

# Quantische Perspektiven für KI

HKA bildet die ersten Quanteningenieure Deutschlands aus

K  
A



# AppSphere Innovation Day 2026

**AI-Impact**

**24. Juni 2026**

**Welche Mehrwerte schafft KI bereits heute in Unternehmen?**

Best-Practice-Sessions | Impulsvorträge | Netzwerk



# Grenzen klassischer Computertechnik



## Moore'sches Gesetz und Miniaturisierung in der Schaltungstechnik

- + Moore'sches Gesetz: Anzahl der Transistoren auf integrierten Schaltkreisen verdoppelte sich bisher ungefähr alle zwei Jahre
- + Stetig kleinere Strukturbreiten zur kosteneffizienten Steigerung der Integrationsdichte erforderlich
- + Halbleitertechnologie bewegt sich dabei von der Mikro- zur Nanotechnologie
- + Sinkende Strukturgrößen führen zu Transistoren aus wenigen Atomen: Tunneleffekte und Quantisierung
- + Klassische makroskopische Beschreibung elektronischer Bauelemente nicht mehr ausreichend, quantenmechanische Effekte müssen beachtet werden

### Mikrotechnologie > 100 nm Strukturbreite

10 µm	Intel 4004 (1971)
3 µm	Intel 8086 (1978)
1.5 µm	Intel 80286 (1982)
1 µm	Intel 386 (1985)
800 nm	Intel 486 (1989)
600 nm	Intel 486DX2 (1990)
350 nm	Intel Pentium Pro (1995), Nintendo 64
250 nm	DEC Alpha, Playstation 2 (1999)
180 nm	Intel Pentium P4 (2000)

### Nanotechnologie < 100 nm Strukturbreite

65 nm	Intel Core 2 Duo (2005)
45 nm	Intel Core 2 Extreme (2007)
32 nm	Produktion für (2009)
22 nm	Ende herkömmlicher CMOS-Gatter (2012)
7 nm	Übergang zur Nanoelektronik (2018)
2 nm	Nanoelektronik (Tunneleffekt) (2025)

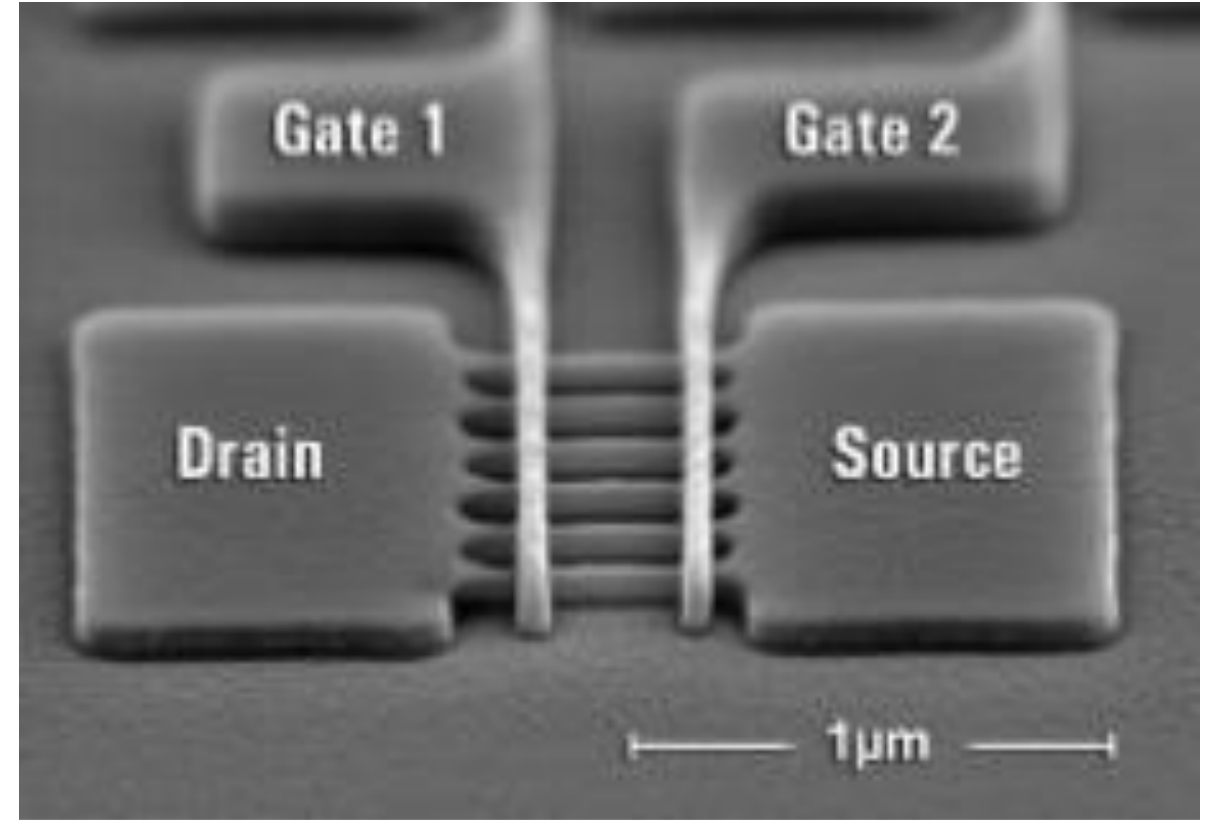
Quelle: [https://en.wikipedia.org/wiki/International\\_Technology\\_Roadmap\\_for\\_Semiconductors#References](https://en.wikipedia.org/wiki/International_Technology_Roadmap_for_Semiconductors#References)

