

9.3 Konstruktivistische Interpretation der Quantentheorie

Die Nichtkommutativität der Observablen in Gestalt der Vertauschungs- und Antivertauschungsrelationen konstituieren Quantenkorrelationen zwischen allen Elementarteilchen wie beispielsweise Photonen, Elektronen, Protonen, Neutronen. Diese Quantenkorrelationen machen das Universum zu einem unteilbaren Ganzen. Die Quantentheorie ist eine holistische Theorie.

Es stellt sich die Frage nach der Möglichkeit von Objekten, im Sinne von Teilobjekten des Universums. A priori gibt es keine Objekte, keine Gegenstände der Beschreibung. Damit gäbe es auch keine Möglichkeit, von Strukturen zu sprechen und sie wahrzunehmen. Es bliebe nur noch diffuses Ahnen, vielleicht Spüren, falls überhaupt noch irgendetwas bleibt. Wenn es keine Strukturen und keine Gegenstände der Beschreibung gäbe, wäre Naturwissenschaft und Wissenschaft überhaupt nicht möglich.

Die Frage nach der Möglichkeit von Objekten hängt eng zusammen mit der Diskussion des Messprozesses im Rahmen der Kopenhagener Interpretation der Quantenmechanik.

Beobachtungen zur Vorbereitung einer konstruktivistischen Interpretation

Ich möchte auf eine grundsätzliche Beobachtung Plancks im Zusammenhang der Diskussion der Thermodynamik der Hohlraumstrahlung zurückgreifen. In „Zur Geschichte der Auffindung des physikalischen Wirkungsquantums“ berichtet er Folgendes ([31], S. 27):

„Zwar war das Wesen der Entropie als ein Maß der Wahrscheinlichkeit im Sinne Boltzmanns auch für die Strahlung endgültig festgestellt. Das zeigte sich besonders deutlich in einem Satz, von dessen Gültigkeit der mir am nächsten stehende Schüler, Max v. Laue, mich in mehrfachen Gesprächen überzeugte, daß die Entropie zweier kohärenter Strahlenbündel kleiner ist als die Summe der Entropien der einzelnen Bündel.“

Eine zweite Beobachtung von grundsätzlicher Bedeutung äußert Einstein in seiner Erwiderung auf die Beiträge im Band zu seinem siebzigsten Geburtstag, den Paul Arthur Schilpp herausgegeben hat [72]. Dabei bezieht sich Einstein auf die Bedeutung der ψ -Funktion. In der Kopenhagener Interpretation wird die Quantenmechanik als vollständig angesehen. Einstein hält die Quantenmechanik bis dato für unvollständig.

„Was mir an dieser Art des Argumentierens nicht gefällt, ist die nach meiner Überzeugung unhaltbare positivistische Grundeinstellung, die mir mit dem Berkeleyschen Grundsatz „esse est percipi“ [73] zusammenzufallen scheint. Das „Sein“ ist immer etwas von uns gedanklich Konstruiertes, also von uns (im logischen Sinne) frei Gesetztes. Die Berechtigung solcher Setzungen liegt nicht in ihrer Ableitbarkeit aus dem Sinnlich-Gegebenen. Eine derartige Ableitbarkeit (im Sinne einer logischen Deduzierbarkeit) gibt es nie und nirgends, auch nicht in der Domäne des vorwissenschaftlichen Denkens. Die Berechtigung der Setzungen, die für uns das „Reale“ repräsentieren, liegt allein in deren vollkommener oder unvollkommener Eignung, das Sinnlich-Gegebene intelligibel zu machen.“

[72] Albert Einstein: „Bemerkungen zu den in diesem Bande vereinigten Arbeiten“. In Paul Arthur Schilpp (Hrsg.): „Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher“, eine Auswahl, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1983, S. 236.

[73] esse est percipi, Sein ist Wahrgenommensein, ist ein Fazit des irischen Philosophen George Berkeley (1685-1753). Eine Radikalisierung John Lockes (1632-1704) sensualistischen Ansatzes.

Konstruktivistische Interpretation der Quantentheorie

Objekte existieren nicht an sich, sie existieren nicht a priori. **Objekte existieren als Konstrukte. Sie existieren kraft Definition.** Es bedarf eines definierenden Schnitts, um ein Teilsystem des Universums einzugrenzen und als ein Objekt zu konstituieren. Dieser Schnitt zieht die Grenze zwischen „System“ und „Umgebung“ und begründet beide. Er ist nicht notwendig räumlich zu verstehen. Der **Definitionsschnitt** legt fest, welche Quantenkorrelationen außer Betracht gelassen werden und welche weiter Berücksichtigung finden. Er wird beim Aufbau einer experimentellen Anordnung konkret vorgenommen. Die Anordnung präpariert den Gegenstand der Untersuchung. Sie legt fest, was physikalisch eigentlich zu beschreiben ist.

Wir wollen uns einen solchen Definitionsschnitt an einem Beispiel klarmachen.

Denken wir an Elektronen, die an ein elektromagnetisches Feld gekoppelt sind. Die elektromagnetische Wechselwirkung korreliert Elektronen und Photonen zu einem quantenmechanischen Gesamtsystem. Infolge der Kopplung ist es nicht mehr möglich, eine gegenseitige Begrenzung anzugeben. Mit der Kopplung geht der physikalische Begriff des „Elektrons“ wie auch der Begriff „elektromagnetisches Feld“, strenggenommen, verloren. Die beiden Ingredienzien haben im gekoppelten System a priori keine eigene Identität. Um von einem „elektronischen Teilsystem“ sprechen zu können, muß ein „Schnitt“ vorgenommen werden. Ganz unterschiedliche Definitionsschnitte sind denkbar. Entsprechend unterschiedlich ergibt sich dann die „Kopplung“ zwischen dem elektronischen Teilsystem und dem elektromagnetischen Umgebungsfeld. So können wir das elektronische System „stark“ an die Umgebung koppeln, oder wir können es „schwach“ an die Umgebung koppeln. Wir sprechen dann von „stark gekoppelten Elektronen“, oder von „schwach gekoppelten Elektronen“. Ein stark gekoppeltes Elektron und ein schwach gekoppeltes Elektron sind unterschiedliche physikalische Objekte. Schnitte finden in einer mathematischen Idealisierung ihren Niederschlag. Im Falle des schwach gekoppelten Elektrons steht der sogenannte „schwache Kopplungslimes“ für diese Idealisierung [74].

[74] Der aus Malta stammende und am Dublin Institute for Advanced Studies arbeitende Physiker Joe Pulè hat den schwachen Kopplungslimes 1974 mathematisch streng durchgerechnet.
Joe V. Pulè: „The Bloch Equations“. Communications of Mathematical Physics 38 (1974), S. 241.

Anstelle von Elektronen können wir Kernspins als Teilsystem betrachten. Wir nehmen dieses gekoppelte System Kernspins und Photonen als momentanes "Universe of discourse". In diesem Gesamtsystem ist die Zeitentwicklung reversibel. Wenn wir mit der Idealisierung des schwachen Kopplungslimes auf das Kernspin-Teilsystem fokussieren, erhalten wir als zeitliche Dynamik im Teilsystem die sogenannten „Blochschen Gleichungen“ der Kernspinresonanz. Diese Dynamik ist irreversibel und bildet eine Halbgruppe, im Unterschied zur Gruppe der reversiblen Dynamik im Gesamtsystem.

Dieses für uns paradigmatische Beispiel eines Definitionsschnitts hat zugleich eine sehr wichtige praktische Anwendung: die Kernspin-Tomographie, eine in der Medizin und Biologie schonende Diagnosemethode. Grundlagen zur Nutzung der Kernspinresonanz als bildgebendes Verfahren hat Richard Ernst, ETH-Zürich, gelegt, für die er 1991 den Chemie-Nobelpreis erhielt. Ernst war der erste Doktorand von Hans Primas.

Elementare Beispiele der Konstitution von Quantenobjekten durch Definitionsschnitte

I. Kernspin-Resonanz-System (Kernspin-Tomographie)

(NMR: Nuclear magnetic resonance; MRT: magnetische Resonanz-Tomographie.)

Definitionsschnitt durch die mathematische **Idealisierung** des Pulèschen **schwachen Kopplungs-Limes**.
Siehe oben.

2. Ein mit Helium gefüllter Ballon

Der Atomkern und die beiden ihm zugeordneten Elektronen eines Helium-Atoms müssen, streng genommen, als Quantenobjekte durch Dirac-Quantenfelder beschrieben werden, die Lösungen der Dirac-Gleichung sind. Die beiden Protonen-Felder und die beiden Neutronen-Felder des Kerns sind mit den quantenmechanischen Elektronenfeldern verschränkt. Die Helium-Atome wiederum sind untereinander verschränkt. Damit haben wir im Ballon ein untrennbar verschränktes Gesamtsystem von sich überlagernden Dirac-Feldern, die ein Gesamtfeld bilden. Der Begriff von einzelnen „Helium-Atomen“ und der Begriff eines mit Helium-Atomen gefüllten Ballons sind nicht mehr anwendbar. Begriffe, deren Gültigkeit wir anfangs selbstverständlich unterstellt hatten. Um von „einem mit Helium gefüllten Ballon“ sprechen zu können, müssen wir Definitionsschnitte im quantenmechanischen Gesamtsystem vornehmen.

Zunächst können wir uns zu einer nichtrelativistischen Beschreibung entscheiden. Dazu gehen wir von der relativistischen Dirac-Gleichung zur **nichtrelativistischen** Schrödinger-Gleichung über. Diese Approximation, diese **Idealisierung** ist sinnvoll, wenn die vorkommenden Geschwindigkeiten „klein“ sind gegenüber der Lichtgeschwindigkeit.

Zum Zweiten bedarf es der **Definition des Begriffs des „Atoms“** (im Sinne der Chemie). Dazu betrachten wir den Kern des Helium-Atoms, der sich aus zwei Protonen und zwei Neutronen zusammensetzt. Die Masse des Helium-Kerns ist um den Faktor 7294 größer als die Masse eines Elektrons. Damit ist der Wellencharakter des Kerns viel weniger ausgeprägt als der Wellencharakter eines Elektrons. Deshalb wird die sogenannte **„Born-Oppenheimer-Näherung“** [49] benutzt. In dieser Idealisierung werden die Atomkerne klassisch beschrieben und die Elektronen quantenmechanisch. Eine semi-klassische Beschreibung eines Atoms. – Viele Varianten vergleichbarer semi-klassischer Beschreibungen werden sehr häufig zur Lösung von quanten-physikalischen Aufgabenstellungen herangezogen.

Durch die Born-Oppenheimer-Näherung wird mit dem Atom-Begriff die Chemie konstituiert.

Zum Dritten müssen wir **von den Quantenkorrelationen zwischen den Helium-Atomen abstrahieren**. Damit erhalten wir schließlich ein klassisches Gas von Helium-Atomen. Dieses Gas können wir jetzt durch klassische Thermodynamik beschreiben. Aus dem ursprünglichen quantenmechanischen Gesamtsystem (mit Helium gefülltem Ballon) haben wir durch eine Abfolge von frei gewählten Idealisierungen, die durch empirische Plausibilität geleitet sind, ein neues System definiert. Das kommt dem Primas'schen Programm der Theoriereduktion nahe [49].

3. Elektromagnetischer Resonator

Wir stellen uns einen elektromagnetischen Resonator mit perfekt reflektierenden Wänden vor, gefüllt mit elektromagnetischer Strahlung. (Eine Kavität mit supraleitenden Wänden kommt diesem Ideal ein Stück weit entgegen.) Die räumliche Begrenzung des Photonengases auf den Innenraum der Kavität (mit einer charakteristischen Kantenlänge L) setzt der Ortsunschärfe Δx der Photonen eine Obergrenze:

$$\Delta x < L$$

Aus der Heisenbergschen Unschärfe ergibt sich eine Unschärfe für den Photonen-Impuls:

$$\Delta x \Delta p \geq h/4\pi$$

$$\Delta p \geq h/(4\pi\Delta x)$$

$$\Delta p > h/(4\pi L)$$

Für den Photonenimpuls gilt $p = h\nu/c$. Die Impulsunschärfe drückt sich als eine Frequenzunschärfe aus. Dadurch ergeben sich anstelle scharfer Resonanzfrequenzen der Photonen in der Kavität „verschmierte“ Resonanzfunktionen, Gauß-Funktionen mit einer Halbwertsbreite in der Größenordnung der Frequenzunschärfe

$$\Delta\nu > c/(4\pi L)$$

Der Überlappungsbereich der Resonanzfunktionen ergibt die Größe der Wahrscheinlichkeiten von Übergängen von Photonen zwischen den Frequenzen. Das bedeutet:

In einer mit Photonen (und sonst nichts!) gefüllter Kavität mit perfekt reflektierenden Wänden gibt es als Folge der Heisenbergschen Unschärferelation die Möglichkeit von Photonenübergängen zwischen den Resonanzen der Kavität. Dieser Mechanismus erlaubt im Photonengas die Einstellung eines Zustands maximaler Entropie für die vorgegebene Gesamtenergie der Photonen. Dieser Zustand ist der thermische Gleichgewichtszustand. Die ihm zugeordnete Temperatur ist die „spektrale Temperatur“ des Photonengases, die sich aus der Planckschen Strahlungsformel ergibt.

So lässt sich die Plancksche Vorstellung eines idealisierten schwarzen Kohlestäubchens [75] als eines Agens zur Herstellung einer Gleichgewichtsverteilung durch die Unschärferelation ablösen. Die „natürliche Linienverbreiterung“ der Resonanzlinien wird in elektromagnetischen Kavitäten durch die viel größere Linienverbreiterung infolge der immer von Null verschiedenen Reflektivität übertroffen. Mit der endlich großen Reflektivität ist der sogenannte „Gütefaktor“ einer elektromagnetischen Kavität (die Zahl der Reflexionen eines Photons, ehe es von den Wänden absorbiert wird) endlich groß. Diesen Befund hatte Planck mit dem gedachten Kohlestäubchen idealisiert [75]. Planck stand damals die Heisenbergsche Unschärferelation nicht zur Verfügung.

[75] Max Planck: „Wärmestrahlung“, vierte Auflage, Johann Ambrosius Barth, Leipzig, 1921, § 52 (S. 48).

Worin findet sich in diesem Beispiel eines elektromagnetischen Resonators ein Definitionsschnitt? - Es ist der schiere Bau der Kavität. Im Gegensatz zum Definitionsschnitt für das Kernspin-System ist hier der Schnitt ein räumlicher. Die Kavität gibt den Photonen einen definierten Raum, was wesentliche, prägende Folgen hat, die Irreversibilität inbegriffen. Mit der Kavität wird das Photonengas konstituiert.

4. Zwei-dimensionales Photonengas

Für den Quanten-Halleffekt (1980 entdeckt von Klaus von Klitzing) ist ein zweidimensionales Elektronen-System von Bedeutung. Zweidimensionale Systeme spielen in jüngster Zeit auch für Photonensysteme eine wichtige Rolle. Dabei geht es einmal um Photonen, die sich mit Quasiteilchen eines Festkörpers verbinden, beispielsweise mit Exzitonen (Elektron-Loch-Paare). Ein solches Photon-Exzitonen-System heißt Polariton. Zum andern geht es um Photonen in einer Kavitäten-Falle. Dieser Fall soll hier skizziert werden.

In einer Kavität wird eine Vorzugsrichtung vorgegeben, in der sich eine stehende elektromagnetische Welle mit einem stationären Schwingungsknoten ausbildet. Damit liegt in dieser „longitudinalen“ Richtung Wellenverhalten vor und die Photonen haben Masse:

$$E = mc^2 \quad \text{und} \quad E = h\nu \quad \Rightarrow \quad m = h\nu/c^2$$

Die transversale Ebene wird durch die Helizitäts-Freigrade der Photonen aufgespannt. In dieser Ebene bleibt der Quantencharakter der Photonen erhalten und lässt sich als zweidimensionales Quantengas betrachten.

In einer solchen Kavitäten-Falle wird, gewissermaßen, die Quanten-Integrität der Photonen aufgespalten: Bezüglich dem longitudinalen Freiheitsgrad verhalten sie sich wie eine klassische elektromagnetische Welle. Bezüglich der beiden transversalen Freiheitsgrade behalten sie ihren Quantencharakter. In dieser quasi semi-klassischen Näherung erhalten wir **„zwei-dimensionale Photonen“** mit von Null verschiedener Ruhemasse. Ruhemasse insofern, als der Knoten der elektromagnetischen Welle in der longitudinalen Richtung stationär ist. Mit diesem **konstruktiven Definitionsschnitt** erhalten wir mit zweidimensionalen Photonen ein völlig neues Quantenobjekt, welches sich höchst signifikant von freien drei-dimensionalen Photonen unterscheidet, die wir von der irreduziblen Darstellung der Poincaré-Gruppe kennen, der Symmetriegruppe der Einsteinschen speziellen Relativitätstheorie.

Der hier beschriebene Definitionsschnitt wird als **„paraxiales Licht“** bezeichnet („nahe an der Achse“). Dieses Setting benutzen Martin Weitz et al., Universität Bonn, um Bose-Einstein-Kondensation in einer zweidimensionalen Mikrokavität zu erzeugen [76].
(Siehe unten 10.2. Quantenkorrelationen und ihre zentrale Rolle bei der Bose-Einstein-Kondensation.)

[76] J. Klaers, J. Schmitt, T. Damm, F. Vewinger, M. Weitz: “Bose-Einstein condensation of paraxial light”. Appl. Phys. B (2011) 105: 17. <https://doi.org/10.1007/s00340-011-4734-6>. First Online: 15 September 2011.

5. Casimir-Effekt

Die Lokalisierung Δx eines Teilchens mit relativistischem Impuls mc ist, entsprechend der Heisenbergschen Unschärferelation, durch seine Compton-Wellenlänge λ_C begrenzt:

$$\Delta x \geq h / (2\pi 2mc) ; \quad \lambda_C := h / (2\pi mc)$$

Zum relativistischen Impuls mc gehört die Energie mc^2 . Wir betrachten den Fall eines Elektrons, mit Ruheenergie m . Wird bei einer Lokalisierung die doppelte Energie $2mc^2$ aufgebracht (ihr entspricht dann ein relativistischer Impuls $2mc$), dann kommt es zu einer spontanen Erzeugung eines Elektron-Positron-Paars aus dem Quanten-Vakuum. Dieses Paar wird sofort wieder vernichtet. Man spricht deshalb von „virtuellen“ Teilchen, die im Vakuum ständig erzeugt und vernichtet werden. Das Vakuum fluktuiert.

In einem Versuch werden zwei Metallplatten parallel aufgestellt, auf die keinerlei Kräfte wirken, so dass sie ausschließlich dem Vakuum ausgesetzt sind. Der Zwischenraum dieser Platten ist ein elektromagnetischer Resonator. Dieser Resonator lässt nur einen Teil der Fluktuationen des Vakuums zu. Damit erfahren die Wände des Resonators von außen einen höheren Impuls als von innen. Das führt zu einer messbaren Anziehungskraft zwischen den Platten. Dieser Effekt heißt „Casimir-Effekt“ ([65], S.104). Die beiden Platten stehen für einen elementaren Definitionsschnitt, der erst den Effekt kreiert.

Was unterscheidet den Definitionsschnitt der konstruktivistischen Interpretation vom Heisenberg-Schnitt?

Heisenberg, wie auch Bohr und Pauli setzen den Schnitt zwischen System und Meßapparat. Diesen „Heisenberg-Schnitt“ halte ich für irreführend. Der Meßapparat sollte richtigerweise die Rolle der „Schiere“ spielen, was seine präparative Potenz betrifft. Die Umgebung, mit der das System korreliert ist, kommt beim Heisenberg-Schnitt gar nicht vor. Sollte der Meßapparat allerdings die Rolle der Umgebung spielen, sollte dies auch festgestellt werden. Dann aber ist das Wort „Meßapparat“ eine Fehlspur. Auch die Rede von der Beschreibung des Meßapparats durch klassische Sprache ist eine Fehlspur. Soll der Meßapparat als ein klassisches Objekt aufgefaßt werden? Das wäre inkorrekt, denn strenggenommen gibt es keine klassischen Objekte. Objekte sind notwendig Quantenobjekte. Auch der Meßapparat ist ein Quantenobjekt. Wenn sich „klassisch“ aber nur auf die Beschreibung durch klassische Begriffe bezieht, ist dies kein weiterführendes Argument. Denn durch eine komplementäre Verwendung klassischer Begriffe können wir Quantensituationen perfekt beschreiben.

Die Pulèsche Analyse [74] der schwachen Kopplung von Elektronenfeld (oder Nukleonenfeld) und Photonenfeld zeigt, wie physikalische Systeme präzise konstruiert werden können. Diese mathematisch umsetzbare Idealisierung ist paradigmatisch für eine konstruktivistische Interpretation der Quantentheorie. Die Analyse des schwachen Kopplungslimes, den wir als Definitionsschnitt verstanden wissen wollen, macht darüberhinaus eine Struktureigenschaft von weitreichender Bedeutung deutlich: **das Auftreten der Irreversibilität.**

Das Quantenobjekt, beispielsweise das Elektronenfeld, ist notwendig ein offenes System. Denn es bleibt mit der nach dem Schnitt zurückbleibenden Umgebung gekoppelt, wie immer spezifisch die Kopplung gewählt wird. Diese freie Wahl entscheidet, von welchen Quantenkorrelationen wir abstrahieren.

Jeder Definitionsschnitt wird durch den praktischen Nutzen eines Versuchsaufbaus oder der Präparierung eines gewünschten Quantenobjekts bestimmt. Strenggenommen ist er eine Fiktion. Das offene System ist infolge seiner Irreversibilität einem „Alterungsprozess“ unterworfen.

Wir wissen bereits: Quantenobjekte sind nur näherungsweise räumlich lokalisierbar. Sie sind räumlich unanschaulich. Sie sind ohne Ort, sie sind, im präzisen Sinne des Worts, Utopie. Diese Utopie ist primäre Realität. Ihre raum-zeitliche Verankerung, ihre näherungsweise Lokalisierung ist von nachgeordneter Realität. Dabei liefert die Utopie die Vorlage, die „Blaupause“ für die Konstruktion von raum-zeitlicher Realität.

Das Zufallsverhalten tritt auf, wenn bewegte Quantenobjekte räumlich lokalisiert werden und wenn dabei an einem a priori Raumbegriff festgehalten wird. Auf der „Meta-Ebene“ des Hilbertraums besteht keine Notwendigkeit zur Einführung von Zufall und Wahrscheinlichkeit, auch wenn eine statistische Interpretation mit der Hilbertraum-Ebene verträglich ist.

Die konstruktivistische Interpretation der Quantentheorie hält an der Kausalität fest [75]. Sobald das Quantenobjekt definiert ist, verhält es sich kausal.

[75] Eberhard Müller: „A Constructivistic Interpretation of Quantum Theory preserves Causation“. In „Current Issues in Causation“, Wolfgang Spohn, Marion Ledwig, Michael Elsfeld (eds), mentis, Paderborn, 2001, S. 191-198, wie [71].

9.4 Der Definitionsschnitt erhöht die Entropie

Der Definitionsschnitt ist das entscheidende Konstruktionsmittel einer konstruktivistischen Interpretation. Eine komplexe Definition mag eine Vielzahl von Schnitten umfassen. Bei jedem Schnitt werden ausgewählte spezifische Quantenkorrelationen vernachlässigt bzw. ausgeblendet. Damit wird die Information, die in den Quantenkorrelationen enthalten ist, „weggeworfen“. Oft wird dies durch ein „weg-Mitteln“ vorgenommen. Dieses Informationsopfer muss zu einer Erhöhung der Entropie führen. Das bewirkt Irreversibilität.

Dies lässt sich auch mathematisch nachvollziehen.

