

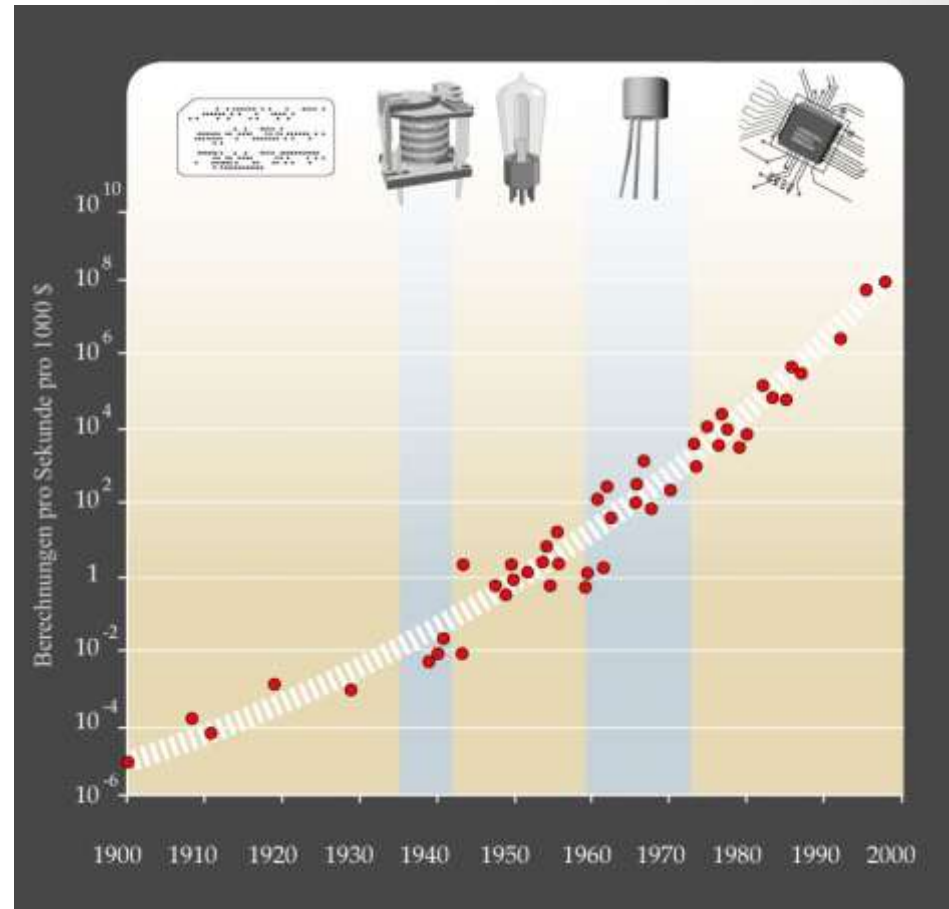
Quantencomputer

Tom Petersen

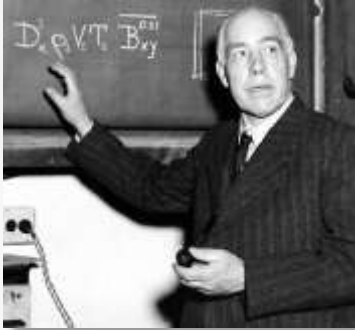


Die Idee des Quantencomputers

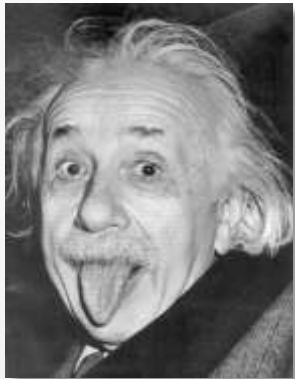
- Fortschreitende Miniaturisierung
 - Es existieren technische Grenzen, auch wenn sie durch neue Verfahren immer weiter herabgesetzt werden können
 - Spätestens in der Größenordnung weniger Atome treten Effekte wie Tunnelströme auf
 - Suche nach noch kleineren Strukturen
- => Nutzung quantenmechanischer Effekte



