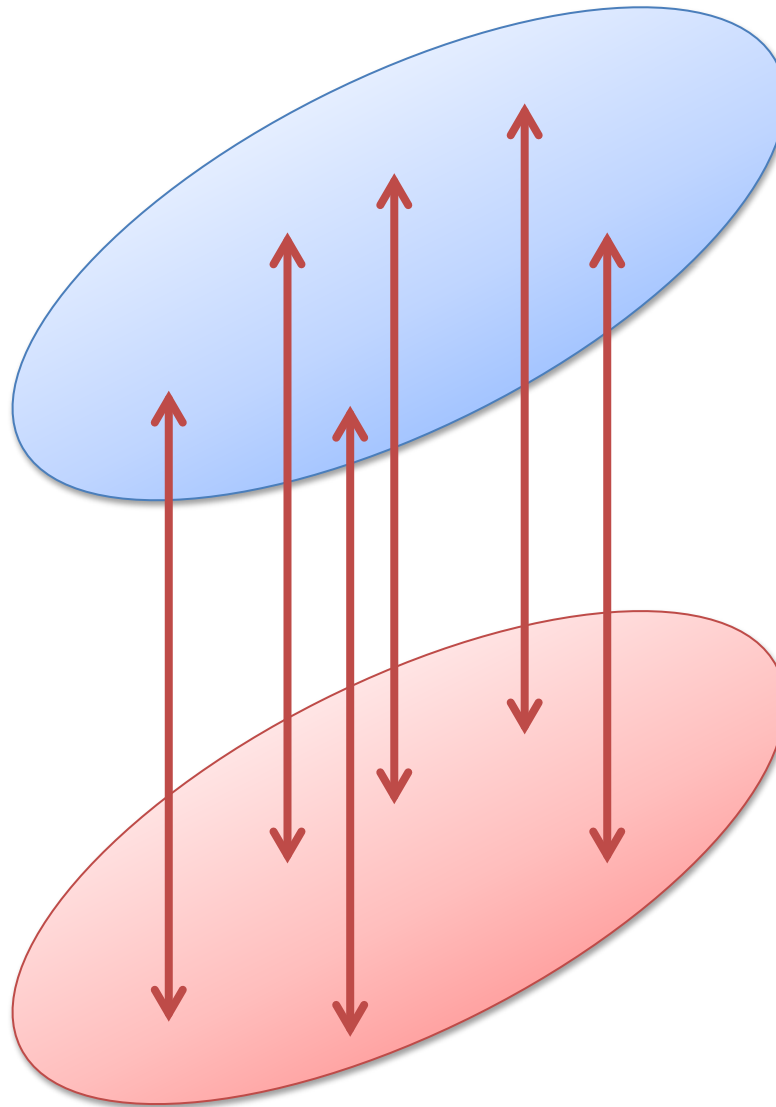
Eine Struktur leistet also zwei Dinge:

Erstens **gibt sie eine bestimmte Wirklichkeit an**, in der Gestalt von Objektmengen und Beziehungen zwischen den Objekten dieser Objektmengen

Zweitens **bindet sie diese Wirklichkeit an die Bestandteile unserer Sprache**

- Das ermöglicht uns eine saubere Trennung zwischen Sprache und Wirklichkeit, in einer Weise wie dies in der früher üblichen syntaktischen Redeweise nicht möglich ist
- Strukturen sind somit in erster Linie eine Erweiterung unseres logischen Vokabulars, mit dem Ziel, Missverständnisse und Unklarheiten zu vermeiden und eine intuitivere Ausdrucksweise wählen zu können
- Die mathematische Disziplin, in der es um Strukturen geht, nennt sich (etwas missverständlich) Modelltheorie

Struktur



**Formale Sprache** mit bestimmten *nichtlogischen Konstanten* (Prädikatenk., Individuenk.)

Zuordnungen von Objekten in Domänen, Prädikaten, Funktionen zu nichtlogischen Konstanten der Sprache

Repräsentation einer Wirklichkeit in der Gestalt von Mengen (Domänen) sowie Relationen und Funktionen über diesen Mengen

