Was ist ein Qubit?

QUANTENTECHNOLOGIE · QUANTENCOMPUTER

Werfen Sie eine Münze hoch. Solange sie sich in der Luft dreht, ist sie weder Kopf noch Zahl, könnte man meinen, sondern irgendwie beides. Mit diesem Bild wird das Qubit oft erklärt, und es ist ein guter Anfang. Leider ist es auch an einer entscheidenden Stelle falsch. Die Münze ist in Wahrheit in jedem Moment entweder auf der einen oder auf der anderen Seite, wir wissen es nur nicht. Bei einem Qubit gibt es diese verborgene Antwort nicht.

Was ein Qubit stattdessen ist, warum es mehr kann als ein Bit und warum es trotzdem kein Zauberwerkzeug ist, das erklären wir hier ohne höhere Mathematik. Wer die Gleichungen sehen möchte, findet eine in der Mitte des Textes.

Ein Bit, aber anders

Ein gewöhnliches Bit im Computer ist ein Schalter mit zwei Stellungen, 0 oder 1. Physikalisch kann das eine Spannung sein, die hoch oder niedrig ist, oder eine winzige Magnetisierung, die nach oben oder nach unten zeigt. Ein Qubit hat ebenfalls zwei Grundzustände, die man |0⟩ und |1⟩ schreibt. Das kann zum Beispiel ein Elektron sein, dessen Spin nach oben oder nach unten zeigt, oder ein Atom im Grundzustand oder in einem angeregten Zustand.

Der Unterschied: Ein Qubit kann sich auch in einer Überlagerung beider Zustände befinden. Mathematisch beschreibt man das so:

$$\left|\psi\right\rangle = \alpha \left|\, 0 \right\rangle + \beta \left|\, 1 \right\rangle, \quad |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1 \tag{1}$$

Die Zahlen α und β heißen Amplituden. Sie bestimmen, mit welcher Wahrscheinlichkeit man bei einer Messung 0 oder 1 erhält, nämlich |α|² und |β|² [4]. Das Besondere ist, dass α und β keine gewöhnlichen Wahrscheinlichkeiten sind. Sie sind komplexe Zahlen und tragen eine Phase, so wie eine Welle einen Wellenberg oder ein Wellental haben kann. Und Wellen können sich verstärken oder auslöschen. Genau das nutzt ein Quantencomputer: Er lässt die Amplituden falscher Antworten sich gegenseitig auslöschen und die der richtigen sich verstärken.

Die Kugel, auf der alles liegt

Physiker stellen die möglichen Zustände eines Qubits gern auf einer Kugel dar, die nach dem Physiker Felix Bloch benannt ist (Abb. 1). Der Nordpol ist |0⟩, der Südpol |1⟩. Jeder andere Punkt auf der Oberfläche ist eine Überlagerung. Wie weit der Punkt nach Süden geneigt ist, legt die Wahrscheinlichkeiten fest. Wo er auf seinem Breitenkreis liegt, also wie weit er um die Achse gedreht ist, das ist die Phase. Ein Bit kennt nur die beiden Pole. Ein Qubit kann überall auf der Kugel sein.

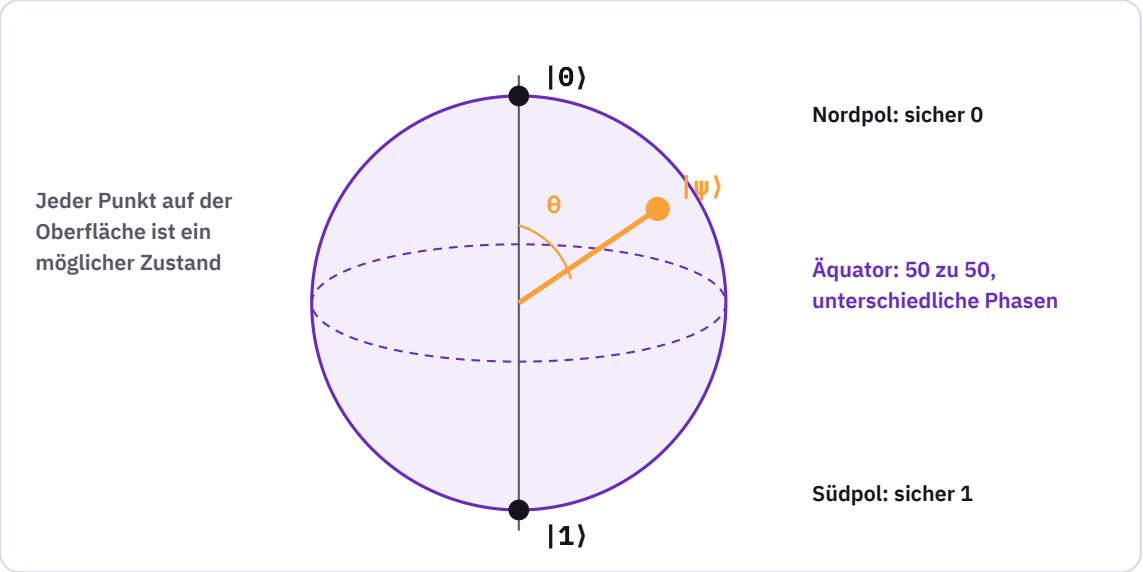


Abb. 1: Die Blochkugel. Der Winkel θ bestimmt die Wahrscheinlichkeiten, die Drehung um die senkrechte Achse die Phase. Eigene Darstellung nach [5].