Quantenmechanische Grundlagen

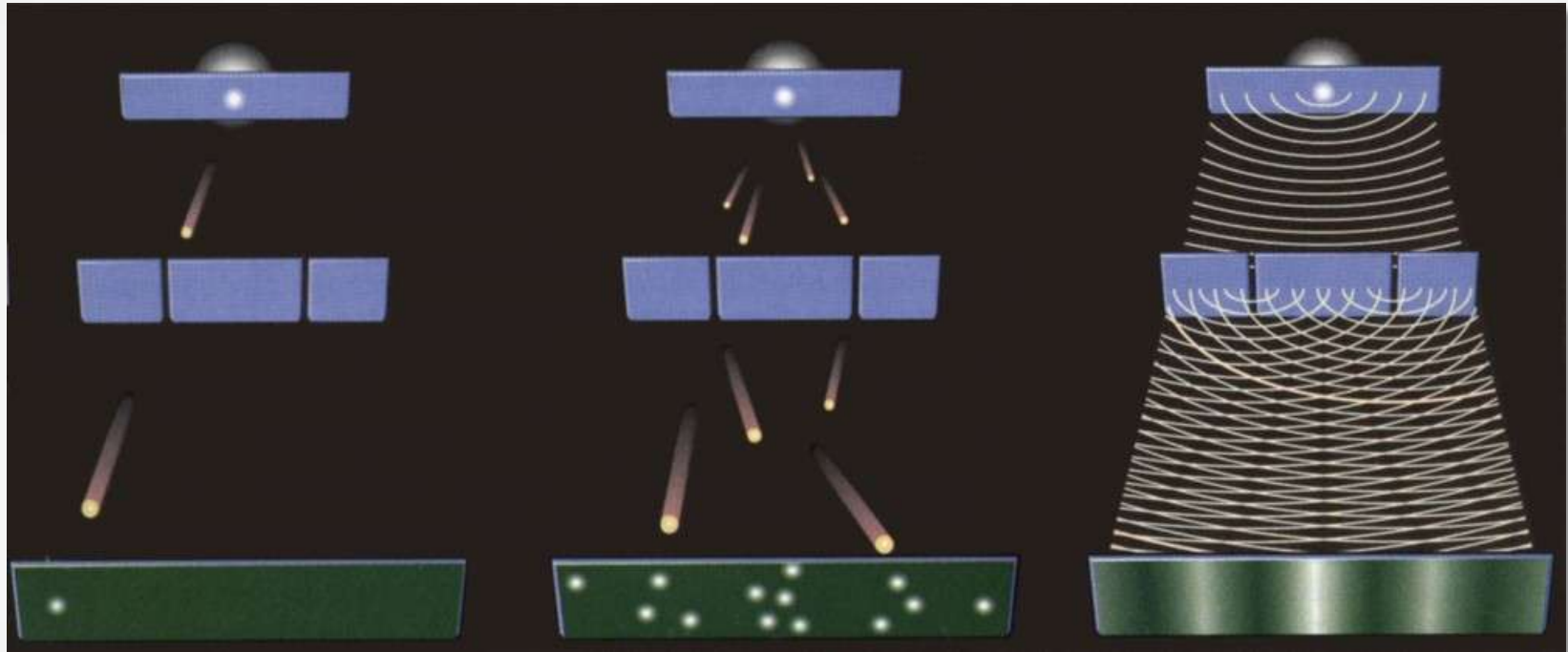


„Wer über die Quantenmechanik nachdenken kann, ohne wirr im Kopf zu werden, hat sie nicht wirklich verstanden.“



