

QU:EXPLAINED



Ziad Chaoui - TU Berlin

Inhalt

1.Motivation

2.Klassische Computer vs Quantencomputer

3.Quantenphysik

- Superposition

- Verschränkung

4.IBM Quantum Composer

5.Quantum Flytrap

Technologie der Zukunft

Handelsblatt

MEINE NEWS | HOME POLITIK UNTERNEHMEN TECHNOLOGIE FINANZEN MOBILITÄT KARRIERE ARTS & STYLE MEINUNG VIDEO SERVICE

Digitale Revolution IT + Telekommunikation Gadgets Forschung + Innovation Medizin + Gesundheit

Handelsblatt > Technologie > IT + Telekommunikation > BASF, BMW, VW & Co.: Deutsche Konzerne schließen Quanten-Allianz Suchbegriff, WKN, ISIN

ZUKUNFTSTECHNOLOGIE

BASF, Siemens, VW: Zehn deutsche Konzerne schließen Quanten-Allianz

Die Industrie will gemeinsam Anwendungen für das vielversprechende Quantencomputing entwickeln. Die Idee kam von der Kanzlerin – zahlreiche Dax-Konzerne sind dabei.

ZEIT ONLINE

Suche

Politik Gesellschaft Wirtschaft Kultur Wissen Gesundheit Digital Campus Green Arbeit Sport ZEITmagazin mehr Z+

Technologie

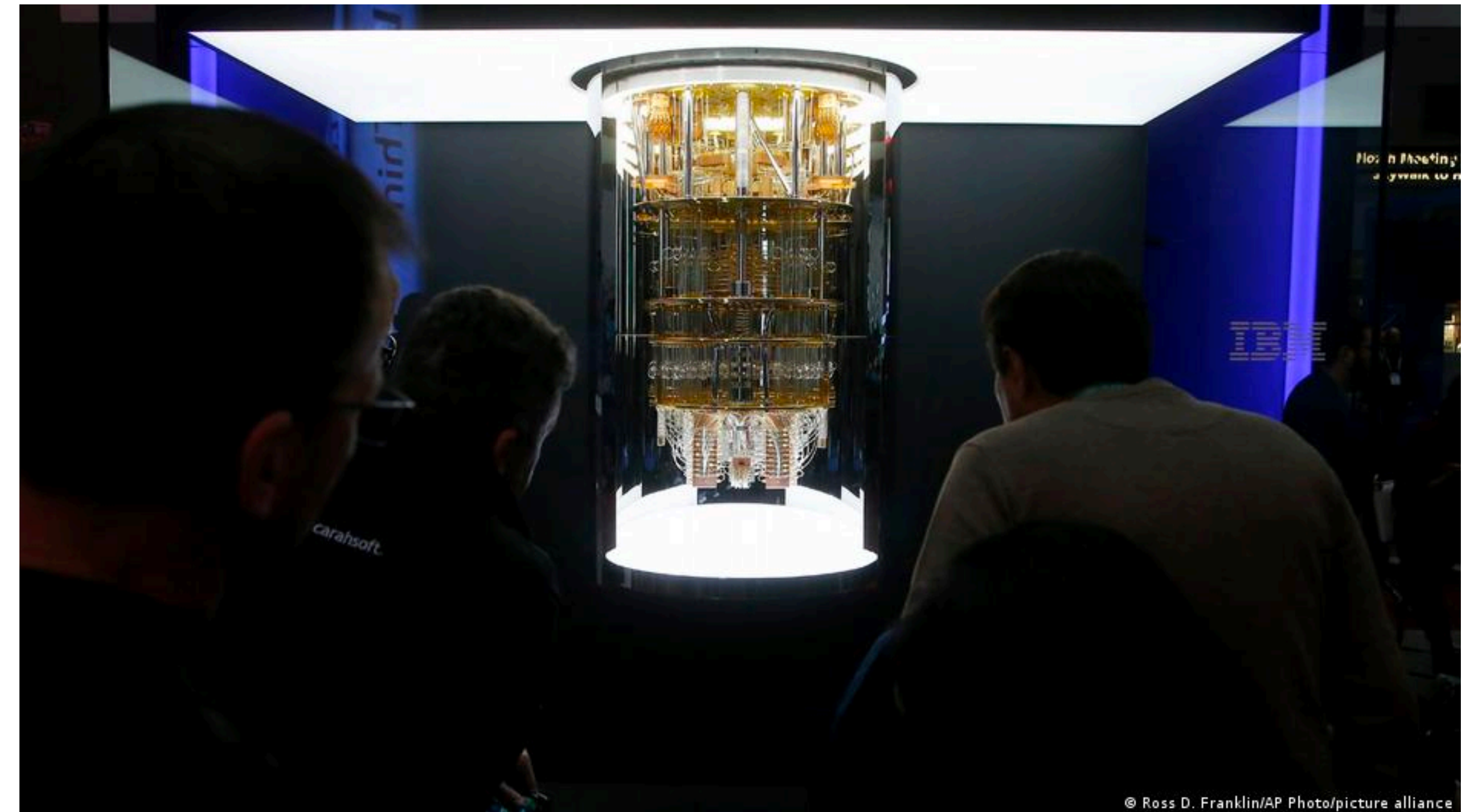
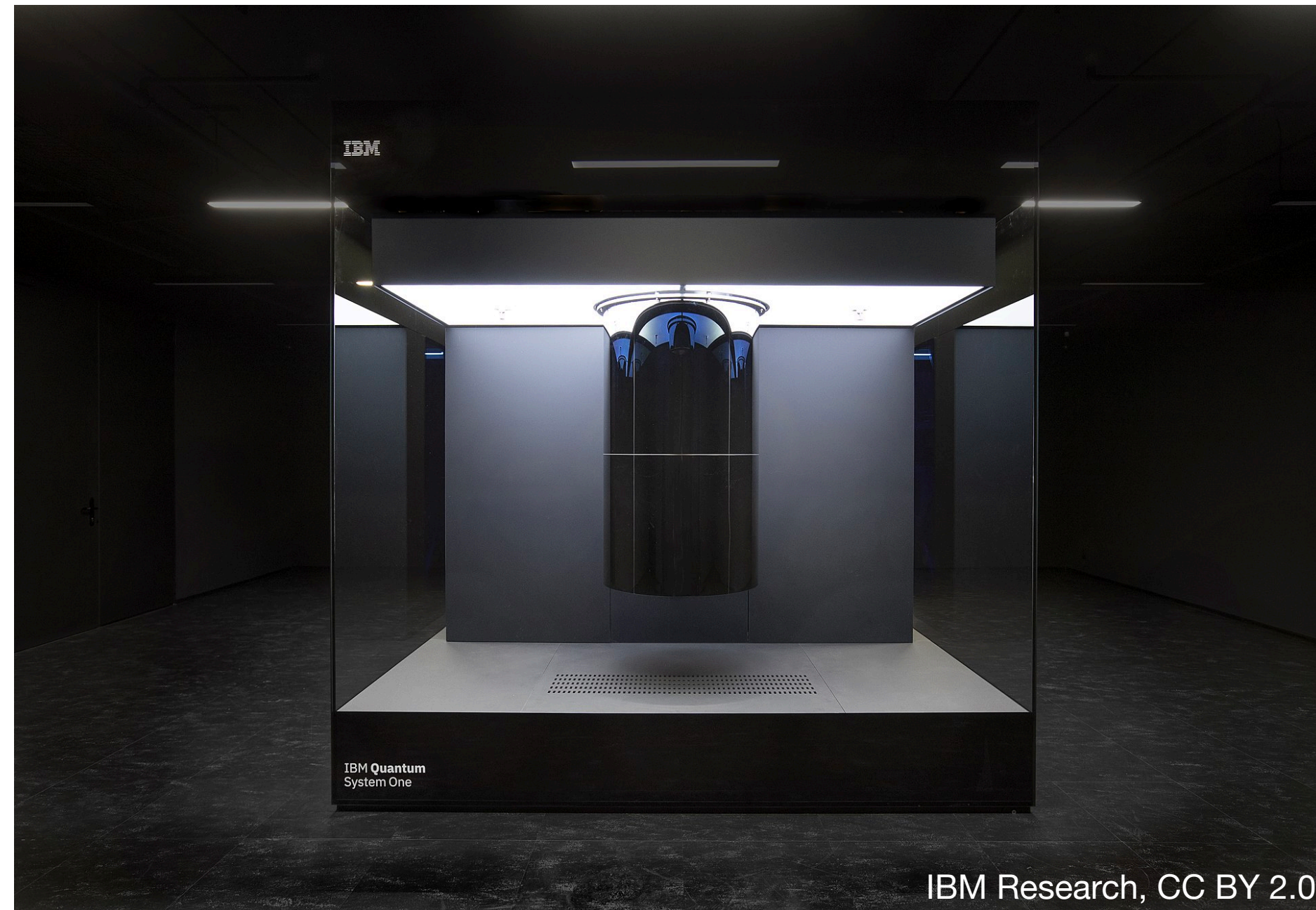
Bund investiert zwei Milliarden Euro für Quantencomputer

Innerhalb von fünf Jahren soll in Deutschland ein Quantencomputer entstehen. Mithilfe von Qubits erzielt die Technologie weit höhere Leistungen als herkömmliche Rechner.

