

Ist die Welt zweidimensional?

Ist die Welt zweidimensional, so ließe sich eventuell erklären, wie die Nichtlokalität in der Quantentheorie zustande kommt.

Um zu verstehen, was man unter Nichtlokalität meint, ist es hilfreich, zunächst den Begriff der **Lokalität** zu erläutern. Die klassische Physik (also nicht die Quantenphysik) vertritt das Prinzip, dass Wirkungen, Einflüsse von einem System auf ein anderes nur innerhalb einer bestimmten Raum-Zeit-Umgebung vorkommen können. So kann beispielsweise ein Ton innerhalb einer gewissen Zeit, sagen wir innerhalb einer Minute (in der Luft bei 20° C) nur bis Entfernungen unter 21 km gehört werden. Oder ein Lichtblitz, der in einem Raumgebiet (x,y,z) zu einer gewissen Zeit t ausgelöst wird, kann innerhalb einer gewissen Zeitspanne (nehmen wir wieder eine Minute) nur in einer Kugel-Umgebung mit dem Radius von unter 18.000.000 km gesichtet werden. Das bedeutet, dass nicht jedes Ereignis jedes andere beeinflusst. Ereignisse wirken innerhalb einer gewissen Zeitspanne nur lokal in einer maximalen Raum-Umgebung. Was außerhalb dieser Umgebung liegt, wird innerhalb dieser Zeitspanne nicht beeinflusst.

Nichtlokalität meint demgegenüber eben das Gegenteil: dass ein Ereignis jedes andere beeinflussen kann. Das geht nur dann, wenn - wegen der endlichen Geschwindigkeit jeder Informationsübertragung - die Wirkung augenblicklich ("instantan") ohne jede Zeitverzögerung geschieht, es also keine Informationsübertragung gibt.

So sah beispielsweise Newton die Wechselwirkung der Gravitation. Ein schwerer Körper übt auf jeden anderen schweren Körper augenblicklich über beliebige Distanzen die gravitative Kraft aus (die freilich mit zunehmendem Abstand auch rasch abnimmt). Einstein nannte das die spukhafte Fernwirkung. Demgegenüber vertritt das Prinzip der Lokalität die Nahwirkung.

Die Einsteinsche Gravitation wirkt nur in der Nähe, da jede Energie oder jede Masse den umgebenden Raum krümmt. Diese Krümmung bewirkt dann, dass andere Körper durch diese Raumkrümmung beeinflusst werden, indem sie in diesem Raum entlang der kürzesten Linie, der sogenannten geodätischen Linie, entlang laufen. Je größer die Masse, desto größer die Krümmung, desto verzerrter die Linie. Diese Krümmung wird aber von dem Körper nicht instantan vermittelt, sondern nur mit Lichtgeschwindigkeit. Das heißt eine Veränderung der Lage eines Körpers, krümmt den Raum, der etwas weiter von seinem Mittelpunkt entfernt liegt, etwas später, als den unmittelbar umgebenden Raum. Diese Krümmung breitet sich also aus: die so genannten Gravitationswellen. Ebenso wie ein bewegendes Elektron das elektromagnetische Feld in seiner Umgebung verändert und so elektromagnetische Wellen erzeugt.

So weit so gut. Nun beginnt das **Problem**. In der Quantentheorie ist es möglich, Objekte zu **verschränken**. Beispielsweise kann man ein Photon durch einen halbdurchlässigen Spiegel schicken, sodass ein Teil reflektiert wird und das andere Teil den Spiegel durchquert. Aus einem Photon sind zwei Photonen entstanden. Diese sind verschränkt. Führt man nun mit dem einen Photon eine Messung durch (um etwa seine Polarisation festzustellen), so wird das Zwilling photon (selbst wenn es beliebig weit vom ersten entfernt ist [zur Zeit ist es im Experiment bis zu 144 km gelungen]) bei gleichzeitiger Messung das gleiche Messergebnis wie das erste Photon zeigen. Wären die beiden Photonen unabhängig voneinander, so würde man auch unabhängige Messergebnisse erwarten. Bei zwei möglichen Werten einer Eigenschaft würde man etwa zu 50% den einen Wert und zu 50% den anderen erwarten.

Bei mehrfacher Messung würde man also diese Verteilung erwarten, wenn der erste Wert mit 0 und der zweite Wert mit 1 bezeichnet wird.

