

# Warum Quantentechnologien (für Infineon) relevant sind!

Dr. Sebastian Luber (ATV TI)  
13.07.2022

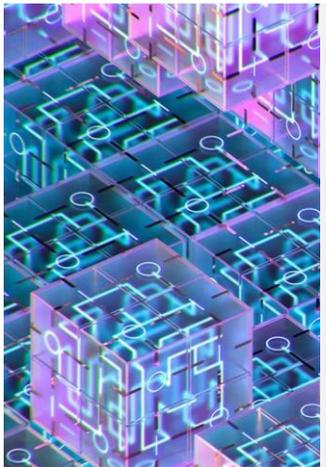


# Quantentechnologien werden neue Horizonte eröffnen, in der Pharmazie über die Chemie bis hin zum Finanzwesen und der Automobilindustrie



Sichere  
Kommunikation

Präzise  
Sensoren



Neuartige  
Simulation

Quanten-  
technologien

Hoch-  
leistungs-  
Computer



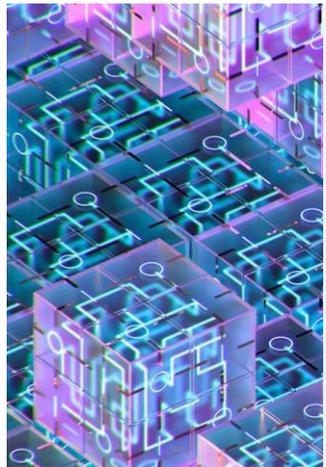
Aktive Nutzung von Quantenprinzipien wie **Überlagerung und Verschränkung**

Für Infineon sind zwei Bereiche von besonderem Interesse:  
Quantensensorik und Quantencomputing.



Sichere  
Kommunikation

Präzise  
Sensoren



Neuartige  
Simulation



Hoch-  
leistungs-  
Computer

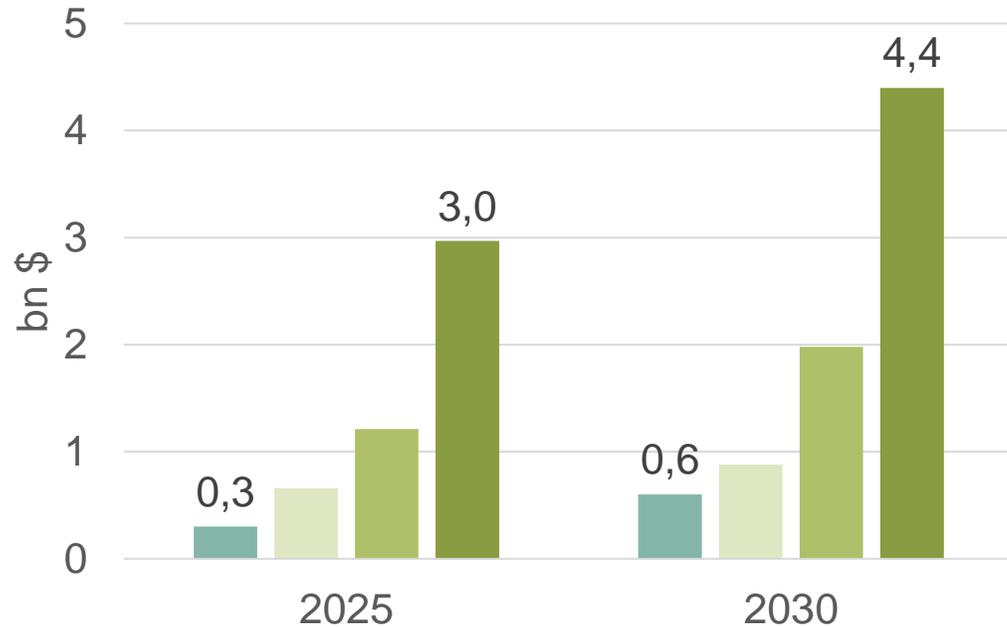


Aktive Nutzung von Quantenprinzipien wie **Überlagerung** und **Verschränkung**

# Während Sensing mittelfristig Marktpotenzial zeigt, entwickelt sich der Computing-Markt schnell mit den ersten relevanten Anwendungen



