

QU:EXPLAINED



Ziad Chaoui - TU Berlin

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

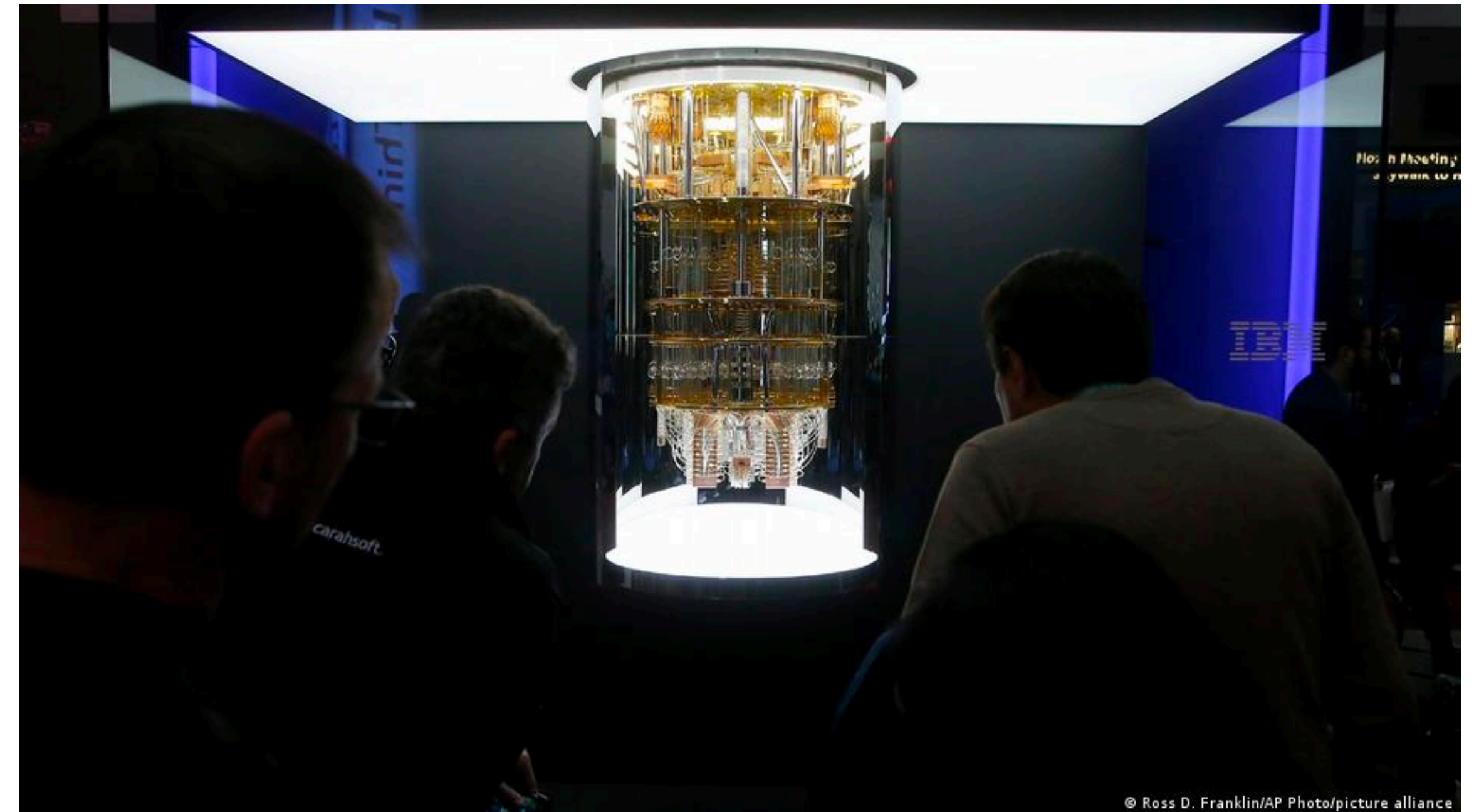
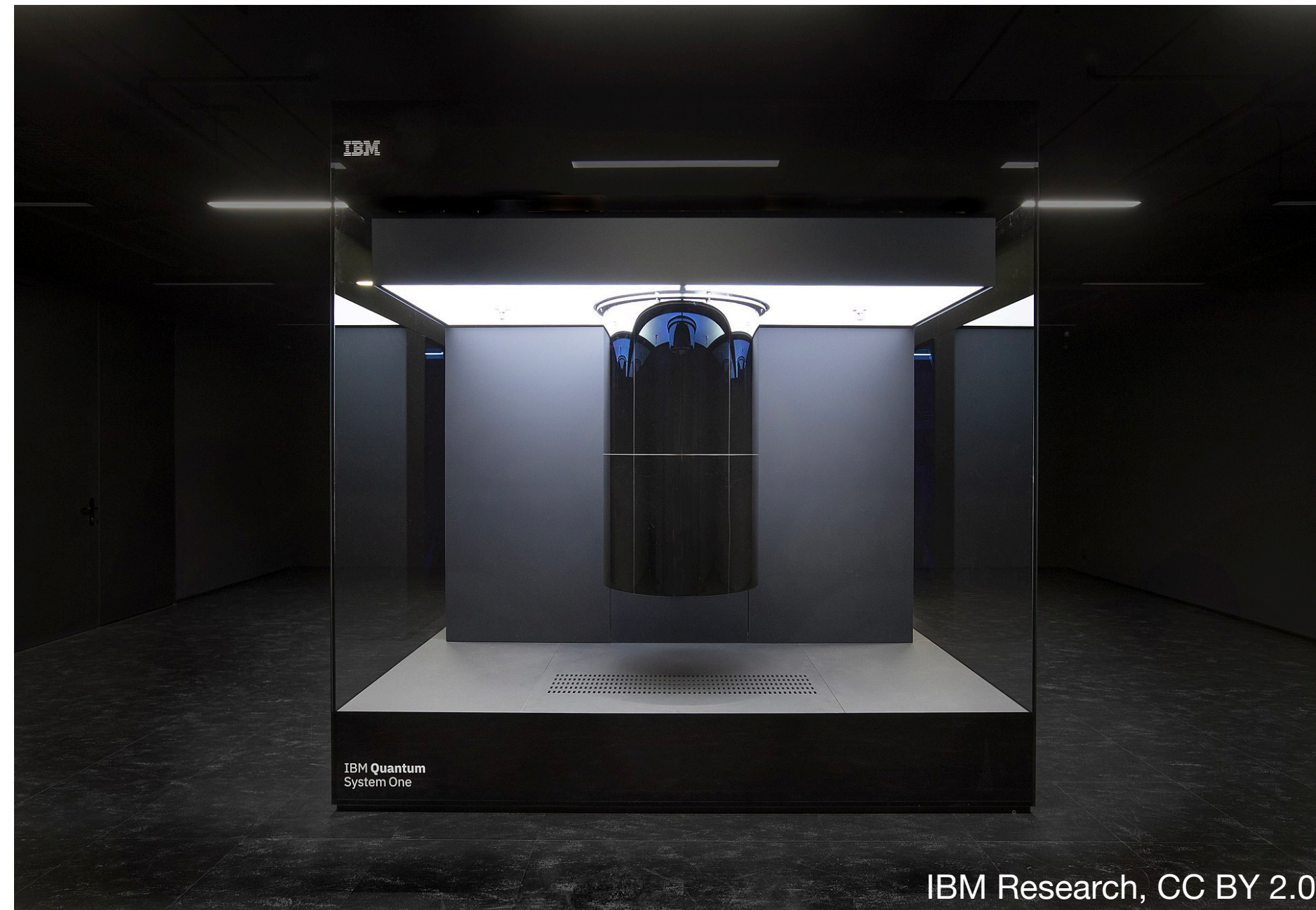
Bund investiert zwei Milliarden Euro für Quantencomputer

