

Studiengang Quantum Engineering



Grundlagen der Quantentechnologien in Physik und Ingenieurwissenschaften

Studieninformationstage 2019



Fachrichtung Physik
Fachrichtung Systems Engineering
Universität des Saarlandes





“Quantum Technologies (QT) is at the intersection of physics, engineering, computer science and related fields of study. Training successful ‘quantum engineers’ and more generally a quantum-aware workforce should be a central objective of the QT Flagship initiative.”

- Final report of the Quantum Flagship High Level Steering Committee

.

Expandierendes Forschungsfeld:

- Hohe Forschungsinvestitionen deutschland-, europa- und weltweit
Institutionen suchen Mitarbeiter*innen **mit technischem und quantenphysikalischem Verständnis**
- Unsere Absolvent*innen gehen zu Nobelpreisträgern, berühmten Labors, sie erhalten Professuren, etc

Expandierender industrieller Arbeitsmarkt:

- Einstieg von großen **Konzernen** (IBM, Google, Microsoft)
- Scouting von **Anwenderfirmen** (Daimler, BMW, SAP, Zeiss ...)
- Aktive **Startup**-Szene

Studienmotivation:

- Faszination der **Quantenwelt** und der **Technologie**
- Das Studium kombiniert
 - den ingenieurwissenschaftlichen Ansatz (Problemlösungs-orientiert)
 - den naturwissenschaftlichen Ansatz (Erkenntnis-orientiert)

Alleinstellung:

- Anwendungsorientierte Wissenschaft
- Ausrichtung auf das Zukunftsfeld **Quantentechnologie**

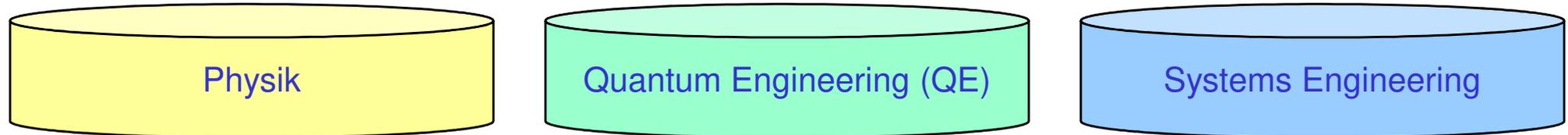
Der Studiengang QE: Das Konzept

Dr. rer. nat.

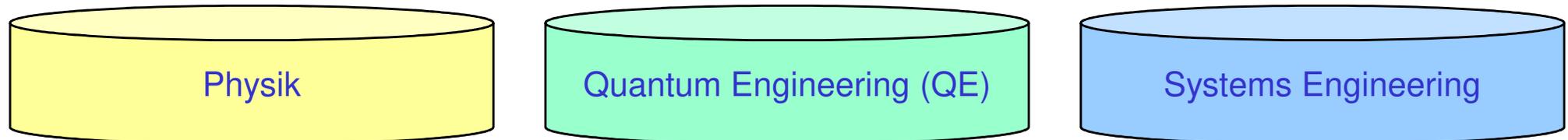
Promotion

Dr.-Ing.

Master (Regelstudienzeit 4 Semester): Ziel des Universitätsstudiums, Befähigung zur Promotion



Bachelor (Regelstudienzeit 6 Semester): erster Abschluss & Drehscheibe im Studium



Quantentechnologien 1. Generation

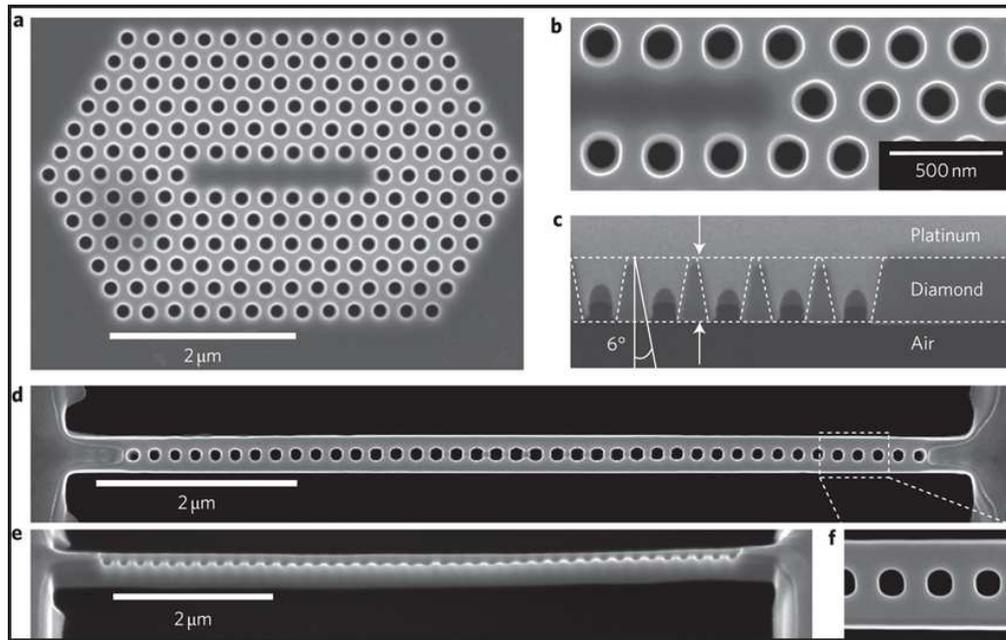
- Anwendung von Quanteneffekten: Supraleitung, Materiewellen, Lichtpartikel (Photonen), Interferenz, GMR-/TMR-Sensorik
- Beispiele: MRT (Magnetresonanz-Tomographie), SQUID (Magnetfeldmessung), LIDAR, Festplatten