„Die Welt muss verrückt sein, falls die Quantenmechanik recht hat.“

Welle-Teilchen-Dualismus



Teilchenaspekt

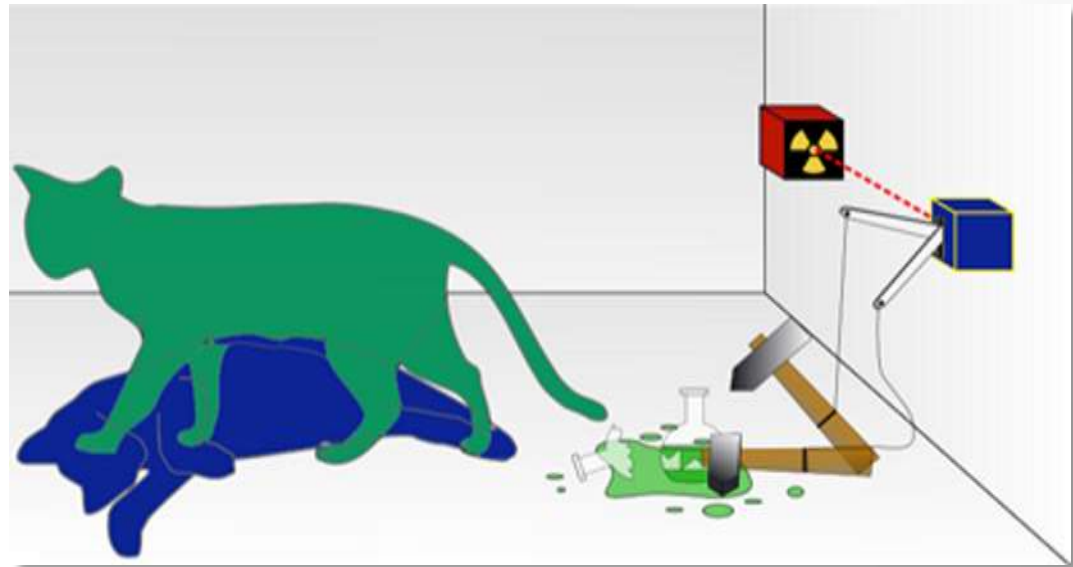
Wellenaspekt

$$\text{Schrödinger-Gleichung: } \Psi''(x) + \frac{8\pi^2m}{h^2} (E - E_{pot})\psi(x) = 0$$

Messen von Quanteneffekten

=> Quantenphänomene sind an sich undefiniert bis zu dem Moment, an dem sie gemessen werden.

Gedankenexperiment
Schrödingers Katze



Ein unbeobachtetes Quantengebilde existiert in einer kohärenten Überlagerung aller möglichen Zustände, die durch seine Wellenfunktion erlaubt sind. Sobald eine Messung durchgeführt wird, die zwischen diesen Zuständen unterscheiden kann, wird das Gebilde gezwungen einen dieser Zustände anzunehmen.

Verschränkung

- Es ist möglich verschränkte Quantenobjekte zu erzeugen
- Sie stehen miteinander in Beziehung:
misst man bestimmte Eigenschaften des einen Objekts, so wirkt sich diese Messung direkt auf die Eigenschaft des verschränkten Objekts aus
- Weiterhin wurde gezeigt, dass dieser Effekt unabhängig von der Entfernung der verschränkten Teilchen ist
- Nutzung zum Beispiel in der Quantenkryptographie
- Wird auch EPR-Effekt genannt