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

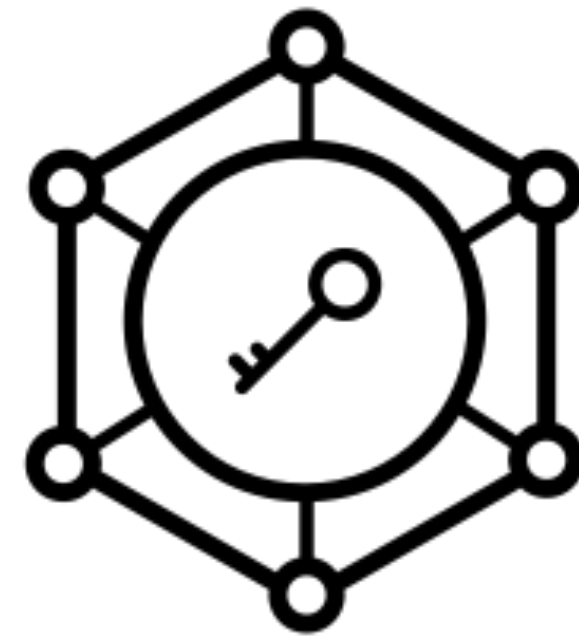


Quantencomputer



Anwendungen

Kryptographie

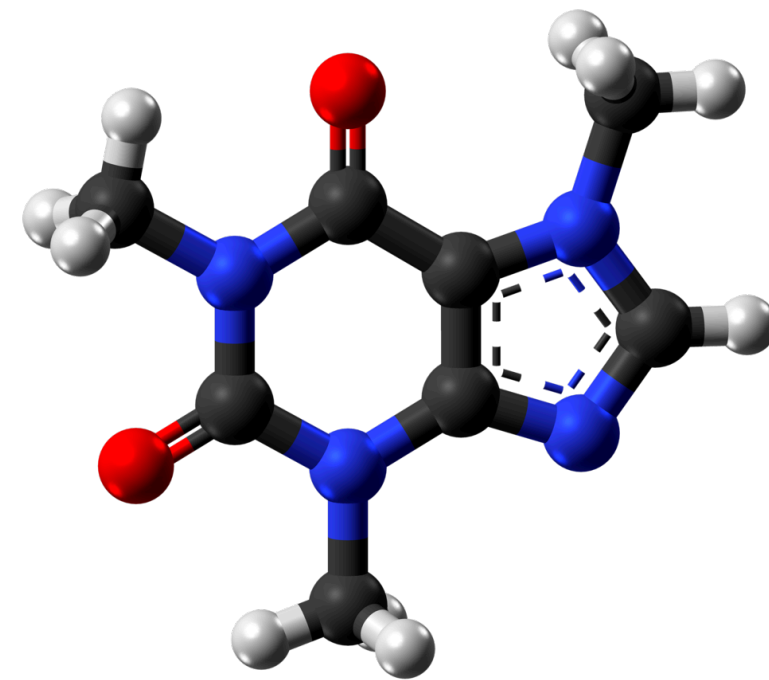


Datenbanksuche

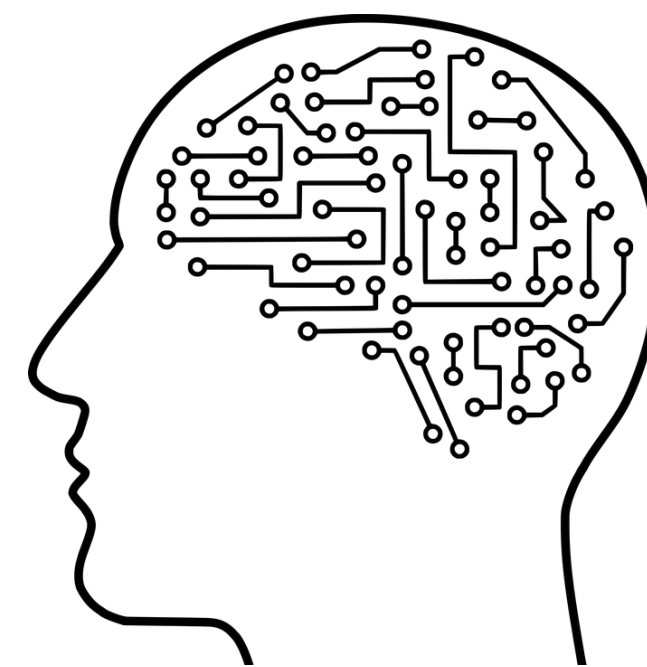


sevgenjory, CC BY

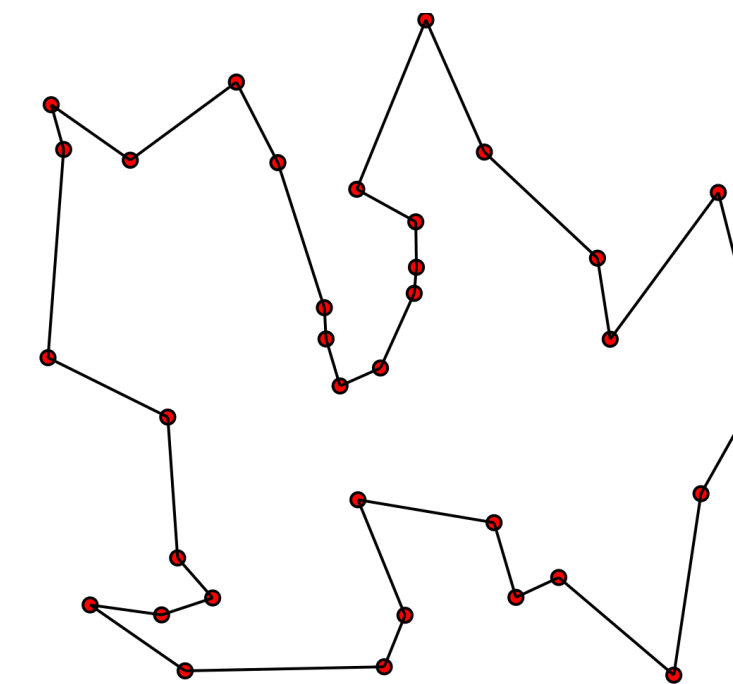
Chemie



Machine Learning



Optimierung

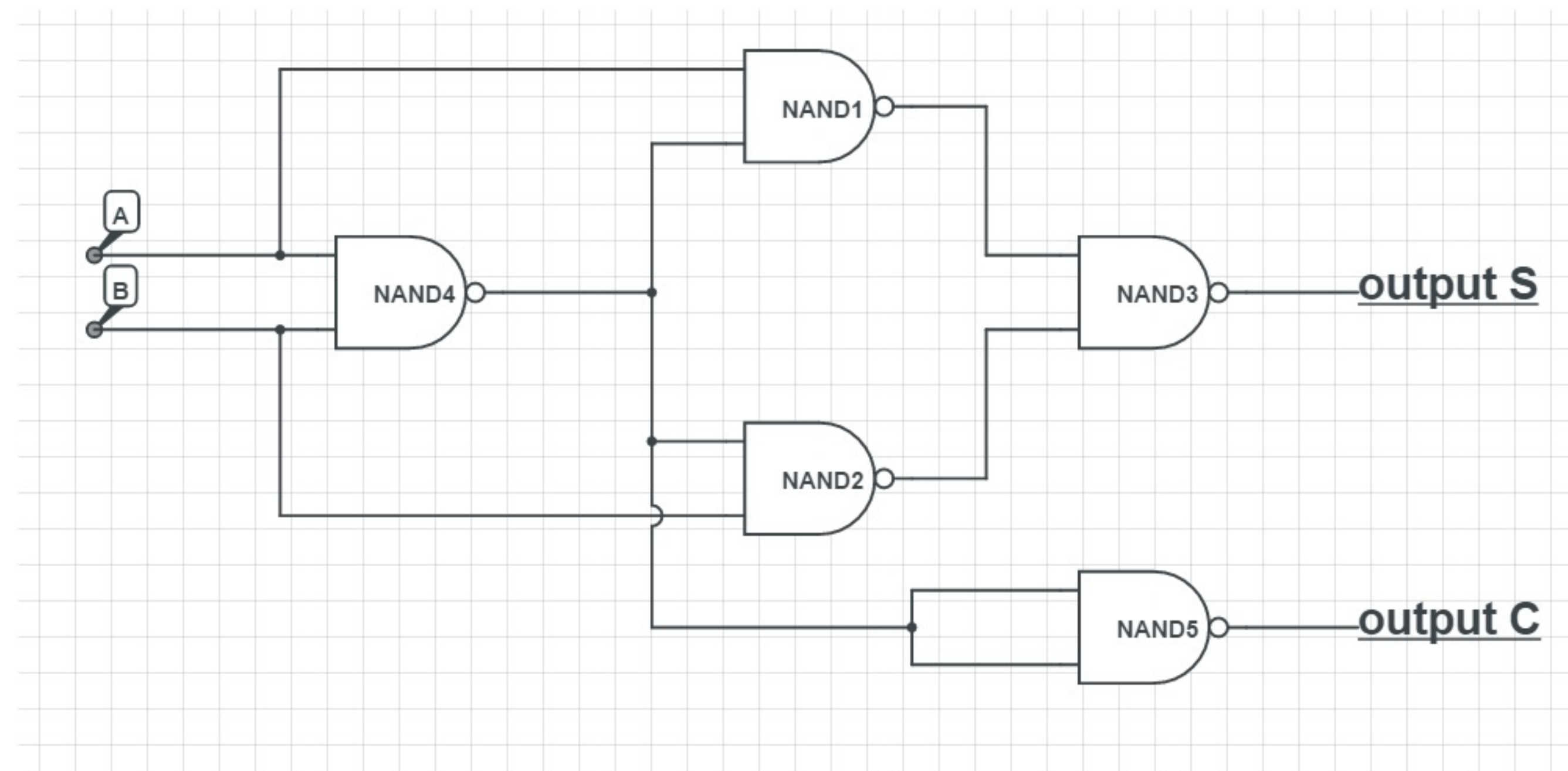


Computer und Bits

- Ein Computer ist eine Maschine, die anhand von verschiedenen Operationen Daten verarbeiten kann.
- 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.
- Wir erhalten somit Schaltungen, die wir programmieren können.



Quantencomputer und Qubits

- Ein Quantencomputer ist auch eine Maschine, die anhand von verschiedenen Operationen Daten verarbeiten kann.
- Ein verarbeitet Daten in Form von **Qubits!**
- Ein Qubit ist ein Quantenteilchen.
- Ein Qubit kann auch in den Zuständen 0 oder 1 sein. Für Qubits schreiben wir $|0\rangle$ bzw. $|1\rangle$.
- Ein Qubit kann aber auch in anderen Zuständen sein.