Photon 1	Photon 2
0	0
0	1
1	0
1	1

Tatsächlich finden man aber bei verschränkten Photonen nur folgende Kombinationen nur vor:

Photon 1	Photon 2
0	0
1	1

Könnte das eine Photon die Ergebnisse seiner Messung dem anderen mitteilen, wäre ja noch alles in Ordnung. Nur das kann es nicht, denn die Werte zeigen sich instantan, augenblicklich zur gleichen Zeit. Es kann also keine Information vom einen Photon zum anderen geflossen sein. Wir haben also wieder die 'spukhafte Fernwirkung', die Einstein schon bei Newton kritisiert hatte (im Übrigen waren es gerade Einstein, Podolski und Rosen, die das Gedankenexperiment erfunden haben, um die Unvollständigkeit der Quantenmechanik durch diese Absurdität zu beweisen. 'Leider' hat sich dieser Effekt, der so genannte EPR-Effekt, immer wieder im Experiment als existent erwiesen, und so die Quantenmechanik aufs Glänzenste bestätigt). Die Verschränkung erzeugt demnach die seltsame Nichtlokalität.

Die beiden Photonen verhalten sich also so, als wären sie nur eines, obwohl sie sehr weit voneinander entfernt sind. Das ist das Problem.

Ich möchte nun dieses Problem philosophisch diskutieren.

Leibniz hatte im sogenannten Prinzip der Individuation behauptet, dass zwei Dinge identisch sind, wenn man sie nicht unterscheiden kann, wenn sie also in allen Eigenschaften identisch sind. Dinge, die wir nicht unterscheiden können, die aber dennoch verschieden sind für einen absoluten Beobachter (Gott), unterscheiden wir, indem sie von uns an zwei verschiedene Orte durch unsere Anschauung gesetzt werden. Raum gibt es eigentlich nicht für Leibniz. Zwei identische und verschränkte Photonen zum Beispiel wären für Leibniz aufgrund ihrer verschiedenen Geschichte (das eine Photon wurde reflektiert am Spiegel, das andere durchdrang ihn) auch verschieden, nur wir (Quantenphysiker) könnten keinen Unterschied bemerken, also unterscheiden wir sie durch den Raum.

Für **Kant** ist der Raum ebenfalls nicht objektiv existent, sondern ist eine Zutat unserer Anschauungsoperation, eine Anschauungsform apriori, die die Elemente des Objekts und die Objekte erst zu dem macht, was sie sind, durch räumliche Ordnung.

Auch **Schopenhauer** hält den Raum für das principium individuationis.

Meines Erachtens könnte der Raum selbst nur ein fluktuierendes Feld von virtuellen Photonen sein, also selbst nur virtuell, doch mit physikalischen Folgen. Ein nicht lokalisierbarer Raum, der aber Lokalisierung erzeugt. Also kein absoluter Raum, was die Fluktuation verhindert, aber eine Art Äther, der den Wellencharakter des Lichts bedeuten könnte. Da Wellen ohne Medium sicherlich Unsinn sind. Will man dem Licht Wellencharakter zusprechen, und dafür spricht einiges, so muss es irgendeine Form von Medium geben, es sei denn das Licht - in einer speziellen Form- ist sein -für eine andere Form- eigenes Medium.

Ein anderes Problem wäre dadurch auch lösbar. Es wird heute wohl nicht mehr bestritten, dass das **Universum sich ausdehnt** und zwar sogar beschleunigt. Doch wohin soll sich das All denn ausdehnen? Doch wohl in ein Etwas. Doch dieses ist nicht von dieser Welt. Sonst wäre das Universum nicht das "All", zu dem dann auch dieser äußere Raum gehören müsste. Dieses Etwas kann aber kein bloß vorgestelltes sein, denn ein physikalischer Raum dehnt sich doch nicht in eine Vorstellung aus. Also muss dieses 'Nichtweltliche' physikalisch sein ohne zum physischen All zu gehören. Und dieses Etwas wären die virtuellen Photonen. Dieser "Raum" könnte eine Ausdehnung notfalls ohne Ende zulassen. Dieser Raum wäre eine Entität zwischen Realität und Möglichkeit. **Platon** hat im Timaios den Raum ebenso bezeichnet, als ein Etwas zwischen der Welt der Dinge, der physischen Welt und der der Ideen. Er könnte damit durchaus das Richtige gesehen haben.

Doch hier taucht zusätzlich die alte Frage auf, ob das All endlich oder unendlich ist. Diese Frage hatte **Kant** ja zu den Paralogismen der Vernunft gezählt und in der Kritik der reinen Vernunft behandelt. Auf seine Argumentation will ich hier nicht eingehen, sondern nur die Konsequenzen für die Ausdehnung betrachten.

Wenn das Universum sich ausdehnt, muss es wohl endlich sein, denn ein Unendliches kann sich in der gleichen Dimension nicht mehr ausdehnen. Wenn eine Kugeloberfläche sich ausdehnt, dann wächst sie zwar zweidimensional, doch nur, wenn die Kugel selbst einen größeren dreidimensionalen Raum einnimmt. Sie könnte sich natürlich lokal zweidimensional bei festem Kugelumfang ausdehnen, aber dafür an anderer Stelle kontrahieren. Wenn diese Kuriosität einmal ausgeklammert wird, dann muss sich das All in seiner Dimension ausdehnen und dazu bedarf es Platz, den es noch nicht eingenommen hat, wie ein Luftballon, der sich in den umgebenden Raum aufbläht. Die Physikalität dieses umliegenden Raums ließe sich -wie gesagt- als Virtualität vorstellen, als zufälliges Aufblitzen von Photonen, die innerhalb kürzester Zeit (nach Heisenberg) wieder verschwinden. Diese Virtualität ist natürlich noch kein handfester Raum. Solche virtuellen Ausbrüche könnten statistisch auch hin und wieder kurz nacheinander so gehäuft auftreten, dass sie quasi eine zeitliche Realität erzeugen, einen Urknall. Ex nihilo so zu sagen. (Und damit sind natürlich auch viele Urknalle 'jederzeit' möglich). Dadurch entsteht der physikalische reelle Raum, eben als Relation von zumindestens zwei oder drei realen Photonen. Solche Urknalle würden dann den Energieerhaltungssatz erst erzeugen, wenn diese statistischen Ausnahmesituationen sich gelegt haben. Denn er setzt klar nur Endlichkeit an Energie voraus und lässt also auch nur einen endlichen Raum zu. Die Ausdehnung des Weltraums ginge in den virtuellen Raumschaum, dessen virtuelle Photonen den Energieerhaltungssatz dann auch nicht stören, da sie ja rechtzeitig wieder verschwinden. Dies erlaubt also die Ausdehnung in ein physikalisches Etwas, das nicht zum physischen Raum gehört. Unendlichkeit müsste nirgends vorausgesetzt werden, was zu Paralogismen führen würde. (Siehe an anderer Stelle meine Diskussion des Problem des Unendlichen in der Mathematik und damit überhaupt.)

Warum aber ist ein physikalischer Raum überhaupt notwendig? Denn Photonen sind ja Bosonen und da könnten so viele nur wollen auf ein und demselben 'Platz' verharren. Eine enorme Ansammlung von Photonen muss aber wahrscheinlich einen Raum einer gewissen Ausdehnung erzeugen, der dann (vgl. einen anderen Artikel über Licht und Materie) genau die Partikel, die Fermionen ausmacht. Weshalb sie diesen Raum erzeugen, ist mir nicht klar. Dass sie aber einen Raum erzeugen, zeigen meines Erachtens Experimente, etwa das Experiment, das um 2006 die Erzeugung eines Elektrons durch Aufeinanderprall von hochenergetischen Laserjets im SLAC demonstrierte. Die Jets könnten nach der ART eine so starke Raumkrümmung beim Zusammenprall erzeugen, dass die Photonen aus diesem Raum nicht mehr entweichen können und sich so in diesem Gebiet aufhalten, als Elektron.

Damit hätte man selbst die Masse der Materie erklärt als relativistische Masse der Elektron-Photonen, und wäre nicht mehr auf die Higgs-Teilchen angewiesen, die das Problem nur eine weitere Stufe tiefer zu verschieben scheinen.

Aber der Grund der Raumkrümmung ist seltsam, es sei denn diese Ansammlung von sehr vielen Photonen ist eben das, was wir als Raum empfinden, also ein überdimensionale Energiekonzentration. Dessen Komplexität können wir nur fassen, wenn wir, um mit Leibniz zu reden, eine Differenz schaffen, die wir als Raum anschauen und dadurch kleinere überschaubarere Einheiten erzeugen. Solche Tricks sind ja in der Wahrnehmungspsychologie wohlbekannt, wo unser Gehirn beispielsweise Kanten als Abgrenzungen konstruiert, die gar nicht vorhanden sind, oder Farben zweckmäßig verändert, auch wieder der Vereinfachung und Kategorisierungsmöglichkeit wegen.

Aus diesem Raumkonzept ergibt sich natürlich ein anderes Problem, der **Bewegung der Photonen**, die ja nur auf dem Hintergrund des 'Raumes' sich bewegen können. Damit muss auch deren absolute Geschwindigkeit (Lichtgeschwindigkeit) zusammenhängen. Wahrscheinlich bewegen sich die Photonen gar nicht, sondern der Rest, da sie ja den Raum bilden in dieser Konfiguration. Aber es ist natürlich wesentlich einfacher anzunehmen, dass "nur" die Photonen sich bewegen und so die Komplexität der Welt wieder reduziert wird. So ähnlich wie wir oft annehmen, dass unser Zug, der im Bahnhof steht, sich anfängt zu bewegen, wenn ein nebenstehender Zug sich bewegt, den wir gerade anschauen. Unser Gehirn muss wesentlich weniger rechnen, wenn er die vielen Punkte unseres Raums (der gegenüberstehende Zug) sich nicht bewegt, und nur wir uns und das Fenster durch das wir gerade schauen bewegen. Auf dieses Problem komme ich am Ende zurück. Wenn sich also diese freien Photonen in Wirklichkeit nicht bewegen (und wir es nur so der Einfachheit halber konstruieren) wäre auch klar, warum freies Licht die absolute Geschwindigkeit hat, oder vielmehr warum wir das so messen. Und gleichzeitig ist das seltsame Problem der Bewegung von etwas (den Photonen) behoben, das seine eigene Produktion (den Raum) voraussetzen müsste. Alle Bewegung würde sich dann auf diesen virtuellen Raum beziehen. Und dann hätte man auch das Problem des Newtonschen Eimers als Zusatz gelöst. Dazu bräuchte man keinen Fixsternhimmel mehr.

Zurück nun zum Problem der Verschränkung.

Wenn Raum eine Konstruktion ist, dann auch die der Dimensionen. Was bedeutet es, eine Dimension mehr zu haben als nur eine? Es wird mehr Raum im Leibnizschen Sinn geschaffen. Mehr Unterscheidungsmöglichkeit, Komplexitätsverteilung und damit höhere und einfachere Verstehensmöglichkeiten.

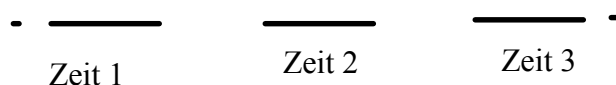
Es ist einfach einfacher, generell eine weitere Dimension anzusetzen, als die Komplexität der Welt in einer Dimension zu handeln.

Ein einfaches strukturähnliches Beispiel aus der Stochastik möge das klarmachen. Nehmen wir das Roulettespiel. Ein Spieler der zunächst nur auf die einfachen Chancen Rot und Schwarz setzt, hat nur drei Ergebnisse, die ihn interessieren (müssen), Rot, Schwarz und die Null, und seine dazu gehörige Wahrscheinlichkeitsverteilung ($P(r) = \frac{18}{37} = P(s); P(0) = \frac{1}{37}$) um sein Experiment vollständig beschreiben und berechnen zu können. Ändert er aber seine Strategie und setzt nun auch auf das erste Duzend, so muss er sein Bezugssystem (seine Modellierung) ändern. Das ist natürlich wenig effektiv und sehr kompliziert. Am besten, man wählt ein Bezugssystem, das alle Strategien zulässt und auch ausdrücken lässt. Man wählt die feinste Ergebnismenge ($\Omega = \{0, 1, 2, \dots, 36\}$) und drückt, was einen alles bei diesem Spiel interessieren mag, nun in der gleichen Sprache mit einem Zusatzwort "Ereignis" (als Teilmengen der ein für alle mal fest gewählten Ergebnismenge) aus, ohne das System ständig ändern zu müssen. Man hat sein Modell durch einen neuen sehr nützlichen Begriff erweitert, und dadurch größere Einheitlichkeit und Überschaubarkeit erhalten.

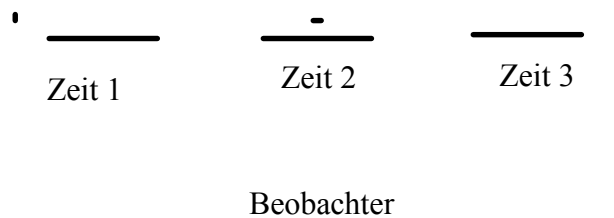
So geht es auch mit den Zusatzdimensionen. Nehmen wir an, dass in dieser eindimensionalen Welt Einstein Recht hätte und sich dieser auch bei Energiekonzentration "krümmt". Die Eindimensionalen müssten dann bei Krümmung eine zusätzliche neue innere Metrik einführen. Viel einfacher jedoch, man nimmt eine zweite Dimension hinzu und erklärt oder ersetzt diese neue Metrik mit der Verbiegung der Linie auf der zweidimensionalen Fläche und behandelt diese mit der alten Metrik. Das Bezugssystem kann dann stets das gleiche bleiben, und die Krümmung lässt sich mit Infinitesimalrechnung auf die alte Metrik reduzieren. (Vielleicht handelt man sich dann andere Probleme ein (das Problem des Unendlichen, aber das lässt sich auch lösen, wenn man andere gängige Unterscheidungen berücksichtigt).

Wir alle handeln so unbewußt. Man weiß aus der Kinderpsychologie spätestens seit Piaget, dass die 'Objektkonstanz' eine Konstruktion ist. Ein Baby folgt mit seinem Blick einem Ball, der unter einen Schrank rollt, wendet aber dann seinen Blick ab und ist nicht beunruhigt, wenn er plötzlich wieder auftaucht. Für es ist der Ball unter dem Schrank nicht mehr existent und wenn er wieder da ist, ist er eben wieder entstanden. Erst einige Entwicklungszeit später wird es den Ball suchen oder erwarten, dass er wieder "hervorkommt". Was geschieht dabei? Es wählt einfach die einfachere Alternativhypothese, es verändert sein Bezugssystem, macht es etwas komplexer und damit seine Welt einfacher. Es nimmt an, dass der Ball weiterhin existiert, aber nur versteckt war. Das Objekt bleibt konstant vorhanden (Objektkonstanz). Nicht, dass man meint, es wäre so, das ist nur eine bessere, d.h. einfachere Hypothese! Man kann das einfach veranschaulichen wieder am Dimensionsproblem.

Nehmen wir an, unsere eindimensionale Welt bestünde aus einer Strecke und einem Punkt, der sich in der dieser Welt bewegt. Zuerst liegt er vor der Strecke, dann einige Zeit ist er weg und dann taucht er wieder auf. Das soll der phänomenale Bestand sein.



Zwei Hypothesen. Die erste ist die rein phänomenale: der Punkt ist da, dann ist er weg, dann ist er wieder da. Existenz, nicht existent und wieder existent. Die zweite schon leicht begriffliche Hypothese: Er war immer da, nur war er versteckt hinter der Strecke. Zu dieser Hypothese muss ich aber eine zweite Dimension einführen. Die Welt muss jetzt zweidimensional gedacht werden.



Die Welt ist nicht mehr so, wie sie erscheint. Es gibt eine Wirklichkeit und eine Erscheinung. Der Beobachter muss eingeführt werden, denn er interpretiert seine Wahrnehmung nicht mehr unmittelbar, sondern "weiß", dass seine Wahrnehmung auf eine eindimensionale Wand projiziert hat, da er die Fläche ja nicht wahrnimmt, sondern nur denkt. In der Projektion erfährt er die Welt wie bisher: Punkt da, Punkt weg, Punkt wieder da, aber nun kann er annehmen, dass sich der Punkt immer auf der virtuellen Linie hinter der Linie auf der die Strecke liegt bewegt hat und so nur versteckt wurde. Damit wird aber seine vielfältige Welt viel einfacher erklärbar, aber seine festes System ist etwas komplizierter geworden: Beobachter und Beobachtetes sind verschieden, Welt hinter der Welt (2. Dimension). Er hat einen sozusagen philosophischeren Standpunkt konstruiert.