# Modelltheorie:

## Beziehungen zwischen Strukturen

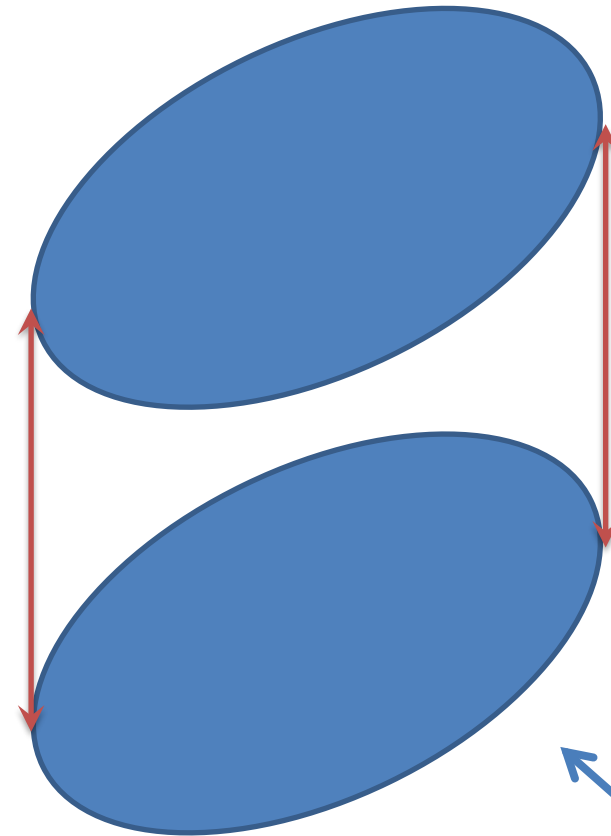
- Die Modelltheorie beschreibt vorwiegend mathematische Beziehungen zwischen Strukturen, wobei für uns folgende Begriffe wichtig sind:
- **Unterstruktur:** Sind  $S$  und  $S'$  Strukturen und enthält  $S'$  nur Domänen, die *Teilmengen* der entsprechenden Domänen in  $S$  sind plus alle in  $S$  enthaltenen Relationen und Funktionen, die sich über diesen Teilmengen konstruieren lassen, so ist  $S'$  eine *Unterstruktur* von  $S$ , schreib  $S' \subseteq S$   
(Der Begriff der „Teilmenge“ wird hier einfach auf das komplexere Konstrukt der Struktur umgelegt.)



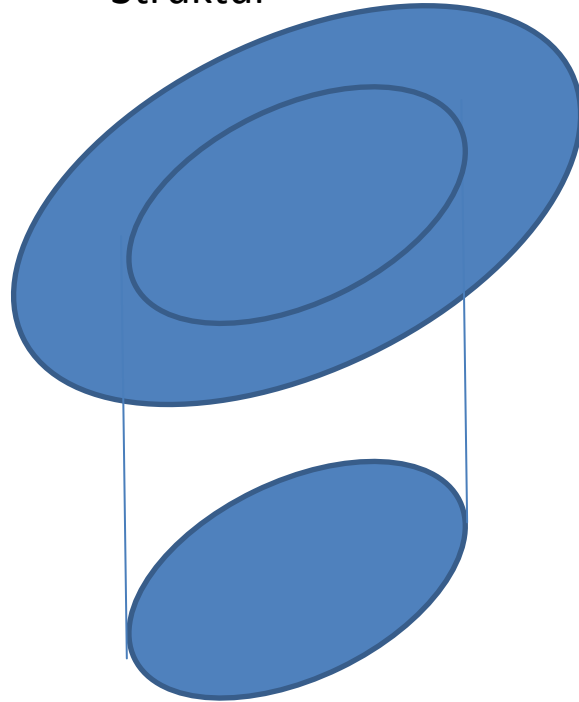
- **Isomorphie:** Sind  $S$  und  $S'$  Strukturen dann nennen wir sie *isomorph*, schreib  $S \approx S'$  wenn folgendes gilt:
  1. Jede Domäne in  $S$  ist gleichmächtig zu der entsprechenden Domäne in  $S'$  (gleiche Kardinalität, gleich viele Elemente)
  2. Es gibt eine Funktion  $f$ , die die Domänen von  $S$  und  $S'$  eineindeutig aufeinander abbildet, sodass es für jede Relation und jede Funktion der einen Struktur eine entsprechende Relation bzw. Funktion in der anderen Struktur gibt, die aus genau den durch  $f$  zugeordneten Domänenbestandteilen besteht.
- Isomorphie bedeutet nichts anderes als Kongruenz, strukturelle Deckungsgleichheit.
- Das heißt, isomorphe Strukturen können zwar (aber müssen nicht) hinsichtlich der in ihnen enthaltenen Domänenbestandteile *verschieden* sein, sie repräsentieren aber, davon abgesehen, die exakt gleiche Struktur.
- Isomorphie identifiziert strukturell ununterscheidbare Welten

