

# Verschränkung

Hartmann Römer  
Physikalisches Institut der Universität Freiburg  
Hermann-Herder-Str.3  
79104 Freiburg  
e-mail: hartmann.roemer@physik.uni-freiburg.de

## 1. Einführung

Verschränkung ist eine unausweichliche Konsequenz der Quantenmechanik und tief in ihren Grundlagen verankert. Wenn man an einem Teil eines zusammengesetzten quantenmechanischen Systems eine Messung vornimmt, so kann es geschehen, dass einerseits das Ergebnis der Messung wesentlich unbestimmt, also auch bei maximaler Kenntnis des Systemzustandes nicht durch diesen festgelegt ist, und dass andererseits mit diesem Ergebnis sofort und ohne jede Verzögerung auch die Resultate anderer Messungen an unter Umständen weit entfernten Teilen des Systems mit Sicherheit feststehen.

Bekanntlich hat Albert Einstein versucht<sup>1</sup>, dieses eigenartige Verhalten als Argument gegen die Quantenmechanik zu richten, die, wie er meinte, unvollständig und durch eine lokale, realistische Theorie ohne „spukhafte Fernwirkungen“ zu ersetzen sei. Hierbei bedeutet „realistisch“ die für Einstein selbstverständliche Forderung, dass der Ausgang jeder Messung an einem System durch eine Eigenschaft des Systems vorbestimmt sein muss. Durch den experimentellen Befund einer Verletzung der Bellschen Ungleichungen muss es heute als entschieden gelten, dass eine lokale, realistische Theorie im Sinne Einsteins nicht an die Stelle der Quantentheorie treten kann. Verschränkungseffekte finden bereits technische Anwendungen und sind das wesentliche Funktionsprinzip auf dem die Überlegenheit zukünftiger Quantencomputer im Vergleich zu klassischen Computern beruhen würde.

Viel von ihrem spukhaften Charakter verlieren die von Verschränkungseffekten herrührenden Korrelationen dadurch, dass sie nicht zur Übermittlung von Einwirkungen oder Signalen verwendbar sind<sup>2</sup>. Was aber bleibt, ist der „holistische Charakter“ der Quantentheorie: Das Ganze eines zusammengesetzten Quantensystems ist nicht einfach die Summe seiner Teile. Vielmehr ordnen sich die Teile einem Ganzen so unter, dass ihr gegenseitiges Verhältnis nicht nur durch kausale Einwirkungen aufeinander, sondern ganz wesentlich auch durch ihren Platz in einer Einheit stiftenden Gesamtgestalt geregelt ist. Hierbei verlieren die Teile viel von ihrer Selbständigkeit und werden in Quantensystemen gewissermaßen erst durch ihre Identifikation konstituiert.

Der treffende Ausdruck „Verschränkung“ für dieses eigentümlich enge Wechselverhältnis der Teilsysteme wurde übrigens von Erwin Schroedinger geprägt.

Die Existenz „ursachenloser“, nicht kausal vermittelter Korrelationen in der Quantentheorie wird weithin als verstörend empfunden. Der Grund hierfür liegt auf der Hand: Die verinnerlichte Weltansicht der großen Mehrheit in der westlichen Welt ist noch immer vom mechanistischen Weltbild geprägt, und dies gilt für die praktizierte Wissenschaft sogar noch mehr als für den gelebten Alltag.

---

<sup>1</sup> A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen: *Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?*, Phys. Rev. **47** (1935), 777 - 780

<sup>2</sup> P. Eberhard: *Bell's theorem and the different concepts of locality*. Nuovo Cimento, **46B** (1978), 392-419, vergl. auch Anm. 11.

Von den vier Ursachen der klassischen Philosophie ist nur die „causa efficiens“, die Wirkursache geblieben, nur sie ist noch gemeint, wenn von Kausalität die Rede ist -ein Sprachgebrauch, dem auch wir uns in dieser Arbeit anschließen. Wissenschaftliches Verständnis wird ganz selbstverständlich und geradezu zwanghaft mit Auffindung und Klärung kausaler Beziehungen im Sinne der „causa efficiens“ gleichgesetzt. Das Weltganze wird als durchgängig kausal strukturiert angesehen, und hinzu kommt die intuitive Vorstellung eines starken Determinismus. Wenn aus praktischen Gründen bei (noch) nicht aufklärbaren Ursachen, dem Zufall widerwillig ein Gastrecht eingeräumt wird, dann nur unter der strikten Bedingung, dass er auf jeden Fall als blind anzusehen sei.

Verdrängt wird meist die offensichtliche Tatsache, dass es sehr wohl viele legitime Gegenstände des Denkens, auch des wissenschaftlichen Denkens gibt, in denen Wirkursachen für das Verständnis keine Rolle spielen. Beispielsweise sind die Wechselbeziehungen der Seiten und Winkel eines Dreiecks sicher nicht durch Wirkursachen bestimmt.

Dasselbe gilt, wann immer Strukturen, Formen und Muster ins Blickfeld rücken. Hierbei glaubt man allerdings, alles für das Verständnis Nötige geleistet zu haben, wenn man einen kausalen Mechanismus gefunden hat, durch den sie entstanden sein können.

Mit Sicherheit verliert der Satz vom zureichenden Grunde seine Gültigkeit, wenn nur Wirkursachen zugelassen werden.

Außerhalb der Hauptströmung hat es indessen immer wieder Angriffe auf das Erklärungsmonopol kausaler Beziehungen gegeben, und die Forderung, das Augenmerk auf Muster und Formen als vollberechtigte Gegenstände des Nachdenkens zu richten, ist nie verstummt. Gerade die nicht kausalen Verschränkungskorrelationen in Quantensystemen haben in diesem Zusammenhang nicht selten eine paradigmatische Rolle gespielt.

Ein besonders klares Beispiel hierfür ist die *Synchronizitätstheorie* von C.G. Jung und Wolfgang Pauli<sup>3</sup>. Sie wurde zunächst im Hinblick auf so genannte paranormale Phänomene formuliert, ist aber keineswegs auf diese beschränkt. Zentral ist hierbei die Vorstellung „sinnvoller Zufälle“, bei denen die Beziehung zwischen Ereignissen nicht durch Wirkursachen, sondern durch ihren Platz in einen ganzheitlichen Sinnzusammenhang gegeben ist. Die Bezeichnung „Synchronizität“ ist, wie schon von Pauli erkannt, nicht ganz glücklich, da die in ihr zentralen nicht kausalen Korrelationen in ihrem Wesen keinerlei Bezug zur Zeit haben. Durch Gleichzeitigkeit über große Entfernungen tritt lediglich ihr nicht kausaler Charakter besonders klar hervor. Der Physiknobelpreisträger Wolfgang Pauli hat ausdrücklich auf die Ähnlichkeit derartiger synchronistischer Beziehungen mit quantenphysikalischen Verschränkungskorrelationen hingewiesen und ihre Untersuchung im Rahmen einer noch zu schaffenden „neuen Wissenschaft“ gefordert.

In dem Bestreben, Paulis Synchronizitätsvorstellung formal genauer auszuarbeiten, ist oft vermutet worden, synchronistische Korrelationen seien tatsächlich quantenphysikalische Verschränkungskorrelationen. Eine solche Ansicht erscheint uns aus mehreren Gründen als unhaltbar: Erstens zeugt eine solche Zurückführung auf einen rein quantenphysikalischen Effekt von einem stark physikalisch reduktionistischen Weltverständnis, dem wir uns nicht anschließen können. Zweitens sind Effekte der Quantenphysik fast ausschließlich auf die mikroskopische physikalische Welt beschränkt, und die notwendigen Verstärkungsmechanismen, die für das Auftreten massiver quantenphysikalischer Effekte in unserer makroskopischen Lebenswelt vorgeschlagen werden, sind alles andere als überzeugend. Drittens ist die Verschränktheit eines quantenphysikalischen Zustandes eine äußerst labile und störbare Eigenschaft, die nur durch ausgeklügelte Mechanismen stabilisiert werden kann und umso schneller zum Verfall durch „Dekohärenz“ neigt, je größer und

---

<sup>3</sup> H. Atmanspacher, H. Primas, E. Wertenschlag-Birkhäuser, eds.: *Der Pauli-Jung Dialog und seine Bedeutung für die moderne Wissenschaft*, Springer, Berlin 1995 sowie H. Atmanspacher, H. Primas (Eds.): *Recasting Reality, Wolfgang Pauli's Philosophical Ideas and Contemporary Science* Springer Verlag 2008, ISBN 978-3-540-85197-4

komplexer ein physikalisches System ist<sup>4</sup>. Was wirklich gebraucht wird, ist ein Formalismus, der die physikalische Quantentheorie so verallgemeinert, dass quantenartige Effekte wie Komplementarität und Verschränkung über den engeren Bereich der Physik hinaus formal definierbar und anwendbar bleiben. Synchronistische Erscheinungen beruhen in einem solchen Rahmen nicht auf Quantenphysik, sondern auf strukturellen Gemeinsamkeiten mit der physikalischen Quantentheorie.

Ein solcher Formalismus ist unter dem Namen „Schwache Quantentheorie“ oder auch „Verallgemeinerte Quantentheorie“ vom Autor dieser Studie zusammen mit H. Atmanspacher und H. Walach aufgestellt worden<sup>5</sup>.

Die Verallgemeinerte Quantentheorie ist eine Theorie allgemeiner Systeme, die klassische Mechanik und Quantenmechanik als Spezialfälle einschließt aber weit über beide hinausgeht. Grundbegriffe, die sie mit der klassischen und Quantenmechanik gemeinsam hat, sind

**System:** Ein *System* ist alles, was, wenigstens in Gedanken, vom Rest der Welt abgetrennt und zum Gegenstand einer Untersuchung gemacht werden kann. In einem System können unter Umständen *Teilsysteme* identifizierbar sein.

**Zustand:** Ein System kann in verschiedenen *Zuständen* existieren oder gedacht werden, ohne dabei seine Identität als System zu verlieren. Der Begriff des Zustandes enthält ein epistemisches Element, indem er auch Ausdruck des Wissens über ein System ist. Man kann ferner unterscheiden zwischen *reinen Zuständen*, die maximalem möglichem Wissen über ein System entsprechen, und *gemischten Zuständen* in denen maximales Wissen nicht erreicht wird.

**Observable:** *Observable* entsprechen Zügen des Systems, die in (mehr oder weniger) sinnvoller Weise untersucht werden können. Wenn ein System Teilsysteme besitzt, kann man unterscheiden zwischen *globalen Observablen*, die sich auf das System als ganzes beziehen, und *lokalen Observablen*, die zu Teilsystemen gehören.

**Messung:** Eine *Messung* einer Observablen A wird vorgenommen, indem man die Untersuchung, die zur Observablen A gehört, wirklich durchführt und zu einem Ergebnis kommt, das faktischen Charakter beansprucht. Wie dies im Einzelnen geschieht, muss zusammen mit der Definition des Systems festgelegt sein. Das Ergebnis einer Messung wird vom Zustand z des Systems abhängen, aber im Allgemeinen durch z nicht vollständig determiniert sein.

Die Verallgemeinerte Quantentheorie wird durch eine Reihe von Axiomen beschrieben, für die wir auf die oben zitierten Originalveröffentlichungen verweisen. Wir weisen hier nur auf einen wesentlichen Zug hin: Observable A können mit Funktionen identifiziert werden, die Zuständen z andere Zustände A(z) zuordnen. Im Allgemeinen ist  $z \neq A(z)$ . Das gilt sogar in klassischen Systemen für gemischte Zustände, da sich die Kenntnis eines Systems durch eine Messung im Allgemeinen ändert. In Quantensystemen ist generisch  $z \neq A(z)$  auch für reine Zustände. Observable A und B können durch Hintereinanderschalten der ihnen entsprechenden Abbildungen verknüpft werden:  $AB(z) = A(B(z))$ .

