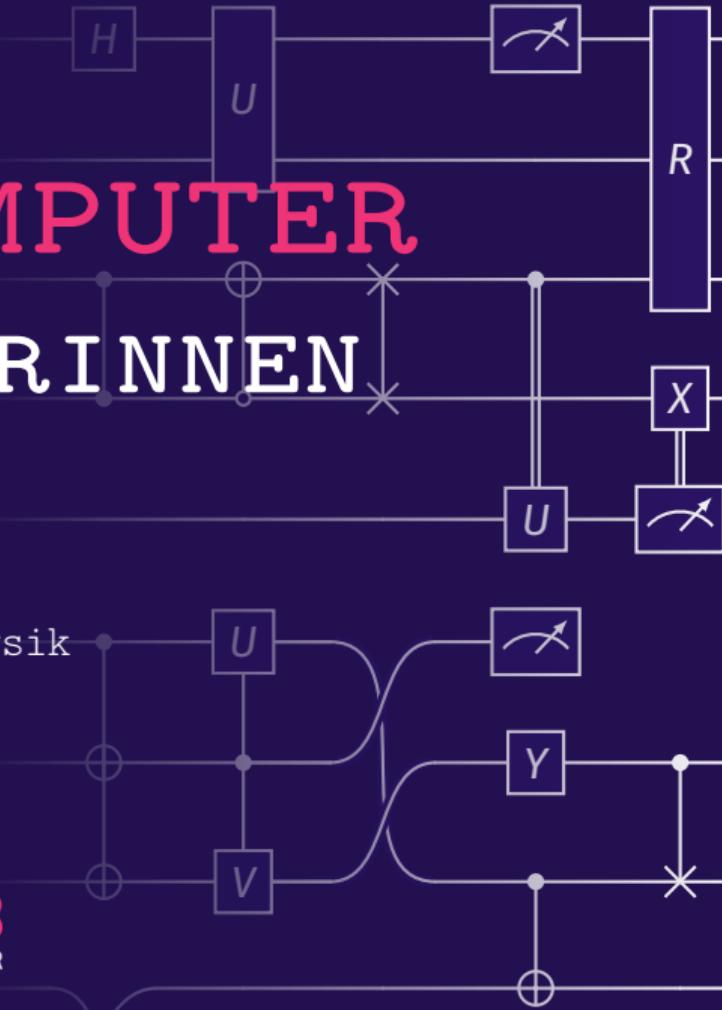




QUANTENCOMPUTER FÜR ANFÄNGERINNEN

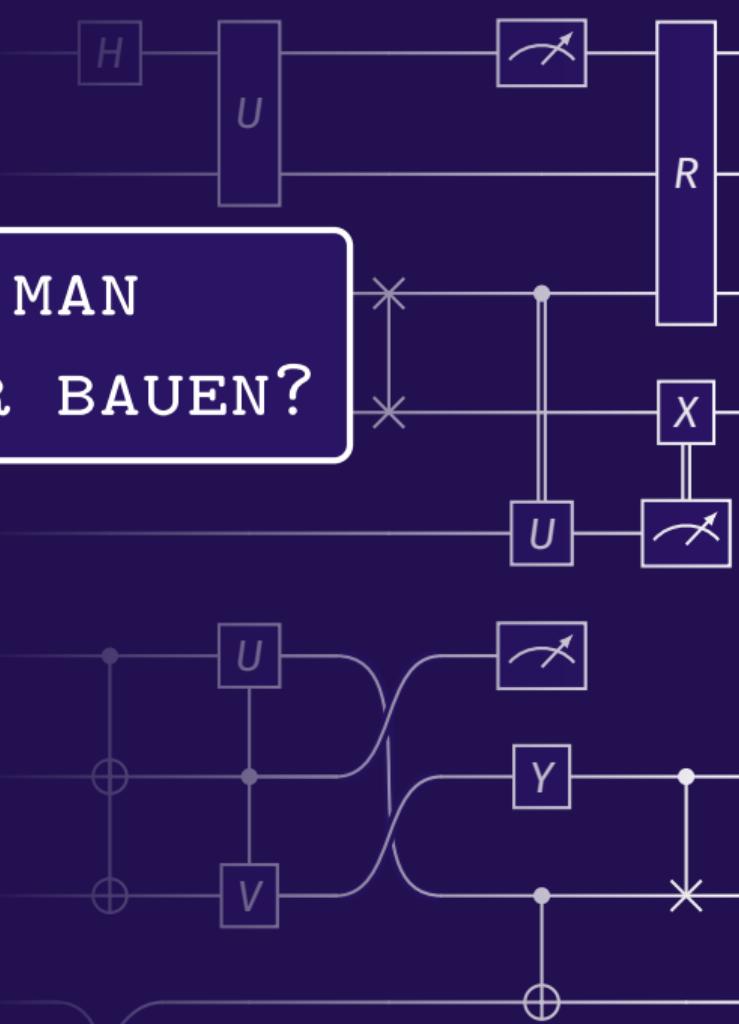
Christoph Berke
Institut für Theoretische Physik
Uni Köln

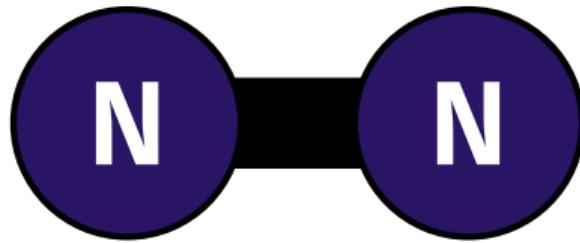
ML4Q

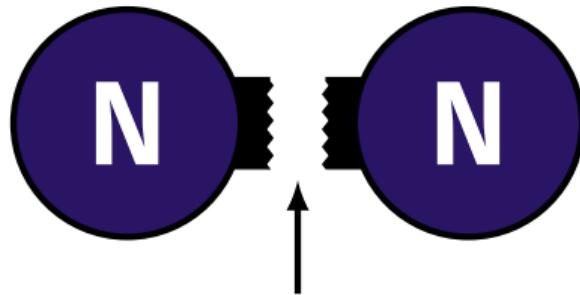




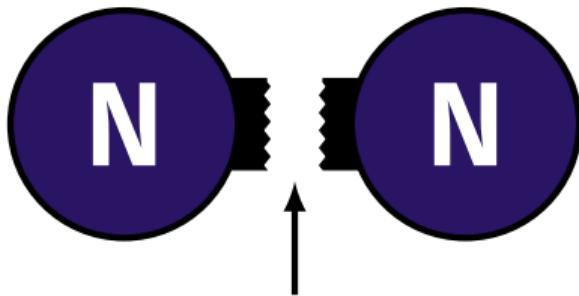
WARUM WILL MAN
QUANTENCOMPUTER BAUEN?







**3 % des weltweiten
Energieverbrauchs**



**3 % des weltweiten
Energieverbrauchs**

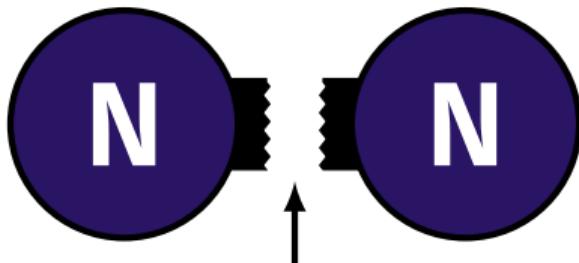


500°C



300 × Luftdruck





**3 % des weltweiten
Energieverbrauchs**



500 °C



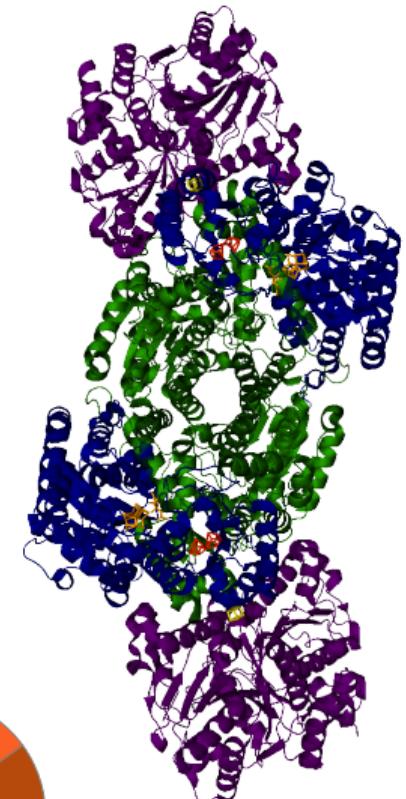
300 × Luftdruck

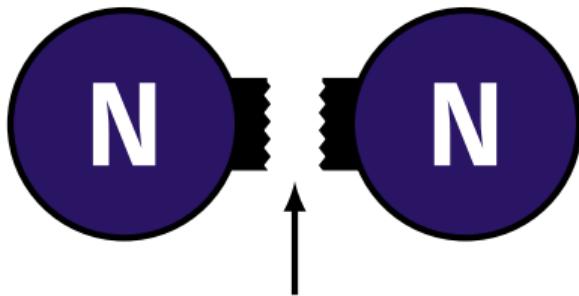


20 °C



Luftdruck





**3 % des weltweiten
Energieverbrauchs**



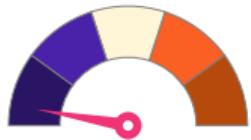
500°C



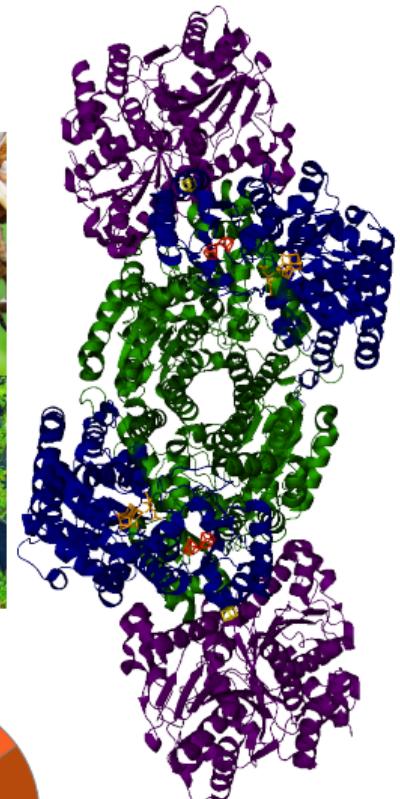
300 × Luftdruck

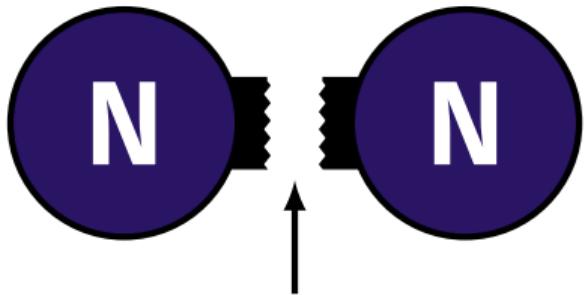


20°C



Luftdruck

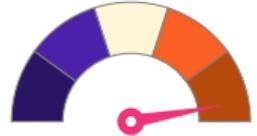




3 % des weltweiten
Energieverbrauchs

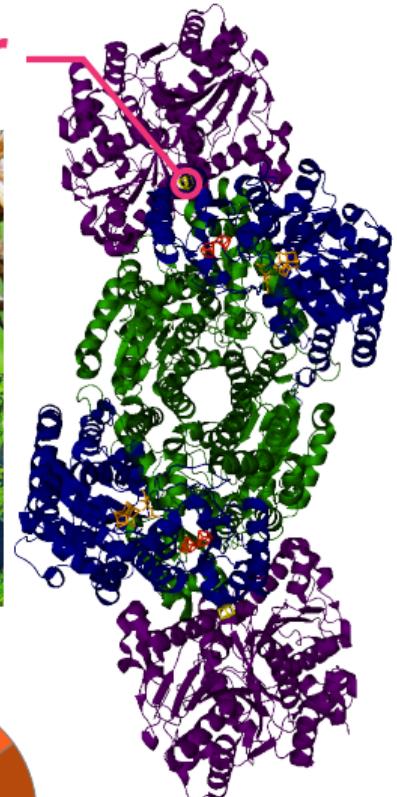
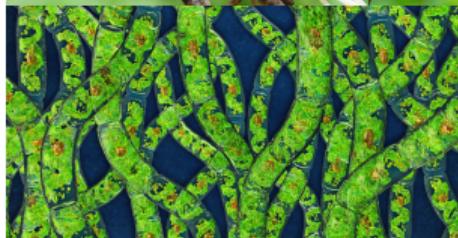


500 °C

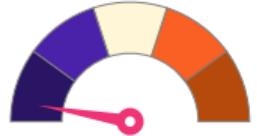


300 × Luftdruck

Supercomputer



20 °C



Luftdruck

Primzahlen

$$\downarrow \quad \downarrow$$
$$7 \cdot 5$$

Primzahlen



$$7 \cdot 5 = 35$$



Primzahlen

$$\begin{array}{l} \downarrow \quad \downarrow \\ 7 \cdot 5 = 35 \end{array}$$
$$35 = ? \cdot ?$$

Primzahlen

$$\downarrow \quad \downarrow$$
$$7 \cdot 5 = 35 \quad \checkmark$$

$$35 = ? \cdot ? \quad \checkmark$$

$$9437 \cdot 4603 = 43438511 \quad \checkmark$$

$$43438511 = ? \cdot ? \quad \times$$

Primzahlen

$$\downarrow \quad \downarrow$$
$$7 \cdot 5 = 35 \quad \checkmark$$

$$35 = ? \cdot ? \quad \checkmark$$

$$9437 \cdot 4603 = 43438511 \quad \checkmark$$
$$43438511 = ? \cdot ? \quad \times$$

Kryptographie



Primzahlen

$$\downarrow \quad \downarrow$$
$$7 \cdot 5 = 35 \quad \checkmark$$

$$35 = ? \cdot ? \quad \checkmark$$

$$9437 \cdot 4603 = 43438511 \quad \checkmark$$

$$43438511 = ? \cdot ? \quad \times$$

Kryptographie



Computer: 300 000 000 000 000 Jahre

Primzahlen

$$7 \cdot 5 = 35 \quad \checkmark$$

$$35 = ? \cdot ? \quad \checkmark$$

$$9437 \cdot 4603 = 43438511 \quad \checkmark$$

$$43438511 = ? \cdot ? \quad \times$$

Kryptographie



heute

Rechnung geschafft



Zeit

Computer: 300 000 000 000 Jahre

Primzahlen

$$\begin{array}{ccc} \downarrow & \downarrow \\ 7 \cdot 5 = 35 & & \checkmark \\ 35 = ? \cdot ? & & \checkmark \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} 9437 \cdot 4603 = 43438511 & & \checkmark \\ 43438511 = ? \cdot ? & \times \end{array}$$

