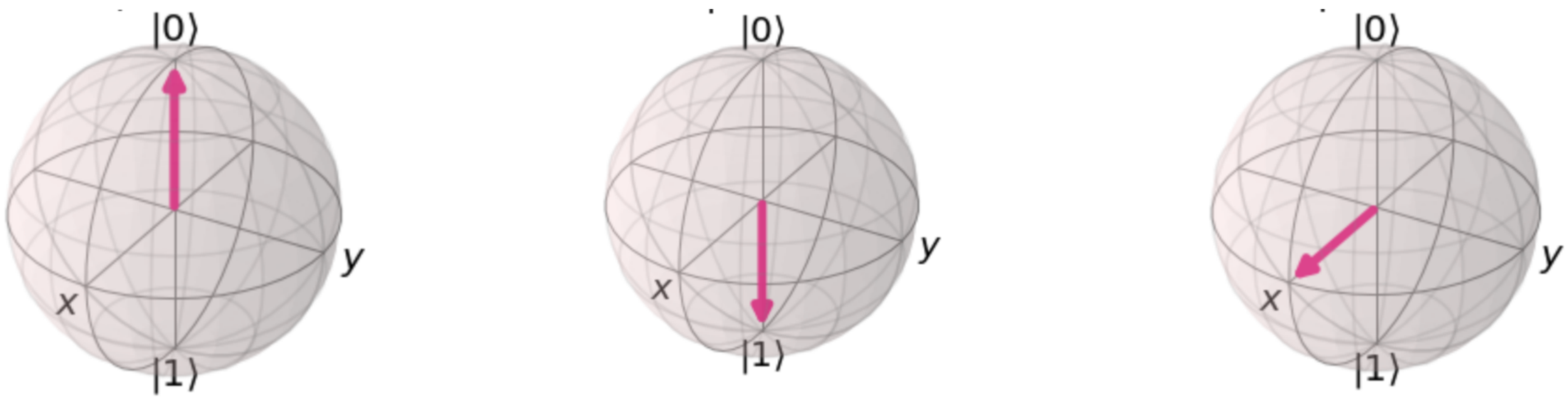
Quantum Computing Workshop



Prof. Dr. Sören Schlichting
Fakultät für Physik | Universität Bielefeld
sschlichting@physik.uni-bielefeld.de

UNIVERSITÄT BIELEFELD

50 Jahre Fakultät für Physik

CRC-TR 211
Strong-interaction matter under extreme conditions

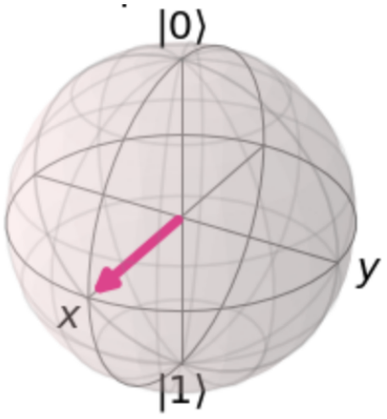
Quantencomputer & Quantenmechanik

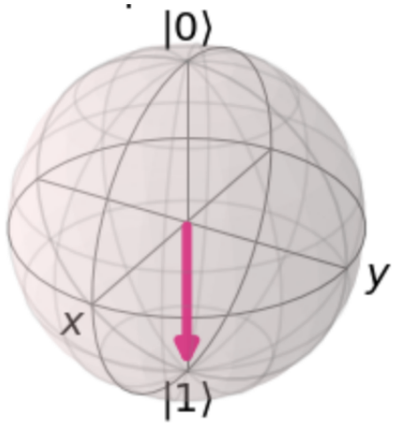
Ein Quantencomputer ist nicht einfach eine Weiterentwicklung eines klassischen Computers sondern ein neuartiges Konzept, das auf den Prinzipien der Quantenmechanik beruht