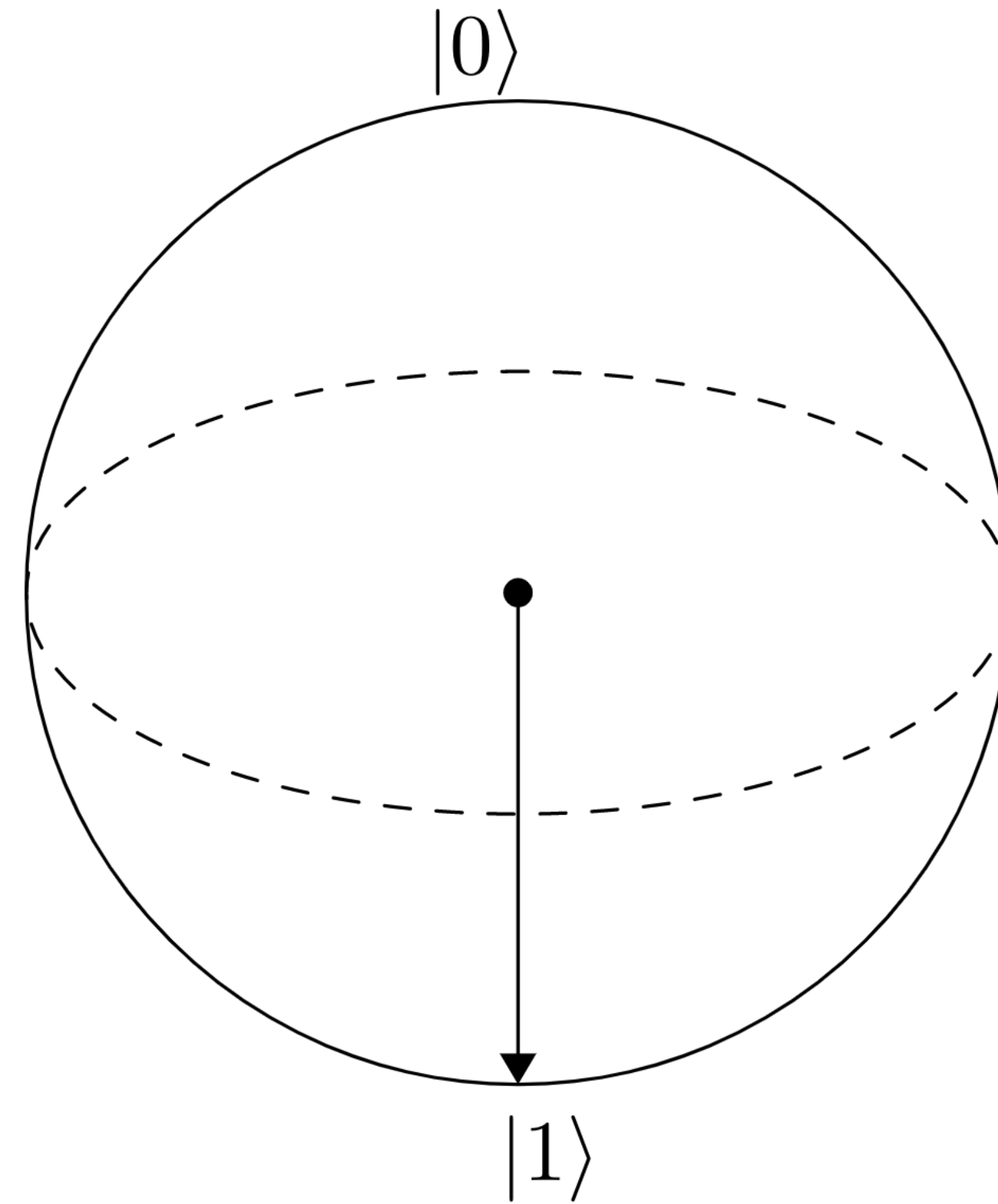
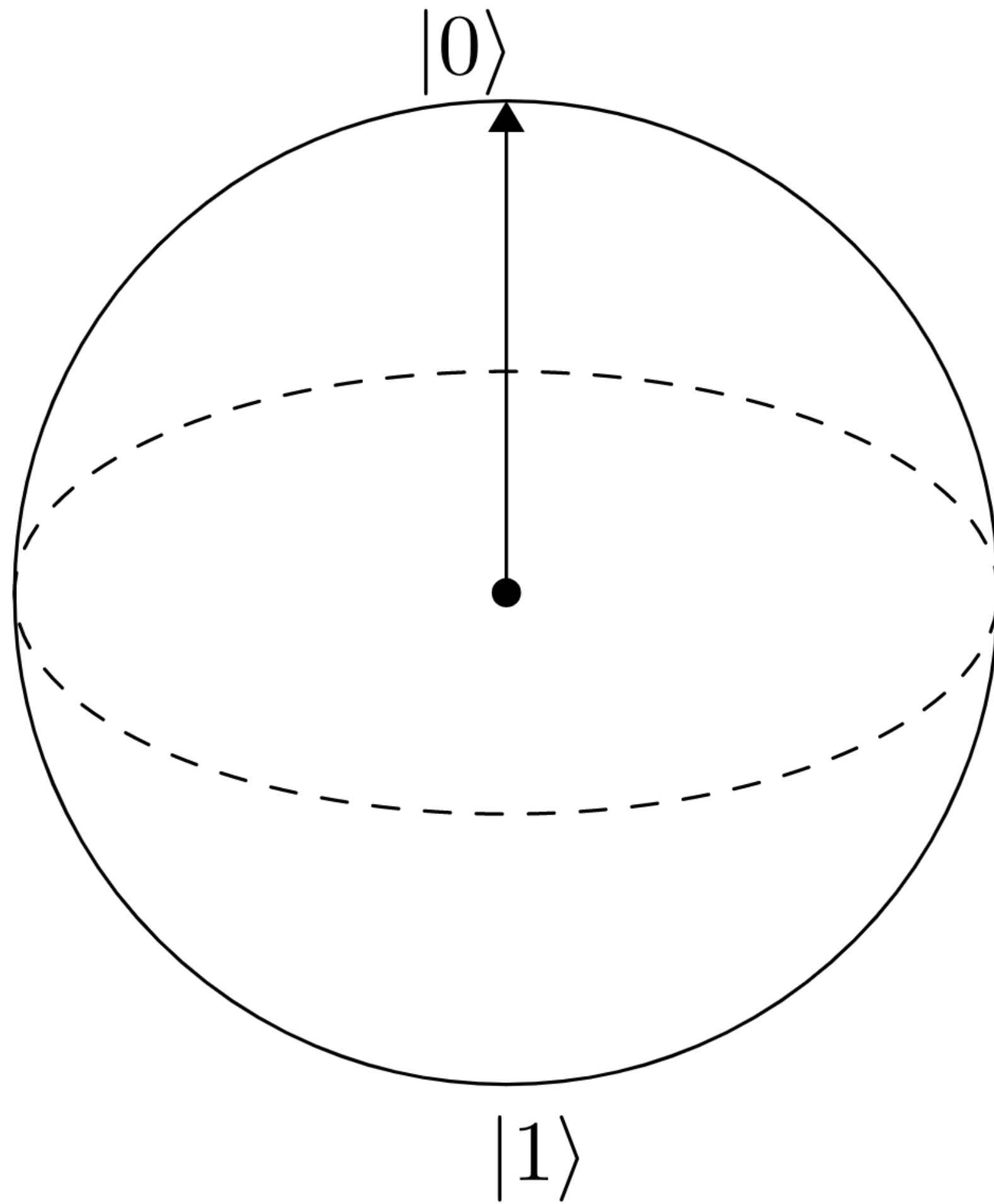
Die Bloch-Sphäre