Kryptographie



heute Ende der Welt



Rechnung geschafft



Computer: 300 000 000 000 Jahre

Primzahlen

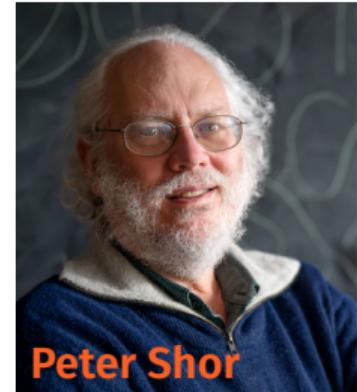
$$7 \cdot 5 = 35 \quad \checkmark$$

$$35 = ? \cdot ? \quad \checkmark$$

$$9437 \cdot 4603 = 43438511 \quad \checkmark$$

$$43438511 = ? \cdot ? \quad \times$$

Kryptographie



Peter Shor

heute Ende der Welt

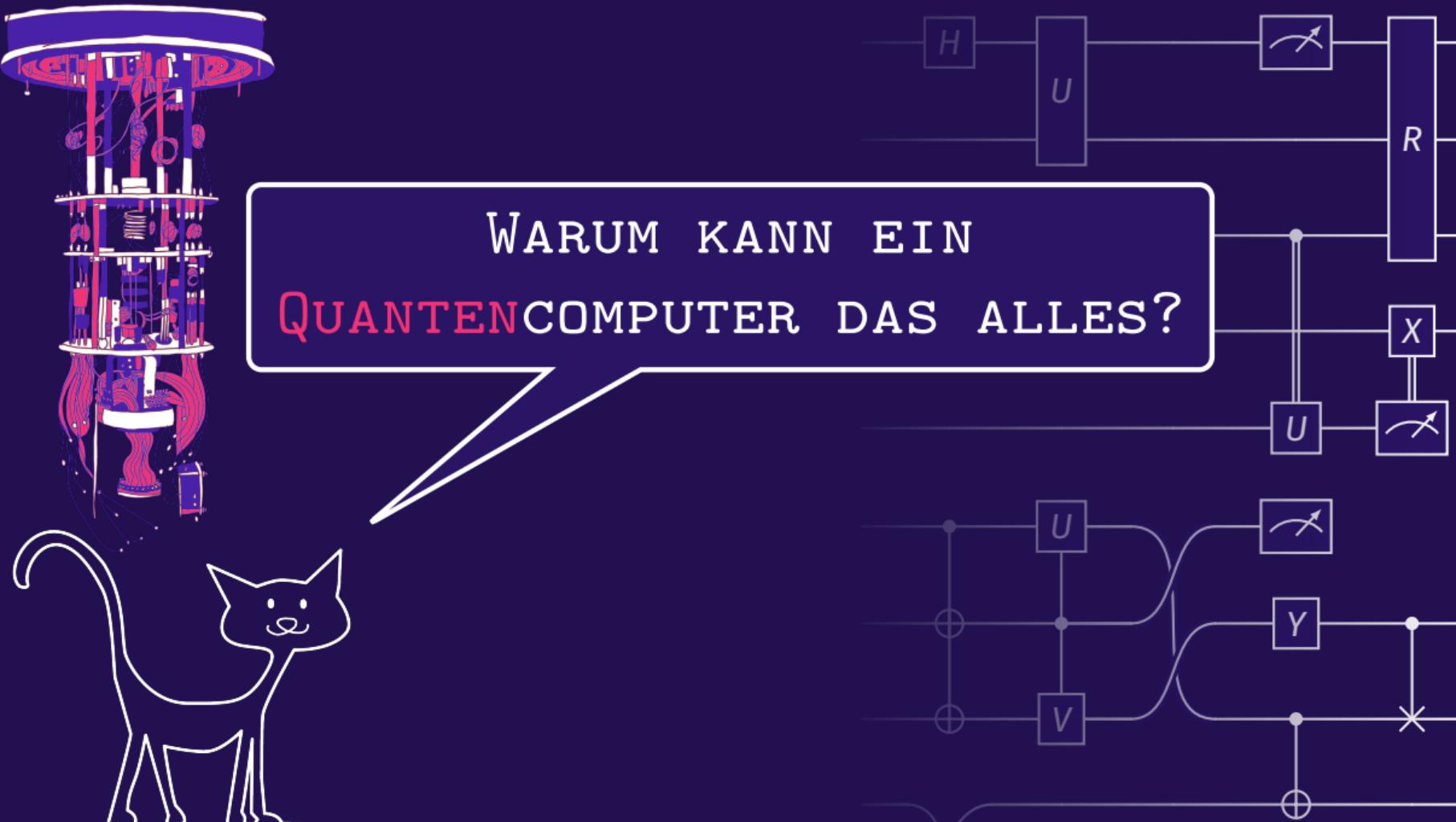


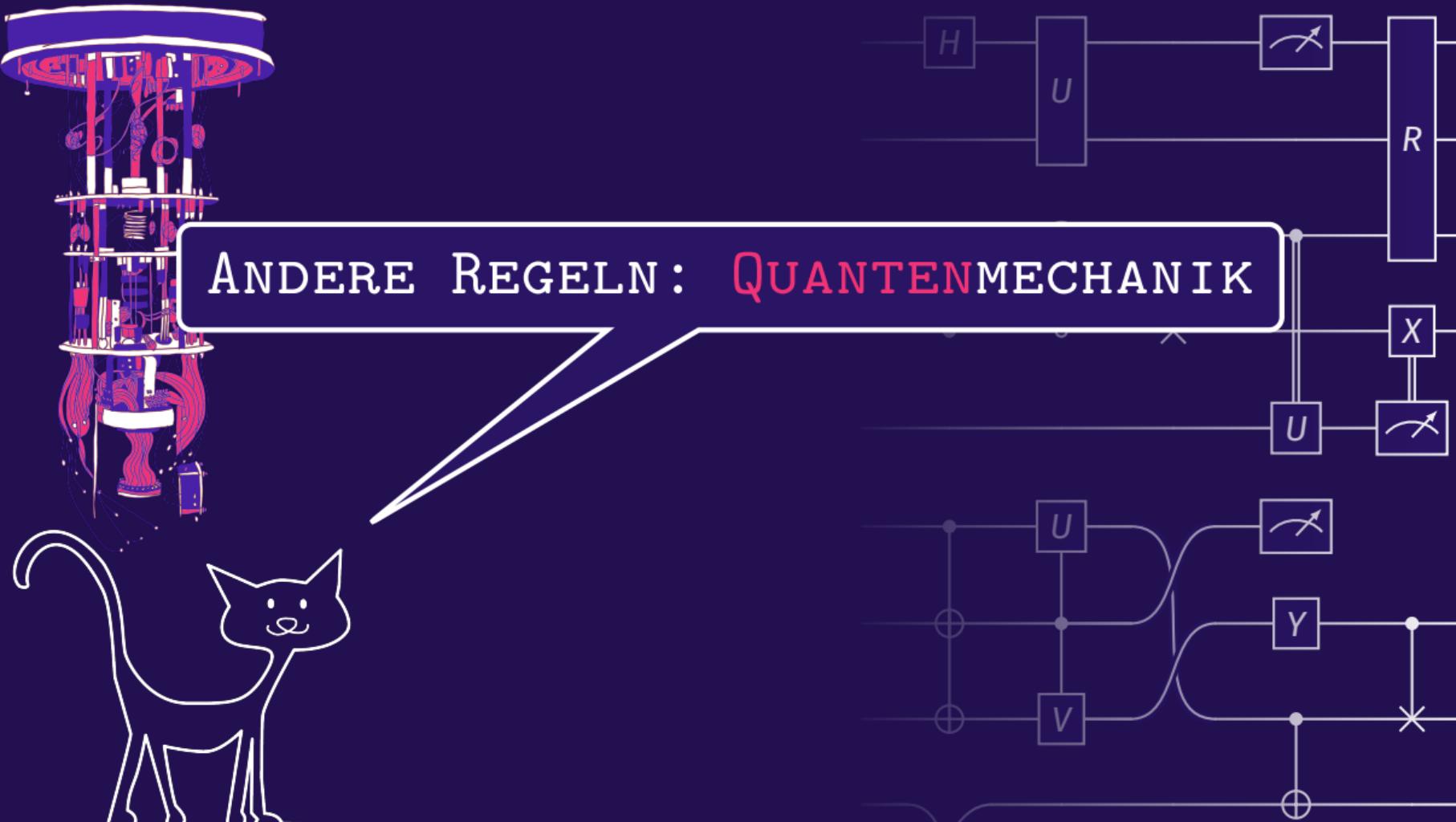
Rechnung geschafft



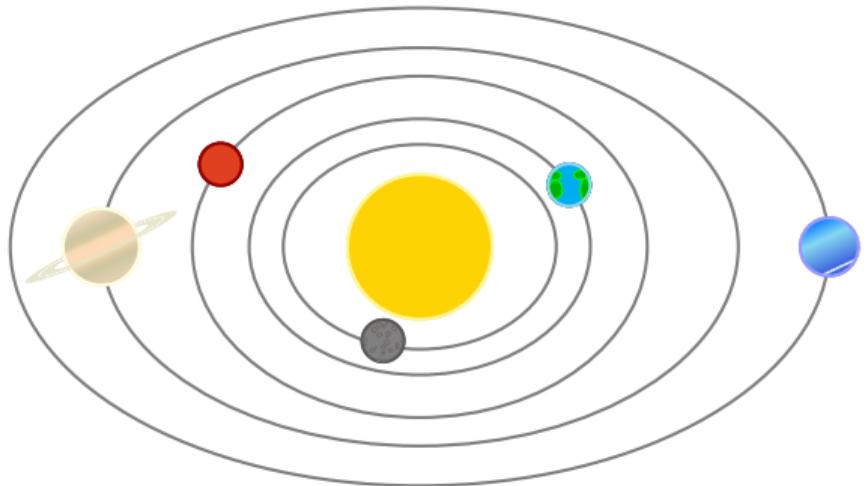
Computer: 300 000 000 000 000 Jahre

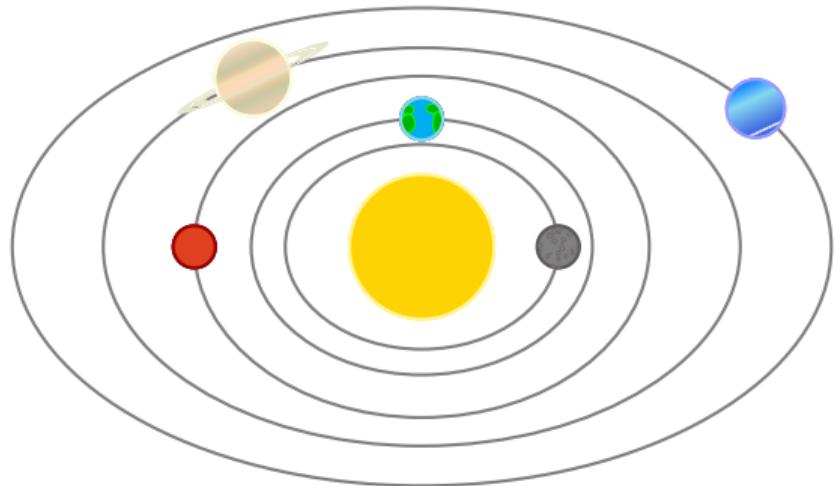
Quantencomputer & Algorithmus von Shor:
10 Sekunden bis mehrere Stunden

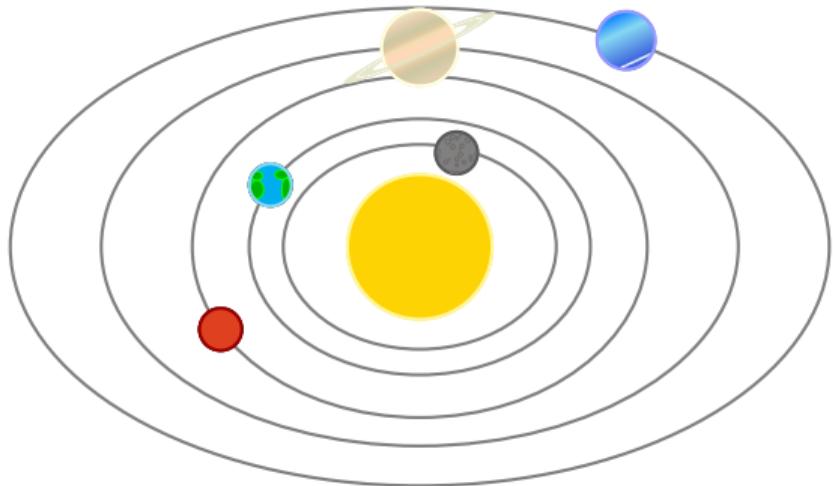




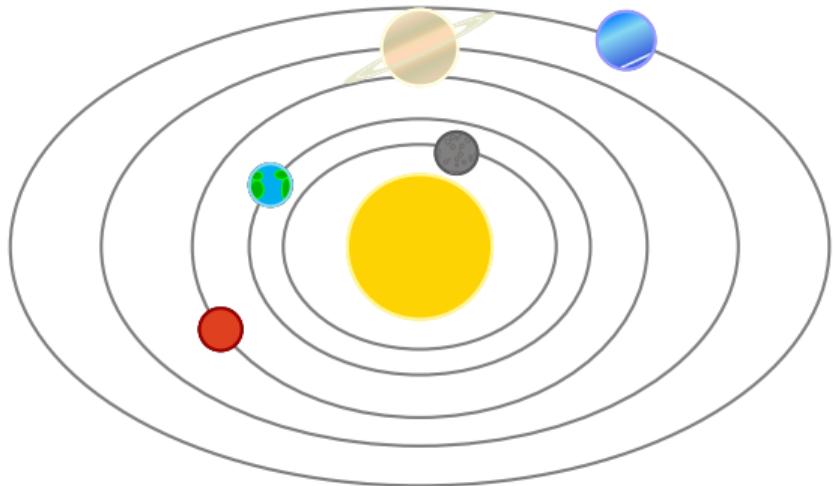
ANDERE REGELN: QUANTENMECHANIK





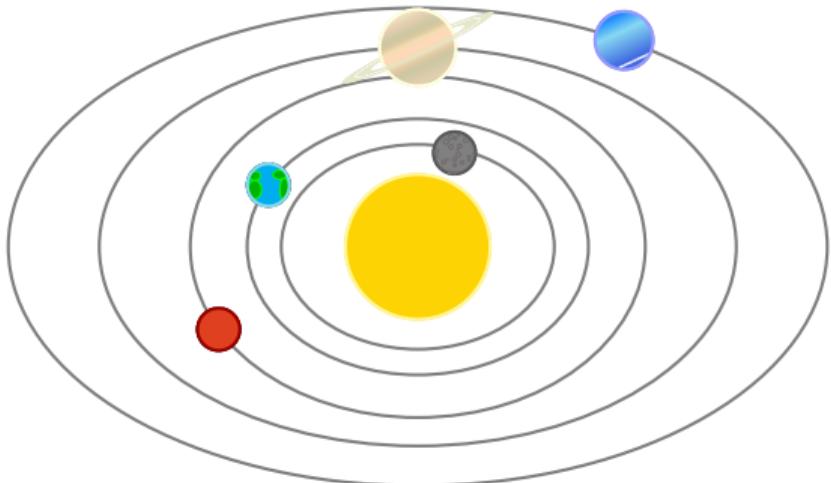


Klassische Mechanik



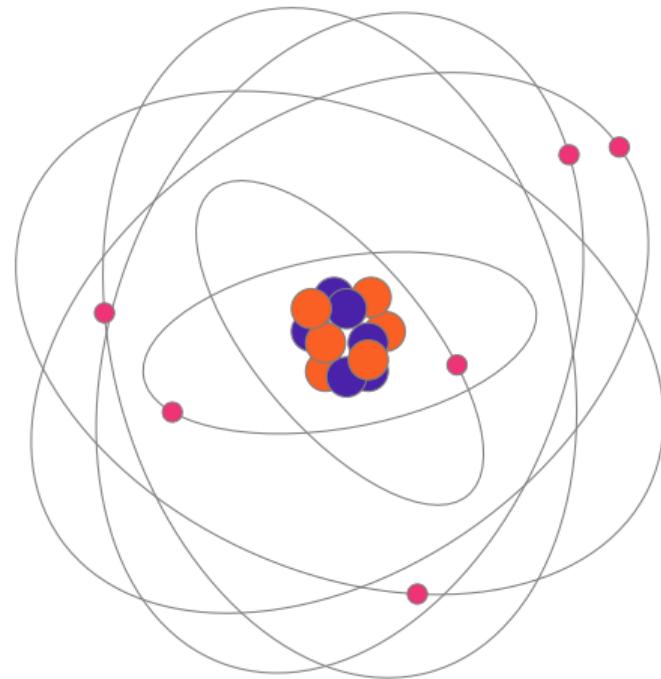
50 000 000 000 km

Klassische Mechanik



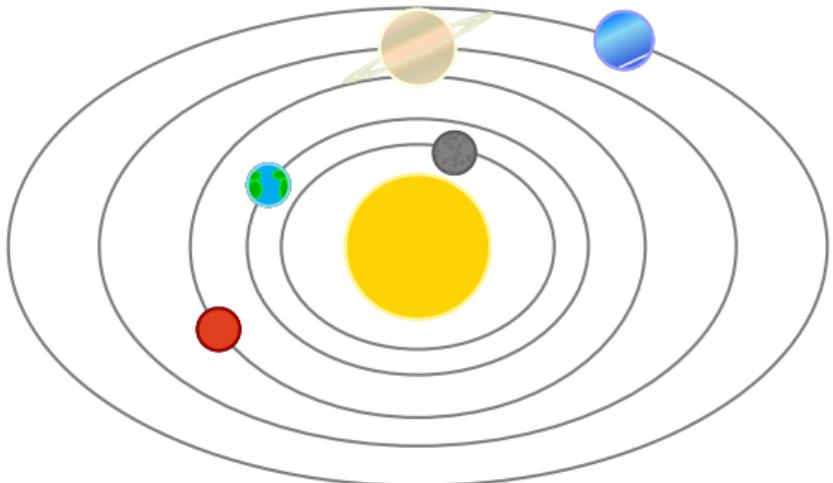
50 000 000 000 km

Klassische Mechanik



0.000 000 000 1 m

Klassische Mechanik



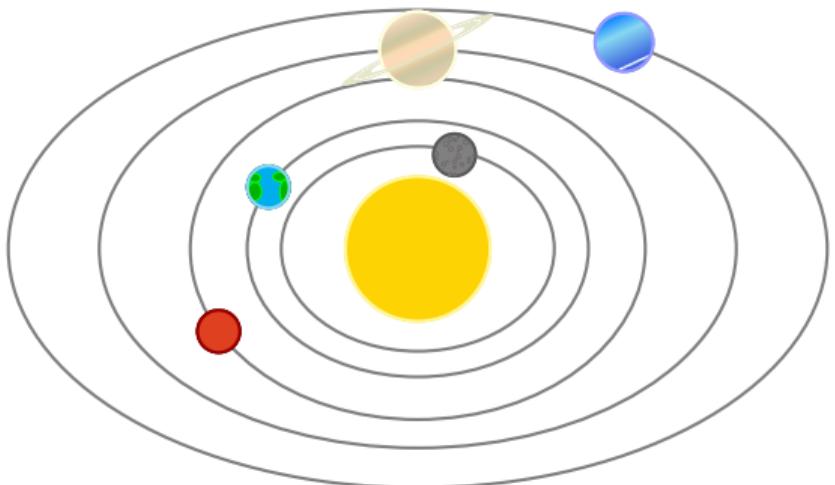
50 000 000 000 km

Klassische Mechanik



0.000 000 000 1 m

Klassische Mechanik



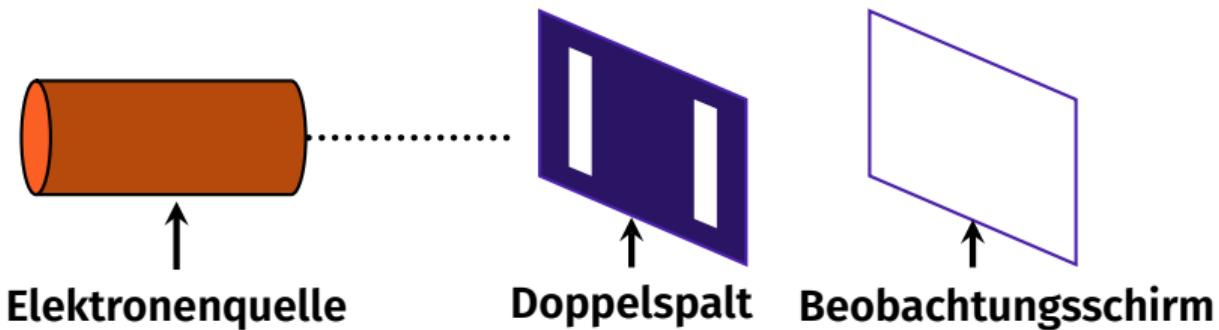
50 000 000 000 km

~~Klassische Mechanik~~ Quantenmechanik!