11. Mai 2021, 11:29 Uhr / Quelle: ZEIT ONLINE, dpa, kzi



Quantencomputer



Anwendungen

Kryptographie

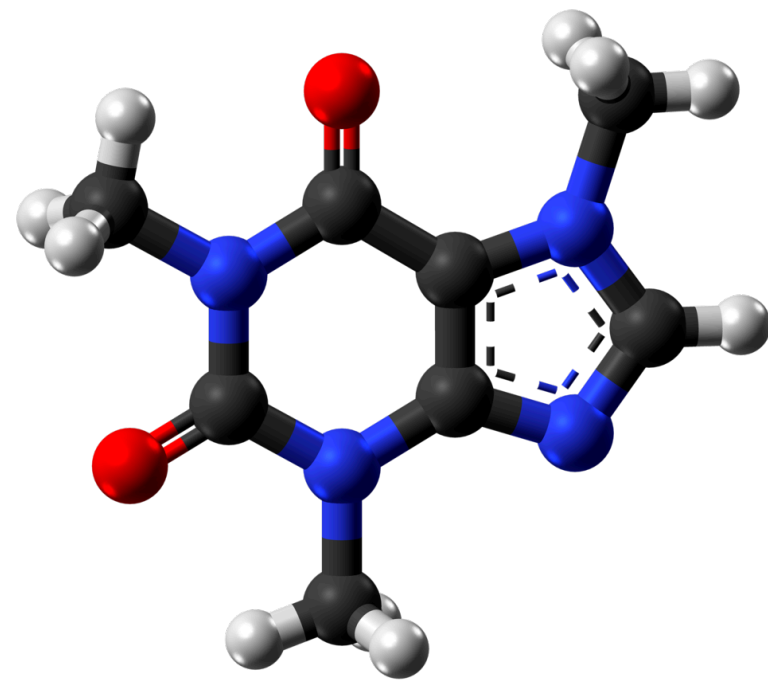


Datenbanksuche

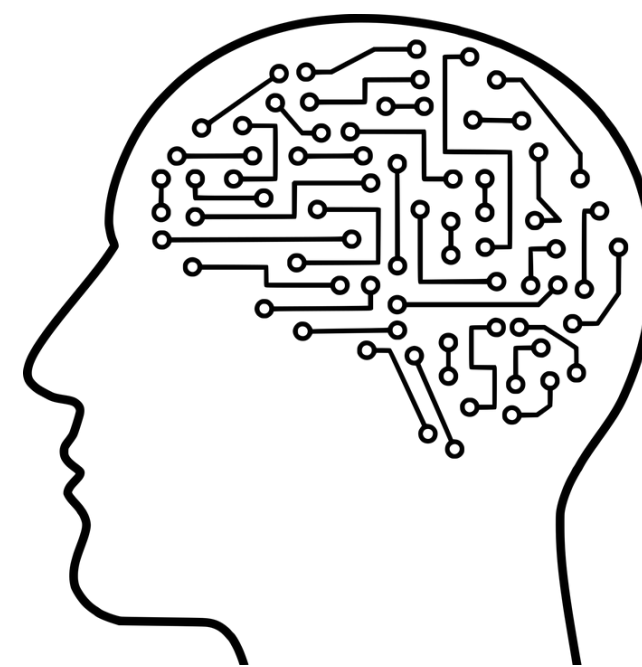


sevgenjory, CC BY

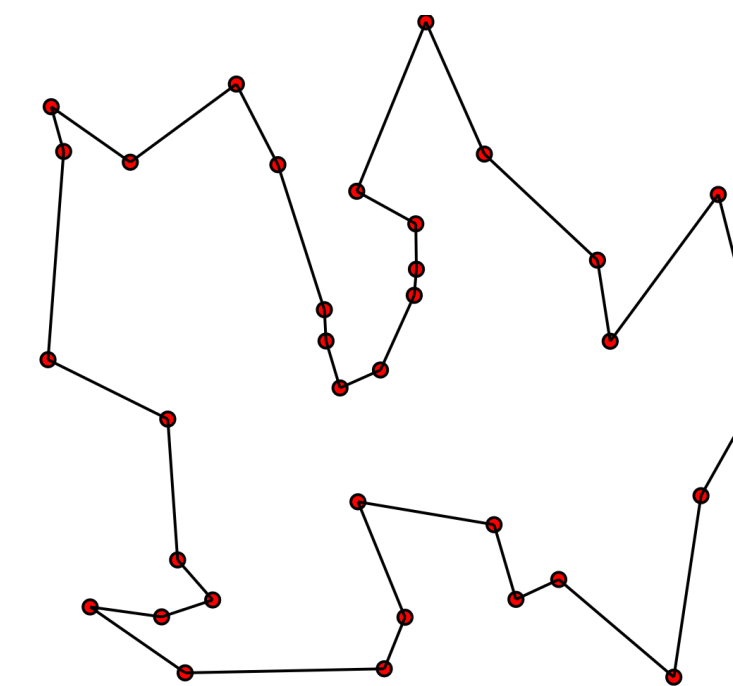
Chemie



Machine Learning



Optimierung



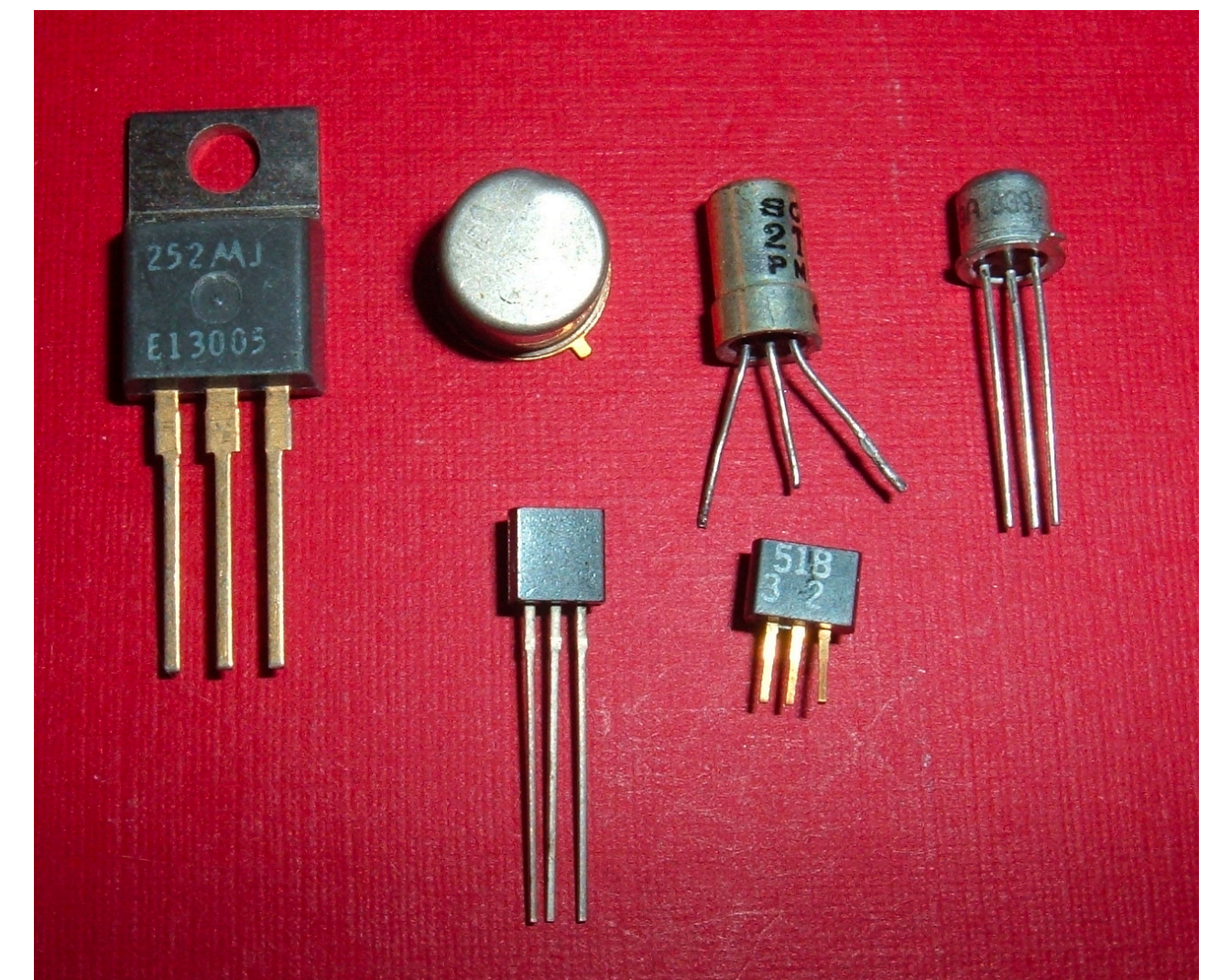
Klassische Computer

Computer und Bits

- Ein Computer ist eine Maschine, die anhand von verschiedenen Operationen Daten verarbeiten kann.
- Operationen basieren auf einer **binären Logik**.
- Diese Daten werden in Form von **Bits** gespeichert.
- Ein Bit ist entweder im **Zustand 0** oder im **Zustand 1**.

Logikgatter

- Bits werden mithilfe von **Logikgattern** verarbeitet.
- Diese basieren auf **Transistoren**.
- Wir erhalten somit Schaltungen, die wir programmieren können.



ArnoldReinhold, CC BY-SA 3.0

Logikgatter



AND-Gatter

Eingabe		Ausgabe
A	B	S
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



OR-Gatter

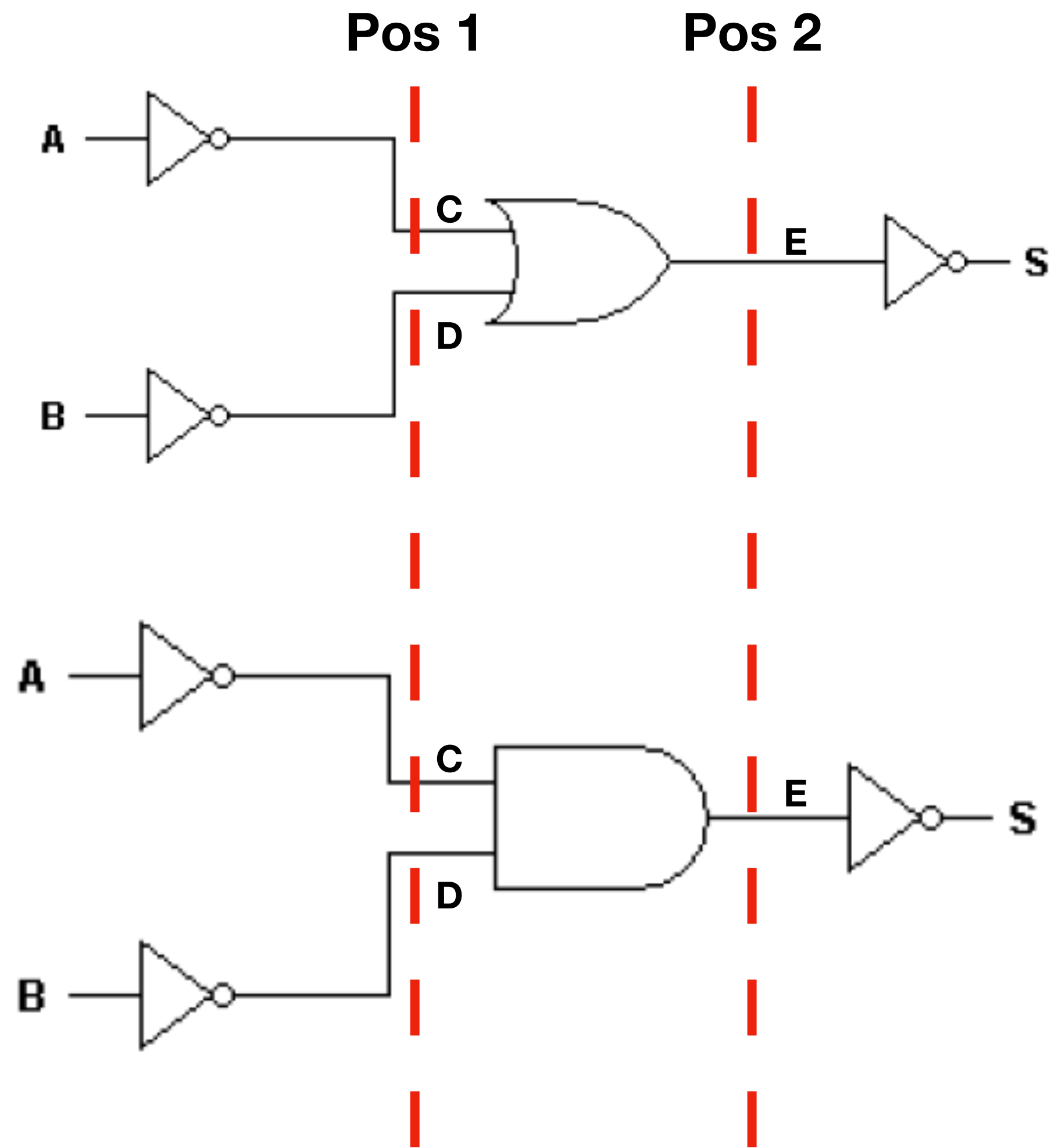
Eingabe		Ausgabe
A	B	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



NOT-Gatter

Eingabe	Ausgabe
A	S
0	1
1	0

Logikgatter

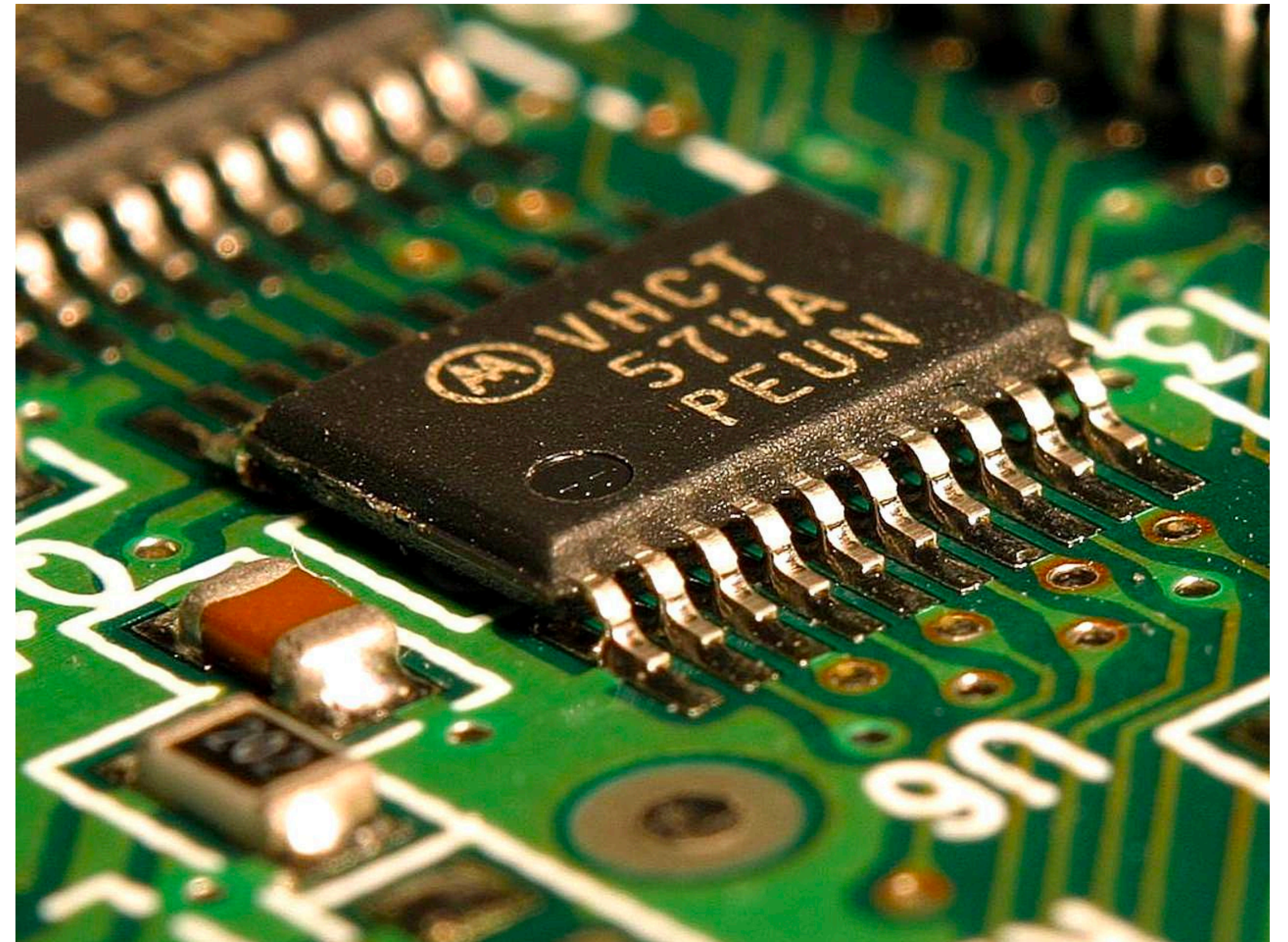


Eingabe		Pos 1		Pos 2	Ausgabe
A	B	C	D	E	S
0	0				
0	1				
1	0				
1	1				

Eingabe		Pos 1		Pos 2	Ausgabe
A	B	C	D	E	S
0	0				
0	1				
1	0				
1	1				

Microchips

- Chips werden immer kleiner, mit immer mehr Transistoren.
- Wir stoßen an die Grenzen der klassischen Physik.
- Lasst uns die Phänomene der Quantenphysik nutzen!



Quantencomputer

Quantencomputer und Qubits

- Ein Quantencomputer ist eine Maschine, die anhand von verschiedenen Operationen Daten verarbeiten kann.
- Ein Quantencomputer braucht **Bits UND Qubits!**
- Ein Qubit kann in den Zuständen $|0\rangle$ oder $|1\rangle$ sein.
- Ein Qubit kann aber auch in Zuständen **“zwischen” $|0\rangle$ und $|1\rangle$** sein.
- Ein Qubit ist ein Quantenteilchen.