0

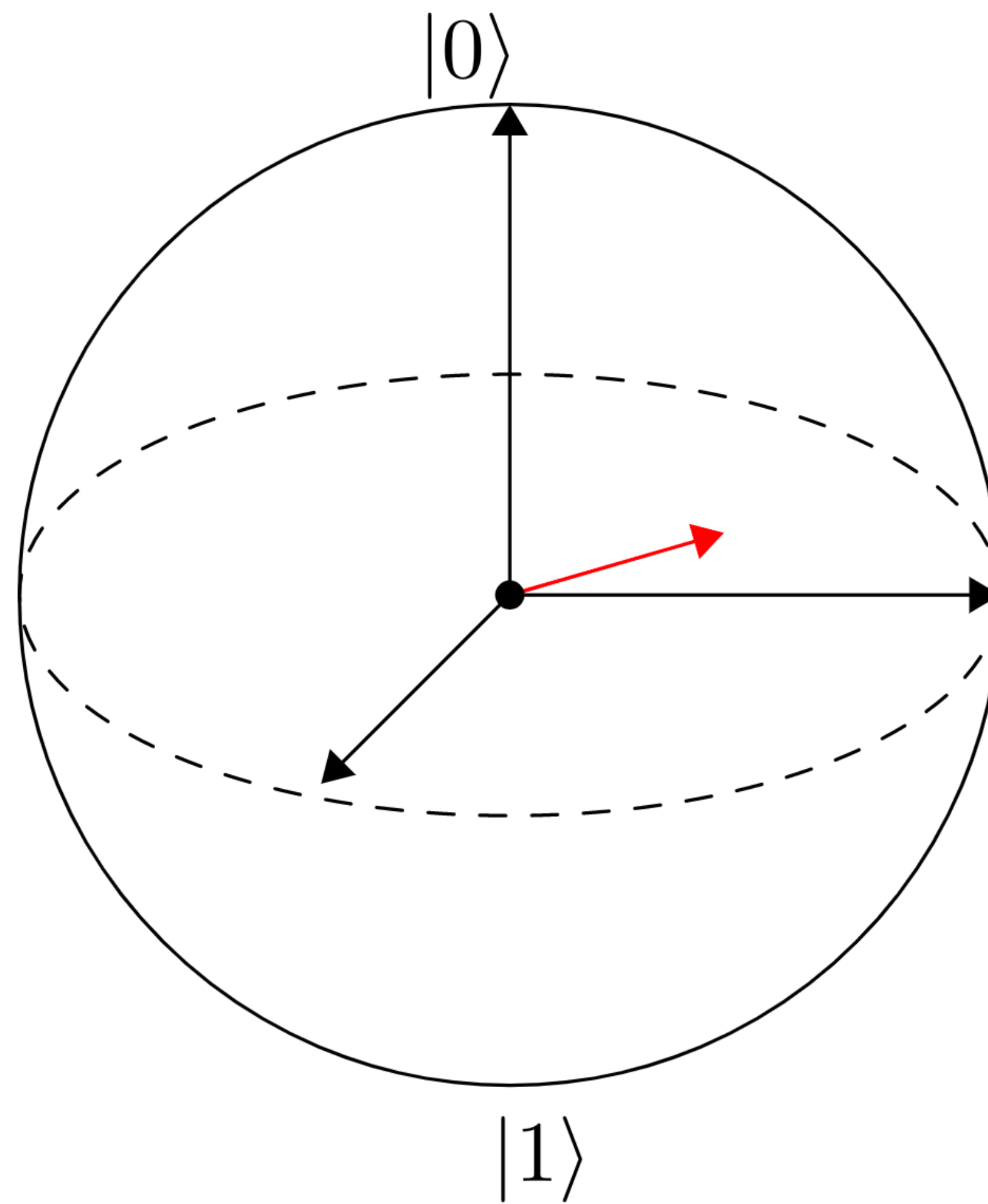
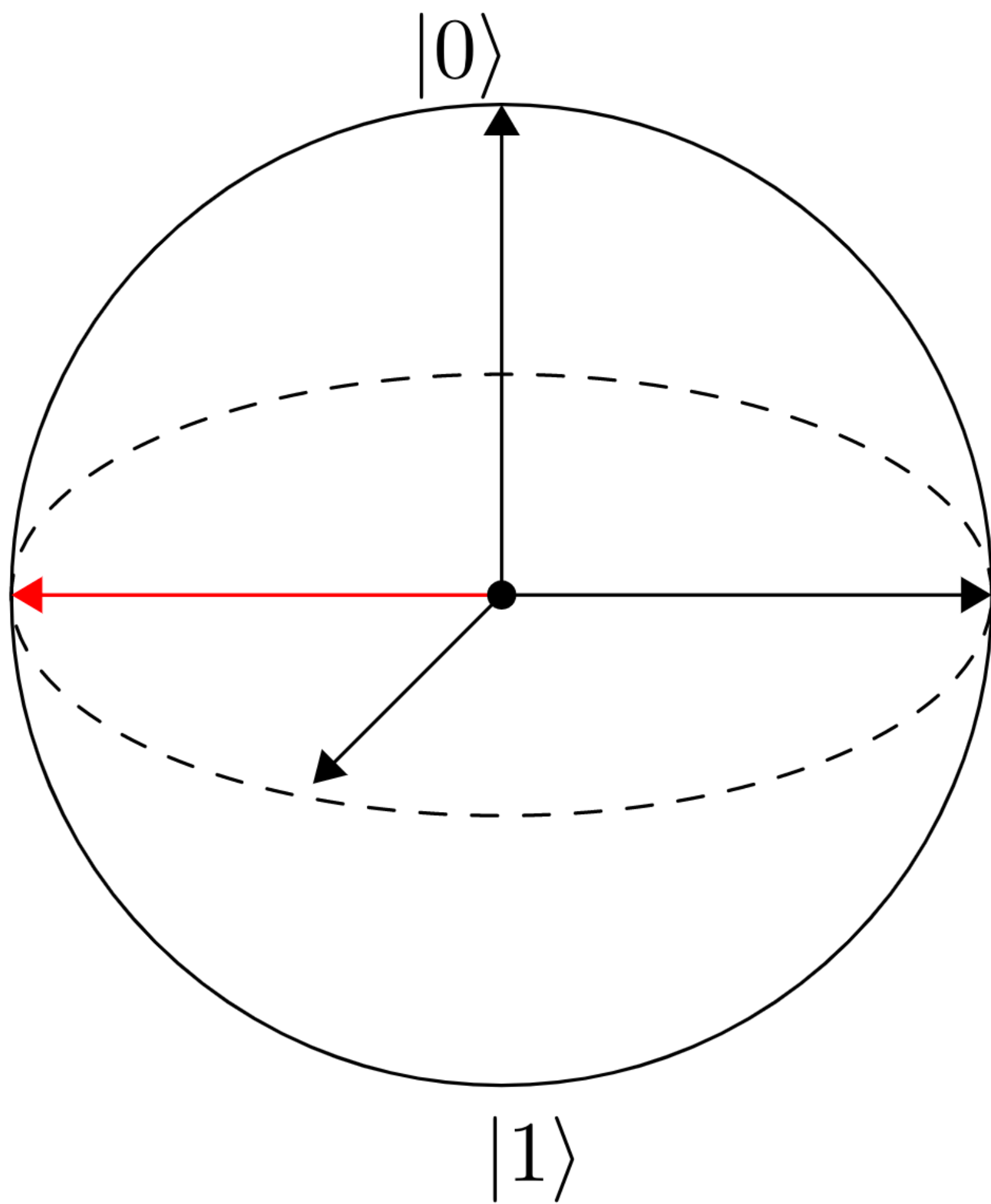


1

Die Bloch-Sphäre

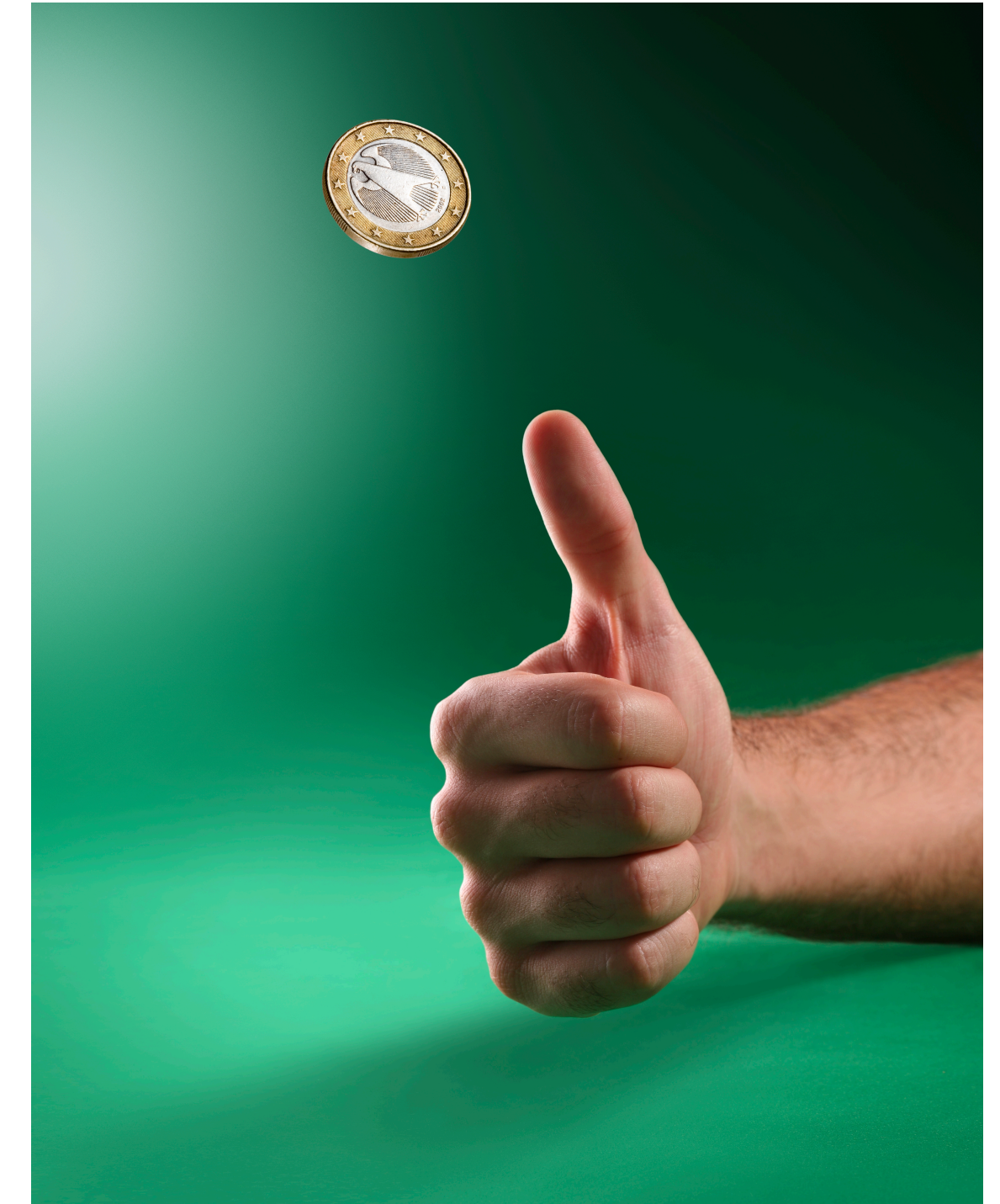


Die Bloch-Sphäre



Münzwurf

- Während des Wurfs:
Zustand = Kopf + Zahl



ICMA Photos, CC BY-SA 2.0

Superposition

- Das Qubit ist also in Zuständen $|0\rangle$ und $|1\rangle$ zu gleich: **Superposition**
- Das heißt ein Qubit trägt mehr Information als ein herkömmliches Bit.
- Der Quantencomputer gibt trotzdem nur ein Ergebnis aus.
- Das Qubit muss gemessen werden.

Messungen

- Eine Messung ist ein Eingriff in das System.
- Ein Qubit ist nach der Messung nicht mehr in Superposition.
- Eine einzelne Messung, sagt uns nicht in welchem Zustand das Qubit ist.
- Je mehr Messung, desto aussagekräftiger das Ergebnis.
- Ergebnisse werden als klassische Bits gespeichert.

Quantensuperposition

- Ein Qubit ist in den Zuständen $|0\rangle$ und $|1\rangle$ zugleich: Superposition.
- $\psi = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$
- Es gilt $\alpha^2 + \beta^2 = 1$ und α und β nennen wir Amplituden.
- Das Qubit im Zustand ψ muss gemessen werden.
- 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

	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$



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.