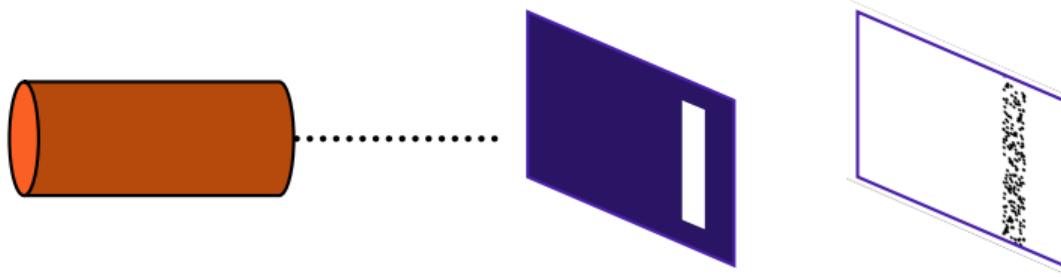


0.000 000 000 1 m

Das Herz der Quantenmechanik:



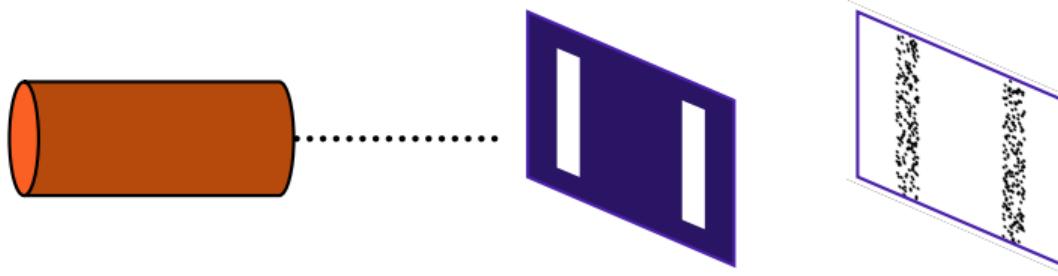
Das Herz der Quantenmechanik:



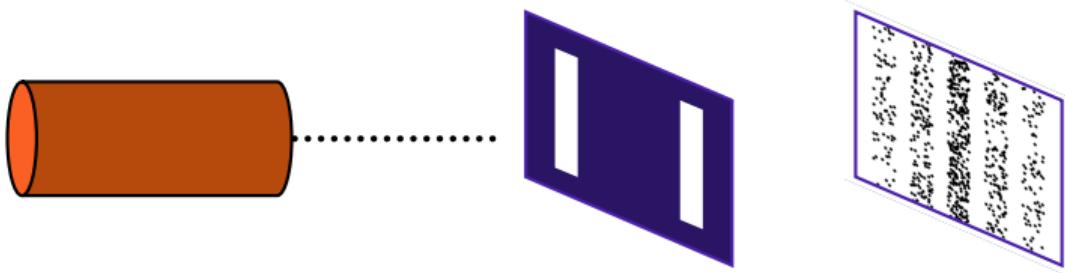
Das Herz der Quantenmechanik:



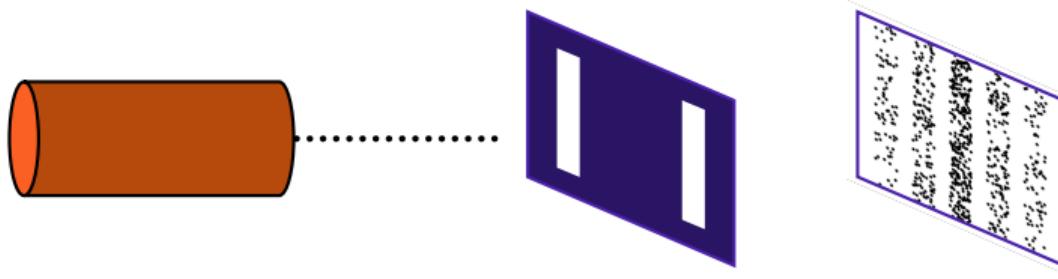
Das Herz der Quantenmechanik:



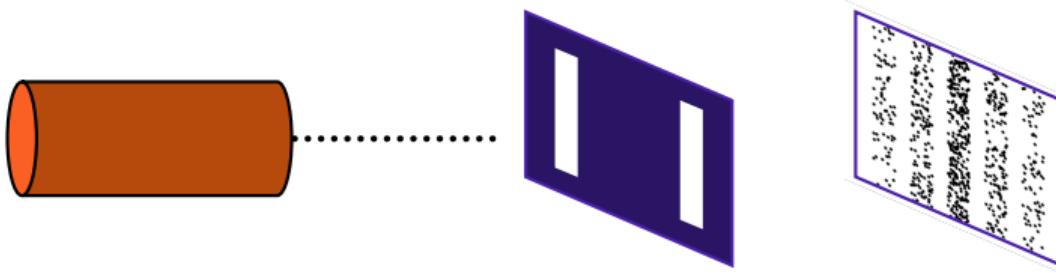
Das Herz der Quantenmechanik:



Das Herz der Quantenmechanik: Superposition



Das Herz der Quantenmechanik: Superposition



Etwas exotischer:



Das Herz der Quantenmechanik: Superposition



Etwas exotischer:



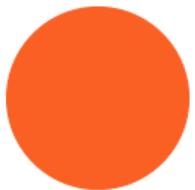
Noch exotischer:

klassische Bits

1 (Strom an)



0 (Strom aus)



klassische Bits

1 (Strom an)



0 (Strom aus)



Quantenbits

1



0



klassische Bits

1 (Strom an)



0 (Strom aus)



Quantenbits

1



gleichzeitig
0 und 1

=  + 



0



1 €



1 €



Computer
spielt





Computer
spielt



Ich





Computer
spielt



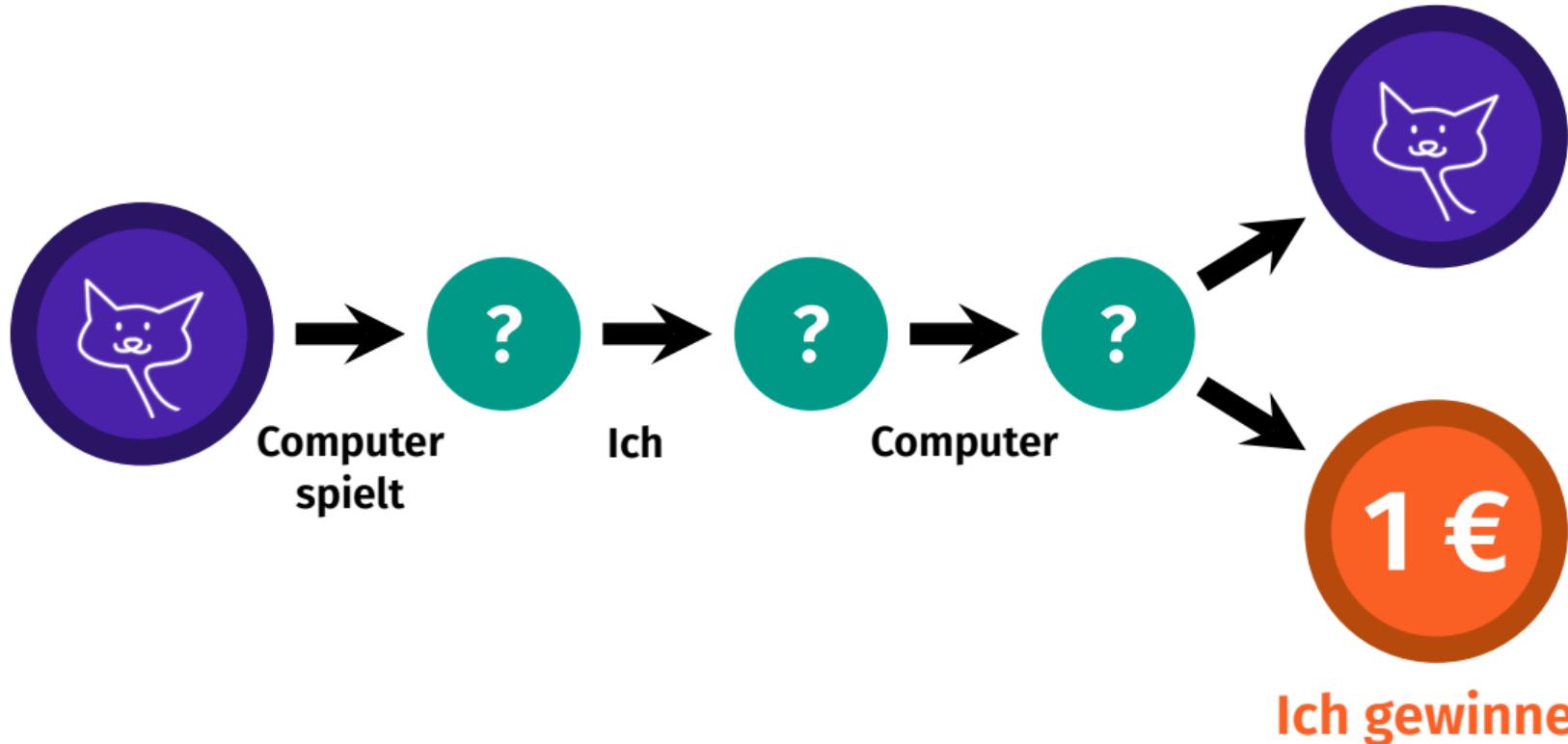
Ich



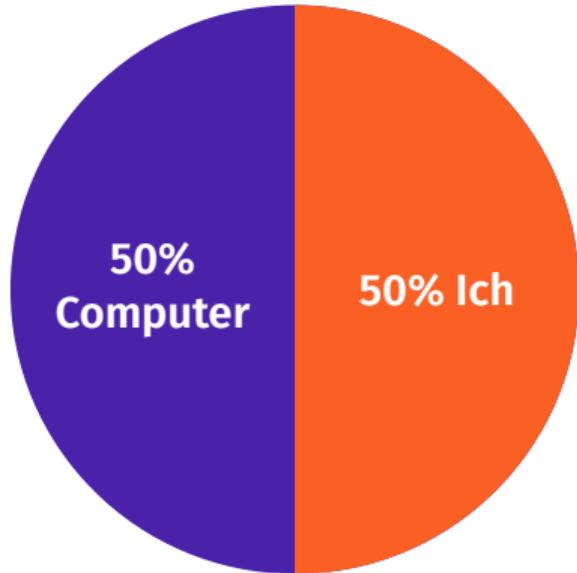
Computer



Computer gewinnt

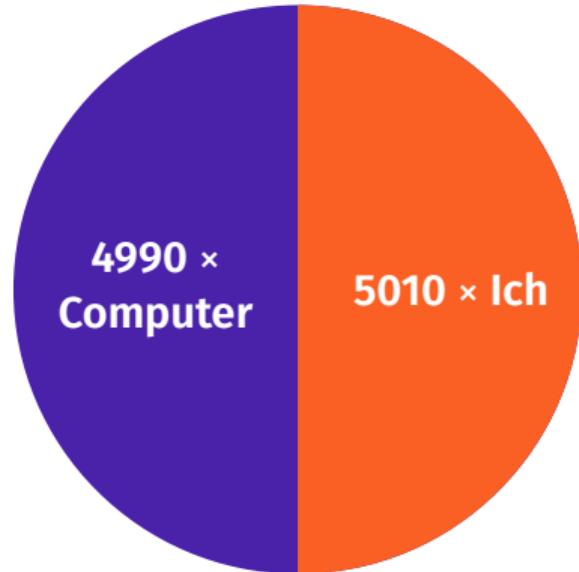


Im Casino



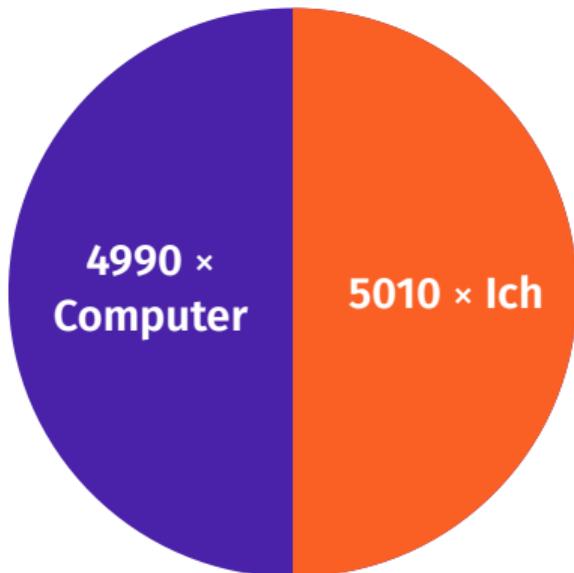
Im Casino

10000 × Spielen:



Im Casino

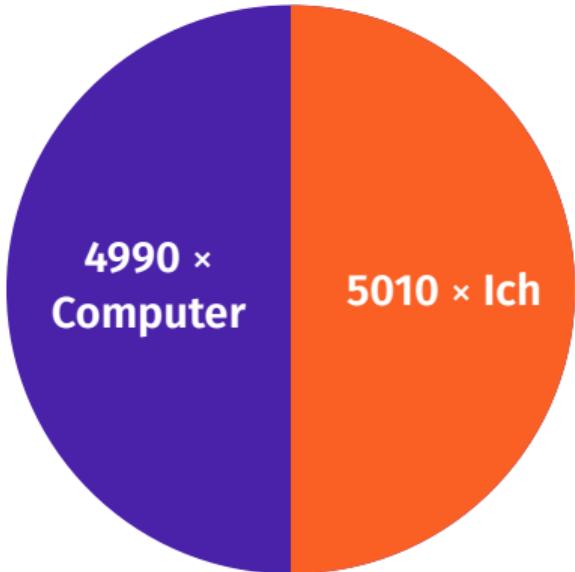
10000 × Spielen:



Im Quantencasino

Im Casino

10000 × Spielen:



Im Quantencasino

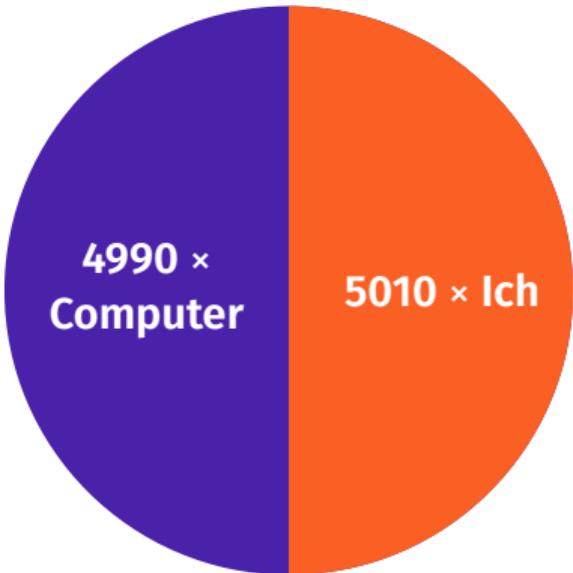
quantum-computing.ibm.com

Screenshot of the IBM Quantum Machine interface, showing a grid of 12 quantum systems. Each system card displays details like name, status, processor type, and usage statistics.