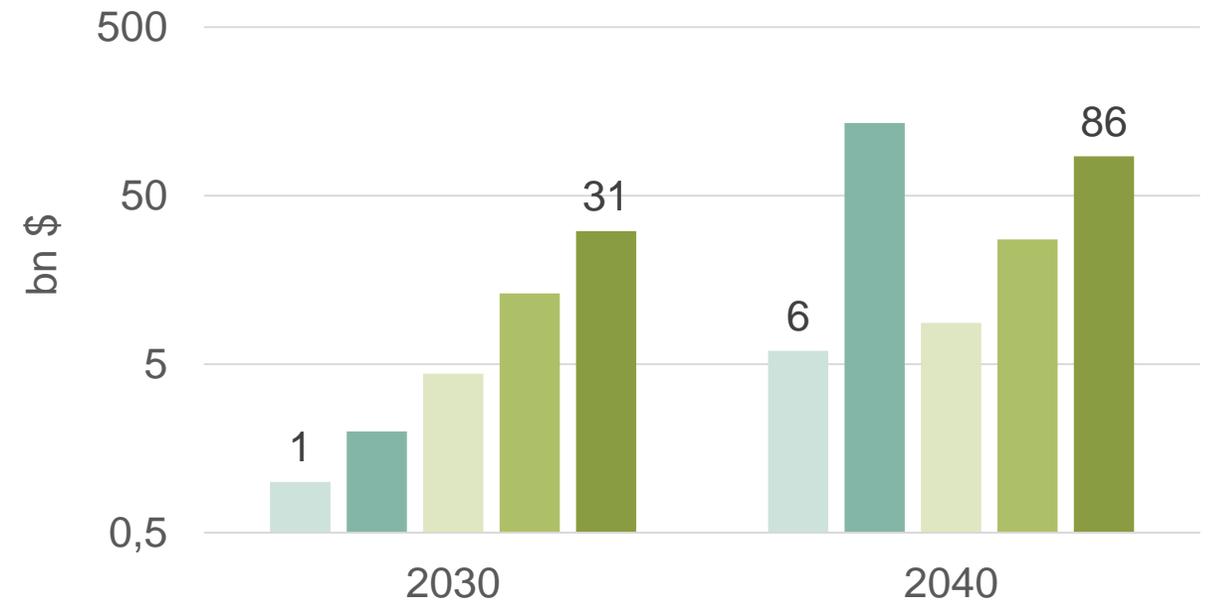
## Quanten Sensing Markt [bn \$]



- Yole
- McKinsey (low case)
- McKinsey (base case)
- McKinsey (high case)



## Quanten Computing Markt [bn \$]

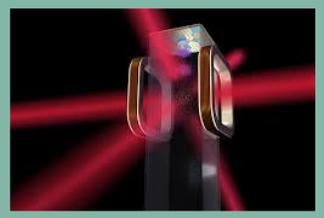


- BCG (base case)
- McKinsey (low case)
- McKinsey (base case)
- McKinsey (high case)
- BCG (upside case)

„The Quantum Technology Monitor,“ McKinsey & Company, 2021  
 E. Mounier, „Quantum Technologies - Market and Technology Report 2021,“ Yole Développement, 2021  
 M. Russo, A. Thaker und S. Adam, „The Coming Quantum Leap in Computing,“ The Boston Consulting Group, 2018.

Alle physikalischen Parameter lassen sich mit Quanten-Sensoren prinzipiell messen, für die es wiederum verschiedene Ansätze gibt.

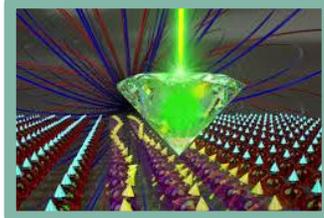
Kalte Atome



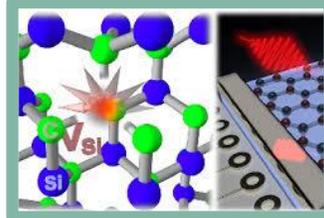
Gefangene Ionen



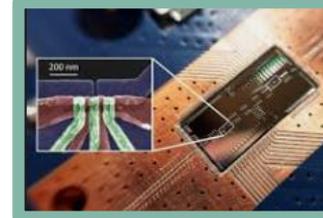
NV in Diamant



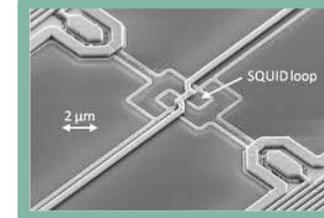
Defekte in SiC



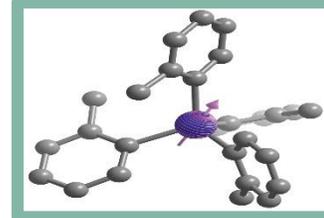
Quantenpunkt



Supraleiter



Molekül



## Quanten-Sensor

- I. Ein Objekt mit langlebigen quantisierten Energieniveaus (z. B. Zwei-Niveau-System)
- II. Fähigkeit zur kontrollierten Manipulation und zum Auslesen von Quantenzuständen
- III. Wechselwirkung des Quantensystems mit der gesuchten physikalischen Größe