Quantentechnologien 2. Generation

- Anwendung von Quanteneffekten: Verschränkung, Quantenmessung
- Beispiele: Quantencomputer, Kryptographie, Sensorik, Quanten-Simulatoren, Metrologie

Quantenkommunikation

Mikrostrukturierte Kristalle kontrollieren die Photonen



Nature Nanotechnology 7, 69-74 (2011)

Einzelne Atome senden
einzelne Lichtteilchen aus

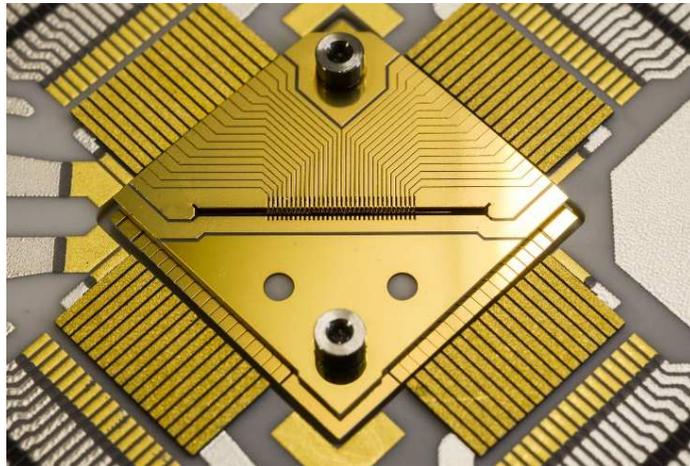


J. Eschner

An der UdS: **Prof. C. Becher, Physik**
Prof. J. Eschner, Physik

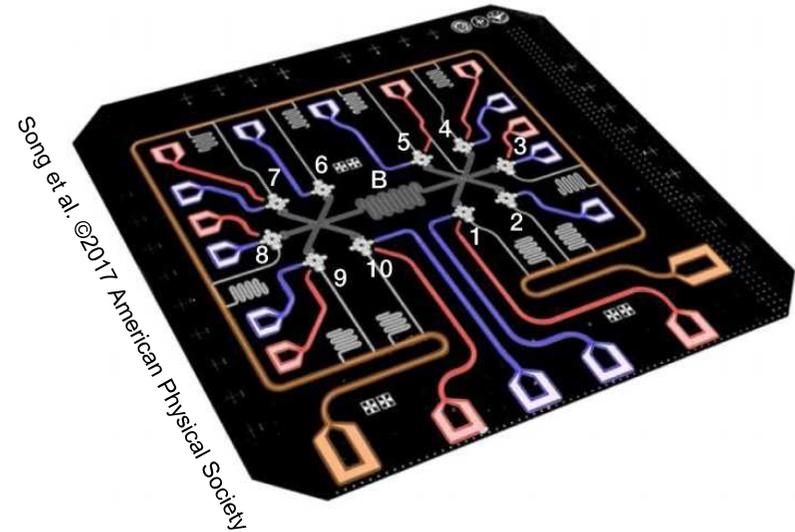
Quantencomputing

Ionenfallen-Quantencomputer



<https://www.quantenbit.physik.uni-mainz.de/quantum-computer/>

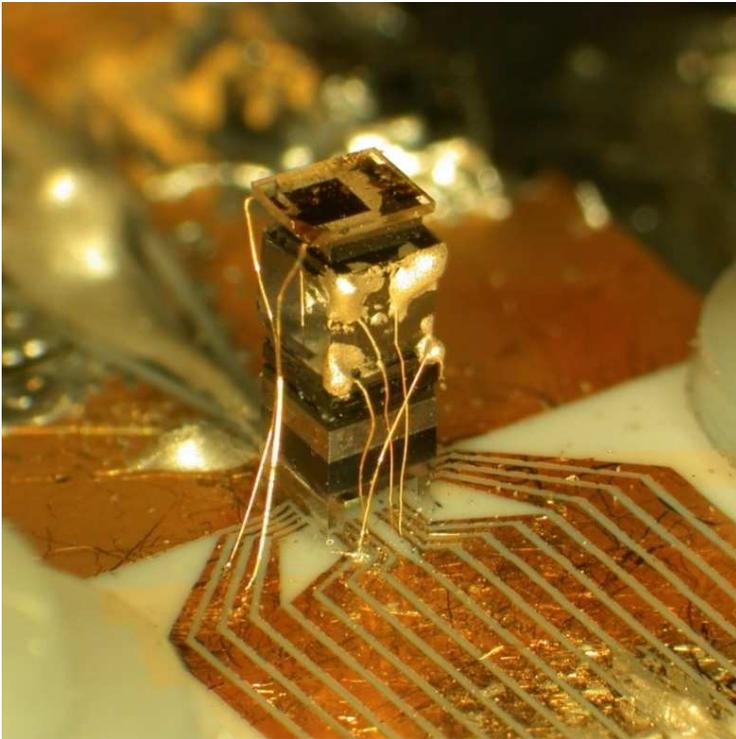
Quantencomputer-Chip mit 10 verschränkten Quantenbits