Name	Status	Processor type	Usage
bm_bellatrix	Online	Heron 12	133 0.8% 3.8K
bm_bellatrix	Online	Eagle 0	127 1.7% 5K
bm_bellatrix	Online	Eagle 0	127 1.9% 5K
bm_bellatrix	Online	Eagle 0	127 2.1% 5K
bm_bellatrix	Online	Eagle 0	127 2.1% 5K
bm_bellatrix	Online	Eagle 0	127 2.3% 5K
bm_bellatrix	Online	Eagle 0	127 2.4% 5K
bm_bellatrix	Online	Eagle 0	127 2.8% 5K
bm_bellatrix	Online	Eagle 0	127 2.9% 5K
bm_bellatrix	Online	Eagle 0	127 3.2% 5K
bm_bellatrix	Online	Eagle 0	127 3.6% 5K
bm_bellatrix	Online	Eagle 0	127 5.9% 5K

Im Casino

10000 × Spielen:



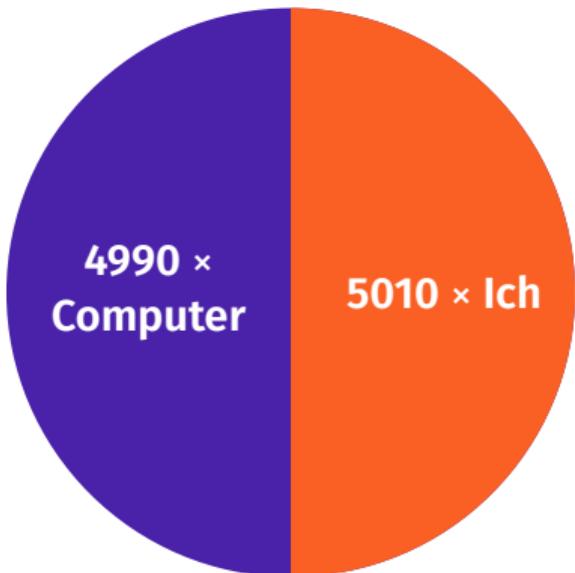
Im Quantencasino

quantum-computing.ibm.com

The image displays two screenshots of the IBM Quantum Machine interface. The top screenshot shows a grid of nine system cards, each with details like name, status, processor type, and usage statistics. The bottom screenshot shows a detailed view for the 'ibmq_manila' system, including calibration data and a graph of CMFTerm vs Frequency.

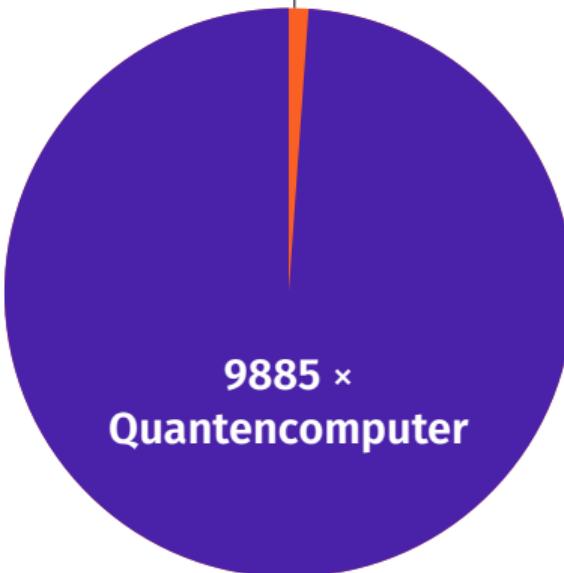
Im Casino

10000 × Spielen:



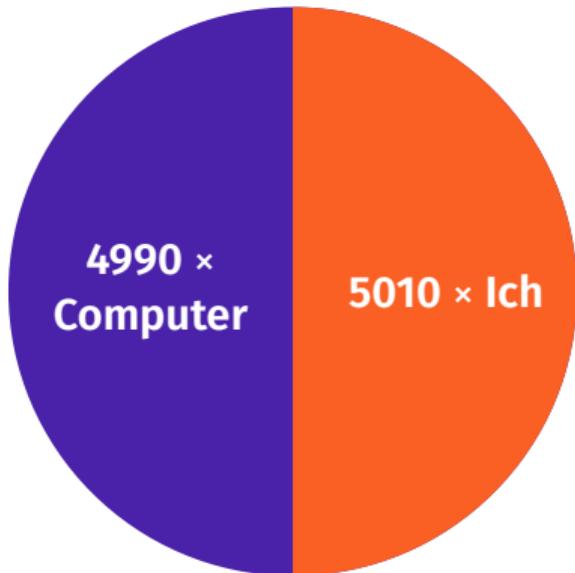
Im Quantencasino

115 × Ich



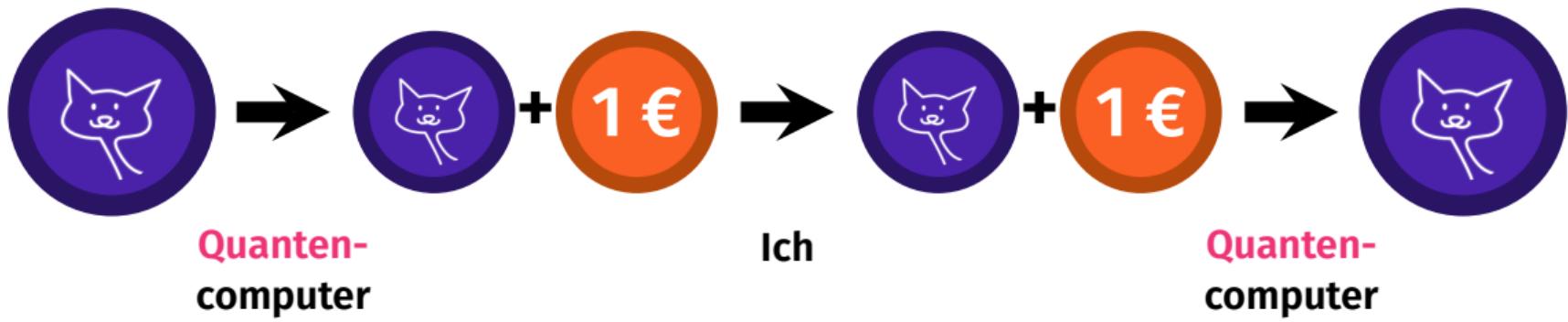
Im Casino

10000 × Spielen:



Im Quantencasino

100% Quantencomputer



In wie vielen Zuständen können **2**...
...Bits sein? ...Quanten**bits** sein?

Bit 1 Bit 2

0 0

oder

0 1

oder

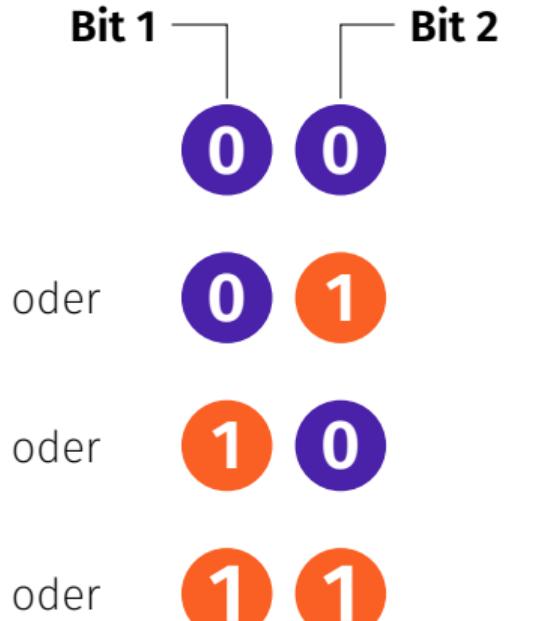
1 0

oder

1 1

4 mögliche Zustände

In wie vielen Zuständen können **2**...
...Bits sein?



4 mögliche Zustände

...Quanten**bits** sein?

$$\begin{array}{c} 0 \quad 0 \\ + \\ 1 \quad 0 \\ + \\ 0 \quad 1 \\ + \\ 1 \quad 1 \end{array}$$

4 Zustände gleichzeitig

In wie vielen Zuständen können 3... ...Bits sein?

	Bit 1	Bit 2	Bit 3
	0	0	0
oder	0	0	1
oder	0	1	0
oder	0	1	1
oder	1	0	0
oder	1	0	1
oder	1	1	0
oder	1	1	1

...Quantenbits sein?

0 0 0	+	0 0 1
+ 0 1 0	+	0 1 1
+ 1 0 0	+	1 0 1
+ 1 1 0	+	1 1 1

8 Zustände gleichzeitig

In wie vielen Zuständen können **4**...

...**Quantenbits** sein?

Qubits

1

2

3

4

Zustände (gleichzeitig)

2

4

8

16

In wie vielen Zuständen können **10**... ...Quantenbits sein?

# Qubits	# Zustände (gleichzeitig)
1	2
2	4
3	8
4	16
...	...
10	1024

In wie vielen Zuständen können **43**... ...Quantenbits sein?

# Qubits	# Zustände (gleichzeitig)
1	2
2	4
3	8
4	16
...	...
10	1024
...	...
43	8 796 093 022 208

In wie vielen Zuständen können **43**... ...Quantenbits sein?

# Qubits	# Zustände (gleichzeitig)
1	2
2	4
3	8
4	16
...	...
10	1024
...	...
43	8 796 093 022 208

NETFLIX

> 100 TB

In wie vielen Zuständen können 167... ...Quantenbits sein?

# Qubits	# Zustände (gleichzeitig)
1	2
2	4
3	8
4	16
...	...
10	1024
...	...
43	8 796 093 022 208
...	...
167	187 072 209 578 355 573 530 071 658 587 684 226 515 959 365 500 928

NETFLIX

> 100 TB



In wie vielen Zuständen können **167**...

...Quantenbits sein?

Qubits

1

2

3

4

...

10

...

43

...

167

Zustände (gleichzeitig)

2

4

8

16

...

1024

...

8 796 093 022 208

...

187 072 209 578 355 573 530 071 658 587 684 226 515 959 365 500 928

NETFLIX

> 100 TB

>Anzahl Atome
auf der Erde

In wie vielen Zuständen können 167 ...

... Quantenbits sein?

Qubits

1

2

3

4

...

10

...

43

...

167

Zustände (gleichzeitig)

2

4

8

16

...

1024

...

8 796 093 022 208

...

NETFLIX
-> 100 TB

433 Qubits

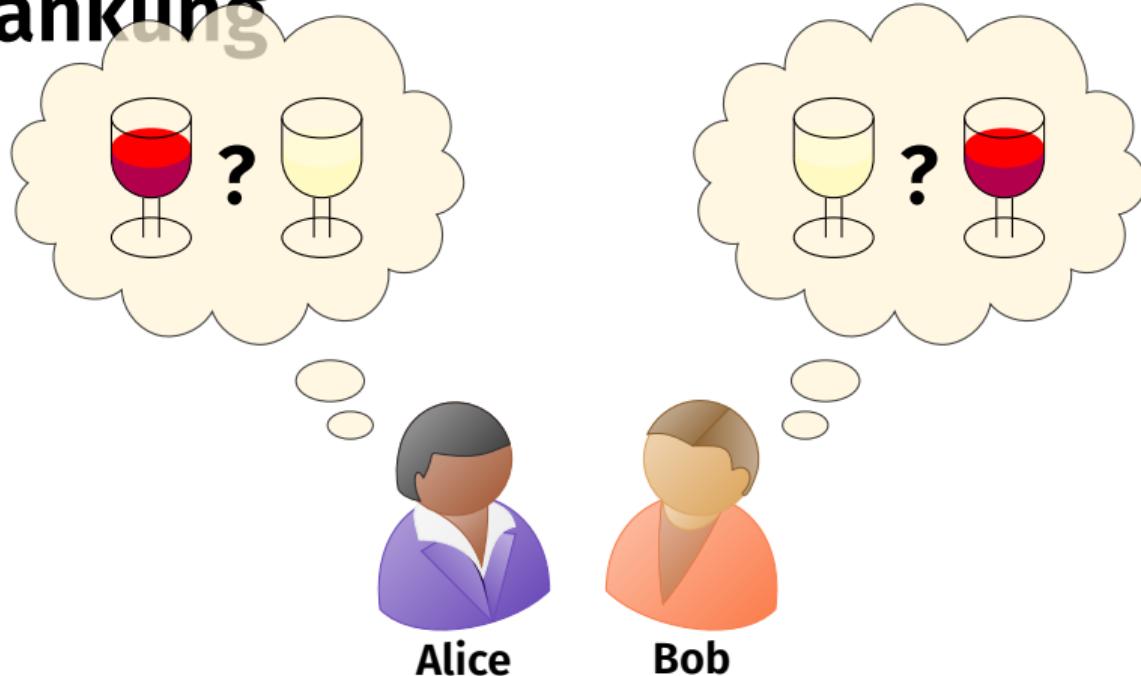


>Anzahl Atome
auf der Erde

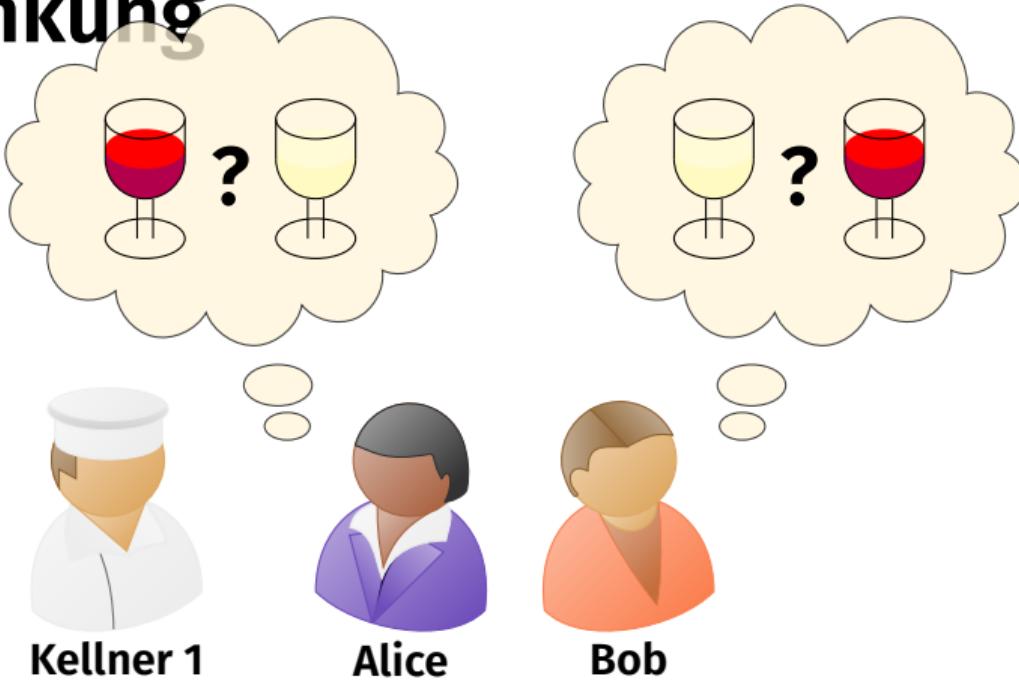
187 072 209 578 355 573 530 071 658 587 684 226 515 959 365 500 928

