

# Warum ist Quantentechnologie so spannend?

Ohne ein Verständnis für die Quantentechnologie gäbe es viele moderne Techniken nicht! Eine der ersten Anwendungen der Quantentechnologie war die **Atomuhr** mit der Zeit äußerst präzise gemessen werden kann. Diese sehr genaue Zeitmessung war die Voraussetzung für GPS, welches wir u.a. zur Navigation nutzen. Des Weiteren basieren **Laser** und **Leds**, die in quasi jedem Haushalt in Druckern, DVD-Laufwerken, Lampen und Fernsehern zu finden sind, auf quantenmechanische Eigenschaften. **MRT-Geräte** ermöglichen uns Einblicke in unsere Körper ohne Skalpell oder den Einsatz von schädlicher Röntgenstrahlung. Und in baldiger Zukunft werden **Quantencomputer** und **Quantensensoren** unter anderem die Analyse der uns umgebenden Welt durch präzisere (Wetter)vorhersagen und neuartige medizinische Diagnostik revolutionieren. Im Folgenden stellen wir die Funktionsweisen der genannten Quantentechnologien vereinfacht dar:

## Atomuhr

Armbanduhren enthalten üblicherweise einen piezoelektrischen Quarz, der in Schwingungen mit genauer Frequenz versetzt wird. Diese liegt bei üblichen Uhren bei 32.768 Schwingungen pro Sekunde. Halbiert man diese Frequenz 15-mal hintereinander erhält man eine Frequenz von einer Schwingung pro Sekunde. Dieser Takt steuert die Uhr. Bei Atomuhren ist es ganz ähnlich. Hier werden Elektronen bestimmter Elemente durch Bestrahlung mit elektromagnetischer Strahlung dazu gebracht mit ganz bestimmter Frequenz zwischen zwei verschiedenen Energieniveaus zu wechseln. Diese Frequenz liegt für das Element Cäsium bei 9.192.631.770 Schwingungen pro Sekunde. Beim Wechsel vom höheren zum niedrigerem Energieniveau wird Strahlung freigesetzt dessen Frequenz gemessen werden kann. Mit Atomuhren sind somit etwa 280.536-mal genauere Zeitmessungen möglich als mit Armbanduhren.



Abb. 1: Atomuhr mit Digitaluhr [1].

## Laser (light amplification by stimulated emission of radiation = Licht-Verstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung)

Ein Laser besteht aus einem Lasermedium zwischen zwei parallel nach innen ausgerichteten Spiegeln. Elektronen des Mediums werden z.B. durch elektrische Entladungen angeregt und somit auf ein höheres Energieniveau befördert. Durch Bestrahlung mit einem Photon einer bestimmten Wellenlänge fällt ein Elektron wieder auf ein niedriges Energieniveau und es wird ein weiteres Photon mit derselben Wellenlänge freigesetzt, mit der das Lasermedium bestrahlt wurde. Aus einem Photon sind also zwei entstanden, die sich in dieselbe Richtung bewegen. Darauf können beide Photonen erneut angeregte Elektronen zur Ausstrahlung weiterer Photonen stimulieren, wodurch es zu einer Kettenreaktion kommt. Einer der beiden Spiegel reflektiert nur einen Teil der auf ihn treffenden Photonen, so dass die Kettenreaktion aufrecht erhalten wird, aber ein Teil der Photonen den Laser in Form eines Lichtstrahls verlässt.