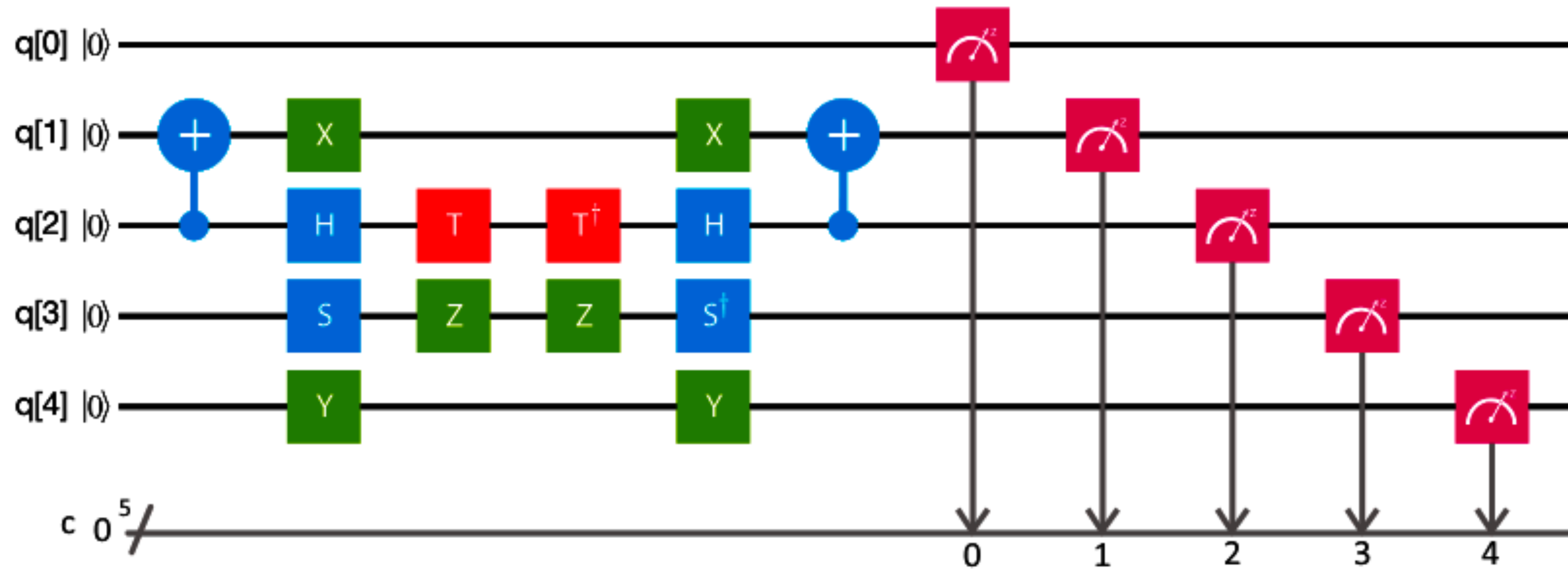
$$\Phi = (a|0\rangle + b|1\rangle)(c|0\rangle + d|1\rangle)$$

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

Verschränkung

- Zwei (oder mehr) Objekte sind nicht unabhängig voneinander, obwohl räumlich getrennt.
- Albert Einstein: „spukhafte Fernwirkung“
- $\psi = a |00\rangle + b |11\rangle$

Quantenschaltung



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

Quantengatter

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

NOT-Gatter

$|0\rangle$

$|1\rangle$



$|1\rangle$

$|0\rangle$

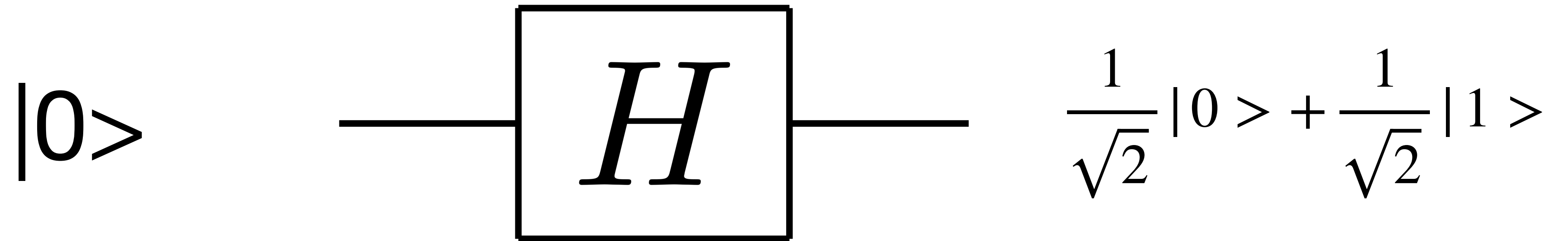
NOT-Gatter

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



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

Hadamard-Gatter



IBM Quantum Composer

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

NOT und Hadamard Gatter

Erstelle folgende Superpositionen mit Hilfe der NOT und Hadamard Gatter:

- $\psi = |111\rangle$

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

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

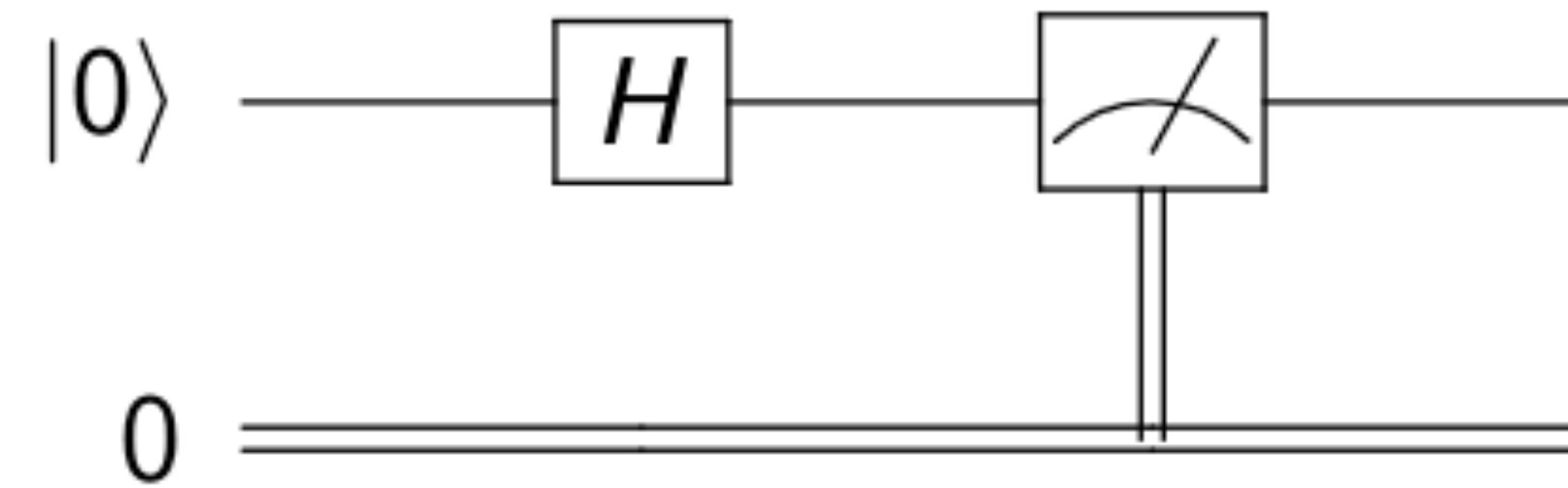
- $\psi = \frac{1}{\sqrt{8}}|000\rangle + \frac{1}{\sqrt{8}}|001\rangle + \frac{1}{\sqrt{8}}|010\rangle + \frac{1}{\sqrt{8}}|011\rangle + \frac{1}{\sqrt{8}}|100\rangle + \frac{1}{\sqrt{8}}|101\rangle + \frac{1}{\sqrt{8}}|110\rangle + \frac{1}{\sqrt{8}}|111\rangle$

Münzwurf

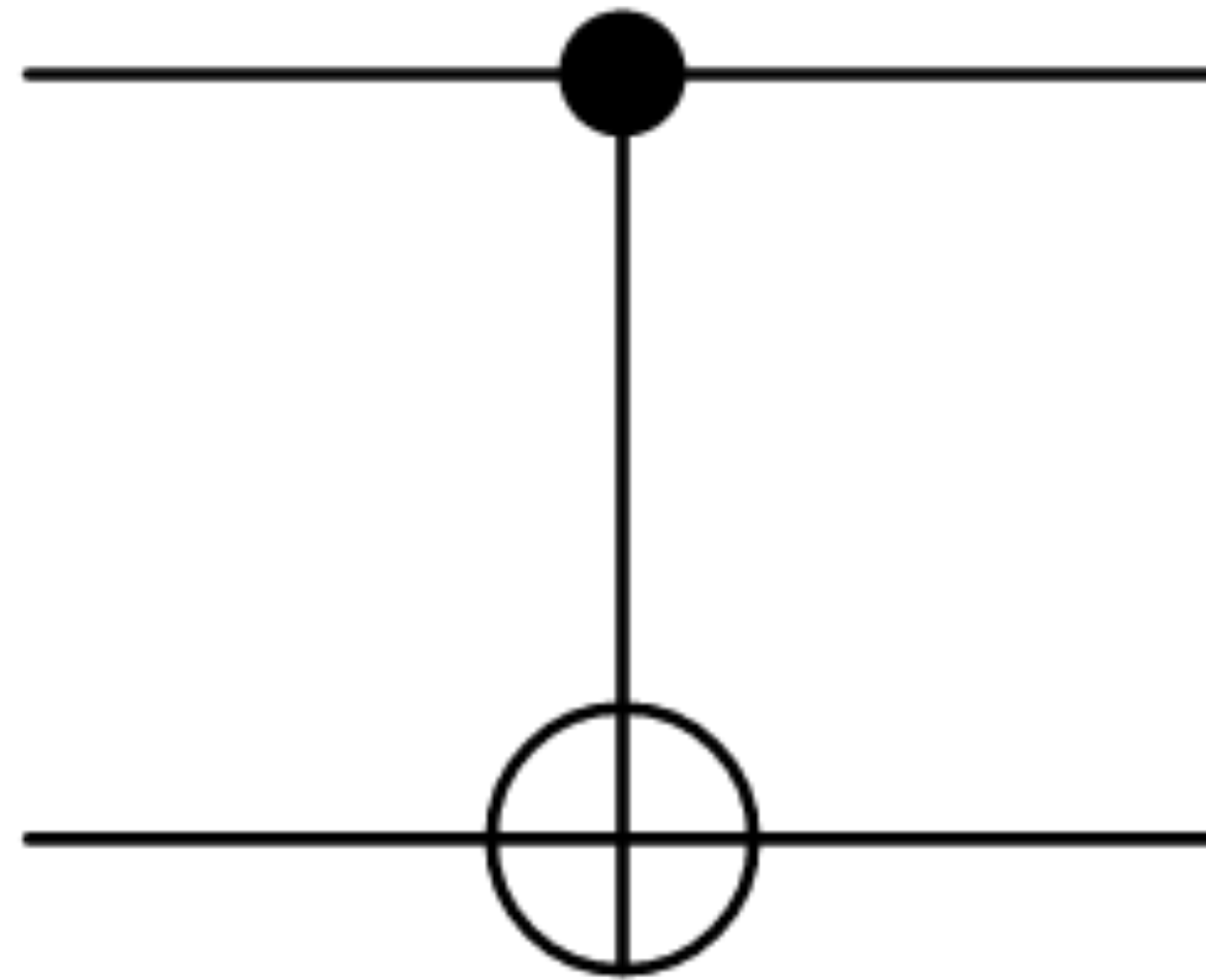
	Qubit
Anfangszustand	$ 0\rangle$
Superposition	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$ $= \frac{1}{\sqrt{2}} 0\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} 1\rangle$
Messung	$ 1\rangle$