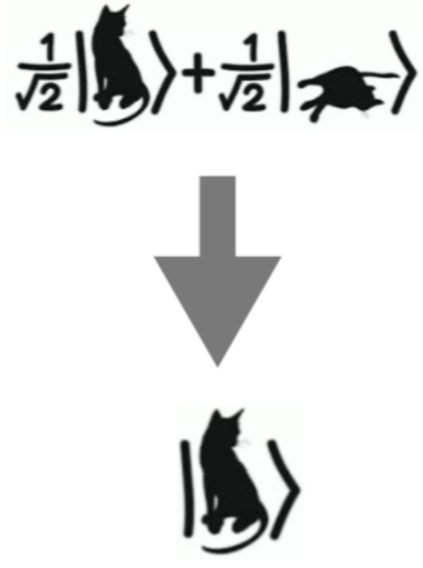
Bei diesem Workshop lernen wir einige
Grundlagen der Quantenmechanik

- Quantenzustand
- quantenmechanische Messung
- Verschränkung
- Interferenz

anhand von Quantencomputern
kennen und probieren diese selbst aus







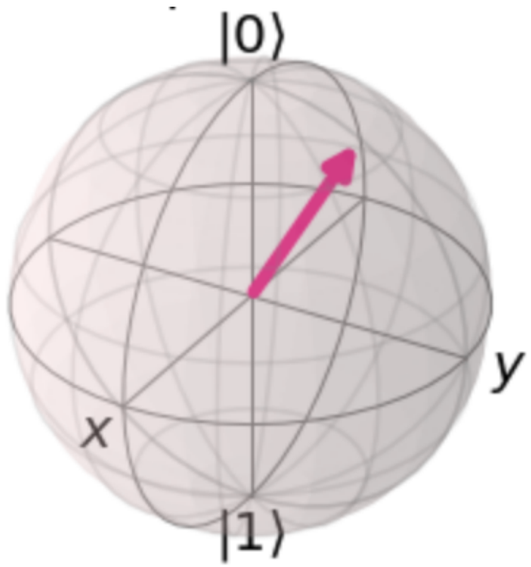
Klassiche- & QuantenInformation

Die Information in klassischen Computern ist gespeichert in sog. klassischen Bits, welche die binären Werte 0 oder 1 annehmen können

Die Information in Quantencomputern werden in sog. Qubits ("Quantenbits") gespeichert, die den quantenmechanischen Zustand eines 2-Level Systems annehmen können