Observable A und B heißen *kompatibel*, wenn  $AB = BA$  und *inkompatibel* oder *komplementär*, wenn  $AB \neq BA$ . Zwei Observable sind genau dann kompatibel, wenn die Reihenfolge der zugehörigen Messungen unerheblich ist. Komplementarität von Observablen

---

<sup>4</sup> D. Giulini, E. Joos, C. Kiefer, J. Kupsch, I.-O. Stamatescu, H.D. Zeh: *Decoherence and the Appearance of the Classical World*, Springer, Berlin, Heidelberg 1996

<sup>5</sup> H. Atmanspacher, H. Römer, H. Walach: *Weak quantum theory: Complementarity and entanglement in physics and beyond*. Foundations of Physics 32 (2002), 379–406

H. Atmanspacher, Th. Filk, H. Römer: *Weak quantum theory: Formal framework and selected applications*. In *Quantum Theory: Reconsiderations of Foundations 3*, eds. G. Adenier, A.Yu. Khrennikov, Th. M. Nieuwenhuizen, American Institute of Physics (2006), New York, pp. 34–46

tritt in der klassischen Mechanik nicht auf, sie ist ein wesentlicher Zug der Quantentheorie.

Für die Quantenmechanik ebenso wie für die Verallgemeinerte Quantentheorie ist entscheidend, dass Messungen im allgemeinen Zustände verändern: Wenn die Messung einer Observablen  $A$  zu dem Messergebnis  $\alpha$  geführt hat, dann ist das System nach der Messung in einem so genannten *Eigenzustand* von  $A$  zum *Eigenwert*  $\alpha$ , der dadurch gekennzeichnet ist, dass eine erneute Messung von  $A$  mit Sicherheit immer wieder dasselbe Ergebnis  $\alpha$  liefert. Man kann zeigen, dass es für inkompatible Observablen  $A$  und  $B$  Messergebnisse  $\alpha$  von  $A$  gibt, zu denen kein gemeinsamer Eigenzustand von  $A$  und  $B$  existiert. In diesem Fall ist es nicht möglich, dem betrachteten System zusätzlich zur Eigenschaft  $\alpha$  zugleich einen scharfen Messwert  $\beta$  von  $B$  zuzuschreiben. Es ist dies die Grundstruktur der quantentheoretischen Komplementarität.

In einem allgemeineren, über den Bereich der Physik im engeren Sinne hinausgehenden Rahmen ist mit der Möglichkeit von Komplementarität immer dann zu rechnen, wenn die Veränderung von Zuständen durch Beobachtungen unvermeidlich ist. Das ist in exemplarischer Weise für Systeme der Fall, die bewusste, zur Selbstbeobachtung befähigte Individuen enthalten.

Verschränkung wird, wie sich zeigen wird, in Systemen der Verallgemeinerten Quantentheorie dann zu erwarten sein, wenn Komplementarität zwischen globalen und lokalen Observablen besteht.

Wir wollen uns in dieser Arbeit mit Erscheinungen beschäftigen, die sich als Verschränkungsphänomene in einer Verallgemeinerten Quantentheorie deuten lassen. Hierbei wird nicht der Anspruch erhoben, dass jede andere Deutung unmöglich oder weniger sinnvoll wäre. Wir hoffen aber zu zeigen, wie sich durch Anwendung eines verallgemeinerten Verschränkungsbegriffes viele verschiedene Phänomene in einem gemeinsamen, andersartigen und erhellenden Licht darstellen.

Hierzu werden wir wie folgt vorgehen:

Im folgenden Kapitel 2 werden wir das Phänomen der quantenphysikalischen Verschränkung an dem einfachsten Beispiel eines Systems von zwei Teilchen mit Spin  $\frac{1}{2}$  erläutern. In Kapitel 3 folgt eine allgemeine Betrachtung zu kausalen und nicht kausalen Korrelationen. Besonders werden wir uns mit Verschränkungskorrelationen in der Verallgemeinerten Quantentheorie und ihrer Unterscheidung von andersartigen Korrelationen befassen. Eine wesentliche Forderung wird das NT-Axiom sein, welches besagt, dass Verschränkungskorrelationen nicht zur Übermittlung von Signalen und Einwirkungen verwendbar sind<sup>6</sup>.

Im zentralen Kapitel 4 werden wir an zehn verschiedenen Beispielen aufzeigen, wie sich in sehr verschiedenen Zusammenhängen die Begrifflichkeit von Verschränkungskorrelationen der Verallgemeinerten Quantentheorie anwenden lässt.

Kapitel 5 ist zusammenfassenden Schlussbemerkungen vorbehalten.

## 2. Verschränkung in der Quantenmechanik

Um eine möglichst klare Vorstellung von der Natur quantenphysikalischer Verschränkungskorrelationen zu vermitteln, wollen wir in diesem Kapitel ein einfaches Beispiel näher beschreiben, bei dem die wesentlichen Züge besonders deutlich hervortreten. Wir werden ein System von zwei Teilchen mit Spin  $\frac{1}{2}$  betrachten. Das hat den Vorteil, dass es für die dabei auftretenden (lokalen) Observablen nur jeweils zwei mögliche Messwerte  $+1$

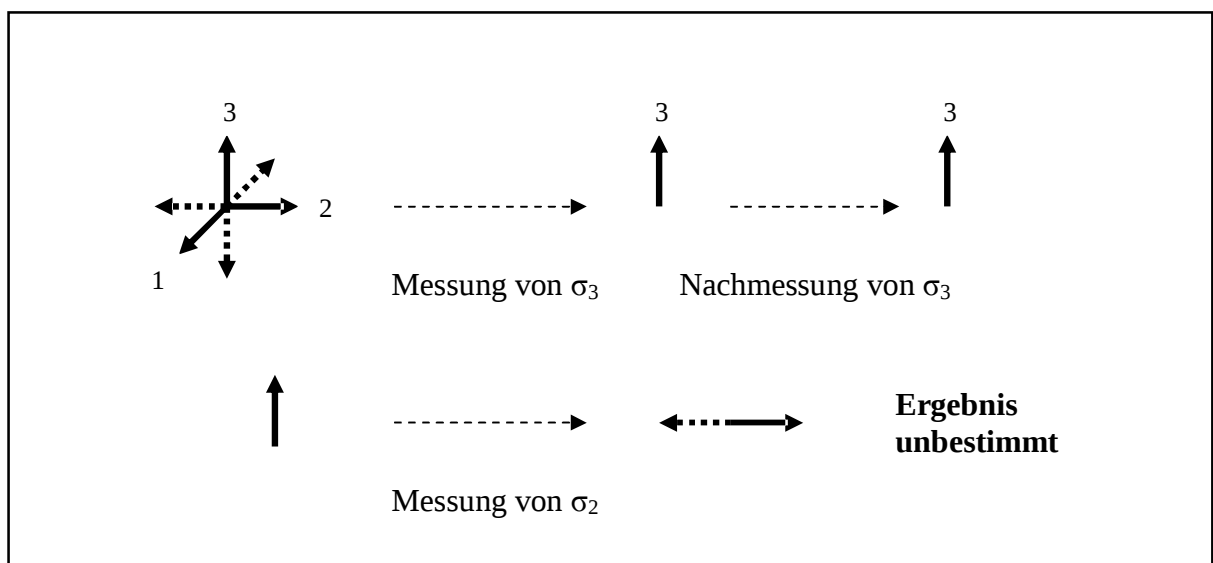
---

<sup>6</sup> Vergleiche Anm. 2.

und -1 geben kann. Auf eine vollständige Behandlung im quantenmechanischen Formalismus müssen wir hier allerdings verzichten<sup>7</sup>. Spin ist ein innerer Drehimpuls, der Teilchen wie dem Elektron oder dem Proton zukommt. Die Komponenten des Spins längs einer beliebigen Geradenrichtung  $R$  sind die Spinobservablen des Teilchen, die wir mit  $\sigma_R$  bezeichnen wollen. Elektronen und Protonen sind besonders einfache Teilchen, so genannte Spin  $\frac{1}{2}$  Teilchen. Für sie haben die Spinobservablen  $\sigma_R$  nur zwei möglich Messwerte, nämlich +1: Spin in Richtung von  $R$  und -1: Spin in Gegenrichtung von  $R$ . Für die folgenden Diskussionen verwenden wir für jedes Teilchen nur drei Spinobservable  $\sigma_1, \sigma_2$ , und  $\sigma_3$ , die zu drei zueinander senkrechten Geradenrichtungen gehören. Je zwei der Observablen  $\sigma_1, \sigma_2$ , und  $\sigma_3$  sind zueinander komplementär. In unserem Falle liegt sogar maximale Komplementarität vor (Vergleiche Abbildung 1):

Die Messung einer Observablen, etwa von  $\sigma_3$ , habe einen Messwert, etwa +1 ergeben. Dann liegt nach der Messung ein Eigenzustand, nämlich solcher Zustand vor, dass jede erneute Messung von  $\sigma_3$  mit Sicherheit immer wieder denselben Messwert +1 ergibt. Misst man dann aber anschließend eine andere Spinobservable, etwa  $\sigma_2$ , so ist das Messergebnis gänzlich unbestimmt, und man wird für  $\sigma_2$  die Messwerte +1 oder -1 mit jeweils 50 % Wahrscheinlichkeit erhalten.

Zu Diskussion von Verschränkungseffekten betrachten wir nun ein System aus zwei derartigen Teilchen mit Spin  $\frac{1}{2}$  und den sechs lokalen Spinobservablen  $\sigma_1^{(1)}, \sigma_2^{(1)}, \sigma_3^{(1)}$  sowie  $\sigma_1^{(2)}, \sigma_2^{(2)}, \sigma_3^{(2)}$ , von denen sich die ersten drei auf das erste und die letzten drei auf das zweite Teilchen beziehen.



**Abbildung 1: Messung von Spinobservablen**

Die beiden Teilchen dürfen räumlich sehr weit voneinander getrennt sein, und je zwei auf verschiedene Teilchen bezogene Observable sind miteinander kompatibel, also  $\sigma_i^{(1)} \sigma_j^{(2)} = \sigma_j^{(2)} \sigma_i^{(1)}$  für  $i, j = 1, 2, 3$ . Hingegen sind je zwei auf dasselbe Teilchen bezogene Observable zueinander komplementär. Das System aus zwei Teilchen befinde sich, bevor an ihm weitere Messungen vorgenommen werden, nun im so genannten *Singulettzustand*. Das ist ein verschränkter Zustand, der im quantenmechanischen Formalismus, den wir, wie gesagt, hier nicht entwickeln können, durch  $\Psi = \frac{1}{\sqrt{2}} (\psi_{3,+1}^{(1)} \psi_{3,-1}^{(2)} - \psi_{3,-1}^{(1)} \psi_{3,+1}^{(2)})$  beschrieben wird. Nachfolgende Messungen an dem zunächst im Singulettzustand befindlichen System ergeben folgendes (Vergleiche Abbildung 2):

<sup>7</sup> Eine allgemein verständliche Darstellung findet sich in dem lesenswerten Buch: J. Audretsch: *Verschränkte Welt*, Wiley-VCH, Weinheim 2002.

Eine Messung einer Spinobservablen, etwa  $\sigma_3^{(1)}$ , am ersten Teilchen ergibt mit jeweils 50% Wahrscheinlichkeit die Messwerte +1 oder -1. Dieses Resultat war zu erwarten. Überraschend sind die Ergebnisse einer anschließenden Messung der entsprechenden Spinobservable  $\sigma_3^{(2)}$  an dem zweiten Teilchen. Es ergibt sich immer das entgegengesetzte Resultat der Messung am ersten Teilchen, also -1, wenn +1 am ersten Teilchen gemessen wurde und +1, wenn -1 das Ergebnis der Messung am ersten Teilchen war.