Münzwurf

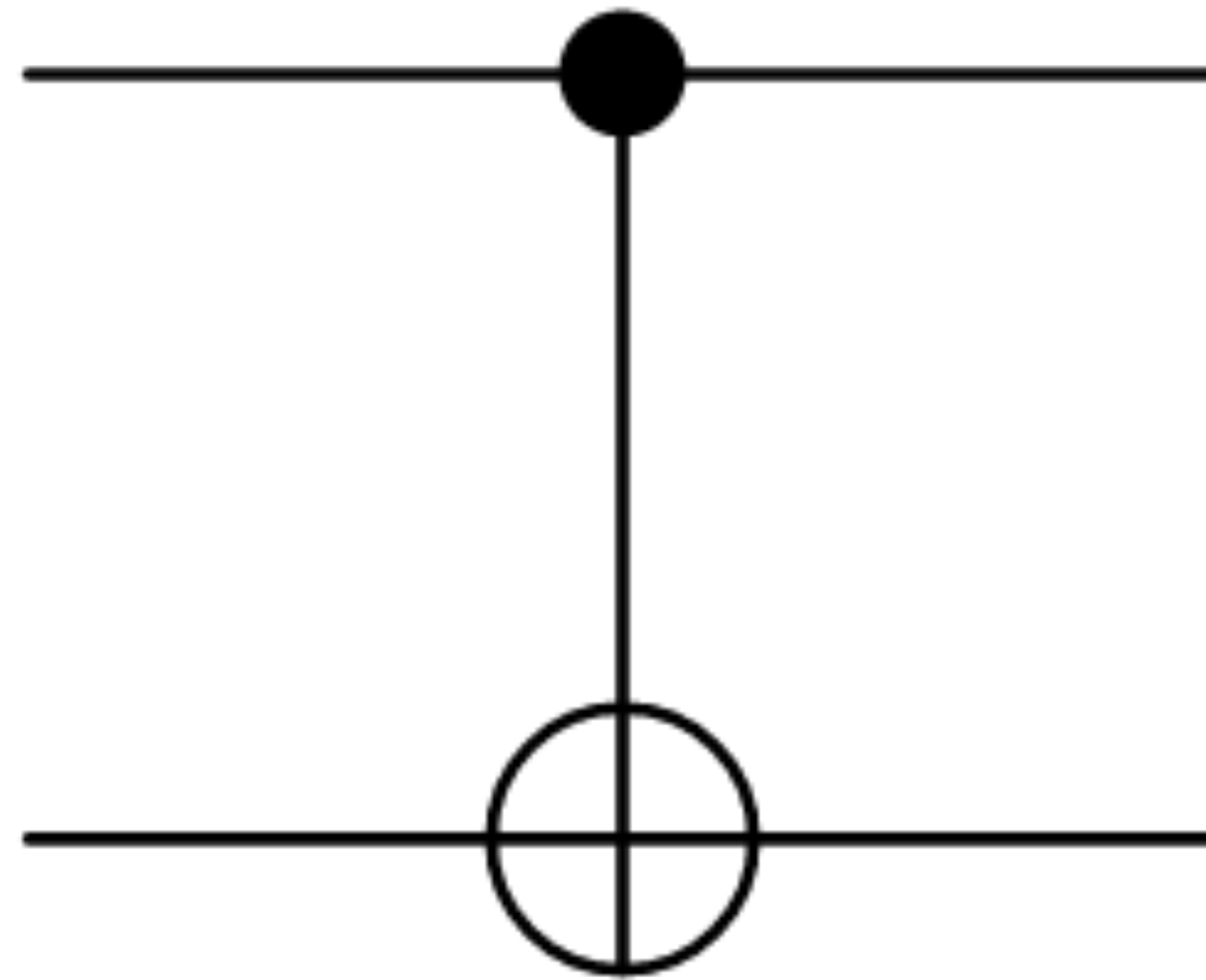
	Qubit
Anfangszustand	$ 0\rangle$
Superposition	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$ $= \frac{1}{\sqrt{2}} 0\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} 1\rangle$
Messung	$ 1\rangle$