## isomorphe Strukturen

bijektive  
Abbildung



Struktur



Unterstruktur

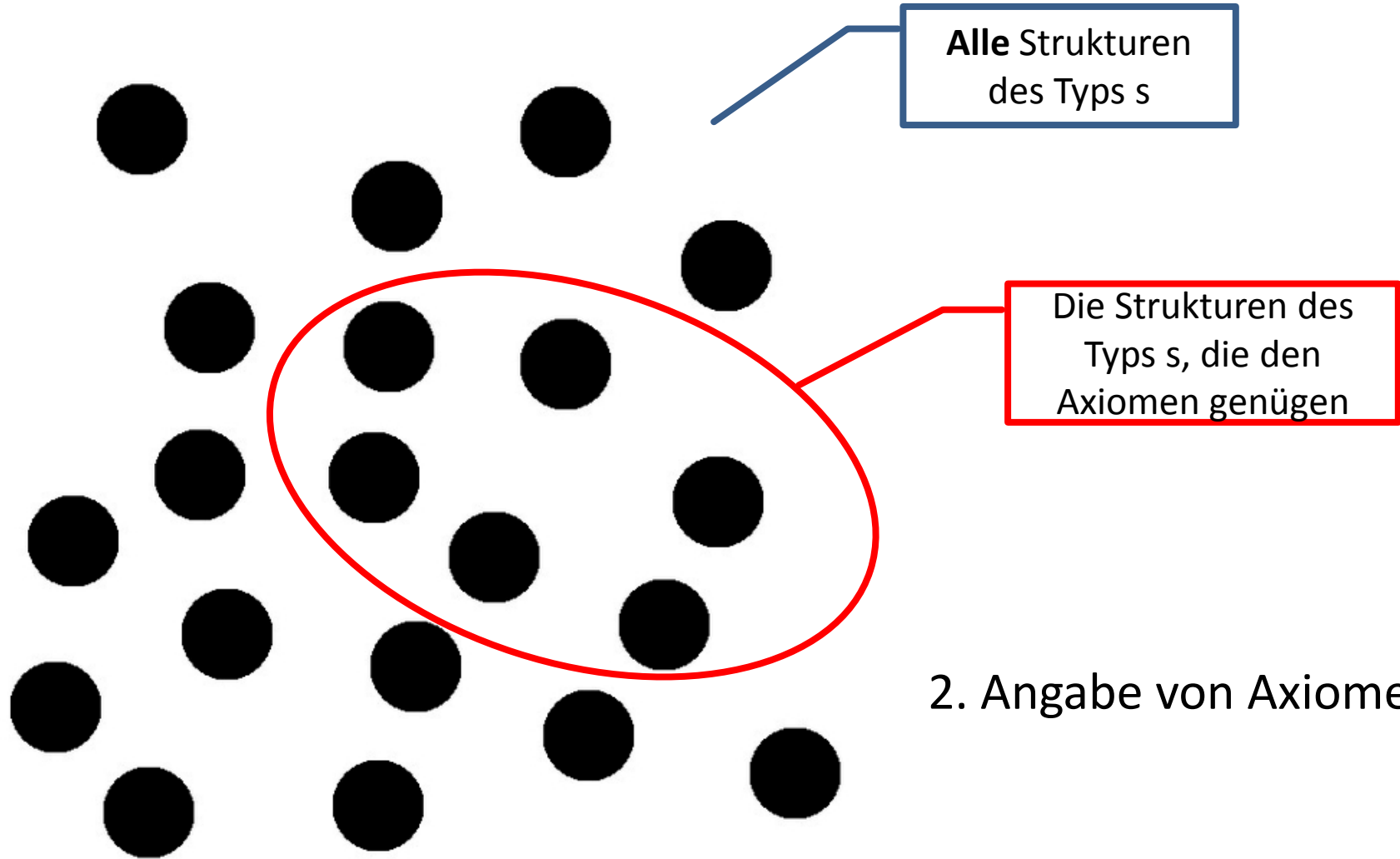
Basiert auf Teilmengen der  
Oberstruktur

Basiert u.U. auf komplett anderen Mengen  
als die isomorphe Struktur

# Theoretische und empirische Bestandteile in Theorien

- Wie im klassischen (syntaktischen) Fall werden Theorien **anhand von Axiomen** charakterisiert
- Jedoch gibt man zu den Axiomen auch **den Typ von Struktur an**, von dem die Rede sein soll (welche Domänen, welche Funktionen und Relationen)
- Die Theorie ist dann definiert als **Menge (bzw. Klasse) aller Strukturen dieses Strukturtyps**, die die Axiome erfüllen: diese Strukturen nennt man auch *die Modelle der Theorie*
- Metaphorisch könnte man sagen, dass die Theorie eine Menge von „möglichen Welten“ beschreibt, in denen alle Axiome der Theorie gelten