An der UdS: **Prof. M. Möller, Systems Engineering**
Prof. F. Wilhelm-Mauch, Physik

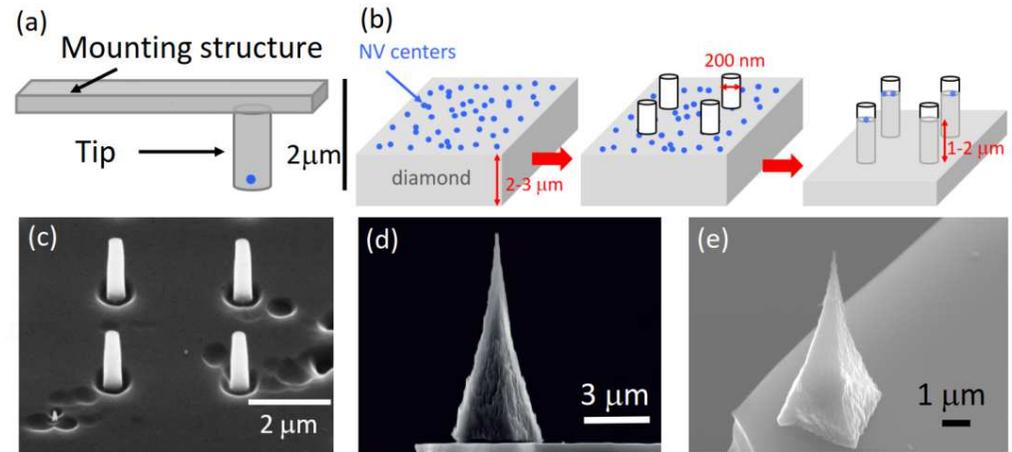
Quantensensorik

Chip-scale atomic clock



<http://www.nist.gov>

Atomkraft-Mikroskop mit Quantenlicht



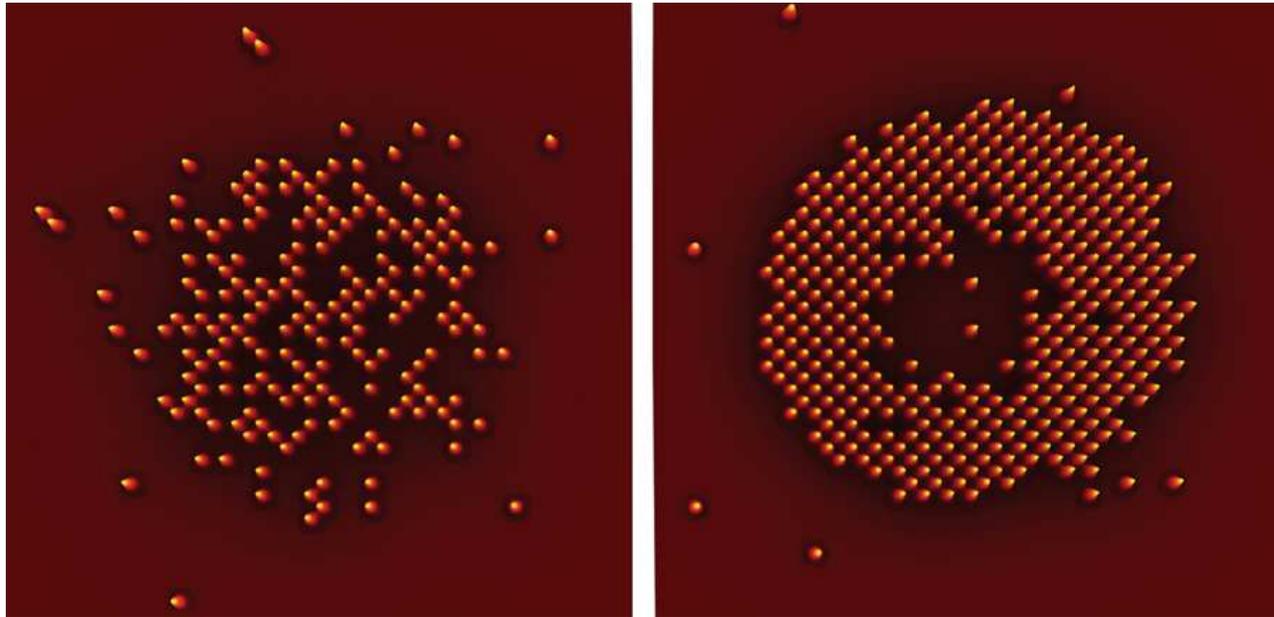
Bernardi et al., Crystals 2017, 7, 124

An der UdS: **Prof. A. Schütze, Systems Engineering**
Dr. E. Neu-Ruffing, Physik
Prof. U. Hartmann, Physik