Dies ist ein erstes drastisches Beispiel für eine *Verschränkungskorrelation* (die sich in diesem konkreten Fall als Antikorrelation erweist). Obwohl das Messergebnis am ersten Teilchen unvorhersehbar war, bestimmte es anschließend sofort das Messergebnis einer Observablen am zweiten Teilchen. Da die beiden Teilchen beliebig weit voneinander entfernt sein dürfen, darf man nicht annehmen, dass das Messergebnis am ersten Teilchen in irgendeiner Weise als Nachricht an das zweite Teilchen übermittelt worden wäre. Vielmehr müssen die Verschränkungskorrelationen im Singulettzustand des Zweiteilchensystems ihren Ursprung haben. Denkbar wäre nun, dass die Messwerte von  $\sigma_3^{(1)}$  und  $\sigma_3^{(2)}$  bereits vor den Messungen durch irgendeine unbeobachtete oder gar unbeobachtbare zusätzliche Eigenschaft des Singulettzustandes bestimmt gewesen wären. Das würde gerade der in der Einleitung erwähnten Realismusforderung Albert Einsteins entsprechen. Eine genauere Analyse zeigt aber, dass wegen der Verletzung der Bellschen Ungleichungen, die ebenfalls an demselben Zweispinsystem festgestellt werden kann, auch diese Möglichkeit auszuschließen ist<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Genaueres zu den Bellschen Ungleichungen und zur Verschränkung findet man in allgemein verständlicher Form beispielsweise in dem in Anmerkung 7 genannten Werk. Eine vollständige Behandlung im quantenphysikalischen Formalismus ist enthalten in: M. A. Nielsen, I. L. Chuang: *Quantum Computation and Quantum Information*, Cambridge University Press 2000. Für den aktuellen Forschungsstand zu Verschränkungen sei verwiesen auf die Übersichtsartikel: M. B. Plenio, Sh. Virmani: *An Introduction to Entanglement Measures*, Quant. Inf. Comp. 7 (2007), 1-31 sowie R.+P.+M.+K. Horodecki: *Quantum Entanglement* arXiv:quant-ph/0702225v2, April 2007.

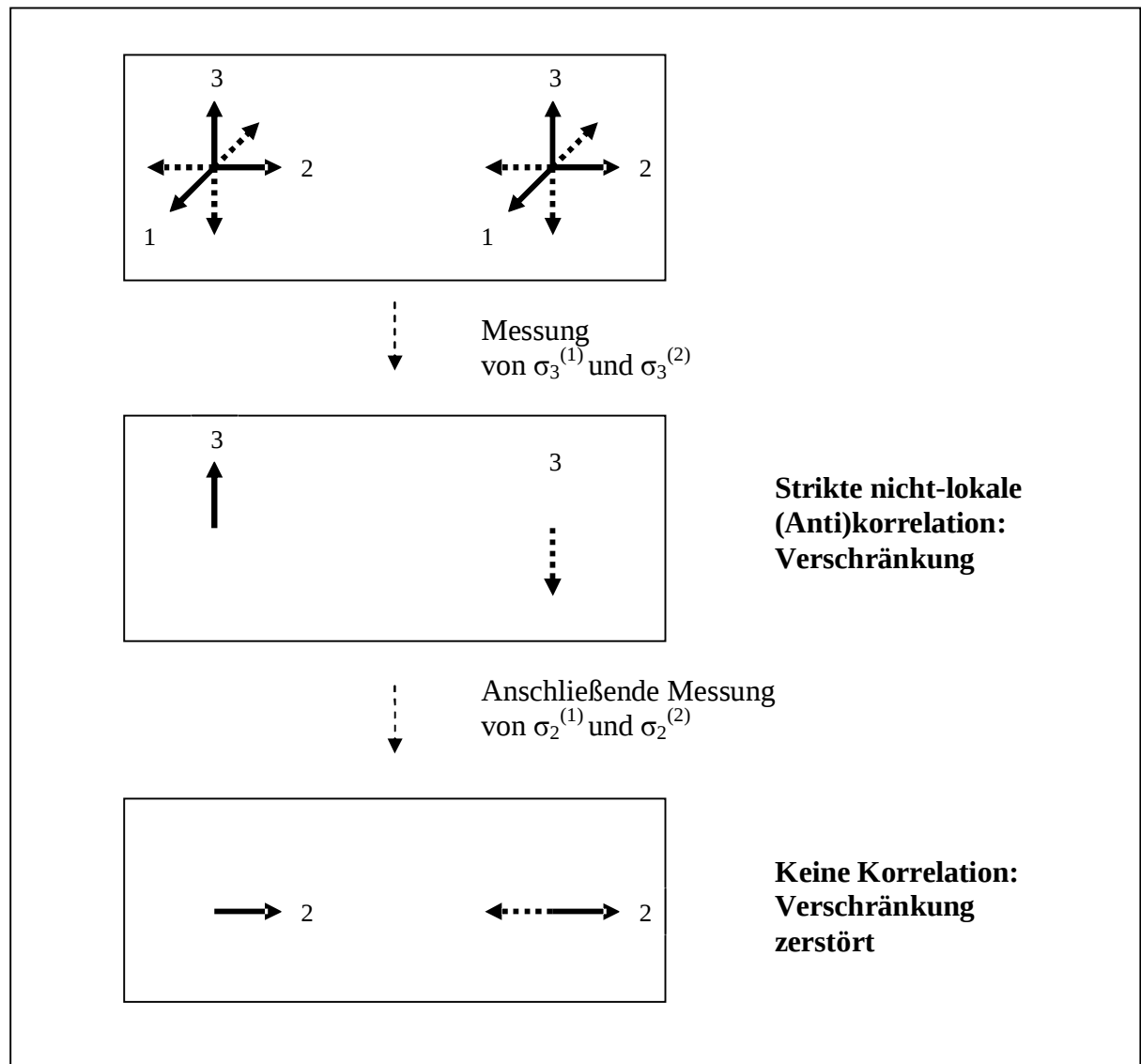


Abbildung 2: Verschränkung für zwei Spins

Wegen der Kompatibilität von  $\sigma_3^{(1)}$  und  $\sigma_3^{(2)}$  hätte man dieselben Verschränkungskorrelationen auch gefunden, wenn man zuerst am zweiten und dann am ersten Teilchen gemessen hätte.

Auch ergeben sich für Messungen mit anderen Paaren einander entsprechender Observablen, etwa mit  $\sigma_2^{(1)}$  und  $\sigma_2^{(2)}$ , dieselben Verschränkungskorrelationen.

Dass die Verschränkungskorrelationen eine Eigenschaft des Singulettzustandes sind, sieht man auch daran, dass sie nach der Messung von  $\sigma_3^{(1)}$  und  $\sigma_3^{(2)}$ , durch die der Zustand verändert worden ist, nicht mehr auftreten. Wenn man nämlich nach diesen Messungen die Observablen  $\sigma_2^{(1)}$  und  $\sigma_2^{(2)}$  misst, so findet man unkorrelierte Ergebnisse: Zunächst liefert eine Messung von  $\sigma_2^{(1)}$  wieder die Werte +1 oder -1 mit jeweils 50% Wahrscheinlichkeit. Dasselbe gilt nun aber auch für die Messung von  $\sigma_2^{(2)}$ , und zwar unabhängig vom Messergebnis von  $\sigma_2^{(1)}$ . Die Verschränkungseigenschaft des Singulettzustandes ist also verloren gegangen und liegt in dem neuen Zustand nach den ersten Messungen nicht mehr vor.

Wir sehen in Abbildung 2 auch, dass die Verschränkungseigenschaft des Singulettzustandes nicht zur Signalübermittlung verwendet werden kann. Wenn man die Observable  $\sigma_3^{(2)}$  misst, ohne das Ergebnis einer vorangegangenen Messung von  $\sigma_3^{(1)}$  im Singulettzustand zu kennen, dann erhält man wieder die Werte +1 mit je 50% Wahrscheinlichkeit, da ja die Messung von  $\sigma_3^{(1)}$  je 50% für +1 und -1 ergeben hat und die nachfolgende Mes-

sung von  $\sigma_3^{(2)}$  immer das umgekehrte Resultat liefern muss. Dieselbe Gleichverteilung der Messwerte von  $\sigma_3^{(2)}$  findet man aber auch, wenn am ersten Teilchen eine andere Observable oder auch überhaupt nicht gemessen worden ist. Es ist also nicht möglich, durch Messung am ersten Teilchen die Wahrscheinlichkeitsverteilung von Messwerten am zweiten Teilchen zu verändern, ohne Informationen über Art und Ergebnis der ersten Messung bekannt zu geben.

Wir erwähnten schon (vergleiche Anmerkung 2), dass ganz allgemein Verschränkungskorrelationen nicht zur Übermittlung von Nachrichten oder Einwirkungen verwendbar sind.

Eine genauere quantentheoretische Analyse zeigt, dass der Ursprung der Verschränkung in dem Zweispinsystem in der Existenz einer globalen Observablen  $\Sigma^2$  liegt, die komplementär zu den lokalen Observablen  $\sigma_1^{(1)}, \sigma_2^{(1)}, \sigma_3^{(1)}, \sigma_1^{(2)}, \sigma_2^{(2)}, \sigma_3^{(2)}$  ist. Der Singulettzustand  $\Psi$  ist ein *Eigenzustand* von  $\Sigma^2$ , d.h. jede Messung von  $\Sigma^2$  im Zustand  $\Psi$  liefert mit Sicherheit immer denselben Messwert (in diesem Fall den Messwert Null). (Im quantenmechanischen Formalismus ist  $\Sigma^2 = \sum_{i=1}^3 (\sigma_i^{(1)} + \sigma_i^{(2)})^2$  und  $\Sigma^2 \Psi = 0$ .)

Das Zweispinsystem ist repräsentativ für Systeme mit Verschränkung, die natürlich auch mehr als nur zwei Teilsysteme haben können.

Als Ergebnis der etwas mühsamen und umständlichen Überlegungen dieses Kapitels halten wir für Verschränkungskorrelationen in der physikalischen Quantentheorie als charakteristische Eigenschaften fest:

- A) Verschränkungskorrelationen zwischen den Messwerten lokaler Observablen sind nicht kausalen Ursprungs, bestehen also nicht in Wechselwirkungen zwischen den Teilen eines zusammengesetzten Systems, sondern sind eine Eigenschaft der Zustände.
- B) Verschränkungskorrelationen können nicht zur Übermittlung von Nachrichten oder Einwirkungen Verwendung finden.
- C) Die Möglichkeit von Verschränkungskorrelationen beruht auf Komplementarität von globalen und lokalen Observablen. Unverschränkte reine Zustände sind Eigenzustände lokaler Observablen, verschränkte reine Zustände sind Eigenzustände globaler Observablen.
- D) Die Messwerte lokaler Observablen an einem System in einem verschränkten Zustand sind vor der Messung unbestimmt im Sinne der Quantentheorie und nicht nur unbekannt wegen unvollständiger Kenntnis des Zustandes.

### 3. Kausale und nicht kausale Korrelationen

In diesem Kapitel wollen wir Verschränkungskorrelationen in dem wesentlich weiteren Rahmen der Verallgemeinerten Quantentheorie betrachten und von andersartigen Korrelationen abgrenzen. Gute Dienste werden uns hierbei die vier Kriterien vom Ende des letzten Kapitels leisten, von denen übrigens auffallenderweise drei negative Bestimmungen sind.

Von Korrelationen zwischen zwei Teilsystemen  $S_1$  und  $S_2$  spricht man immer dann, wenn die Ergebnisse von Messungen an einem der Teilsysteme Rückschlüsse auf Messergebnisse an dem anderen Teilsystem erlauben. Art und Stärke der Korrelationen hängen dabei von den betrachteten lokalen Observablen und vom Zustand des Gesamtsystems ab. Eine Korrelation zwischen  $S_1$  und  $S_2$  kann zur Übermittlung von Nachrichten von  $S_1$  nach  $S_2$  verwendet werden, wenn es möglich ist,  $S_1$  gezielt so zu manipulieren, dass durch Messungen an  $S_2$  nur auf Grund der Korrelation und ohne weiteren Informationsaustausch Rückschlüsse auf die Tatsache und die Art der Manipulation an  $S_1$  möglich sind.

Wir wollen nun unterscheiden:

1) *Kausale Korrelationen* zwischen  $S_1$  und  $S_2$  kommen durch kausale Einwirkungen zustande. Man kann weiter trennen zwischen

1a) *Einwirkungen* von  $S_1$  auf  $S_2$ , symbolisch angedeutet durch

$$S_1 \longrightarrow S_2$$

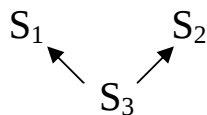
1b) *Wechselwirkungen* zwischen  $S_1$  und  $S_2$ , symbolisiert durch

$$S_1 \longleftrightarrow S_2$$

Beispiele wären etwa eine Grimasse von  $S_1$  und die beleidigte Reaktion von  $S_2$  beziehungsweise ein erregter Disput zwischen  $S_1$  und  $S_2$ . Es bedarf wohl keiner weiteren Erklärung, dass bei geeigneten Manipulationsmöglichkeiten kausale Korrelationen zum Signalaustausch brauchbar sind.

Die oben genannten Kriterien A, B und C sind für kausale Korrelationen nicht erfüllt. Ob D erfüllt ist, hängt davon ab, ob die Systeme  $S_1$  und  $S_2$  klassisch oder quantenartig sind.

2) *Korrelation durch gemeinsame Ursache*. Solche Korrelationen zwischen Systemen  $S_1$  und  $S_2$  kommen dadurch zustande, dass beide Systeme kausal von einem dritten System  $S_3$  beeinflusst wurden. Eine solche Situation ließe sich durch ein Diagramm



symbolisieren. Ein Beispiel für eine derartige Korrelation ist die Tatsache, dass Menschen und Krokodile von gemeinsamen Vorfahren jeweils vier fünfstrahlige Gliedmaßen geerbt haben. Ein anderes Beispiel ist der gleichzeitige Anstieg des Wasserverbrauches in vielen Haushalten bei Beginn oder Ende mancher Fernsehsendungen.

Kriterium A ist erfüllt, da es sich nicht um eine Einwirkung von  $S_1$  auf  $S_2$  handelt, Kriterium B gilt ebenfalls, da es an der freien Manipulierbarkeit von  $S_1$  fehlt, auf Kriterium C werden wir später eingehen, und mit Kriterium D verhält es sich so wie im Falle 1).

Die Korrelationen vom Typ 1) und 2) haben gemeinsam, dass bei ihrem Zustandekommen Kausalität beteiligt ist. Man kann diese Gemeinsamkeit durch die Bezeichnungen „*horizontale Kausalbeziehung*“ und „*vertikale Kausalbeziehung*“ berücksichtigen. Nur eine horizontale Kausalbeziehung taugt zum Signalaustausch.

3) Einen dritten Typ von Korrelationen wollen wir in Ermangelung eines eingebürgerten Namens mit der Bezeichnung „*schwarze und weiße Kugel*“ belegen.

Wir stellen uns vor, eine schwarze und eine weiße Kugel von gleicher Größe und gleichem Gewicht würden in zwei gleich aussehende Pakete verpackt. Die Pakete würden so lange vertauscht, bis niemand mehr wüsste, in welchem sich die schwarze und die weiße Kugel befände. Anschließend wird das eine Paket nach Berlin und das andere nach Hongkong versandt. Wenn sichergestellt ist, dass beide Pakete angekommen sind, wird das Berliner Paket geöffnet. Wenn es etwa die weiße Kugel enthält, ist augenblicklich und ohne jede kausale Einwirkung sicher, dass das Paket in Hongkong eine schwarze Kugel enthält. Wir haben hier also wieder ein markantes Beispiel für eine nicht kausale Korrelation. Sicher handelt es sich hier nicht um eine Unbestimmtheit vom quantentheoretischen Typ, sondern um ein rein klassisches Phänomen. Die Kriterien C und D sind also sicher nicht erfüllt, wohl aber A und auch B, denn eine planmäßige Manipulation ist nicht möglich, da vor dem Öffnen eines Paketes niemand wissen kann, welche Kugel sich in welchem Paket befindet.

Einsteins Annahme des lokalen Realismus läuft darauf hinaus, dass die quantentheoretischen Verschränkungskorrelationen in Wirklichkeit nur von der Art der Korrelation der

schwarzen und weißen Kugel seien. Wie gesagt, kann diese Annahme für die physikalische Quantentheorie mit Hilfe der Bellschen Ungleichungen experimentell widerlegt werden. (Im Formalismus der Quantenphysik gesprochen, befinden sich die beiden Kugeln vor dem Öffnen der Pakete in einem nicht verschränkten gemischten Zustand.)

4) Verschränkungskorrelationen in der Quantenphysik sind durch die Kriterien A-D gekennzeichnet, keine der drei bisher genannten Typen von Korrelationen erfüllt für klassische Systeme alle von ihnen. Wir wollen uns nun der Frage zuwenden, was wir für Verschränkungskorrelationen in der Verallgemeinerten Quantentheorie verlangen sollten.

Die Frage nach der Gültigkeit von D in der Verallgemeinerten Quantentheorie führt auf die Frage, wie die Unbestimmtheiten von Messergebnissen in der Verallgemeinerten Quantentheorie zu verstehen ist. Sind sie epistemischer Art, also nur durch unvollständige Kenntnis des Zustandes bedingt oder ontischer Natur, also auch bei vollständiger Kenntnis des Zustandes noch vorhanden? In der Quantenphysik kann diese Frage durch die Bellschen Ungleichung zugunsten des ontischen Charakters entschieden werden, die Axiome der Verallgemeinerten Quantentheorie liefern keine Grundlage für die Ableitung Bellscher Ungleichungen<sup>9</sup>. Für sie hängt die Antwort von dem jeweils betrachteten System ab. Die Quantenmechanik ist ein Spezialfall der Verallgemeinerten Quantentheorie, und für sie sind die Unbestimmtheiten bestimmt ontischer Natur. Die entscheidende strukturelle Gemeinsamkeit zwischen Quantenmechanik und Verallgemeinerter Quantentheorie besteht darin, dass im Allgemeinen Messungen in unvermeidbarer Weise den Zustand ändern. Diese Änderung könnte, wie in der Quantenmechanik, eine wesentliche Reduktion des Zustandes durch Messung sein, sie könnte aber auch, zumal bei komplexen, nicht vollständig kontrollierbaren Systemen, ihren Ursprung in einer unvermeidlichen und unkontrollierbaren Störung des Zustandes durch die Messung haben. Ebenso könnte der Grund für Unbestimmtheiten und Komplementaritäten in der Verallgemeinerten Quantentheorie in manchen Fällen ontischer Natur sein, in anderen auf unvollständiger Kenntnis des Zustandes oder Störungen durch die Umwelt des Systems einschließlich des „Messgerätes“ beruhen.

Die Verallgemeinerte Quantentheorie ist eine Rahmentheorie für Systeme allgemeinsten Art. Beispielsweise können sich komplexe klassisch-physikalische Systeme bei unvollständiger Kontrolle und Beschränkung auf einen begrenzten Satz von Observablen phänomenologisch wie Quantensysteme im Sinne der Verallgemeinerten Quantentheorie mit komplementären Observablen verhalten<sup>10</sup>. Wenn man die Verallgemeinerte Quantentheorie als eine phänomenologische allgemeine Systemtheorie versteht, dann kann und muss die Frage nach dem ontischen oder epistemischen Charakter der auftretenden Unbestimmtheiten also offen bleiben.

Da sich bei einem solchen phänomenologischen Verständnis der Verallgemeinerten Quantentheorie unkontrollierbare kausale Wechselwirkungen nicht ausschließen lassen, sind die Kriterien A und B durch etwas vorsichtigeren Formulierungen zu ersetzen:

A') Verschränkungskorrelationen zwischen den Messwerten lokaler Observablen sind nicht *kontrollierbar* kausalen Ursprungs, bestehen also nicht in kontrollierbaren Wechselwirkungen zwischen den Teilen eines zusammengesetzten Systems, sondern sind eine Eigenschaft der Zustände.

B') Verschränkungskorrelationen können nicht zur Übermittlung von Nachrichten oder *kontrollierbaren* Einwirkungen Verwendung finden.

---

<sup>9</sup> Vergl. Anm. 5.

<sup>10</sup> P. beim Graben, H. Atmanspacher: *Complementarity in Classical Dynamical Systems*, Foundations of Physics 36 (2006), 291-306

Offenbar folgt  $A'$  aus  $A$  und  $B'$  aus  $B$ .

An anderer Stelle<sup>11</sup> wurde  $B'$  als *Axiom NT* formuliert und als grundlegend für Anwendungen der Verallgemeinerten Quantentheorie erkannt.

Kriterium D ist im Vergleich zu seiner Verneinung die schwächere Annahme. Die Behauptung, Unbestimmtheiten von Messwerten seien lediglich epistemischen Ursprunges, unterstellt nämlich die Existenz zusätzlicher unbeobachteter oder unbeobachtbarer Eigenschaften von Systemzuständen. In der Tat haben Systeme vom klassischen Typ im Rahmen der Verallgemeinerten Quantentheorie die zusätzliche Eigenschaft, dass für sie je zwei Observable miteinander vertauschbar sind.

Ebenso ist die Kriterium C schwächer als seine Verneinung. C ist nämlich eine Explikation von  $A'$ , wenn nicht unterstellt wird, dass Korrelationen ohne kontrollierbaren kausalen Hintergrund dennoch eine klassisch kausale Erklärung haben.

Wir sollten also die eingangs gestellte Frage, was für Verschränkungskorrelationen in der Verallgemeinerten Quantentheorie zu fordern sei, wie folgt beantworten:

*Verallgemeinerte Verschränkungskorrelationen erfüllen die Kriterien  $A'$ ,  $B'$ , C und D.*

In einigen besonders günstigen Fällen lässt sich ausnahmsweise die Möglichkeit kausaler Einwirkungen ausschließen, zum Beispiel bei weiter räumlicher Trennung der Teilsysteme oder dann, wenn die Wirkung der Ursache vorausgehen müsste. Wenn für die Erklärung von Korrelationen keine klar identifizierbaren kausalen Mechanismen zu erkennen sind, besteht die vorsichtigste Annahme darin, sie, wenigstens bis auf weiteres, als verallgemeinerte Verschränkungskorrelationen aufzufassen, statt sie voreilig einem der Typen 1) bis 3) zuzuordnen.

Eine solche vorschnelle Zuordnung nicht (erkennbar) kausaler Konstellationen geschieht allzu leicht unter dem mächtigen Druck des Vorurteils, jede wirklich befriedigende Erklärung eines Sachverhaltes oder Zusammenhanges müsse eine Kausalerklärung sein.

Wie schon in der Einleitung erwähnt, ist es das Hauptanliegen dieser Studie, auf die Bedeutung nicht kausaler Korrelationen und Erklärungen hinzuweisen.

Zu ihrer einheitlichen Beschreibung stellt die Verallgemeinerte Quantentheorie ein geeignetes begriffliches Bezugssystem bereit, in dem sie als (verallgemeinerte) Verschränkungskorrelationen ihren wohl bestimmten Platz finden. Durch ihre Behandlung als Verschränkungskorrelationen treten besonders folgende Züge nicht kausaler Korrelationen klar hervor:

- Die Korrelationen haben ihren Ursprung im Zustand einer integrierenden Ganzheit, die weit mehr als die bloße Summe ihrer Teile ist.
- Auch bei einer Konzentration des Augenmerks auf die Teile bleibt das Ganze in Form von Verschränkungskorrelationen zwischen den Teilen anwesend.
- Wichtig ist das komplementäre Verhältnis von globalen und lokalen Observablen. Hierbei beziehen sich typischer Weise globale Observable auf Muster, Konstellationen und Sinnzusammenhänge des Ganzen.
- Die Teilsysteme verlieren im Ganzen viel von ihrer Selbständigkeit. Ihre Konstituierung ist keineswegs eine unproblematische Operation, sondern ein entscheidender, geradezu schöpferischer Akt. Auf diesen Umstand hat für die Quantentheorie G. Mahler wiederholt mit Nachdruck hingewiesen<sup>12</sup>. Auch wird in vielen Schöpfungsmythen die Teilung einer ursprünglichen Einheit als entscheidender kosmogonischer Vorgang dargestellt.