# Grenzen klassischer Computertechnik



## Moore'sches Gesetz und Miniaturisierung in der Schaltungstechnik

- + Moore'sches Gesetz: Anzahl der Transistoren auf integrierten Schaltkreisen verdoppelte sich bisher ungefähr alle zwei Jahre
- + Stetig kleinere Strukturbreiten zur kosteneffizienten Steigerung der Integrationsdichte erforderlich
- + Halbleitertechnologie bewegt sich dabei von der Mikro- zur Nanotechnologie
- + Sinkende Strukturgrößen führen zu Transistoren aus wenigen Atomen: Tunneleffekte und Quantisierung
- + Klassische makroskopische Beschreibung elektronischer Bauelemente nicht mehr ausreichend, quantenmechanische Effekte müssen beachtet werden



Quelle: [https://cscproxy.mpi-magdeburg.mpg.de/mpcsc/benner/talks/Benner\\_Dies2008.pdf](https://cscproxy.mpi-magdeburg.mpg.de/mpcsc/benner/talks/Benner_Dies2008.pdf)

# Anfänge des Quantencomputings

Physics of Computation Conference 1981



Quelle: <https://research.ibm.com/blog/qc40-physics-computation>

Hochschule Karlsruhe

Februar 2026

6



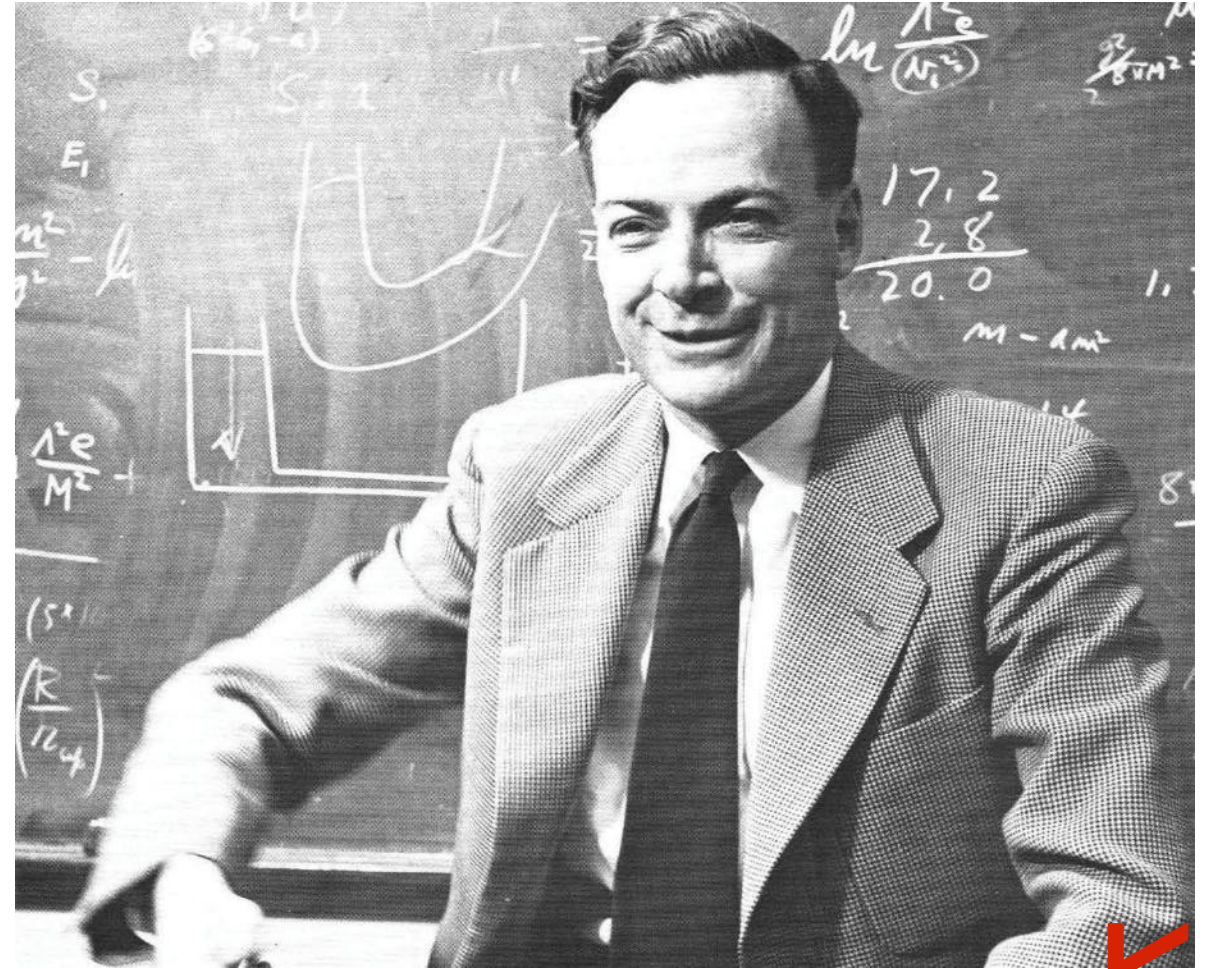
# Anfänge des Quantencomputings

Richard Feynman: Der Anfang einer Idee ...

»Nature isn't classical, dammit,  
and if you want to make a simulation of nature,  
you'd better make it quantum mechanical,  
and by golly it's a wonderful problem,  
because it doesn't look so easy.«

Richard P. Feynman

Simulating physics with computers,  
International Journal of Theoretical Physics 21, 467–488 (1982)



Quelle: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Richard\\_Feynman\\_1959.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Richard_Feynman_1959.png)



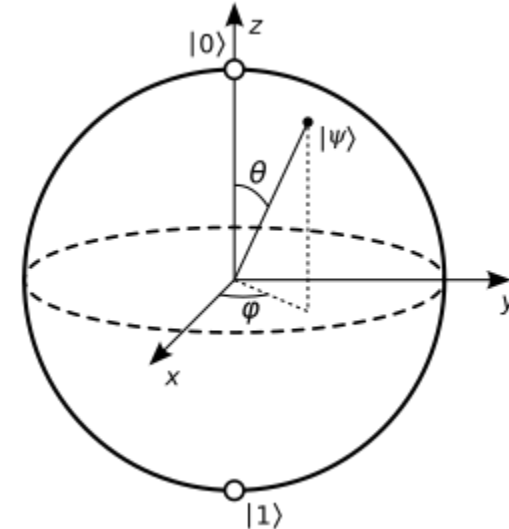