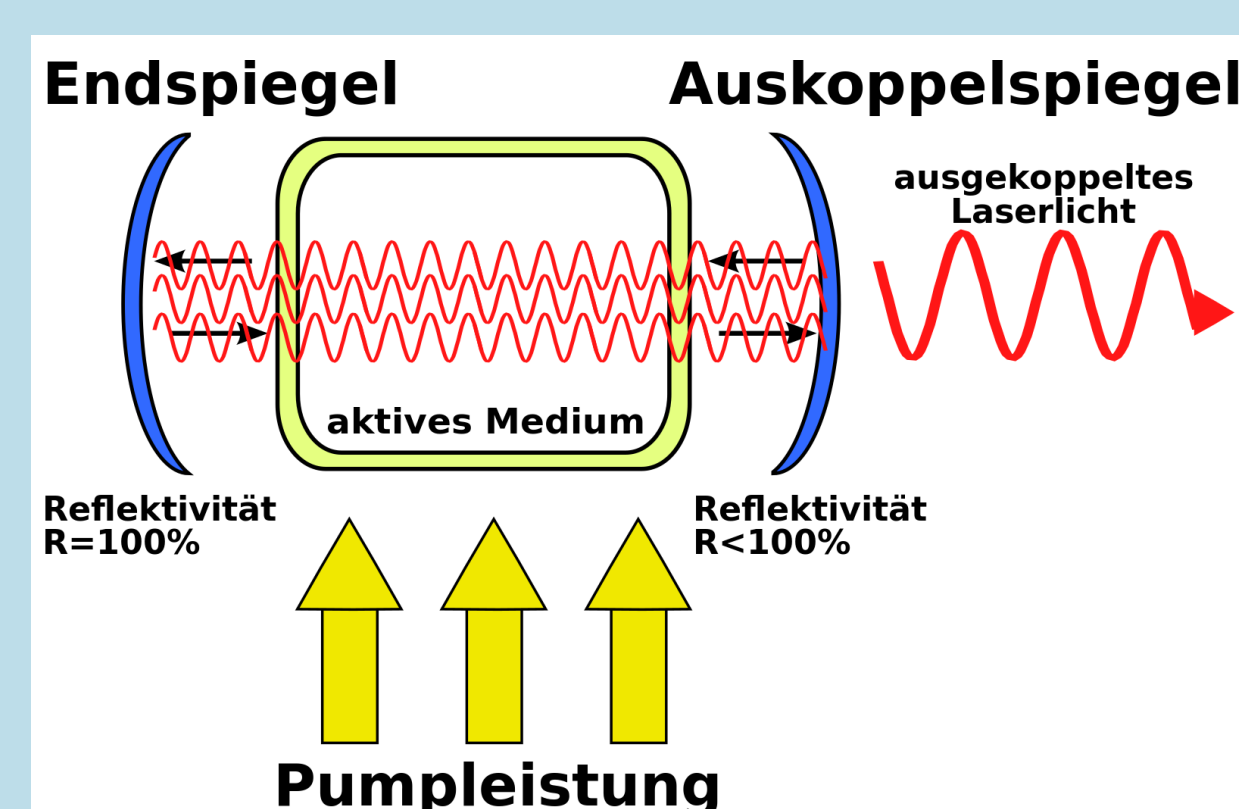


Abb. 2: Schema eines Laserresonators [2].

## Leuchtdioden (kurz LED von englisch: light-emitting diode, deutsch: „lichtemittierende Diode“)

LEDs enthalten einen Halbleiter mit einem p- und einem n-dotierten Bereich. Der n-dotierte Bereich hat überschüssige Elektronen und der p-dotierte Bereich hat unbesetzte Elektronenregionen. Die überschüssigen Elektronen im n-dotierten Bereich haben ein höheres Energieniveau als die unbesetzten Energie-regionen. Legt man eine Spannung an den Halbleiter an, gehen die Elektronen vom n-dotierten Bereich in den p-dotierten Bereich über. Ihre überschüssige Energie geben sie in Form von Photonen ab. Die Wellenlänge der Photonen hängt von dem Material des Halbleiters ab. Ein übliches Halbleitermaterial ist Galliumarsenidphosphid. Durch unterschiedliche Mengenverteilungen kann mit diesem Halbleitermaterial rotes, oranges und gelbes Licht erzeugt werden.