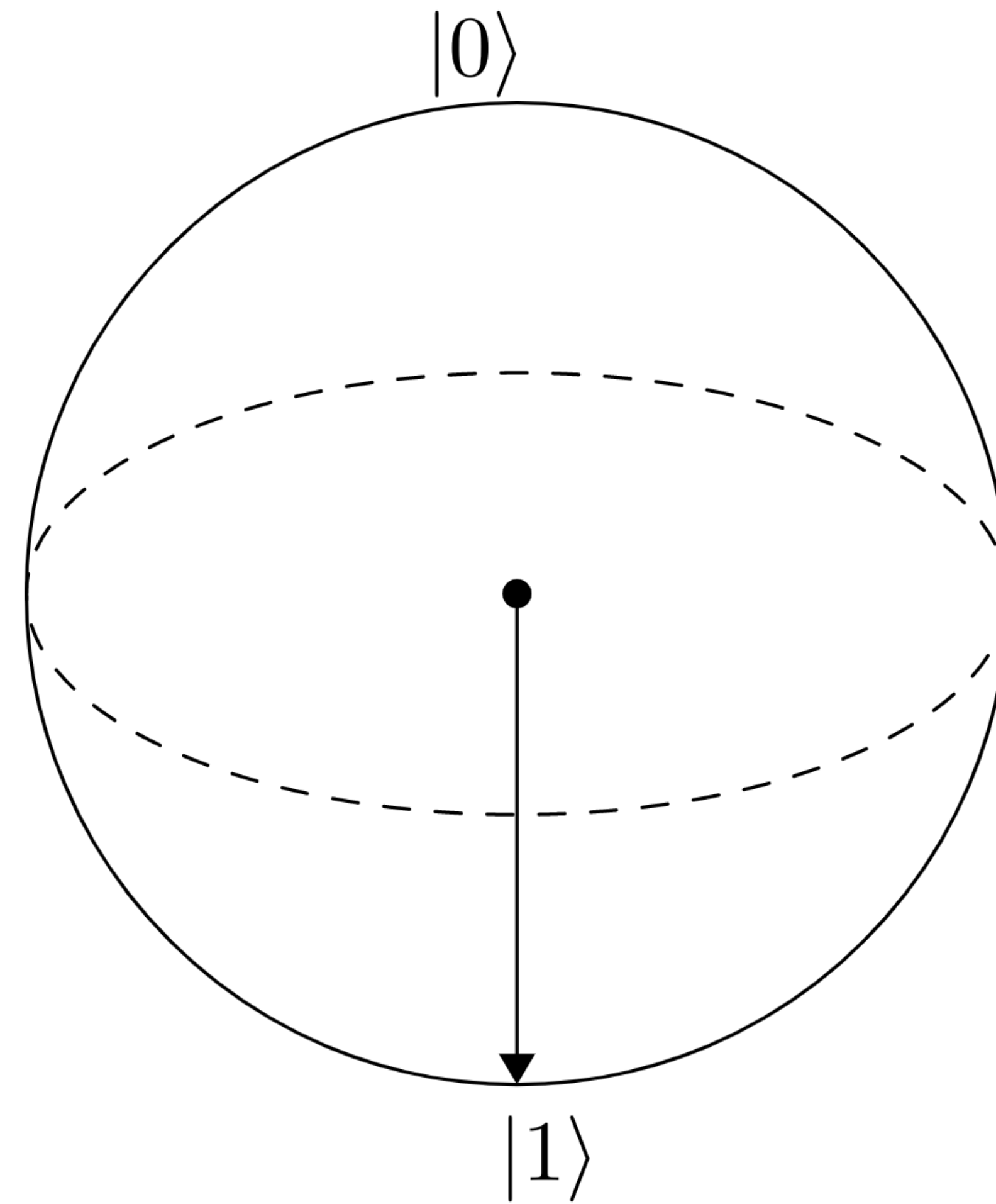
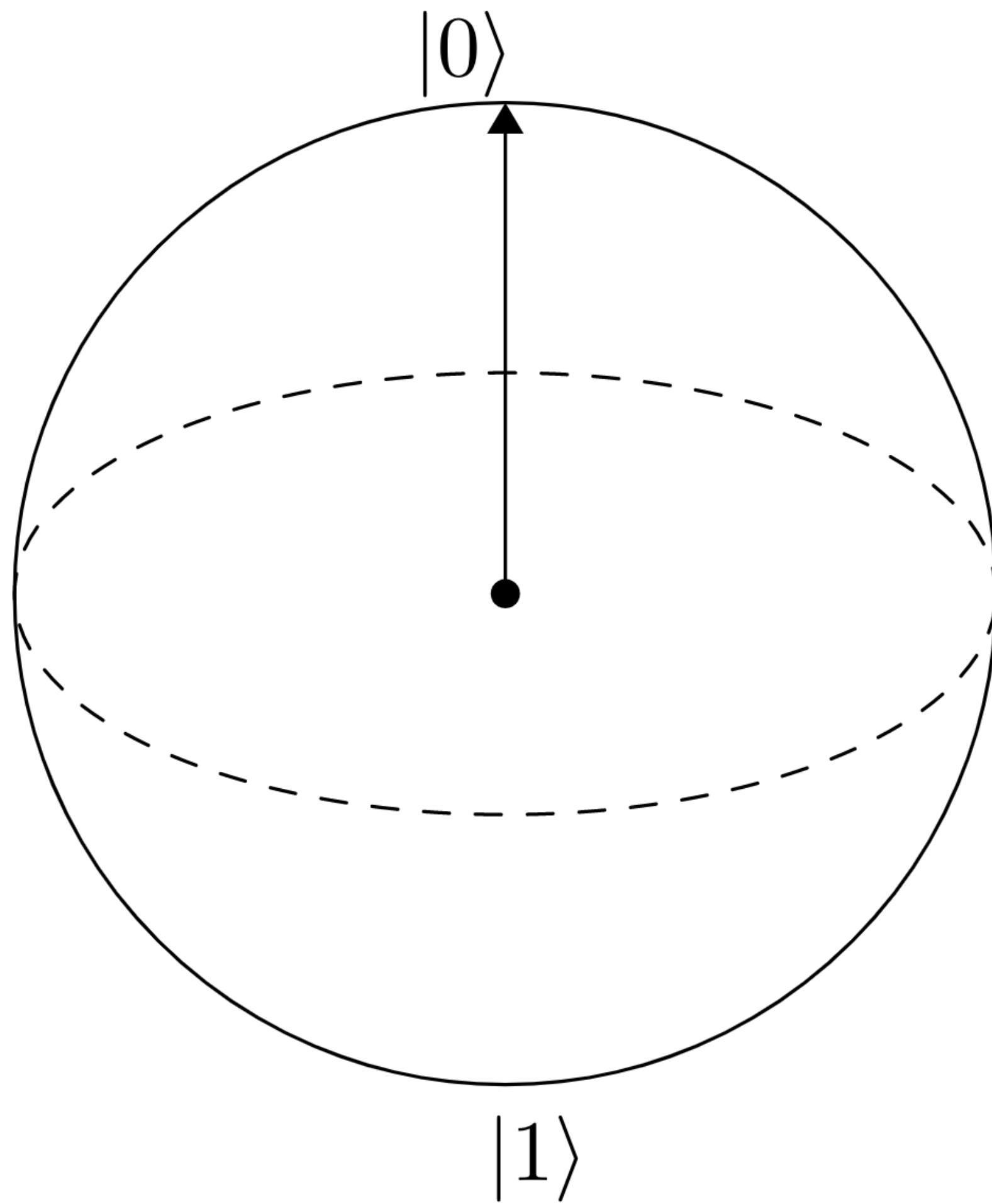
Die Bloch-Kugel

0

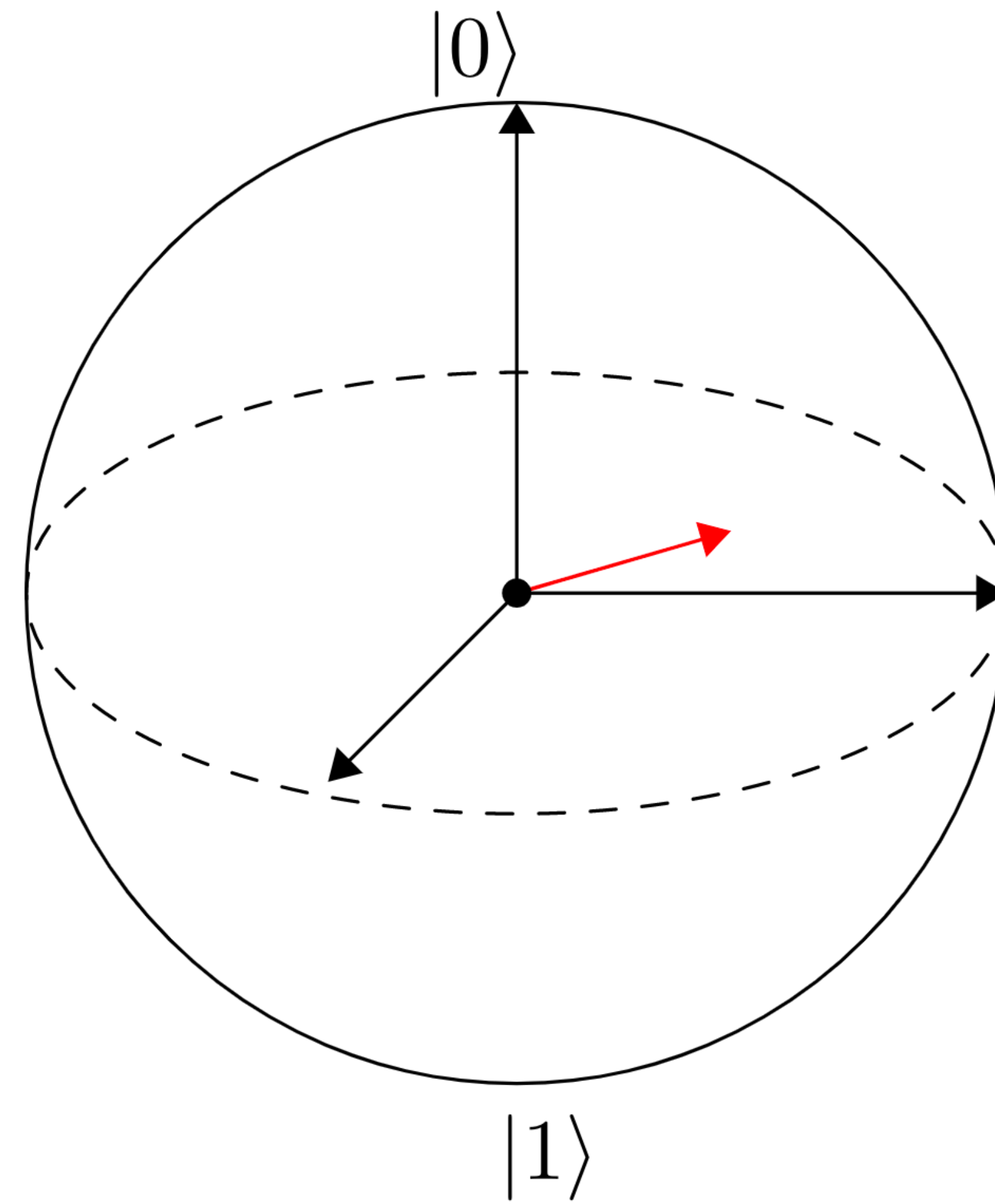
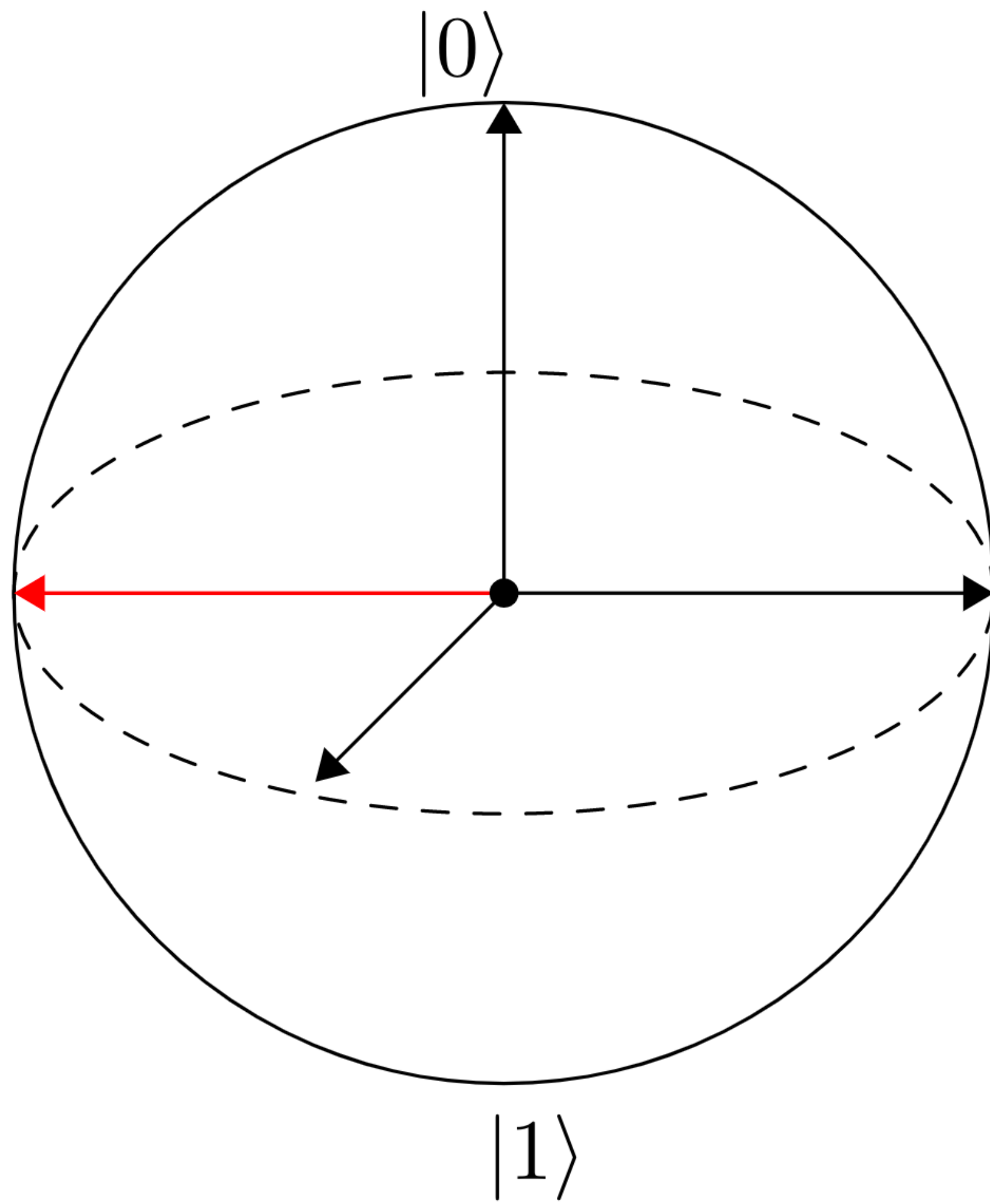


1

Die Bloch-Kugel



Die Bloch-Kugel



Münzwurf

- Kopf oder Zahl
- Wenn die Münze in der Luft ist, ist der Zustand weder Kopf noch Zahl.



Quantensuperposition

- Ein Qubit ist in den Zuständen $|0\rangle$ und $|1\rangle$ zugleich, wir reden von einer **Superposition** der Zustände $|0\rangle$ und $|1\rangle$.
- Ein Quantencomputer gibt trotzdem nur ein Ergebnis aus.
- Wir müssen also das Qubit **messen**. Die Superposition entspricht den Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen Messergebnisse.