# 1. Festsetzung eines Strukturtyps $s$



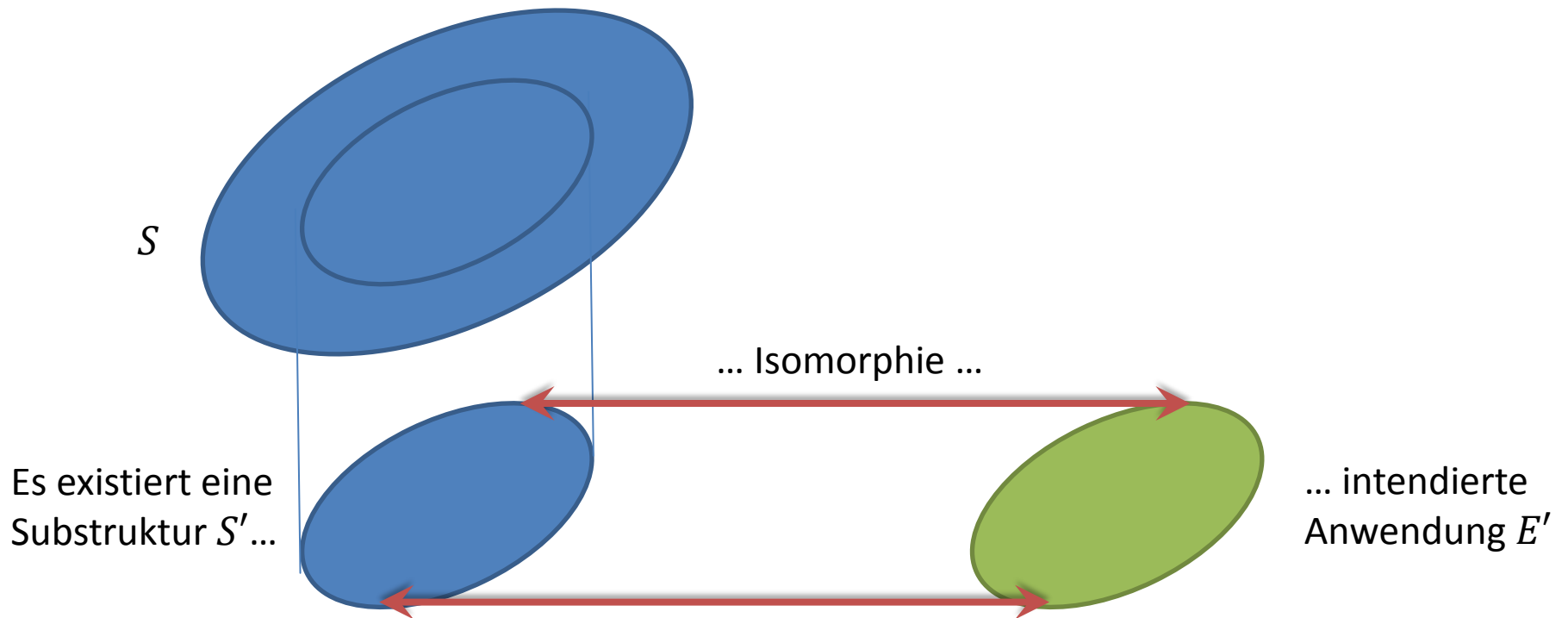
## 2. Angabe von Axiomen

# Erstes Anwendungsbeispiel: Empirische Adäquatheit

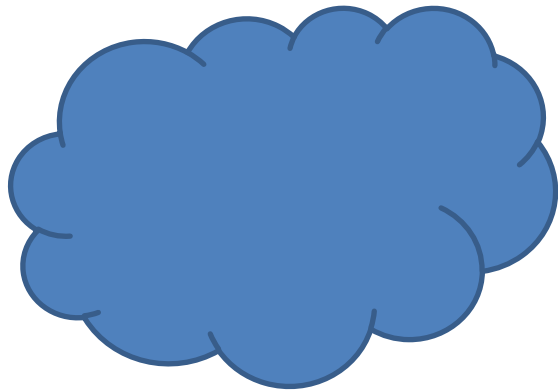
- Darüber hinaus nimmt man nun an (dies ist van Fraassens Ansatz, Sneed-Stegmüller funktioniert etwas anders, ist inhaltlich aber vergleichbar), dass **die empirische Wirklichkeit** in der Gestalt einer bestimmten Struktur  $E$  vorliegt, die alle möglichen Messdaten zu allen Zeiten und an allen Orten enthält.
- Eine Theorie adressiert dann immer eine bestimmte Substruktur  $E' \subseteq E$  (die Theorie beschreibt nur einen Teil der Wirklichkeit), ihre **intendierte Anwendung**
- Die Theorie ist **empirisch adäquat**, wenn jedes ihrer Modelle  $S$  eine Substruktur  $S' \subseteq S$  besitzt, die zu  $E'$  isomorph ist

# Empirisch adäquat

Für **jedes** Modell  $S$  der Theorie gilt:



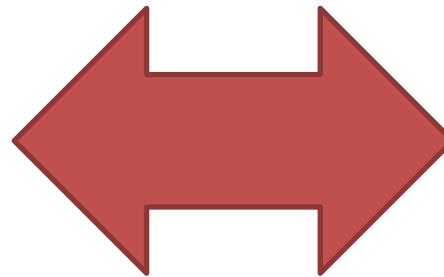
Elektronen, Quarks,  
Impulse und andere theoretische  
Entitäten im Nicht-Beobachtbaren  
Bereich der Quantenphysik



**Sätze der theoretischen  
Quantenphysik  
plus Strukturtyp  
liefern die Modelle der  
Theorie**

**Die Reduktion  
erfolgt mittels  
Herstellung von  
Isomorphiebeziehungen  
zwischen Theorie und  
intendierter Anwendung**

