

Motivation: Führt der Quanten-Holismus zu einer neuen Weltanschauung?

# 1. Was gilt als Holismus der Quantenphysik?

## 1.1. Physikalische Grundlagen für Holismus in der Quantenphysik

- Beispiel zu Spin (**Bohm**, 1952)
  - *Einführung der Begriffe*: Spin, Produktzustand, reiner Zustand, Überlagerung von Zuständen (Superposition), **Singulett-Zustand**
- Einschlägige Experimente, die mit Photonen arbeiten
  - Zustandsreduktion durch Messung, Wahrscheinlichkeitsveränderung der Messergebnisse, auch bei raumartiger Trennung, Theorem von Bell
- *zustandsabhängige* (Ort, Impuls, Spin) und *zustandsunabhängige* Eigenschaften (Masse und Ladung), Observablen (Eigenschaften eines Systems)
- *Zustandsverschränkungen* (Schrödinger, 1935): nur Ganzes ist in reinem Zustand
- *Dichtenmatrix* (Beschreibung von jedem System einzelnen), *uneigentliche Mischung* (improper mixture, d'Espagnat, 1971, Informationen, die für sich genommen zugänglich sind (unvollständig, da ohne Korrelationen))
- Erläuterung der uneigentlichen Mischung bzw. *gemischten Zustandes* am Beispiel Singulett-Zustand, lokale Observablen; gleiche Wahrscheinlichkeiten, identische Beschreibungen für beide Systeme
- gemischter Zustand bzw. uneigentliche Mischung (einzeln) vs. *reiner Zustand* (zusammengenommen); Zustandsverschränkungen und Holismus: lokale Eigenschaften des Systems nicht vollständig festgelegt

durch Beschreibung einzelner (Teil-)Systeme, Veränderung der W-Verteilung lokaler Eigenschaften dieses Systems durch Messung fehlt, diese Art der Beschreibung determiniert nicht Zustand des Ganzen; nur Beschreibung des Ganzen legt lokale Eigenschaften der Teile und ihre Relationen vollständig fest

- **Gedankenexperiment von Einstein, Podolsky und Rosen, 1935**
- Zustandsverschränkung ist keine Wissensbeschränkung, sondern Realität; (3) referiert auf den Zustand, in dem beide Systeme zusammengenommen vor Messung sind, d.h. Quantentheorie sagt etwas darüber aus, wie die Natur unabhängig von Messungen beschaffen ist
- *Vermeidung* des Holismus in Quantenphysik möglich
  - Unvollständigkeit, *verborgene Parameter*, diese determinieren Zustand (jedoch hoher Preis, da Theorem von Bell, 1964 und exp. Bestätigung der Korrelation raumartig getrennter Messungen)
  - *Theorie von Bohm* (1993): *Quantenpotential* verbindet räumlich getrennte Systeme (ebenfalls Holismus)
  - Elsfeld: realistische Interpretation der Quantentheorie ohne verborgene Parameter
- **minimale Anforderung für realistische Interpretation der Quantentheorie**: *Observablen, von denen ein System in einem gegebenen Zustand einen definiten numerischen Wert hat, als Eigenschaften anzuerkennen, die dieses System objektiv in diesem Zustand hat*

- Anwendung der Anforderung auf *Singulett-Zustand*: keines der (Sub-)Systeme hat definiten numerischen Wert einer lokalen Spin-Observable, jedoch ist Singulett-Zustand Eigenzustand einer globalen Spin-Observable (Gesamtspin, Observable des Gesamtsystems, definiter numerischer Wert null)
- Anwendung der Anforderung auf *Gedankenexperiment von Einstein, Podolsky und Rosen, 1935*: keines der (Sub-)Systeme hat definiten numerischen Wert für Ort oder Impuls, jedoch zusammengenommen (reiner Zustand) haben globale Observablen definiten numerischen Wert: relativer Abstand (deterministisch über die Zeit) und Gesamtimpuls (null)

#### >>> **Gesamtsystem HAT Eigenschaften**

- globale Observablen als *Kombination* lokaler Observablen der Teile; W-Verteilungen für lokale Observablen und Korrelationen zwischen W-Verteilungen; W's sind *objektive* W's: kein Wissensmangel
- *globale Eigenschaften*: Dispositionen der Subsysteme, je einen definiten numerischen Wert anzunehmen;
  - W-Verteilungen bestehen in Propensitäten und zeigen Stärke von Propensitäten an (Shimony, 1986);
  - Aufgabe der Prämisse definiter numerischer Werte physikalischer Eigenschaften, W-Verteilungen sind mit Werten von Eigenschaften assoziiert, die objektive Dispersion aufweisen (Bunge, 1985)
  - dies jedoch nicht wichtig, **Kern des Quanten-Holismus**: *es gibt globale Eigenschaften der betroffenen Systeme zusammen; keine lokalen Eigenschaften jedes Subsystems, die in einzelner*