CNOT-Gatter



CNOT-Gatter



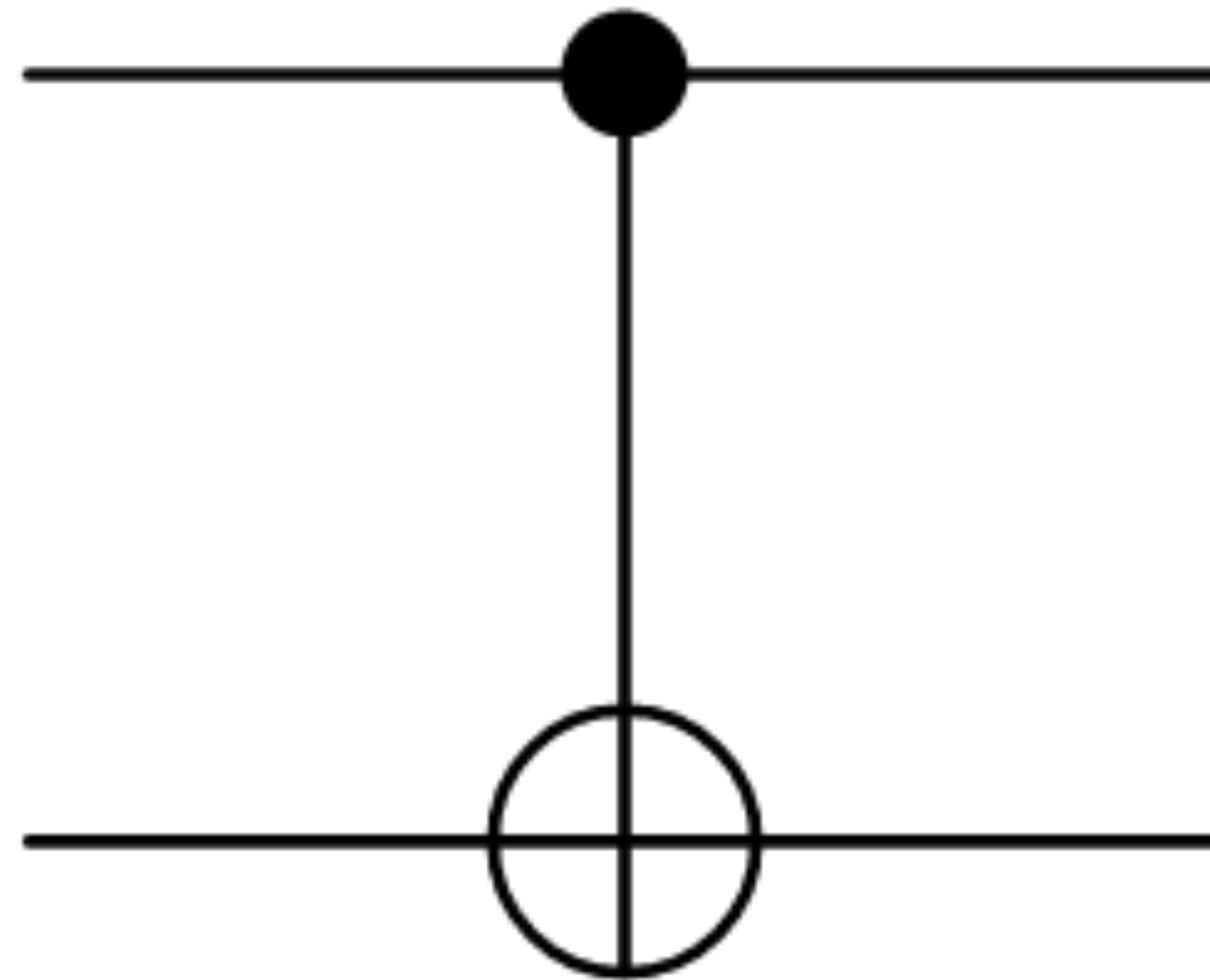
CNOT-Gatter

$|00\rangle$

$|01\rangle$

$|10\rangle$

$|11\rangle$



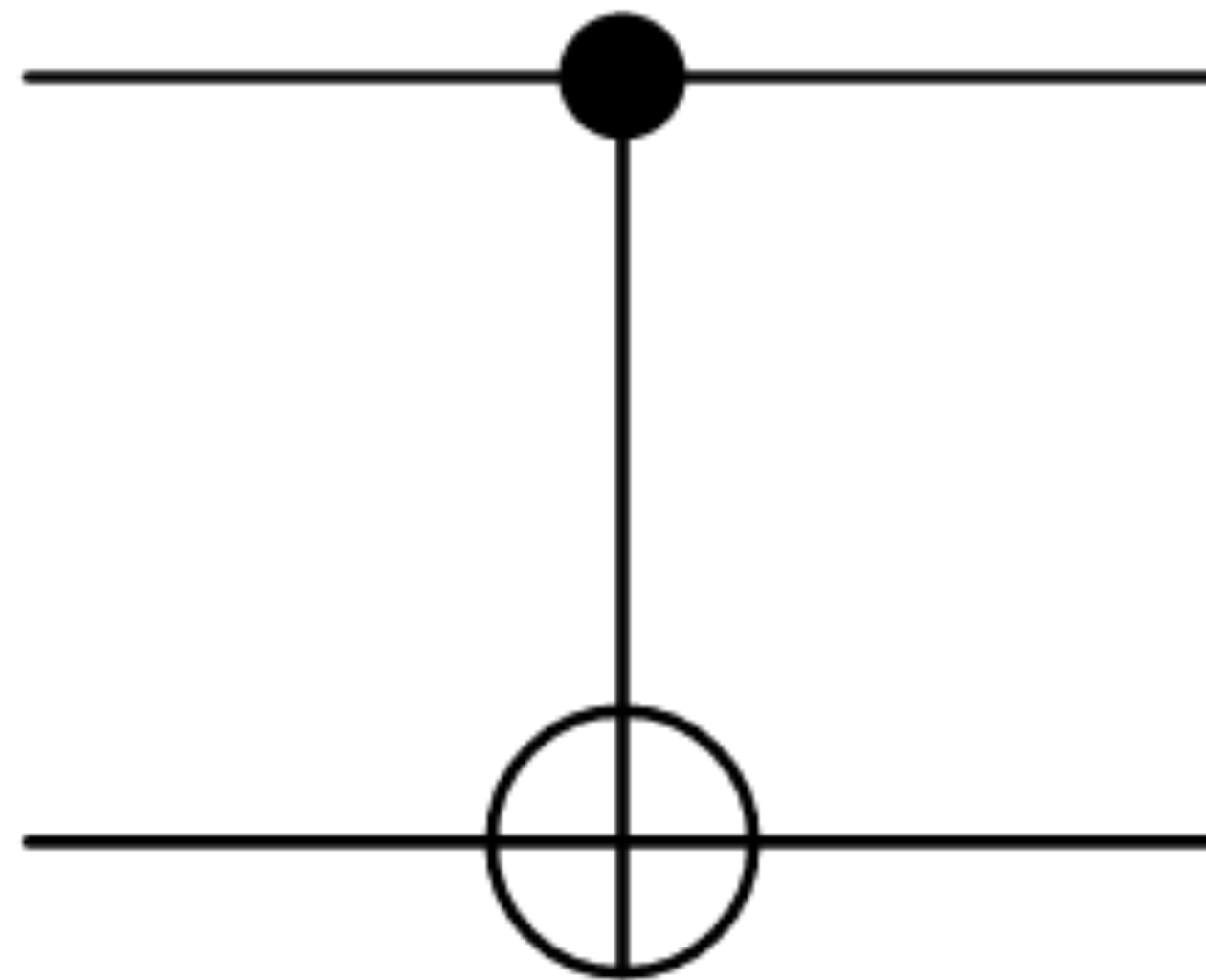
CNOT-Gatter

$|00\rangle$

$|01\rangle$

$|10\rangle$

$|11\rangle$



$|00\rangle$

$|01\rangle$

$|11\rangle$

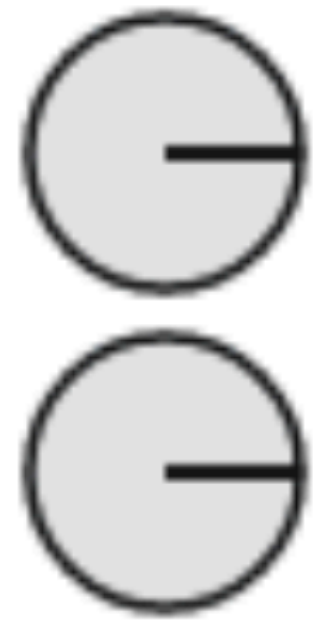
$|10\rangle$

Quantum Hello World

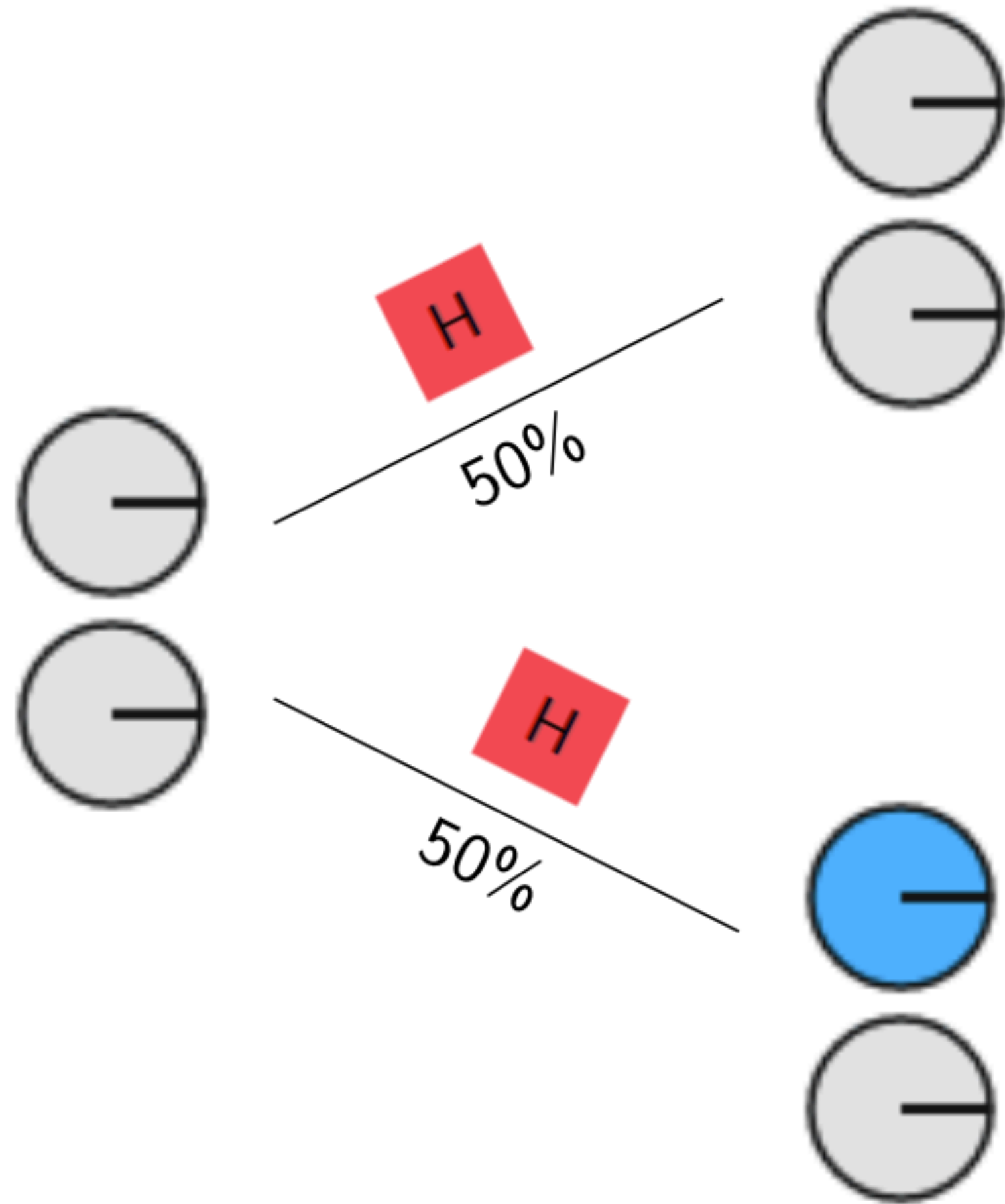
- Eine Quantenschaltung mit 2 Qubits
- Ein Hadamard-Gatter auf das erste Qubit
- Ein CNOT-Gatter mit dem ersten Qubit als Kontroll-Qubit

