

09.10.2024

## Über die Verschränkung von Qubits im Universum und dazu einige Grundlagenerklärungen von Dr. Manfred Pohl

Zu einer Pressemitteilung über die sogenannte Quantenverschränkung, einem sehr alten Problem, dessen Erforschung heute noch immer nicht sehr weit vorangekommen ist, hatte ich mich am 05.08.2024 auf meiner Facebook-Seite „Kritik der Urknalltheorie“ so geäußert:

### Verschränkung?

Es ist mitunter schon lustig, welche Blüten der Verlust des dialektisch-materialistischen Materiebegriffs treibt. Da findet man im Kosmos Teilchen, die auch in größerer Distanz „seltsam“ gleiche oder ähnliche Zustände haben oder Bewegungen ausführen. Und schon schlußfolgert man, sie seien auf unbekannte, mystische Weise miteinander verbunden. Man nennt es Verschränkung, einen Namen muß es ja haben.

Nun setzt man eine Forschung in Gang, um herauszufinden, welche Ursache diese „merkwürdige“ Verbindung zwischen den Teilchen hat. Eine Informationsübertragung kann es ja nicht sein, denn die könnte nicht schneller als mit Lichtgeschwindigkeit erfolgen. Und deshalb sagt man nun:

„...insofern kann die Verschränkung selbst keine klassische Informationsübertragung in der Zeit sein.

Anton Zeilinger vermutet daher, dass Quantenereignisse in einem gewissen Sinn unabhängig von Raum und Zeit sind. Dies entspricht dem Zustand des Universums beim Urknall.“

Na, da haben wir ja nun die verblüffende Lösung. Quantenereignisse laufen also wie beim Urknall ab. Vielleicht, als es den Raum und die Zeit noch nicht gab? Sie mußten ja beide erst geschaffen werden (?!). Das ist zwar Unsinn, wird aber immer noch geglaubt. Der „gewisse Sinn“ der Unabhängigkeit von Zeit und Raum bleibt also im Dunklen. Nun gibt es ja mittlerweile Raum und Zeit. Da sind also alle Quantenereignisse Überbleibsel aus diesem „Anfang“? Relikte des Urknalls? Die gesamte Quantenphysik würde damit niedergerissen. Aber die Verschränkungen wurden doch in einer jüngeren Gegenwart festgestellt. Oder nicht? Die Physiker müssen jetzt die Weltwissenschaftsgemeinschaft nur noch davon überzeugen, daß diese Hokus-Pokus-Auslassungen Physik sind. Dabei wird es gewiß enorme Probleme geben. Ich sag es mal ganz einfach mit dem oben fehlenden „gewissen Sinn“:

Niemandem fällt auf, daß die Teilchen von den Gravitationskräften anderer kosmischer Objekte in Bewegung versetzt werden. Das kann auch niemandem auffallen, weil man offiziell die Gravitation für ein materielles Objekt hält, dem man eine Bewegung zuordnen kann. Man weiß nicht, daß das nicht wahr ist. Man weiß nicht, daß sie überall ohne zeitlichen Ablauf wirkt und sich also nicht erst dorthin bewegen muß. Deshalb ist die Verschränkung unabhängig von Raum und Zeit. Deshalb kann man auch nicht sehen, daß es völlig normal ist, wenn sich die Teilchen auf die gleiche Weise bewegen. Man wird es wohl auch auf längere Sicht nicht sehen können, denn solange man noch nach Gravitationswellen sucht, solange man also die Gravitation für einen Gegenstand hält, der sich bewegen muß – mit Lichtgeschwindigkeit, fügt man an – kann es nicht gelingen.

Nachsatz aus <https://app.studysmarter.de/studyset/3010808/summary/21822051>:  
Zitat:

"Was Einstein einst als „spukhafte Fernwirkung“ beschrieb, gehört zu den paradoxesten und verblüffendsten Prinzipien der gesamten Physik", sagen Physiker vom Max-Planck-Institut. "Die Verschränkung ermöglicht es, dass Teilchen auf eine Weise miteinander korreliert sind, dass sie nicht mehr unabhängig voneinander charakterisiert werden können – obwohl sie sich an unterschiedlichen Orten befinden. Sie scheinen durch eine unsichtbare Kraft miteinander verbunden zu sein, solange die Verschränkung besteht."