# Konzept des Quantencomputings



Quantenbit als elementare Informationseinheit

Klassisches Bit

Quantenbit (Qubit), Darstellung als Bloch-Kugel



Ein Zustand im eindimensionalen Raum  
Darstellung der Zahlen 0 und 1

Unendlich viele Zustände im zweidimensionalen Raum  
 $|\psi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle$  mit  $|a|^2 + |b|^2 = 1$ ,  $a, b \in \mathbb{C}$   
 $|\psi\rangle = \cos\frac{\theta}{2}|0\rangle + e^{i\varphi}\sin\frac{\theta}{2}|1\rangle$

Qubits sind eine völlig andere Darstellung von Information und haben kontraintuitive Eigenschaften.

# Anwendungen im Quantencomputing



## Wichtige Algorithmen im Überblick

Name	Abstraktes Problem	Anwendungsbeispiel
<b>Shor</b>	Faktorisierung einer gegebenen Zahl $N$ in Primfaktoren $p$ und $q$	Kryptographie
<b>Grover</b>	Suche eines markierten Elements in einer unstrukturierten Datenmenge	Datenbanksuche, Optimierung, Logistik
<b>HHL</b> Harrow, Hassidim, Lloyd	Lösung linearer Gleichungssysteme	Strömungssimulation, Maschinenbau
<b>VQE</b> Variational Quantum Eigensolver	Bestimmung von Grundzustandsenergien quantenmechanischer Systeme	Chemie, Materialwissenschaften, Pharmazie
<b>QAOA</b> Quantum Approximate Optimization	Kombinatorische Optimierung	Portfoliooptimierung, Routenplanung
<b>QML</b> Quantum Machine Learning	Lernen und Klassifikation in hochdimensionalen Datenräumen	Künstliche Intelligenz, Mustererkennung, industrielle Datenanalyse

# Anwendungen im Quantencomputing



## Domänen

### Künstliche Intelligenz

Transaktionsklassifikation, Produktempfehlungen, Betrugserkennung, Risikoanalyse, Optionsbewertung, Investitionsrisikoanalyse, Portfoliomanagement, Kredit- und Vermögensbewertung, Flugplanung, Erkennung irregulärer Betriebszustände