**ISOMORPHIE**



Vorgänge im  
Teilchenbeschleuniger,  
Spuren am Bildschirm,  
Beobachtungen



**Sätze der physikalischen  
Experimentatoren  
sind in der intendierten  
Anwendung  $E'$   
repräsentiert**

# Zweites Anwendungsbeispiel: Empirische Äquivalenz

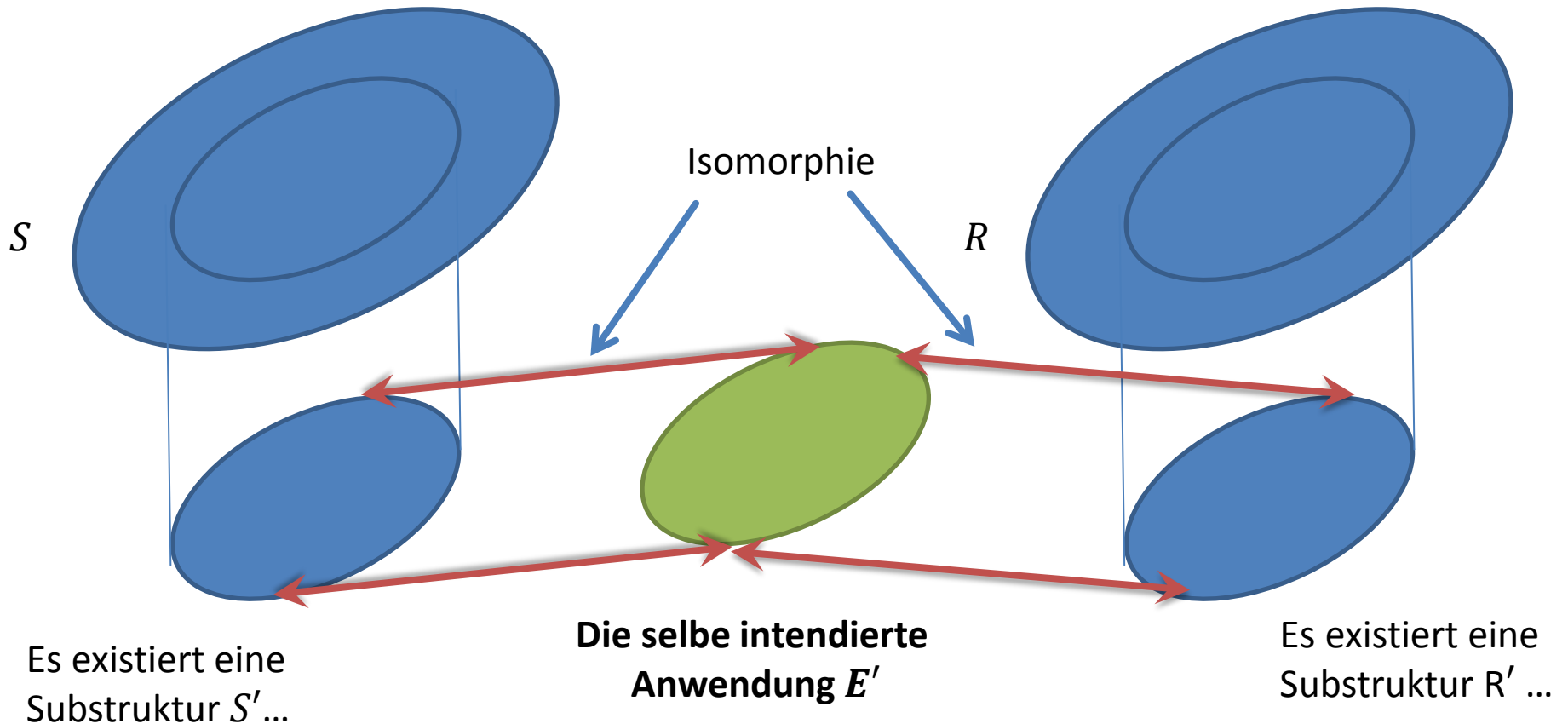
- Ein weiterer wichtiger Begriff, der sich auf dieser Grundlage sehr elegant definieren lässt, ist der der empirischen Äquivalenz:
- Zwei Theorien sind empirisch äquivalent, wenn sie die selbe intendierte Anwendung empirisch adäquat beschreiben
- Das heißt: empirisch äquivalente Theorien geben exakt die selbe empirische Wirklichkeit  $E'$  wieder (können dafür aber unter Umständen extrem unterschiedliche theoretische Werkzeuge verwenden)
- Zwei empirisch äquivalente aber theoretisch verschiedene Theorien sind signifikant *empirisch unterbestimmt*  
→ Quine, wissenschaftliche Realismusdebatte Vorlesung 5



# Empirische Äquivalenz

Für **jedes** Modell  $S$  der Theorie  $T$  gilt:

Für **jedes** Modell  $R$  der Theorie  $T'$  gilt:



# Beispiel: Lorenzsche Äthertheorie vs. Spezielle Relativitätstheorie

- Aufgrund der Experimente von Michelson / Morley (1881, 1887) wurde die Endlichkeit und Bewegungsunabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit festgestellt
- Diese Tatsache wurde zunächst im Rahmen der Newtonschen Physik und der Äthertheorie von dem Physiker Hendrik Antoon Lorentz erklärt (Lorenzsche Äthertheorie)
- Später erklärte die selbe empirische Tatsache Albert Einstein in der speziellen Relativitätstheorie, die auf die Annahme eines Äther verzichtet
- Beide Theorien sind empirisch äquivalent, jedoch theoretisch extrem unterschiedlich konzipiert
- Welche der beiden Theorien ist wahr?