Quantensimulation

Simulation von Quantenmaterialien
mit einzelnen Atomen in einer Lichtfalle

Nature Physics **14**, 1159–1161 (2018)



An der UdS: **Prof. G. Morigi, Physik**

Die Sichtweise des Physikers:

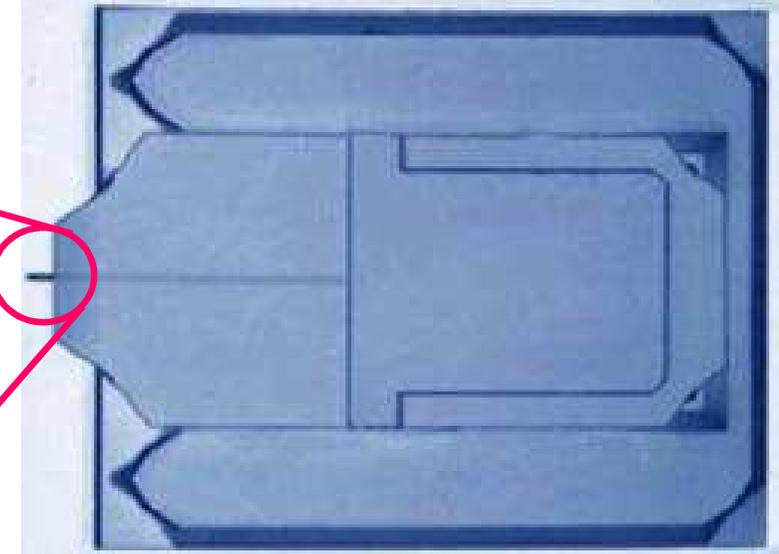
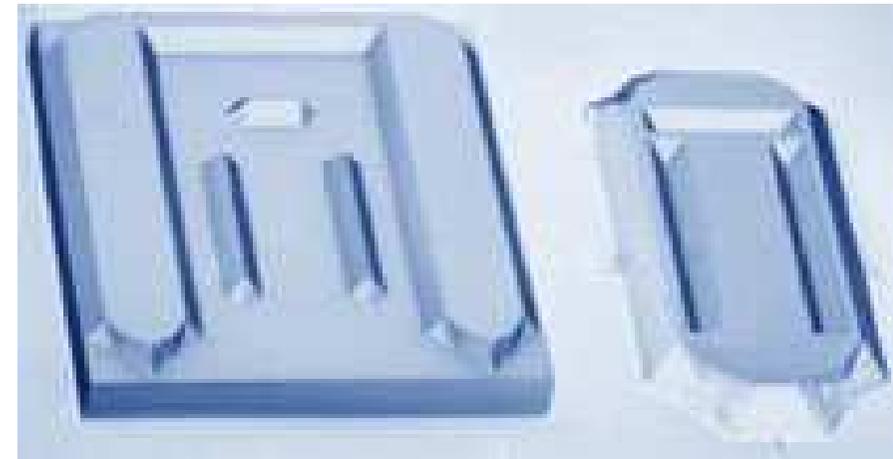
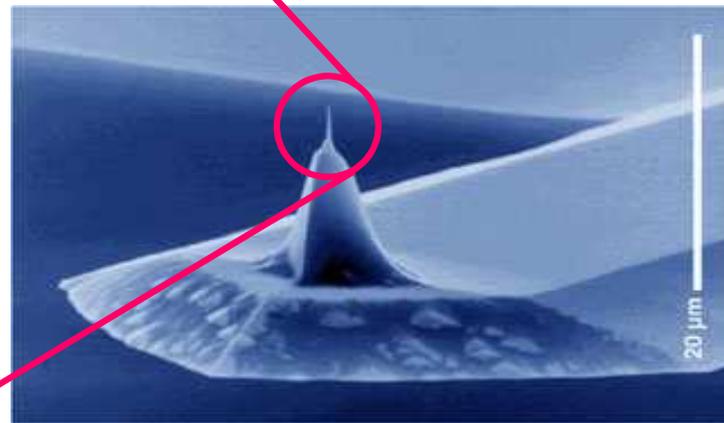
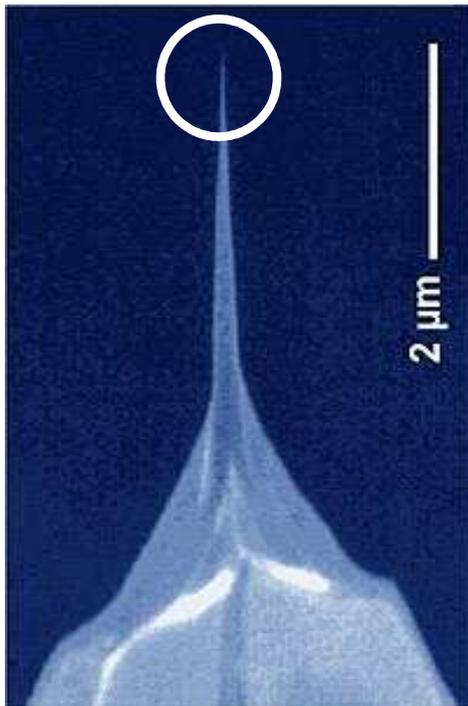
- Kontrolle von Quantensystemen
- Messung an den fundamentalen = quantenphysikalischen Grenzen von Empfindlichkeit und Auflösung
- Verständnis und Nutzung des quantenmechanischen Zufalls
- Verständnis und Nutzung der quantenmechanischen Messung
- Nutzung von Verschränkung