*Beschreibung erfassbar sind und diese globalen Eigenschaften determinieren*

## 1.2. Begriffliche Charakterisierung des Quanten-Holismus

- **Teller, 1986**: Holismus der Quantenphysik als *Versagen von Supervenienz* (Bei Zustandsverschränkung ist Zustand des Gesamtsystems nicht durch die Beschreibungen in Begriffen eines gemischten Zustands determiniert, die den Teilen einzeln zugeordnet werden können; Gesamtsystem ist nicht supervenient bzgl. Teilbeschreibungen), Relationen zwischen Teilen sind nicht supervenient bzgl. *nicht-relationaler Eigenschaften* der Teile, Singulett-Zustand als Relation zwischen zwei Teilsystemen, welche nicht supervenient bzgl. nicht-relationaler Eigenschaften der Teilsysteme ist > relationaler Holismus
- Zustandsverschränkung als *nicht-superveniente Relationen*; relationale Eigenschaft jedes Systems: dessen Zustand ist mit Zuständen anderer Subsysteme verschränkt (einzeln in unreinem Zustand, nur gemeinsam in reinem Zustand); diese Relationen gibt es in Quantenphysik, aber auch in *räumlichen und raum-zeitlichen Relationen* (nicht-relationale Eigenschaften determinieren nicht räumlichen oder raumzeitlichen Abstand zwischen zwei Systemen); letzteres ist kein Fall von Holismus
- Ausnahme von raum-zeitlichen Relationen genügt nicht, da es noch weitere nicht-superveniente Relationen gibt, die kein Fall von Holismus sind; **Lewis' Gedankenexperiment, 1986** zu nicht-supervenienten Ladungs-Relationen
- *Nicht-superveniente Relationen über die raum-zeitlichen Relationen hinaus sind eine notwendige Bedingung für die quantentheoretischen Zustandsverschränkungen; aber es*

*handelt sich hierbei nicht um eine hinreichende Bedingung. Wir benötigen eine Unterscheidung innerhalb nicht-supervenienter Relationen, die das herausgreift, was für die Zustandsverschränkungen in der Quantenphysik spezifisch ist.*

- Unterscheidung erreichbar über **Analyse der Eigenschaften**, in Bezug auf die diese Systeme miteinander verschränkt sind
  - Singulett-Zustand: Verschränkung in Bezug auf Spin
  - Gedankenexperiment von E, P & R: Verschränkung in Bezug auf Ort und Impuls
- *Weiterer Vorschlag für Charakterisierung des Quanten-Holismus durch Versagen von Supervenienz: Healy, 1991:* Gesamtsystem hat Eigenschaften, die seine Teile nicht haben und die nicht supervenient sind bzgl. Eigenschaften der Teile und ihrer Relationen; Eigenschaften der Teile und räumliche Relationen determinieren nicht Eigenschaften des Ganzen
- wichtiges Merkmal des Holismus der Quantenphysik: physikalisches Ganzes hat Eigenschaften, die nicht supervenient sind bezüglich nicht-relationaler Eigenschaften der Teile; Erwartung, dass globale Observablen relativer Abstand, Gesamtimpuls oder Gesamtspin durch Eigenschaften der Teile determiniert sind, jedoch haben Teile keine Eigenschaften, die diese Eigenschaften des Ganzen determinieren; Healys Konzeption dessen: *emergente Eigenschaften* (nicht-relationale Eigenschaften des Ganzen, die (a) der Art nach verschieden sind, (b) nicht auf Eigenschaften der Teile *reduzierbar*)
- Widerspruch Elsfelds: Kritik an emergenten Eigenschaften, die der Art nach verschieden sind von den Eigenschaften der Teil
  - 1. globale Observablen sind *Kombinationen* lokaler Observablen, die sich auf die Teile beziehen (in formalistischer Darstellung); relativer Abstand, Gesamtimpuls

und Gesamtspin als Untermenge von Ort, Impuls, Spin  
2. Eigenschaften des Gesamtsystems sind nur *bedeutsam*, wenn sie etwas über die Teile aussagen: globale Observablen (relativer Abstand, Gesamtimpuls = 0, Gesamtspin = 0) geben an, *wie die Teile in Bezug auf Ort / Impuls / Spin miteinander verbunden* sind, obwohl keines der Teile einen definiten numerischen Wert von Ort / Impuls / Spin hat

- *Bei Zustandsverschränkungen haben wir es mit Eigenschaften des Ganzen zu tun, die nicht supervenient sind bzgl. der nicht-relationalen Eigenschaften, welche jedes Teil hat, die aber die Weise anzeigen, in der die Teile in Bezug auf einige ihrer lokalen Eigenschaften miteinander verbunden sind*
- *Dritter Vorschlag für Charakterisierung des Quanten-Holismus: Howard, 1989, 1997:* Konzept eines Versagens von *Separabilität*
  - (1) *räumlich* getrennte Systeme besitzen je einen *eigenen, distinkten Zustand*
  - (2) der Zustand eines Gesamtsystems ist *vollständig determiniert* durch die Zustände seiner Teile
    - Nichtseparabilität als hinreichend für ontologischen Holismus
    - Separabilität als Prinzip der *Individuation* physikalischer Systeme
    - bei Zustandsverschränkungen liegt nur *ein ganzheitliches System* vor
- Elsfeld:
  - (a) *Der Holismus der Quantenphysik besteht in der Nichtseparabilität der Zustände zweier oder mehrerer physikalischer Systeme.*
  - (b) *Die Nichtseparabilität macht es zumindest fragwürdig, ob*

*überhaupt mehrere physikalische Systeme im Sinn mehrerer Individuen vorliegen.*

- *innere Struktur* des Ganzen > ganzheitliches System aus *mehreren Teilen* (ob nun Individuen oder nicht); ansonsten macht es keinen Sinn von Zustandsverschränkungen (Darstellbarkeit eines Zustandes nur als Superposition von Produktzuständen) zu sprechen; Quanten-Holismus  $\Leftrightarrow$  mind. zwei Teile
- [haltbare Annahmen: Photonenpaar, Entfernung in entgegengesetzte Richtungen, bei Messung keinen Interaktion]
- *Festlegung einer Definition*: Teile eines quantentheoretischen Ganzen  $\Rightarrow$  **physikalisches System**; notwendig und hinreichend für physikalisches System, dass man physikalische Eigenschaften von ihm aussagen kann (z.B. Photonen in Bell-Experiment, Spin)
- Fallenlassen der Bedingung Howards *räumlicher Trennung* der betroffenen Systeme (Fälle von Zustandsverschränkungen ohne räumliche Trennung, z.B. Gesamtspinzustand der beiden Elektronen eines Heliumatoms: Singulett-Zustand, jedoch keine räumliche Trennung)
- Charakterisierung von
  - *Separabilität* (Elsfeld):
    - (1) Der Zustand eines Systems legt die *zustandsabhängigen, lokalen Eigenschaften* vollständig fest;
    - (2) der *Gesamtzustand* ist supervenient bzgl. der Subsystem-Zustände;
  - *Nichtseparabilität*: nur der Gesamtzustand legt die zustandsabhängigen, lokalen Eigenschaften der Subsysteme und die Relationen zwischen ihnen vollständig fest

- Bei Zustandsverschränkungen liegt Nichtseparabilität vor, da nur der reine Zustand des Gesamtsystems die lokalen Eigenschaften der Subsysteme und ihre Korrelationen festlegt
- Nichtseparabilität impliziert *Versagen von Supervenienz* (Relationen zwischen Subsystemen sind nicht supervenient bzgl. der Eigenschaften dieser Subsysteme, wie diese in uneigentlichen Mischungen ausgedrückt werden können; Ganzes hat Eigenschaften, die nicht supervenient sind bzgl. der Eigenschaften der Teile); Nichtseparabilität sagt jedoch noch mehr aus:
  - *Familie von Eigenschaften*, die etwas zu einem System der betreffenden Art machen; nicht-rationale und relationale Eigenschaften; Bsp. Sandkorn
  - Was macht etwas zu einem Quantensystem? Familie von Eigenschaften, die etwas zu Quantensystem machen: zustandsabhängige Eigenschaften wie Ort, Impuls, Spin; Masse, Ladung (zustandsunabhängig, hinreichend zur Unterscheidung innerhalb von Quantensystemen, machen jedoch nicht etwas zu Quantsystem); etwas, was Quantensystem ist, muss Ort, Impuls und Spin haben
  - Teilsysteme haben *nicht je separat* diese Eigenschaften, *nur zusammengenommen* haben sie diese Eigenschaften Ort, Impuls und Spin im Sinne relativer Abstand, Gesamtimpuls und Gesamtspin; diese Eigenschaften *zeigen die Weise an, in der die Teile in Bezug auf Ort / Impuls / Spin miteinander verbunden* sind; in Beschreibung sind Korrelationen der W-Verteilungen der lokalen zustandsabhängigen Observablen und die Veränderung der W-Verteilung durch Messung des anderen Systems eingeschlossen

- Was also Zustandsverschränkungen von anderen nicht-supervenienten Relationen / Eigenschaften eines Ganzen unterscheidet ist folgendes: *Im Falle von Zustandsverschränkungen haben die Teile einige der Eigenschaften, die zu der Familie von Eigenschaften gehören, die etwas zu einem Quantensystem machen, nur **zusammengenommen** - in dem Sinne, dass die resultierenden Eigenschaften des Ganzen die Weise anzeigen, in der die Teile miteinander verbunden sind in Bezug auf Eigenschaften wie Ort, Impuls und Spin in jeder Raumrichtung* (man erwartet, dass globale Eigenschaften durch lokale Eigenschaften determiniert sind; lokale Eigenschaften der Teile gibt es aber nicht; jedoch sagen die globalen Eigenschaften etwas über die Eigenschaften der Teilsysteme aus)
- Sind Quantensysteme Individuen?
  - **French und Redhead**, 1988: *Ununterscheidbarkeit*, wenn verschränkte Systeme der selben Art sind; zuschreibbare Prädikate treffen auf alle Systeme dieser Art zu > QS sind keine Individuen, da *Identitätsbedingungen* nicht erfüllt
  - **Elsfeld**: bestimmte Eigenschaften weisen Teilsysteme nur als *globale Observablen* auf, unterscheiden sich dadurch nicht voneinander (*ununterscheidbar* diesbezüglich, aller zustandsabhängiger Eigenschaften), wenn gleichartig, dann auch nicht bzgl. zustandsunabhängiger Eigenschaften unterscheidbar; da bestimmte Eigenschaften, die etwas zu QS machen, *nur zusammengenommen* aufweisen, also nur zusammengenommen ein Individuum; oder interne Struktur als hinreichend für Subsysteme als Individuen,

da es *definite Anzahl dieser Subsysteme* gibt, obwohl sie ununterscheidbar sind

- **Zusammenfassung:**
  - 1) *Zustandsverschränkungen* = es gibt nicht-superveniente Relationen über raum-zeitliche hinaus
  - 2) das Ganze hat Eigenschaften, die nicht supervenient bzgl. lokaler Eigenschaften der Teile sind; *globale Eigenschaften* zeigen aber an, wie die Teile bzgl. *lokaler Eigenschaften miteinander verbunden* sind
  - 3) Subsysteme (Quantensysteme) haben einige Eigenschaften, die etwas zu einem Quantensystem machen *nicht separat, sonder nur zusammengenommen*; resultierende globale Eigenschaften zeigen an, wie Teile miteinander bzgl. Ort, Impuls und Spin verbunden sind

## 2. Einschätzung der Grenzen des Quanten-Holismus

- Änderung der Sicht des mikrophysikalischen Bereichs, da Quantensysteme nicht Eigenschaften separat haben, wie von der klassischen Physik angenommen, sondern nur zusammengenommen aufweisen
- Sind makroskopische Systeme Zustandsverschränkungen unterworfen?
  - aufgrund des Messproblems der Quantenphysik keine Begrenzung der Zustandsverschränkungen, endet erst in Superposition von lebendig und tot
  - Bsp. Kette von von Neumann, 1932; Katze von Schrödinger, 1935
- *Messproblem* (von Neumann, Schrödinger):
  - (a) Messungen führen zu einem *definiten Ergebnis*
  - (b) Zustände aller beteiligten Systeme sind verschränkt,

wodurch *keines* der Systeme (nicht einmal Messgerät) in einem Zustand mit *definiten numerischen Wert* ist

- **Dekohärenz-Theorien:** obwohl nur das Ganze von Quantensystem, Umgebung und Messgerät in reinem Zustand ist, kann jeder Teil in Begriffen *uneigentlicher Mischung* beschrieben werden. Da sich Ganzes sehr schnell entwickelt, kann es operationell nicht von einer *eigentlichen Mischung* (jedes Teil ist in reinem Zustand, der Beobachter kennt aber nicht den reinen Zustand der einzelnen Subsysteme) unterschieden werden  
Interpretation dessen als
  - *Quanten-Holismus als universell*, Dekohärenz-Theorien als Mittel zur Erklärung, wieso die Welt dem Beobachter klassisch **erscheint**
  - Erweiterung der Dekohärenz-Theorien um *Annahme von Zustandsreduktionen*, damit werden verschränkte Zustände auf Produktzustände reduziert und somit kann man die **Existenz** eines klassischen Bereichs der Welt erklären
- **Option 1: Option für universellen Quanten-Holismus;** nur Welt an sich ist in einem reinen Zustand, für Teile gilt Zustandsverschränkung mit anderen Subsystemen, keine Zustandsreduktionen, definite numerische Werte und Unverschränktheit als Eigenschaften von Alltagsgegenständen sind nur Erscheinungen  
Uns erscheint die Welt so, weil
  - (a) nur *Untermenge* der Eigenschaften physikalischer Systeme zugänglich, darum Abstraktion von Zustandsverschränkungen (Landman, 1995)

(b) Abgrenzung physikalischer Systeme durch *Schnitte*, zur Abstraktion von objektiv bestehenden

Zustandsverschränkungen (Primas, 1993)

(c) *many minds* eines Beobachters, so dass man mehrere gleichzeitige, inkompatible aber nicht miteinander inferierende Erfahrungen haben kann

- **Option 2: Option für begrenzten Quanten-Holismus** (nur in mikrophysikalischen Bereich); Zustandsverschränkungen werden durch Interaktionen (z.B. Messungen), die *Zustandsreduktion* bewirken, gestoppt; macht Modifikation der Schrödinger-Dynamik notwendig (generelle Dynamik, die Dynamik von Zustandsreduktionen einschließt)  
Vorschläge:
  - (a) Vorschläge innerhalb der Reichweite der gegenwärtigen Quantentheorie
  - (b) Vorschläge, die weitere Faktoren hinzuziehen (Gravitation, Penrose, 1994)
- Erörterung der Grenzen des Quanten-Holismus durch Betrachtung der *Konsequenzen der beiden Optionen für unser System des Wissens*
- **Option 1:** Theorien der Chemie, Biologie, Physiologie etc. beschreiben physikalische Dinge nicht so, wie sie wirklich sind; Theorien erkennen nicht Zustandsverschränkungen an, sondern implizierten Zustandsreduktionen im Übergang zu makroskopischen Bereich; damit wären diese Systeme fast immer in Zuständen, die völlig verschieden zu dem sind, was Theorien über sie annehmen (d.i. definite Werte aller Eigenschaften); laut Quantenphysik haben Eigenschaften jedoch keine definiten Werte; *Theorien beschreiben also nur korrekt die Weise, wie uns makroskopische Systeme*

*erscheinen*; Option 1 und Vertreten dieser Theorien ist unvereinbar

- **Option 2:** mit Annahme von *Zustandsreduktionen* vertritt man Annahme, nach der es einen Übergang von Quantensystemen zu makroskopischen Systemen gibt, welche nicht zustandsverschränkt sind; *Theorien beschreiben Systeme so, wie sie tatsächlich sind*
- [Aufbau eines kohärenten Wissenssystems unter Option 1 verlangte alle Theorien und Alltagsrealismus der Quantentheorie anzupassen; fragwürdig, ob sinnvoll, von Quantentheorie gesamte Ontologie festlegen zu lassen]
- *Konsequenzen von Option 1 für Philosophie des Geistes:* Wie kann man unter dieser Annahme erklären, dass uns die Welt ohne Zustandsverschränkungen erscheint?
- die Gegenstände unserer Wahrnehmungs-Überzeugungen sind von unseren *Beobachtungsbedingungen* abhängig, d.h. dem *Abstrahieren von Zustandsverschränkungen*; da die physikalischen Dinge nicht objektiv die Eigenschaften haben, die wir ihnen in unserer Wahrnehmung zuschreiben, sind alle unsere Wahrnehmungs-Überzeugungen falsch (Albert, 1992)
  - **Repräsentationalismus** (Lockwood, 1989): In der *Wahrnehmung* sind wir uns nicht unmittelbar physikalischen Dingen bewusst, sondern nur *mentalen Repräsentationen*, welche jene Merkmale aufweisen, die wir allgemein *physikalischen Dingen* zuschreiben; Annahme einer physikalischen Welt ist Schluss aus bester Erklärung unserer Repräsentationen
- **direkter Realismus** (Davidson, 1993, McDowell, 1994): keine mentalen Repräsentationen als epistemisches Bindeglied zwischen Wahrnehmung und Welt, sondern wir sind uns *unmittelbar physikalischen Dingen und Ereignissen bewusst*

**Externalismus der Semantik:** Bedeutung und konzeptueller Gehalt unserer Überzeugungen sind von der *Beschaffenheit der physikalischen Umwelt abhängig*; Konstitutive Funktion der Umwelt für Überzeugungen, weitgehend akzeptierte Position (Vgl. Gedankenexperimente von Putnam in „*The Meaning of ‚Meaning‘*“)