

# Ein Leben für die Quanten

2022 erhielt Anton Zeilinger den Physik-Nobelpreis für seine Forschungen zur Quantenverschränkung zuerkannt, gemeinsam mit seinen Kollegen Alain Aspect und John F. Clauser.

Die drei Forscher haben bahnbrechende Experimente mit verschränkten Quantenzuständen durchgeführt, bei denen sich zwei Teilchen wie eine einzige Einheit verhalten, auch wenn sie getrennt sind. Ihre Ergebnisse haben den Weg für neue Technologien auf der Grundlage von Quanteninformation freigemacht.

## Was ist Quantenverschränkung?

Zwei Teilchen bleiben in einem quantenmechanischen Verschränkungszustand einander auch über astronomische Distanzen hinweg verbunden: Wenn eine Messung an einem der Teilchen durchgeführt wird, wird im selben Moment auch der Zustand des anderen Teilchens festgelegt. Das scheint auf den ersten Blick einen Grundsatz der klassischen Physik – nämlich, dass nichts schneller als Licht reisen kann – zu verletzen.

Um eine Vorstellung davon zu bekommen, was Verschränkung ist, kann man sich zwei Würfel vorstellen. Nach den Regeln der klassischen Physik macht es keinen Unterschied, ob jeder Würfel in einem eigenen Becher gewürfelt wird oder beide in einem gemeinsamen Becher. Die Zustände sind in jedem Moment genau definiert und die beiden Würfel liefern unabhängig voneinander mit der Wahrscheinlichkeit von je einem Sechstel eine Zahl von eins bis sechs.

Ein Quantenwürfel ist etwas komplizierter: Wenn ein solcher Würfel in einem Becher geschüttelt wird, ist sein Zustand nicht genau definiert, bis nachgesehen wird. Davor befindet er sich in einem Überlagerungszustand aus allen möglichen Ergebnissen. Wenn man zwei Becher mit je einem Würfel hat, beeinflussen sich die Ergebnisse auch in der Quantenwelt nicht. Wenn aber beide Würfel in einem Becher geschüttelt werden, kommt es zu einer Verschränkung. Wenn die Würfel danach, ohne ihre Augenzahl abzulesen, getrennt und behutsam voneinander entfernt werden, bleiben sie verschränkt.

Die Würfel bilden durch die Verschränkung ein gemeinsames Quantensystem, egal wie weit sie voneinander entfernt werden, bevor die Augenzahl abgelesen wird. Beide Würfel befinden sich dann in einem gemeinsamen Überlagerungszustand, den man sich als eine bestimmte Gesamtaugenzahl der Würfel vorstellen kann, zum Beispiel 7. Wenn die Augenzahl von Würfel A in Wien überprüft wird und eine Drei vorgefunden wird, wird auch der Zustand von Würfel B in Peking ohne Zeitverzögerung definiert: Es ist eine Vier. Damit nimmt jeder einzelne Würfel wieder einen unabhängig definierten Zustand ein und die Verschränkung endet.

## Die experimentellen Nachweise

Im Jahr 1998 gelang erstmals die Übertragung einer Verschränkung zwischen einem Teilchenpaar auf ein anderes Teilchenpaar. In einem 2003 veröffentlichten Experiment wurden verschränkte Photonen ohne Leitung quer über die Donau gesandt. Ein Jahr später waren dann Teleportations-Experimente außerhalb des Labors erfolgreich, über einen Abwasserkanal wurden Teilchen vom Wiener Prater auf die Donauinsel „gebeamt“. 2005 konnte Zeilinger mit seinem Team erstmals mit Clustern auf vier Photonen das Prinzip der Quantenverschränkung experimentell in die Tat umsetzen. Ein wichtiger Beitrag zur Entwicklung eines Quantencomputers.

## Sichere Kommunikation und Quantencomputer

Verschränkte Photonenpaare können eingesetzt werden, um zwei identische Zufallszahlen für die zwei Empfänger zu erzeugen. Damit lassen sich zum Beispiel unknackbare Schlüsseln für kryptografische Anwendungen erzeugen. Weil jede Messung an einem der Photonen die Verschränkung zerstört, können die Empfänger immer feststellen, wenn eine dritte Partei versucht, den Schlüssel bei der Übertragung auszulesen.

Quantencomputer setzen ebenfalls auf Verschränkung: Ein System aus verschränkten Qubits (Quantenbit = Speichereinheit eines Quantencomputers) kann diese Überlagerung unterschiedlicher Bit-Kombinationen zur Lösung eines schwierigen Problems verwenden. Quantenalgorithmen sollen dadurch in Zukunft auch Probleme, die klassische Computer überfordern – etwa die Primfaktorenzerlegung großer Zahlen – lösen können. ●



DI Claudia Hübsch (WKÖ)

[claudia.huebsch@wko.at](mailto:claudia.huebsch@wko.at)

Quelle: Österr. Akademie der Wissenschaften