Rechnen heißt beim Qubit, diesen Pfeil zu drehen, mit Laserpulsen, Mikrowellen oder Magnetfeldern, je nach Bauart. Solche Drehungen heißen Quantengatter. Sie sind das Gegenstück zu den logischen Schaltungen UND, ODER und NICHT im klassischen Computer.

Was beim Messen passiert

Hier liegt der Haken, der in vielen Erklärungen untergeht. Man kann den Pfeil auf der Blochkugel nie direkt ablesen. Misst man ein Qubit, bekommt man immer nur 0 oder 1, und danach ist das Qubit genau in diesem Zustand. Die Überlagerung ist weg. Aus einer einzigen Messung lässt sich nicht einmal erschließen, wie die Wahrscheinlichkeiten vorher verteilt waren.

Daraus folgt eine Grenze, die man kennen sollte, bevor man den Werbeversprechen glaubt. Ein Qubit kann zwar unendlich viele Zustände annehmen, aber man kann aus ihm nicht mehr als ein Bit Information herauslesen [5]. Das Qubit ist also kein Speicher mit unendlicher Kapazität. Seine Stärke liegt woanders, nämlich darin, wie sich mehrere Qubits gemeinsam verhalten.

Zwei Qubits und mehr

Bei zwei Bits gibt es vier mögliche Belegungen: 00, 01, 10 und 11. Zwei klassische Bits sind immer in genau einer davon. Zwei Qubits dagegen werden durch vier Amplituden beschrieben, eine für jede Belegung. Bei drei Qubits sind es acht, bei zehn schon 1024, und bei 300 Qubits wären es mehr Zahlen, als es Atome im beobachtbaren Universum gibt. Jedes zusätzliche Qubit verdoppelt den Zustandsraum.

Hinzu kommt die Verschränkung. Zwei Qubits können so miteinander verknüpft sein, dass keines für sich allein einen bestimmten Zustand hat, wohl aber das Paar als Ganzes. Misst man das eine, steht fest, was man am anderen messen wird, egal wie weit sie voneinander entfernt sind. Für klassische Bits gibt es nichts Vergleichbares.

Oft liest man, ein Quantencomputer rechne deshalb „alle Möglichkeiten gleichzeitig“ durch. Das ist irreführend. Am Ende jeder Rechnung steht eine Messung, und die liefert nur ein einziges Ergebnis. Ein Quantenalgorithmus muss deshalb so geschickt gebaut sein, dass sich die Amplituden der falschen Ergebnisse vorher auslöschen. Das gelingt nur für bestimmte Probleme, etwa das Zerlegen großer Zahlen in Primfaktoren oder die Simulation von Molekülen. Für die allermeisten Alltagsaufgaben ist ein klassischer Computer schneller und billiger.

Woraus man Qubits baut

Ein Qubit ist kein Bauteil, das man im Elektronikhandel kauft, sondern eine Rolle, die verschiedene Quantensysteme spielen können. Der Physiker David DiVincenzo hat im Jahr 2000 aufgeschrieben, was ein brauchbares Qubit können muss: Man muss es zuverlässig in einen Anfangszustand bringen, gezielt drehen, mit anderen Qubits verknüpfen und am Ende auslesen können, und es muss lange genug stabil bleiben [6]. Das Problem ist der letzte Punkt. Jede Störung aus der Umgebung, ein Wärmeteilchen, ein Streufeld, ein Photon, verwischt die Phase und macht aus der Überlagerung ein gewöhnliches Zufallsergebnis.

Welche Bauart am besten ist, ist offen. Die Tabelle zeigt drei aktuelle Ergebnisse, an denen man sieht, wo die jeweiligen Stärken liegen.