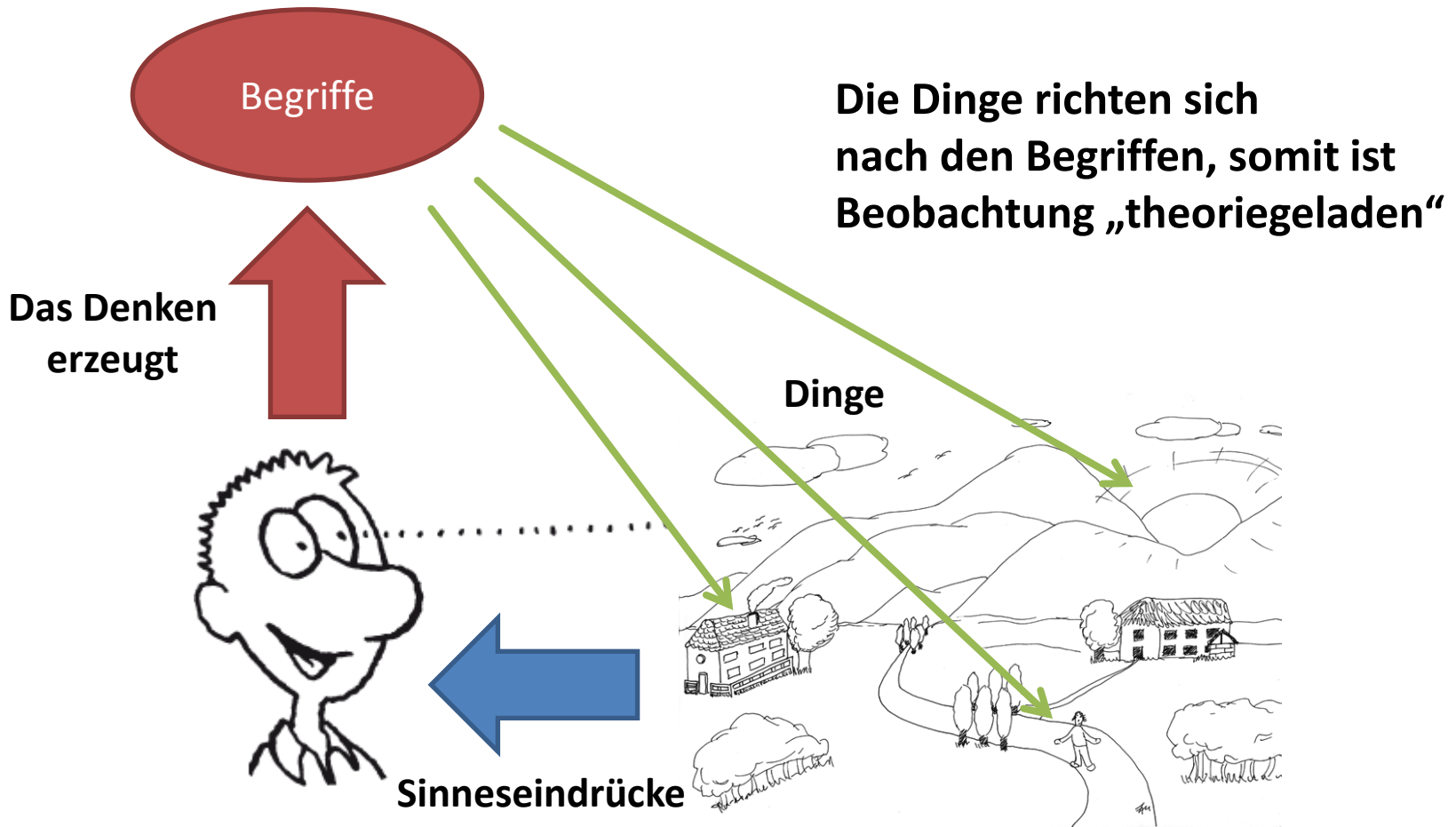
# Gibt es eine Alternative zum Zwei-Sprachen-Modell?

- Wir haben drei unterschiedliche Lösungen der Reduktionismus-Problematik kennengelernt, wobei L2 und L3 die Angabe von Korrespondenzregeln nicht erforderlich machen, sondern stattdessen ramseyfizieren (L2) oder Isomorphiebeziehungen zwischen Theorie und Wirklichkeit angeben (L3)
- Aber: umgehen L2 und L3 das Zwei-Sprachen-Modell? Kann man auf die Angabe einer empirischen und einer theoretischen Sprache verzichten? Bleibt am Ende nicht doch eine klare Trennung von „analytisch“ und „synthetisch“, von „empirisch“ und „theoretisch“ notwendig?

# Anhang 1: Die Theoriegeladenheit der Beobachtung

- Beinahe als universelles Totschlagargument gegen den Empirismus wurde über viele Jahrzehnte die Auffassung gesehen, wonach jeder Beobachtungsterm die Theorie, die er bestätigen soll, mit transportiert
- Wie soll dann eine Theorie durch Beobachtungen bestätigt werden?
- Was spiegeln Beobachtungen dann wieder? Die Theorie? Oder doch eine bewusstseinsunabhängige Außenwelt?
- Vgl. Kants kopernikanische Wende, hermeneutischer Zirkel?

# Theoriegeladenheit der Beobachtung

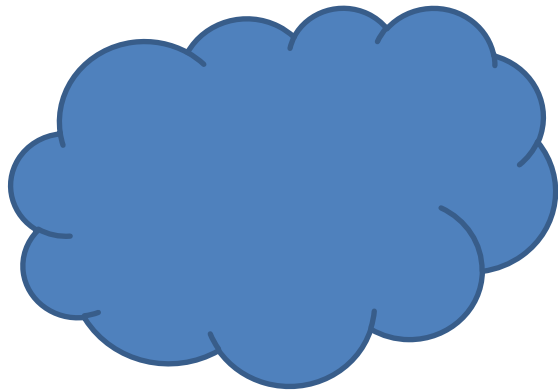


- PRO: Es ist unbestreitbar, dass wir für die Formulierung von Beobachtungen Begriffe verwenden, in denen die Theorie, die wir bestätigen wollen, in gewissem Sinn schon drinnen steckt. Insofern sind alle Beobachtungen theoriegeladen.
- CONTRA: Das bedeutet aber nicht, dass die Beobachtung nur die Theorie widerspiegelt. Die Theorie definiert die Perspektive auf die Welt, aber was wir dann, unter dieser Perspektive, *sehen*, ist natürlich nicht mehr die Theorie, sondern eine Theorieunabhängige Wirklichkeit. Deshalb können auch theoriegeladene Beobachtungen als (externe) Befunde für oder gegen eine Theorie aufgefasst werden. Der Empirismus ist (zumindest in seinen raffinierteren Spielarten) durch die Theoriegeladenheit der Beobachtung nicht widerlegt.