1	1	0	0	1	0

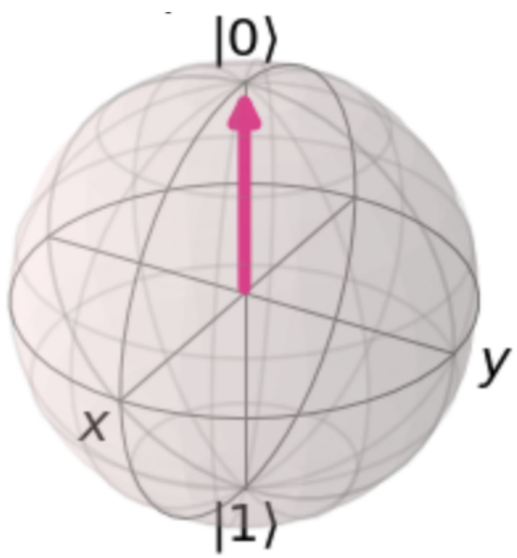
= 50

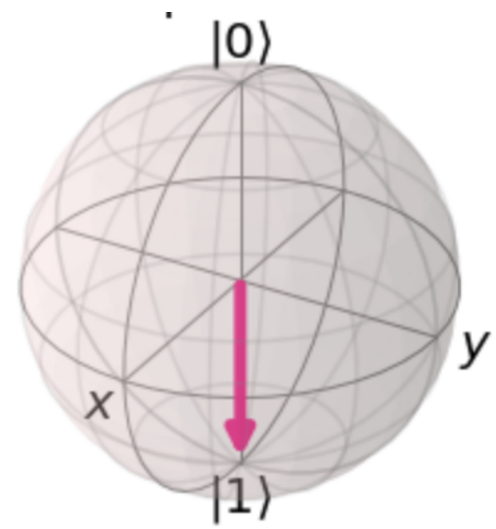


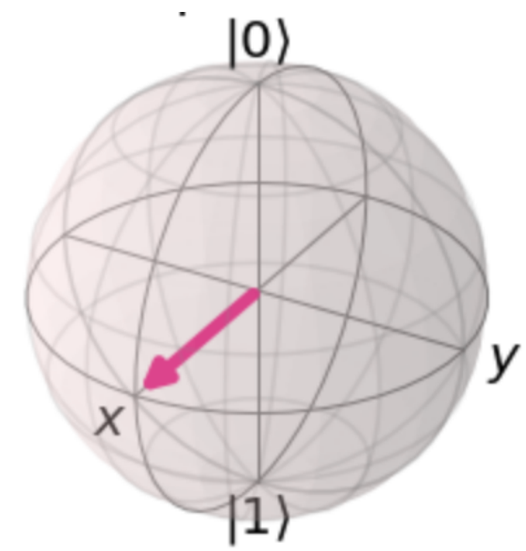
Neben den Zuständen |0> und |1> können Qubits beliebige Kombinationen ("Superposition") dieser beiden Zustände annehmen, d.h. das Qubit kann gleichzeitig im Zustand |0> und |1> sein

Qubit

Eine Möglichkeit die Zustände eines Qubits darzustellen ist die sog. Bloch-Sphere, die Quantenzustände eines Spins beschreibt



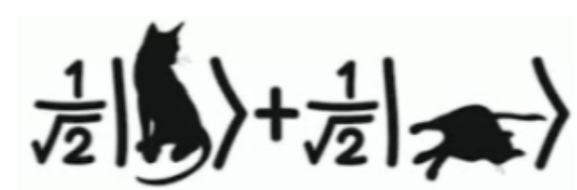




Zustand |0>

Zustand |1>

Superposition von Zuständen |0> und |1>



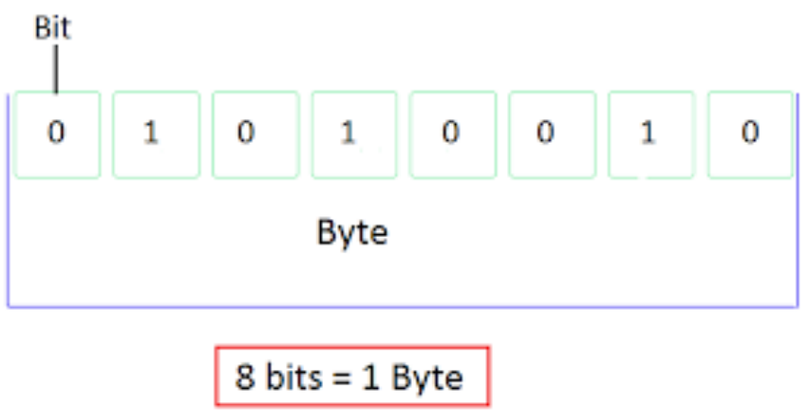
Qubit vs. klassiches Bit

Da ein Qubit nicht nur |0> oder |1> sein kann, kann es mehr Informationen speichern als ein klassisches Bit

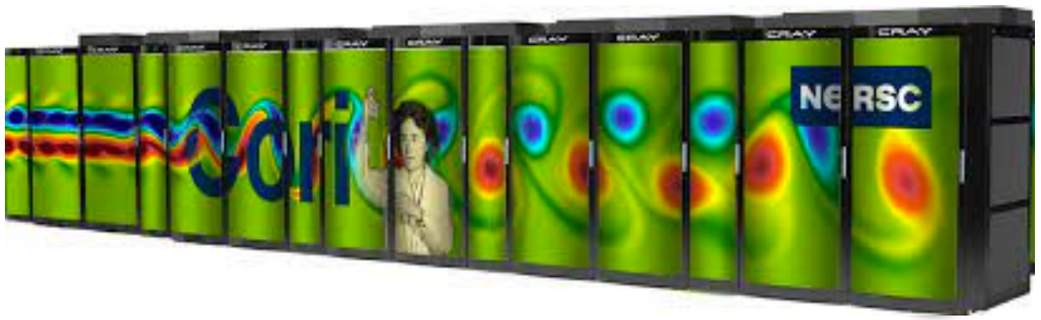
Es ist zwar klassisch möglich ein Qubit (mit gewisser Präzision) darzustellen, allerdings sind dafür wesentlich mehr klassische Bits notwendig

$$N_{\text{bits}} = 2^{N_{\text{qubits}}} \times 2 \times 64$$

1 Qubit	32 B
10 Qubit	16 kB
50 Qubits	18.014 TB
…	



Bis zu ~50 Qubits können auf den besten klassischen Großrechnern simuliert werden