Dimensionen überbrücken: QE verbindet Makro mit Nano

- Physik schafft die Grundlagen
- Systems Engineering verbindet Technologien und Komponenten zu komplexen Systemen

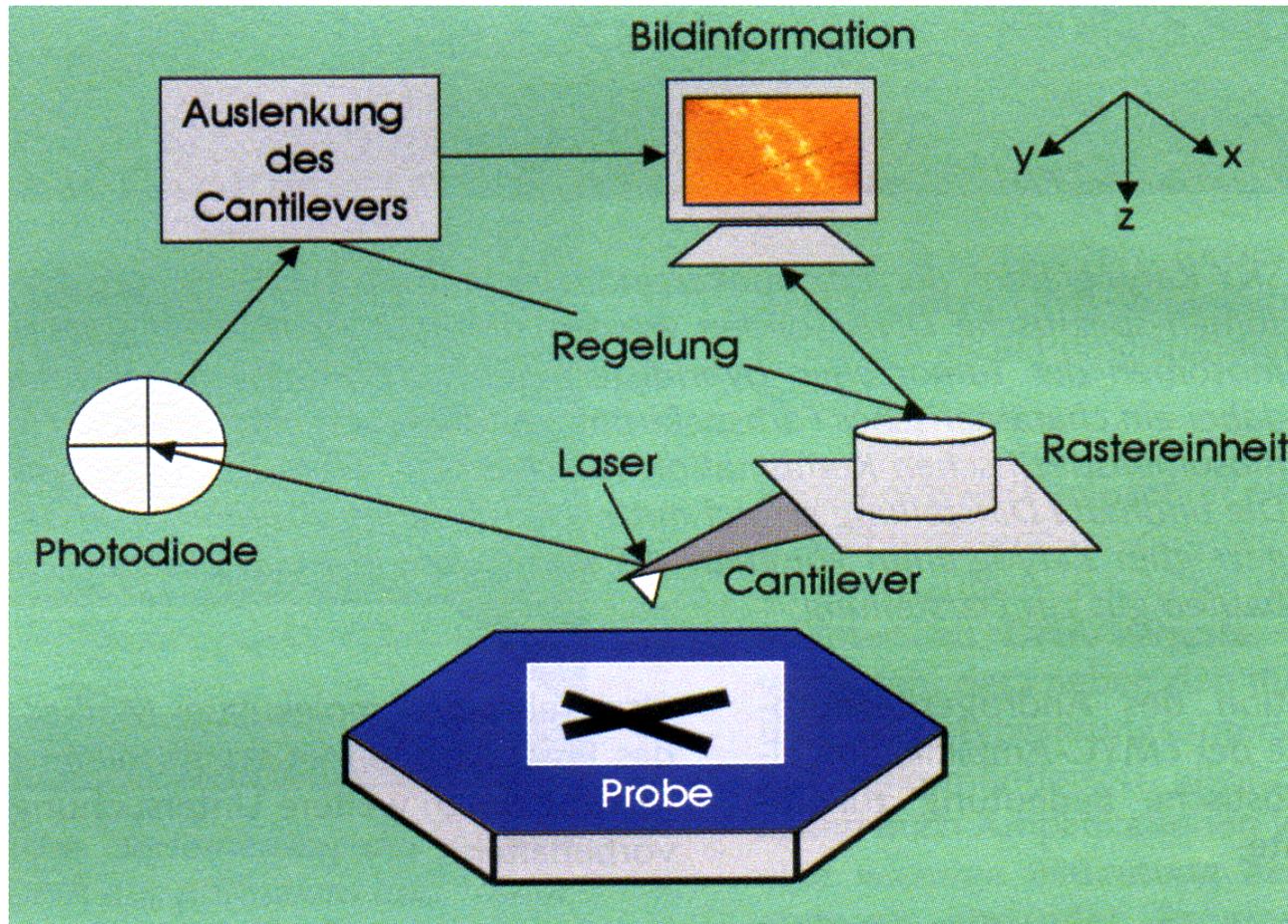
Spitzen \varnothing ca. 1 Å

Mikrotechnisch hergestellte Spitze eines Rasterkraftmikroskops und Alignmentstruktur für einfachen Spitzenwechsel