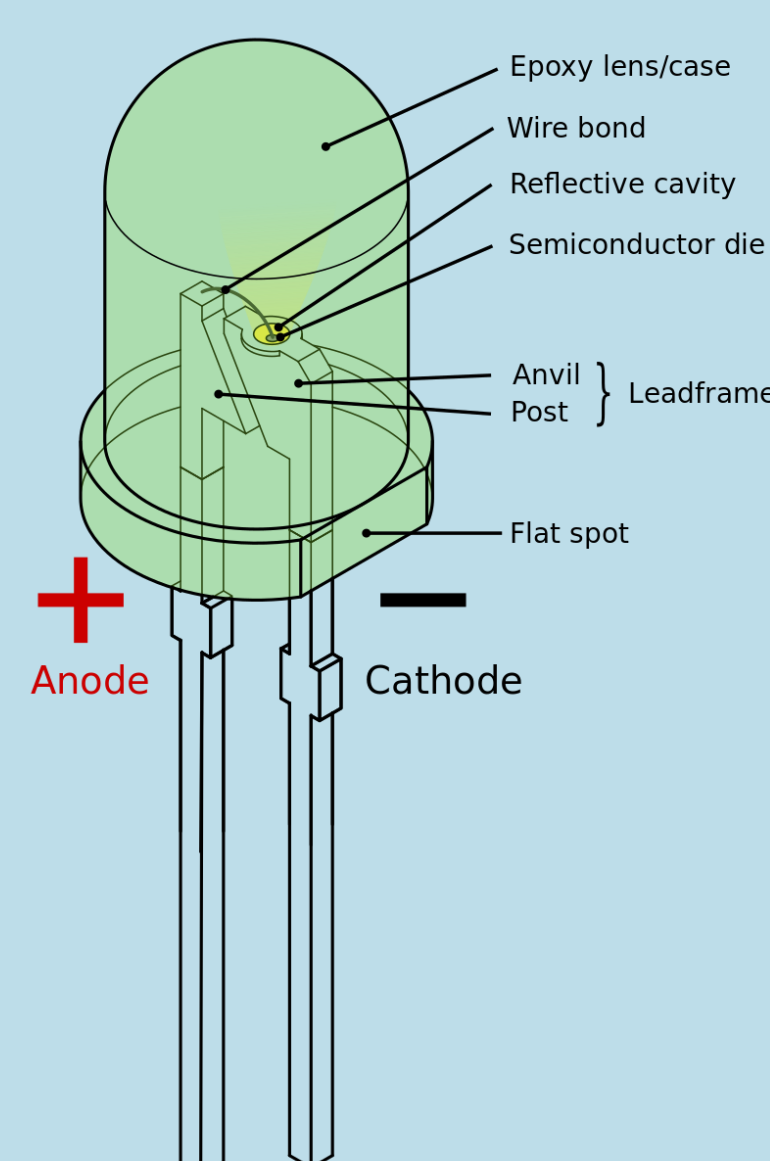


Abb. 3: LED Aufbau [3].

## Magnetresonanztomografie (MRT)

Mit einem MRT kann man Schnittbilder des menschlichen Körpers ohne die Verwendung von schädlicher Röntgenstrahlung erzeugen. In einem MRT werden die Spins von Wasserstoffprotonen im menschlichen Körper mit einem sehr starken Magnetfeld ausgerichtet. Durch Radiowellenimpulse werden die durch das starke Magnetfeld ausgerichteten Spins ausgelenkt. Nach einem Impuls drehen sich die Spins wieder in die ausgerichtete Richtung und senden dabei Radiowellen aus. Die Art und Weise, wie die Spins der Protonen zu ihrer Ausgangsposition zurückkehren, hängt von den umgebenden Geweben ab und liefert anhand von Unterschieden in den ausgesendeten Radiowellen Informationen über die Gewebeszusammensetzung und -struktur.



Abb. 4: Offener Magnetresonanztomograph [4].

## Quantencomputer

Normale Computer arbeiten mit Bits. Diese können entweder 1 oder 0 sein. Quantencomputer arbeiten mit Qubits (Quantenbits). Diese können durch Superposition gleichzeitig 1 und 0 sein. Diese Information wird in Qubits zum Beispiel in Form des Spins eines Elektrons gespeichert. Des Weiteren kann der Informationsinhalt von Qubits untereinander durch Verschränkung verbunden sein. Mit 4 Bits und auch Qubits können 16 ( $2^4$ ) verschiedene Informationen (z.B.: Lösungen für ein Problem) gespeichert werden (0000, 0001, 0010...). Normale Computer berechnen diese verschiedenen Lösungen nacheinander. Quantencomputer hingegen können diese Lösungen gleichzeitig berechnen. IBM plant bis 2033 den Bau eines Quantencomputers mit 100.000 Qubits abgeschlossen zu haben.