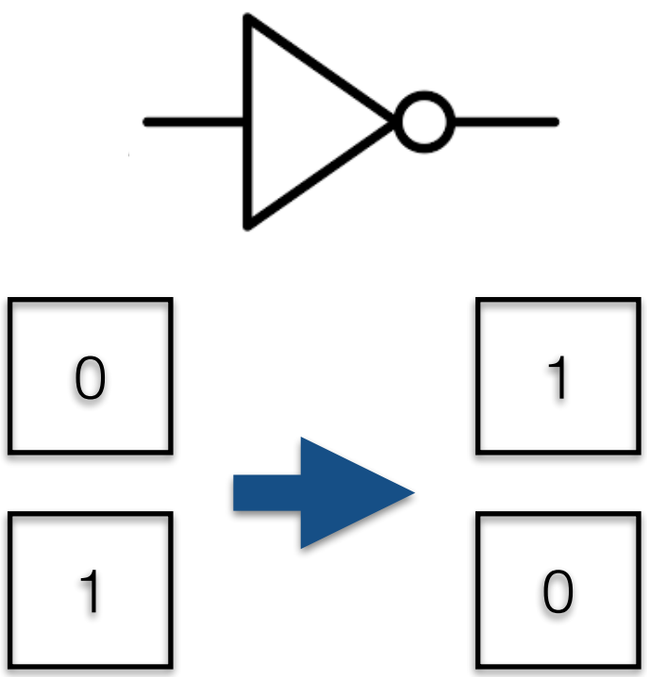


Klassiche- und QuantenGates

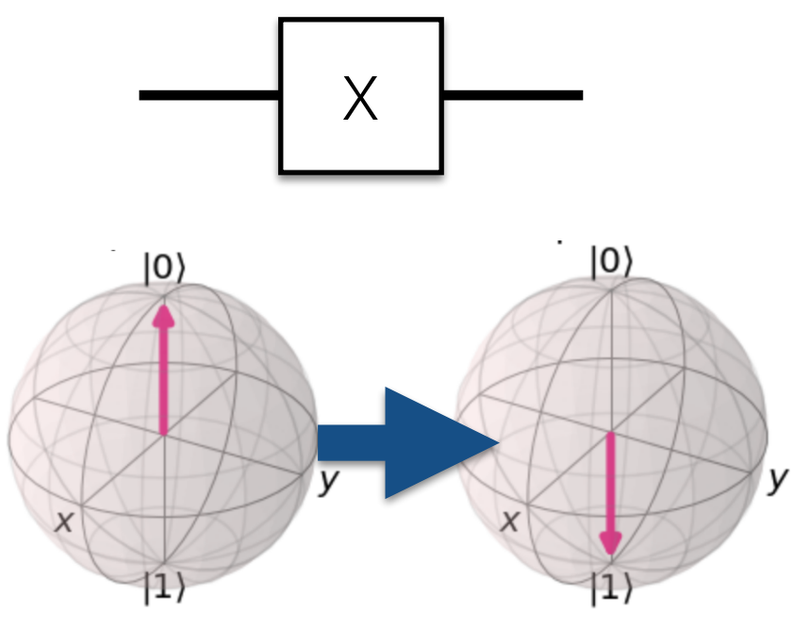
Diese Informationen sind natürlich nur dann nützlich wenn man sie manipulieren, also etwas mit Ihnen machen kann.