Paradox ist es nicht, verblüffend auch nicht. Und eine unsichtbare Kraft? Was kann das sein? Hat schon mal jemand eine Kraft „gesehen“? Man kann sie nicht sehen, aber jeder spürt sie immerwährend: Die Kraft heißt Gravitation – sie ist die Ursache für die Verschränkung. Das können die Physiker aber nicht wissen, solange sie noch nach Gravitationswellen suchen, die sich „ausbreiten“ müßten und dafür Zeit benötigten. Und es wäre alles viel einfacher, würde man endlich damit aufhören, die Erkenntnis Einsteins aus dem Jahre 1938 zu ignorieren, mit der er nach jahrelanger Forschungsarbeit zusammen mit anderen Wissenschaftlern seiner Zeit, wie Leopold Infeld, Max Born, Nathan Rosen, Percy Robertson, Banesh Hoffmann, Marcel Großmann und weiteren herausgearbeitet hat, daß es Gravitationswellen nicht geben kann. (Nebenbei bemerkt: „Paradox“ kann man nicht steigern, den Superlativ „am paradoxesten“ gibt es nicht. Soviel Sprachwissenschaft sollte auch unter Physikern präsent sein.)

Unter der Adresse

<https://www.mpg.mpg.de/6520992/05-revealing-einstein-s-spooky-action-without-destroying-it>

habe ich nun einen Beitrag zu diesem Thema gefunden, den ich nicht übersehen konnte. Ich habe ihn mit einigen Kommentaren versehen.

## **Einsteins „spukhafte Fernwirkung“ nachgewiesen, ohne sie zu zerstören**

Physiker am MPQ haben eine neue Methode entwickelt, um die Verschränkung von zwei entfernten atomaren Qubits zerstörungsfrei zu detektieren (Qubit, kurz für Quantenbit, ist ein Quantensystem mit zwei Zuständen, heißt, ein System, das nur zwei durch Messung sicher unterscheidbare Zustände hat. Es kann mit der Quantenmechanik korrekt beschrieben werden).

20. Mai 2021

### Forschungsergebnisse

Verschränkung ist eine der wichtigsten Eigenschaften von Quantenteilchen und eine Kernressource vieler aufstrebender Quantentechnologien. Wie für die Quantenwelt typisch, ist sie jedoch ein sehr fragiles Phänomen, das bei der Messung oft zerstört wird. Ihr Nutzen als Ressource war dadurch begrenzt. Bis jetzt: Mit Photonen als Hilfsmittel hat ein Team von Physikern am Max-Planck-Institut für Quantenoptik (MPQ) erfolgreich eine neuartige Technik entwickelt, um verschränkte Zustände entfernter Qubits zu detektieren und dabei die wertvolle Verschränkung zu erhalten. Dieses Forschungsergebnis liefert der Wissenschaft nun ein wichtiges neues Werkzeug, um große Visionen von großflächigen Quantennetzwerken oder verteilt rechnenden Quantencomputern zu verwirklichen. Die Arbeit wurde im Fachmagazin Nature Photonics publiziert.

Was Einstein einst als „spukhafte Fernwirkung“ beschrieb, gehört zu den paradoxesten und verblüffendsten Prinzipien der gesamten Physik. Ich halte den Effekt nicht im mindesten für „paradox“ und ganz und gar nicht für „verblüffend“. Die Verschränkung ermöglicht es, dass Teilchen auf eine Weise miteinander korreliert sind, dass sie nicht

mehr unabhängig voneinander charakterisiert werden können – obwohl sie sich an unterschiedlichen Orten befinden. Sie scheinen durch eine unsichtbare Kraft miteinander verbunden zu sein, solange die Verschränkung besteht. Diese „unsichtbare“ Kraft heißt Gravitation, sie ist mit Sicherheit die Ursache für die sogenannte Verschränkung. Das können die Forscher aber nicht wissen, weil sie ja noch immer nach Gravitationswellen suchen, die sich „ausbreiten“ müssen, ein Vorgang, der eine Dauer beanspruchen würde, heißt, Zeit benötigte. Völlig natürlich und auch allgemein bekannt wirkt aber die Gravitation eines oder mehrerer kosmischer Masseobjekte zeitunabhängig auf die Teilchen, die in der Folge gleiche oder ähnliche Zustände haben. Das ist nicht im geringsten rätselhaft. Würden die Physiker den dialektisch-materialistischen Materiebegriff verstanden haben und konsequent anwenden, gäbe es diese Erklärungsprobleme nicht. So aber glaubt man, die Gravitation käme als Ursache nicht in Frage, weil sie sich ja erst wie ein materieller Gegenstand von einem Objekt zum anderen bewegen müsse – man sagt, mit Lichtgeschwindigkeit – was eine Dauer zur Folge hätte, die eine Gleichzeitigkeit ausschließt. Und darum redet man weiter an der Sache vorbei und kommt zu keinem Ergebnis, welcher Art der „Spuk“ sein könnte, der eine Verschränkung hervorruft. ...

### **Verschränkung aufspüren und messen**

Da die Verschränkung für viele Anwendungen so elementar ist, ist die Wissenschaft unentwegt darum bemüht, neue und effiziente Methoden zu finden, um verschränkte Zustände nicht nur zu erzeugen, sondern auch zu detektieren. „*Verschränkte Zustände detektieren bedeutet, herauszufinden – oder zu messen – auf welche genaue Art und Weise Qubits miteinander verschränkt sind*“, erklärt Stephan Welte, Erstautor der Arbeit. Allerdings gibt es viele verschiedene Arten, wie Qubits miteinander verschränkt sein können, und es ist sehr schwierig, sie alle zu unterscheiden. Hinzu kommt, dass die Verschränkung sehr anfällig ist, und bei dem Versuch, sie zu messen, leicht zerstört werden kann.

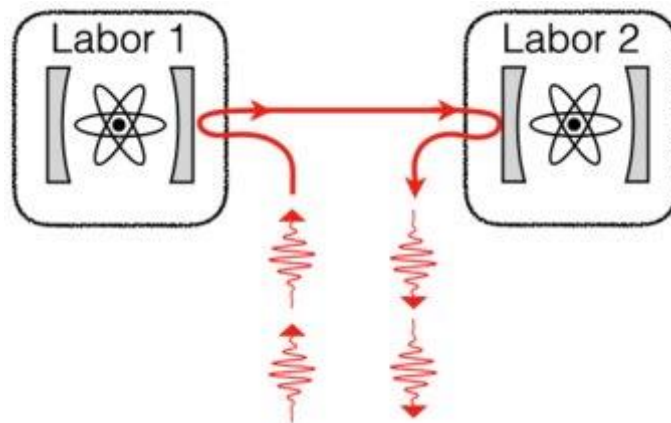
Eine Analogie mag dem Verständnis an dieser Stelle hilfreich sein: Nehmen wir an, wir haben einen einfachen Fall von nur zwei verschränkten Qubits. Wir stellen uns diese zwei Qubits als zwei Fadenstränge vor, die vollständig miteinander verknüpft und somit verschränkt sind. Den Zustand ihrer Verschränkung zu detektieren, bedeutet herauszufinden, auf welche Art und Weise sie verknotet wurden. Wer versucht, diesen Fall zu lösen und beide Fadenstränge direkt vor sich hat, würde wohl folgendermaßen vorgehen: die Verbindung auftrennen, um zu sehen, wie sie ursprünglich miteinander verknotet wurden. Diese Methode ist effektiv und das, worauf sich die meisten bisherigen Techniken stützen – mit einem immanenten Problem: Sobald die Fäden getrennt wurden, ist die Verschränkung verschwunden. *Ist das etwa verwunderlich? Kann man es nicht erklären? Doch, man kann. Wie ist denn die Trennung herbeigeführt worden? Wohl doch unvermeidlich durch die Einführung weiterer Kräfte auf die Qubits infolge des Meßvorgangs, die gewiß auch verschieden sein können. Und – ach wie wunderbar – schon bewegen sie sich unterschiedlich, weil sie nun verschiedenen Kräften unterliegen. Mir erschließt sich nicht, welcher Art die Verwunderung dabei ist.*

### **Photonen als Hilfsmittel**

Die Frage, die sich also stellte, lautet: Wie ist es möglich, den verschränkten Zustand von zwei oder mehr Qubits zu erkennen, ohne ihn dabei zu zerstören? Im Laufe des letzten Jahres hat ein Team von Physikern um Emanuele Distante und Stephan Welte, beide Postdoktoranden am MPQ, dieses Problem eingängig untersucht und nun in der Fachzeitschrift Nature Photonics eine neuartige Methode vorgeschlagen. Die Physiker fügten ihrer zu detektierenden Verschränkung zwei zusätzliche Photonen, als „Extra-Fäden“ hinzu, ließen diese mit den Qubits interagieren und überprüften wie sich beide

Photonen nach der Interaktion verändert hatten. Um bei der obigen Analogie zu bleiben: Die Wissenschaftler heften die Extra-Fäden (Photonen) jeweils an die ursprünglichen verknoteten Fäden (Qubits) an und je nachdem welche Gestalt die Extra-Fäden nach dem Anknüpfen annehmen, können die Wissenschaftler ableiten, auf welche Weise die ursprünglichen Fäden miteinander verbunden sind. *„Der entscheidende Unterschied ist, dass die Verschränkung gemessen wird, ohne die Qubits zu entkoppeln, bzw. die Fäden zu entwirren. Das Ergebnis wird sozusagen abgeleitet und nicht durch Auftrennen offengelegt. Dadurch können wir die Verschränkung als bedeutende Ressource für eine zukünftige Nutzung erhalten“*, erklärt Emmanuele Distante das Prinzip. **Hervorragend. Eine wunderbare Überlegung, eine sehr intelligente Herangehensweise, sauber durchdacht. Die Frage ist nur: Wozu? Man kann mit ihr die Verschränkung feststellen, obwohl ihr Wesen doch ohnehin schon klar ist, aber ihre Ursache wird man auf diese Weise auch nicht herausfinden können. Man kann mit ihr auch nicht die kosmischen Objekte finden, die zu einer untersuchten Verschränkung führen.**

### Wissenschaftliche Methode



Zwei optische Resonatoren, einer pro Labor, erkennbar hier als graue Spiegel. Jeder Resonator enthält ein einzelnes Atom. Photonen – hier eingezeichnet als wackelnde rote Pfeile – federn vom Resonator in Labor 1 zu Resonator in Labor 2. **Hervorragend, Eine wirklich beeindruckende Versuchsanordnung.**

Als Qubits verwendeten die Wissenschaftler zwei einzelne lasergekühlte Atome, die jeweils in der Mitte eines optischen Resonators – auch optischer Hohlraum genannt – sitzen. Dieser ist aus zwei gegenüberliegenden winzigen Spiegeln im Herzen einer Vakuumkammer aufgebaut. Die beiden Atome und ihre jeweiligen Resonatoren befinden sich in zwei verschiedenen Laboren und sind durch eine optische Glasfaser verbunden. Die beiden Photonen werden zunächst vom ersten Atom-Resonator-System reflektiert, wandern dann über die Glasfaser hinüber zum zweiten Atom-Resonator-System, werden dort erneut reflektiert und danach schließlich gemessen. Diese Messung liefert dann alle notwendigen Informationen, um die Verschränkung der beiden Atome logisch ableiten zu können – ohne die Verschränkung zu zerstören oder aufzulösen. **Die Meßanordnung ist genial. Eine hervorragende ingenieurtechnische Leistung. Aber, wie schon oben ausgesagt, es kann damit die Verschränkung gezeigt werden, ihre Ursache bleibt weiterhin ungeklärt.**

### Ausbau eines Quantennetzwerkes

Die faszinierendste Aussicht für die Physiker ist nun, die zerstörungsfreie Messung der Verschränkung auch auf weitere Qubits auszuweiten. Die beiden atomaren Qubits könnte man sich nämlich auch als Teil eines größeren Quantennetzwerkes vorstellen, das weitere Qubits enthält. *„Da sich Photonen in optischen Glasfasern bewegen, können wir mit ihnen auch mehr als nur zwei entfernte Qubits messen. Das sollte es uns ermöglichen, ein Quantenmessgerät zu bauen, das den Verschränkungszustand vieler*

*Qubits – sagen wir drei, vier oder noch mehr – die sich in einem Netzwerk befinden, erkennt“, blickt Emanuele Distanto in die Zukunft dieses Forschungsprojektes. „Bis dahin sind allerdings noch einige technische Hürden zu überwinden, aber immerhin: der Weg ist klar“, ergänzt Stephan Welte.*

Allerdings wäre der klarere und wesentlich einfachere Weg die Wiederherstellung des dialektisch-materialistischen Materiebegriffs in der Physik, mit dem man unter vielen anderen auch endlich den Irrtum überwinden könnte, die Gravitation sei ein materielles Objekt, ein Gegenstand, der sich bewegt, der einer „Ausbreitung“ unterliegt. Stellen wir uns doch einmal vor, die Gravitation müßte sich tatsächlich im Raum „ausbreiten“, dann wären folglich alle kosmischen Rechenverfahren falsch, die zum Beispiel auch die drei Keplerschen Gesetze einbeziehen, denn jene enthalten keine Funktionen der Zeit. Bisher aber wurden mit ihnen sehr erfolgreich die Bewegungen kosmischer Objekte berechnet, einschließlich der vom Menschen geschaffenen. Oder schauen wir doch einmal auf die Gravitation zwischen Sonne und Erde. Wohin bewegt sie sich denn? Von der Sonne zur Erde oder von der Erde zur Sonne? In beiden Fällen bräuchte sie dazu 8 min und 20 s ( $150 \text{ Mio. km} / 300.000 \text{ km/s} = 500 \text{ s}$ ). Man sieht bei dieser Überlegung mit völliger Klarheit: Die Frage ist unsinnig.

Nachfolgend beschreibt der Autor des Beitrages die Möglichkeiten und die gegenwärtigen Grenzen, die sich mit der Quantenverschränkung für verschiedene technische Bereiche in der Zukunft ergeben können, wie zum Beispiel auf dem Gebiet der Quantencomputer. Auf diese Darlegungen soll hier nicht eingegangen werden. Es würde den Rahmen des Grundlagenbeitrages sprengen.

Eine weitere Quelle:

<https://www.studysmarter.de/schule/physik/quantenmechanik/quantenverschraenkung/>

Weiterführende Erklärungen befinden sich auf meinem Internetportal:

<http://hauptplatz.unipohl.de/Wissenschaft/PhysikPhilosophie.pdf>

<http://hauptplatz.unipohl.de/Wissenschaft/NoHairTheorem.pdf>

<http://hauptplatz.unipohl.de/Wissenschaft/KosmischeDistanzen.pdf>

[http://hauptplatz.unipohl.de/Wissenschaft/Gravitationswellen\\_Maerchen.pdf](http://hauptplatz.unipohl.de/Wissenschaft/Gravitationswellen_Maerchen.pdf)

<http://hauptplatz.unipohl.de/Wissenschaft/WesenMaterie.pdf>

[http://hauptplatz.unipohl.de/Wissenschaft/WeinsteinGravitation\\_deutsch.pdf](http://hauptplatz.unipohl.de/Wissenschaft/WeinsteinGravitation_deutsch.pdf)