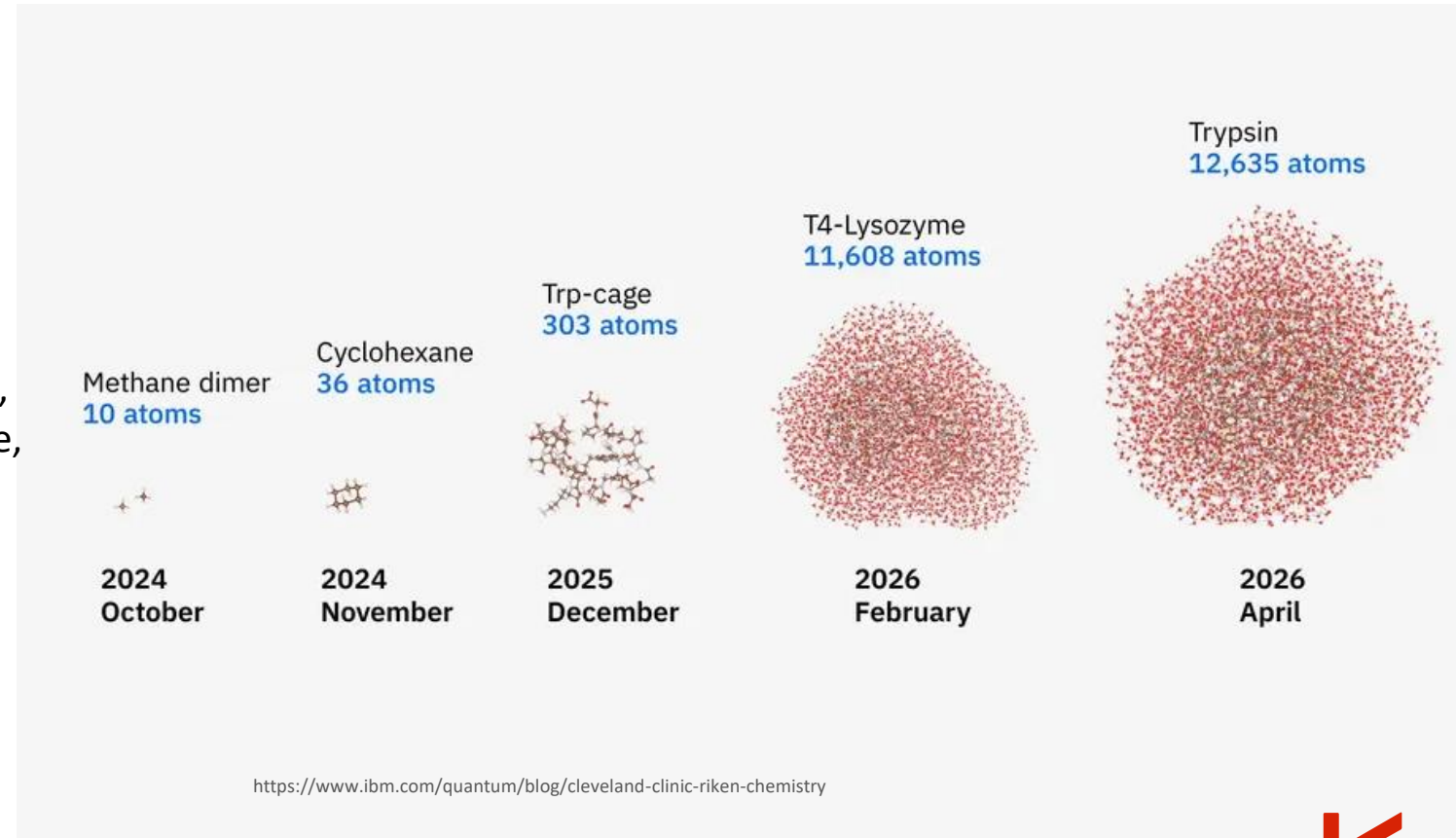
### Optimierung und Analyse

Netzwerkoptimierung, Produktportfoliooptimierung, Produktionsplanung, Qualitätskontrolle, Fahrzeugrouting, Rohstofflogistik, Behandlung irregulärer Betriebszustände, Fertigungsoptimierung, Optimierung von Lieferketten, Strömungsdynamik

### Simulation quantenmechanischer Systeme

Materialien, Vorhersage chemischer Eigenschaften, Wirkstoffentwicklung, Proteinstrukturvorhersage, Krankheitsrisikoanalyse, Genomanalyse, chemisches Produktdesign, Katalysatorentwicklung, Klassifikation in der Hochenergiephysik

Forschritte in der Molekülsimulation: IBM, Cleveland Clinic, RIKEN, 2024 – 2026  
2x IBM QC, 2x HPC



