

# Warum sich selbst Einstein vor der Quantenwelt gruselte

#MINTspiration  
für den Physik-Unterricht

Ist Ihre Klasse bereit, sich den Kopf verdrehen zu lassen? Dann herzlich willkommen im Reich der kleinsten Teilchen: der Welt der Quanten! Hier funktioniert alles etwas anders. Und das hat sogar Einstein gegruselt.



Physik, ab Klassenstufe 9

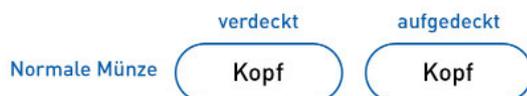


20 Min. (bei Belieben mehr)

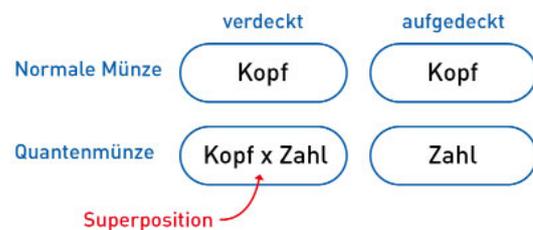


Whiteboard, Marker, Münze

Stellen wir uns eine normale Münze vor, die wir werfen. Auch wenn wir das Ergebnis erst sehen, wenn wir die Münze aufdecken, hat sie schon vorher eindeutig entweder „Kopf“ oder „Zahl“ gezeigt - wir wussten es nur noch nicht.



Jetzt stellen wir uns eine „Quantenmünze“ vor, also eine Münze in der Welt der Quanten. Hier müssen wir ebenfalls nachschauen, um zu wissen, welche Seite oben liegt. Aber der große Unterschied ist: Bis zu diesem Zeitpunkt ist die Quantenmünze noch nicht eindeutig „Kopf“ oder „Zahl“. Sie befindet sich stattdessen in einem Zustand der Superposition, ist also (stark vereinfacht) quasi gleichzeitig „Kopf“ und „Zahl“. Erst wenn wir nachsehen, „entscheidet“ sie sich für eine Seite - durch den Akt des Nachschauens selbst! Verrückt, oder?



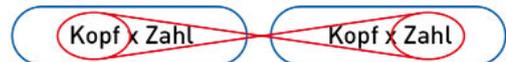
Und es wird noch verrückter! Es gibt nämlich auch „Zwillingsquantenmünzen“: Wenn eine „Kopf“ zeigt, zeigt die andere „Zahl“. Oder andersherum. Und das immer! Das heißt: Wir müssen nach einem Wurf nur eine einzige der beiden Zwillingmünzen anschauen, um sie aus dem Zustand der Superposition zu bringen - und das legt auch sofort den Zustand der anderen fest, selbst wenn sie Lichtjahre entfernt wäre. Einstein nannte das übrigens „spukhafte Fernwirkung“.

Zwillingsquantenmünze 1    Zwillingsquantenmünze 2



Das Geheimnis dahinter ist tatsächlich ziemlich spukig: Die Zwillingmünzen sind nämlich per Quantenverschränkung miteinander verbunden! Das heißt: Man darf die Münzen nicht als einzelne Münzen verstehen, sondern als zwei eng miteinander verbundene Teile derselben Sache - wie zwei Seiten derselben Medaille. Oder eben der gleichen Münze. Spukig ist es trotzdem.

Zwillingsquantenmünze 1    Zwillingsquantenmünze 2



### Warum sollen Quantencomputer also angeblich so bahnbrechend sein?!

Normale Computer arbeiten mit Bits, die entweder den Wert 0 oder 1 haben. Ein Quantencomputer nutzt hingegen Qubits, die - wie die „Quantenmünzen“ - quasi gleichzeitig 0 und 1 sein können. Dadurch lassen sich viele Rechenwege parallel durchlaufen, anstatt sie nacheinander abzuarbeiten. Noch leistungsfähiger werden Quantencomputer durch verschränkte Qubits, bei denen der Zustand eines Qubits direkt mit dem des anderen verknüpft ist (wie bei den „Zwillingmünzen“). Dadurch können die Qubits blitzschnell miteinander „kommunizieren“, ohne dass erst klassisch Daten übertragen werden müssen. Das macht Quantencomputer bei bestimmten, besonders komplexen Berechnungen enorm schnell und effizient.

### Und Quantenkryptographie?

Bisherige Verschlüsselungstechniken können theoretisch geknackt werden, wenn genügend Rechenpower zur Verfügung steht. Quantenkryptographie hingegen nutzt die Gesetze der Quantenphysik statt reine Mathematik - und das bedeutet absolute Abhörsicherheit: Verschränkte Teilchenpaare werden verwendet, um geheime Schlüssel auszutauschen. Versucht jemand jedoch, eines dieser Teilchen heimlich auszuspionieren, fällt das auf! Denn in der Quantenwelt ist es nicht möglich, ein „Zwillingsteilchen“ zu beobachten, ohne das andere zu verändern. Diese Änderungen tauchen als Fehler in der Übertragung zwischen Sender/-in und Empfänger/-in auf. Sie werden also gewarnt, dass der Schlüssel abgehört wurde - und können ihn einfach verwerfen. Es ist ja schließlich nur ein Schlüssel - die geheime Information selbst ist noch immer sicher.

### So geht's:

- 1 Fordern Sie Ihre Klasse zu einem lockeren Spiel aus „Kopf oder Zahl?“ heraus: Sie werfen eine Münze, verdecken sie mit der hohlen Hand und schauen dann nach, welche Seite oben liegt. Was genau bestimmt, ob die Münze „Kopf“ oder „Zahl“ zeigt? Sammeln Sie die Vermutungen Ihrer Klasse – und laden Sie sie dann in die „Quantenwelt“ ein, in der alles anders ist.
- 2 Nutzen Sie die Analogie des Münzwurfs, um den Schüler/-innen komplexe Konzepte wie Superposition und Quantenverschränkung zu erklären (Slide 3 bis 6) – natürlich in stark vereinfachter Form. Vielleicht findet ihre Klasse die Sache ja genauso spukig wie Einstein!
- 3 Fragen Sie Ihre Schüler/-innen dann, was das alles wohl mit dem Hype um Quantencomputer und Quantenkryptographie zu tun haben soll: Quantencomputer sollen ja angeblich wahnsinnig leistungsstark sein! Und Quantenkryptographie absolut abhörsicher! Vielleicht hat Ihre Klasse ja Vermutungen? Helfen Sie ihr ansonsten auf die (Quanten-)Sprünge (Slide 7 und 8)!