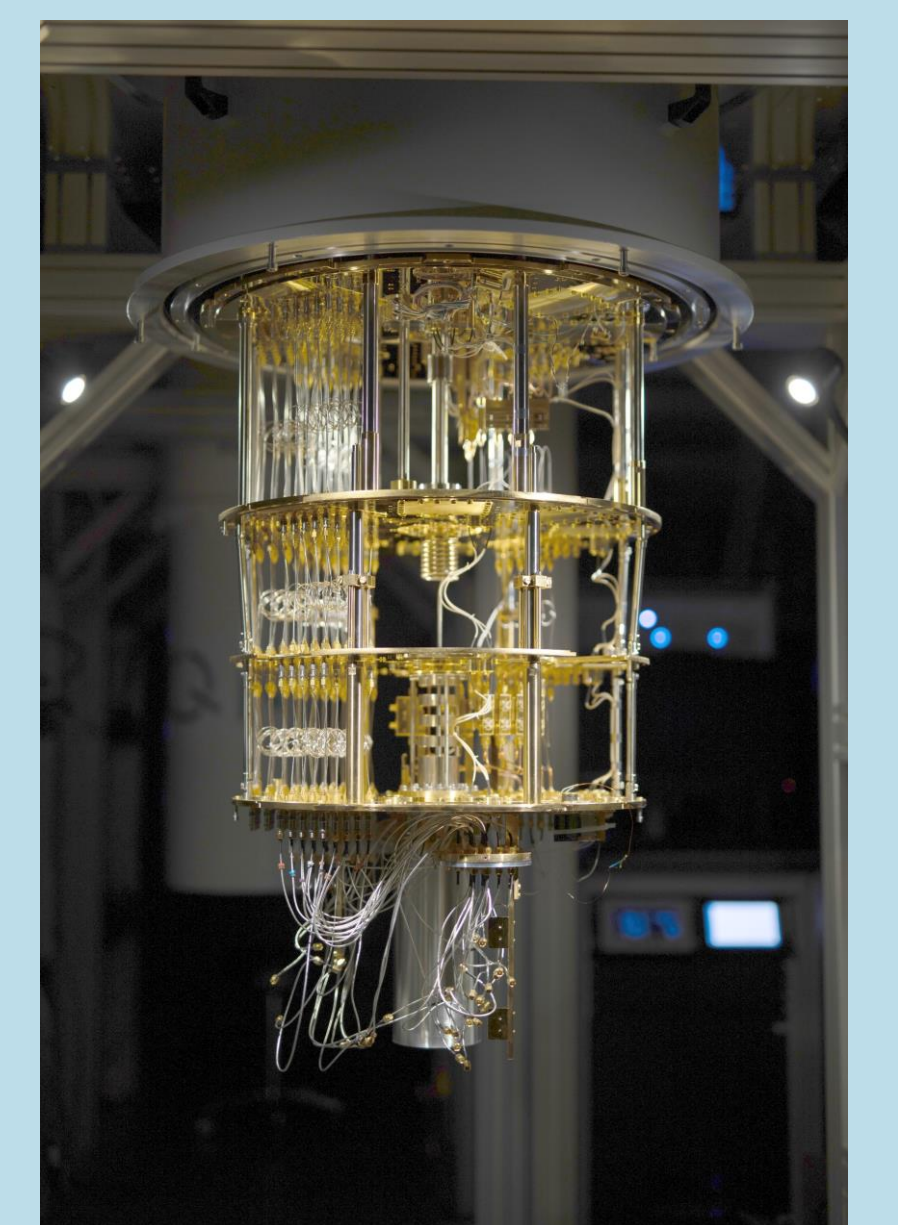


Abb. 5: Quantencomputer [5].

## Quantensensoren

In Quantensensoren werden Eigenschaften der Quantenmechanik genutzt. Dies ermöglicht die Konstruktion von deutlich präziseren, kleineren und günstigeren Sensoren als derzeit möglich. Mit einem ODMR-Quantensensor lässt sich zum Beispiel die Stärke eines Magnetfeldes messen. Feine ODMR-Quantensensoren sind in der Lage Magnetfelder in der Größe von Nano-tesla zu messen. Das Erdmagnetfeld hat etwa 50  $\mu$ Tesla. An der HRW entwickeln wir Sensoren, um die magnetischen Felder von menschlichen Herzen zu messen. Dies könnte wichtige Informationen für die medizinische Diagnostik einfacher zugänglich machen.