# Anhang 2: Theorien als Modelle

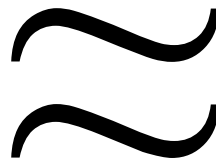
- Der Naturalist Ronald Giere (1988) hat argumentiert, dass Theorien keineswegs in einem strikt logischen (und also analytischen) Verhältnis zur Wirklichkeit stehen, im Stil einer Äquivalenz- oder Isomorphiebeziehung
- Theorien sind, für Giere, insofern *Modelle* als sie einen bestimmten *Entwurf* der Wirklichkeit gewissermaßen basteln
- Dieser Entwurf kann dann aber in keinem analytischen Verhältnis (der Isomorphie) zur Welt stehen, sondern es muss sich um ein Verhältnis *der Ähnlichkeit* (oder Unähnlichkeit) handeln, dessen Studium keine Frage der Logik mehr ist, sondern eine der Psychologie und der Physik selber

Elektronen, Quarks,  
Impulse und andere  
theoretische Entitäten im  
Nicht-Beobacht-baren  
Bereich der Quantenphysik



**Sätze der theoretischen  
Quantenphysik  
plus Strukturtyp  
liefern die Modelle der  
Theorie**

**Giere: KEINE  
ISOMORPHIE,  
sondern  
Ähnlichkeit  
(Psychologie,  
Biologie,  
Physik)  
kein LOGISCHES,  
sondern ein  
EMPIRISCHES  
Problem**



Vorgänge im  
Teilchenbeschleuniger,  
Spuren am Bildschirm,  
Beobachtungen



**Sätze der physikalischen  
Experimentatoren  
sind in der intendierten  
Anwendung  $E'$   
repräsentiert**



# Das D-N-Modell der Erklärung

# Was leistet Wissenschaft?

- Eine klassische Antwort: Wissenschaft *erklärt* empirische Phänomene  
→ vgl. aber auch Geisteswissenschaften (Erklären und Verstehen)
- So lange wir nur empirische Fakten sammeln liegt noch keine Wissenschaft vor
- Wir müssen diese Fakten durch Erklärungen und Verallgemeinerungen bereichern
- **Was aber ist eine wissenschaftliche Erklärung genau?**
- Strategie: Wir präsentieren einen „received view“ und dann (in der nächsten Vorlesung) die Kritik daran:

# Erklärung:

## Das deduktiv-nomologische Modell

- Wir kehren nun noch einmal zum *received view* des logischen Empirismus zurück:
- Der in der zweiten Vorlesung beschriebene „Deduktivismus“ legt das folgende Modell für wissenschaftliche Erklärung nahe:
- **Wenn wir einen Sachverhalt E erklären wollen, so subsumieren wir diesen (1) unter andere Sachverhalte sowie (2) unter allgemeine Gesetze**
- Entscheidend ist dabei, dass eine *Deduktion* stattfindet (mittels *modus ponens*) und dass die Prämissen *Gesetze* enthalten (= nomologisch)

# Ein simples Beispiel

- Wir sehen zum Fenster hinaus und stellen fest, dass die Straße nass ist.
- In unserer Erklärung lassen wir ein Gesetz und eine zusätzliche Beobachtung einfließen:

Wenn es regnet, ist die Straße nass (Gesetz)

Es regnet (Beobachtung)

Die Straße ist nass (Explanandum)

# Formaler Aufbau

- Im Allgemeinen können natürlich in Erklärungen im Stil des D-N-Modells sehr viele Gesetze und sehr viele Einzelbeobachtungen einfließen, dies ist aber nur eine Verallgemeinerung des Sonderfalls von nur einem Gesetz und einer Beobachtung
- Formal hat dieser wichtige Sonderfall den Charakter eines *modus ponens* Schlusses mit *Allsatz* als erste Prämisse:

$$\begin{array}{l} \forall x: P(x) \rightarrow Q(x) \\ \hline P(a) \\ Q(a) \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Allsatz} \\ \text{Beobachtung} \\ \text{Explanandum} \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} \forall x: P(x) \rightarrow Q(x) \\ P(a) \\ Q(a) \end{array}} \right\} \text{Explanans}$$