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

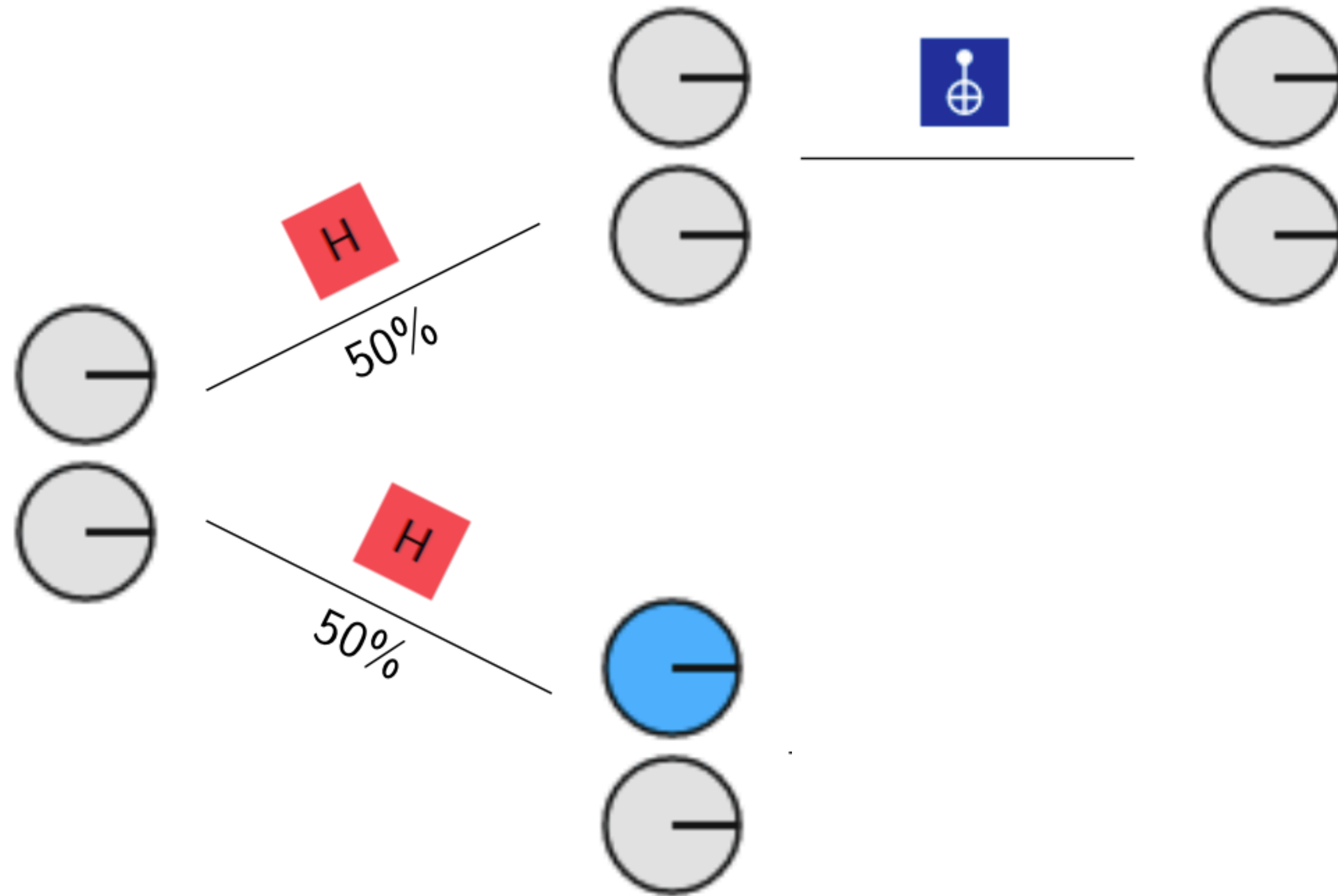
Quantum Hello World



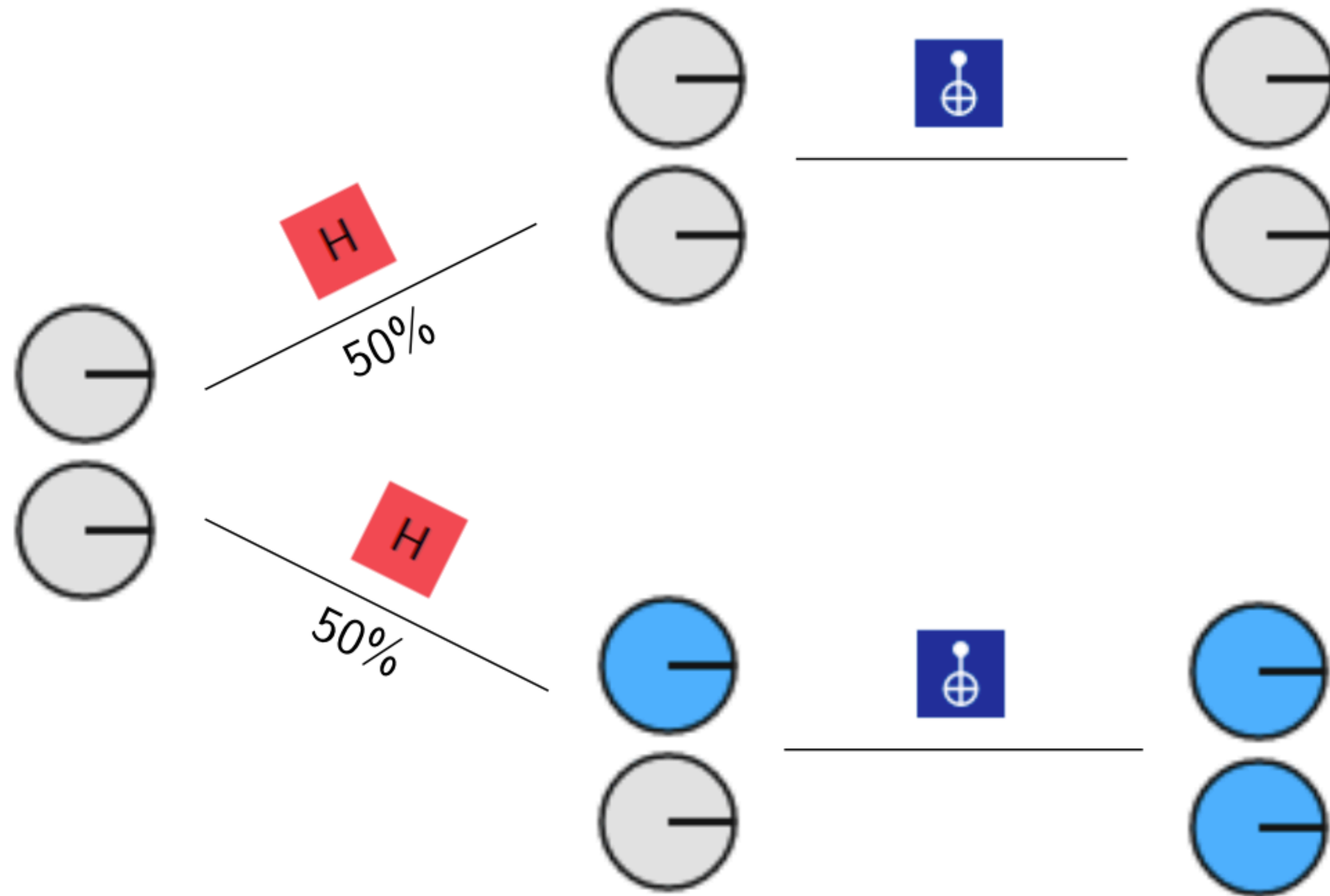
Quantum Hello World



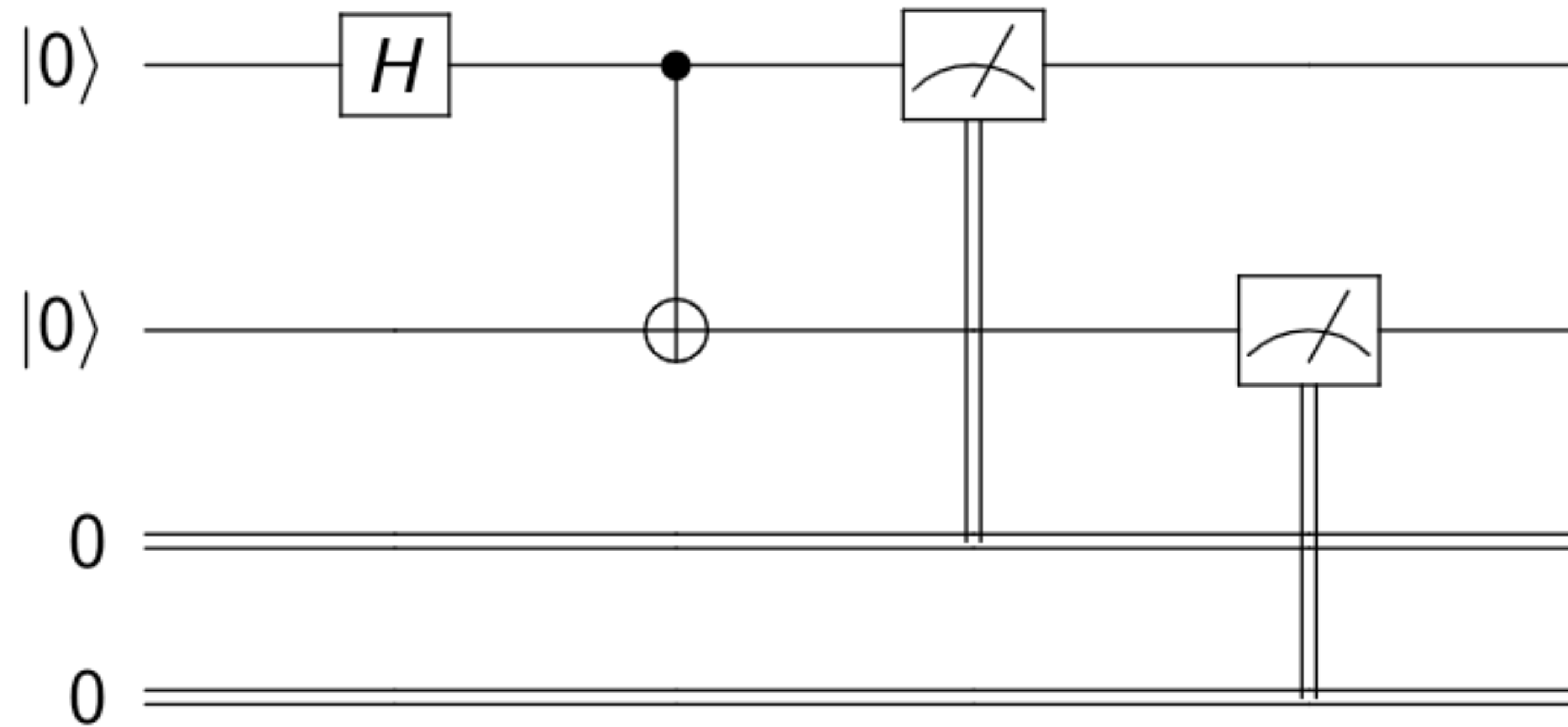
Quantum Hello World



Quantum Hello World



Quantum Hello World



NOT, CNOT und Hadamard Gatter

Erstelle folgende Superpositionen mit Hilfe der NOT, CNOT und Hadamard Gatter:

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

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

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

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

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