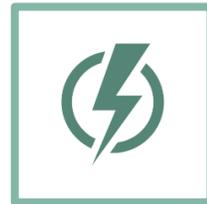
## Sensor Parameter



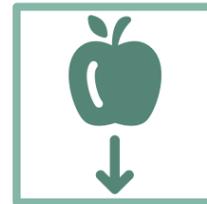
Temperatur



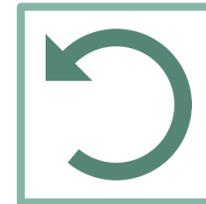
Magnetisches  
Feld



Elektrisches  
Feld



Beschleunigung



Rotation

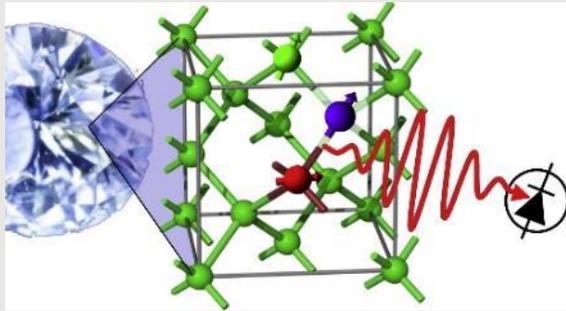


Druck



Quanten-Radar  
und Lidar

## Sensor



D. Suter, Progress in NMR Spectroscopy (2017)

Wir evaluieren empfindliche Messsysteme (Farbzentren) für magnetische Sensorik und nutzen unser SiC-Know-how zur Sensorherstellung

## Ausgewählte Aktivitäten

### > Farbzentren in Diamant und SiC als Sensoren:



– Beratung  
Epitaktische Nitrid-Leuchtdioden für hochintegrierte NV-basierte Quantensensorik



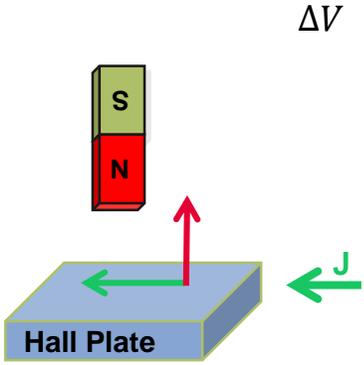
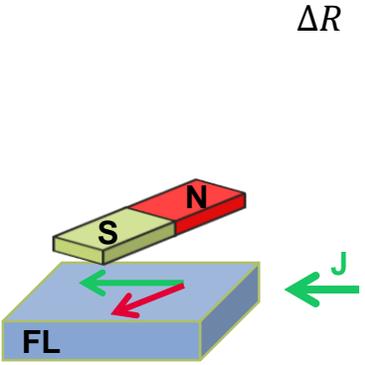
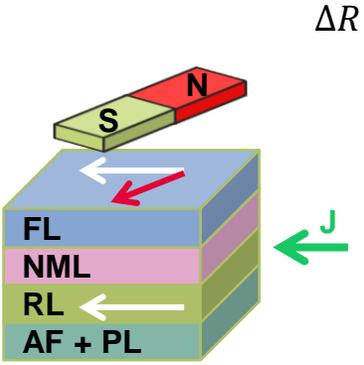
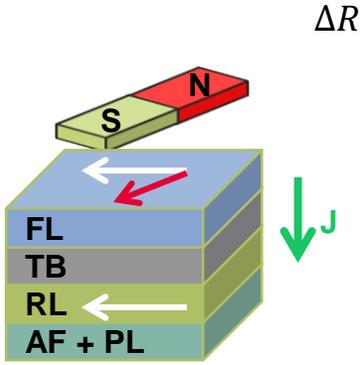
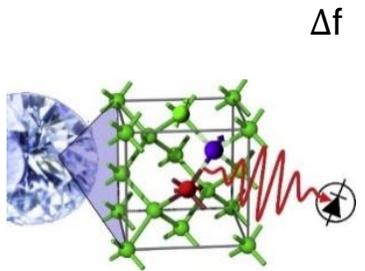
– Evaluation  
Bereitstellung von Anwendungsfällen und Testbeds für die Anwendung in der Fehleranalyse



– Evaluierung  
Nutzung des Know-hows in der SiC-Fertigung für magnetische Sensoren im Rahmen des QVOL-Projekts



# Chancen und Herausforderungen für Quanten-Sensoren zeigen sich im Vergleich mit anderen Technologien am Beispiel Magnetfeldsensoren

Hall	AMR	GMR	TMR	Quanten
 <p><math>\Delta V</math></p>	 <p><math>\Delta R</math></p>	 <p><math>\Delta R</math></p>	 <p><math>\Delta R</math></p>	 <p><math>\Delta f</math></p> <p>D. Suter, Progress in NMR Spectroscopy (2017)</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Sensitivität senkrecht zur Ebene</li> <li>&gt; Hoher Feldbereich</li> <li>&gt; Keine magnetische Hysterese</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Sensitivität in der Ebene</li> <li>&gt; Hoher Feldbereich</li> <li>&gt; Hohe Empfindlichkeit</li> </ul> <p>FL: Free layer</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Sensitivität in der Ebene</li> <li>&gt; Felder bis 90mT</li> <li>&gt; Sehr hohe Empfindlichkeit</li> </ul> <p>NML: non magnetic layer RL: Reference Layer AF: Anti Ferro Magnet</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Sensitivität in der Ebene</li> <li>&gt; Felder bis 100mT</li> <li>&gt; Ultra hohe Empfindlichkeit</li> </ul> <p>TB: Tunnel barrier PL: Pinned Layer</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Sensitivität entlang der Achse</li> <li>&gt; Hoher Feldbereich</li> <li>&gt; Hyper Empfindlichkeit?</li> <li>&gt; Keine Drift?</li> <li>&gt; Extreme Ortsauflösung</li> </ul>
<p>In der Hochvolumensproduktion</p>	<p>In der Hochvolumensproduktion</p>	<p>In der Hochvolumensproduktion</p>	<p>In der Hochvolumensproduktion</p>	<p>Erste Produkte im Markt</p>

# Vieles spricht für magnetoresistive Sensoren im Vergleich zu Hall-Sensoren... dennoch bleibt Hall im Automobil dominant.