Verschränkung

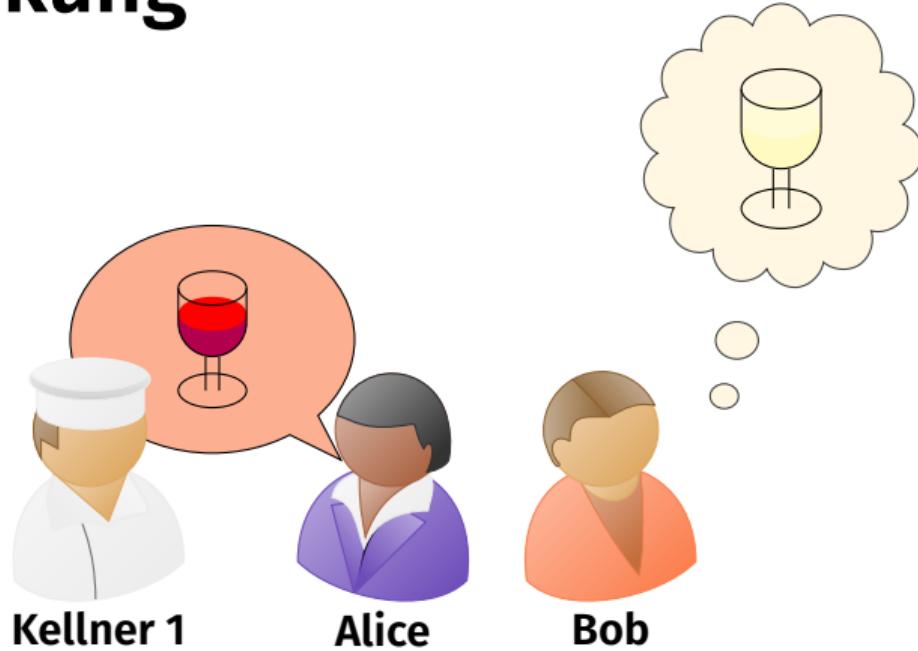
Verschränkung



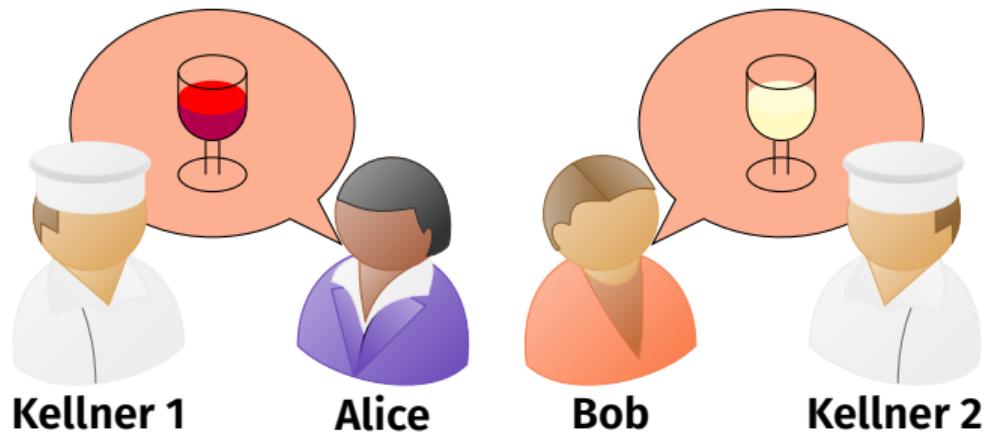
Verschränkung



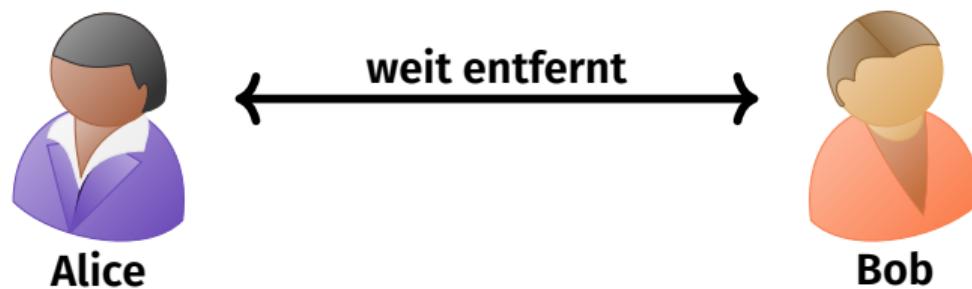
Verschränkung



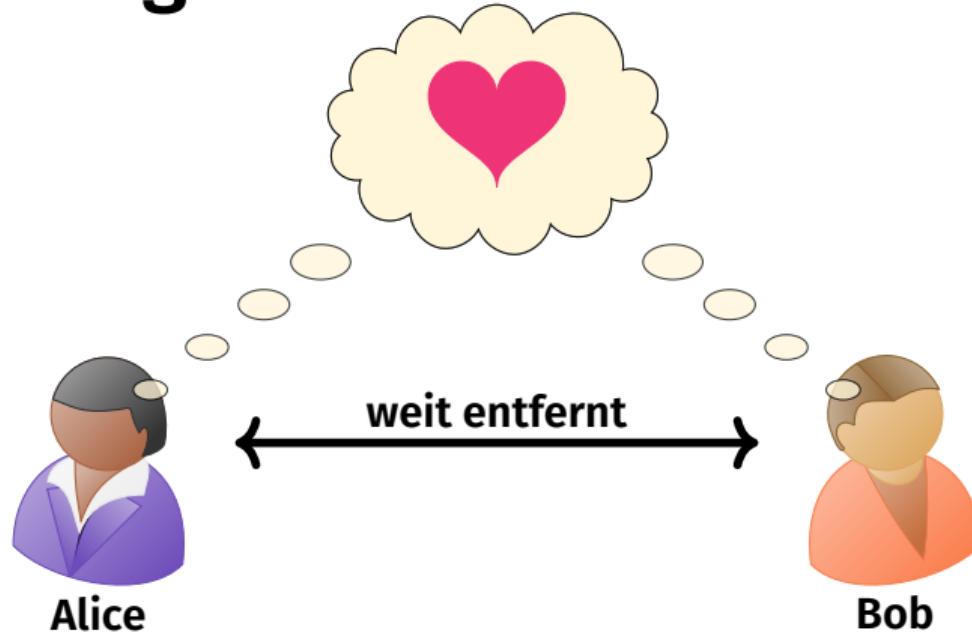
Verschränkung



Verschränkung

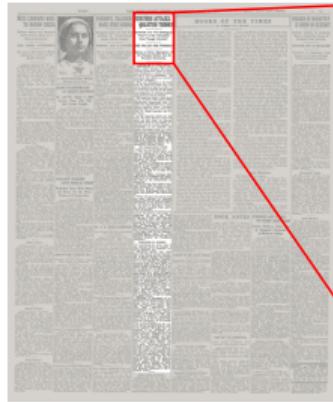
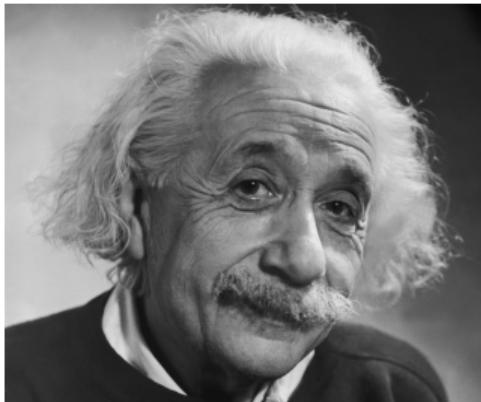


Verschränkung



Verschränkung / “geisterhafte Fernwirkung”

New York Times, 4. Mai 1935



EINSTEIN ATTACKS QUANTUM THEORY

Scientist and Two Colleagues
Find It Is Not 'Complete'
Even Though 'Correct.'

SEE FULLER ONE POSSIBLE

Believe a Whole Description of
'the Physical Reality' Can Be
Provided Eventually.

Verschränkung / “geisterhafte Fernwirkung”

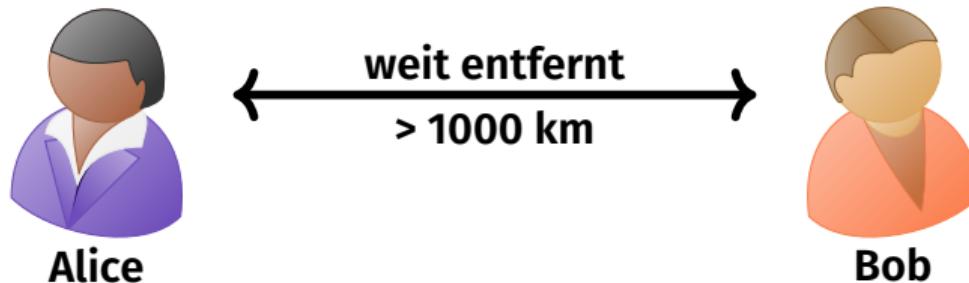
Rekord bei Quantenexperiment

1200 Kilometer entfernt - und doch verbunden

Chinesische Wissenschaftler haben sogenannte verschränkte Photonen über eine Rekorddistanz von 1200 Kilometer verteilt. Die Technik soll abhörsichere Kommunikation über große Entfernmgen möglich machen.

VERSCHRÄNKUNG

Moleküle proben den Quantenspuk



Verschränkung / “geisterhafte Fernwirkung”

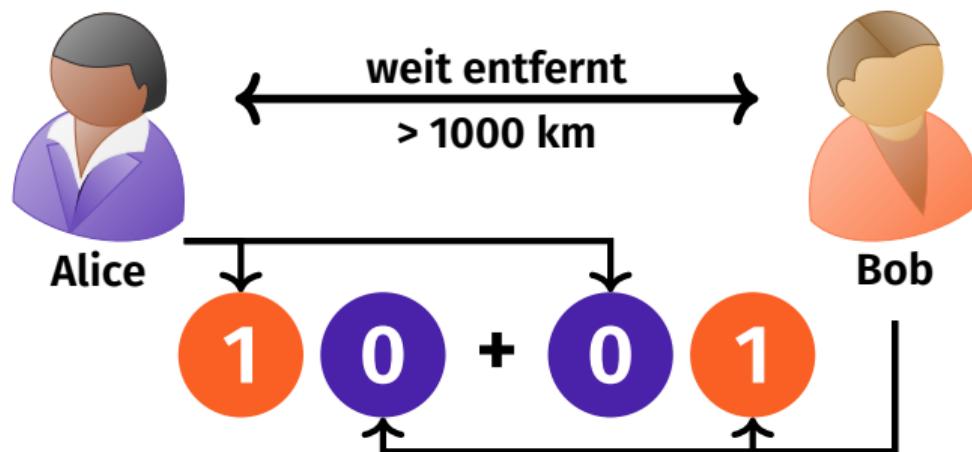
Rekord bei Quantenexperiment

1200 Kilometer entfernt - und doch verbunden

Chinesische Wissenschaftler haben sogenannte verschränkte Photonen über eine Rekorddistanz von 1200 Kilometer verteilt. Die Technik soll abhörsichere Kommunikation über große Entfernmgen möglich machen.

VERSCHRÄNKUNG

Moleküle proben den Quantenspuk



Computer



Quantencomputer

Computer



Quantencomputer

Computer



Quantencomputer



Superposition, Verschränkung
+ noch mehr Quantenmechanik



WIE BAUT MAN EINEN
QUANTENCOMPUTER?



Supraleitende Quantencomputer

Quantendrähte

Quantenpunkte / Halbleiter

Neutrale Atome in optischen Fallen

NMR Quantencomputer

Topologische Quantencomputer

.....