# Quantentechnologie

## Politische und wirtschaftliche Aspekte

- + High Tech Agenda der Bundesrepublik (Mai 2026):
  - Schlüsseltechnologie Quanten, 2,3 Milliarden € Förderung bis 2030
  - Bis 2030: zwei deutsche fehlerkorrigierte QC
- + Quantum Europe Strategy der EU-Kommission (Juli 2025)
  - Europa bis 2030 führender Quanten-Kontinent
- + McKinsey Quantum Technology Monitor 2026:
  - Wirtschaftlicher Mehrwert 2035: 2.700 Milliarden US\$
  - 2025: 12,3 Mrd. US\$ Invest in Quanten-Startups
  - Private Investitionen: 97%
- + QuEra Quantum Readiness Survey 2026: größtes Hindernis sind fehlende Fachkräfte



## WisdomTree Quantum Computing ETF: 8 Monate, +77%



Quelle: <https://www.onvista.de/etf/Wisd-Iss-ICAV-WT-Qua-Comp-ETF-Reg-Shs-USD-Acc-oN-ETF-IE000W8WMSL2>



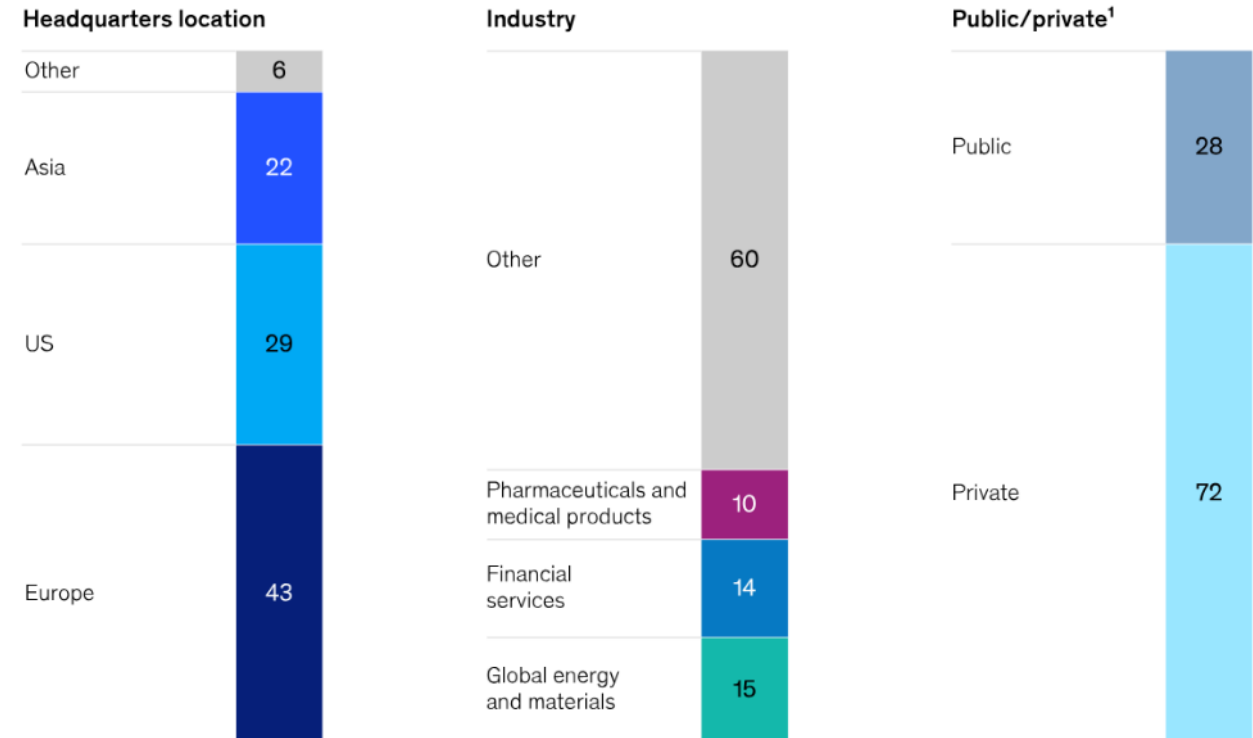
# Quantentechnologie

## Geografische Aspekte

- + USA: Ansiedlung von Marktführern
- + Europa: stark in Anwendung
- + China: holt massiv auf
- + Worldwide Quantum Clusters Ranking (European Centre for International Political Economy ECIPE, Dez. 25):
  1. Cambridge
  2. Helsinki
  3. Oxford
  4. San Francisco
  5. Glasgow
  6. Tel Aviv
  7. Karlsruhe



Distribution of analyzed quantum computing customers (nonexhaustive), % (n = 162)



<https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-technology/our-insights/mckinsey-quantum-technology-monitor-2026-a-commercial-tipping-point>