Klassischer Computer

Bits in Registern angeordnet

0011 0001

*Instruktionen
(logische Verknüpfungen,
beispielsweise NOT)*

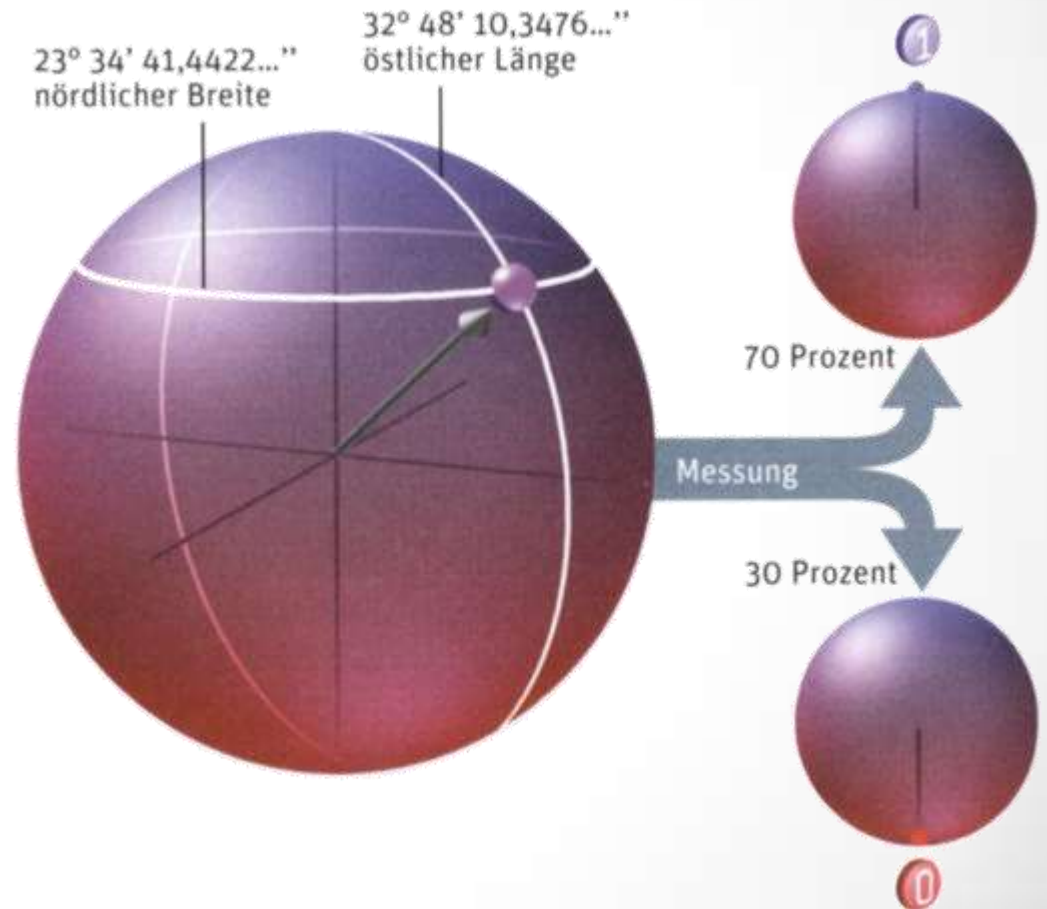


Resultierende Bitfolge

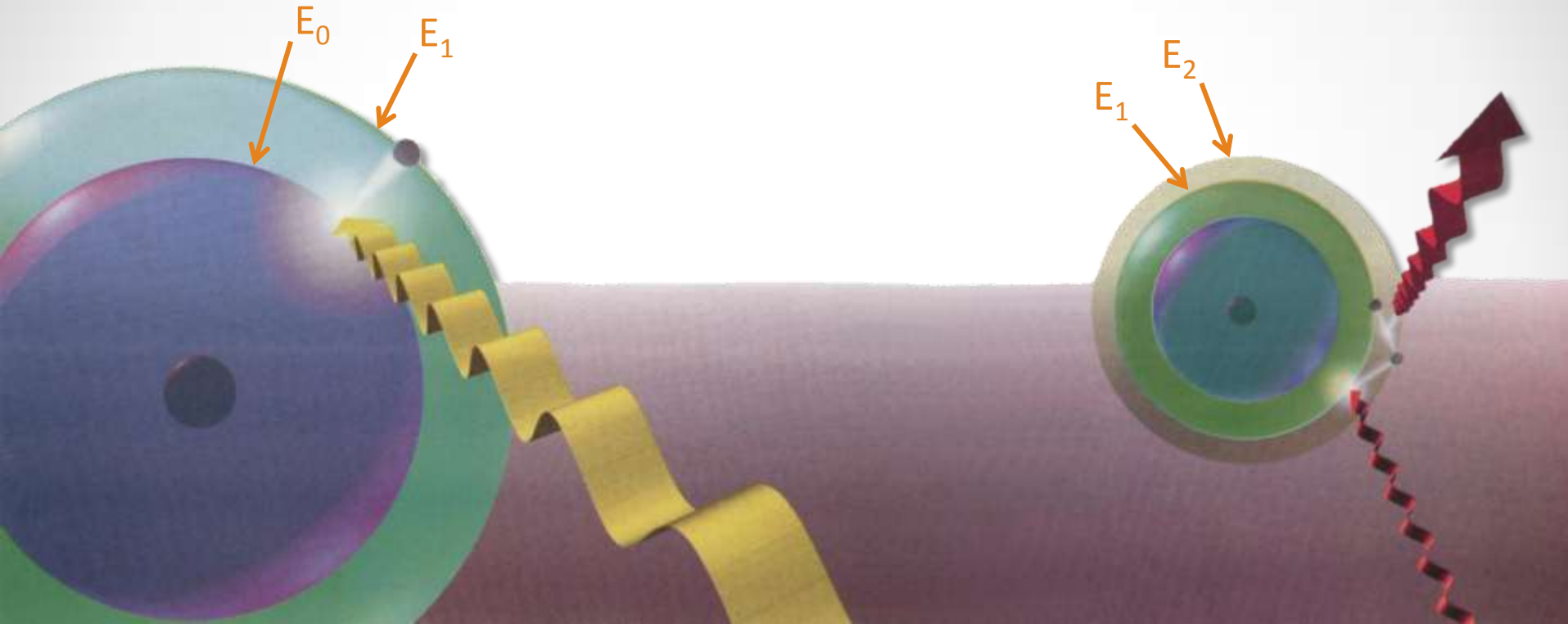
1100 1110

Qu(anten)bits

- Prinzipiell geeignet sind alle Quantenobjekte, die zwei Grundzustände besitzen
- Diese kann man mit 0 und 1 beschreiben
- Aber durch die Überlagerung dieser beiden Zustände sind auch unendlich viele andere Zustände möglich
- Beispiele:
 - polarisierte Photonen
 - Elektronenspin
 - Atome mit bestimmten Energiezuständen