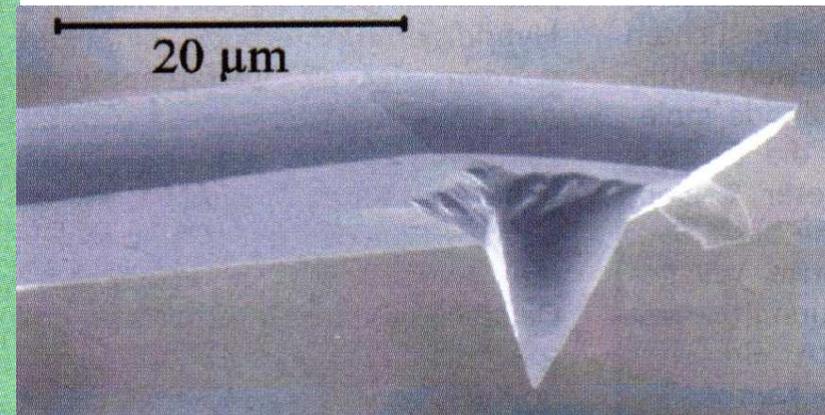
Quelle: Nanosensors

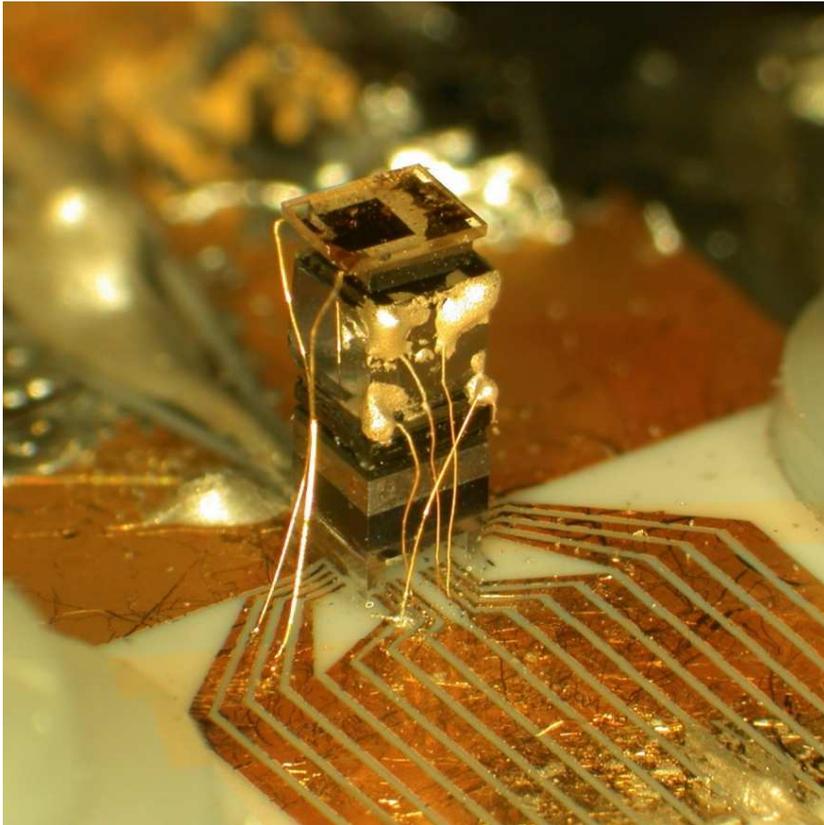
Beim Atom- oder Rasterkraftmikroskop wird die Verbiegung eines Balkens (Cantilever) optisch erfasst. Die quantenmechanische Wechselwirkung des Cantilevers mit der Oberfläche erlaubt deren Abbildung mit atomarer Auflösung.



Die Abtastung geschieht mit einem piezoelektrischen xy-Scanner, der nm-Auflösung ermöglicht. Für höchste Empfindlichkeit und Auflösung ist ein weicher Biegebalken mit sehr scharfer (atomarer) Spitze erforderlich.