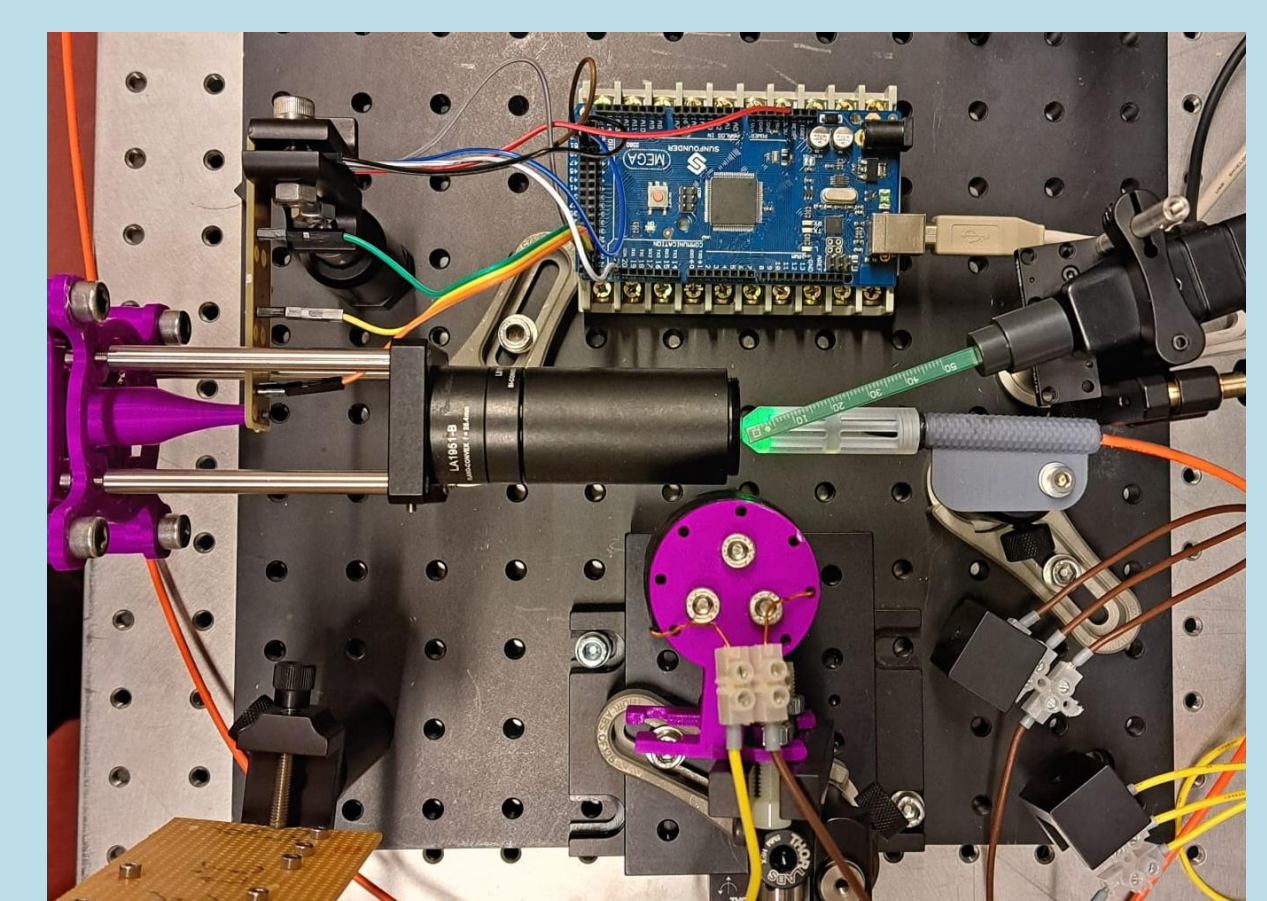


Abb. 6: Quantensensor [6].

## Quellen:

- [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a1/Atomuhr\\_CS4\\_caesium\\_clock%2C\\_Physikalisch-Technische\\_Bundesanstalt%2C\\_Braunschweig%2C\\_1992\\_-\\_Braunschweigisches\\_Landesmuseum\\_-\\_DSC04949.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a1/Atomuhr_CS4_caesium_clock%2C_Physikalisch-Technische_Bundesanstalt%2C_Braunschweig%2C_1992_-_Braunschweigisches_Landesmuseum_-_DSC04949.JPG)
- Sgbeer (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laserschema.svg>), „Laserschema“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>
- Mrubli ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LED\\_5mm\\_green\\_\(labelled,\\_full\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LED_5mm_green_(labelled,_full).svg)), <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>
- Julian Jürgens, Universitätsklinikum Magdeburg ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Offener\\_Magnetresonanztomograph.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Offener_Magnetresonanztomograph.JPG)), „Offener Magnetresonanztomograph“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/legalcode>
- Ragsxl ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IQM\\_Quantum\\_Computer\\_Espoo\\_Finland.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IQM_Quantum_Computer_Espoo_Finland.jpg)), Tonwertkorrektur von Michael Bennemann, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>
- Versuchsaufbau eines Quantensensors des Instituts für Mess- und Sensortechnik: <https://www.hochschule-ruhr-west.de/forschung/forschung-in-den-instituten/institut-mess-und-sensortechnik/>