Messungen

- Eine **Messung** ist ein Eingriff in das System.
- Zum Zeitpunkt der Messung, entscheidet sich das Qubit zufällig für einen der beiden Zustände $|0\rangle$ oder $|1\rangle$.
- Eine Messung zerstört die Superposition: **Beobachter Effekt**
- Eine einzelne Messung, sagt uns nicht in welcher Zustand das Qubit ist.
- Je mehr Messung, desto aussagekräftiger das Ergebnis.
- Ergebnisse werden als klassische Bits gespeichert.

Superposition und Messungen

- Eine Superposition entspricht einem Zustand:

$$\psi = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$

- Es gilt $\alpha^2 + \beta^2 = 1$ und α und β nennen wir Amplituden.
- Messung ergibt mit einer Wahrscheinlichkeit von α^2 im Zustand $|0\rangle$.
- Messung ergibt mit einer Wahrscheinlichkeit von β^2 im Zustand $|1\rangle$.

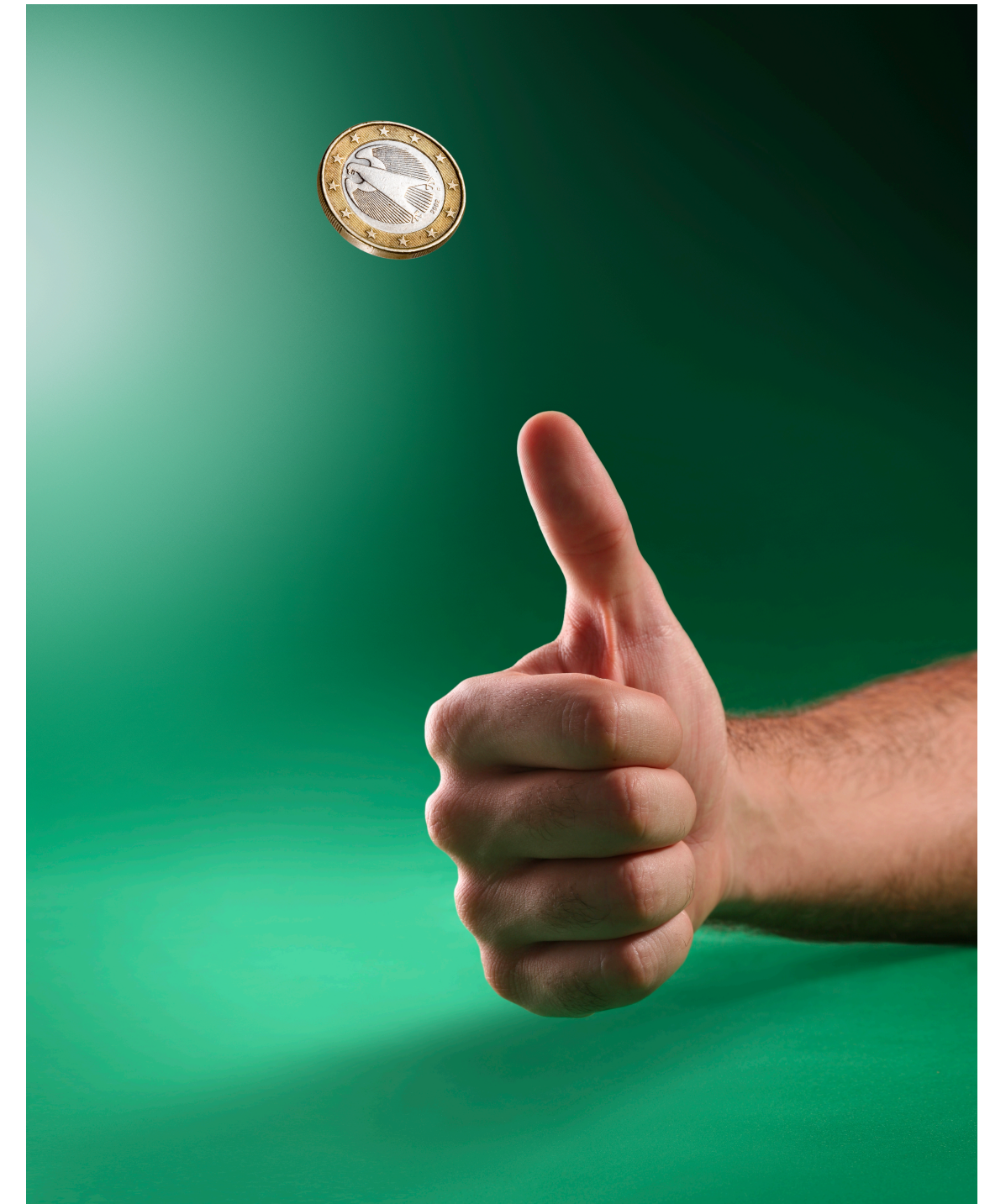
Münzwurf

- Während des Wurfs:

Zustand = Kopf + Zahl

- Nach dem Fangen der Münze:

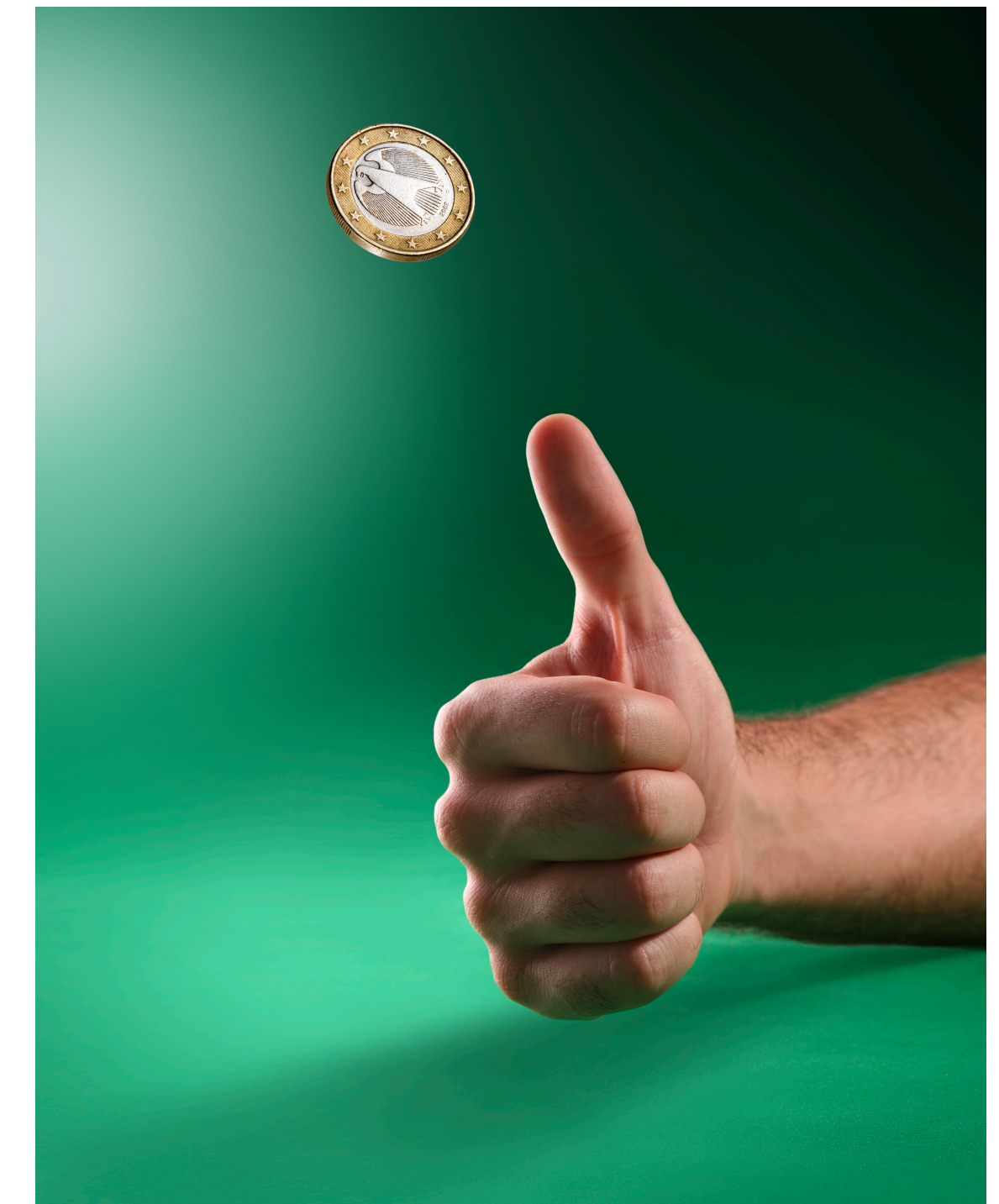
Zustand = Kopf ODER Zahl
mit je 50%-iger Wahrscheinlichkeit



ICMA Photos, CC BY-SA 2.0

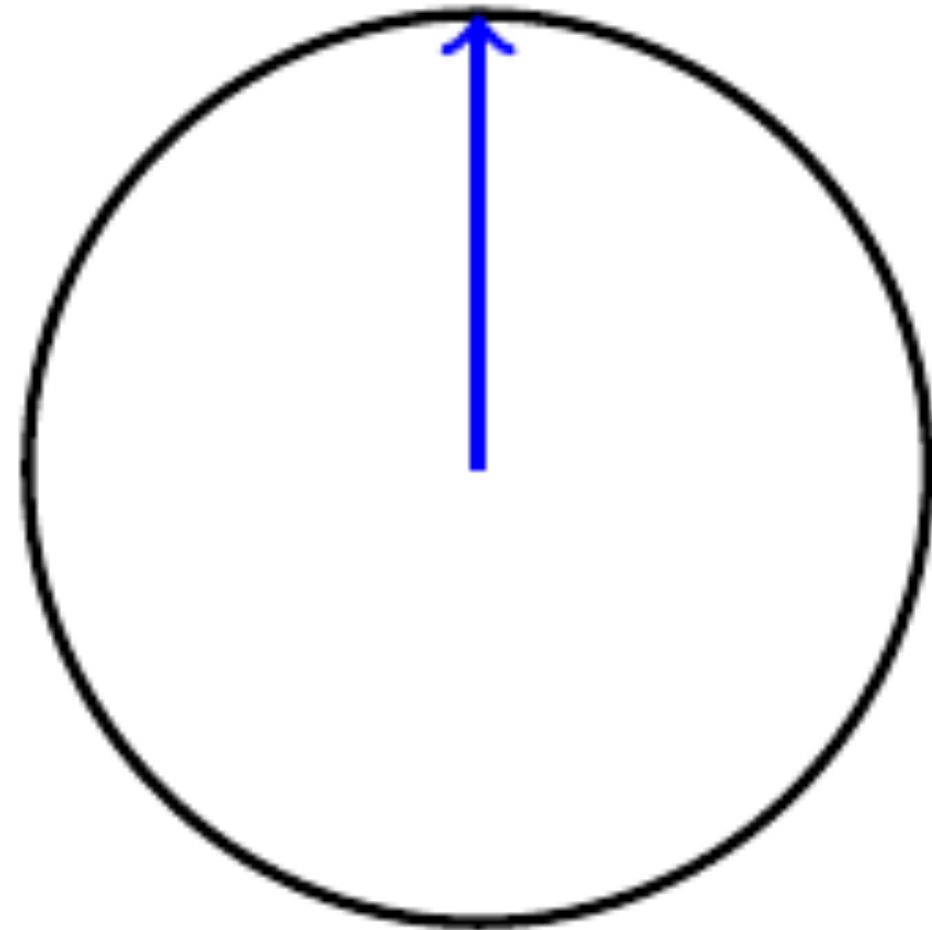
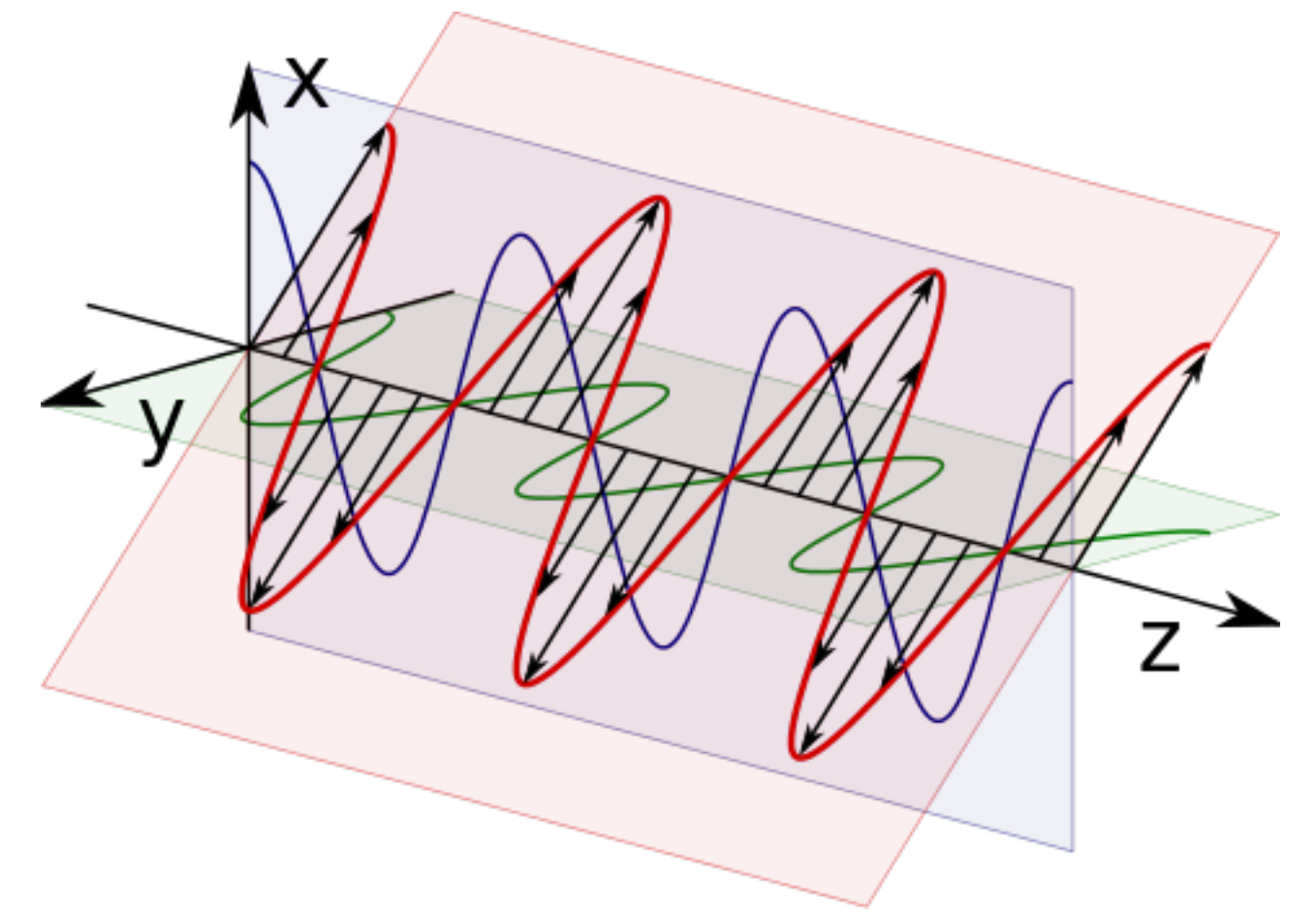
Münzwurf