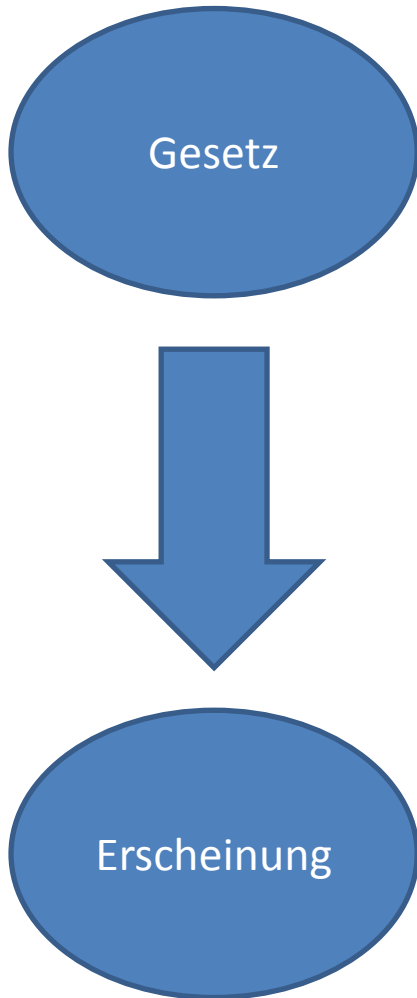
Aufgabe: bringe obiges Beispiel (Regen) in diese formale Notation

# Erklärung vs. Rechtfertigung

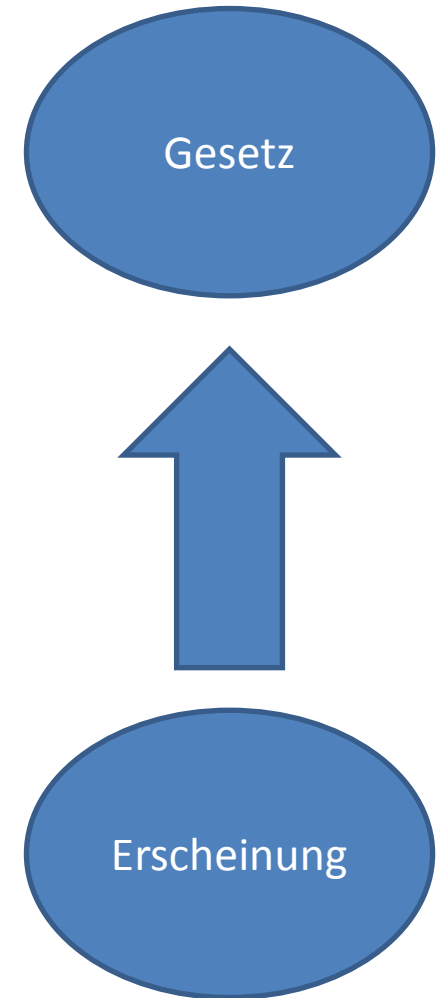
- Das D-N-Modell für wissenschaftliche Erklärung ist identisch mit dem deduktiven Modell der Rechtfertigung von Theorien, wie es im logischen Empirismus formuliert worden ist
- Im Fall der Rechtfertigung wird eine Konklusion gebildet, die nicht das Explanandum darstellt, sondern eine **Prognose**:

Wenn es regnet, ist die Straße nass.	(Gesetz)
<u>Gleich wird es zu regnen beginnen</u>	<u>(faktische Prämisse)</u>
Dies wird bewirken, dass die Straße nass wird	(Prognose)

# Prognose



# Erklärung



# Warum muss eine Erklärung deduktiv-*nomologisch* sein?

- Erklärungen sind quasi **per definitionem *deduktiv***: sie haben die Form „E ist der Fall, *weil* A der Fall ist“
- Das Besondere am D-N-Modell ist nur, dass die Deduktion **unbedingt einen *Allsatz* enthalten** und daher „nomologisch“ sein muss
- Eine denkbare Alternative wären Erklärungen, die nur weitere Fakten enthalten. Beispiel:

Es regnet	(Explanans)	.
<hr/>		
Die Straße ist nass	(Explanandum)	



- Der Grund, warum solche „Erklärungen“ meist als inakzeptabel identifiziert werden ist, dass man von einer Erklärung erwartet, dass sie **eine Verbindung herstellt**, zwischen dem Explanandum und dem was die Erklärung liefert
- Im Beispiel: die Erklärung muss in irgendeiner Form *einen Zusammenhang herstellen*, zwischen Regen und der Nässe der Straße
- Das Gesetz „Wenn es regnet ist die Straße nass“ scheint geeignet, diese Funktion zu übernehmen
- Erklärungen müssen also **wesentlich stärker sein als bloße Faktenverknüpfungen**
- ➔ Aber: Wie kann man dieses Element einer Verknüpfung zwischen Faktum und Gesetz sichtbar machen? Damit werden wir uns in der nächsten Vorlesung befassen ...

# Lektüre zu dieser Vorlesung

Zur semantischen Theorienauffassung:

Wolfgang Stegmüller, *Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie, Band II: Zeiter Halbband, Theorienstrukturen und Theoriendynamik*, Springer, 1970 und 1973

Bas van Fraassen: *The Scientific Image*, Clarendon Press, 1980, ch. 3

Zur Theoriegeladenheit der Beobachtung:

Carrier, *Wissenschaftstheorie*, Kapitel 3

Theorien als Modelle:

Ronald Giere, *Explaining Science. A Cognitive Approach*, The University of Chicago Press, 1988.

Zum D-N-Modell der Erklärung:

Gerhard Schurz, *Philosophy of Science*, Kapitel 6.

Wolfgang Stegmüller, *Probleme und Resultate, Erster Band: Wissenschaftliche Erklärung und Begründung*.