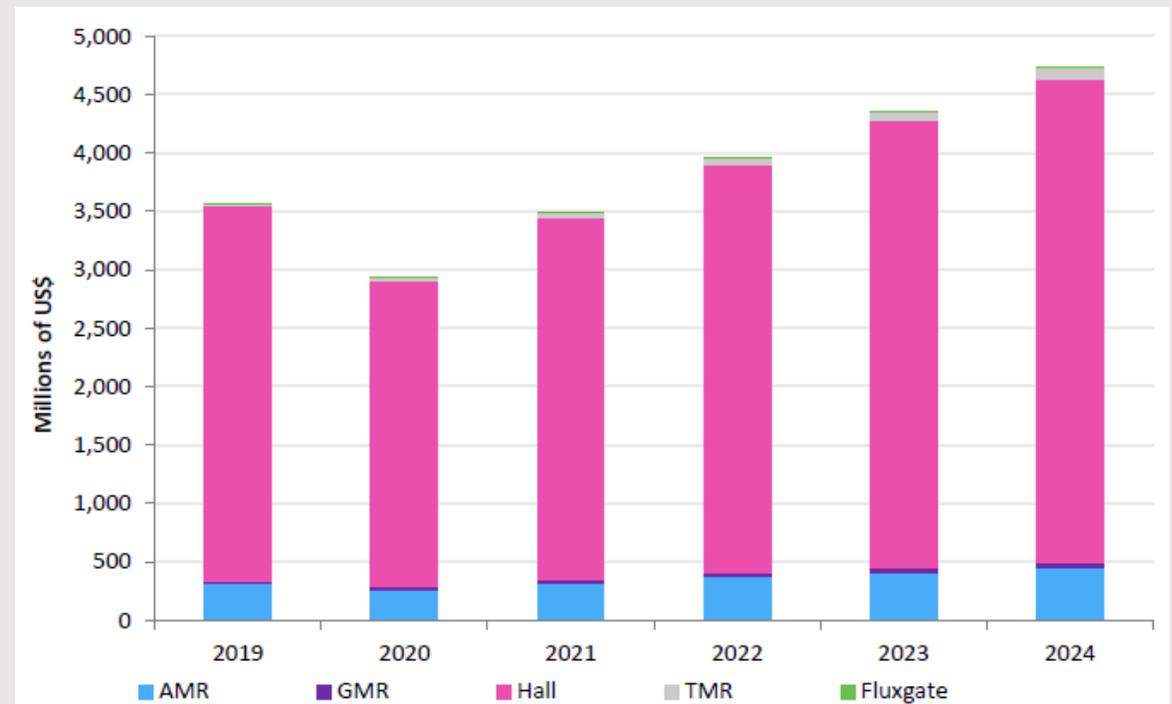
Die wichtigsten Vorteile von XMR gegenüber Hall-ICs sind

- › Höhere Empfindlichkeit (100-1000x)
- › Hohe Signal-Rausch-Verhältnisse
- › Höhere Bandbreite

Zu den Herausforderungen gehören z.B.

- › Teilweise höhere Chipkosten (dafür oft niedrigere Systemkosten)
- › Integration mit Logik nicht trivial

## Anteil der MR Technologie im Automobil



Source: Omdia

© 2020 Omdia

# Quantencomputing disruptives Potenzial und könnte sozioökonomische Herausforderungen lösen, die für klassische Rechner schwierig sind.