Elektron-Helium-Qubits

Diamanten

Optische Quantencomputer

Ionen in elektro-magnetischen Fallen

Supraleitende Quantencomputer

Quantendrähte

Quantenpunkte / Halbleiter

Neutrale Atome in optischen Fallen

NMR Quantencomputer

Topologische Quantencomputer



gnetischen Fallen

Supraleitende Quantencomputer

Quantendrähte

Quantenpunkte / Halbleiter

Neutrale Atome in optischen Fallen

NMR Quantencomputer

Topologische Quantencomputer



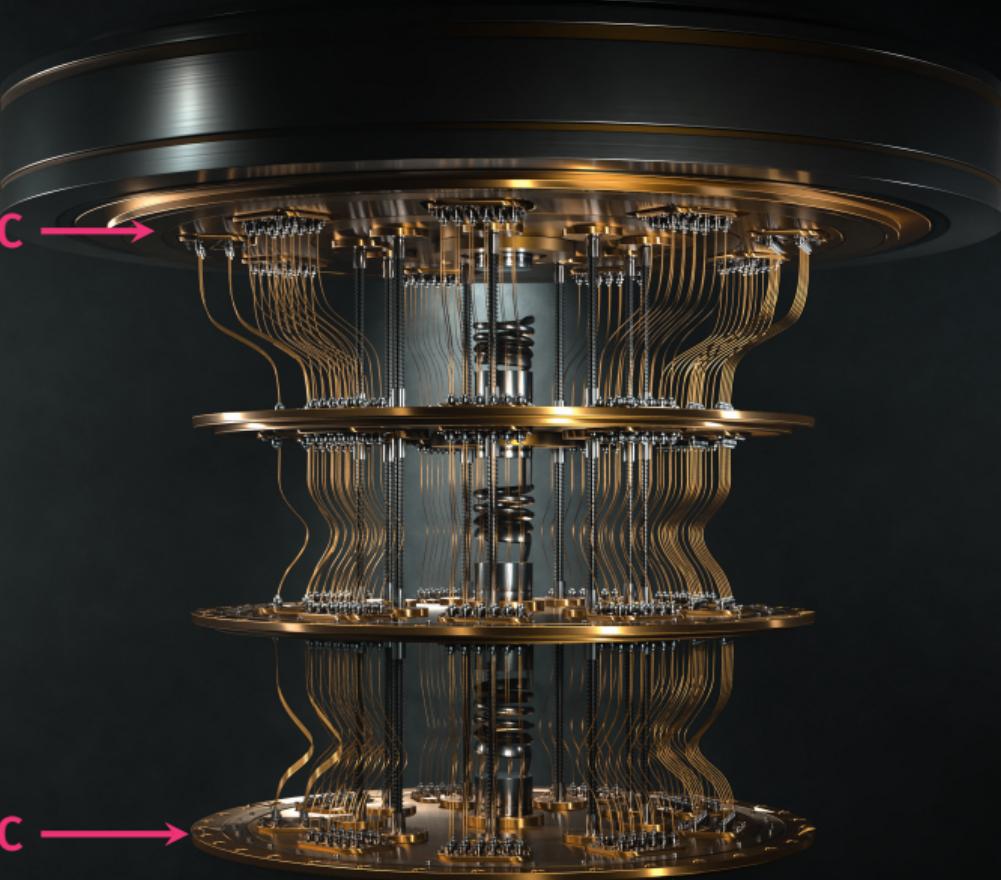
MATTER AND LIGHT FOR
QUANTUM COMPUTING



CRC183
ENTANGLED STATES OF MATTER

agnetischen Fallen





-223 °C →

↓ immer kälter

-273.14 °C →

300 × kälter als Weltraum

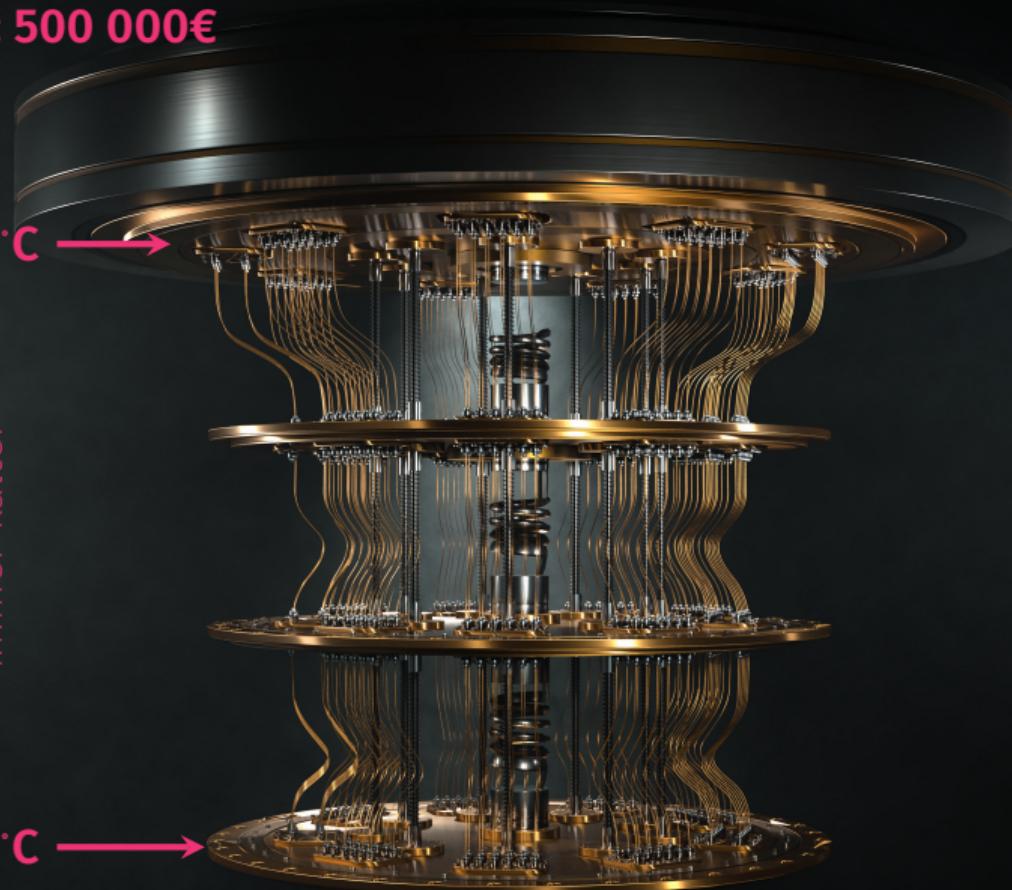
Kühlschrankpreis: 500 000€

-223 °C →

↓ immer kälter

-273.14 °C →

300 × kälter als Weltraum



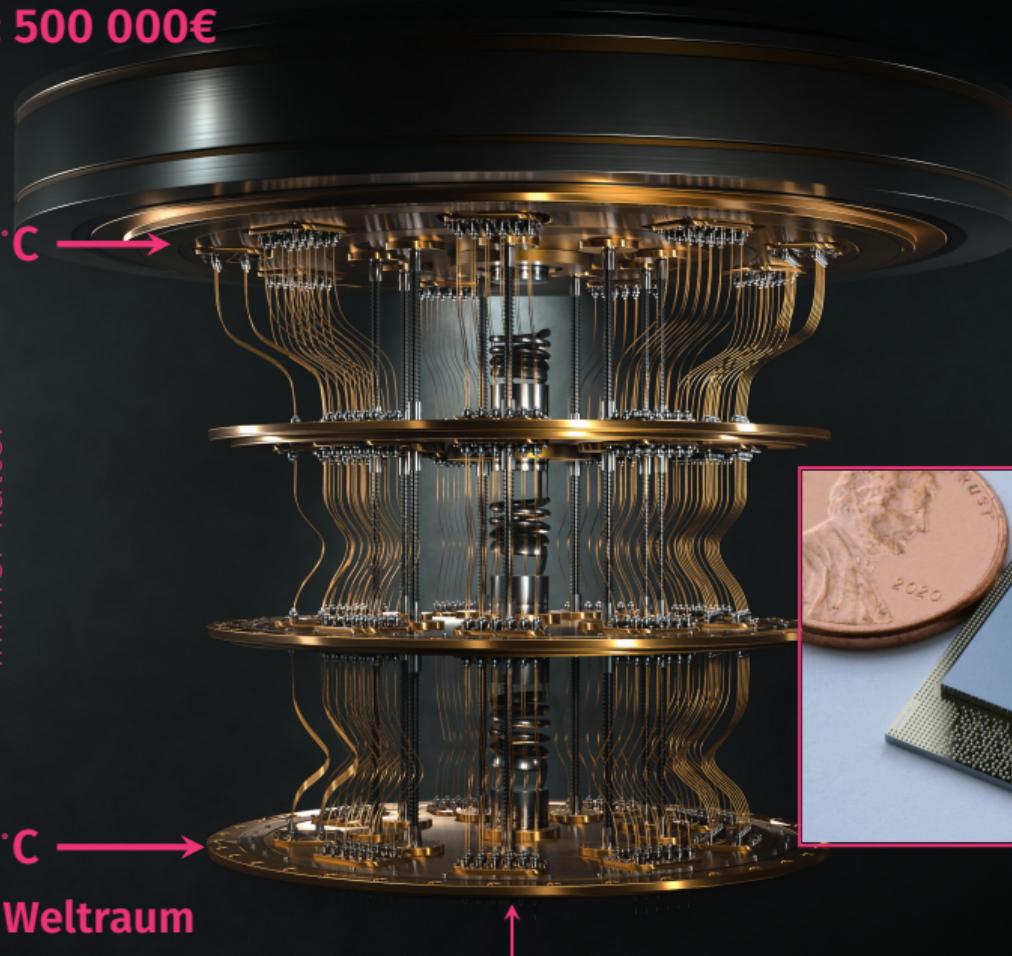
Kühlschrankpreis: 500 000€

-223 °C →

↓ immer kälter

-273.14 °C →

300 × kälter als Weltraum



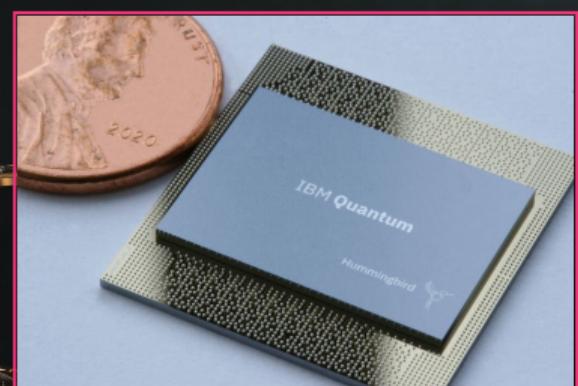
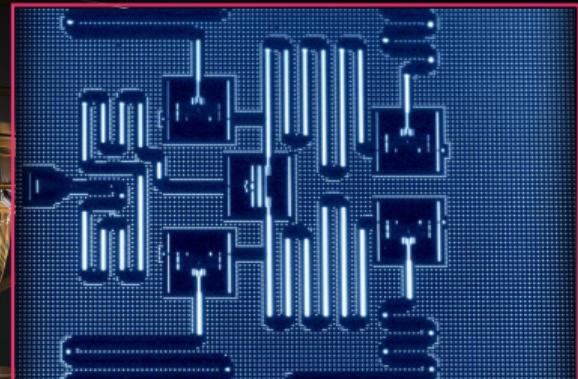
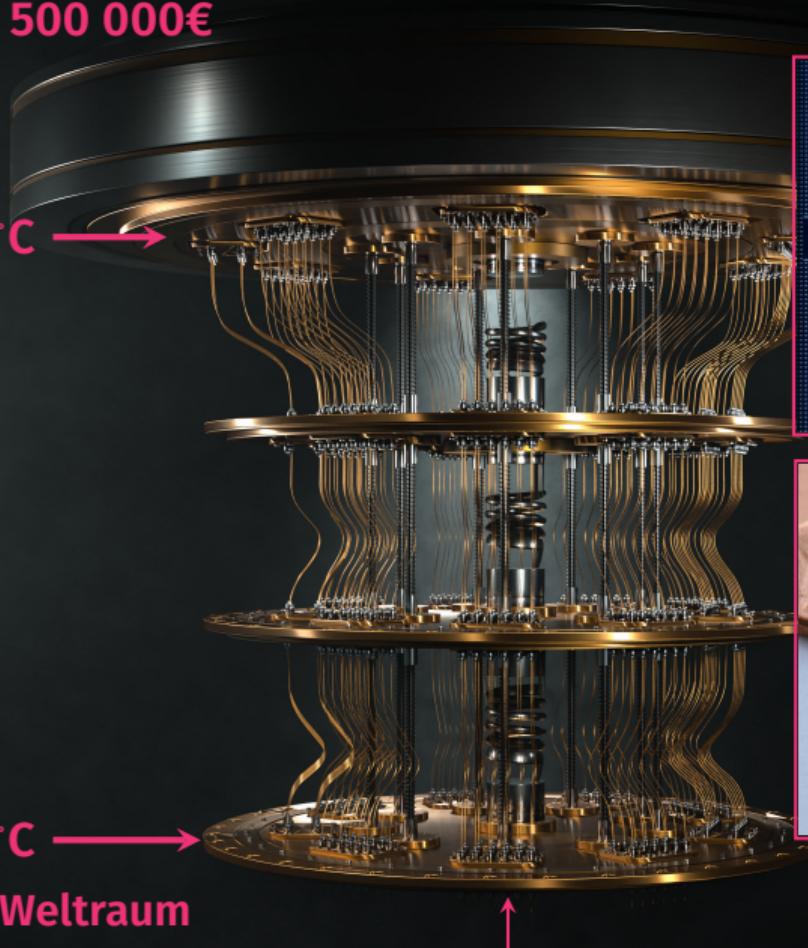
Kühlschrankpreis: 500 000€

-223 °C →

immer kälter

-273.14 °C →

300 × kälter als Weltraum



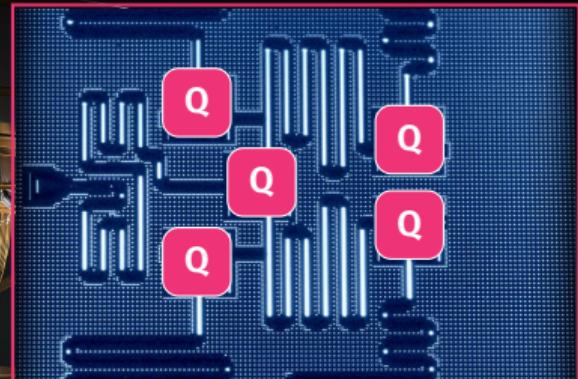
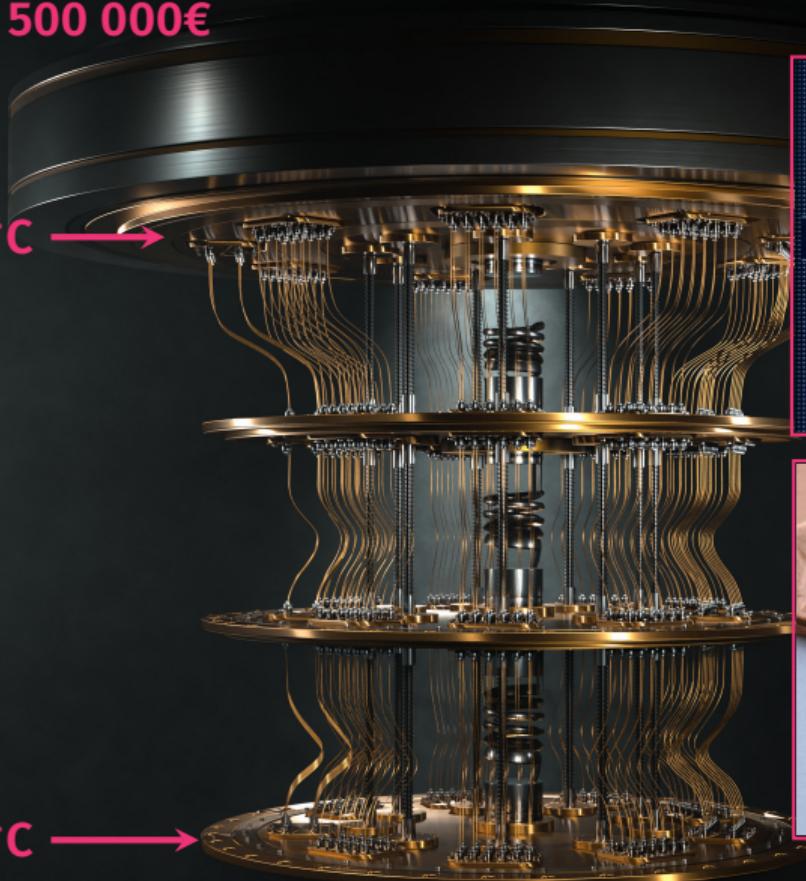
Kühlschrankpreis: 500 000€

-223 °C →

immer kälter

-273.14 °C →

300 × kälter als Weltraum



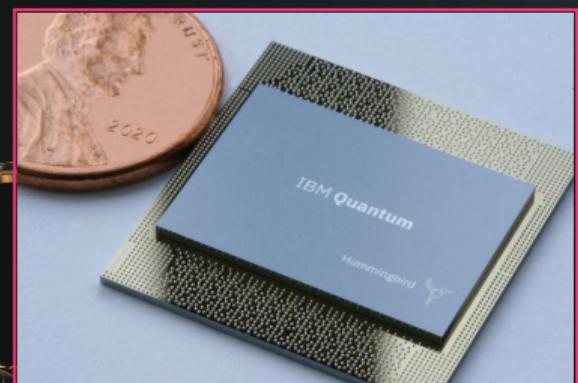
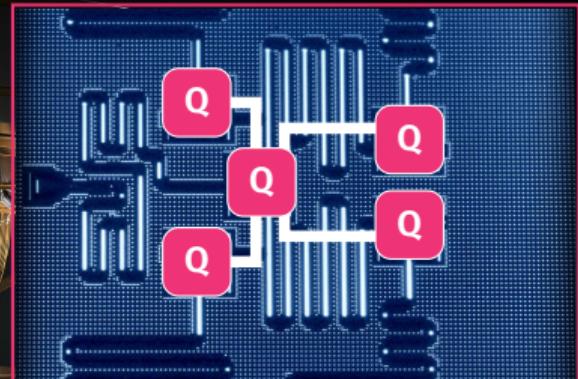
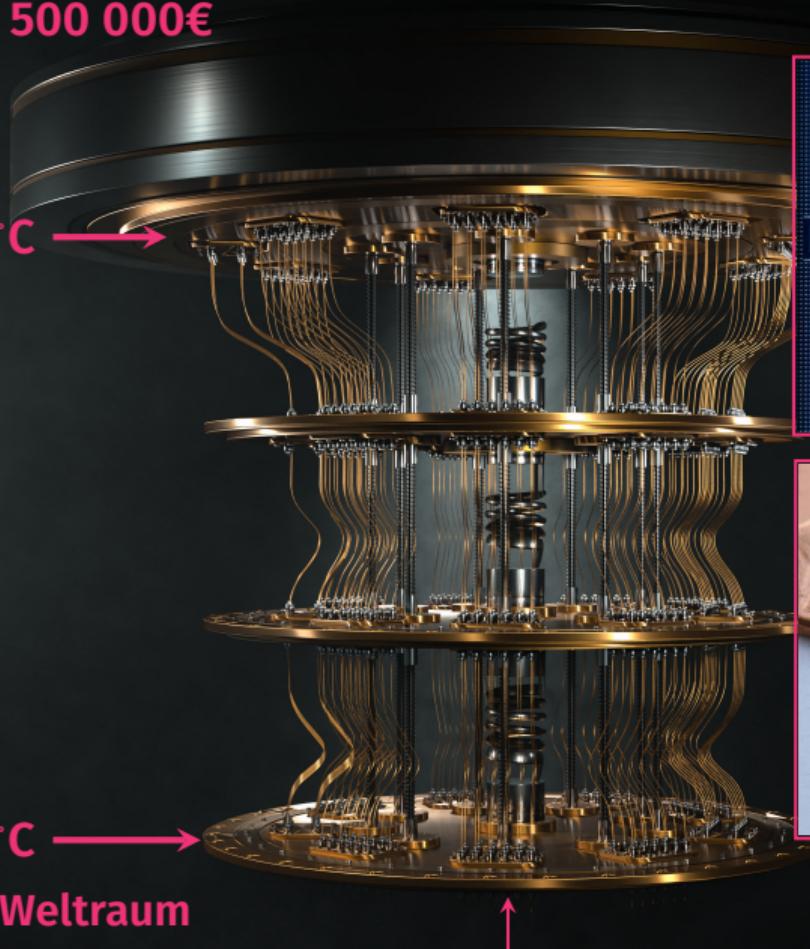
Kühlschrankpreis: 500 000€

-223 °C →

immer kälter

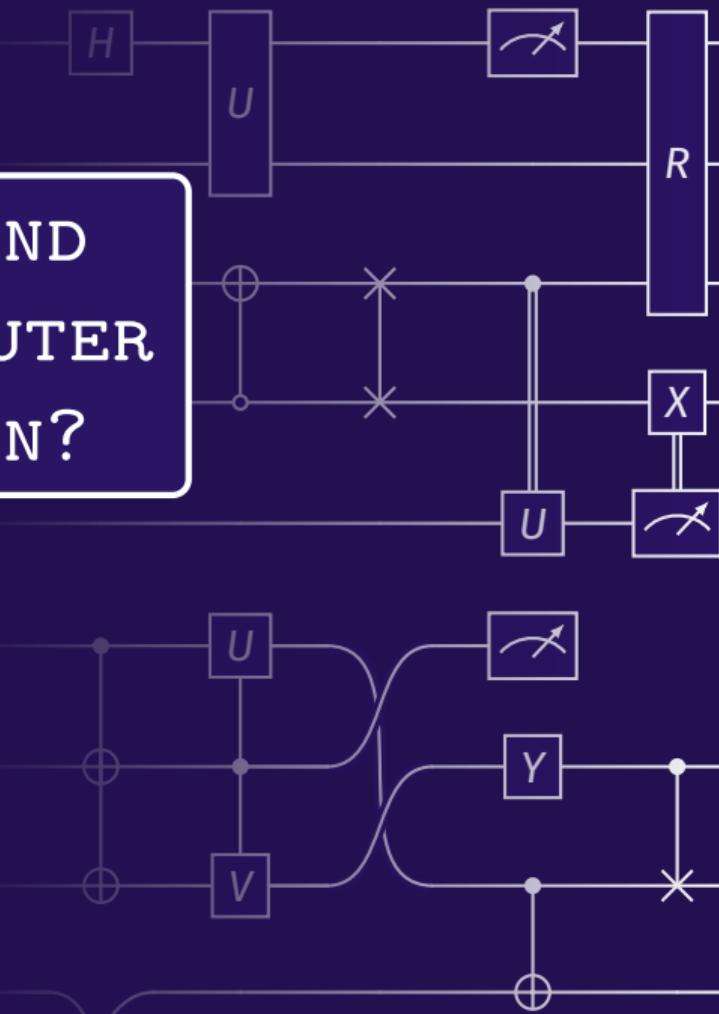
-273.14 °C →

300 × kälter als Weltraum





WIE GUT SIND
QUANTENCOMPUTER
HEUTE SCHON?



Mercedes-Benz bets on
quantum to craft the future of
electric vehicles

ibm.com

See how Mercedes-Benz is
using quantum computers to
design better batteries (3:40) ®

ndr.de



**Industrietauglicher Quantencomputer in
Hamburg vorgestellt**

Mercedes-Benz bets on
quantum to craft the future of
electric vehicles

ibm.com

See how Mercedes-Benz is
using quantum computers to
design better batteries (3:40)



ndr.de

Industrietauglicher Quantencomputer in
Hamburg vorgestellt

nature.com

Quantum computers: what are they good for?

For now, absolutely nothing. But researchers and firms are optimistic about the applications.

Experte warnt: Quantencomputer können „jedes Blockchain-Sicherheitssystem untergraben“

t3n.de

Mercedes-Benz bets on quantum to craft the future of electric vehicles

ibm.com

See how Mercedes-Benz is using quantum computers to design better batteries (3:40)



ndr.de



HAMBURG|Journal

Industrietauglicher Quantencomputer in Hamburg vorgestellt

FORBES > FORBES DIGITAL ASSETS

Here's Why Quantum Computing Will Not Break Cryptocurrencies

forbes.com

nature.com

Quantum computers: what are they good for?

For now, absolutely nothing. But researchers and firms are optimistic about the applications.

Was Quantencomputer...

...können müssten.

...schon können.

RSA-2048 =

Was Quantencomputer... ...können müssten.

...schon können.

RSA-2048 = 251959084756578934940271832
4004839857142928212620403202777713783604
366 202070759555626401852588078440691829
0641249515082189298559149176184502808489
12007284499268739280728777673597141834727
02618963750149718246911650776133798590957
000973304597488084284017974291006424586
91817195118746121515172654632282216869987
5491824224336372590851418654620435767984
2338718477444792073993423658482382428119
8163815010674810451660377306056201619676
2561338441436038339044149526344321901146
57544454178424020924616515723350778707749
81712577246796292638635637328991215483143
8167899885040445364023527381951378636564
391212010397122822120720357

Was Quantencomputer...