Genau das versucht **Platon** in seinem Höhlengleichnis zu demonstrieren. Die Ideen als die wirkliche Welt gegenüber der scheinenden (phänomenalen) Welt. Und das hätte er den Gefesselten ja auch demonstrieren können, ohne mit Gewalt ihren Kopf umzudrehen. Denn sie lebten ja in einer zweidimensionalen Projektionswelt, ihrer Höhlenwand, verfügten also über das Anschauungsbeispiel (obiges Bild) und hätten analog es auf ihre übertragen können. (Popper hatte da wohl Unrecht, wenn er in der Platonischen Philosophie notwendig die Wurzeln der Feinde der offenen Welt erblickte, faktisch vielleicht aber nicht notwendig).

Nun könnte es ja sein, dass unser Gehirn eben so klug und philosophisch ist, unsere eigentlich phänomenale zweidimensionale Welt (denn was wir mit unseren Sinnen auf der Retina wahrnehmen ist tatsächlich zweidimensional) in eine dreidimensionale umzurechnen mit sehr großer Vereinfachung unseres Weltbildes. Zumal die Rechenleistung unseres Gehirns wahrscheinlich für eine andere Berechnung unserer zweidimensionalen hyperkomplexen Welt gar nicht ausreichen würde. (Vielleicht erkennen ja die grünen Männchen die Welt zweidimensional, da sie mehr Gehirn haben ?:-)).

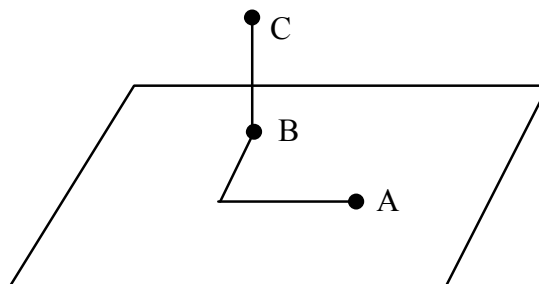
Seltsamerweise wird diese Sicht unterstützt durch eine physikalische eher unzeitgemäße Entdeckung. Die Physik der schwarzen Löcher soll vollständig zweidimensional berechenbar sein. Daraus schlossen vor einigen Jahren Kosmologen, dass unsere Welt vielleicht in der Tat nur zweidimensional ist.

Ich möchte also einmal von dieser etwas ketzerischen These ausgehen, da es ja in Mode ist vorallem bei den Stringtheoretikern, mit Dimensionen nur so um sich zu werfen (eben in der Hoffnung, dadurch unsere Welt zu vereinfachen, ja zu vereinheitlichen in der GUT oder der

TOE). Reduzieren wir also wieder reumütig eine Dimension, als eben konstruierte. Durch diese dreidimensionale Konstruktion könnte wir aber ein anderes Problem erzeugt haben, das wir nicht so leicht wieder loswerden: die Nichtlokalität. Es ist wahrscheinlich eines der seltsamsten und verwirrendsten Probleme der Physik. Wie, wenn die zwei verschränkten Photonen, die sich ja so verhalten, als wären sie eins, **in der Tat eben eins sind**. Dass sie nur von uns durch die von uns konstruierte dritte Dimension als Projektion in diese hochgerechnet werden. In Wirklichkeit aber am selben Platz im Zweidimensionalen sind, mithin ganz und gar identisch. So wäre das Problem der Nichtlokalität mit einem Schlag gelöst. Eine Folge unseres Gehirns und seiner vereinfachenden Berechnungen aufgrund seines komplizierteren dreidimensionalen Systems.



Man könnte diese These vielleicht experimentell überprüfen. Dazu müsste man drei miteinander verschränkte Photonen in drei zueinander orthogonale Richtungen verschicken.



Zwei von diesen müssten ja dann in unserer zweidimensionalen Welt liegen und damit trotz Verschränkung ein nicht identisches bzw. nicht deterministisches Verhalten zeigen.

Bei einer Messung des einen Photons B, müsste die des Photons A in der gleichen "wirklichen" Ebene auch zu B stochastische Ergebnisse zulassen. Und nur das aus der Ebene heraus "gedachte" Photon C wäre nichtlokal zu B.

Das heißt, messe ich bspw. beim Photon B für eine gewisse Eigenschaft den Wert $w = 1$, so müsste beim Photon A auch andere Werte stochastisch gemessen werden, nicht aber für C. A und C wären demnach in der gleichen Relation zueinander wie A und B.

Soweit mir bekannt ist, ist diese Konfiguration noch nicht erzeugt. Zwar hat Choa Yang Lu aus China sechs Photonen miteinander verschränkt, sie lagen aber - wie dem Bild zu entnehmen ist, alle in der gleichen Ebene.

