Teilchen und Felder

Meinard Kuhlmann Universität Mainz

Workshop der Heisenberg-Gesellschaft Schloss Lautrach, 19. Juli 2015



Überblick

- 1 Interpretation physikalischer Theorien
- 2 Teilcheninterpretation
- 3 Feldinterpretation
- 4 Ontischer Strukturenrealismus
- 5 Tropenontologie
- 6 Strukturen versus Tropen
- 7 Fazit



Überblick

- 1 Interpretation physikalischer Theorien
- 2 Teilcheninterpretation
- 3 Feldinterpretation
- 4 Ontischer Strukturenrealismus
- 5 Tropenontologie
- 6 Strukturen versus Troper
- 7 Fazit



Eine Hauptaufgabe der Philosophie der Physik (neben methodolog. Fragen und Begriffsklärungen):

- Formulierung und Bewertung geeigneter Ontologien. "Ontologie":
 - (i) Lehre vom Seienden (ii) eine bestimmte Konzeption
- Oft als Interpretationen bezeichnet, da sie sich—anders als in der allgemeinen Philosophie— auf bestimmte physikalische Theorien beziehen.

Nun etwas genauer, was damit gemeint ist...



Eine Hauptaufgabe der Philosophie der Physik (neben methodolog. Fragen und Begriffsklärungen):

- Formulierung und Bewertung geeigneter Ontologien. "Ontologie":
 - (i) Lehre vom Seienden (ii) eine bestimmte Konzeption
- Oft als Interpretationen bezeichnet, da sie sich—anders als in der allgemeinen Philosophie— auf bestimmte physikalische Theorien beziehen.

Nun etwas genauer, was damit gemeint ist....



Kernstück der Interpretation einer wissenschaftlichen Theorie:

- Folgende Abbildung (i.S.v. *Zuordnung*): Elementtypen in der **Theorie**
 - → Klassen von Entitäten in der Welt (z.B. Teilchen, Eigenschaften, Ereignisse, Strukturen,...), wobei angenommen wird, dass die Theorie über diese Entitäten Behauptungen macht. ("Entität": etwas Seiendes ganz allg.)

Noch wichtig für Interpretation (hier aber nicht im Vordergrund): Angabe der **Dynamik**, d.h. wie sich die betreffenden Entitäten zeitlich verändern und in welcher Beziehung die jeweiligen Dynamiken zueinander stehen.



Kernstück der Interpretation einer wissenschaftlichen Theorie:

- Folgende Abbildung (i.S.v. *Zuordnung*): Elementtypen in der **Theorie**
 - → Klassen von Entitäten in der Welt (z.B. Teilchen, Eigenschaften, Ereignisse, Strukturen,...), wobei angenommen wird, dass die Theorie über diese Entitäten Behauptungen macht. ("Entität": etwas Seiendes ganz allg.)

Noch wichtig für Interpretation (hier aber nicht im Vordergrund): Angabe der **Dynamik**, d.h. wie sich die betreffenden Entitäten zeitlich verändern und in welcher Beziehung die jeweiligen Dynamiken zueinander stehen.



Forts. Interpretation einer wissenschaftlichen Theorie:

- Wesentliche Komplikation insbes. in moderner Physik: Nicht alle Teile einer Theorie haben die Funktion, etwas in der Welt zu repräsentieren (→ "surplus structure").
 - Können aber in Vorgängertheorie repräsentieren!
- Wichtig bei folgenden Eigenschaften phys. Theorien:
 - Permutationsinvarianz (QM)
 - Invarianz unter Diffeomorphismen (Allg. Relativitätstheorie)
 - Eichfreiheit (QFT)
- Diese Invarianzen sind **Symmetrien** der betreffenden Theorien.



Forts. Interpretation einer wissenschaftlichen Theorie:

- Klassen von Entitäten (kurz: "Kategorien")
 werden durch allgemeine Bestimmungen charakterisiert,
 wie z.B. Lokalisierbarkeit, Abzählbarkeit, Partikularität, etc.
- Idealerweise gibt es eine Menge von notwendigen kategorialen
 Bestimmungen, die zusammen genommen hinreichend für die Zugehörigkeit zur betreffenden Kategorie sind.



Forts. Interpretation einer wissenschaftlichen Theorie:

Weitere Forderungen an eine Interpretation bzw. Ontologie:

- Konsistenz
- Empirische Adäquatheit
- Ontologische Sparsamkeit



Physik und Philosophie

- Unter Ontologen heute weit verbreitete Meinung: Fundamentale Physik ist entscheidend für allg. Ontologie.
 - Einige Themen: Konstitution von Objekten, Individualität, Status von Eigenschaften, Verhältnis von Dingen und Eigenschaften, Rolle von Raum und Zeit.
- Aber: Ontologie kann nicht von der Physik abgelesen werden; jeweilige Debatten sind oft sehr kontrovers.
 - → Gründliche Untersuchungen sind unverzichtbar.



Bedeutung der Quantenfeldtheorie

 Besonders wichtig für die Ontologie ist die Quantenfeldtheorie, da gegenwärtig gültige fundamentale Theorie der materiellen Welt.



Kandidaten für die Ontologie der QFT

- Teilcheninterpretation
- Feldinterpretation
- Ontischer Strukturenrealismus (OSR)
- Dispositionale Tropenontologie (DTO)



Vorbemerkungen zum Vorgehen

Ich werde zuerst die inkompatiblen klassischen Versionen diskutieren, um die ganze Bandbreite der Konflikte zu sehen.