	Münze	Qubit
Anfangszustand	Kopf	$ 0\rangle$
Superposition	50% Kopf und 50% Zahl	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$ $= \frac{1}{\sqrt{2}} 0\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} 1\rangle$
Messung	Zahl	$ 1\rangle$

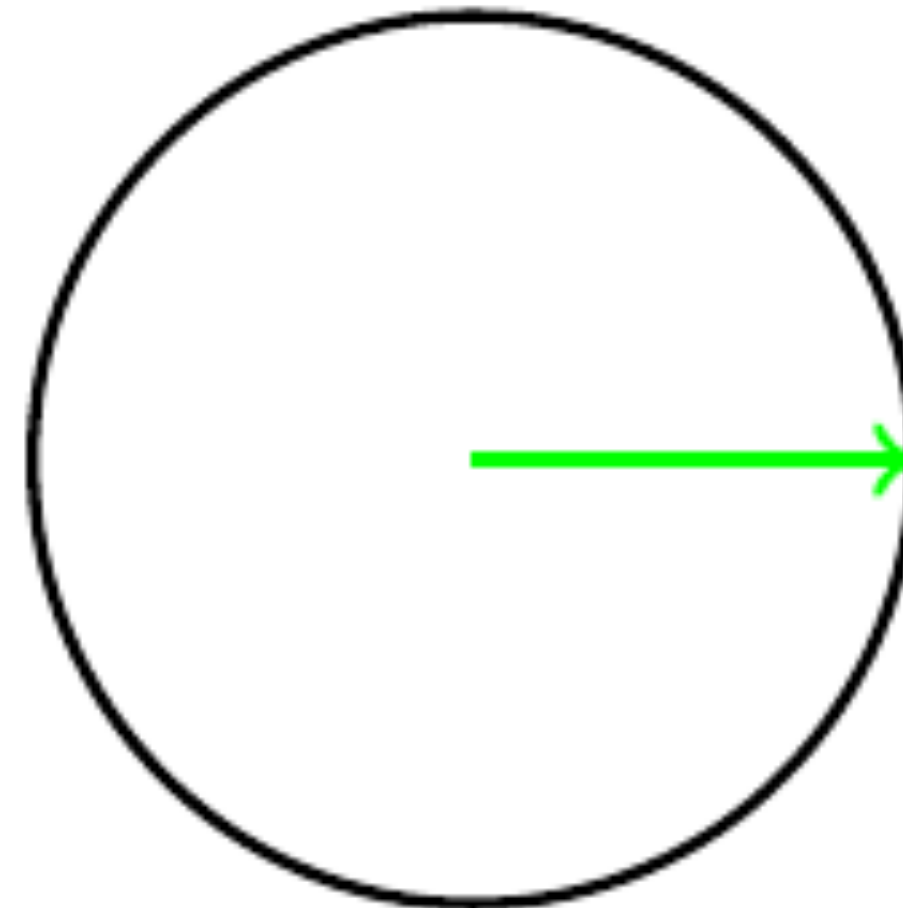


ICMA Photos, CC BY-SA 2.0

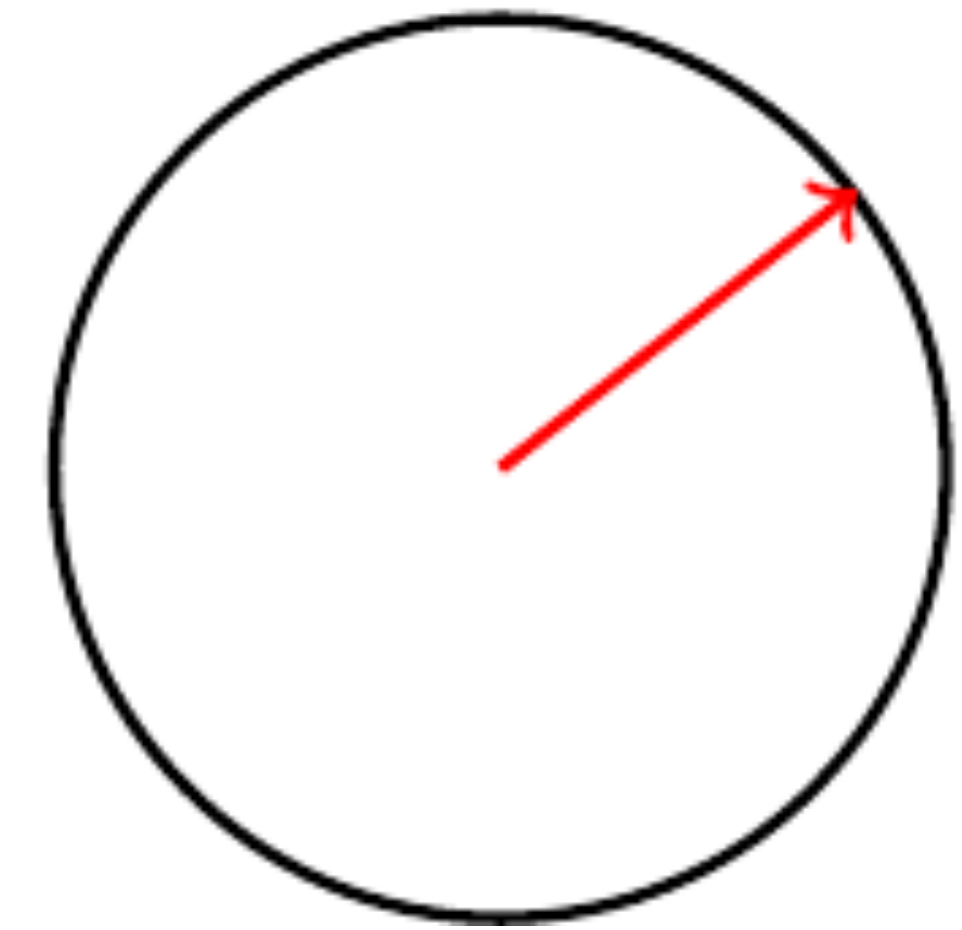
Polarisation von Licht



Vertikal

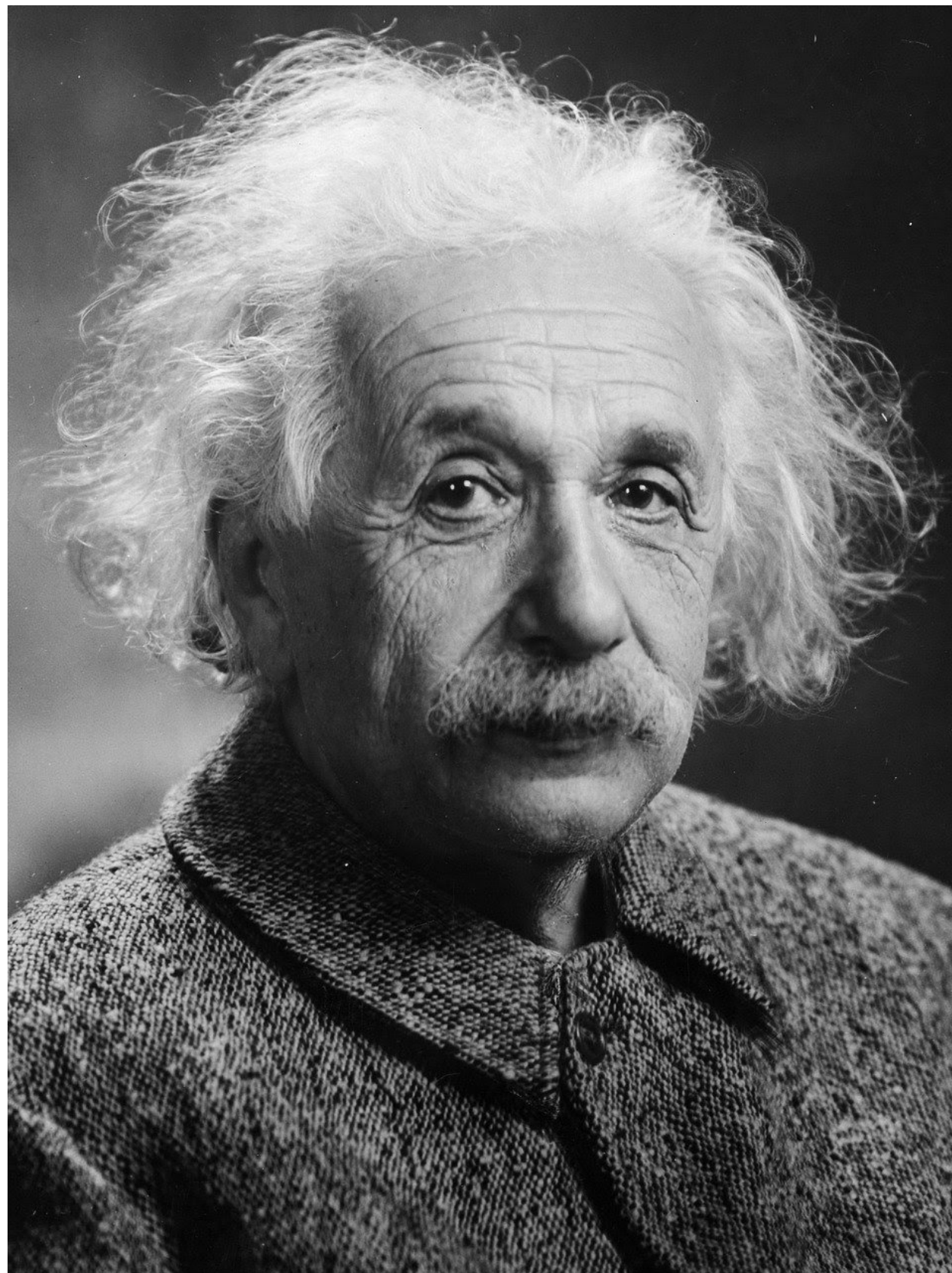


Horizontal



Superposition

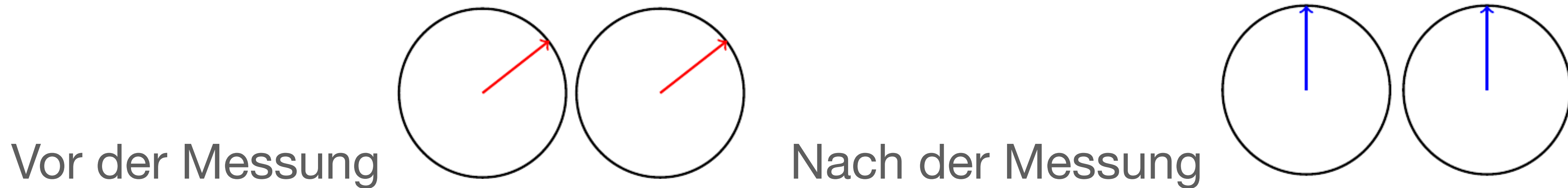
Verschränkung



- Zwei (oder mehr) Objekte sind nicht unabhängig voneinander, obwohl räumlich getrennt.
- Albert Einstein: „spukhafte Fernwirkung“

Verschränkte Lichtteilchen

- Zwei verschränkte Photonen aus einer Quelle
- Beide Photonen sind in Superposition
- Messung der einen Polarisation des einen bestimmt Polarisation des anderen



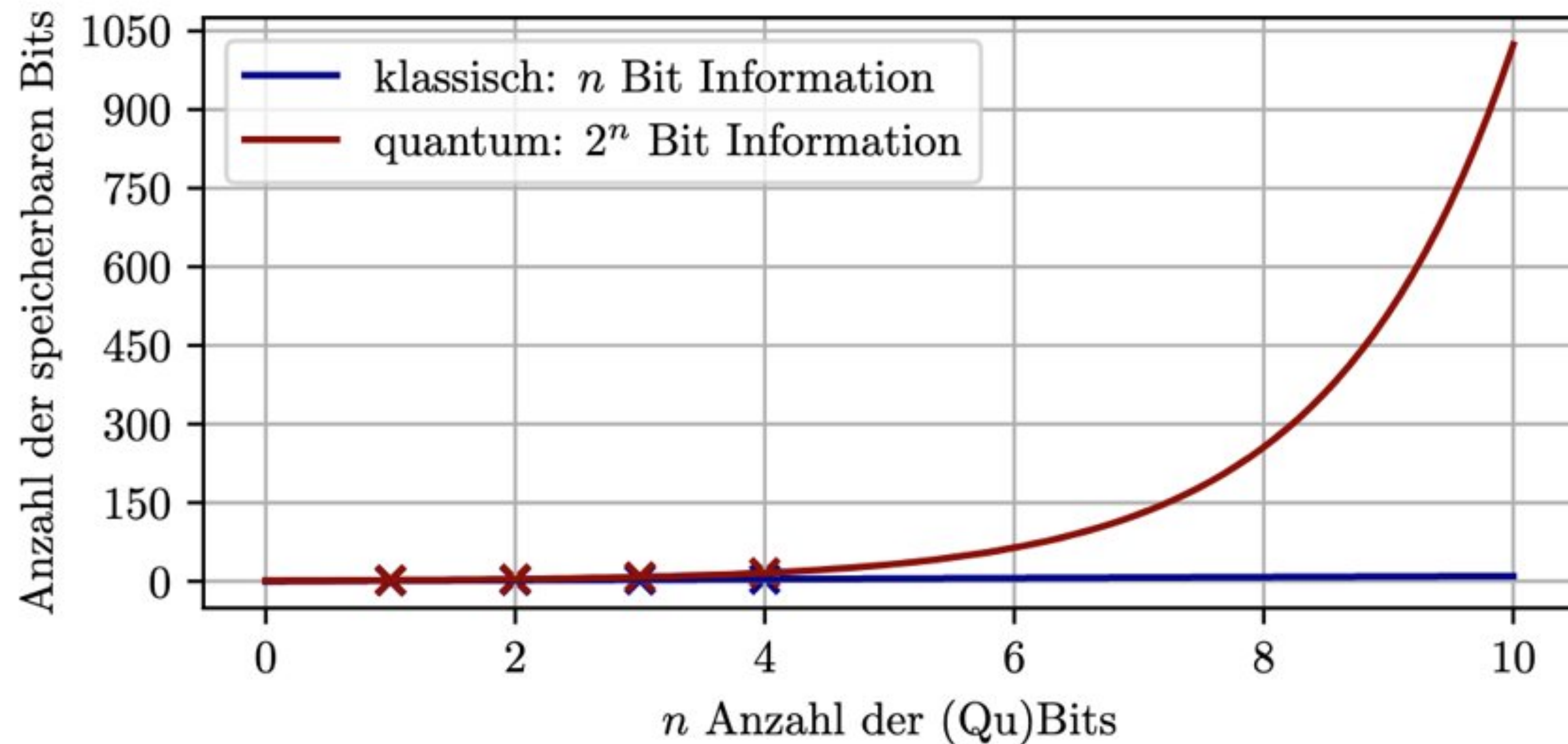
2 Qubits

- Mögliche Zustände: $|00\rangle$, $|01\rangle$, $|10\rangle$, $|11\rangle$
- Zwei Qubits in Zuständen $\psi = a|0\rangle + b|1\rangle$ und $\phi = c|0\rangle + d|1\rangle$ können als ein System betrachtet werden.