Beim klassischen Computer macht man das mit logischen Gates, beim Quantencomputer mit Quantengates

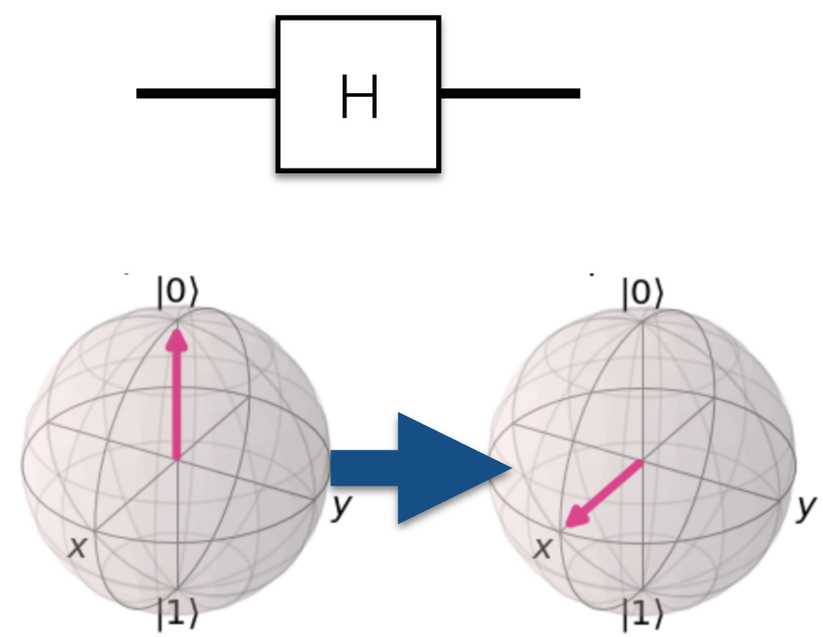
NOT Gate



X-Gate



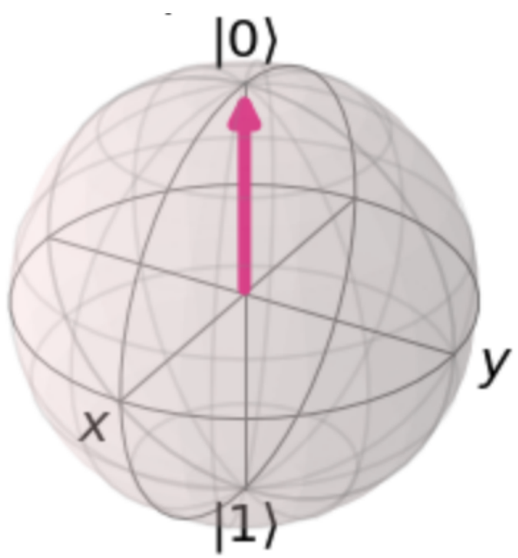
H-Gate

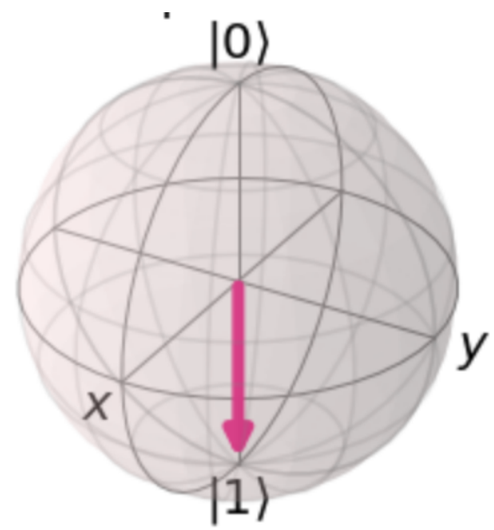


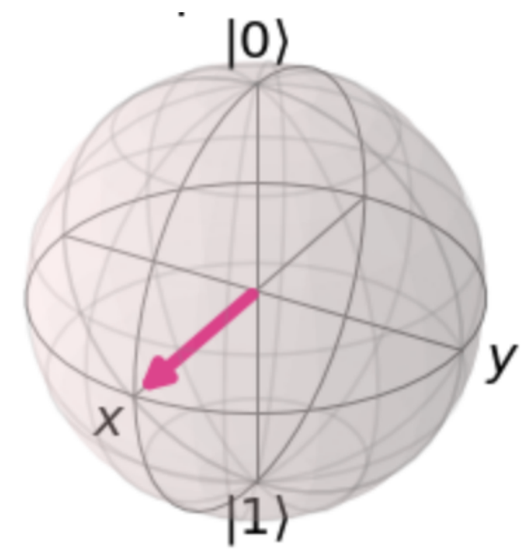
Messung

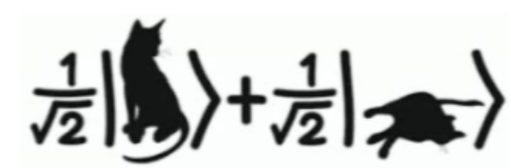
Wenn wir den Zustand eines Qubits messen, kann jede einzelne Messung immer nur 0 oder 1 ergeben.