Sei ψ der Zustand eines betrachteten gesamten Systems vor einem Schnitt. Wir nehmen im System einen Schnitt vor und erhalten zwei Teile, die durch die Zustände ψ_1 und ψ_2 beschrieben werden. Die beiden Systeme koppeln wir unter Erhaltung ihrer einzelnen Integrität wieder zum gesamten System zusammen. Nach dem Schnitt ist das gesamte System im Zustand $\psi_1 \otimes \psi_2$. Dann gilt für den Erwartungswert der Relativ-Entropie (43) nach einer Ungleichung von Oskar Klein (siehe [76]):

$$\langle \psi, R(\psi_1 \otimes \psi_2, \psi) \psi \rangle > 0. \quad (\text{falls } \psi \neq \psi_1 \otimes \psi_2)$$

[76] Res Jost: „Quantenmechanik II“. Verlag der Fachvereine an der ETH-Zürich, 1973; „Der Trennungssatz“, S. 141.

Der Definitionsschnitt unterwirft ein System grundsätzlich der Irreversibilität. Irreversibilität ist Bedingung der Möglichkeit von Konstruktion und Gestaltung. Der Schnitt selbst ist die Ursache der Irreversibilität. **Der Zeitpfeil**, die Asymmetrie zwischen Vergangenheit und Zukunft, **folgt damit aus der Asymmetrie zwischen dem Teil und dem Ganzen**. Diese konstruktivistische Interpretation der Quantentheorie macht die Rede vom Wärmetod des Universums obsolet. Sie liefert die begrifflichen Voraussetzungen für die freie Erzeugung von Objekten.

Die oben zitierte Plancks Bemerkung zielt genau auf einen Schnitt. Die Entropie zweier kohärenter Strahlenbündel ist kleiner als die Summe der Entropien der beiden einzelnen Strahlenbündel.

9.5 Anmerkungen zum Konstruktivismus

Der Konstruktivismus hat sich in der Soziologie, in den Sozialwissenschaften, in der Psychologie, in den Geisteswissenschaften entwickelt. In der Physik findet er bisher keine Beachtung. Der „radikale Konstruktivismus“ geht auf Ernst von Glasersfeld zurück [77]. Er geht nicht von einer gegebenen, an sich existierenden Realität aus. Er nimmt Realität als konstruiert an, wobei alle möglichen Einflüsse und Bedingungen berücksichtigt werden müssen.

Wichtige Vertreter des Konstruktivismus sind u. a. der Kommunikationswissenschaftler und Psychotherapeut Paul Watzlawick (1921-2007), der Soziologe Niklas Luhmann (1927-1998) und der Wissenschaftstheoretiker und Philosoph Paul Feyerabend (1924-1994). In der Systemtheorie Luhmanns spielt der Definitionsschnitt eine entscheidende Rolle. Mit dem Schnitt definiert er ein soziales System und zugleich dessen Umwelt.

[77] Ernst von Glasersfeld: „Radikaler Konstruktivismus. Ideen, Ergebnisse, Probleme.“ Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main, 1996.

Ein Beispiel aus den Textwissenschaften

Was ist ein Begriff? Zu einem Begriff gehört ein Wort oder ein Subtext eines Textes. Die „Umgebung“ des Worts oder der Worte, die für einen Begriff stehen, ist der Kontext. Ein Wort allein liefert noch keinen fertigen Begriff. Ohne geschriebenen und ungeschriebenen Kontext bleibt die Bedeutung von Wörtern unklar bzw. uneindeutig. Das Wort „Mutter“ könnte die Mutter eines Kindes, oder die Mutter einer Schraube, oder die Muttergesellschaft eines Industrieunternehmens bedeuten. Mit Ton könnte ein Höreindruck oder der Lehm der Töpferin gemeint sein. ...

Die Art der Korrelation zwischen Wort und Kontext ist für die Bedeutung eines Begriffs entscheidend. Erst die konkrete Anknüpfung an den Kontext führt auf die Definition eines Begriffs. Entsprechend kommt es im Laufe der Zeit mit der Änderung der allgemeinen Lebensumstände zu Verschiebungen von Begriffsbedeutungen: Begriffe „altern“. Wollen wir an ihnen festhalten, müssen wir sie je neu rekonstruieren. Dies zeigt die strukturelle Analogie zur Konstruktion von Systemen und Objekten in einem quantentheoretisch beschriebenen Universum.