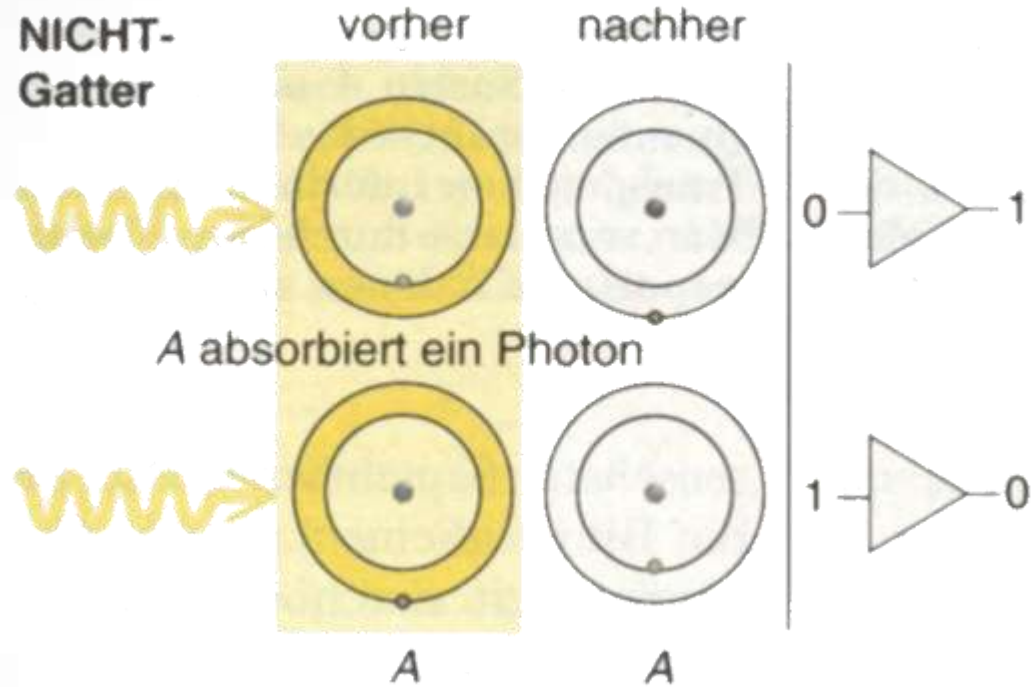
Informationsspeicherung



„Speichern“
durch Laserimpulse
der Energie $E_1 - E_0$

Auslesen
durch Laserimpulse
der Energie $E_2 - E_1$

Logische Gatter



So könnte beispielhaft eine NOT-Operation mit einem Atom umgesetzt werden

Vorteile von Quantencomputern

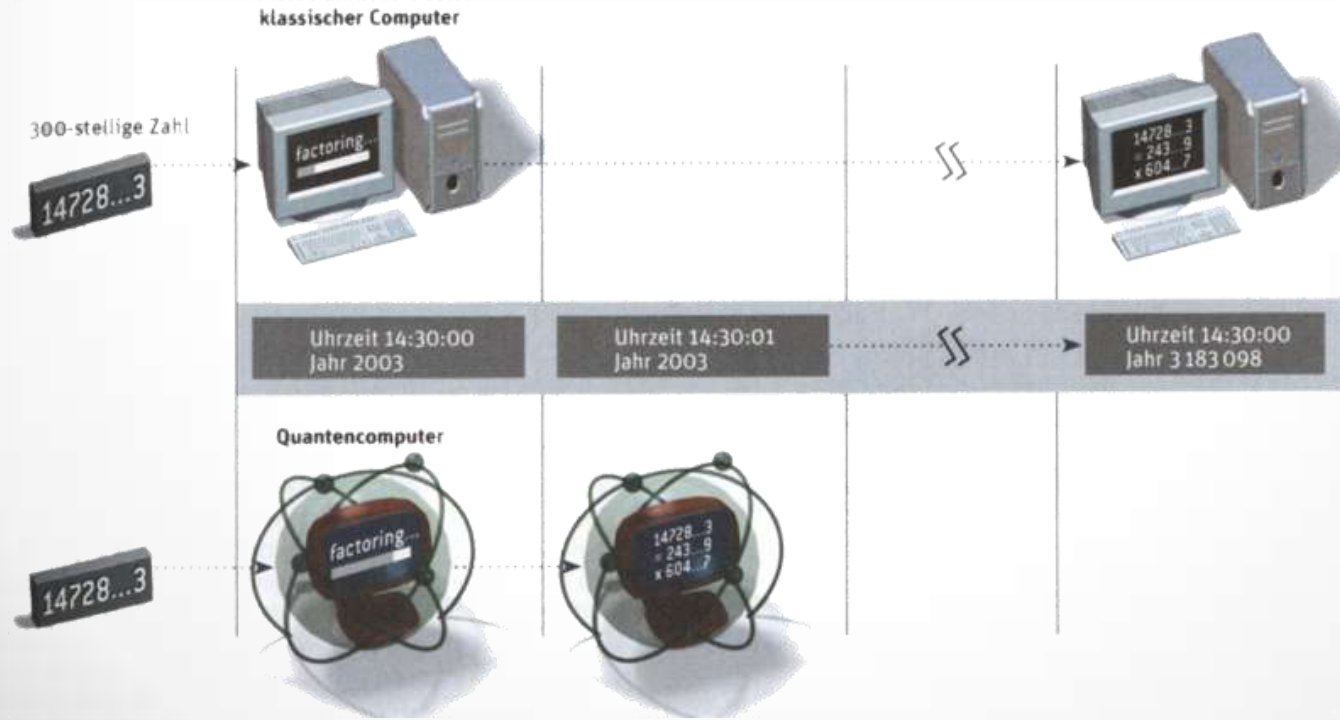
Und was ist jetzt das Besondere an Quantencomputern?