D.h. bei jeder Messung muss sich das Qubit für einen der beiden Zustände |0> oder |1> entscheiden









Die Wahrscheinlichkeit ergibt sich durch das Betragsquadrat der Amplitude

0 zu 100%

1 zu 100%

0 zu 50%
1 zu 50%

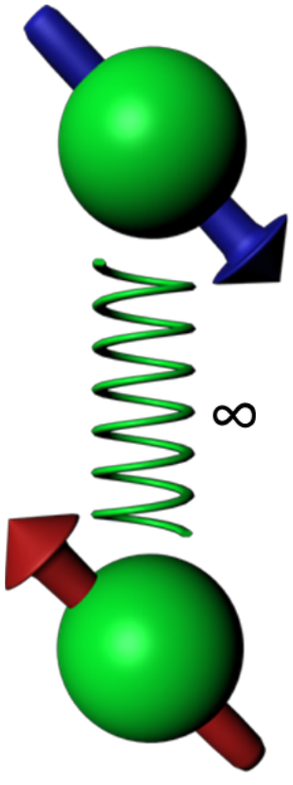
Entanglement/Verschränkung

Wenn wir Systeme von mehreren Qubits betrachten, ist es möglich dass zwei oder mehrere Qubits miteinander verschränkt sind.

Das bedeutet insbesondere, dass man zB Zustände herstellen kann, bei denen die Einzelzustände von zwei Qubits immer gleich sind.

$$\frac{1}{\sqrt{2}}|00> + \frac{1}{\sqrt{2}}|11>$$

Dies führt dazu dass sich durch eine Messung des ersten Qubits, der Zustand des zweiten Qubits ändert, und in diesem Beispiel mit Sicherheit feststeht.



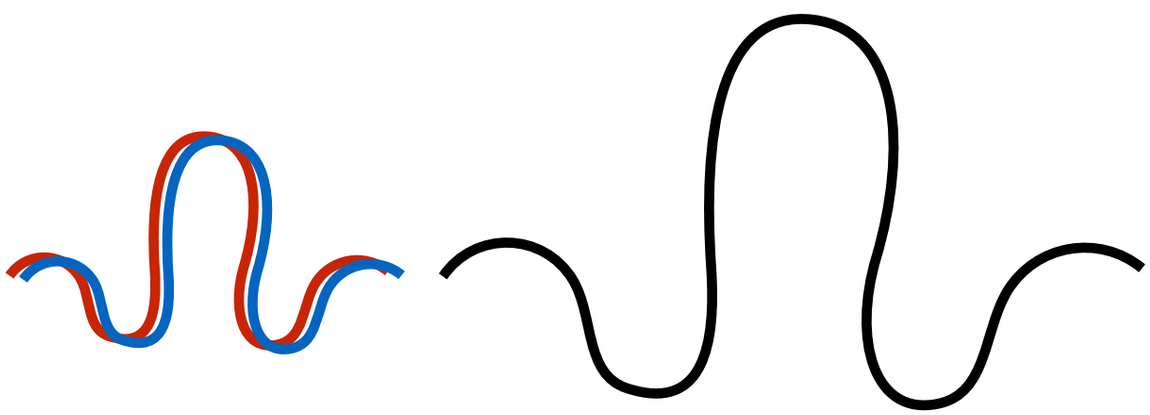
Diese Art der Verschränkung hat vielfältige Anwendungen zB in der Quantenkryptographie oder Quantenteleportation, aber keine klassische Analogie.