...können müssten.

...schon können.

RSA-2048 = 251959084756578934940271832
4004839857142928212620403202777713783604
366 202070759555626401852588078440691829
0641249515082189298559149176184502808489
12007284499268739280728777673597141834727
02618963750149718246911650776133798590957
000973304597488084284017974291006424586
91817195118746121515172654632282216869987
5491824224336372590851418654620435767984
2338718477444792073993423658482382428119
8163815010674810451660377306056201619676
2561338441436038339044149526344321901146
57544454178424020924616515723350778707749
81712577246796292638635637328991215483143
8167899885040445364023527381951378636564
391212010397122822120720357

$$21 = 3 \times 7$$

Was Quantencomputer...

...können müssten.

 4099 perfekte Qubits

...schon können.

$$21 = 3 \times 7$$

Was Quantencomputer...

...können müssten.

 4099 perfekte Qubits

...schon können.

$$21 = 3 \times 7$$

Quantenfehlerkorrektur

Was Quantencomputer...

...können müssten.

 4099 perfekte Qubits

~20 000 000 Qubits +
Quantenfehlerkorrektur

...schon können.

$$21 = 3 \times 7$$

Was Quantencomputer...

...können müssten.

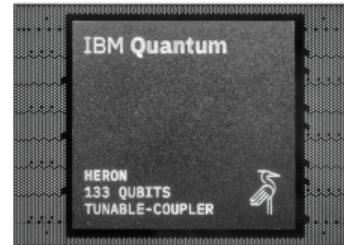
4099 perfekte Qubits

~20 000 000 Qubits +
Quantenfehlerkorrektur

...schon können.

$$21 = 3 \times 7$$

IBM Heron



Was Quantencomputer...

...können müssten.

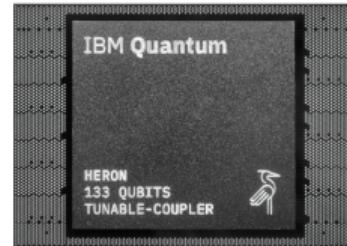
4099 perfekte Qubits

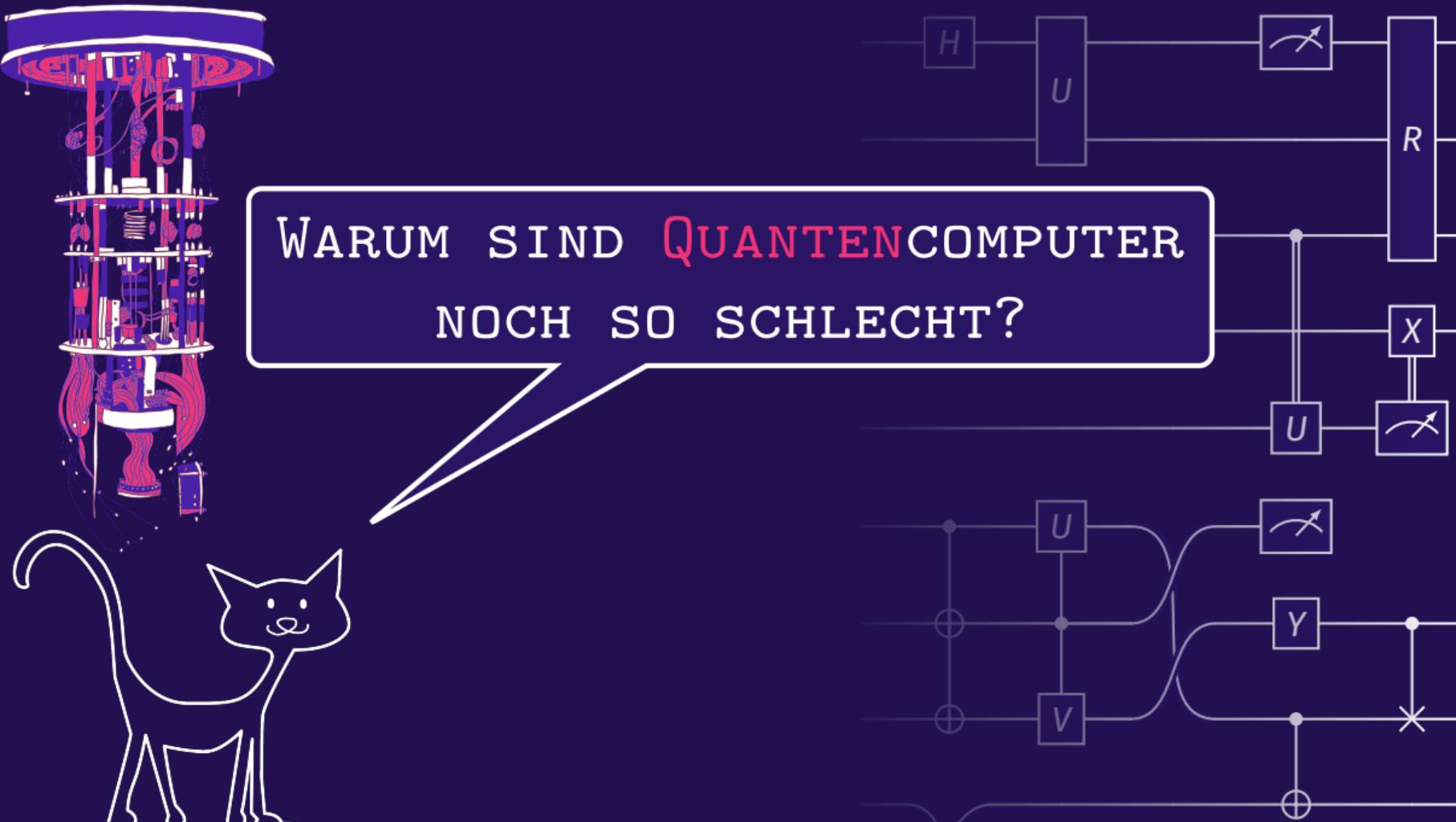
~20 000 000 Qubits +
Quantenfehlerkorrektur

...schon können.

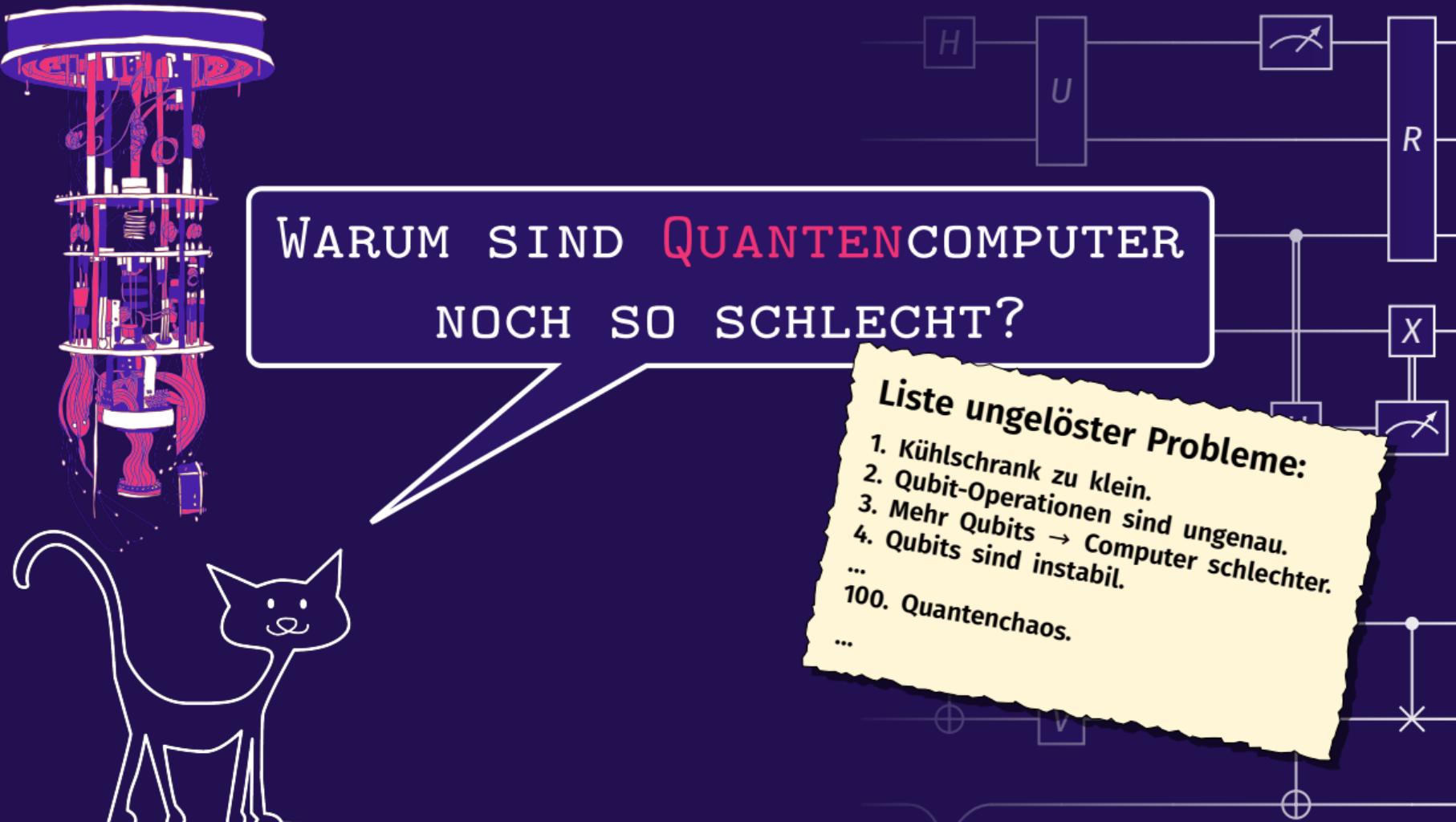
$$21 = 3 \times 7$$

IBM Heron, 133 Qubits





WARUM SIND QUANTENCOMPUTER
NOCH SO SCHLECHT?

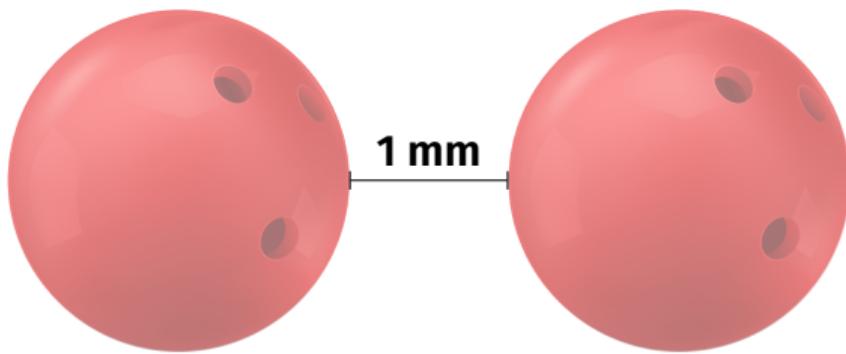


WARUM SIND QUANTENCOMPUTER NOCH SO SCHLECHT?

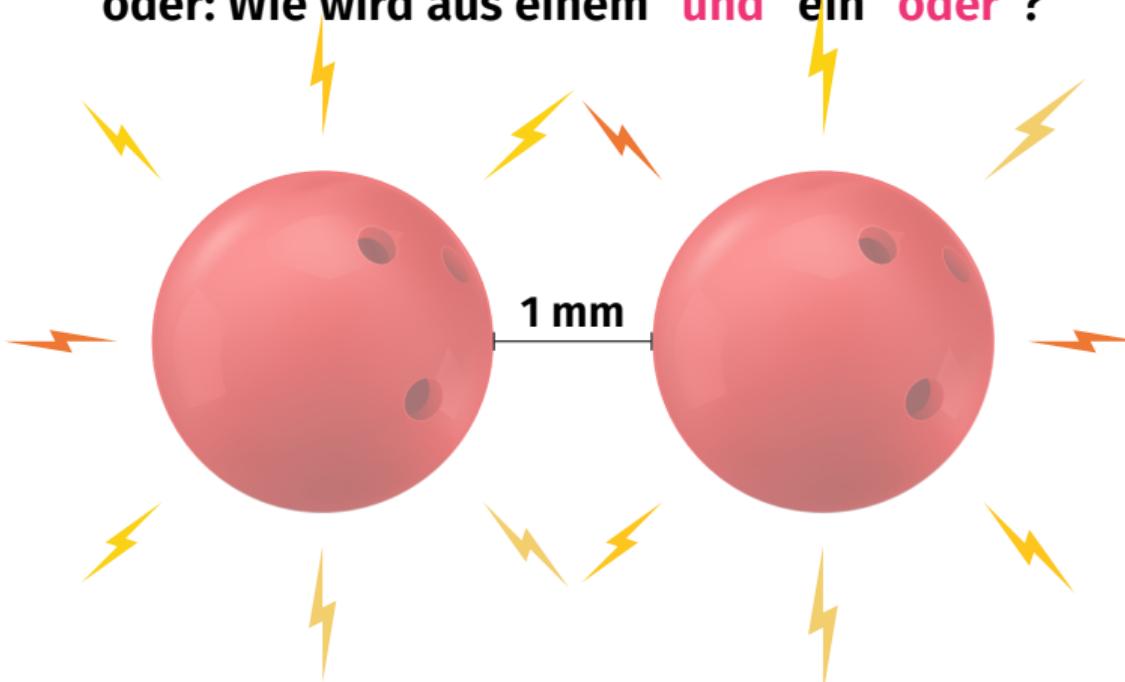
Liste ungelöster Probleme:

1. Kühlschrank zu klein.
 2. Qubit-Operationen sind ungenau.
 3. Mehr Qubits → Computer schlechter.
 4. Qubits sind instabil.
- ...
100. Quantenchaos.
- ...

Warum kann man Quantenmechanik nicht sehen? oder: Wie wird aus einem “und” ein “oder”?



Warum kann man Quantenmechanik nicht sehen? oder: Wie wird aus einem “und” ein “oder”?



Warum kann man Quantenmechanik nicht sehen? oder: Wie wird aus einem “und” ein “oder”?



0.000 000 000 000 000 000 000 000 1 s

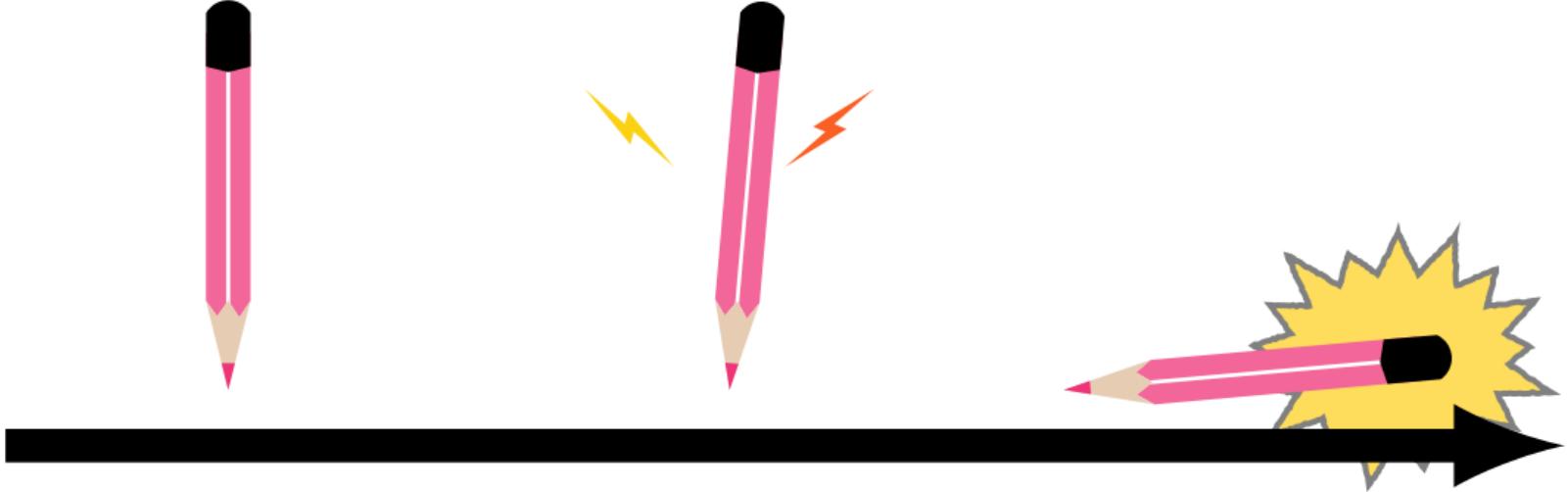
Warum kann man Quantenmechanik nicht sehen? oder: Wie wird aus einem “und” ein “oder”?