Bauart	Ein aktuelles Ergebnis
Neutrale Atome in Laserfallen	Caltech 2025: 6100 Atome in einem Feld, Überlagerungen hielten rund 13 Sekunden [1]
Gefangene Ionen	IonQ meldete im Oktober 2025 Zwei-Qubit-Gatter mit über 99,99 Prozent Genauigkeit, nach Firmenangaben [2]

Bauart	Ein aktuelles Ergebnis
Supraleitende Schaltkreise	Google zeigte 2024 mit 105 Qubits, dass ein fehlerkorrigiertes Qubit stabiler wird, je mehr physikalische Qubits man dafür einsetzt [3]

Stand Oktober 2026. Die Werte messen Unterschiedliches (Anzahl, Stabilität, Genauigkeit) und sind deshalb nicht direkt vergleichbar.

Das Ergebnis von Google zeigt, wohin die Reise geht. Weil einzelne Qubits nie perfekt sind, fasst man viele von ihnen zu einem logischen Qubit zusammen, das Fehler selbst erkennen und korrigieren kann. Ein Quantencomputer, der wirklich nützliche Aufgaben löst, wird nach heutigem Stand Tausende bis Millionen physikalische Qubits brauchen, um damit einige Hundert oder Tausend logische zu bilden. Wer in Deutschland an solchen Rechnern baut, zeigt unser Überblick Quantencomputer in Deutschland.

Woher das Wort kommt

Das Wort „Qubit“ ist jünger, als man denkt. Es stammt von dem amerikanischen Physiker Benjamin Schumacher. Er habe es, schrieb er selbst, im Scherz während eines Gesprächs mit seinem Kollegen William Wootters erfunden. Gedruckt erschien es zum ersten Mal 1995 in seiner Arbeit „Quantum coding“ [7],[8]. Inzwischen kommt kaum ein Bericht über Quantencomputer ohne es aus. Was es bedeutet, wissen Sie jetzt: kein Bit, das gleichzeitig 0 und 1 ist, sondern ein Quantenzustand, mit dem man auf eine ganz eigene Weise rechnen kann.

Zum Weiterlesen

Quantum Computing verstehen

Matthias Homeister · Springer Vieweg, 2022 · ISBN 978-3-658-36433-5

Erklärt Qubits, Gatter und Algorithmen mit Schulmathematik, Schritt für Schritt und mit Übungen. Der beste deutschsprachige Einstieg.

Bei Amazon ansehen*

Quantum Computation and Quantum Information

Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang · Cambridge University Press, 2010 (englisch) · ISBN 978-1-107-00217-3

Das Standardlehrbuch, aus dem auch die Blochkugel-Darstellung in diesem Artikel stammt. Für alle, die es genau wissen wollen.

Bei Amazon ansehen*

* Werbelink: Kaufen Sie über diesen Link, erhalten wir von Amazon eine kleine Provision, am Preis ändert sich für Sie nichts. Mehr Empfehlungen auf unserer Seite Bücher zur Quantenphysik.

Quellen

1. H. J. Manetsch u. a.: *A tweezer array with 6,100 highly coherent atomic qubits.* In: Nature 647 (2025), S. 60–67, doi:10.1038/s41586-025-09641-4. Dazu: Quantum Computing Report, *Caltech Team Sets Record with 6,100-Qubit Neutral Atom Array*, 27. September 2025, quantumcomputingreport.com.
2. The Quantum Insider: *IonQ Achieves 99.99% Two-Qubit Gate Performance.* 21. Oktober 2025. thequantuminsider.com.
3. Google Quantum AI and Collaborators: *Quantum error correction below the surface code threshold.* In: Nature 638 (2025), S. 920–926, doi:10.1038/s41586-024-08449-y.
4. M. Born: *Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge.* In: Zeitschrift für Physik 37 (1926), S. 863–867, doi:10.1007/BF01397477.
5. M. A. Nielsen, I. L. Chuang: *Quantum Computation and Quantum Information.* 10th Anniversary Edition. Cambridge University Press, Cambridge 2010.
6. D. P. DiVincenzo: *The Physical Implementation of Quantum Computation.* In: Fortschritte der Physik 48 (2000), S. 771–783, doi:10.1002/1521-3978(200009)48:9/11<771::AID-PROP771>3.0.CO;2-E.
7. B. Schumacher: *Quantum coding.* In: Physical Review A 51 (1995), S. 2738–2747, doi:10.1103/PhysRevA.51.2738.
8. J. Preskill: *Who named the qubit?* Quantum Frontiers, Caltech, 9. Juni 2015. quantumfrontiers.com.

Zitiervorschlag

```
quanten.de: Was ist ein Qubit?. Stand: Oktober 2026. URL:
https://quanten.de/qubit.html (PDF:
https://quanten.de/pdf/qubit.pdf)
```

Texte und Abbildungen © 2026 quanten.de. Nutzung mit Quellenangabe und Link gern, kommerzielle Nutzung nach Absprache: info@quanten.de

Weiterlesen: Quantencomputer · Supraleitende Qubits · Quantenverschränkung · Was ist Spin?

Online-Fassung mit aktualisierten Quellen: https://quanten.de/qubit.html