Interferenz

Ein wichtiges Konzept bei dem Design von Quantenalgorithmen, ist das man in der Quantenmechanik nicht mit Wahrscheinlichkeiten sondern mit Amplituden rechnet

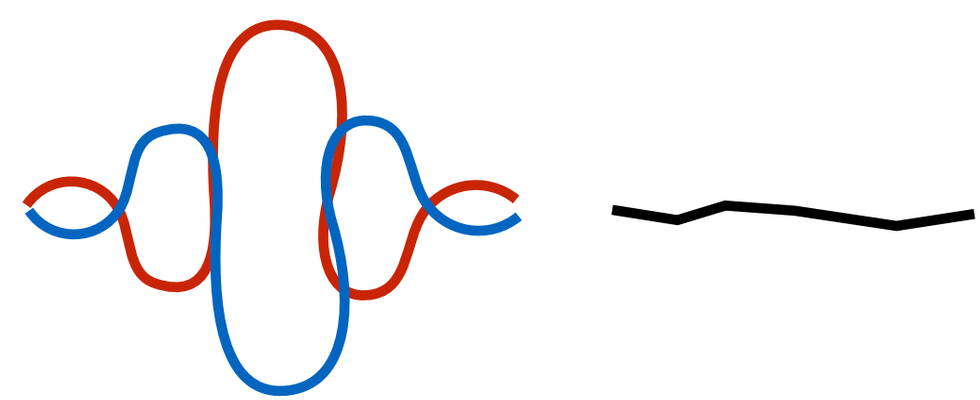
Während Wahrscheinlichkeiten immer positiv sind, können Amplituden zB auch negativ sein. Dies spiegelt den “Wellencharakter” der Quantenmechanik wieder, wodurch das Phänomen der Interferenz entstehen kann

konstruktive Interferenz



= aufschaukeln von Wellen

destruktive Interferenz



= Auslöschung von Wellen

Dieses Phänomen wird zB beim Grover Algorithmus ausgenutzt um aus vielen Quantenzuständen den richtigen zu identifizieren.

Perspektiven

Quantum Computing ist eine interessante Technologie mit vielfältigen Anwendungen in Wissenschaft und Technik.

Die theoretischen Stärken eines Quantencomputers sind zugleich auch seine Schwächen bei der praktischen Entwicklung von Quantencomputern, da eine hinreichend große Anzahl von hochsensiblen Qubits miteinander verbunden, und für eine hinreichend lange Dauer genügend gut von der Umgebung isoliert werden muss.

Der derzeitige Entwicklungsstand erlaubt es auf absehbare Zeit (noch?) nicht relevante Probleme auf einem Quantencomputer zu lösen.

Dennoch ist dies ein sehr aktives Forschungsgebiet, mit vielfältigen Möglichkeiten sowohl im Bereich der Hardwareentwicklung als auch im Bereich der Entwicklung von Quantenalgorithmen.

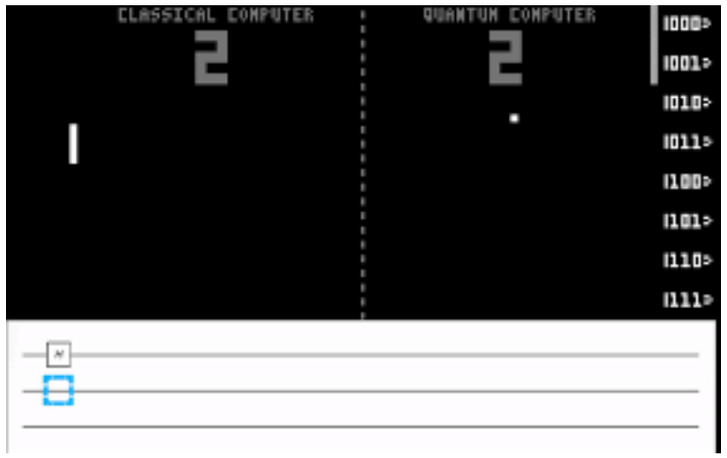
Weitere Ressourcen

IBM Quanten Computing Lab

https://quantum-computing.ibm.com/lab

QPong

https://github.com/HuangJunye/QPong



Quantum TiqTaqToe

https://tueftelakademie.de/quanten1x1/quantenundich/quanten-tiqtaqtoe/