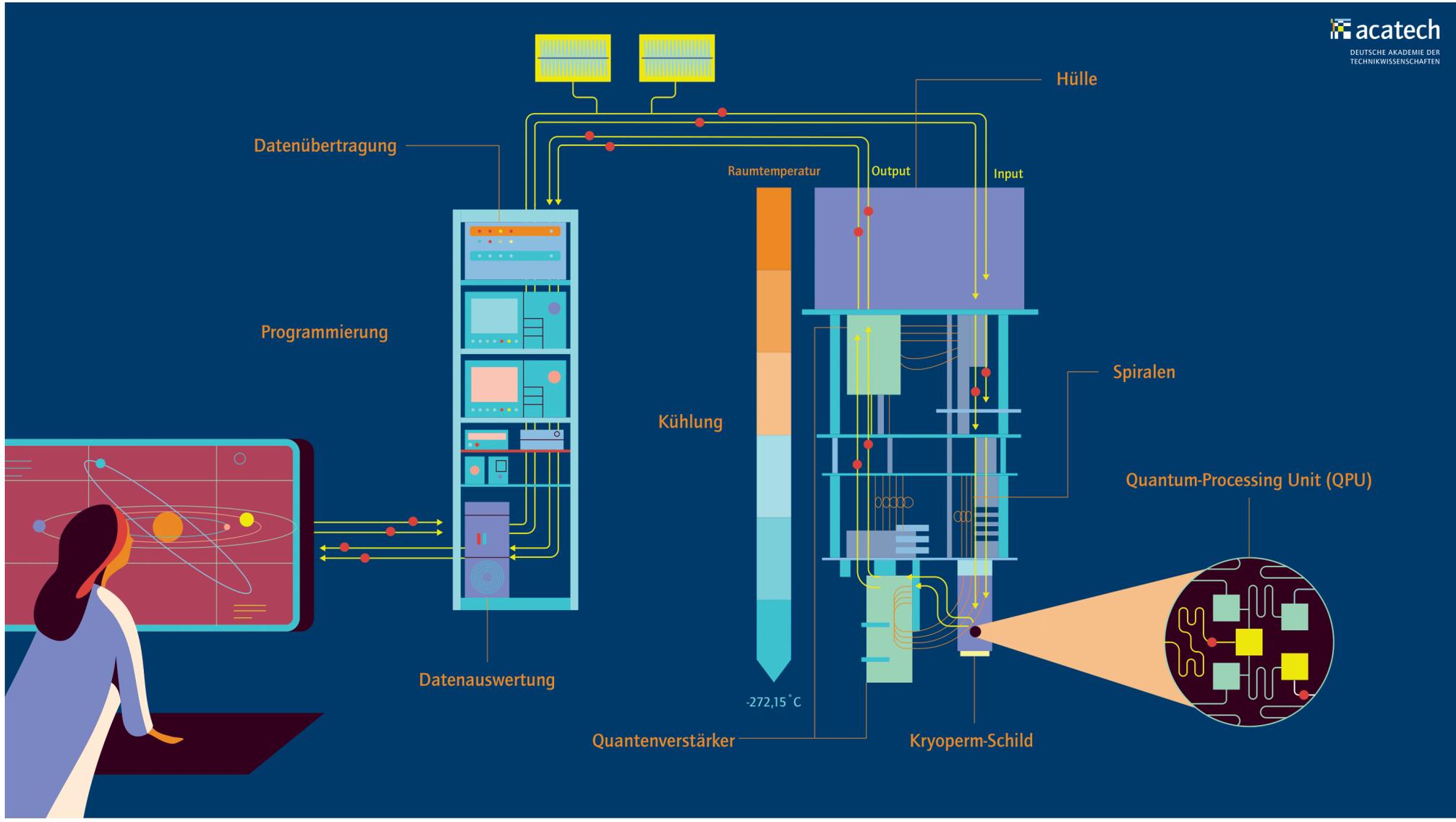
Quantencomputer können dazu beitragen, neue und bessere Katalysatoren für die Düngemittelproduktion zu entwickeln und damit den weltweiten Energieverbrauch deutlich zu senken.



Quantencomputer könnten zu einer verbesserten Bestandsvorhersage, einer robusteren Lieferkette und damit zu einer stabileren Wirtschaft beitragen.



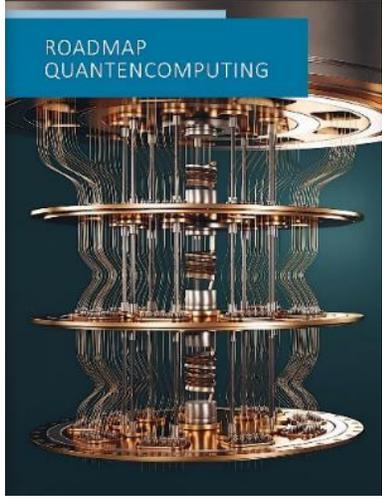
# Von den meisten Quantencomputern sieht man „nur“ die Peripherie



acatech  
DEUTSCHE AKADEMIE DER  
TECHNIKWISSENSCHAFTEN



IBM Q System One



Nationale Roadmap  
Quantencomputing (2020)

# Für einen Quantencomputer braucht man drei Bestandteile...



## **(Quantum) Bit**

Elementarer  
Datenspeicher

## **„Quanten-Magie“**

Überlagerung &  
Verschränkung

## **Logisches Gatter**

Ermöglichen erst  
Rechenoperationen

# Ein Vertreter der besonderen Quanteneffekte: Superposition ermöglicht die Ausnutzung exponentieller Effekte.

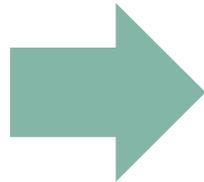


By Spiralz - Flickr, CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=477981>



**Klassisches  
Bit**

0  
1



**Quanten  
Bit**

0  
1

1Q 2Q 3Q  
2 → 4 → 8 → ... →

300Q



Bei bestimmten Problemen kann man dieses Verhalten nutzen: Ein Quantensuchalgorithmus kann "gleichzeitig alle Karten" durchsuchen...

**Klassisch → 18 Versuche**



**(Geübter) Zauberer → Erster Versuch**



© F. Roitzsch

# Infineon als Europas größter Halbleiterhersteller adressiert Quantencomputing auf drei Gebieten (Triple A)



## Anpassen

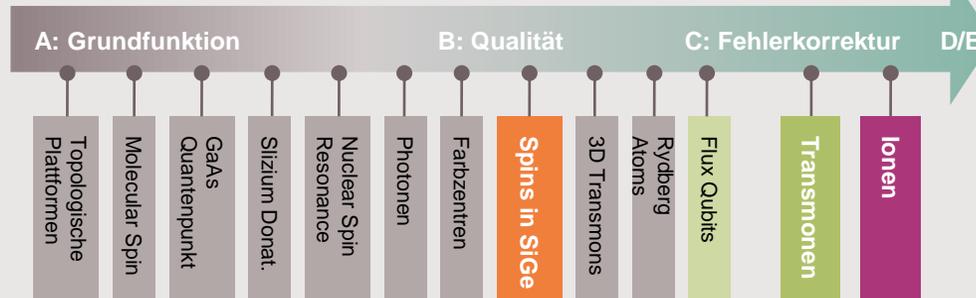


Als Marktführer für Sicherheitslösungen: Vorbereitung auf potenzielle Angriffe ist entscheidend → Post-Quanten-Kryptographie

[www.infineon.com/PQC](http://www.infineon.com/PQC)

## Anbieten

Aus der BSI-Studie: Technology Readiness Level (TRL) für universelle QCs



Als Halbleiterunternehmen nutzen wir unser einzigartiges Technologie- und Ingenieurwissen: Gemeinsame Projekte mit führenden Protagonisten zu drei vielversprechenden Ansätzen (Super-/Halbleiter & Ionen)

[www.infineon.com/quantumcomputing](http://www.infineon.com/quantumcomputing)

## Anwenden



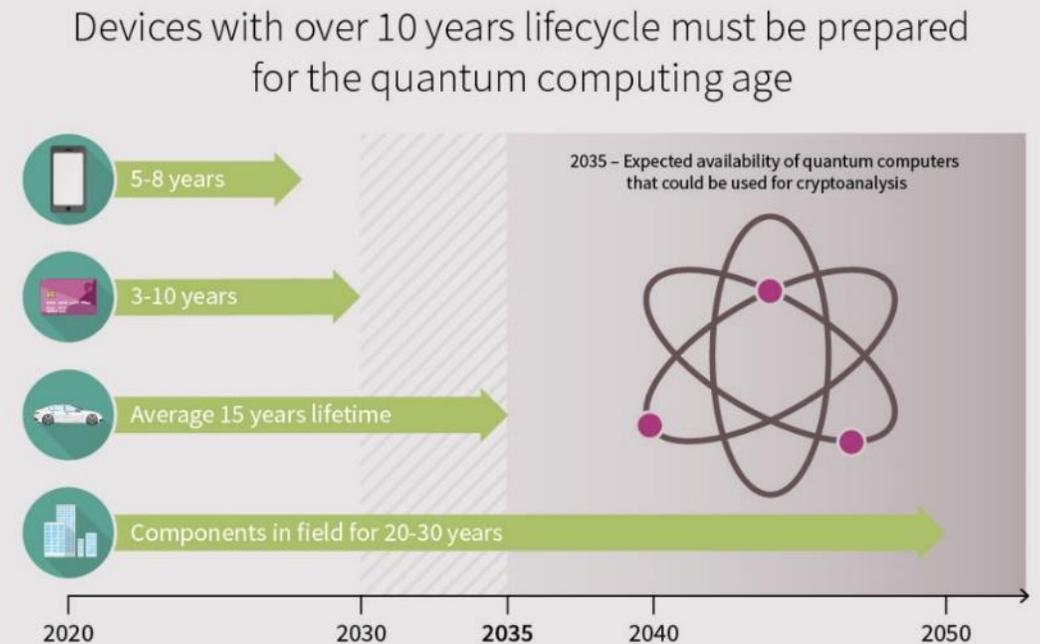
Wir evaluieren Quantencomputer zur Lösung von Optimierungsproblemen (z. B. Nachfrage-Angebot-Abgleich in der Logistik)



[www.qutac.de](http://www.qutac.de)

## Post-Quantum-Kryptographie

- › Quantenalgorithmen (Shor, Grover) stellen eine Bedrohung für viele kryptographische Methoden dar
- › Quantenangriffe sind ressourcenintensiv: Sie erfordern stabile Qubits und leistungsstarke Quantencomputer (vielleicht in 10 bis 15 Jahren)
- › Als Anbieter von Sicherheitslösungen leisten wir Pionierarbeit bei der "Post-Quantum-Kryptographie".
  - **"New Hope"**-Algorithmus in einer kontaktlosen Smartcard implementiert
  - **FutureTPM** Projekt: Beteiligung an der Entwicklung eines quantenresistenten (QR) Trusted Platform Module (TPM)



T. Pöppelmann, NIS Summer School 2018

# Auf dem Weg zur industriellen Anwendung



QUTAC wurde gegründet, um durch einen frühen industriellen Einstieg in das Quantencomputing einen Beitrag zur technologischen Souveränität Deutschlands und Europas zu leisten. Unser Ziel ist es, das Ökosystem aktiv zu gestalten.

Als treibende Kraft für die Industrialisierung des Quantencomputing in Deutschland wollen wir mögliche Anwendungen identifizieren, entwickeln, testen und weitergeben.

Wir verstehen uns als Aktionsplattform, für die der wirtschaftliche und industrielle Erfolg zählt.

Wir wollen nachhaltige Partnerschaften aufbauen und bestehende Initiativen (z.B. QuIC) sinnvoll ergänzen.

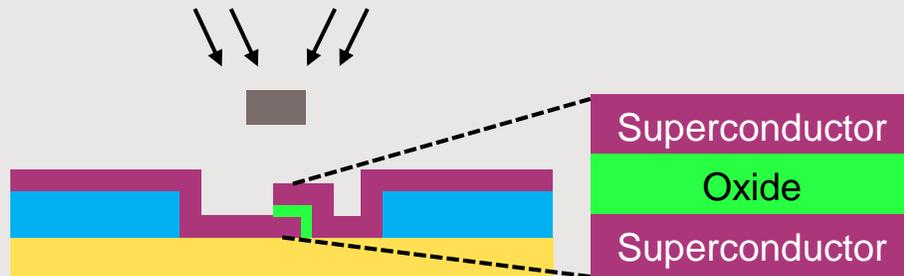
Wir wollen Förderprozesse beraten und unterstützen.



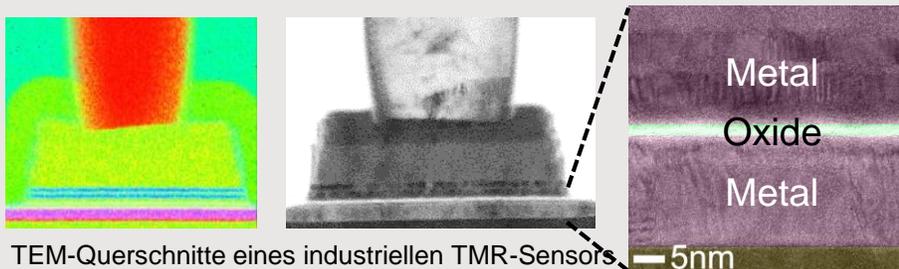
→ Bei Fragen zu QUTAC wenden Sie sich bitte an die Infineon-Projektleiterin Dr. Julia Binder (IFAG SMA)

### Supraleitende Qubits

- › Supraleitende Qubits basieren auf Tunnelbarrieren



- › Bei Infineon ist die Herstellung von Tunnelübergängen eine etablierte Technologie



### Infineon Projektpartner (Auswahl)

- › Drei Schwerpunktbereiche
  - Steuerungselektronik
  - Ausleseelektronik
  - Quantenverarbeitungseinheit (QPU)

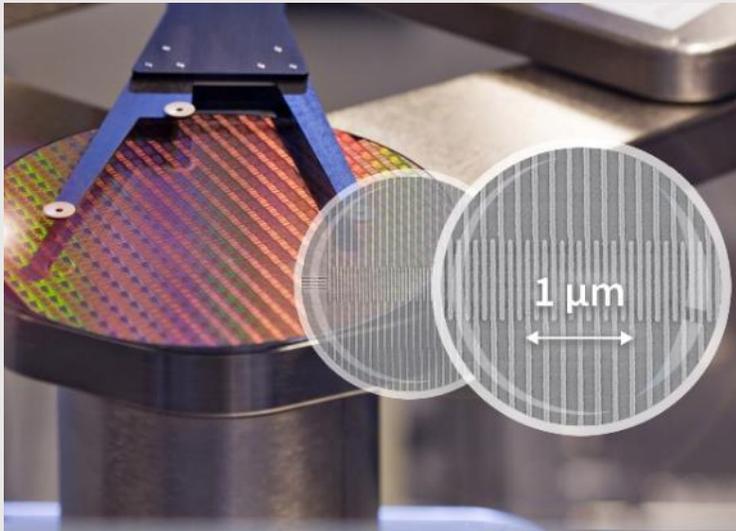


# Infineon Dresden ermöglicht skalierbare Spin-Qubits in Silizium → BMBF- und EU-geförderte Projekte QUASAR und QLSI

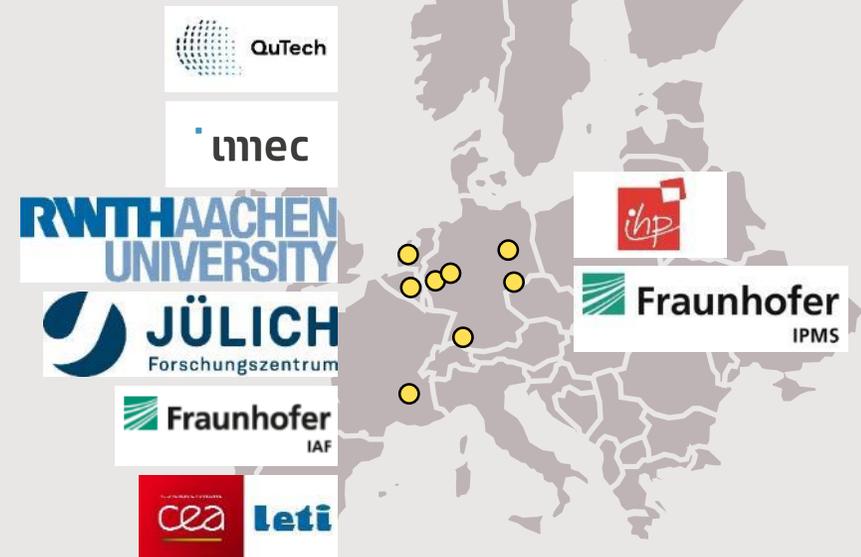


## Spin Qubits versprechen Skalierbarkeit

- › Die Zeit ist reif für die Beteiligung der Industrie
- › Fabrikationsallianz zwischen Industrie und Forschungseinrichtungen
- › CMOS-ähnliches Prozesskonzept von Infineon Dresden



## Infineon Projektpartner (Auswahl)

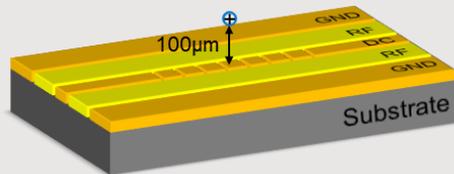


## Ionen Qubits

- › Ion Qubit Parameter
  - Höchste Gatterqualitäten
  - Längste Kohärenzzeit
  - Die meisten verschränkten Qubits: 24
  - Gemäßigte Temperaturen: 10K

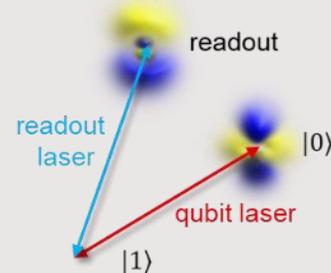
### Single Trapped Ion

- › Falle im Kryo-Vakuum
- › Atom ionisiert während des Fluges
- › Ionen werden durch DC- und RF-Felder eingefangen



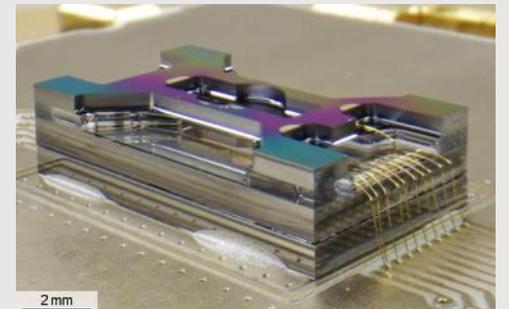
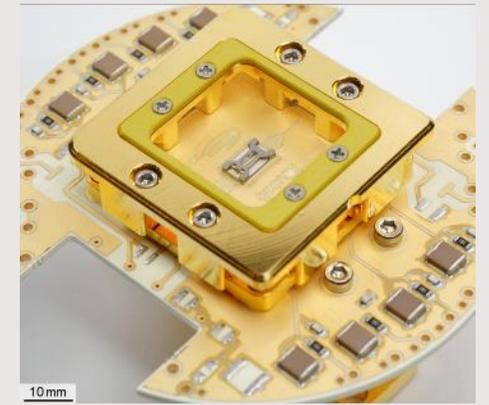
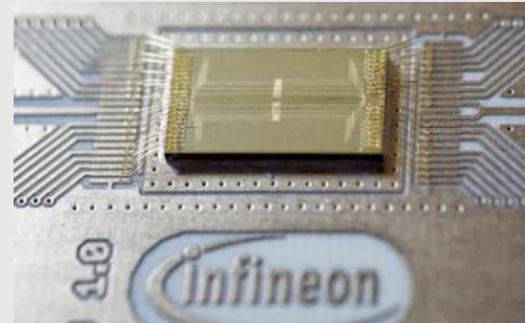
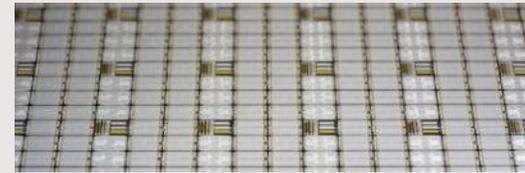
### Qubit Operation

- › Laser-Manipulation
  - › Roter Laser für Gatter
  - › Blauer Laser zum Auslesen



[1] Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Atomic-orbital-clouds\\_spdf\\_m0.png](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Atomic-orbital-clouds_spdf_m0.png)

## Quanten Hardware by Infineon



**Kontakt: Stephan Schächer und Clemens Rössler zu Ionenfallen bei Infineon**



- › Quantentechnologien sind nicht nur wegen der faszinierenden Physik von Bedeutung.
- › Sie bieten einen Garten voller neuer Möglichkeiten für Infineon - und darüber hinaus!



Part of your life. Part of tomorrow.