---

<sup>11</sup> W. von Lucadou, H. Römer, H. Walach: *Synchronistic Phenomena as Entanglement Correlations in Generalized Quantum Theory*, Journal of Consciousness Studies **14** (2007), 50-74

<sup>12</sup> G. Mahler: *The Partitioned Quantum Universe*, Mind and Matter **2** (2004), S. 67-91, J. Gemmer, G. Mahler: *Entanglement and the Factorization Approximation* Eur. Phys. J. **D 17** (2001), S. 385-393

Es soll hier keineswegs im Sinne eines „alles oder nichts“ die Bedeutung kausaler Einwirkungen heruntergespielt oder gar bestritten werden. Es werden sogar verschränkte Zustände oft, wenn nicht meistens durch Kausaleinwirkungen präpariert. Es geht lediglich darum, der von vornherein verfehlten Vorstellung eines Erklärungsmonopols kausaler Zusammenhänge entgegenzutreten.

Die Grundthese dieser Arbeit, dass Kausalbeziehungen nicht der einzige legitime „Anordner“ für das Weltverständnis ist, scheint gegenwärtig in den Hintergrund getreten zu sein. In der philosophischen Tradition findet sie in den verschiedensten Formen Ausdruck. Einige Beispiele seien hier genannt:

- Das Tao der chinesischen Philosophie ist eine Weltharmonie, die allen Einzelercheinungen ihren Platz und Sinn zuweist.
- Eine ähnliche Bedeutung hat die Vorstellung einer prästabilierten Harmonie bei Leibniz<sup>13</sup>.
- Die teleologische Betrachtungsweise hat nicht kausale Sinnbeziehungen zum Gegenstand.
- Kant unterscheidet ein Reich der Notwendigkeit von einem nicht kausal strukturierten Reich der Freiheit.
- In dieselbe Richtung weist Pascals Unterscheidung einer „ordre de la géométrie“ von einer „ordre du cœur“.
- In seinem Aufsatz „Transzendente Spekulation über die scheinbare Absichtlichkeit im Schicksale des Einzelnen“<sup>14</sup> vergleicht Schopenhauer sehr einprägsam und anschaulich Ereignisse mit Punkten auf einer Kugeloberfläche, wobei kausal zusammenhängende Ereignisse auf einem gemeinsamen Längengrad liegen, während in einem Sinnzusammenhang stehende Ereignisse auf einem und demselben Breitenkreis ihren Ort haben.
- C. G. Jung und W. Pauli haben diesen Aufsatz Schopenhauers bei der Formulierung ihrer Synchronizitätstheorie gekannt.
- Eine Ähnliche Vorstellung liegt auch W. Paulis Forderung nach „neuen Naturgesetzen“ zugrunde.
- Verwandt damit ist auch das „Sanfte Gesetz“ der deutschen Romantik.

## 4. Mögliche Beispiele für Verschränkung

Verschränkungskorrelationen zeigen sich an den verschiedensten Stellen wenn sich erst einmal die Sicht auf nicht kausale Beziehungen unter diesem Blickwinkel aufgetan hat. Wir wollen dies in gedrängter Form an zehn sehr unterschiedlichen Beispielen aufzeigen.

---

<sup>13</sup> H. Walach, N. von Stillfried, H. Römer: *Preestablished Harmony Revisited: Generalised Entanglement is a Modern Version of Preestablished Harmony*, Vortrag auf dem Leibniz-Kongress 2006 in Hannover, gehalten von H. Walach. Hierin wird auch der Frage nachgegangen, in wie weit sich bei Leibniz Ansätze zu komplementärem Denken finden lassen.

<sup>14</sup> A. Schopenhauer: *Parerga und Paralipomena*, Bd. 1,1

### a) Gegenübertragung

Dieses Beispiel wurde schon in der ersten Veröffentlichung zur Verallgemeinerten Quantentheorie in größerer Ausführlichkeit vorgestellt<sup>15</sup>.

In psychisch eng gebundenen Gruppen von Menschen geschieht es nicht selten, dass bei einzelnen Gruppenmitgliedern psychische Inhalte auftreten, die eher anderen Gruppenmitgliedern zuzuschreiben wären. Für die Zweierbeziehung von Patient und Psychotherapeut ist diese Erscheinung schon von Sigmund Freud unter der Bezeichnung „*Gegenübertragung*“ beschrieben worden<sup>16</sup>. In gewissen Situationen kann der Therapeut Schübe von Emotionen und aufdringlichen Vorstellungen empfinden, die sich durch ihre Unangemessenheit und Fremdheit als nicht ihm selbst, sondern dem Patienten zugehörig ausweisen. In der therapeutischen Praxis wird dieses wohlbekannte Phänomen sowohl zur Diagnose als auch zur Intervention verwendet.

Eine ähnliche Erscheinung ist auch in der Gruppen- und Familientherapie bekannt<sup>17</sup>. Insbesondere wird in Familiengruppen oft ein fremdes Mitglied, der so genannte Protagonist, eingefügt, und es kann geschehen, dass der Protagonist für sich selbst nicht zu integrierende Empfindungen hat, die einem anderen Gruppenmitglied oder sogar einem abwesenden oder verstorbenen Familienmitglied zukommen. Der zu Grunde liegende Sachverhalt braucht dabei keinem der Beteiligten bewusst zu sein. So kann der Protagonist beispielsweise eine Kriegsverletzung eines anderen an der entsprechenden Körperstelle spüren oder aber, wenn ein abwesendes Mitglied freiwillig in den Tod gegangen ist, den starken Drang spüren, den Raum zu verlassen.

So häufig derartige Phänomene auftreten, so unklar ist ihre Deutung. Nach dem bisher Gesagten, erscheint es angezeigt, sie phänomenologisch als Verschränkungskorrelationen in einen Mehrpersonensystem zu beschreiben. Das Gesamtsystem ist dabei die Personengruppe, die Teilsysteme sind die Gruppenmitglieder. Die wesentliche globale Observable misst den Grad der Einstimmung und der wechselseitigen Offenheit füreinander. Die lokalen Observablen entsprechen psychischen Inhalten der Gruppenmitglieder und werden durch „Bewusstmachung“ gemessen. Da bei hoher wechselseitiger Offenheit die psychischen Inhalte der einzelnen Mitglieder in den Hintergrund treten, ist ein komplementäres Verhältnis zwischen globalen und lokalen Observablen sehr plausibel, und man darf erwarten, dass der Zustand wechselseitiger Offenheit ein verschränkter Zustand ist, in dem Verschränkungskorrelationen der soeben beschriebenen Art auftreten.

In dem physikalischen Beispiel eines simplen Zweispinsystems wurde die Verschränktheit des Gesamtzustandes bereits durch eine einzige Messung einer lokalen Observablen zerstört. Das ist für komplexere physikalische Systeme und erst recht für hoch komplexe Mehrpersonensysteme nicht der Fall. Beobachtungen an Teilsystemen werden allenfalls den Grad der Verschränkung ein wenig vermindern, und die Verschränkung kann durch die Dynamik des Systems sogar restauriert oder erhöht werden. Eine wirkliche Zerstörung der Verschränkung droht eher durch desintegrierende Interventionen.

### b) Synchronistische Erscheinungen

Wie in der Einleitung erwähnt, hat bereits Wolfgang Pauli die Ähnlichkeit von quantenmechanischen Verschränkungskorrelationen mit den akausalen „sinnvollen Zufällen“ in der Theorie der Synchronizität gesehen, die insbesondere zum Verständnis so genannter

---

<sup>15</sup> Vergl. die erste in Anm. 5 genannte Arbeit.

<sup>16</sup> S. Freud: *Vorlesungen zur Einführung in die Psychoanalyse*, Fischer, Frankfurt 1992.

<sup>17</sup> M. Varga von Kibed: *Bemerkungen Über philosophische Grundlagen und methodische Voraussetzungen zur systemischen Aufstellungsarbeit*. In „Praxis des Familien-Stellens“, ed. G. Weber, Carl Auer, Heidelberg 1998. Vergleiche weitere Beiträge des Autors in demselben Band.

paranormalen Erscheinungen wie Telepathie, Präkognition oder Telekinese beitragen sollte. Obwohl paranormale Erlebnisse keineswegs selten sind, sondern oft berichtet werden<sup>18</sup>, entziehen sie sich hartnäckig allen Versuchen, sie in wiederholbarer Weise dingfest, geschweige denn anwendbar zu machen. Die Vorherrschaft kausaler Erklärungsmuster macht es verständlich, dass trotz aller Frustration mit derartigen Ansätzen eine synchronistische Auffassung paranormaler Phänomene, die auf die Annahme eines Austauschs von Signalen und Einwirkungen verzichtet, nur zögerlich an Boden gewinnt. Die Verallgemeinerte Quantentheorie erlaubt eine genauere, formal wohl definierte Fassung dieses Ansatzes, indem sie nahe legt, paranormale Phänomene als verallgemeinerte Verschränkungskorrelationen zu deuten<sup>19</sup>. Die hierbei in Betracht kommenden Systeme werden von Varela<sup>20</sup> als „organisatorisch geschlossen“ bezeichnet. Sie enthalten in hoch komplexer Weise Personen und oft auch Teile der physikalischen Welt, die durch so zahlreiche emotionale und physikalische Bindungen aufeinander bezogen sind, dass sie ein hohes Maß von autonomem Verhalten zeigen, und dass jede Beobachtung an ihnen unkontrollierbare Rückwirkungen hat.

Die relevanten globalen Observablen beziehen sich auf Grad und Art der Verbundenheit und enthalten im Allgemeinen einen wesentlichen stark emotionalen Anteil. Komplementarität zu lokalen Observablen ist zu erwarten, da die Konzentration auf Teilsysteme den Grad der Integration des Gesamtsystems schwächt oder gefährdet.

Eine Schlüsselrolle spielt bei dieser Anwendung der Verallgemeinerten Quantentheorie das im vorigen Kapitel beschriebene Axiom NT, durch welches die Möglichkeit von Signalübertragung oder kontrollierter Einwirkung durch Verschränkungskorrelationen ausgeschlossen wird. Aus dieser auf den ersten Blick rein negativen Unmöglichkeitssaussage können positive Voraussagen gewonnen werden<sup>21</sup>, die vielfach durch Erfahrungen mit paranormalen Phänomenen bestätigt sind:

- Der so genannte „*decline-Effekt*“: Wenn versucht wird, durch Experiment und Wiederholung paranormale Effekte mit dem Ziel des Nachweises einer Einwirkung oder Signalübertragung statistisch signifikant zu machen, verschwinden anfängliche Hinweise bis zur Insignifikanz.
- Es gibt eine Reziprozität zwischen Effektstärke und Reproduzierbarkeit, es sind also gerade die drastischsten Effekte am wenigsten wiederholbar.
- „Ausweichverhalten“: Paranormale Effekte verschwinden, wo man nach ihnen sucht, und tauchen dafür an unerwarteter Stelle wieder auf.

Gerade das Ausweichverhalten gewährt Möglichkeiten, die Sichtbarkeit paranormaler Effekte in experimentellen Studien zu verbessern. Es ergibt sich ein „springendes Muster“ von Korrelationen, deren Stärke und Anzahl signifikant erhöht sind, die aber nicht stabil sind, sondern zu immer anderen Messwerten überwechseln. Durch dieses Verhalten unterscheiden sich diese Korrelationen sowohl vom Nulleffekt als auch von kausalen Korrelationen.

