

Quantentheorie und Realität

Reloaded

Die neuen epistemischen Interpretationen der Quantenmechanik

Workshop der Heisenberg-Gesellschaft

„Quantenphysik an der Schule“

Schloss Waldthausen, 8.-10. Juli 2015

Übersicht

- 1. Über die vielen Formen des Realismus**
- 2. Realismus und Quantentheorie – die alte Geschichte**
- 3. Die neuen epistemischen Interpretationen der Quantentheorie**
- 4. Schlussüberlegungen**

1. Über die vielen Formen des Realismus

Was bedeutet „realistisch“?

z.B. bei Modellen: realistisch vs. idealisiert

realistische Auffassung wissenschaftlicher Aussagen/
physikalischer Theorien vs. instrumentalistischem Verständnis

Realismus: Theorien sind Repräsentationen/ Abbildungen einer Realität, von der man annimmt, dass sie unabhängig von unserem Wissen und unseren Erkenntnismitteln existiert.

Landkarten – Metapher

Abbildung ist vereinfacht, benutzt konventionelle Symbole
(instrumentalistisch: Hammer)

Verschiedene Varianten einer „realistischen Gesamteinstellung“:

R1: Es gibt eine Wirklichkeit, die der Existenz nach von uns und unserem Bewusstsein unabhängig ist.

R2: Die Wirklichkeit weist Beschaffenheiten und Strukturen auf, die von unserem Bewusstsein unabhängig sind.

Varianten einer „realistischen Gesamteinstellung“:

R1: Es gibt eine Wirklichkeit, die der Existenz nach von uns und unserem Bewusstsein unabhängig ist.

R2: Die Wirklichkeit weist Beschaffenheiten und Strukturen auf, die von unserem Bewusstsein unabhängig sind.

R3: Nennenswerte Teile der Wirklichkeitsstrukturen sind unserem Denken zugänglich und werden in unserem Wissen erfasst.

Was bedeutet es, dass eine wissenschaftliche Theorie mit der Welt übereinstimmt?

Wie ein Postkarte mit der Landschaft?

Insbes. in der Wissenschaftstheorie: Sonderfall des sog. „Wissenschaftlicher Realismus“:

Theorien der reifen Wissenschaft haben einen Wahrheitsanspruch und beziehen sich auf tatsächlich existierende Gegenstände und Prozesse.

Die Existenzbehauptungen beziehen sich nicht nur auf beobachtbare Gegenstände, sondern auch z. B. auch auf Quantenfelder und Raum-Zeit-Metriken.

Rolle und Ziel physikalischer Theorien?

Nur Vorhersagen von Beobachtungen?

Erklären/ Verstehen der Natur, z. B. durch Vereinheitlichung der Gesetze?

Unterschied zwischen Mikrophysik und Alltagsphysik?

„Ein semantischer Realist in Sachen Mikrophysik ist jemand, der glaubt, dass es eine feste Menge von Tatsachen über die Struktur der Welt gibt und dass es das Ziel der Mikrophysik ist, diese Struktur zu entdecken, also Theorien zu formulieren und Belegmaterial zu beschaffen, welches die Annahmen rechtfertigt, dass jene Theorien eine wahre Beschreibung dieses Aspekts der Realität liefern.“

P. Horwich

Realisten behaupten nicht, dass das gelingen muss, gehen aber davon aus, dass die Strukturen nicht von der Methodologie abhängen.

Argumente pro und kontra Realismus

kontra:

Es gibt keine Möglichkeit, die Theorien mit der Welt selbst zu vergleichen.

Wissenschaftlicher Wandel ist ein Indiz, dass Realismus falsch ist (wechselnde Existenzannahmen).

Erfahrungen können eine Theorie nicht festlegen, mit einer festen Menge von Daten sind immer viele Theorien vereinbar (Unterbestimmtheit).

Argumente pro und kontra Realismus

kontra:

Es gibt eine Pluralität schichtenspezifischer
Beschreibung der Welt.

„Der Realist muss bloß behaupten, dass es nur eine Welt
gibt, aber nicht, dass sie nur eine wahre Beschreibung
zulässt.“

T. Bartelborth

Argumente pro und kontra Realismus

pro:

Der Realismus ist eine plausible Common sense –
Auffassung. Abweichungen davon müssen begründet
werden.

Konvergenzen in der Theorieentwicklung

Die Annahme, dass es eine Außenwelt mit Gegen-
ständen gibt, die bestimmte Eigenschaften haben, ist
die beste Erklärung für den Erfolg der Wissenschaft

„Wunderargument“

neue, unerwartete Vorhersagen

Argumente pro und contra Realismus

Auseinandersetzung ist nicht empirisch entscheidbar,
Die Praxis der Physik scheint auch mit sehr schwachen
Formen des Realismus vereinbar zu sein.