Dekohärenz

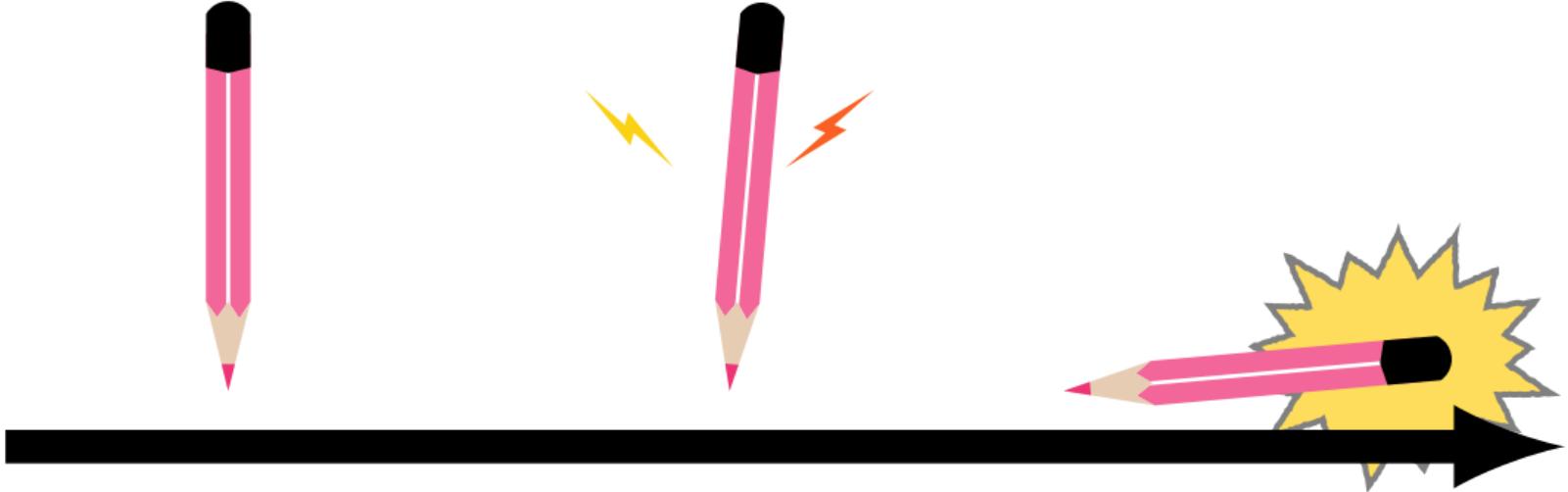
0.000 000 000 000 000 000 000 000 1 s





Startzeitpunkt

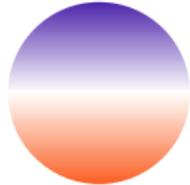
**Zeit für Rechnungen
und Ergebnis ablesen**



Startzeitpunkt

Zeit für Rechnungen
und Ergebnis ablesen

circa 0.0002 s



1 oder 0



WERDEN QUANTENCOMPUTER
KLASSISCHE COMPUTER ERSETZEN?



Nein, auf gar keinen Fall!

Nein, auf gar keinen Fall!

Quantencomputer

können besser*:

1. Primfaktoren finden

(Algorithmus von Shor, 1994)

2. Quantensysteme

simulieren (80er Jahre)

3. Sachen suchen

(Algorithmus von Grover, 1996)

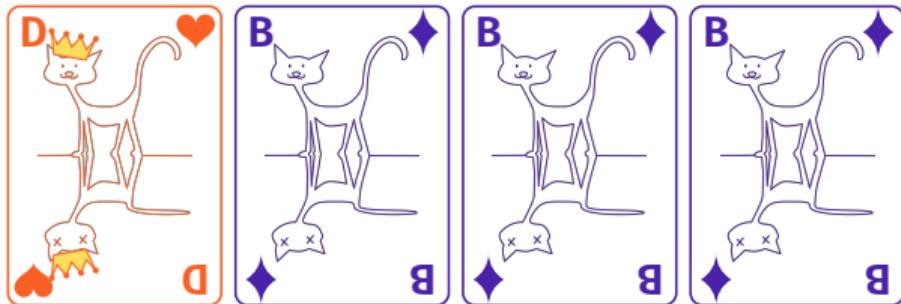
-- ENDE DER LISTE --

Nein, auf gar keinen Fall!

Quantencomputer
können besser*:

1. Primfaktoren finden
(Algorithmus von Shor, 1994)
2. Quantensysteme
simulieren (80er Jahre)
3. Sachen suchen
(Algorithmus von Grover, 1996)

-- ENDE DER LISTE --

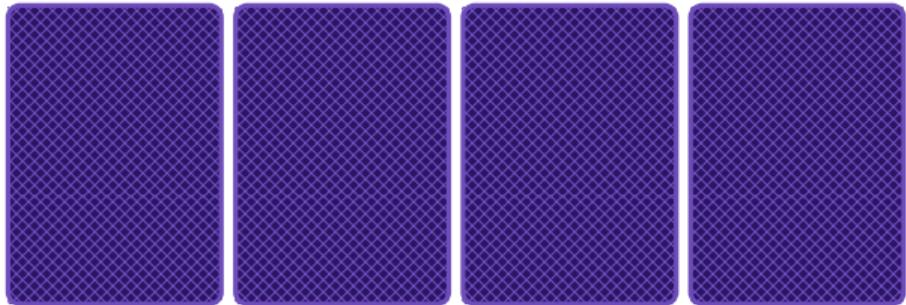


Nein, auf gar keinen Fall!

Quantencomputer
können besser*:

- 1. Primfaktoren finden**
(Algorithmus von Shor, 1994)
- 2. Quantensysteme**
simulieren (80er Jahre)
- 3. Sachen suchen**
(Algorithmus von Grover, 1996)

-- ENDE DER LISTE --

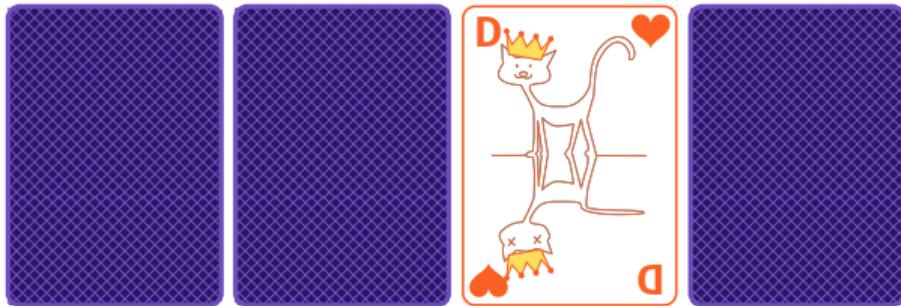


Nein, auf gar keinen Fall!

Quantencomputer
können besser*:

- 1. Primfaktoren finden**
(Algorithmus von Shor, 1994)
- 2. Quantensysteme**
simulieren (80er Jahre)
- 3. Sachen suchen**
(Algorithmus von Grover, 1996)

-- ENDE DER LISTE --

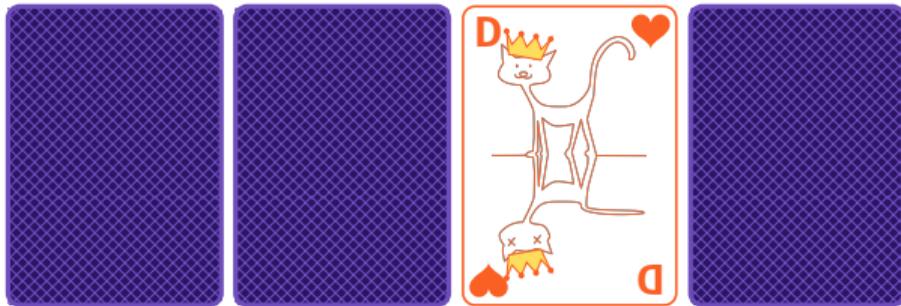


Nein, auf gar keinen Fall!

Quantencomputer
können besser*:

1. Primfaktoren finden
(Algorithmus von Shor, 1994)
2. Quantensysteme
simulieren (80er Jahre)
3. Sachen suchen
(Algorithmus von Grover, 1996)

-- ENDE DER LISTE --



Computer: 2.5 Versuche

Quantencomputer: 1 Versuch

Nein, auf gar keinen Fall!

**Quantencomputer
können besser*:**

1. Primfaktoren finden
(Algorithmus von Shor, 1994)

**2. Quantensysteme
simulieren** (80er Jahre)

3. Sachen suchen
(Algorithmus von Grover, 1996)

-- ENDE DER LISTE --

Für alles andere: klassische Computer!

Nein, auf gar keinen Fall!

**Quantencomputer
können besser*:**

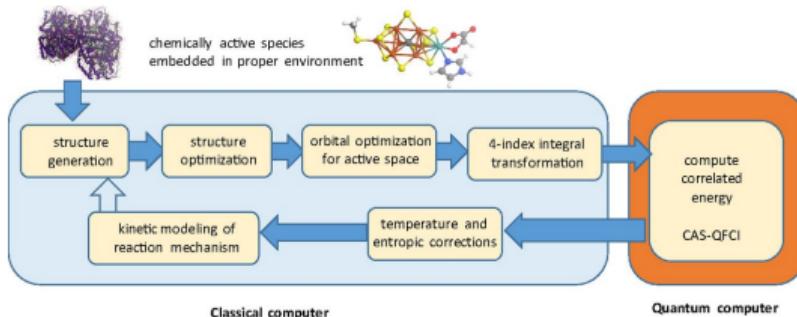
1. Primfaktoren finden
(Algorithmus von Shor, 1994)

**2. Quantensysteme
simulieren** (80er Jahre)

3. Sachen suchen
(Algorithmus von Grover, 1996)

-- ENDE DER LISTE --

*nützliche Sachen,
zusammen mit klassischem Computer:



Für alles andere: klassische Computer!



WIE GEHT ES JETZT WEITER?





QC verbessern

- ▶ neue Materialien
- ▶ mehr Qubits
- ▶ neue Qubits
- ▶ bessere Gatter
- ▶ bessere Software
- ▶ besseres
Verständnis
- ▶ ...



QC verbessern

- ▶ neue Materialien
- ▶ mehr Qubits
- ▶ neue Qubits
- ▶ bessere Gatter
- ▶ bessere Software
- ▶ besseres Verständnis
- ▶ ...



Anwendungen finden

- ▶ neue Algorithmen für relevante Probleme



XPRIZE
QUANTUM
APPLICATIONS

Google
Quantum AI

\$5 MILLION

Prize Purse

XPRIZE Quantum Applications is a 3-year, \$5M global competition designed to generate quantum computing (QC) algorithms that can be put into practice to help solve real-world challenges.

Anmeldeschluss Ende Juni !



QC verbessern

- ▶ neue Materialien
- ▶ mehr Qubits
- ▶ neue Qubits
- ▶ bessere Gatter
- ▶ bessere Software
- ▶ besseres Verständnis
- ▶ ...



QC testen

- ▶ neue Algorithmen für spezielle Probleme
- ▶ Experimente mit ~50–100 Qubits
- ▶ Insbesondere: Quantenfehler-korrektur
- ▶ ...



Anwendungen finden

- ▶ neue Algorithmen für relevante Probleme



XPRIZE
QUANTUM
APPLICATIONS

Google
Quantum AI

\$5 MILLION

Prize Purse

XPRIZE Quantum Applications is a 3-year, \$5M global competition designed to generate quantum computing (QC) algorithms that can be put into practice to help solve real-world challenges.

Anmeldeschluss Ende Juni !



QC verbessern

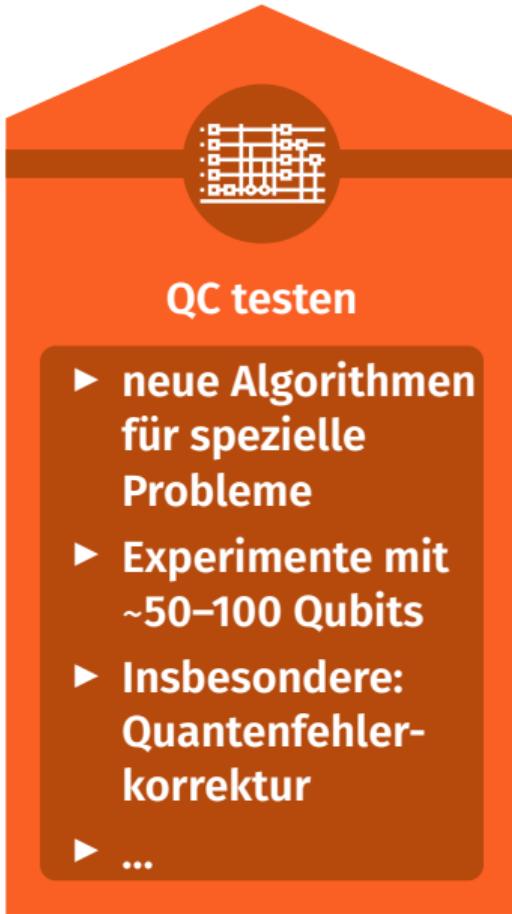
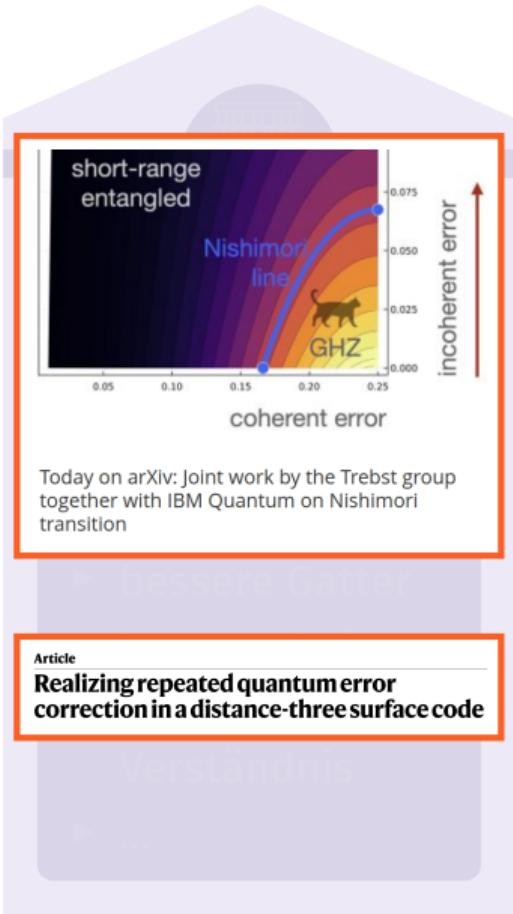
- ▶ neue Materialien
- ▶ mehr Qubits
- ▶ neue Qubits
- ▶ bessere Gatter
- ▶ bessere Software
- ▶ besseres Verständnis
- ▶ ...

The screenshot shows a news item from the journal **nature physics**. The title of the article is **Observation of Josephson harmonics in tunnel junctions**. Below the title, there is a link labeled **ARTICLE** with the URL <https://doi.org/10.1038/s41567-022-09940-y> and a button labeled **OPEN**. The abstract below the link states: "Transmon platform for quantum computing challenged by chaotic fluctuations".



MATTER AND LIGHT FOR
QUANTUM COMPUTING







QC verbessern

- ▶ neue Materialien
- ▶ mehr Qubits
- ▶ neue Qubits
- ▶ bessere Gatter
- ▶ bessere Software
- ▶ besseres Verständnis
- ▶ ...



QC testen

- ▶ neue Algorithmen für spezielle Probleme
- ▶ Experimente mit ~50–100 Qubits
- ▶ Insbesondere: Quantenfehler-korrektur
- ▶ ...



Anwendungen finden

- ▶ neue Algorithmen für relevante Probleme



XPRIZE
QUANTUM
APPLICATIONS

Google
Quantum AI

\$5 MILLION

Prize Purse

XPRIZE Quantum Applications is a 3-year, \$5M global competition designed to generate quantum computing (QC) algorithms that can be put into practice to help solve real-world challenges.

Anmeldeschluss Ende Juni !

Quantencomputer ...

... sind nicht schneller, sondern anders.

... gibt es schon.

... haben zu wenige, zu schlechte Qubits, um relevante Probleme lösen zu können.

... werden immer besser.

Quantencomputer ...

... sind nicht schneller, sondern **anders**.

... gibt es schon.

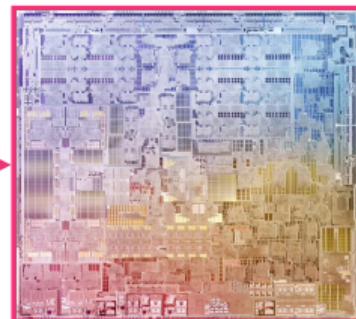
... haben zu **wenige**, zu **schlechte** Qubits, um relevante Probleme lösen zu können.

... werden immer besser.

1947



2024



Apple M2,
20.000.000.000 Transistoren

Quantencomputer ...

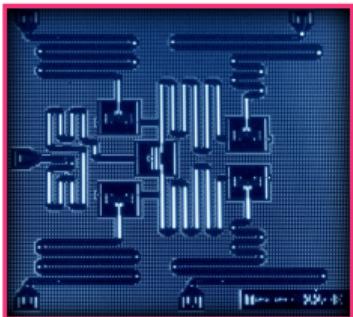
... sind nicht schneller, sondern **anders**.

... gibt es schon.

... haben zu **wenige**, zu **schlechte** Qubits, um relevante Probleme lösen zu können.

... werden immer besser.

2024



20??





DANKE FÜRS ZUHÖREN!





ML⁴Q

CRC183
ENTANGLED STATES OF MATTER

FRAGEN ?