Bei der Anwendung des NT-Axioms kann es zur Verwirrung führen, dass synchronistische Korrelationen oft als erfolgreiche Einwirkungen oder Signalübertragung erlebt werden, nämlich dann, wenn auf der einen Seite einer Korrelation der Wunsch nach Kontakt oder Einflussnahme steht, was gerade in emotional gespannten Situationen oft der Fall ist.

<sup>18</sup> E. Bauer, M. Schetsche, (eds), Alltägliche Wunder: Erfahrungen mit dem Übersinnlichen - wissenschaftliche Befunde. Würzburg: Ergon 2003

<sup>19</sup> Für eine ausführliche Darstellung vergl. die in Amn. 11 zitierte Arbeit.

<sup>20</sup> F. J. Varela: *Autonomy and autopoiesis*. In: G. Roth, H. Schwengler (eds.): *Self-organizing systems*, Frankfurt: Campus, pp. 14-23

<sup>21</sup> In ähnlicher Weise folgt aus der Aussage von der Unmöglichkeit eines perpetuum mobile zweiter Art die Grundstruktur der Thermodynamik.

### c) Homoeopathie

Homoeopathie ist wegen ihrer praktischen und wirtschaftlichen Bedeutung ein viel untersuchter aber auch sehr umstrittener Gegenstand<sup>22</sup>. In ihrem theoretischen Hintergrund und in den Ergebnissen experimenteller Befunde weist sie Ähnlichkeit mit paranormalen Phänomenen auf. Trotz unzähliger Zeugnisse über ihre teils drastische Wirksamkeit, zeigen valide Studien unter Doppelblindbedingungen im Allgemeinen keinen Unterschied zum Placeboeffekt, weisen allerdings Anomalien in Schwankungen und Korrelationen auf. Viel Arbeit ist auf eine von der Sache her nahe liegende Behandlung im Rahmen der Verallgemeinerten Quantentheorie geleistet worden<sup>23</sup>.

Hierzu ist ein kompliziertes und nicht voll kontrollierbares System zu betrachten. Wenn man mit aller gebotenen Vorsicht eine Beschreibung im Sinne der Verallgemeinerten Quantentheorie versucht, dann hat man ein System vor sich, in dem homoeopathisches Agens, Wasser, Patient, Symptom und wohl auch Therapeut in mannigfacher Weise miteinander verschränkt sein können. Bei der weiteren theoretischen Erforschung in diesem Rahmen sollte man einen Mechanismus in Erwägung ziehen, der in der Quantenphysik unter dem Namen „*Quantenteleportation*“<sup>24</sup> bekannt und experimentell realisiert worden ist. Dabei handelt es sich um einen Mechanismus, mit dessen Hilfe durch wechselnde Verschränkung ein Zustand von einem System auf ein anderes übertragen werden kann. Das Prinzip der Quantenteleportation ist das folgende (vergl. Abbildung 3)

Ein System  $S$  enthalte Untersysteme  $S_1$ ,  $S_2$  und  $S_3$ . Es befinde sich anfangs  $S_1$  im Zustand  $z_1$  und das aus  $S_2$  und  $S_3$  zusammengesetzte Teilsystem  $S_{23}$  in einem verschränkten Zustand  $z_{23}$ . Nun wird durch eine Messung das aus  $S_1$  und  $S_2$  zusammengesetzte Teilsystem  $S_{12}$  in einem verschränkten Zustand  $z_{12}$  versetzt. Schließlich wird am System  $S_3$  eine gewisse vom Ergebnis dieser letzten Messung abhängige Manipulation vorgenommen. Hierdurch kann erreicht werden, dass sich dann das System  $S_3$  in demselben Zustand  $z_1$  befindet, in dem sich zu Beginn das System  $S_1$  befunden hat.

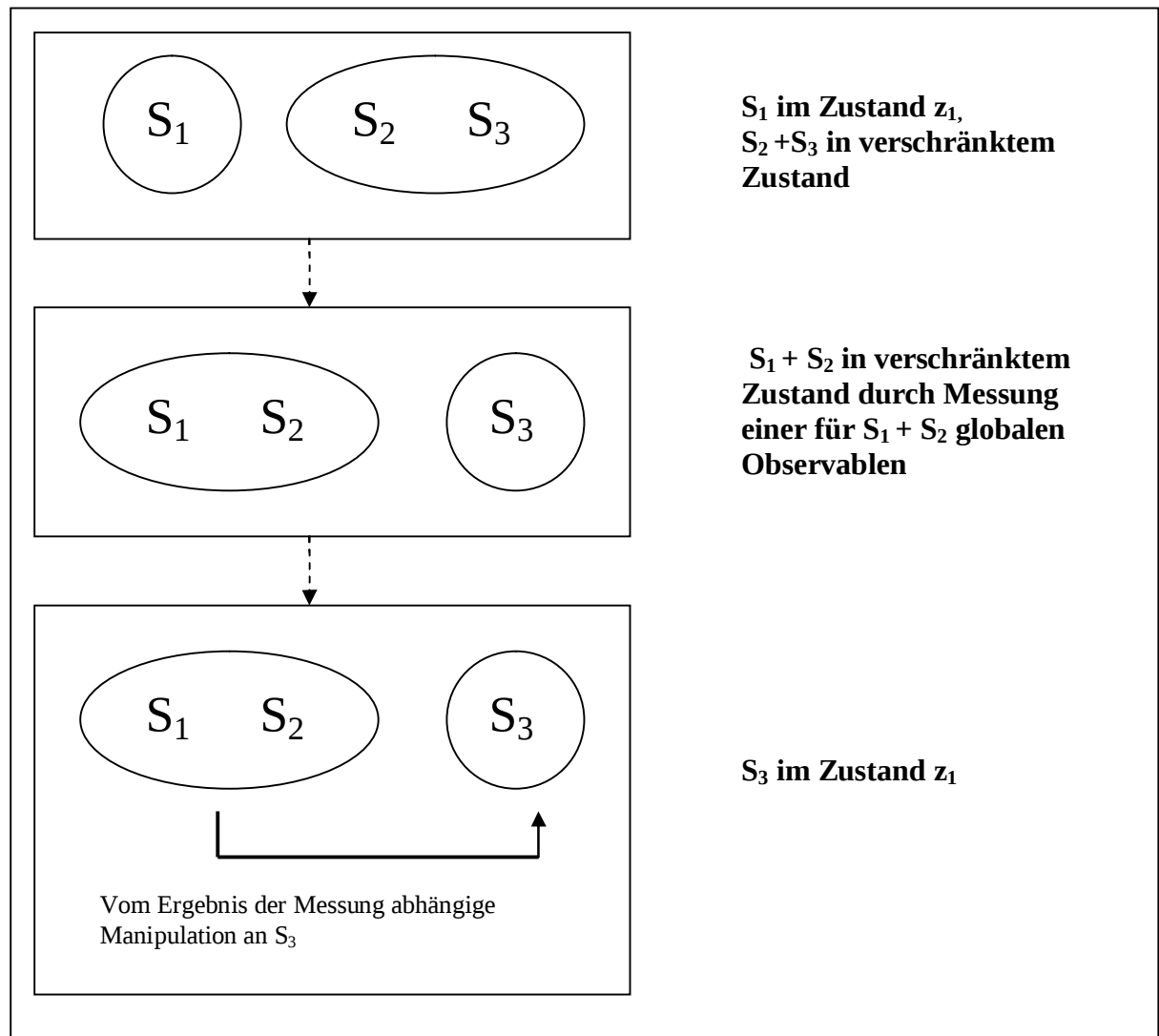
Ähnlich kann man sich vielleicht in der Homoeopathie die Austreibung eines Krankheits-symptoms mit Hilfe mehrfacher Verschränkung vorstellen.

---

<sup>22</sup> Einen guten Überblick geben H. Walach., W. B. Jonas, J. Ives, R. van Wijk, O. Weingärtner: *Research on homeopathy: State of the Art*. Journal of Alternative and Complementary Medicine, **11** (2005), 813-829.

<sup>23</sup> H. Walach: *Entanglement of Homeopathy as an Example of Generalized Entanglement Predicted by Weak Quantum Theory*, Forschende Komplementärmedizin und klassische Naturheilkunde **10** (2003), 192-200

<sup>24</sup> Vergl. die unter Anm. 8 angegebene Literatur.



#### d) Soziologie

Die Auffassung, dass Völker oder andere große Menschengemeinschaften eine organische Einheit bildeten, war immer weit verbreitet und ist nach dem vielfachen Zeugnis von Ethnologen bei Naturvölkern eine Selbstverständlichkeit<sup>25</sup>. Heute ist die Vorstellung einer „Volksseele“ wegen Missbrauchs in der jüngeren Geschichte und wegen der Furcht vor möglichen totalitären Konsequenzen eher verpönt. Sie passt auch wenig ins Weltbild von Vertretern einer Multikulturalität. Andererseits wird in Betrieben und nach deren Vorbild neuerdings auch in Universitäten eine „corporate identity“ wegen ihrer effizienzsteigernden Bedeutung eingefordert.

Es scheint mir kaum bestreitbar, dass es in Völkern und großen Gemeinschaften kollektive Erscheinungen gibt, die sich durch Verschränkungskorrelationen beschreiben lassen<sup>26</sup>. C. G. Jungs Theorie des kollektiven Unbewussten sei in diesem Zusammenhang nur eben erwähnt. Eine Leugnung kollektiver Zustände ist schon wegen der Möglichkeit ihres bössartigen manipulatorischen Missbrauchs gefährlich. Es sei daran erinnert, dass verschränkte Zustände durchaus planmäßig-kausal erzeugt werden können.

<sup>25</sup> Klaus E. Müller: *Der sechste Sinn*, Bielefeld 2004, ISBN 3-89942-203-1

<sup>26</sup> Ich danke A. Wendt, Universität Chicago, für einen Gedankenaustausch zu diesen Fragen.

Als Verschränkungskorrelationen beschreiben und verstehen ließen sich viele Erscheinungen wie

- Trends und Moden
- Massenhysterien
- Gesellschaftliche Polarisierungen
- Konjunkturschwankungen

Eine organismische Auffassung von großen Gemeinschaften lässt auch die Existenz eines „gesellschaftlichen Libetphänomens“ vermuten. So wie durch die Untersuchungen von Libet<sup>27</sup> gesichert ist, dass sich beim Menschen Handlungsimpulse schon vor ihrem Bewusstwerden im EEG nachweisen lassen, so kündigen sich gesellschaftliche Veränderungen schon an, bevor sie ins allgemeine Bewusstsein treten.

Die Furcht vor angeblich unausweichlichen totalitären Konsequenzen der Vorstellung kollektiver Gesellschaftszustände wird sicher gemildert, wenn man sich auf die Natur von Verschränkungskorrelationen besinnt. Verschränkte Zustände bedeuten keinesfalls notwendig eine determinierte Gleichrichtung der Untersysteme. Dies zeigt schon das physikalische Beispiel aus Kapitel 2. Die Verschränkung determiniert gerade nicht die Messwerte an Einzelsystemen, sondern äußert sich nur in (positiven oder negativen) Korrelationen zwischen den Teilsystemen. Hier deutet sich eine sehr befriedigende Auflösung des Dilemmas zwischen persönlicher Freiheit und gesellschaftlicher Determination an.

