



Adalbert Feltz

Erkennbarkeit und Quantenphysikalische Verschränkung

Die in Experimenten der zurückliegenden Jahre nachgewiesene Aufrechterhaltung quantenphysikalisch verschränkter Zustände von Elementarteilchen sowie von Atomen bzw. Ionen und die damit verbundene Unbestimmtheit des Gesamtsystems über Entfernungen hinweg, die im Bereich unserer unmittelbaren Erfahrungswelt liegen, lässt die Frage entstehen, ob die uneingeschränkte Erkennbarkeit der uns umgebenden Wirklichkeit nach wie vor als gegeben angesehen werden kann.

Gemäß einer Grundposition des dialektischen Materialismus existiert die uns umgebende materielle Welt unter Einbeziehung ihrer Bewegungszustände außerhalb und unabhängig von unserem Bewusstsein. Es liegt darin die Voraussetzung für Erkennbarkeit, denn nur bei Akzeptanz dieser These bleiben spekulative Glaubensansätze wie die Frage nach Gott oder auch die nach der Herkunft der Materie oder „was war vorher da?“ ausgeklammert, und erst dadurch wird eine rationale Aneignung der Wirklichkeit durchgängig ermöglicht. **Diese uns umgebende und erfahrbare materielle Welt, in der wir unser Leben gestalten, ist erkennbar.** Der relative Wahrheitsgehalt einer solchen Aussage gründet sich auf den Fundus experimenteller Erfahrungen, die in unserem Lebensraum ein in sich konsistentes Gefüge von Kausalzusammenhängen (Naturgesetzen) ergeben, so dass wir in die Lage versetzt sind, danach rational zu handeln. So halten wir Teilbereiche der Wirklichkeit für erkannt, wenn Bewährung unserer rational begründeten Anschauungen in der Praxis unseres Lebens sowie in Experimenten gegeben ist. Zumindest für den in Raum und Zeit begrenzten Ausschnitt unseres Seins sollte die Erkennbarkeit der Wirklichkeit möglich sein, als Sinn gebende Herausforderung und als Auftrag grundsätzlich gelten.

Diese unsere Erfahrungswelt sieht sich eingegrenzt und geht in Randzonen über in Daseins-Formen, die in Raum und Zeit kaum vorstellbar größer bzw. kleiner dimensioniert sind, den Makrokosmos des Universums und den Mikrokosmos der Elementarteilchen und Atome, deren Gesetze sich dem gesunden Menschenverstand unserer Alltagserfahrung mehr oder weniger entziehen. Das ist eigentlich verständlich, hat sich doch unser Gehirn und mit ihm unser Denken, mit dessen Hilfe wir unsere Wirklichkeit bewusst wahrnehmen und mittels zweckmäßiger Begriffsbildungen erkennen, in dem für uns erfahrbaren Raum-Zeitausschnitt herausgebildet. Um die Realität auch in den weitaus größer bzw. sehr viel kleiner dimensionierten Randzonen unserem Wissen zu erschließen, erweisen sich umfassendere Konzepte, neue Denkansätze und Theorien als erforderlich. Und es erscheint wiederum einsichtig, dass diese bisher vielfach nur partiell widerspruchsfrei konstituiert bzw. allenfalls auf einer abstrakten Ebene in sich konsistent sind, ist doch die praktische Überprüfbarkeit im Sinne eines Wahrheitskriteriums vielfach nur sehr viel aufwendiger oder kaum möglich. Kosmologische Modelle erweisen sich mit ihren Hypothesen über dunkle Materie und dem Wirken sog. dunkler Energien gegenwärtig als weitgehend spekulativ, werfen mehr Fragen auf als sie beantworten.

Demgegenüber wird nach bisherigem Wissen das Verhalten im Mikrokosmos offenbar widerspruchsfrei durch die Quantenphysik beschrieben, die der Bezeichnung nach den Teilchen-

charakter hervorhebt, tatsächlich aber die Wellennatur als die wesentliche Daseinsform ihrer Objekte erkennt. Es liegt demnach eine Hierarchie dem Welle-Teilchen Dualismus zugrunde, was zum Beispiel Karl Czasny [1] in seiner Schrift überzeugend begründet. Als Teilchen im Augenblick der Beobachtung in Erscheinung tretend, lokalisierbar jedoch nur im Rahmen der Unschärferelation, die eine gleichzeitige Bestimmung von Ort und Impuls mit beliebiger Präzision ausschließt und lediglich Wahrscheinlichkeitsaussagen über den Aufenthaltsort des Teilchens zulässt. Auf Grund einer solchen dem Elementarteilchen immanent zugehörigen Unbestimmtheit ist die Determiniertheit der klassischen Physik aufgehoben, und infolge einer bei jeder Beobachtung unvermeidbar eintretenden Zustandsänderung ist auch die subjektunabhängige Erfassung der Wirklichkeit in diesem Bereich in Frage gestellt. **Die Erkennbarkeit im Sinne der klassischen Physik ist demnach in den Dimensionen von Raum und Zeit des Mikrokosmos nicht mehr gegeben.**

Unter Preisgabe unseres in der klassischen Physik wurzelnden Anspruchs auf ein anschauliches Verständnis kann aber bekanntlich auch dieser mikroskopische Bereich der Wirklichkeit auf der abstrakten Ebene einer mathematisch formulierten Wellenmechanik in Übereinstimmung mit Voraussagen widerspruchsfrei beschrieben werden, so dass man in der Mikroelektronik und ebenso in Bereichen der in unserer Zeit voranschreitenden Nano- und Subnanotechnologie die Bewährung in der Praxis im Sinne eines Wahrheitskriterium rein pragmatisch auch hier als erfüllt ansehen kann.

Ist unser bisheriges Verständnis von Erkennbarkeit in bestimmten Bereichen womöglich noch zu sehr an korpuskulare Anschauung gekoppelt und damit durch eine Erwartungshaltung aus der klassischen Physik geprägt? Müssen wir diese Kopplung aufgeben oder zumindest um eine weitere Stufe relativieren und uns mit der in sich konsistenten Beschreibung auf mathematisch-formaler Ebene begnügen, die sich für ein „Zurechtfinden“ in der Praxis durchaus als ausreichend erweist?

Bezeichnend für die umfassenderen Theorien zur Beschreibung der Wirklichkeit im Mikrokosmos und ebenso im Bereich kosmischer Dimensionen des Universums ist, dass sie darauf eingerichtet sind, unseren bewährten Erfahrungsbereich mit seiner Begriffswelt der klassischen Physik insofern mit zu enthalten, als dieser bei Annäherung an die Größenordnung von Raum und Zeit im Bereich unseres Seins approximativ aus dem jeweils umfassenderen Konzept hervorgeht. Das gilt für die Relativitätstheorie und ist ebenso für die Quantenphysik belegt.

Nach dem Bohrschen Korrespondenzprinzip gehen die im Mikrokosmos der Elementarbausteine geltenden Gesetze der Quantenphysik, die zwar das Kriterium der Kausalität erfüllen, nicht aber in jedem Fall Voraussagen im Sinne des Determinismus der klassischen Physik gestatten, im Bereich großer Quantenzahlen, d.h. bei Annäherung an die raumzeitliche Dimension unserer der unmittelbaren Erfahrung zugänglichen Wirklichkeit in die Gesetze der klassischen Physik mit ihrer streng determinierten Kausalität über.

Neuerdings wurde in Experimenten von Zeilinger und Mitarbeiter [2,3] eindrucksvoll gezeigt, dass quantenphysikalisches Verhalten verschränkter Photonen keineswegs auf die raumzeitlichen Dimensionen des Mikrokosmos einzugrenzen ist, sondern über große Entfernungen hinweg Bestand haben kann. Über Vorbereitungen zu testen, ob das auch im erdnahen Raum unter Einbeziehung von Satelliten realisiert werden kann, wurde berichtet [4]. Von Olmschenk und Mitarbeiter [5] konnten Yb^+ -Ionen mit ihrem Spin paarweise über eine Distanz von einem Meter verschränkt werden. Damit wird die Unbestimmtheit, der nicht mehr gegebene Determinismus der klassischen Physik, auf die makroskopischen Dimensionen unserer Erfahrungswelt übertragen, was Fragen der Erkennbarkeit und subjektunabhängigen Erfassung der Wirklichkeit im Bereich von Raum und Zeit unseres Seins aufwirft. Es wurde nachgewiesen, dass Quantenverschränkung wesentlich zur Effizienz der Photosynthese bei Pflanzen beiträgt [6]. Funktioniert unser Denken womöglich gleichfalls unter Mitwirkung verschränkter elektro-magnetischer Signale? Auch die Frage einer rationalen Begründung von

Gedankenübertragung bei sich nahe stehenden Personen wurde in einem solchen Zusammenhang aufgeworfen [7].

Die Beschreibung einer Wirklichkeit quantenphysikalisch verschränkter Objekte erfordert die Betrachtung des Gesamtsystems. Wird aber an einem Ort gemessen, beobachtet man nur den einen "Zipfel" des Systems und der ggf. komplementäre Partner am anderen Ort ist damit offenbar gleichfalls festgelegt. Wir erkennen "blau" und "gelb", „grün“ bleibt uns verschlossen. Letzterer Zustand ist aber die eigentliche Wirklichkeit. Der Kurzfilm von Roy Holgrewe [8] bei You Tube umreißt das Problem.

Auf der Ebene der Wellennatur unseres Seins besteht das Erfordernis, das Gesamtsystem zu betrachten, das durch seine Bestandteile nur unvollständig zu beschreiben ist, d. h. es ist definitiv unzureichend, im Fall von Verschränkung nach den Bestandteilen zu fragen, und wenn man das tut, "erschafft" sich der Beobachter ein Stück eigene Wirklichkeit. Die Erkennbarkeit der Gesamtheit bleibt uns verschlossen, solange wir versuchen, sie als Konglomerat (ggf. Summe) von Bestandteilen, d. h. solange wir versuchen, die Wirklichkeit korpuskular zu begreifen.

Dem von Thomas Young 1802 erstmals ausgeführten Doppelspaltexperiment liegt die gleiche Problematik zugrunde [1,9], und das damit verbundene Phänomen war sogar mit Fulleren-Molekularstrahlen (C_{60} , Molmasse 720 g/mol) nachvollziehbar [10]. Verschränkung dürfte daher wohl kaum auf Paare oder Ensemble von Elementarteilchen oder von Atomen beschränkt sein. Wo und wann haben wir es in unserer materiellen Welt mit Systemen einander verschränkter Objekte zu tun, deren wahres Wesen wir nicht oder nur unvollständig erkennen, da wir uns ihm stets nur über die Beobachtung einzelner Bestandteile der Gesamtheit nähern können?

Man wird dabei an Plato erinnert, der die Misere einer begrenzten Erkennbarkeit der Welt dadurch zum Ausdruck bringt, dass er sie als eine Welt der Ideen mit Bildern der Vollkommenheit des Wahren (Guten und Schönen) identifiziert, "von denen die materielle Welt nur ein flüchtiger Schatten an den Wänden der Höhle ist, in der wir Menschen Zeit unseres Lebens gefangen sind [11]. In der gegenwärtigen Literatur zur Deutung der Phänomene der Verschränkung mit ihrer Unbestimmtheit selbst über größere Entfernungen hinweg ist eine Tendenz zu subjektiv-idealistischer Interpretation bis hin zum Abgleiten in Esoterik und Okkultismus mit Leugnung der Erkennbarkeit der materiellen Welt unverkennbar gegeben [12,13,14].

Die für den rational denkenden Verstand durchaus beklemmende Situation lässt sich aber sofort auflösen, wenn man die Ankopplung von Erkennbarkeit an korpuskuläre Anschauung aufgibt, entspricht letzteres doch eher einer in der klassischen Physik verankerten Betrachtungsweise. Nach Maßgabe einer Verschränkung tritt uns die korpuskuläre Natur der Wirklichkeit als Erscheinung im Augenblick der Beobachtung entgegen. Dem Wesen nach ist jedoch die Wellennatur die Daseinsform der materiellen Welt.

Mit dem 1982 durch Aspect [15] erbrachten Nachweis, dass die Bell'sche Ungleichung [16], die das Einstein-Podolsky-Rosen – Paradoxon [17] der experimentellen Überprüfung zugänglich machte, nicht erfüllt ist und folglich keine verborgenen Parameter einer „spukhaften Physik“ zusätzlich erforderlich sind, definieren die mathematisch-abstrakt formulierbaren und offenbar universell gültigen Gesetze der Quantenphysik eine Ebene der Erkennbarkeit, mit der wir zu leben haben. Korpuskuläre Anschauung bedeutet Kenntnisnahme von Erscheinungen der materiellen Welt, die grundsätzlich nicht bereits das Wesen erfasst und subjektfrei in Erfahrung gebracht werden kann, allenfalls bei zu vernachlässigbarem Grad an Verschränkung approximativ mit der Wirklichkeit übereinstimmt. Dabei ist die experimentelle Überprüfung des Wahrheitsgehalts einer auf den Gesetzen der Quantenphysik beruhenden Erkennbarkeit der materiellen Welt unter Einbeziehung verschränkter Zustände durchaus gegeben. Über einen ersten zur Marktreife gebrachten Quantencomputer, der auf einer Informatik basiert, die quantenmechanische Zustände verarbeitet, wurde berichtet [18].

Literatur

- [1] Karl Czasny, „**Quantenphysik als Herausforderung der Erkenntnistheorie**“, Verlag Karl Alber 2010
- [2] R. Ursin, F. Tiefenbacher, T. Schmitt-Manderbach, H. Weier, T. Scheidl, M.Lindenthal, B. Blauensteiner, T. Jennewein, J. Perdigues, P. Trojek, B. Ömer, M.Fürst, M. Meyenburg, J. Rarity, Z. Sodnik, C. Barbieri, H. Weinfurter und A. Zeilinger, „**Entanglement-based quantum communication over 144 km**“, Nature Physics 3, 481-486 (2007)
- [3] X.-S. Ma, T. Herbst, T. Scheidl, D. Wang, S. Kropatschek, W. Naylor, B. Wittmann, A. Mech, J. Kofler, E. Anisimova, V. Makarov, T. Jennewein, R. Ursin & A. Zeilinger, „**Quantum teleportation over 143 kilometres using active feed-forward**“, Nature 489, 269–273 (2012)
- [4] F. Grotelüschen, **Verschränkung im Weltraum** - Physiker planen spektakuläres Quantenexperiment auf der Internationalen Raumstation
www.dradio.de/dlf/sendungen/forschak/927913/
- [5] S.Olmschenk, D.N.Matsukevich, P. Maunz, D. Hayes, L.-M. Duan, C. Monroe, „**Quantum Teleportation between Distant Matter Qubits**“; Science 322, 468-489 (2009)
- [6] Mohan Sarovar, A.Ishizaki, G. R. Fleming, K. B. Whaley, „**Quantum entanglement in photosynthetic light harvesting complexes**“ Nature Physics, 6 462 (2010)
- [7] Lothar. Kolditz, „**Gedankenübertragung und quantenphysikalische Verschränkung**“ Leibniz Online, Jahrgang 2013,
<http://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2013/01/kolditz-1.pdf>
- [8] Roy Holgrewe, „**Yro5-Verschränkung**“ YouTube,
www.youtube.com/watch?v=IVbsnEeVNWo
- [9] Anton Zeilinger „**Doppelspaltexperiment/Verschränkung**“ YouTube
www.youtube.com/watch?v=L-zC2k13nMM
- [10] M. Arndt, O. Nairz, J. Voss-Andreae, C. Keller, G. van der Zouw, „**Fullerene Interference**“, Nature 401, 680-682 (1999)
- [11] Plato, **Dialogues**, tr.B. Jowett, 3rd edn.,Oxford 1951, auch Plato, **Dialoge** Basel 1952 – zitiert nach J. D. Bernal „**Die Wissenschaft in der Geschichte**“, Site 148, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin 1961
- [12] D. Bohm, „**Holografisches Universum- Die Illusion der Wirklichkeit**“
www.holoversum.org/modules.php?name=Content&pid=9
- [13] K. Volkamer, „**Der feinstoffliche Körper und seine universelle Verschränkung**“
www.amazon.de > [Filme & TV](#) > [Dokumentationen](#) > [Esoterik](#)
- [14] „**Geist & Physik**“ www.om-page.de/NeuePhysik.html
- [15] A.Aspect, P.Grangier, G. Roger, „**Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedankenexperiment: A New Violation of Bell’s Inequalities**“, Physic. Rev. Lett. 49 (2) 91-94 (1982)
- [16] J. S. Bell „**On the Einstein Podolsky Rosen Paradox**“, *Physics* 1(3), 195 (1964)
- [17] A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, „**Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?**“ *Phys. Rev* 47, 777 (1935),
- [18] [Deutsche Wirtschafts Nachrichten](#), 26.10.2013, „**US-Firma produziert ersten Quantencomputer der Welt**“