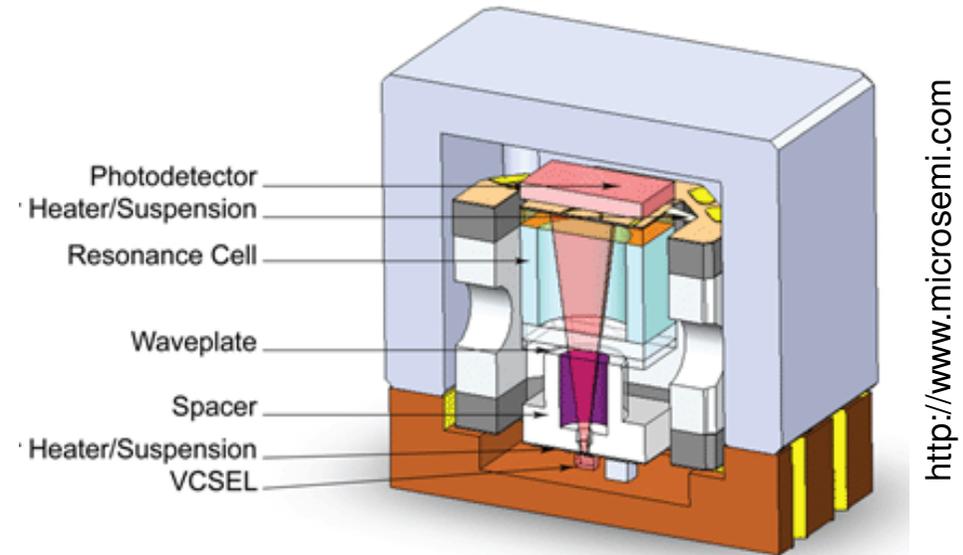
Herstellung mittels Si-Ätztechnik





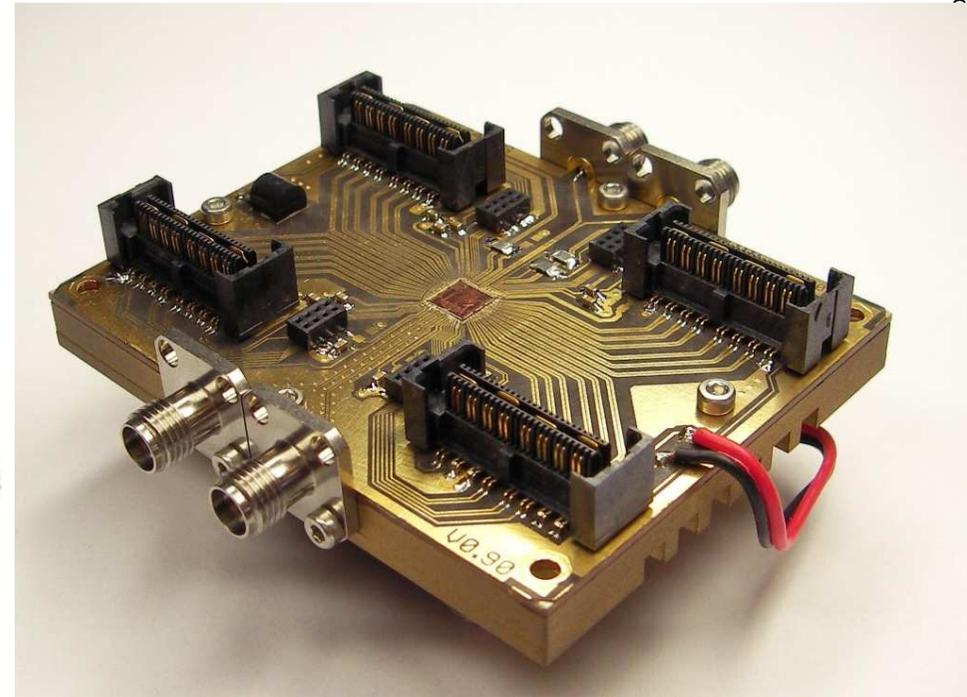
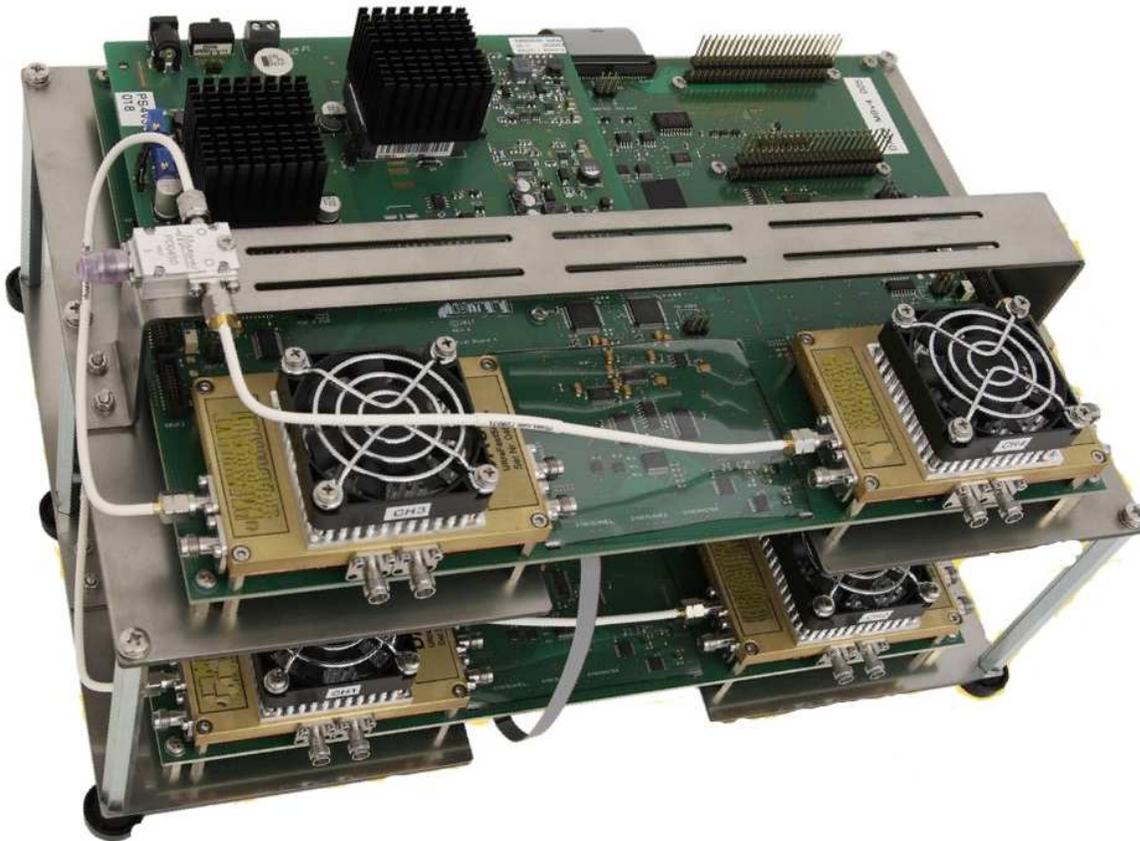
Eine **Chip-scale atomic clock** nutzt Quantentechnologien zur extrem genauen Zeitmessung
→ Basis für verbesserte Navigations- und Kommunikationssysteme