# Bachelor-Studiengang Quantencomputing



## Kernpunkte des Studiengangs an der HKA

- + Erster anwendungsorientierter und praxisnaher Bachelor in Quantencomputing in Deutschland
- + Ausbildung von Quanten-IngenieurInnen mit Fähigkeiten in Betrieb, Wartung, Programmierung, Weiterentwicklung und Integration von Quantencomputern (Quantum-DevOp)
- + Enge Verzahnung von Elektrotechnik, Informatik, Physik und Mathematik mit Industrieanwendungen
- + Qualifikation im Bereich Quantencomputer, aber auch in Informationstechnik, Digitaltechnik, Informatik
  
- + Einschreibung: jetzt
- + Vorlesungsbeginn: 28. September 2026



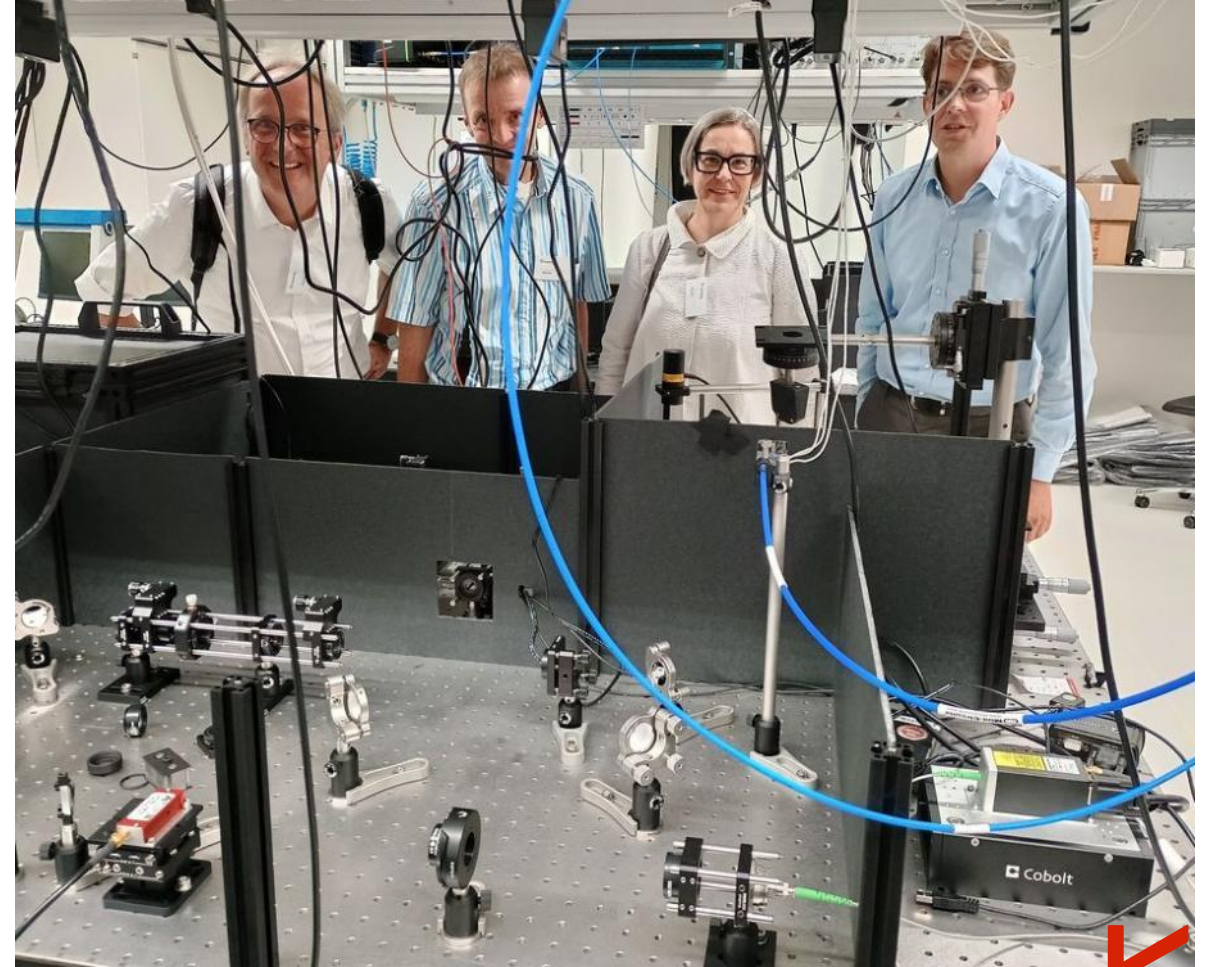
Besuch SaxonQ in 2025, Quelle: SaxonQ

# Bachelor-Studiengang Quantencomputing



## Zielsetzung und Grundsätze

- + Berufsqualifizierender Bachelorabschluss in 7 Semestern
  - Grundlagen in den ersten 3 Semestern
  - Spezialisierung Quantencomputing Semestern 4 - 7
- + Grundsatz: Kennen und Können ...
  - Theoretische Inhalte werden in Laboren und Praktika begreifbar gemacht
  - Projekte mit steigenden Freiheitsgraden integraler Bestandteil
- + Grundsatz: Wir lassen Sie nicht alleine ...
  - Seminaristischer Unterricht in kleinen Gruppen
  - Enge Betreuung durch Dozierende
  - Lernzentren für Mathematik, Elektrotechnik und Digitaltechnik



FhG IAF Labor, Quelle: Franz Quint

# Netzwerk Quantencomputing der HKA



Kooperationen und Einbindung in das Ökosystem der Hersteller und Forscher

- + HKA ist Mitglied in Quantum<sup>BW</sup>
- + Kooperationen mit den Firmen SaxonQ, XeedQ, IBM, Qutools, Quantum Machines u.a. (Experimentalplattformen, Praxissemester, Projektarbeiten, Abschlussarbeiten)
- + Kooperation mit Fraunhofer-Instituten, KIT und anderen Hochschulen
- + Einbindung des Studiengangs in größere Strategien wie
  - High Tech Agenda Deutschland, Schlüsseltechnologie Quanten, Ziel 4: Fachkräfte und Technologie
  - Roadmap QuantumBW, Ziel 4: Ausbildung



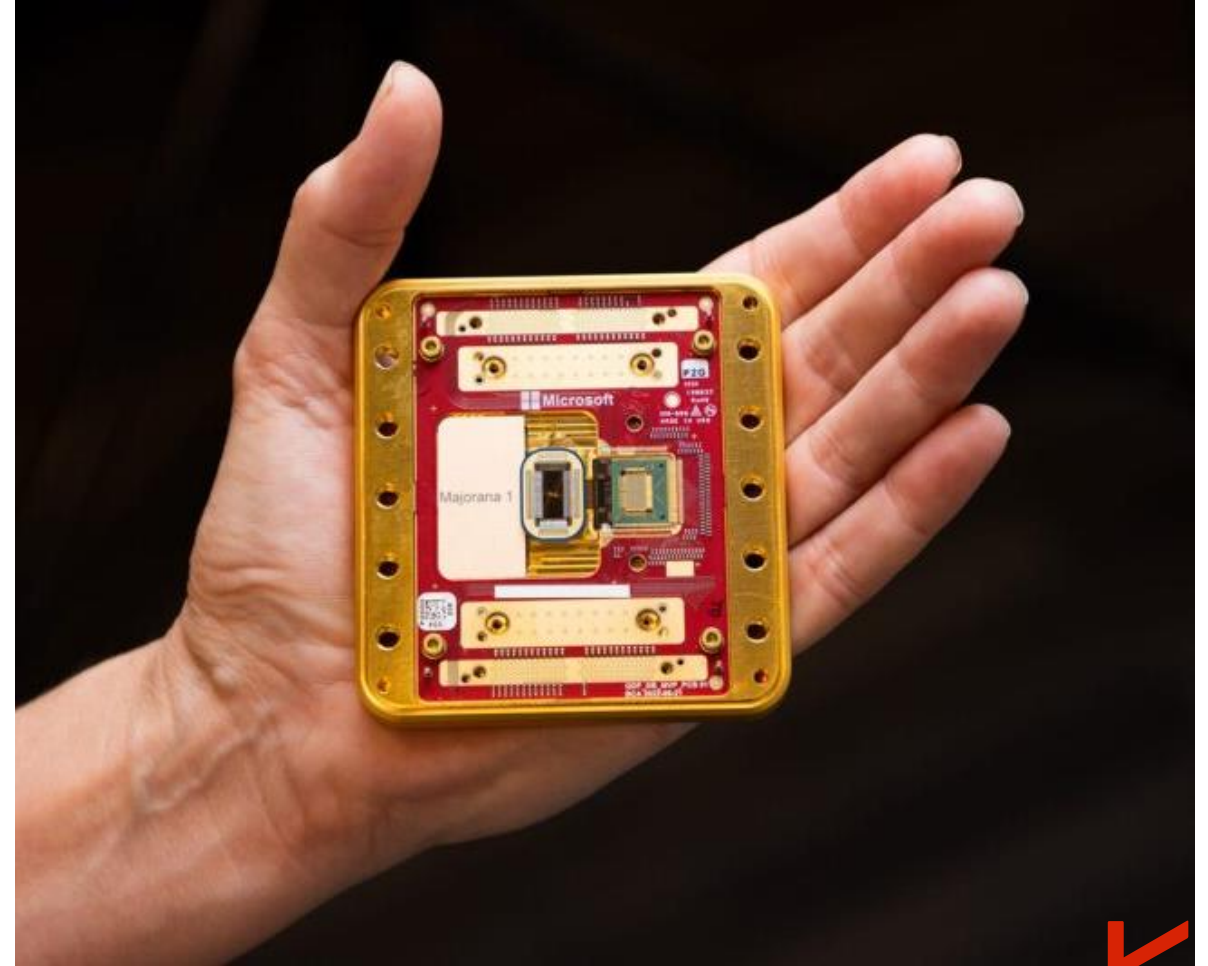
Quelle: <https://www.quantumbw.de/de/news/auftritt-quantum-effects-2023/>

# Netzwerk Quantencomputing in Karlsruhe



## Aufbau eines Anwendernetzwerkes

- + Karlsruhe ist IT-Hochburg
- + Karlsruhe macht sich auf den Weg zur Quantenhochburg
- + Anwendung, Anwendung, Anwendung
- + Wichtig: Dabei sein, wenn der Zug abfährt
- + Felder:
  - Anwendungsgebiete des Quantencomputings und des Quantensensing
  - Miniaturisierung von Quantencomputern, Kombination mit FPGA-Bausteinen
  - Schnittstellen zwischen Quantencomputern und herkömmlichen Rechnern
- + Gemeinsam den Standort Karlsruhe stärken



Quelle: <https://www.businessinsider.de/wirtschaft/quantencomputer-von-microsoft-und-co-physiker-sind-skeptisch/>

# 1000 Quantenpioniere gesucht

Werden Sie Teil der Quantenrevolution in Karlsruhe

- + 1961: Bits in der Zuse Z22 der HKA
- + 2026: Qubits im Quantencomputer der HKA für
  - die praxisnahe Ausbildung der Studierenden
  - Lehre und Forschung zum Anfassen
  - Wirtschaft und Gesellschaft
- + damit Quantencomputing ein Werkzeug für alle wird,
- + damit wir technologisch an der Spitze bleiben.



Zuse Z22 und Quantencomputer im ZKM, Foto: Uli Deck



# 1000 Quantenpioniere gesucht



Ihr Platz im „Inner Circle“ der Pioniere

- + Dauerhafte Sichtbarkeit auf der Spender-Ehrenliste
- + Exklusiver Zugang zu Netzwerk-Events, Fachvorträgen
- + Vernetzung durch Kontakt mit Experten, Top-Talenten, Fachkräfte von morgen
- + Haltung zeigen durch Nutzung des offiziellen Siegels „Quantenpionier der HKA“ für Ihre Kommunikation
- + Legen Sie den Grundstein für die nächste technologische Revolution in Deutschland



Spendenevent ZKM, Foto: Uli Deck



# AppSphere Innovation Day 2026

**AI-Impact**

**24. Juni 2026**

**Welche Mehrwerte schafft KI bereits heute in Unternehmen?**

Best-Practice-Sessions | Impulsvorträge | Netzwerk

# Bachelor-Studiengang Quantencomputing: Grundstudium



	Mathematik	Quantenphysik	Informatik	Elektrotechnik	Digitaltechnik
Semester 1: Grundstudium	Mathematik 6 SWS	Experimentalphysik Grundlagen- seminar QC 4 + 1 SWS	Informatik 1 mit Übungen 4 + 2 SWS	Gleichstromtechnik mit Projekt 3 + 1 SWS	Digitaltechnik mit Labor 4 + 2 SWS
Semester 2: Grundstudium	Höhere Mathematik 6 SWS	Atom- und Festkörperphysik 4 SWS	Informatik 2 mit Übungen 4 + 2 SWS	Wechselstrom- technik mit Labor 4 + 2 SWS	Mikro-Controller mit Labor 4 + 2 SWS
Semester 3: Erweitertes Grundstudium	Technische Mathematik und Systemsimulation 6 SWS	Quanten- mechanik 4 SWS	Software Engineering und verteilte Systeme 4 SWS	Elektronik mit Labor 4 + 2 SWS	Signale und Systeme Ethische Grundsätze des Ingenieurberufs 4 SWS



# Bachelor-Studiengang Quantencomputing: Hauptstudium



Semester 4: Grundkonzepte	Architekturen von Quantencomputern 4 SWS	Quantenoperationen und -algorithmen mit Labor 4 + 2 SWS	Zufallsprozesse in der Quanten- mechanik 4 SWS	Schnittstellen zu Quantencomputern mit Labor 4 + 2 SWS	Technisches und nichttechnisches Wahlfach
Semester 5:	Praxissemester mit Vor- und Nachbereitung				
Semester 6: Anwendungen	Quanten- sensorik und -kommunikation 3 + 3 SWS	Fehlertolerantes Quantencomputing mit Labor 4 + 2 SWS	Quanten- optimierung und KI-Anwendungen 3 + 3 SWS	Projektarbeit	Technisches und nichttechnisches Wahlfach
Semester 7: Abschluss	Vorbereitung Wissenschaftliches Arbeiten	Bachelor-Thesis mit Kolloquium		Ringvorlesung Quantencomputing 4 SWS	Technisches Wahlfach