Vorteile von Quantencomputern

- Die Anwendung von logischen Operationen findet auf allen Zuständen der Qubits gleichzeitig statt
- Dieser „Quantenparallelismus“ sorgt dafür, dass **bestimmte** Probleme auf Quantencomputern schneller zu berechnen sind
- Problem: Auslesen (Messung) aller Zustände nicht möglich
- Aber: Ohne Zwischenmessungen werden verknüpfte Operationen auf alle Zustände angewendet
- Wir erhalten als Ergebnis die Überlagerung aller möglichen Ergebnisse dieser Berechnungen

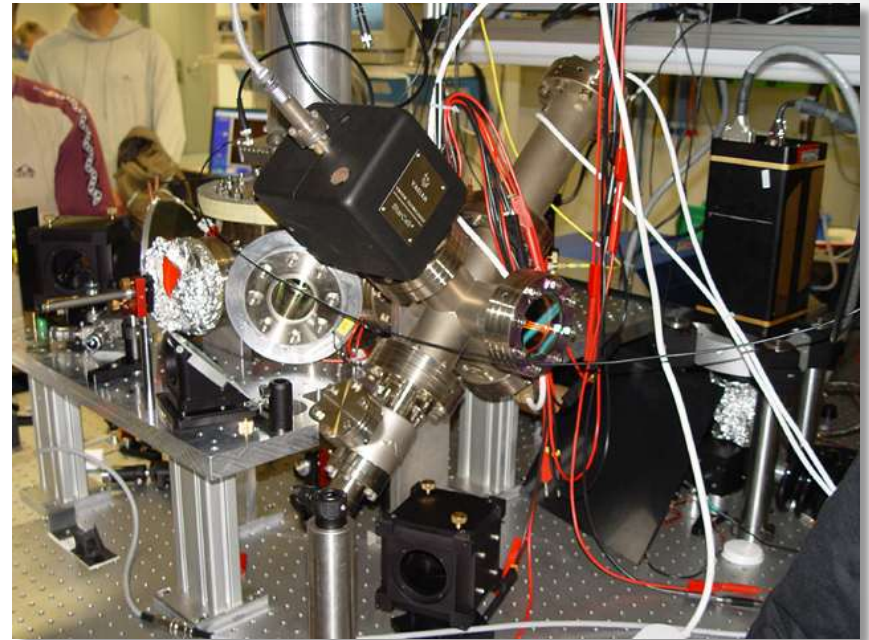
Anwendungen und Quantenalgorithmen

- Beispiel: Shor-Algorithmus: 1994 von Peter Shor veröffentlicht
- Faktorisieren von großen Zahlen unter Nutzung der parallelen Berechnung und bestimmter mathematischer Vorgehensweise
- Polynomiale Rechenzeit im Gegensatz zu fast exponentieller Berechnungszeit klassischer Algorithmen

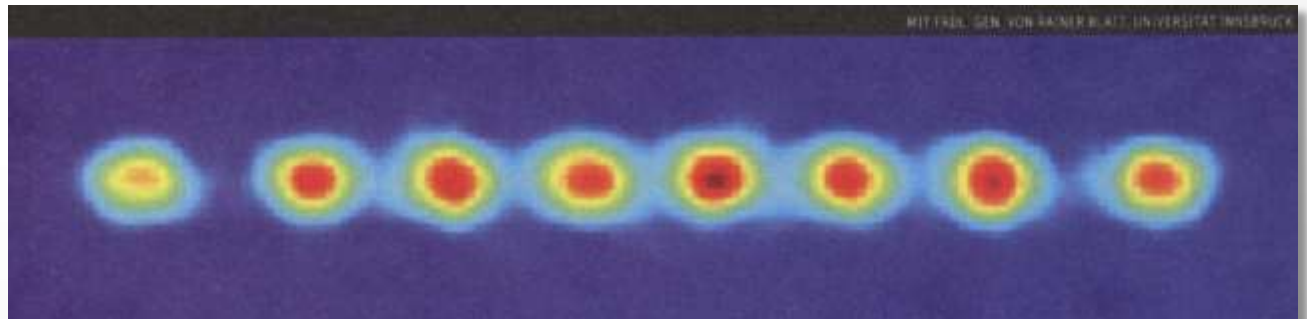


Technische Umsetzung: Ionenfalle

- Durch ihre Abstoßung verschränkte Ionen werden durch elektrische Felder in einem Vakuum festgehalten und durch einen Laser gekühlt
- Informationseinbringung durch Laserpulse
- Es gelingen Kohärenzzeiten von bis zu 10 Minuten



*Kalziumionen
in einer
Ionen-falle*



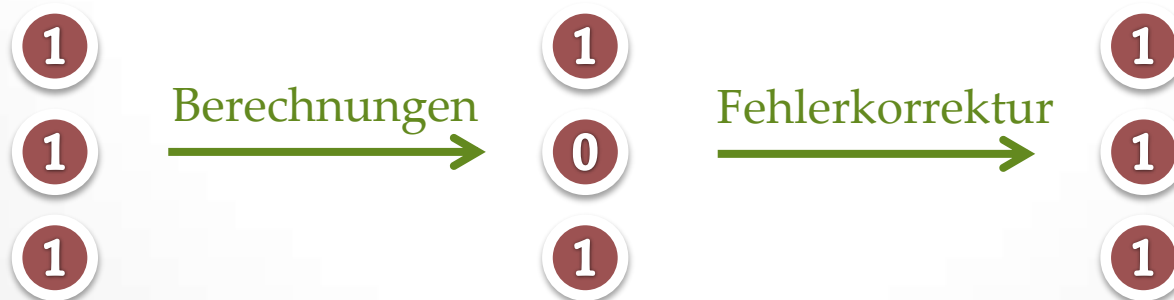
Technische Umsetzung: Kernspinresonanz

- Nutzung von Spins der Atomkerne einer Lösung, die sich auch gegenseitig beeinflussen
- Durch magnetische Felder und Wellen bestimmter Frequenz lassen sich die Spins der Atomkerne beeinflussen
- Durch die Masse an Atomen sind einzelne Dekohärenzeffekte vernachlässigbar
- Auch die logischen Operationen lassen sich durch Wellen bestimmter Frequenz anwenden



Probleme bei der Technischen Umsetzung

- Dekohärenzeffekte bei Wechselwirkung mit der Umwelt
- Zufällige Veränderungen in quantenmechanischen Systemen, *beispielsweise Verlassen eines Energieniveaus durch Aussendung eines Photons*
- Mit steigender Qubitanzahl entstehen Probleme in der Umsetzung, *beispielsweise stark steigender Energiebedarf bei der Laserkühlung*
- Teilweise lassen sich diese Probleme durch Fehlerkorrektur verringern:



Literatur

- Matthias Homeister: Quantum Computing verstehen
- Spektrum der Wissenschaft 12/95: Seth Lloyd: Quanten-Computer
(und Folgeartikel)
- Spektrum der Wissenschaft Dossier 4/2010: Quanteninformation
- Dr. Gesche Pospiech, Universität Frankfurt: Quantencomputer
- Christian Meier: In der Sackgasse – Der schwierige Weg zum
Quantencomputer *auf* Wissenschaft-online.de *vom* 2.2.2008

Bilder entnommen aus:

- *Spektrum der Wissenschaft*
- *commons.wikimedia.org*