$$\Phi = (a|0\rangle + b|1\rangle)(c|0\rangle + d|1\rangle)$$

- $= ac|00\rangle + ad|01\rangle + bc|10\rangle + bd|11\rangle$
- Jedes Qubit wird einzeln gemessen.
- $\psi = a|01\rangle + b|10\rangle$

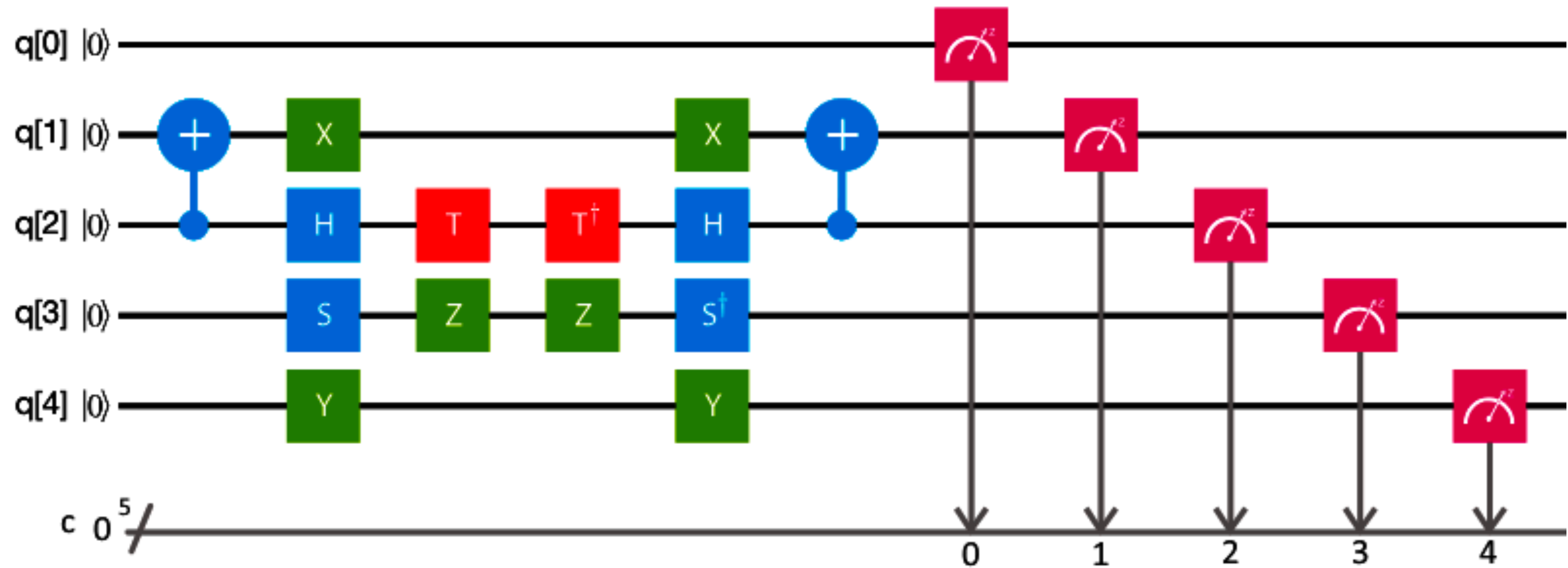
Rechenvorteile von Quantencomputern



- Aufgrund der Superposition kann ein Quantencomputer 2^n Bits an Informationen mit nur n Qubits bearbeiten.
- Die Verschränkung hilft bei der Beschleunigung der Rechnungen

Quantencomputer programmieren

Quantenschaltung



<https://towardsdatascience.com/what-is-a-quantum-circuit-transpiler-ba9a7853e6f9>

IBM Quantum Composer

<https://quantum-computing.ibm.com/composer>

Quantengatter

- NOT-Gatter
- Hadamard-Gatter
- CNOT-Gatter

NOT-Gatter

$|0\rangle$

$|1\rangle$



$|1\rangle$

$|0\rangle$

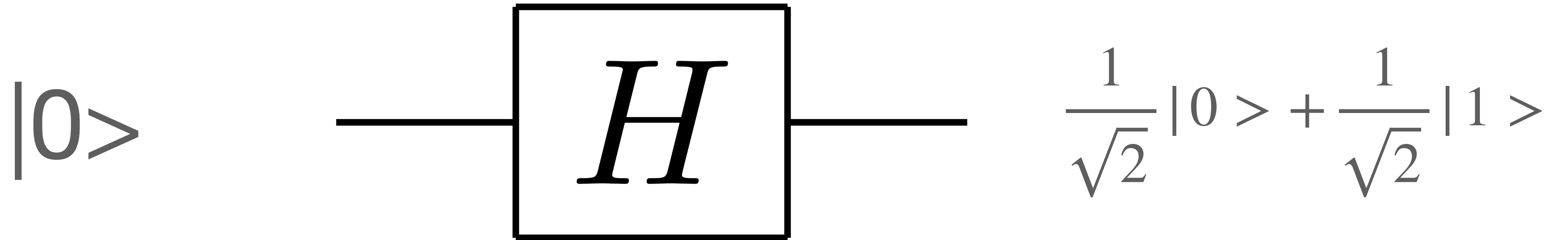
NOT-Gatter

$$\psi = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$



$$\psi = \alpha |1\rangle + \beta |0\rangle$$

Hadamard-Gatter

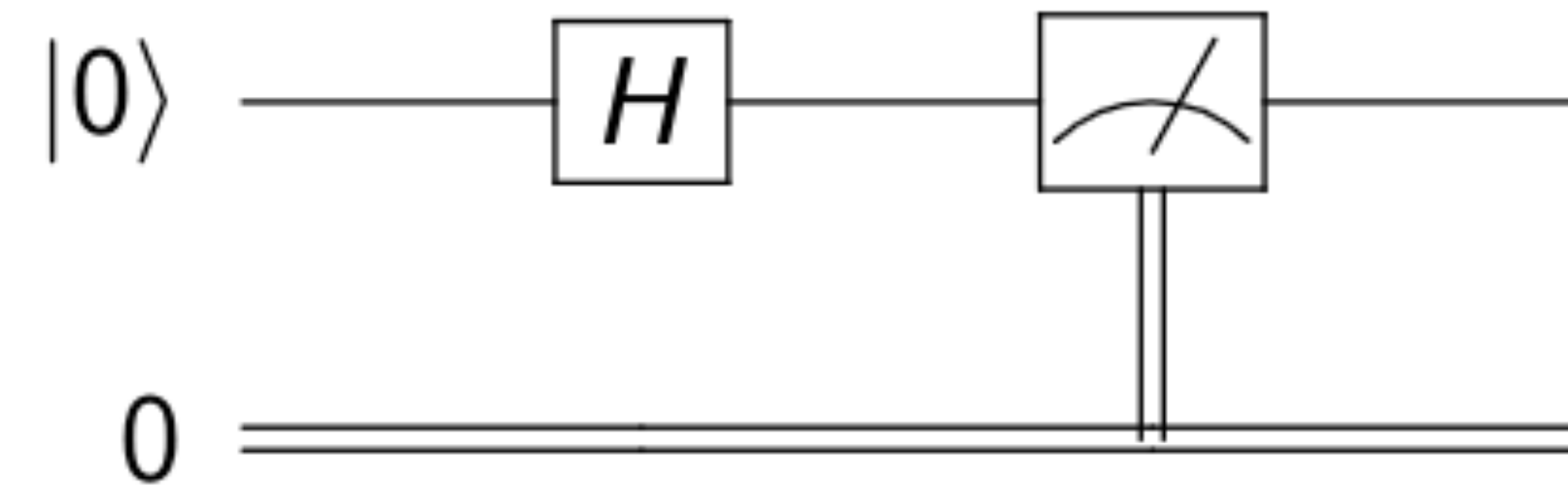


Münzwurf

	Qubit
Anfangszustand	$ 0\rangle$
Superposition	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$ $= \frac{1}{\sqrt{2}} 0\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} 1\rangle$
Messung	$ 1\rangle$

Münzwurf

	Qubit
Anfangszustand	$ 0\rangle$
Superposition	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$ $= \frac{1}{\sqrt{2}} 0\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} 1\rangle$
Messung	$ 1\rangle$



NOT und Hadamard Gatter

Verwende NOT und Hadamard Gatter, um Systeme in folgenden Zuständen zu erzeugen:

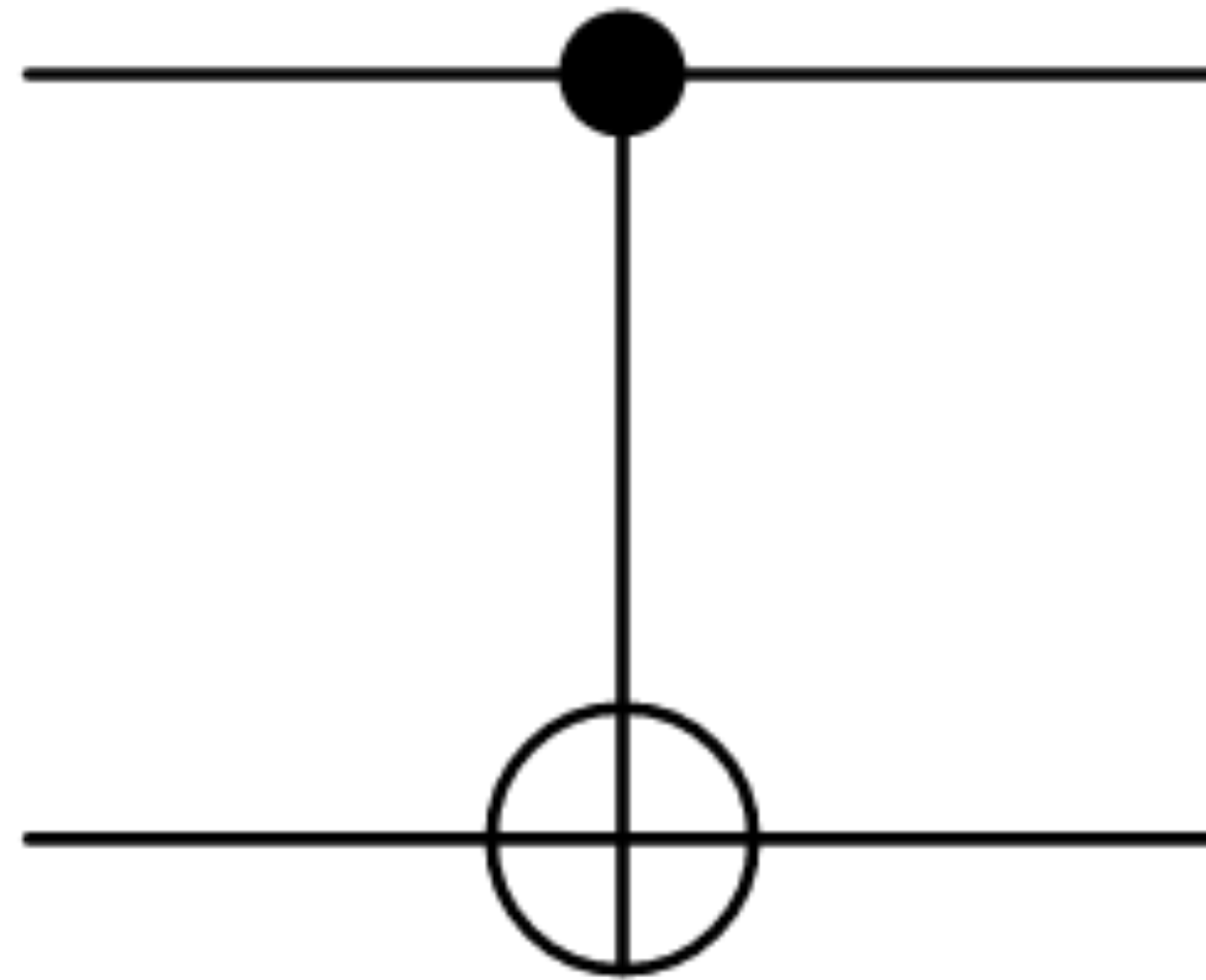
- $\psi = |111\rangle$

- $\psi = \frac{1}{\sqrt{2}}|100\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|110\rangle$

- $\psi = \frac{1}{2}|001\rangle + \frac{1}{2}|101\rangle + \frac{1}{2}|011\rangle + \frac{1}{2}|111\rangle$

- $\psi = \frac{1}{\sqrt{8}}|000\rangle + \frac{1}{\sqrt{8}}|001\rangle + \frac{1}{\sqrt{8}}|010\rangle + \frac{1}{\sqrt{8}}|011\rangle + \frac{1}{\sqrt{8}}|100\rangle + \frac{1}{\sqrt{8}}|101\rangle + \frac{1}{\sqrt{8}}|110\rangle + \frac{1}{\sqrt{8}}|111\rangle$