### **e) Geistesgeschichte**

Ähnliche Überlegungen wie im vorigen Abschnitt lassen sich auch zur Geistesgeschichte der Menschheit anstellen. Hier sind immer wieder fast gleichzeitig und ohne erkennbaren Zusammenhang an verschiedenen Stellen der Erde Neuerungen aufgetreten. Die von Diffusionisten behaupteten von einem Ursprungszentrum ausgehenden Signale sind nicht allseits überzeugend nachgewiesen. Auch hier sollte die Möglichkeit von Verschränkungskorrelationen in Betracht gezogen werden. Dies würde etwa für folgende Erscheinungen eine alternative Erklärung bereitstellen:

- Die so genannte neolithische Revolution, also der Übergang zum Feld- und Ackerbau etwa ab 10000 v.Chr.
- Die Entstehung von Hochkulturen auf dem Balkan, in Mesopotamien, Ägypten, dem Indus, China, Mittel- und Südamerika.
- Der oft als Achsenzeit bezeichnete Durchbruch philosophischen Denkens in Griechenland, Indien und China
- Vielleicht sollte man auch die seit dem Ende des 19. Jahrhunderts eingetretene Wende zu einer alles Bisherige übersteigenden Abstraktion in Kunst, Mathematik und Naturwissenschaften in diesem Lichte sehen.

### **f) Evolution und Phylogenese**

Entstehung und Entwicklung des Lebens auf der Erde werden der neodarwinistischen Theorie zufolge ausschließlich durch den Mechanismus von zufälliger Mutation und daran angreifender Selektion bestimmt. Die überlegene Dominanz dieser Anschauung erklärt sich auch daraus, dass sie weithin als einzige Alternative zu intellektuell undiskutablen

---

<sup>27</sup> B. Libet: *Neuronal vs. Subjective Timing for a Conscious Sensory Experience*, in: P.A. Buser und A. Rougeul (eds.) *Cerebral Correlates of Conscious Experience*, Elsevier/North Holland, Amsterdam 1978, sowie *Unconscious Cerebral Activity and the Role of Conscious Will in Voluntary Action*, *Behav. Brain Sciences* **8** (1985), 529-566

fundamentalistischen Positionen von Creationisten und Vertretern des „intelligent design“ angesehen wird.

In Wirklichkeit schließen sich ein Mechanismus von Mutation und Selektion und die Vorstellung einer irgendwie gearteten Zielbestimmung in der Verwirklichung einer Gesamtgestalt logisch keineswegs aus, und es ist durchaus eine integrierende Sicht denkbar, von der aus sowohl strikter Neodarwinismus als auch naiver „intelligent design“ als Einseitigkeiten erscheinen. In der Tat beruht der Erfolg des Darwinismus wohl nicht zuletzt darauf, dass er ein gewisses teleologisches Element in der neueren Naturwissenschaft in einer Weise hoffähig macht, die auch für Mechanisten noch akzeptabel ist:

Der Zufall ist zwar blind, aber es ist wenigstens von großem heuristischem Wert, bei jeder Einzelercheinung des Lebens auf der Erde nach ihrem Selektionsvorteil zu fragen.

Gerade was die Entstehung des Lebens, die Konstituierung des genetischen Mechanismus, das Auftreten der ersten Zellen, der Grundbaupläne oder der mehrfach parallel erfolgten Ausbildung komplizierter Organe wie etwa der Augen angeht, weist die darwinistische Theorie noch riesige Erklärungslücken auf.<sup>28</sup>

In einer integrierenden Sicht würden Mutation und Selektion wesentliche Mechanismen sein, mit deren Hilfe sich ein gestaltgebendes Prinzip realisiert. Eine solche Auffassung klingt schon bei W. Pauli in Briefen an Max Dellbrück an<sup>29</sup>.

In unserer Beschreibung durch Verschränkungskorrelationen wäre diese Gestalt als wesentlich zeitlos zu denken. Sie wäre aber wegen der Zeitgebundenheit unserer Existenz nicht ohne weiteres als Ganzes zu überblicken, sondern würde sich als Entwicklung offenbaren, indem sich das Fenster der jeweiligen Gegenwart über sie hinwegschöbe. Die Beziehung zwischen den Erscheinungsbildern zu verschiedenen Zeiten wäre nicht gänzlich deterministisch geregelt, sondern hätte auch den Charakter von Verschränkungskorrelationen zwischen verschiedenen Teilen der im Weltzustand liegenden ganzheitlichen Gestalt.

Wir haben bereits in der Einleitung erwähnt, dass ein Zeitbezug kein Wesensmerkmal von Verschränkung ist, und hier hätten wir ein Beispiel für Zeitunterschiede überspringende Verschränkungskorrelationen.

Die nachfolgenden Beispiele belegen die fundamentale und konstitutive Bedeutung der Partition eines Gesamtsystems in Teilsysteme. Die erste, allen anderen vorausgehende Partition ist der „*epistemische Schnitt*“<sup>30</sup>, die Teilung einer Ganzheit in Beobachter und Beobachtetes, Erkennenden und Erkanntes. Der epistemische Schnitt ist für uns als menschliche Individuen Grundlage und Voraussetzung jeder Art von Erkenntnis.

---

<sup>28</sup>Der Biologe M. Nahm stellt in seinem Buch mit dem (vielleicht unnötig) provozierenden Titel „*Evolution und Parapsychologie*“, Norderstedt 2007, ISBN978-3-8370-0528-8 hierfür viele überzeugende Belege zusammen. Auch argumentiert er für eine überindividuelle Ganzheit als gestaltgebendes Prinzip.

<sup>29</sup>K. v. Meyenn (Hrsg.): W. Pauli: *Wissenschaftlicher Briefwechsel mit Bohr, Einstein Heisenberg u. a.* Berlin, Springer Verlag.

Bd I : 1919-1929 (Hrsg. zusammen mit A. Herrmann und V. Weiskopf), 1979

Bd II: 1930-1939, 1985, Bd III: 1940-1949, 1993, Bd IV<sub>1</sub>: 1950-1952, 1996, Bd IV<sub>2</sub>: 1953-1954, 1999,

Bd-IV<sub>3</sub>: 1955-1956, 2001

<sup>30</sup>H. Römer: *Substanz, Veränderung und Komplementarität*, Philosophisches Jahrbuch **113** (2006), 118-136 sowie *Complementarity of Process and Substance*, Mind and Matter **4** (2006), 69-91

## g) Erkenntnis und Messprozess

Jede physikalische Messung geschieht mit Hilfe von Verschränkungskorrelationen<sup>31</sup>. Hierzu hat man ein System  $S = S_1 + M$  zu betrachten, das aus dem zu messenden System  $S_1$  und der Messapparatur  $M$  zusammengesetzt ist. Vor Beginn der Messung einer Observablen  $A$  von  $S_1$  befindet sich das zusammengesetzte System in einem unverschränkten Zustand  $\Psi_a = \sum_i c_i \varphi_i \otimes \Phi$ , wobei  $\varphi_i$  die Eigenzustände von  $A$  sind und  $\Phi$  den Ruhezustand des Messinstrumentes bezeichnet. Durch die Wechselwirkung von gemessenem Objekt und Messapparatur geht das zusammengesetzte System in zunächst völlig deterministischer Weise in einen verschränkten Zustand  $\Psi_e = \sum_i c_i \varphi_i \otimes \Phi_i$  über. Hierbei ist  $\Phi_i$  der Zustand des Messinstrumentes, der dem  $i$ -ten möglichen Messwert von  $A$  entspricht. Ein stochastisches Element kommt nun erst herein, indem man den Zustand  $\Phi_i$  des Messinstrumentes registriert und diesen als Aussage über den Messwert von  $A$  interpretiert. Es besteht eine eigenartige Symmetrie zwischen dem gemessenen System  $S_1$  und dem Messgerät  $M$ , die sich in der Form des verschränkten Zustandes  $\Psi_e$  äußert: Wenn man den Zustand  $\varphi_i$  von  $S_1$  registriert und als Aussage über den Zustand des Messinstrumentes deutet, erhält man dieselbe Wahrscheinlichkeitsverteilung der Messwerte. In dem erweiterten Rahmen der Verallgemeinerten Quantentheorie entspricht der Partition in gemessenes System und Messgerät der epistemische Schnitt zwischen Erkennendem und Erkanntem. Die Möglichkeit von Erkenntnis beruht auch hier auf Verschränkungskorrelationen. Zwar wird ein verschränkter Zustand von Erkennendem und Erkanntem durchaus durch Wechselwirkungen erzeugt, aber die Passung zwischen beiden, die Verweisungsbeziehung zwischen Zeichen und Bezeichneten und die Möglichkeit, Werte von Observablen als Aussagen über Objekte zu deuten, sind nicht kausaler Natur, sondern haben den Charakter von Verschränkungskorrelationen. Auch die weitreichende Symmetrie zwischen gemessenem System und Messapparatur hat ihr Gegenstück in einer Symmetrie zwischen Erkennendem und Erkanntem, innen und außen, die von O. Rössler<sup>32</sup> als Boscovich-Kovarianz bezeichnet wird. Rössler beruft sich dabei auf die Abhandlung „De spatio et tempore ut a nobis cognoscuntur“<sup>33</sup>, des Kroatischen Philosophen Rugjer Josip Bošković (1711-1787), in der die Bedeutung der Grenze zwischen Innen und Außen betont und argumentiert wird, dass eine Bewegung innen nicht von einer Gegenbewegung außen unterscheidbar ist.

## h) Emergenz der Zeit

Die Verallgemeinerte Quantentheorie enthält zunächst keinen Bezug auf irgendeine Zeit. An anderer Stelle<sup>34</sup> ist ein Szenarium beschrieben wie Zeit in die Welt kommen könnte. Ausgangspunkt ist die subjektive Zeitlichkeit, der wir durch die Weise unserer Existenz als bewusste Individuen unentrinnbar unterworfen sind. Diese subjektive Zeit ist, um eine

<sup>31</sup> Vergl. z.B. die erste unter Anm. 8 genannte Referenz.

<sup>32</sup> O.E. Rössler: *Endophysik*, Die Welt des inneren Beobachters, Merve Verlag Berlin 1992, ISBN 3-88396-085-3

<sup>33</sup> In R.J. Boscovich: *Theoria Philosophiae Naturalis*, Wien 1758, in deutscher Übersetzung wiedergegeben in dem in Anm. 32 genannten Buch

<sup>34</sup> H. Römer: *Weak Quantum Theory and the Emergence of Time*, Mind and Matter 2 (2004), 105-125, <http://arxiv.org/abs/quant-ph/0402011>

Unterscheidung von Mc Taggart<sup>35</sup> aufzugreifen, eine A-Zeit, in der es einen ausgezeichnete erlebte Zeitqualität des „Jetzt“ gibt, das sich für uns über die Welt schiebt und Zukunft in Vergangenheit hinübergleiten lässt, so dass uns die Welt in der Art eines Films und nicht wie ein Panoramagemälde erscheint. Der Gegensatz zur A-Zeit ist die Skalenzeit der Physik eine B-Zeit, die kein ausgezeichnetes Jetzt kennt, und in der alle Zeitpunkte gleichwertig sind. Die einzelnen Stationen des Szenarios lassen sich in aller Kürze wie folgt beschreiben:

Erster Schritt: Nach einer epistemischen Spaltung lassen sich im *unus mundus* Teilsysteme  $S_i$  identifizieren, die bewussten Individuen zuzuordnen sind.

Zweiter Schritt: In diesen Teilsystemen  $S_i$  lassen sich Zeitobservable  $T_i$  aufweisen, deren Werte durch starke Verschränkungskorrelationen mit Observablen anderer Systeme korreliert sind. (Der Mechanismus, nach dem gewisse Observable sich als Zeitobservable qualifizieren, ist der Quantenkosmologie in der Formulierung der Wheeler- de Witt-Gleichung<sup>36</sup> nachempfunden.) Die subjektiven Zeiten  $T_i$  sind von Typ der A-Zeit. Der Ursprung der Zeit wird also in diesem Szenarium in der A-Zeit bewusster Individuen gesehen.

Dritter Schritt: Die subjektiven A-Zeiten  $T_i$  sind nicht nur untereinander, sondern auch mit Observablen  $T_I$  uhrenartiger physikalischer Teilsysteme  $S_I$  durch Verschränkungskorrelationen verbunden.

Vierter Schritt: Durch einen mehrstufigen und langwierigen Prozess wird die Zeit immer mehr nach außen verlegt und mit Observablen physikalischer Systeme in Verbindung gebracht, die so gewählt sind, dass die Verschränkungskorrelationen möglichst strikt werden. Die schließlich auf diese Weise konstruierte physikalische Zeit hat ihren Charakter als A-Zeit eingebüßt und ist nur noch eine strukturarme B-Zeit.

Wir sehen, dass die Möglichkeit zeitlichen Vergleichens und Synchronisierens auf Verschränkungskorrelationen beruht.

## i) Ästhetik

Die Schönheit eines Kunstwerkes besteht nicht in erster Linie in der Perfektion seiner Einzelteile, sondern vielmehr in deren sicherlich nicht kausalem Zusammenspiel und in der Wirkung auf den Betrachter. Schon diese einfache Beobachtung weist darauf hin, dass Verschränkungskorrelationen auch in der Ästhetik von Bedeutung sein können. Wir wollen hierzu einige Gedanken anklingen lassen, die an anderer Stelle<sup>37</sup> ausgeführt werden sollen.

Bei der Diskussion ästhetischer Verhältnisse ist es sinnvoll, zwischen *Objektästhetik* und *Wirkungsästhetik* zu unterscheiden. Die Objektästhetik beschäftigt sich mit den inneren Beziehungen in einem ästhetischen Gebilde, und die Wirkungsästhetik untersucht die Beziehung zwischen einem ästhetischen Objekt und dem Betrachter oder den Betrachtern.

### α) Objektästhetik.

Schönheit zeigt sich im Verhältnis der Teile zueinander. Lokale Observable beziehen sich auf die Teile eines ästhetischen Objektes, während globale Observable zu Fragen nach

<sup>35</sup> J.E. McTaggart: *The Unreality of Time*, Mind 17 (1908); 456-473

<sup>36</sup> Eine gute Darstellung findet sich bei C. Kiefer: *Conceptual Issues in Quantum Cosmology* Proceedings of the Karpacz Winterschool From Cosmology to Quantum Gravity, Springer 1999

<sup>37</sup> W. Gauger, H. Römer: *Verschränkung oder das Aenigmatische der Kunst*, in Vorbereitung

Gesamtgestalt, Darstellungs- und Wirkungsanliegen gehören. Die Frage, wie das Verhältnis der Teile bei einem schönen Gegenstand beschaffen sein sollte, beantwortet Kant in der Kritik der Urteilskraft dahin gehend, dass Zweckmäßigkeit in einem sehr allgemeinen Sinne sichtbar und fühlbar herrschen sollte. Die Einzelheiten sollen sich dem Ganzen so unterordnen, dass offenbar wird, wie sie dem Gesamtanliegen in möglichst vollkommener Weise dienlich sind. Schiller, der Kants Kritik der Urteilskraft bald nach ihrem Erscheinen durchgearbeitet hat, geht noch einen wichtigen Schritt weiter<sup>38</sup>: Entscheidend für die Schönheit eines Kunstwerkes ist sein freiheitsanaloger Charakter, von Schiller „*Freiheit in der Erscheinung*“ genannt. Das Kunstwerk muss den Eindruck erwecken, dass sich seine Einzelheiten in freier Weise in das Gesamtanliegen einordnen, so dass es schließlich „schlank und leicht, wie aus dem Nichts entsprungen“ dasteht. Das vollendete Kunstwerk erweckt den Eindruck, dass es ganz anders sein könnte, aber so, wie es ist, vollkommen ist.

Kants und Schillers ästhetische Forderungen enthalten, was wir als wesentliche Eigenschaften von Verschränkungskorrelationen erkannt haben: keine strikte Determiniertheit durch den Zustand des Ganzen, aber ein Zusammenspiel, so dass das Ganze sich in den Verschränkungskorrelationen der Teile ausdrücken kann.

Als hässlich wird in unserer Terminologie das Fehlen von Verschränkungskorrelationen empfunden: Zerfall in zusammenhangslose Teile oder starre Determination der Einzelheiten durch das Ganze im Sinne eines vordergründigen Zweckes.

Es stehen also einander gegenüber: Determination, Starrheit, Hässlichkeit einerseits und Spielraum, Freiheit und Schönheit anderseits.

Das freie Spiel der Verschränkungskorrelationen kann offenbar erst beginnen, wenn ein Mindestmaß an Komplexität des Ganzen vorliegt.

Anzumerken ist noch, dass auch hier die Partitionierung ein wesentlich schöpferischer Akt ist. Die Teile und Bezüge eines Kunstwerkes liegen nicht einfach „platterdings“ vor, sondern werden zum großen Teil erst vom Betrachter entdeckt und konstituiert. Diese Bemerkung leitet über zur

β) Wirkungsästhetik.

Dabei wird nun auch der Betrachter oder die ein Kunstwerk betrachtende und diskutierende Gemeinschaft zusammen mit dem ästhetischen Objekt in ein umfassenderes System einbezogen.

Wieder sind Verschränkungskorrelationen bedeutsam, diesmal auch zwischen ästhetischem Objekt und Betrachter(n).

Auch hier ist der ästhetische Eindruck umso stärker, je deutlicher der nicht deterministische Charakter der Verschränkungskorrelationen zum Ausdruck kommt. Die Reaktion eines Betrachters auf ein Kunstwerk sollte durch dieses nicht vollständig determiniert sein. Ein großes Kunstwerk sollte seinem Betrachter Freiheit einräumen. Hieraus folgt dann auch, dass dann der Betrachter sein Urteil anderen nicht zwingend beweisen, sondern nur aufweisen und vorschlagen kann. Auch behält ein Kunstwerk für den Betrachter immer etwas Aenigmatisches.

Dies gilt in besonderem Maße für große Kunstwerke, da sie zu faszinieren vermögen und einen besonderen Reichtum an inneren Beziehungen und Weltbezügen aufweisen.

## j) Ethik

In unserer Sichtweise sind die Verhältnisse in ethischen Fragen denen der Ästhetik sehr ähnlich. Das Gute und Schöne rücken auch hier eng zusammen.

---

<sup>38</sup> F. v. Schiller: „Kalliasbriefe an Körner“

Ethik mit ihrer Unterscheidung von Gut und Böse setzt eine epistemische Teilung des Weltganzen und die Konstituierung bewusster Individuen voraus. Wieder ist das Ganze in Verschränkungskorrelationen zwischen verschiedenen Personen und Sachen(!) anwesend. Es erscheint hier wichtig, zu betonen dass Ethik nicht nur im Verhalten zu anderen Personen, sondern auch im Verhältnis zu Sachen ihre Bedeutung hat.

Über die Verschränkungskorrelationen determiniert das Ganze nicht das Verhalten einzelner Personen, es bleibt ihnen ein Freiheitsspielraum.

Ethisches Verhalten erfordert Einfügung in den Bezug des Weltganzen, unethisches Verhalten läuft auf Missachtung, Leugnung oder Verweigerung von Verschränkungskorrelationen hinaus. Der unethisch eingestellte Mensch ist „mit sich und der Welt zerfallen“.

In diesem Licht lässt sich auch der problematische Charakter der Individuation sehen, die einerseits die Voraussetzung unserer Existenz ist, andererseits bereits in einer gängigen Deutung des Paradiesmythos als die Ursünde erscheint. Jedenfalls liegen Egoismus und Egozentrismus nahe der Wurzel jeden unethischen Verhaltens.

Die Ähnlichkeiten zwischen Ethik und Ästhetik sind augenfällig. Man kann die im vorangegangenen Abschnitt genannte Gegenüberstellung so erweitern: Determiniert, starr, hässlich, böse einerseits und frei, Spielraum habend und lassend, beweglich, schön und gut andererseits.

Auch das Aenigmatische großer Kunstwerke findet sein Gegenstück in der Konflikthaftigkeit bedeutender ethischer Entscheidungen.

Die ethisch gute Haltung der Einordnung ins Ganze und der Anerkennung von Verschränkung lässt sich am treffendsten mit dem Wort „Liebe“ bezeichnen. Zur Liebe gehören: Ernstnehmen des Anderen als je Einzelnes, Geltenlassen, Anerkennung der Freiheit und Erweiterung des Freiraumes des Anderen, Verzicht auf Instrumentalisierung, Empathie und universelles Wohlwollen, Verzicht auf kurzschlüssige Subsumierung und Abstempe- lung. In der Liebe, die den Zusammenhang nicht leugnet und Anderes in Sympathie gelten lässt, erscheint der Unterschied von Innen und Außen eingeebnet. Universelle Sympathie erweckt das Gefühl, vom Weltganzen wiedergeliebt zu werden und in ihm geborgen zu sein. Sie ist in allgemeinster Weise Sinn für Einheit.

## 5. Nachwort

„Du siehst mit diesem Trank im Leibe bald Helenen in jedem Weibe.“<sup>39</sup> So wird man mir vielleicht entgegenhalten, wenn ich Verschränkungskorrelationen an allen Ecken und Enden entdecke. Aber erstens steckt wohl wirklich in allen Frauen ein Stück Helena und zweitens wird ja nie behauptet, dass man in ihnen nur Helena und nichts anderes sehen könnte. Gerade als Physiker bin ich weit davon entfernt, die überragende Bedeutung von kausalen Beziehungen zu verkennen. Diese beherrschen das gesamte Gebäude der Physik, auf ihnen beruht das unverzichtbare und allgegenwärtige Gespinnst der Technik, das unsere Lebenswelt durchdringt. Sie sind das alleinige Mittel, wenn wir irgendetwas bewirken wollen. Sie sind aber nicht das einzige, wenn es uns ums Verstehen und nicht ums Bewirken geht.

Hierbei spielen nicht kausale Relationen eine mindestens gleichberechtigte Rolle, und die Welt ist auch von einem Geflecht nicht kausaler Beziehungen durchwirkt, die in ihrem Bestehen ebenso ernst genommen werden müssen wie Kausalbeziehungen. Dies zu betonen war das Anliegen dieser Studie. Als Physiker erfüllt es mich mit Befriedigung, dass gerade im Bereich der Physik die Existenz nicht kausaler Verschränkungsrelationen unab-

---

<sup>39</sup> Goethe. Faust I, V.2603/4

weisbar geworden ist. Sie geben das Vorbild, um, angemessen verallgemeinert, nicht kausale Gestalten und Muster auch weit über den Bereich der Physik in einer formal exakten und vereinheitlichenden Weise zu beschreiben.

Ihr eigentliches Reich ist nicht die physikalisch beschriebene Welt; sie sind von jeher bei Künstlern und Denkern zu Hause. Rilke hielt sich zeitlebens in diesem Reich auf. Eines seiner Sonette an Orpheus kann direkt als Lobpreis nicht kausaler Korrelationen gelesen werden:

Heil dem Geist, der uns verbinden mag;  
denn wir leben wahrhaft in Figuren.  
Und mit kleinen Schritten gehn die Uhren  
neben unserm eigentlichen Tag.

Ohne unsern wahren Platz zu kennen,  
handeln wir aus wirklichem Bezug.  
Die Antennen fühlen die Antennen,  
und die leere Ferne trug ...

Reine Spannung. O Musik der Kräfte!  
Ist nicht durch die läßlichen Geschäfte  
jede Störung von dir abgelenkt?

Selbst wenn sich der Bauer sorgt und handelt,  
wo die Saat in Sommer sich verwandelt,  
reicht er niemals hin. Die Erde schenkt.

R. M. Rilke, Sonette an Orpheus 1, XII

## **Danksagung**

Ich danke Wilhelm Gauger herzlich für einen anregenden Gedankenaustausch zum Aenigmatischen von Kunstwerken. Viel verdanke ich zahlreichen Gesprächen mit Harald Atmanspacher, Eberhard Bauer, Ernst Binz, Klaus Jacobi, Georg Ernst Jacoby, Klaus Kenntemich, Walter von Lucadou, Klaus E. Müller, Gerold Prauss, und Harald Walach.