Mögliche Auswege bei Konflikt mit QFT:

- Bedingungen für Teilchen/Felder abschwächen oder fallen lassen.
- Auf Fundamentalität von Teilchen/Feldern verzichten:
 - Teilchen/Felder als sekundäre oder 'emergierende' Entitäten
 - Teilchen- und Feldinterpretation sind nicht notwendig inkompatibel mit OSR und DTO.



Vorbemerkungen zum Vorgehen

Ich werde zuerst die inkompatiblen klassischen Versionen diskutieren, um die ganze Bandbreite der Konflikte zu sehen.

Mögliche Auswege bei Konflikt mit QFT:

- Bedingungen für Teilchen/Felder abschwächen oder fallen lassen.
- Auf Fundamentalität von Teilchen/Feldern verzichten:
 - Teilchen/Felder als sekundäre oder 'emergierende' Entitäten.
 - Teilchen- und Feldinterpretation sind nicht notwendig inkompatibel mit OSR und DTO.



Überblick

- 1 Interpretation physikalischer Theorien
- 2 Teilcheninterpretation
- 3 Feldinterpretation
- 4 Ontischer Strukturenrealismus
- 5 Tropenontologie
- 6 Strukturen versus Troper
- 7 Fazit



Klassische Teilchen: diskrete, scharf lokalisierte, massebehaftete Objekte mit synchroner und diachroner Identität.

- (i) **Diskretheit**: es kann etwas abgezählt werden.
 - Nicht möglich bei kontinuierlicher Größe wie elektrischer Feldstärke.
- (ii) Lokalisiertheit: Teilchen sind in einem kleinen, scharf begrenzten Raumbereich lokalisiert.
 - Felder dagegen sind im ganzen Raum ausgebreitet.
- (iii) Masse: Teilchen haben eine nicht verschwindende Ruhemasse.
 - Klassische *relativistische* Teilchen müssen wegen der Aquivalenz von Masse und Energie die Energiebedingung $E^2 = \mathbf{p}^2 c^2 + m^2 c^4$ erfüllen



Klassische Teilchen: diskrete, scharf lokalisierte, massebehaftete Objekte mit synchroner und diachroner Identität.

- **Diskretheit**: es kann etwas abgezählt werden.
 - Nicht möglich bei kontinuierlicher Größe wie elektrischer Feldstärke.
- - Felder dagegen sind im ganzen Raum ausgebreitet.
- - Klassische relativistische Teilchen müssen wegen der Aguivalenz von Masse und Energie die Energiebedingung $E^2 = \mathbf{p}^2 c^2 + m^2 c^4$



Klassische Teilchen: diskrete, scharf lokalisierte, massebehaftete Objekte mit synchroner und diachroner Identität.

- (i) Diskretheit: es kann etwas abgezählt werden.
 - Nicht möglich bei kontinuierlicher Größe wie elektrischer Feldstärke.
- (ii) Lokalisiertheit: Teilchen sind in einem kleinen, scharf begrenzten Raumbereich lokalisiert.
 - Felder dagegen sind im ganzen Raum ausgebreitet.
- (iii) Masse: Teilchen haben eine nicht verschwindende Ruhemasse.
 - Klassische *relativistische* Teilchen müssen wegen der Aquivalenz von Masse und Energie die Energiebedingung $E^2 = \mathbf{p}^2 c^2 + m^2 c^4$ erfüllen



Teilchen

Klassische Teilchen: diskrete, scharf lokalisierte, massebehaftete Objekte mit synchroner und diachroner Identität.

- (i) **Diskretheit**: es kann etwas abgezählt werden.
 - Nicht möglich bei kontinuierlicher Größe wie elektrischer Feldstärke.
- (ii) Lokalisiertheit: Teilchen sind in einem kleinen, scharf begrenzten Raumbereich lokalisiert.
 - Felder dagegen sind im ganzen Raum ausgebreitet.
- (iii) Masse: Teilchen haben eine nicht verschwindende Ruhemasse.
 - Klassische relativistische Teilchen müssen wegen der Äquivalenz von Masse und Energie die Energiebedingung $E^2 = \mathbf{p}^2 c^2 + m^2 c^4$ erfüllen.



Klassische Teilchen: diskrete, scharf lokalisierte, massebehaftete Objekte mit synchroner und diachroner Identität.

- (iv) **Synchrone Identität**: zwei Teilchen sind zu jedem gegebenen Zeitpunkt Individuen, d.h. unterscheidbar.
 - Nicht erfüllt von 100 Euro auf einem Bankkonto.
- (v) Diachrone Identität: Teilchen lassen sich als Individuen in der Zeit verfolgen.
 - Nicht der Fall z.B. bei aufeinander zulaufenden Wellenbergen.

Anmerkungen:

- Diskrete Entitäten ohne Individualität sind kardinal abzählbar.
 Beispiel: Euros auf Bankkonto.
- Diskrete Entitäten mit Individualität sind ordinal abzählbar.
 Beispiel: Bücher im Regal.



Klassische Teilchen: diskrete, scharf lokalisierte, massebehaftete Objekte mit synchroner und diachroner Identität.

- (iv) **Synchrone Identität**: zwei Teilchen sind zu jedem gegebenen Zeitpunkt Individuen, d.h. unterscheidbar.
 - Nicht erfüllt von 100 Euro auf einem Bankkonto.
- (v) Diachrone Identität: Teilchen lassen sich als Individuen in der Zeit verfolgen.
 - Nicht der Fall z.B. bei aufeinander zulaufenden Wellenbergen.

Anmerkungen:

- Diskrete Entitäten ohne Individualität sind kardinal abzählbar.
 Beispiel: Euros auf Bankkonto.
- Diskrete Entitäten mit Individualität sind ordinal abzählbar.
 Beispiel: Bücher im Regal.



Klassische Teilchen: diskrete, scharf lokalisierte, massebehaftete Objekte mit synchroner und diachroner Identität.

- (iv) Synchrone Identität: zwei Teilchen sind zu jedem gegebenen Zeitpunkt Individuen, d.h. unterscheidbar.
 - Nicht erfüllt von 100 Furo auf einem Bankkonto.
- (v) Diachrone Identität: Teilchen lassen sich als Individuen in der Zeit verfolgen.
 - Nicht der Fall z.B. bei aufeinander zulaufenden Wellenbergen.

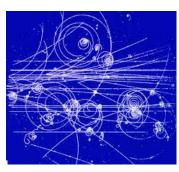
Anmerkungen:

- Diskrete Entitäten ohne Individualität sind kardinal abzählbar. Beispiel: Euros auf Bankkonto.
- Diskrete Entitäten mit Individualität sind **ordinal abzählbar**. Beispiel: Bücher im Regal.



Pro:

Würde Phänomenologie von Streuexperimenten in Teilchenbeschleunigern erklären. Anm.: Scharfe Trajektorien würden synchrone und diachrone Identität (Bed. (iv) u. (v)) garantieren.

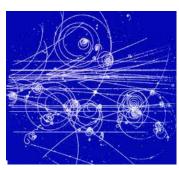


- Diskretheit (Bed. (i))—sichtbar
 an "Teilchenzahloperator" und Energiebedingung (Bed. (iii)) werden in der quantisierten Feldtheorie wiedergewonnen.
 - ightarrow Gilt als theor. Grundlage für Teilcheninterpretation der QFT.



Pro:

 Würde Phänomenologie von Streuexperimenten in Teilchenbeschleunigern erklären. Anm.: Scharfe Trajektorien würden synchrone und diachrone Identität (Bed. (iv) u. (v)) garantieren.

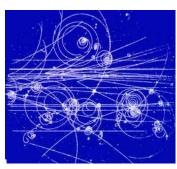


- Diskretheit (Bed. (i))—sichtbar an "Teilchenzahloperator"— und Energiebedingung (Bed. (iii)) werden in der quantisierten Feldtheorie wiedergewonnen.
 - → Gilt als theor. Grundlage für Teilcheninterpretation der QFT.

Teilchen

Pro:

 Würde Phänomenologie von Streuexperimenten in
 Teilchenbeschleunigern erklären.
 Anm.: Scharfe Trajektorien würden synchrone und diachrone Identität (Bed. (iv) u. (v)) garantieren.



- Diskretheit (Bed. (i))—sichtbar
 an "Teilchenzahloperator"— und Energiebedingung (Bed. (iii)) werden in der quantisierten Feldtheorie wiedergewonnen.
 - → Gilt als theor. Grundlage für Teilcheninterpretation der QFT.



Zur Erinnerung: (Klassische) Teilchen sind ordinal abzählbare, scharf lokalisierte Objekte mit diachroner Identität.

Kontra (im Überblick):

- Quantenmechanik (QM): Verlust synchroner Identität wegen Permutationsinvarianz von Vielteilchenzuständen.
- QM + Forderung relativistischer Invarianz:
 - → Lokalisierbarkeit geht verloren
- QFT: Superpositionszustände mit unterschiedlicher Teilchenzahl. → Abzählbarkeit geht verloren.



Zur Erinnerung: (Klassische) Teilchen sind ordinal abzählbare, scharf lokalisierte Objekte mit diachroner Identität.

Kontra (im Überblick):

- Quantenmechanik (QM): Verlust synchroner Identität wegen Permutationsinvarianz von Vielteilchenzuständen.
- QM + Forderung relativistischer Invarianz:
 - ightarrow Lokalisierbarkeit geht verloren.
- QFT: Superpositionszustände mit unterschiedlicher Teilchenzahl. → Abzählbarkeit geht verloren.



Zur Erinnerung: (Klassische) Teilchen sind ordinal abzählbare, scharf lokalisierte Objekte mit diachroner Identität.

Kontra (im Überblick):

- ⇒ Quantenmechanik (QM): Verlust synchroner Identität wegen Permutationsinvarianz von Vielteilchenzuständen.
 - QM + Forderung relativistischer Invarianz:
 - ightarrow Lokalisierbarkeit geht verloren.
 - QFT: Superpositionszustände mit unterschiedlicher Teilchenzahl. → Abzählbarkeit geht verloren.



Standardargument zum Verlust der Individualität bei Quantenobjekten

- In der QM sind Vielteilchenzustände gleichartiger Teilchen permutationsinvariant, d.h. ein Teilchenaustausch führt zum selben Zustand (ggf. modulo Vorzeichen).
- → Da damit der "reduzierte Zustand" für alle Teilchen identisch ist, sind nicht nur alle permanenten Eigenschaften gleich, sondern auch alle zeitabhängigen Eigenschaften.
 - Beispiel: alle Eigenschaften zweier Elektronen El₁ und El₂ eines 2-Elektronen-Systems sind gleich.

Teilchen

Standardargument zum Verlust der Individualität bei Quantenobjekten

- In der QM sind Vielteilchenzustände gleichartiger Teilchen permutationsinvariant, d.h. ein Teilchenaustausch führt zum selben Zustand (ggf. modulo Vorzeichen).
- Da damit der "reduzierte Zustand" für alle Teilchen identisch ist, sind nicht nur alle permanenten Eigenschaften gleich, sondern auch alle zeitabhängigen Eigenschaften.

Teilchen

Standardargument zum Verlust der Individualität bei Quantenobjekten

- In der QM sind Vielteilchenzustände gleichartiger Teilchen permutationsinvariant, d.h. ein Teilchenaustausch führt zum selben Zustand (ggf. modulo Vorzeichen).
- Da damit der "reduzierte Zustand" für alle Teilchen identisch ist, sind nicht nur alle permanenten Eigenschaften gleich, sondern auch alle zeitabhängigen Eigenschaften.
 - Beispiel: alle Eigenschaften zweier Elektronen El₁ und El₂ eines 2-Elektronen-Systems sind gleich.

Forts. Standardarg. zum Verlust der Individualität bei Quantenobjekten

- Nach Leibniz-Prinzip der Identität von Ununterscheidbarem müssen El₁ und El₂ also numerisch identisch sein.
 - Leibniz-Prinzip (LP) der Identität von Ununterscheidbarem

$$\forall F[F(x) \Leftrightarrow F(y)] \Rightarrow x = y$$

oder alternativ und logisch äquivalent:
 $x \neq y \Rightarrow \neg \forall F[F(x) \Leftrightarrow F(y)]$
(McTaggart: "Dissimilarity of the Diverse")

→ Widerspruch! Es kann aber nicht nur ein Elektron vorliegen (z.B.



Teilchen

Forts. Standardarg. zum Verlust der Individualität bei Quantenobjekten

- Nach Leibniz-Prinzip der Identität von Ununterscheidbarem müssen El₁ und El₂ also numerisch identisch sein.
 - Leibniz-Prinzip (LP) der Identität von Ununterscheidbarem

$$\forall F[F(x) \Leftrightarrow F(y)] \Rightarrow x = y$$

oder alternativ und logisch äquivalent:

$$x \neq y \Rightarrow \neg \forall F[F(x) \Leftrightarrow F(y)]$$

(McTaggart: "Dissimilarity of the Diverse")

→ Widerspruch! Es kann aber nicht nur ein Elektron vorliegen (z.B.



Teilchen

Forts. Standardarg. zum Verlust der Individualität bei Quantenobjekten

- Nach Leibniz-Prinzip der Identität von Ununterscheidbarem müssen El₁ und El₂ also numerisch identisch sein.
 - Leibniz-Prinzip (LP) der Identität von Ununterscheidbarem

$$\forall F[F(x) \Leftrightarrow F(y)] \Rightarrow x = y$$

oder alternativ und logisch äquivalent:

$$x \neq y \Rightarrow \neg \forall F[F(x) \Leftrightarrow F(y)]$$

(McTaggart: "Dissimilarity of the Diverse")

Widerspruch! Es kann aber nicht nur ein Elektron vorliegen (z.B. wegen messbar doppelter Elektronenladung).



Forts. Standardarg. zum Verlust der Individualität bei Quantenobjekten

- Versteht man das Leibniz-Prinzip (LP) der Identität von Ununterscheidbarem als Kriterium für Individualität, dann bietet sich als Lösung des Konfliktes an zu sagen, dass Quantenobjekte keine Individuen sind. (Vergleichbar mit 100 Euros auf einem Bankkonto.)
- Quantenobjekte haben also im Allg. keine synchrone Identität,

Teilcheninterpretation

Forts. Standardarg. zum Verlust der Individualität bei Quantenobjekten

- Versteht man das Leibniz-Prinzip (LP) der Identität von Ununterscheidbarem als Kriterium für Individualität, dann bietet sich als Lösung des Konfliktes an zu sagen, dass Quantenobjekte keine Individuen sind. (Vergleichbar mit 100 Euros auf einem Bankkonto.)
- → Quantenobjekte haben also im Allg. keine synchrone Identität, so dass ein wesentliches Charakteristikum von (klassischen) Teilchen wegfällt (Bedingnung (iv)).

Teilcheninterpretation

Zur Erinnerung: (Klassische) Teilchen sind ordinal abzählbare, scharf lokalisierte Objekte mit diachroner Identität.

Kontra (im Überblick):

- Quantenmechanik (QM): Verlust synchroner Identität wegen Permutationsinvarianz von Vielteilchenzuständen.
- \Rightarrow QM + Forderung relativistischer Invarianz:
 - → Lokalisierbarkeit geht verloren.
 - QFT: Superpositionszustände mit unterschiedlicher Teilchenzahl. → Abzählbarkeit geht verloren.



Teilcheninterpretation

Zur Erinnerung: (Klassische) Teilchen sind ordinal abzählbare, scharf lokalisierte Objekte mit diachroner Identität.

Kontra (im Überblick):

- Quantenmechanik (QM): Verlust synchroner Identität wegen Permutationsinvarianz von Vielteilchenzuständen.
- QM + Forderung relativistischer Invarianz:
 - \rightarrow Lokalisierbarkeit geht verloren.
- ⇒ QFT: Superpositionszustände mit unterschiedlicher Teilchenzahl. → Abzählbarkeit geht verloren.



Überblick

- 1 Interpretation physikalischer Theorien
- 2 Teilcheninterpretation
- 3 Feldinterpretation
- 4 Ontischer Strukturenrealismus
- 5 Tropenontologie
- 6 Strukturen versus Troper
- 7 Fazit



Klassisches Feld: Zuordnung definiter physikalischer Eigenschaften zu Kontinuum von Raum-Zeit-Punkten.

Beispiel: Elektrische Feldstärke

$$\vec{E}(\vec{x}_1,t)$$
 $\vec{E}(\vec{x}_2,t)$ $\vec{E}(\vec{x}_3,t)$ $\vec{E}(\vec{x}_4,t)$



Klassisches Feld: Zuordnung definiter physikalischer Eigenschaften zu Kontinuum von Raum-Zeit-Punkten.

Beispiel: Elektrische Feldstärke.

$$\vec{E}(\vec{x}_1,t)$$
 $\vec{E}(\vec{x}_2,t)$ $\vec{E}(\vec{x}_3,t)$ $\vec{E}(\vec{x}_4,t)$



Pro:

- Erklärt zentrale Bedeutung von Quantenfeldern in der QFT.
- Scheint Argumenten gegen Teilcheninterpretation zu trotzen.



- Operatorwertigkeit der Felder erlaubt keine Feldinterpretation im Sinne einer Zuordnung von Eigenschaften zu Raumzeitpunkten/-regionen, denn:
 - Das, was den Raumzeitpunkten bzw. regionen zugeordnet wird,
 - Zusammen mit den Quantenzustand lassen sich zwar definite
 - Aber: Erwartungswerte sind keine fundamentalen physikalischen



- Operatorwertigkeit der Felder erlaubt keine Feldinterpretation im Sinne einer Zuordnung von Eigenschaften zu Raumzeitpunkten/-regionen, denn:
 - Das, was den Raumzeitpunkten bzw. regionen zugeordnet wird, sind "determinables" (P. Teller) und weder definite (oder 'kategoriale') noch dispositionale Eigenschaften.
 - Zusammen mit den Quantenzustand lassen sich zwar definite
 - Aber: Erwartungswerte sind keine fundamentalen physikalischen



- Operatorwertigkeit der Felder erlaubt keine Feldinterpretation im Sinne einer Zuordnung von Eigenschaften zu Raumzeitpunkten/-regionen, denn:
 - Das, was den Raumzeitpunkten bzw. regionen zugeordnet wird, sind "determinables" (P. Teller) und weder definite (oder 'kategoriale') noch dispositionale Eigenschaften.
 - Zusammen mit den Quantenzustand lassen sich zwar definite Erwartungswerte ausrechnen und den Raumzeitregionen zuordnen.
 - ightarrow Vacuum expectation value (VEV)-Interpretation von A. Wayne in Anschluss an A. Wightman.
 - Aber: Erwartungswerte sind keine fundamentalen physikalischen Eigenschaften.



- Operatorwertigkeit der Felder erlaubt keine Feldinterpretation im Sinne einer Zuordnung von Eigenschaften zu Raumzeitpunkten/-regionen, denn:
 - Das, was den Raumzeitpunkten bzw. regionen zugeordnet wird, sind "determinables" (P. Teller) und weder definite (oder 'kategoriale') noch dispositionale Eigenschaften.
 - Zusammen mit den Quantenzustand lassen sich zwar definite Erwartungswerte ausrechnen und den Raumzeitregionen zuordnen.
 - → Vacuum expectation value (VEV)-Interpretation von A. Wayne in Anschluss an A. Wightman.
 - Aber: Erwartungswerte sind keine fundamentalen physikalischen Eigenschaften.



Forts. Feldinterpretation

- Der für die QFT ebenso wichtige Quantenzustand ist nicht raumzeitlich eingebettet und verdirbt daher das Bild lokal bestimmter Feldgrößen.
- Der Unruh-Effekt wie auch andere Probleme könnten die Feldinterpretation ebenso treffen.
 (Vgl. Baker 2008.)



Zwischenfazit

- Sowohl gegen Teilchen als auch gegen Felder als fundamentale Entitäten gibt es ernsthafte Einwände.
 - Insbes. für Teilcheninterpretation ist Abschwächen der Bedingungen unattraktiv, da zu viele Bed. verletzt sind.
- Besser: Suche nach alternativer Ontologie.



Im Folgenden

Zwei revisionäre ontologische Ansätze mit dem Anspruch, die bisher diskutierten Problemen zu lösen:

- (i) Ontischer Strukturenrealismus
- (ii) Dispositionale Tropenontologie



Überblick

- 1 Interpretation physikalischer Theorier
- 2 Teilcheninterpretation
- 3 Feldinterpretation
- 4 Ontischer Strukturenrealismus
- 5 Tropenontologie
- 6 Strukturen versus Troper
- 7 Fazit



Strukturenrealismus

Epistemischer Strukturenrealismus (Russell, Poincaré, Worrall)

- Erhält wiss. Realismus $(\rightarrow \textit{No-miracles-} Argument)$ angesichts von Theoriewechsel $(\rightarrow pessimistische Metainduktion)$.
- Unser bestes wissenschaftliches Wissen ist strukturelles Wissen.

Ontischer Strukturenrealismus (French, Ladyman, Esfeld, Lyre)

- Primär an Ontologie der modernen Physik interessiert.
- Strukturen, nicht Objekte entscheidend für Ontologie moderner Physik.

Strukturenrealismus

Epistemischer Strukturenrealismus (Russell, Poincaré, Worrall)

- Erhält wiss. Realismus
 (→ No-miracles-Argument)
 angesichts von Theoriewechsel
 (→ pessimistische Metainduktion).
- Unser bestes wissenschaftliches Wissen ist strukturelles Wissen.

Ontischer Strukturenrealismus (French, Ladyman, Esfeld, Lyre)

- Primär an Ontologie der modernen Physik interessiert.
- Strukturen, nicht Objekte entscheidend für Ontologie moderner Physik.

Eliminativer OSR (French, Ladyman)

- Radikaler Bruch mit Substanzontologie:
 Dinge/ "Substanzen" sind nicht nur nicht fundamental,
 sondern werden ganz aus der Ontologie eliminiert.
- Es gibt nur Strukturen bzw. Netze von Relationen.
 - "All there is are structures." (Ladyman)

<u>Problem</u>

- Für die Beschreibung der physischen Welt müssen instantiierte Strukturen bzw. Relationen angenommen werden.
- Aber: Wie kann es instantiierte Relationen ohne Relata geben kann. (Kategorienfehler?)



Eliminativer OSR (French, Ladyman)

- Radikaler Bruch mit Substanzontologie: Dinge/"Substanzen" sind nicht nur nicht fundamental, sondern werden ganz aus der Ontologie eliminiert.
- Es gibt nur Strukturen bzw. Netze von Relationen.
 - "All there is are structures." (Ladyman)

Problem:

- Für die Beschreibung der physischen Welt müssen instantiierte Strukturen bzw. Relationen angenommen werden.
- Aber: Wie kann es instantiierte Relationen ohne Relata geben kann. (Kategorienfehler?)



Nicht-eliminativer OSR

Es gibt sowohl

- (a) Objekte als auch
- (b) Relationen zwischen diesen Objekten.

Aber: Objekte haben keine intrinsischen Eigenschaften (Masse, Ladung, Spin), sondern diese sind rein relational bestimmt.

Alltagsbeispiele für extrinsische Eigenschaften: Der-jüngste-Mensch-in-diesem-Saal-sein; Cousinsein.



Allgemeine Argumente pro OSR:

- Kann im Ggs. zum epistemischen SR erklären, warum wir nur strukturelles Wissen haben.
- Passt zur zentralen Bedeutung von Symmetrieüberlegungen in der modernen Physik.
 - → "Group structural realism" (Roberts 2011)



Allgemeine Argumente pro OSR

QM-spezifische Argumente pro OSR

- (01) Das Argument der Unterbestimmtheit der Teilchenmetaphysik



Allgemeine Argumente pro OSR

QM-spezifische Argumente pro OSR

- (01) Das Argument der Unterbestimmtheit der Teilchenmetaphysik
- (02) Ein alternatives Argument bzgl. q.m. Vielteilchensysteme



In quantenmechanischen Vielteilchensystemen mit gleichartigen Teilchen möglich:

- "Teilchen" stimmen in all ihren Eigenschaften, sowohl ihren permanenten, wie Ladung und Masse, als auch ihren zeitabhängigen, wie Verteilung ihrer Antreffwahrscheinlichkeit, exakt überein
- ... und sind trotzdem nicht numerisch identisch, z.B. wegen
- Aber: Was ist die Grundlage dafür, dass wir es hier mit zwei

In quantenmechanischen Vielteilchensystemen mit gleichartigen Teilchen möglich:

- "Teilchen" stimmen in all ihren Eigenschaften, sowohl ihren permanenten, wie Ladung und Masse, als auch ihren zeitabhängigen, wie Verteilung ihrer Antreffwahrscheinlichkeit, exakt überein
- ... und sind trotzdem nicht numerisch identisch, z.B. wegen messbar mehrfacher Elektronenladung (in Widerspruch zum Leibniz-Prinzip der Identität von Ununterscheidbarem)
- Aber: Was ist die Grundlage dafür, dass wir es hier mit zwei

In quantenmechanischen Vielteilchensystemen mit gleichartigen Teilchen möglich:

- "Teilchen" stimmen in all ihren Eigenschaften, sowohl ihren permanenten, wie Ladung und Masse, als auch ihren zeitabhängigen, wie Verteilung ihrer Antreffwahrscheinlichkeit, exakt überein
- ... und sind trotzdem nicht numerisch identisch, z.B. wegen messbar mehrfacher Elektronenladung (in Widerspruch zum Leibniz-Prinzip der Identität von Ununterscheidbarem)
- Aber: Was ist die Grundlage dafür, dass wir es hier mit zwei Objekten und nicht mit einem zu tun haben, wenn diese beiden Objekte in jeder Eigenschaft exakt übereinstimmen?

Argument pro OSR am Beispiel eines 2-Elektronen-Systems:

- Die beiden Elektronen haben zwar dieselben monadischen Eigenschaften. Die entscheidenden relationalen Eigenschaften bzgl. ihrer Verschränkungen im Mehrteilchen-System werden dabei aber völlig außer acht gelassen.
 - Z.B. Spinmessungen mit entgegengesetzten Ergebnissen *spin up* und *spin down*.
- Diese irreflexive Relation von Eigenschaften kann es aber nur an zwei verschiedenen Elektronen geben.
 (Reflexive Relation: x hat am selben Tag Geb. wie y.)
- → Individualität der Elektronen durch relationale und nicht durch monadische Eigenschaften garantiert.
- → Verschränkungs**struktur** ist **ontologisch fundamental**.



Argument pro OSR am Beispiel eines 2-Elektronen-Systems:

- Die beiden Elektronen haben zwar dieselben monadischen Eigenschaften. Die entscheidenden relationalen Eigenschaften bzgl. ihrer Verschränkungen im Mehrteilchen-System werden dabei aber völlig außer acht gelassen.
 - Z.B. Spinmessungen mit entgegengesetzten Ergebnissen *spin up* und *spin down*.
- Diese irreflexive Relation von Eigenschaften kann es aber nur an zwei verschiedenen Elektronen geben.
 (Reflexive Relation: x hat am selben Tag Geb. wie y.)
- → Individualität der Elektronen durch relationale und nicht durch monadische Eigenschaften garantiert.
- → Verschränkungs**struktur** ist **ontologisch fundamental**.



Argument pro OSR am Beispiel eines 2-Elektronen-Systems:

- Die beiden Elektronen haben zwar dieselben *monadischen* Eigenschaften. Die entscheidenden relationalen Eigenschaften bzgl. ihrer Verschränkungen im Mehrteilchen-System werden dabei aber völlig außer acht gelassen.
 - Z.B. Spinmessungen mit entgegengesetzten Ergebnissen spin up und spin down.
- Diese irreflexive Relation von Eigenschaften kann es aber nur an zwei verschiedenen Elektronen geben. (Reflexive Relation: x hat am selben Tag Geb. wie y.)
- Individualität der Elektronen durch relationale und nicht durch monadische Eigenschaften garantiert.
- → Verschränkungsstruktur ist ontologisch fundamental.



Zwischenfazit

Wie die Probleme klass. Interpretationen gelöst wurden:

 Fehlende synchrone Identität von Quantenobjekten kein Problem mehr, da einzelne Dinge nicht mehr fundamental sind.

Meine Kritik:

 Die Verschränkungsstruktur ist gar keine relationale Eigenschaft, sondern es gibt ein Objekt (das 2-El.-System), das die Disposition hat, bei Spin-Messung bestimmte Korrelationen zu zeigen.



Zwischenfazit

Wie die Probleme klass. Interpretationen gelöst wurden:

 Fehlende synchrone Identität von Quantenobjekten kein Problem mehr, da einzelne Dinge nicht mehr fundamental sind.

Meine Kritik:

 Die Verschränkungsstruktur ist gar keine relationale Eigenschaft, sondern es gibt ein Objekt (das 2-El.-System), das die Disposition hat, bei Spin-Messung bestimmte Korrelationen zu zeigen.



Überblick

- 1 Interpretation physikalischer Theorier
- 2 Teilcheninterpretation
- 3 Feldinterpretation
- 4 Ontischer Strukturenrealismus
- 5 Tropenontologie
- 6 Strukturen versus Troper
- 7 Fazit



Eine Motivation der Tropenontologie

OSR

- Grundidee: Probleme traditioneller Ontologien dadurch lösen, dass Dinge/"Substanzen" (wie Elektronen) nicht als fundamental angenommen werden, sondern etwas anderes.
- Fundamental: Strukturen bzw. Relationen.

Tropenontologie

 Trifft soweit auch auf "Tropenontologie" zu.

■ Fundamental: Eigenschaften (i.S.v. "Tropen").



Eine Motivation der Tropenontologie

OSR

- Grundidee: Probleme traditioneller Ontologien dadurch lösen, dass Dinge/ "Substanzen" (wie Elektronen) nicht als fundamental angenommen werden, sondern etwas anderes.
- Fundamental: Strukturen bzw. Relationen.

Tropenontologie

Trifft soweit auch auf "Tropenontologie" zu.

■ Fundamental: Eigenschaften (i.S.v. "Tropen").



Tropenontologie

"Tropen" als ontologische Kategorie:

- Einzelne Vorkommnisse von Eigenschaften.
- Hilfreiche Analogie: individuelles Vorkommnis von Weiß / Universalie Weiß ist analog zum Verhältnis einzelner Mensch / natürliche Art der Menschen.

Tropenontologie: Dinge als Bündel von Eigenschaften

Tropenontologie (in ihrer Standardform):

- Tropen bilden die fundamentale Kategorie des Seienden, auf die alles andere reduzierbar ist.
 - → **Einkategoriale** Ontologie!
- Beispiel: Dieser Presenter ist ein Bündel von Tropen, nämlich dieser Schwarztrope, d.h. diesem individuellen Vorkommnis von Schwarz, dieser plastikartigen Konsistenz, dieser langgezogenen Birnengestalt usw.

Wie die Probleme klass. Interpretationen gelöst wurden

- Entscheidend: Tropen werden nicht über die Dinge individuiert, deren Eigenschaften sie sind, sondern ihre Partikularität (oder "Einzeldinglichkeit") ist **primitiv** gegeben.
- → Kein Konflikt mit Leibniz-Prinzip:

Wie die Probleme klass. Interpretationen gelöst wurden

- Entscheidend: Tropen werden nicht über die Dinge individuiert, deren Eigenschaften sie sind, sondern ihre Partikularität (oder "Einzeldinglichkeit") ist **primitiv** gegeben.
- → Kein Konflikt mit Leibniz-Prinzip:

Zwei Elektronen mit exakt ähnelnden Ladungstropen sind zwei verschiedene Dinge, da sie in ihren Eigenschaften – im Sinne von Tropen - gar nicht exakt übereinstimmen. Eigenschaften sind nach der Tropenontologie Einzeldinge und folglich auch die Dinge, die nichts als Bündel von Tropen sind.

Überblick

- 1 Interpretation physikalischer Theorier
- 2 Teilcheninterpretation
- 3 Feldinterpretation
- 4 Ontischer Strukturenrealismu
- 5 Tropenontologie
- 6 Strukturen versus Tropen
- 7 Fazit



Strukturen können auf drei Weisen in der Ontologie enthalten sein:

- (i) Es gibt Dinge im gewöhnlichen Sinne (d.h. ...) und Strukturen bzw. Relationen, in denen diese Dinge zueinander stehen.
- (ii) Es gibt Dinge und Strukturen/Relationen, letztere sind aber in folgendem Sinne ontologisch primär:
 - Dinge haben keine intrinsischen Eigenschaften, sondern ihre Eigenschaften rein relational bestimmt sind.
 - D.h. die Natur der Dinge besteht vollständig in diesen Strukturen/Relationen.
- (iii) Es gibt nur Strukturen/Relationen.



Strukturen können auf drei Weisen in der Ontologie enthalten sein:

- (i) Es gibt sowohl Dinge und/oder Eigenschaften (im gewöhnlichen Sinne) als auch Strukturen bzw. Relationen.
 - \rightarrow Keine neue Ontologie.
- (ii) Es gibt Dinge/Eigenschaften und Strukturen/Relationen, letztere sind aber ontologisch primär.
 - → Wirklich möglich? Hauptfrage im Folgenden.
- (iii) Es gibt nur Strukturen/Relationen.
 - → Scheint nur mit abstrakten Strukturen zu funktionieren.

 Denn wie sollten Strukturen konkret realisiert sein ohne Relata?



- Die meisten heutigen Anhänger des OSR sind dezidiert keine Platonisten. → Es geht also nicht um abstrakte Strukturen.
- Konkrete (d.h. raum-zeitlich realisierte) Strukturen sind existentiell abhängig, denn:
 - Strukturen können nicht konkret existieren, ohne irgendwelche Entitäten, als *deren* Strukturen sie in Erscheinung treten.
- Welche Entitäten sind das?



- Die meisten heutigen Anhänger des OSR sind dezidiert keine Platonisten. \rightarrow Es geht also nicht um abstrakte Strukturen.
- Konkrete (d.h. raum-zeitlich realisierte) Strukturen sind existentiell abhängig, denn:
 - Strukturen können nicht konkret existieren, ohne irgendwelche Entitäten, als *deren* Strukturen sie in Erscheinung treten.
- Welche Entitäten sind das?



Möglichkeit (i) für Art der existentiellen Abhängigkeit von Strukturen:

- Die Entitäten, an/in denen Strukturen sich manifestieren, sind konkrete Dinge.
 - → **OSR kollabiert in klassische Ontologie** von Dingen und Eigenschaften (inkl. relationalen Eigenschaften).

Bei **Tropen** ist das nicht so:

- Tropen konstituieren Dinge.
- Tropen brauchen keine Dinge, um konkret zu existieren, es ist ihre Natur, als konkrete Partikularien zu existieren.



Möglichkeit (i) für Art der existentiellen Abhängigkeit von Strukturen:

- Die Entitäten, an/in denen Strukturen sich manifestieren, sind konkrete Dinge.
 - ightarrow OSR kollabiert in klassische Ontologie von Dingen und Eigenschaften (inkl. relationalen Eigenschaften).

Bei **Tropen** ist das nicht so:

- Tropen konstituieren Dinge.
- Tropen brauchen keine Dinge, um konkret zu existieren, es ist ihre Natur, als konkrete Partikularien zu existieren.



Möglichkeit (i) für Art der existentiellen Abhängigkeit von Strukturen:

- Die Entitäten, an/in denen Strukturen sich manifestieren, sind konkrete Dinge.
 - ightarrow OSR kollabiert in klassische Ontologie von Dingen und Eigenschaften (inkl. relationalen Eigenschaften).

Bei **Tropen** ist das nicht so:

- Tropen konstituieren Dinge.
- Tropen brauchen keine Dinge, um konkret zu existieren, es ist ihre Natur, als konkrete Partikularien zu existieren.



Möglichkeit (ii) für Art der existentiellen Abhängigkeit von Strukturen:

- Die Entitäten, an/in denen Strukturen sich manifestieren, sind selbst wieder Strukturen und zwar einer niedrigeren Stufe.
 - \rightarrow
 - a) Unklar, wieso Strukturen sich dadurch konkret manifestieren sollen. Das wäre aber für eine Ontologie der materiellen Welt nötig.
 - b) Schließlich willkürlicher Abbbruch oder infiniter Regress.



Möglichkeit (iii) für Art der existentiellen Abhängigkeit von Strukturen:

- Strukturen (oder Netze von Relationen) sind existentiell abhängig von Entitäten auf derselben Ebene.
- Scheint zunächst ganz analog zur Tropenbündeltheorie zu sein.

 Aber: Tropen sind zwar auch existentiell abhängig, aber sie hängen voneinander ab (Vergleich: Indianerzelt) und können zusammen (d.h. im Bündel) existentiell eigenständige Dinge bilden
- Es ist aber nicht ersichtlich, wie Relationen Dinge bilden sollen, es sei denn, man nimmt auch Tropen in die Ontologie auf.



Möglichkeit (iii) für Art der existentiellen Abhängigkeit von Strukturen:

- Strukturen (oder Netze von Relationen) sind existentiell abhängig von Entitäten auf derselben Ebene.
- Scheint zunächst ganz analog zur Tropenbündeltheorie zu sein. Aber: Tropen sind zwar auch existentiell abhängig, aber sie hängen voneinander ab (Vergleich: Indianerzelt) und können zusammen (d.h. im Bündel) existentiell eigenständige Dinge bilden.
- Es ist aber nicht ersichtlich, wie Relationen Dinge bilden sollen, es sei denn, man nimmt auch Tropen in die Ontologie auf.



Überblick

- 1 Interpretation physikalischer Theorien
- 2 Teilcheninterpretation
- 3 Feldinterpretation
- 4 Ontischer Strukturenrealismus
- 5 Tropenontologie
- 6 Strukturen versus Tropen
- 7 Fazit



Fazit

Fazit

- Die moderne Physik spricht gegen eine Substanzontologie. Aber: es gibt einen weniger radikalen Weg als den Strukturenrealimus, um eine Substanzontologie zu vermeiden, nämlich die Tropenontologie.
- Wenn nicht alle fundamentalen Entitäten in der Ontologie Relationen sind, dann bleibt als bester Ausweg: Eigenschaften sind fundamental und umfassen auch relationale Eigenschaften.
- → OSR kollabiert in die Tropenontologie.



Fazit

- Symmetrie-Strukturen sind insb. in der modernen Physik entscheidend.
- Ontologisch trägt man dem am beste nicht dadurch Rechnung, dass man Strukturen zu den fundamentalen Elementen der Ontologie erhebt, sondern dadurch, dass uns Symmetrien den Weg zu den fundamentalen Elementen der Ontologie weisen $(\rightarrow Wigner)$.