CNOT-Gatter



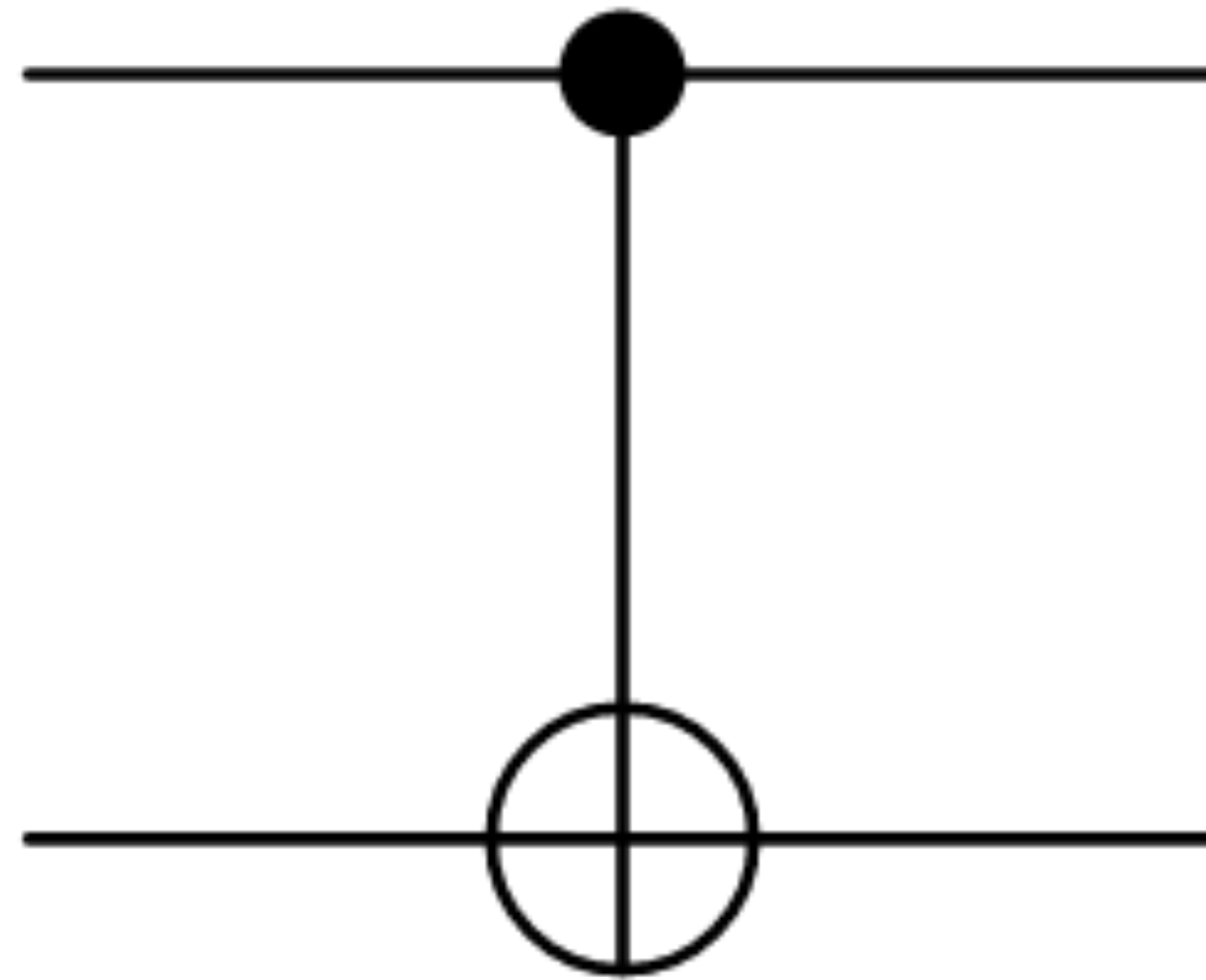
CNOT-Gatter

$|00\rangle$

$|01\rangle$

$|10\rangle$

$|11\rangle$



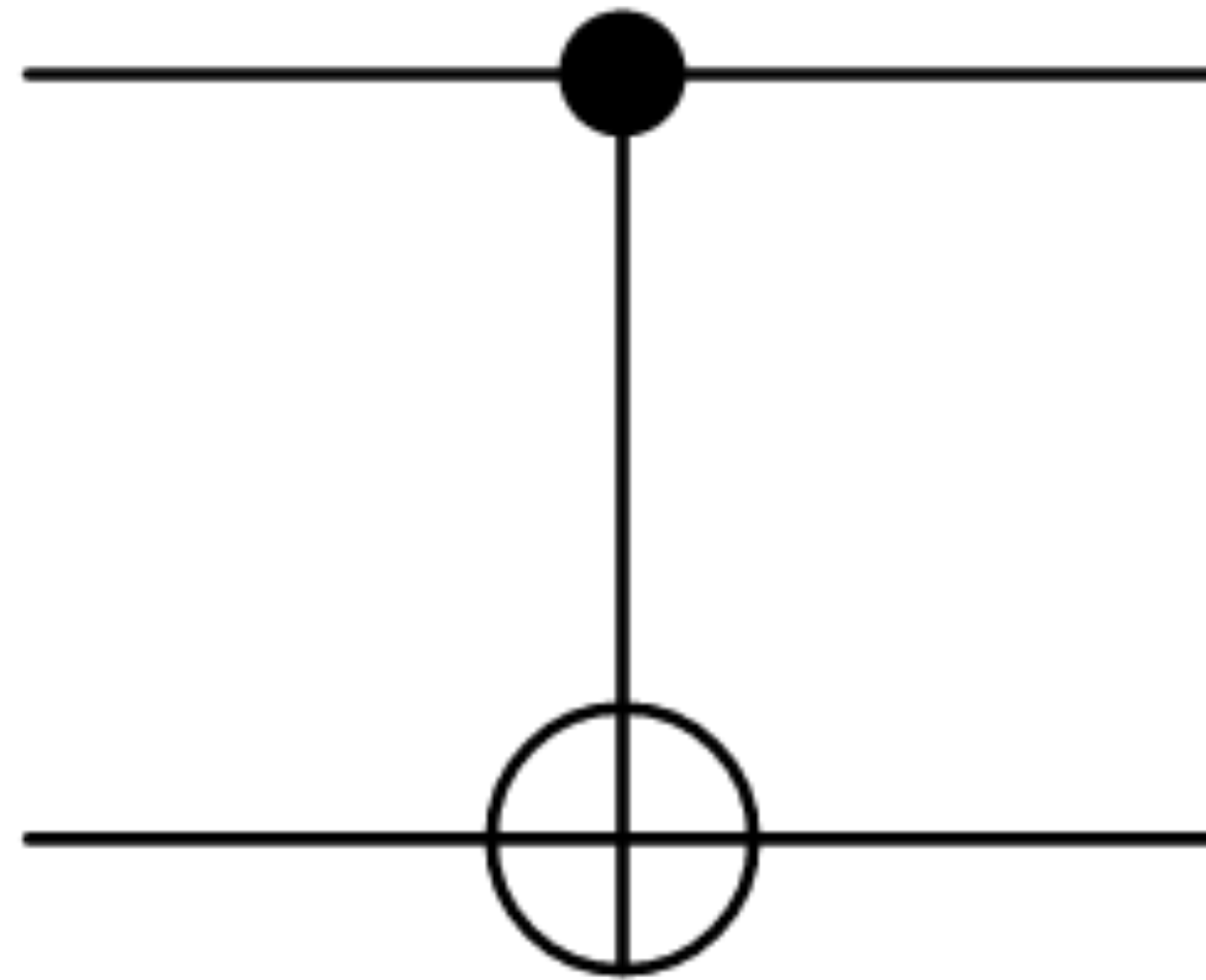
CNOT-Gatter

$|00\rangle$

$|01\rangle$

$|10\rangle$

$|11\rangle$



$|00\rangle$

$|01\rangle$

$|11\rangle$

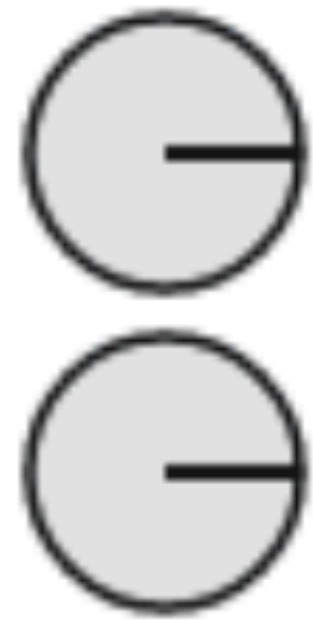
$|10\rangle$

Quantum Hello World

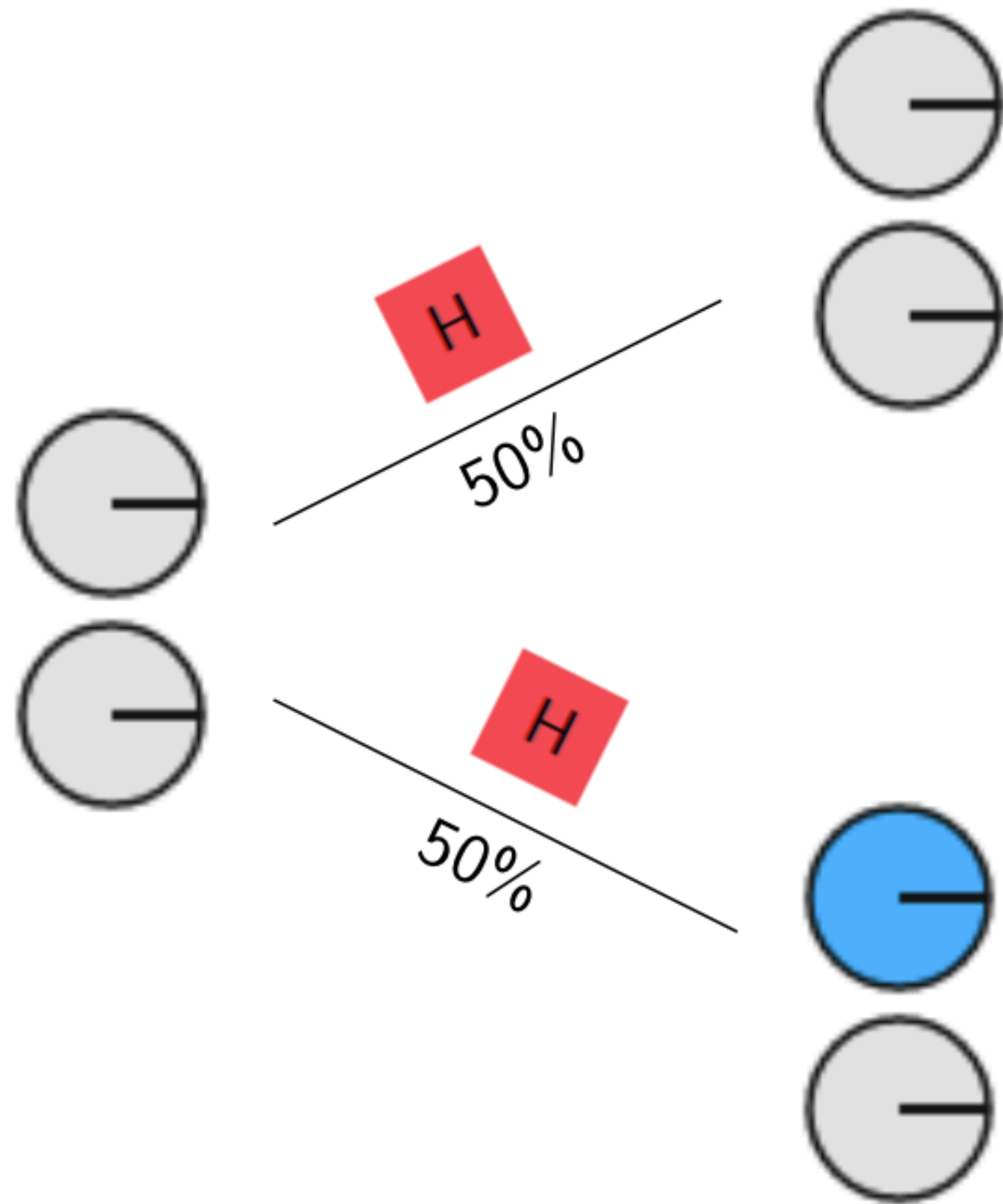
- Eine Quantenschaltung mit 2 Qubits
- Ein Hadamard-Gatter auf das erste Qubit
- Ein CNOT-Gatter mit dem ersten Qubit als Kontroll-Qubit

- In welchem/welchen Zustand/Zuständen sind die Qubits am Ende? Was kann von der Schaltung rechts ablesen?
- Was fehlt, damit die Quantenschaltung vollständig ist?