*Im 20. Jh. Überlegungen aus der Quantenmechanik,
die den Realismus mit der Quantenmechanik nicht für
vereinbar halten.*

2. Realismus und Quantentheorie – die alte Geschichte

Scientific American, Nov. 1979

„Die Auffassung, dass die Welt aus Objekten besteht, deren Existenz unabhängig vom menschlichen Bewusstsein ist, erweist sich als unvereinbar mit der Quantenmechanik und mit Fakten, die experimentell bestätigt sind.“

C.F. von Weizsäcker:

Die Quantenmechanik ist eine Physik „die gar nicht mehr realistisch gedeutet werden kann.“

Vier Strategien des Antirealismus auf der Grundlage der Quantentheorie

- (i) Zustandsreduktion, Kollaps der Wellenfunktion als
Leistung des Bewusstseins

Deus ex machina, Wigners Freund

- (ii) Alle Observablen müssen in allen Zuständen einen
definierten Wert haben (*speziell auch verborgene
Parameter*).

Realismus erfordert keine klassische
Ontologie.

- (iii) „Lokal-realistische“ Theorien können EPR-
Korrelationen nicht reproduzieren.

Realisten sind nicht auf lokal-realistische
Theorien festgelegt.

(iv) (relationale Auffassung)

Die Quantenmechanik ist die Wissenschaft von der Natur, wie sie sich uns zeigt, wenn sie mit bestimmten Beobachtungsverfahren untersucht wird.

Messprozess bleibt im Nebel.

Einschränkung des Geltungsbereichs zeigt sich nicht im Formalismus der Quantentheorie.

Zusammenhang von Mikro- und Makrowelt?

Heuristisch: Beruhigungsphilosophie?



3. Die neuen epistemischen Interpretationen der Quantentheorie

„...quantum states are not descriptions of quantum systems but rather reflect the assigning agents' epistemic relations to the systems.“

Simon Friederich (2011)

Caves, C.M., Fuchs, C.a. & Schack, R.: Quantum probabilities as Bayesian probabilities, Physical Review A, 65 (2202) 022305

Caves, C.M., Fuchs, C.a. & Schack, R.: Subjective probability and quantum certainty. Studies in History and Philosophy of Modern Physics 38 (2007) 255-274

„...quantum states are not descriptions of quantum systems but rather reflect the assigning agents' epistemic relations to the systems.“

Simon Friederich (2011)

Wahrscheinlichkeiten sind subjektive

Wahrscheinlichkeiten.

Quantenzustände (Wellenfunktion, Hilbertraumvektor oder Dichtematrix) beziehen sich nicht (direkt) auf objektive Zustände, sondern auf die Stärke von Überzeugungen („degrees of belief“) über den Ausgang von Messungen.

„...quantum states are not descriptions of quantum systems but rather reflect the assigning agents' epistemic relations to the systems.“

Simon Friederich (2011)

Wahrscheinlichkeiten sind subjektive Wahrscheinlichkeiten.

Im Blick sind einzelne Quantensysteme (also nicht einfach fehlende Kenntnis).

Überzeugungen gehören zu einzelnen Menschen (,agents'), unter gleichen Umständen können verschiedene Menschen verschiedene Hypothesen über den Quantenzustand eines Systems haben.

Es ist sinnlos, von dem ,richtigen' Quantenzustand zu sprechen.



Zusammenfassung nach Timpson:

*„The quantum state ascribed to an individual system is understood to represent a compact summary of an agent’s degrees of belief about what the results of measurement interventions on a system will be, **and nothing more**“.*

Quantenbayesianismus:

Wahrscheinlichkeiten ändern sich aufgrund von neuen Erfahrungen (über bedingte Wahrscheinlichkeiten).



Motivation

1. Vorteile beim Verständnis des Kollapses der Wellenfunktion.

Schrödinger-Gleichung führt nicht immer zu bestimmten Messwerten. Messprozess und Kollaps der Wellenfunktion sind nicht gut verstanden (many worlds? GRW?).

Kollaps in der epistemischen Deutung:

Änderung des Wissens-Zustand aufgrund neuer Informationen (‘update‘ der Überzeugungen aufgrund von Erfahrungen).

Kollaps ist Änderung im Wissen, nicht im System selbst.



Motivation

2. Keine Probleme mit nichtlokalen Zuständen

Abhängigkeit von raumartig liegenden Messungen, Wahl der Messrichtung scheint Messergebnis am entfernten Messgerät zu beeinflussen. Problem mit spezieller Relativitätstheorie.

Für epistemische Deutung (angeblich) kein Problem: Kenntnis über Korrelationen ist vorhanden, über physikalische Mechanismen der Erzeugung der Korrelationen wird keine Aussage gemacht.

Vorhersagen der Quantenmechanik über Korrelationen sind immer noch überraschend, aber es gibt keinen Konflikt mit der Relativitätstheorie.



Konsequenzen

Keine Annahme eines Zustands eines Quantensystems „draußen in der Welt“ („ontic state“).

Prinzipiell keine Angaben darüber, unter welchen Bedingungen welche Observablen definierte Werte haben.

Unterschied zu Verborgenen Parametern

Übereinstimmung zwischen den Überzeugungen der PhysikerInnen nicht automatisch:

Messergebnisse

Konvergenz nach wiederholten Updates



Wahrscheinlichkeiten

Fuchs, Caves and Schack: Quantum Bayesianism

„... quantum probabilities are not the objects of our belief, but they indicate how strongly we believe that the measurement outcomes in question might occur.“

Detaildiskussionen über korrekte Anwendung von Wahrscheinlichkeiten.



Realismus?

Anspruch, die Natur realistisch zu verstehen (wenn auch nicht Quantenzustände).

Widerständigkeit der Welt.

Trotzdem Annahme, dass Mikroobjekte unabhängig von ‚agents‘ existieren (man weiß nur nichts darüber).

Makroobjekte existieren und man weiß viel über sie.

Aussagen über Werte von Observablen nur insofern sie den ‚agents‘ zugänglich sind (z.B. durch Messung).

Realismus?

Anspruch, die Natur realistisch zu verstehen (wenn auch nicht Quantenzustände).

Bestimmte Dinge werden entdeckt.

Regeln der Zuordnung von Zuständen.

Friederich lässt Teil-Realismus zu (2011, 157):

„Quantum mechanical formalism reflects objective features of the world in virtue of the empirical meaning of its constituents, which is partly fixed by the rules governing state assignment.“



Vorteile

Keine weiteren Annahmen (wie verborgene Parameter, Viele Welten, Kollaps der Wellenfunktion)

Vermeidung der Schwierigkeiten mit dem Messprozess

Vermeidung der Konflikte mit der Nicht-Lokalität (EPR)

Anspruch einer realistischen Auffassung der Physik, allerdings keine realistische Interpretation von Quantenzuständen.



Schwierigkeiten

1) Was existiert? Welches Weltbild?

Weltbild mit Dispositionen?

2) Zusammenhang von Mikro- und Makrobereich?

Makroskopisch auch bayesianistisch?

3) Was ist eine korrekte Zustandszuschreibung?

Simon Friederich: Schrödingergleichung als konstitutive Regel



Schwierigkeiten

4) Kann man Erklärungskraft der Quantenmechanik verständlich machen?

z.B. Details aus der Festkörperphysik

Letztlich sind wir nicht an Überzeugungen von ‚agents‘ interessiert, sondern an den Sachen.

5) Kann man in diesem Rahmen den Erfolg der Methoden in der Quantentheorie verständlich machen (‚means/ends-objection‘)

Warum ist Vorgehen nach Bayesianismus erfolgreich?



Kurzer Exkurs zu Heisenberg

Kollaps der Zustandsfunktion als Änderung des Wissens schon bei Heisenberg. Vorläufer der neuen epistemischen Deutungen?

Allerdings: bei reinen Zuständen keine subjektiven Anteile, eher objektive Wahrscheinlichkeiten (propensity-Interpretation)

Unklarer Befund bei Heisenberg, verstreute Bemerkungen aber kein systematischer Hintergrund. (s. S. Friederich)

4. Schlussbemerkungen

Ähnlichkeit zur instrumentalistischen Theorieauffassung und pragmatischer Umgang mit Quantentheorie (sie funktioniert, ist aber nicht in einem starken Sinne wahr).

Entscheidungskriterien für/gegen Realismus?

Verschiedene Erkenntnistheorien für die Mikro- und für die Makrowelt?

Vereinbarkeit mit sonstigen Vorstellungen:

Empirismus in den 20er Jahren; Konjunktur des Bayesianismus in der Methodologie oder in der Kausaltheorie (Bayes-Netze)

Entscheidungskriterien für/gegen Realismus?

Welche Aspekte der Theorie und der Praxis unseres Umgangs mit der Quantenmechanik erklärt der Quantenbayesianismus besser als realistische Auffassungen?

Größere heuristische Fruchtbarkeit des Realismus?

Notwendig ist eine Gesamtbewertung der Vor- und Nachteile

Eventuell so:

Beste Theorie, die erreichbar ist, kann nur pragmatisch akzeptabel sein

„Wir können uns glücklich schätzen, wenn es uns gelingt, die Unschärferelationen und den Indeterminismus der gegenwärtigen Quantenmechanik in einer Weise zu beschreiben, die für unsere philosophischen Überlegungen befriedigend ist. Wenn uns dies aber nicht gelingt, dann sollten wir deswegen nicht allzu beunruhigt sein. Wir dürfen einfach nicht vergessen, dass wir uns in einem Übergangsstadium (der Physik) befinden, und dass es vielleicht ganz unmöglich ist, in diesem Stadium ein befriedigendes Bild zu erhalten.“

P.A.M. Dirac, *Scientific American* Mai 1963



Literatur

Christopher Timpson: *Quantum Bayesianism: A Study*,
Studies in History and Philosophy of Modern Physics 39 (2008)
579 - 609

Friederich, Simon: *How to spell out the epistemic conception of
quantum states*, Studies in History and Philosophy of Modern
Physics 42 (2011) 149-157

Friederich, Simon: *Interpreting Quantum Theory. A Therapeutic
Approach*, Houndsmills, Basingstoke 2015 (Palgrave
Macmillan)