Erste Konzepte wurden kurz nach der Jahrtausendwende präsentiert



Die Sichtweise des Ingenieurs:

- Erweiterung klassischer Technologien auf Quantensysteme (Regelung, Messtechnik, (HF-)Elektronik, Photonik, Mechanik, ...)
- Design und Fabrikation von kontrollierbaren Quantensystemen (Oszillatoren, Schaltkreise, Photonen, Atome, Moleküle, ...)
- Design und Fabrikation der Kontrollwerkzeuge und –methoden (Laser, Mikrowellen, Akustik, ...)
- Sensoren und Messsysteme mit integrierten Quantenstandards
→ keine Kalibrierung/Eichung erforderlich



Vier der derzeit weltweit schnellsten, im Femtosekunden Bereich synchronisierten, Analog/Digital- und Digital/Analog-Wandler mit Abtast-Raten über jeweils 100 GS/s zum Anregen und Auslesen von Quanten-Signalen.

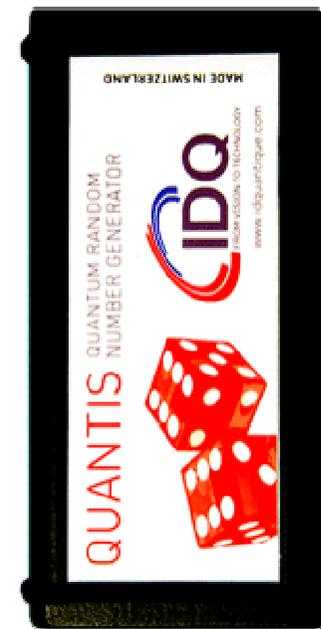
<https://www.idquantique.com/ran>

Beispiele im täglichen Leben



Es bereits erste Armbanduhren auf Basis von Chip-Scale Atomic Clocks.

Zufallsgeneratoren auf der Basis von Quantenmessungen können für Internet-Casinos verwendet werden.



https://www.idquantique.com/random-number-generation/products/quantis-random-number-generator

Bachelor of Science (BSc)

- sechs Semester Regelstudiendauer
 - Kombination Physik und Systems Engineering mit Fokus Elektronik
 - stark strukturierte Grundlagenausbildung
 - Überblick: Studienplan
 - Details: Modulhandbuch
- } siehe: www.se.uni-saarland.de → Studium
- zusätzlich Studium Generale (z.B. Sprachen, BWL, Patentrecht) oder Tutortätigkeit
 - Abschluss: Bachelorarbeit (Projektarbeit im Labor), Dauer ca. 3 Monate

Master of Science (MSc, *wird 2020 eingerichtet*)

- vier Semester Regelstudiendauer
- gestaltbar für individuelle Vertiefung und Schwerpunktsetzung
- Pflichtbereich ca. 1/3 inkl. Laborpraktika
- Wahlpflicht ca. 1/4, (auch Soft Skills, Patentrecht, Teamprojekte ...)
- Abschluss: Laborprojekt und Masterarbeit (Projektarbeit im Labor), Dauer ca. 9 Monate

Nach dem BSc auch Wechsel zu MSc Physik oder Systems Engineering möglich.

Weitere Infos im Web:

- <http://www.uni-saarland.de/fachrichtung/systems-engineering/studium/studiengaenge/>

Zentrale Studienberatung:

- Campus Center, Tel. 0681 302-7117
Email: mint-studienberatung@uni-saarland.de

Studienfachberatung:

- Physik: **Prof. Dr. Jürgen Eschner**
Gebäude E2 6, Zi. 3.02, Tel. 58016, 58017
Email: juergen.eschner@physik.uni-saarland.de
- Systems Engineering: **Prof. Dr. Andreas Schütze**
Gebäude A5 1, Zi. 2.33, Tel. 4663
Email: schuetze@LMT.uni-saarland.de

z.B.

1. [Prüfungsordnung](#)
2. [Studienordnung](#)
3. [Studienplan](#)
4. [Modulhandbuch](#)
5. [Richtlinien für das
Industriepraktikum](#)

Fachschaft Physik: <http://fachschaft.stud.uni-saarland.de/physik>

- Faszination **Quantenwelt** und **Technologie**
aus der Sicht der Physiker und der Ingenieure
- Vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten und Perspektiven
z.B. für noch unentschlossene MINT-Interessierte
(Naturwissenschaft und/oder Ingenieurwissenschaft?)
- Lernen in kleinen Teams mit individueller Betreuung
 - Im Rahmen des Studiums
 - Im Rahmen internationaler Forschung
- **Quantentechnologien sind ein Europäischer Schwerpunkt**