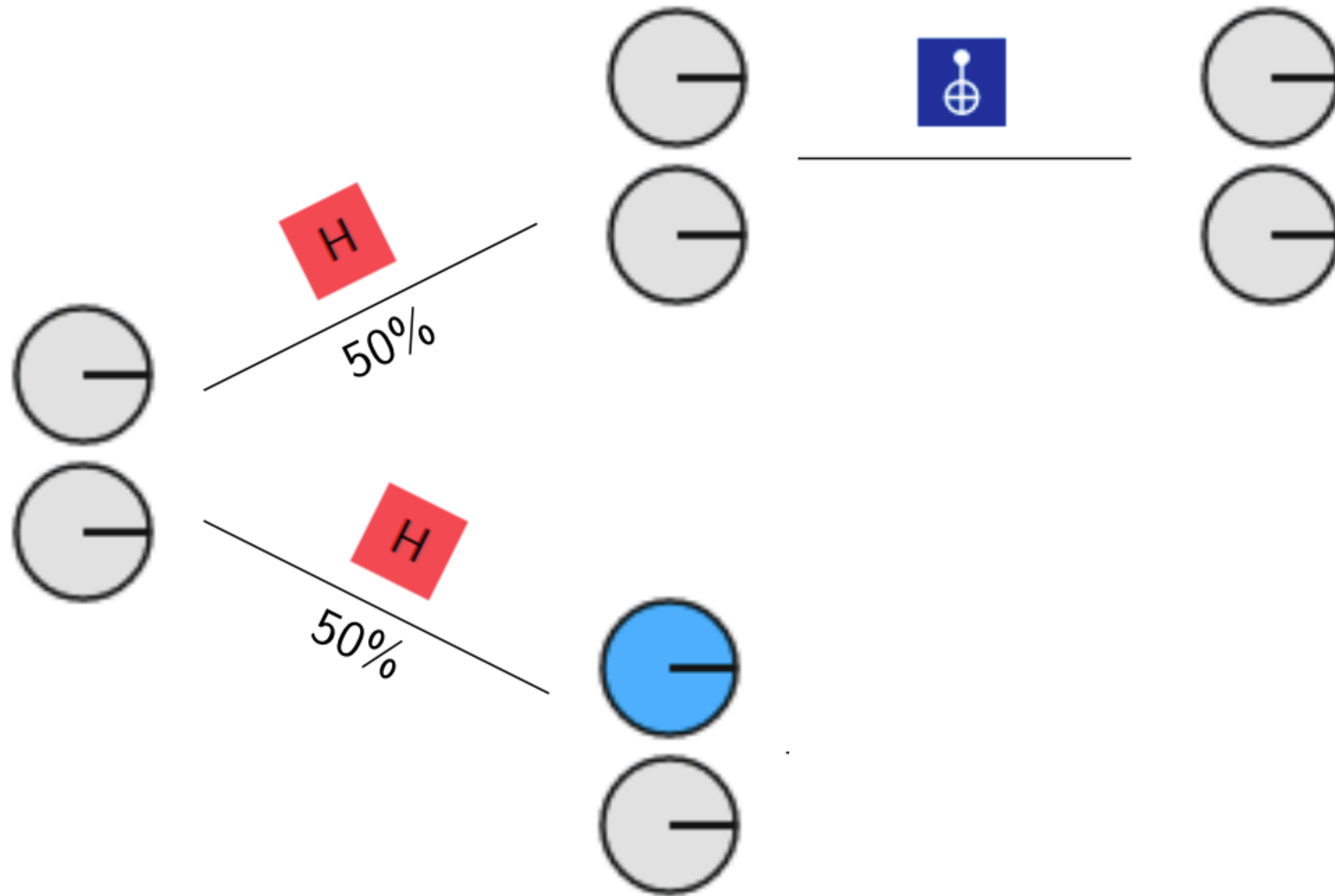
Quantum Hello World



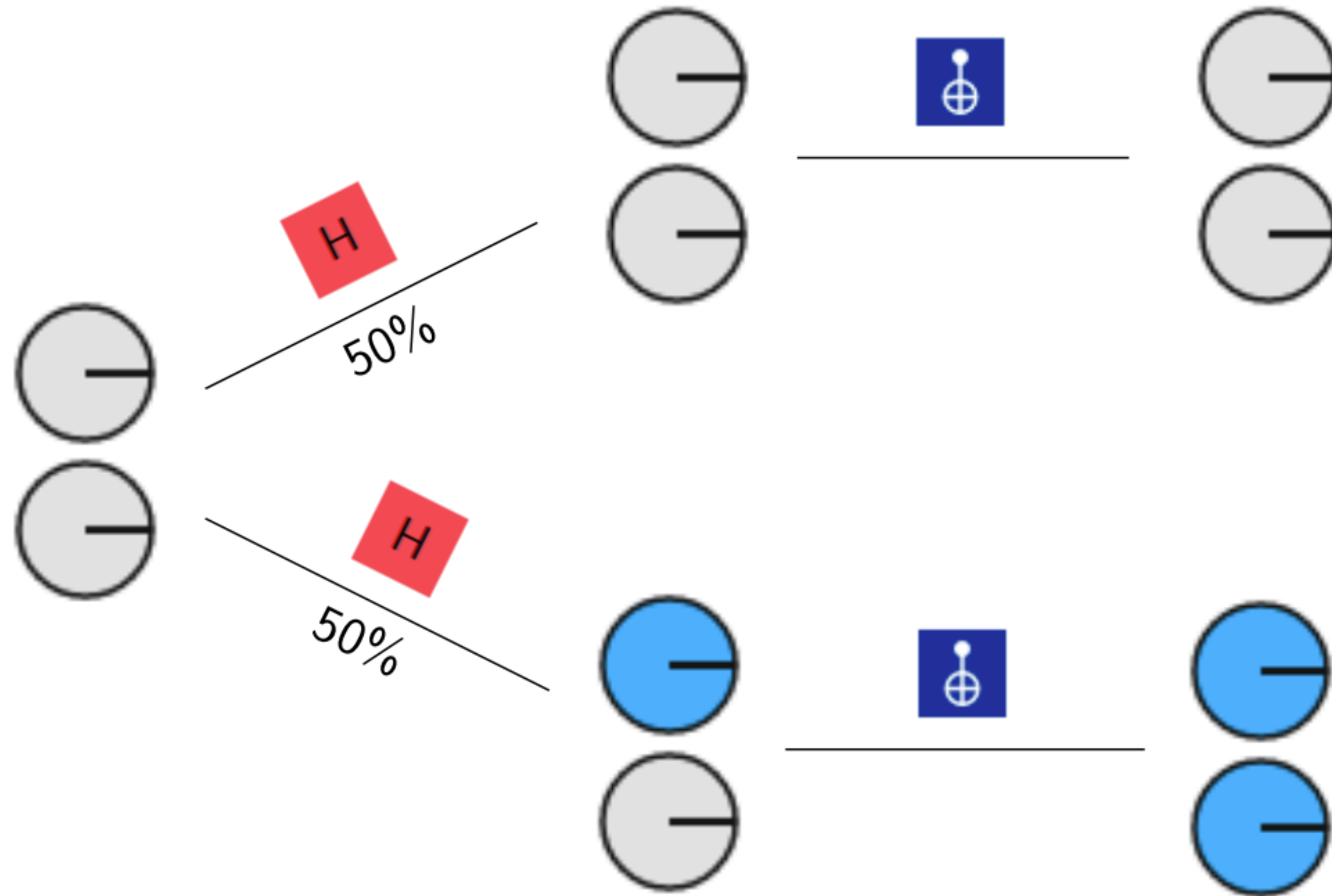
Quantum Hello World



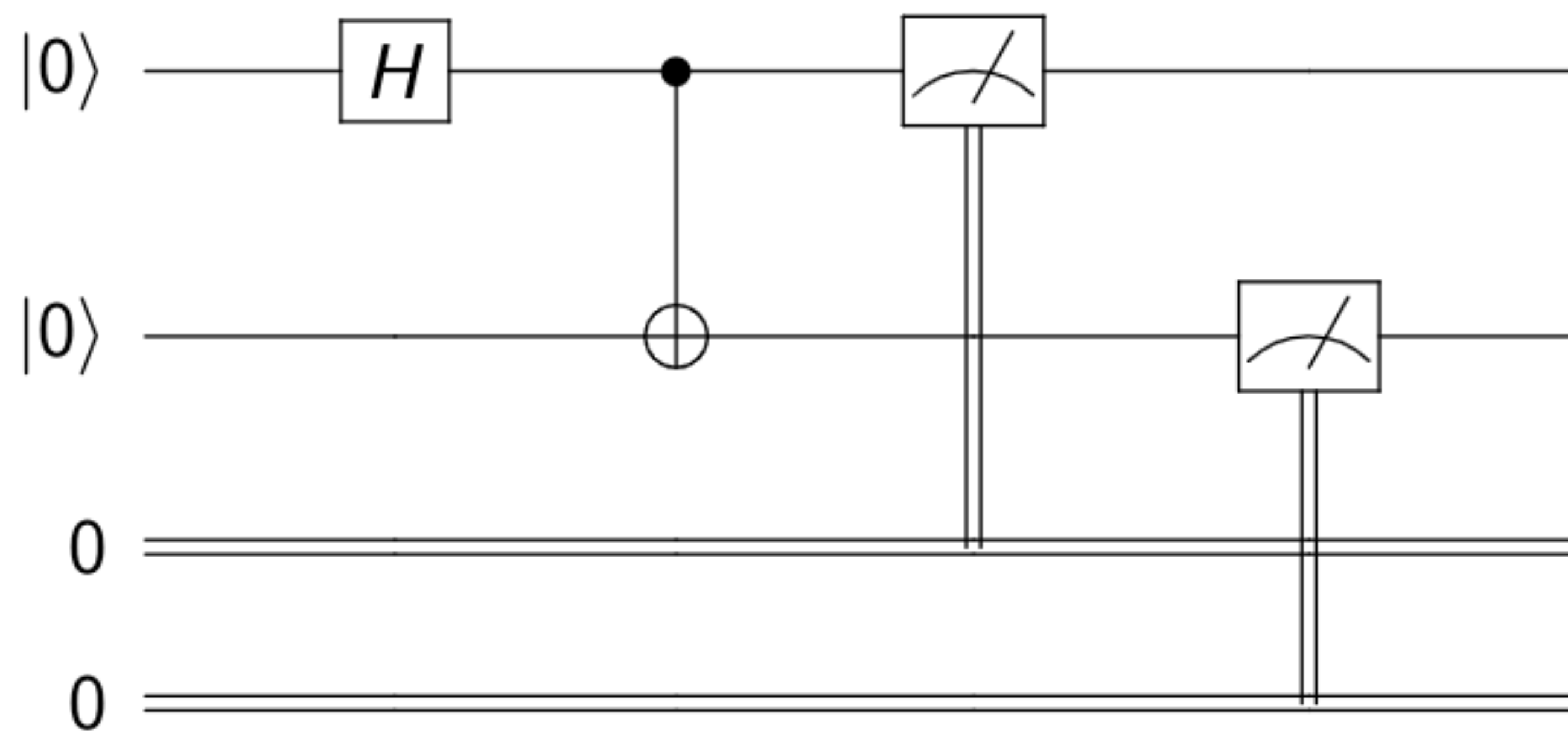
Quantum Hello World



Quantum Hello World



Quantum Hello World



NOT, CNOT und Hadamard Gatter

Verwende NOT, CNOT und Hadamard Gatter, um Systeme in folgenden Zuständen zu erzeugen:

$$\cdot \psi = \frac{1}{\sqrt{2}} |01\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} |11\rangle$$

$$\cdot \psi = \frac{1}{\sqrt{2}} |010\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} |101\rangle$$

$$\cdot \psi = \frac{1}{2} |000\rangle + \frac{1}{2} |011\rangle + \frac{1}{2} |100\rangle + \frac{1}{2} |111\rangle$$

$$\cdot \psi = \frac{1}{2} |000\rangle + \frac{1}{2} |010\rangle + \frac{1}{2} |101\rangle + \frac{1}{2} |111\rangle$$

Quantum Flytrap

<https://lab.quantumflytrap.com/lab>

Münzwurf



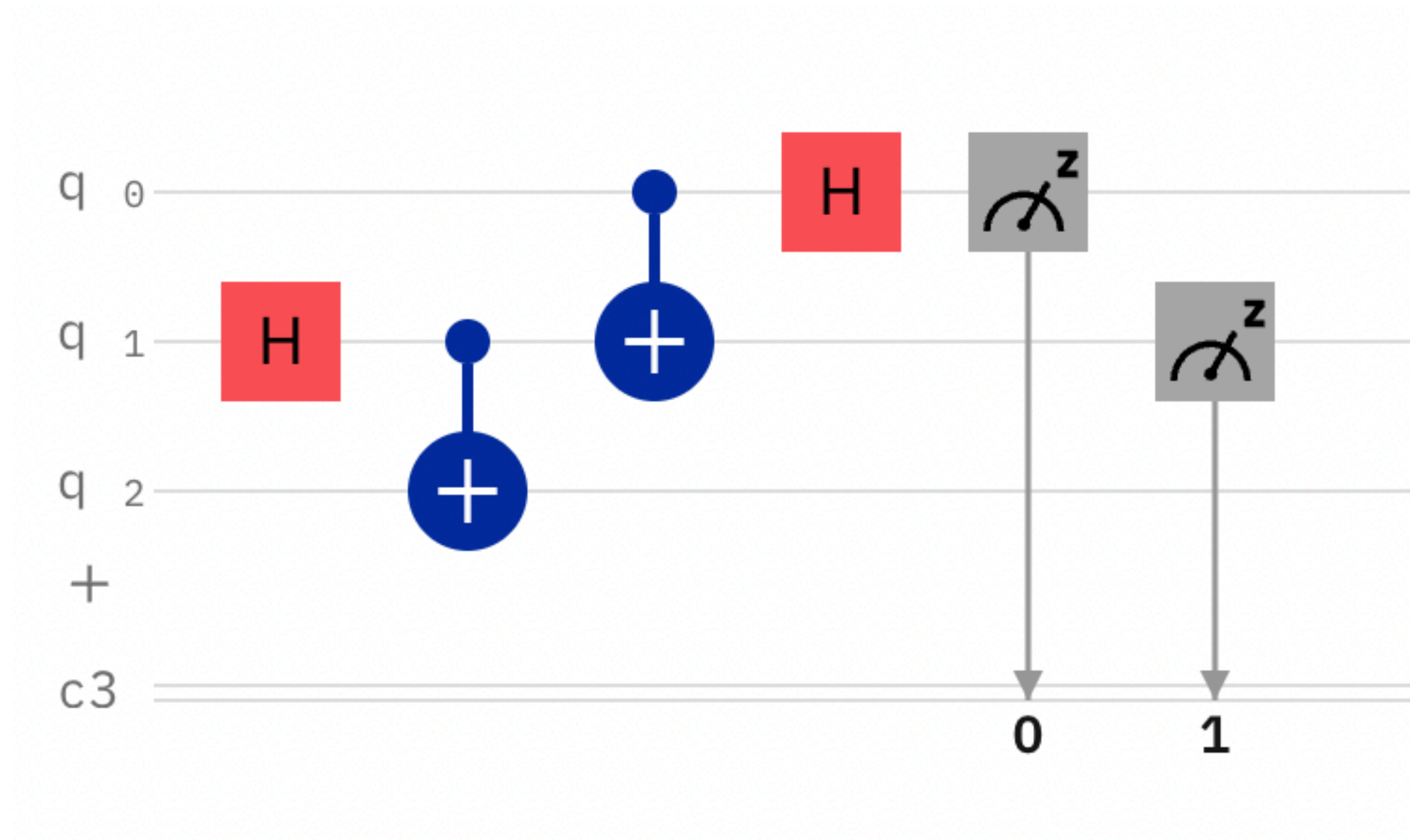
Quantum Hello World



IBM Quantum Composer

<https://quantum-computing.ibm.com/composer>

Quantenteleportation



Danksagung

Qu:Explained wird gefördert vom **Bundesministerium für Bildung und Forschung**
im Rahmen des Förderprogramms **Quantentechnologien – von den Grundlagen zum Markt**
unter dem Förderkennzeichen **13N15413**.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung