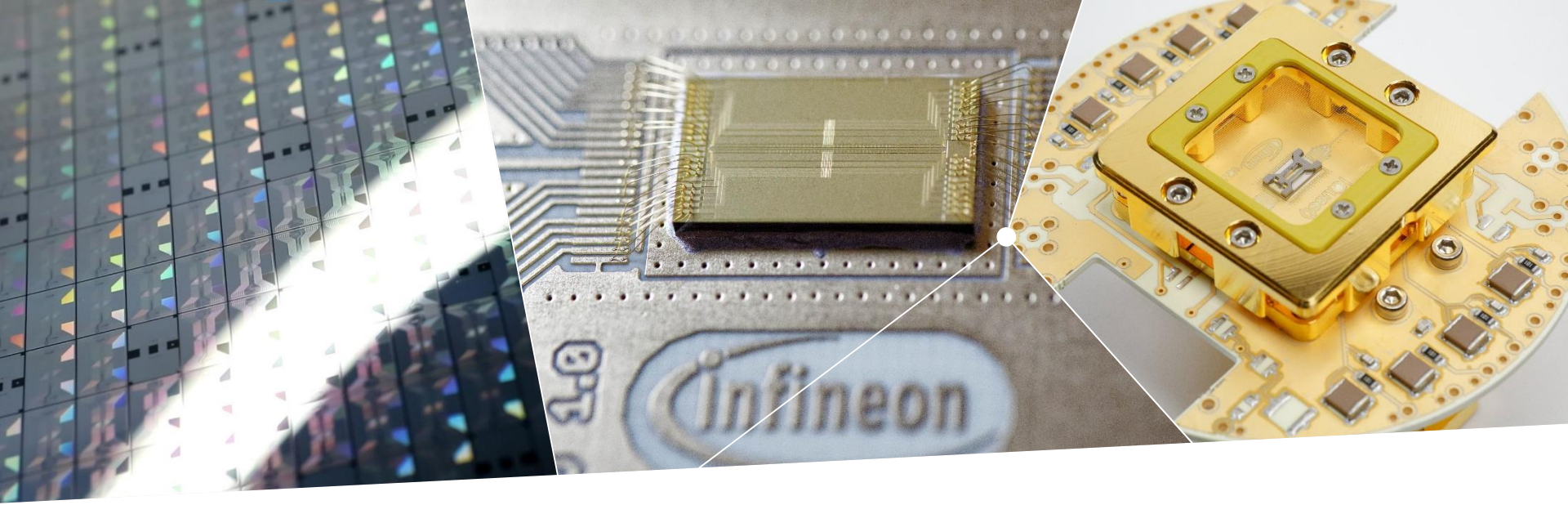


Quantencomputing:
Chancen und Herausforderungen

Dr. Clemens Rössler
05/2022

- restricted -

Agenda

1. Vorstellung
2. Wozu brauchen wir Quantencomputer?
3. Was ist ein Quantencomputer?
4. Herausforderungen und nächste Schritte

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved. Infineon Proprietary

Agenda

1. Vorstellung
2. Wozu brauchen wir Quantencomputer?
3. Was ist ein Quantencomputer?
4. Herausforderungen und nächste Schritte

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved. Infineon Proprietary

Vorstellung

Dr. Clemens Rössler

1980

Geb. in Oberndorf bei Salzburg

1998 - 2004

Studium der Physik an LMU München

2004 - 2009

Promotion an LMU München

2009 - 2016

Forschung als Post-Doc & Oberassistent an ETH Zurich

2016 - 2020

Experte für Prozessintegration von MEMS Bauteilen bei Infineon

2020 - heute

Teamleiter für Quantentechnologie-Entwicklung bei Infineon

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved. Infineon Proprietary

Infineon ist ein weltweit führender Anbieter von Halbleiterlösungen

~50.280
Mitarbeiter*innen[1]

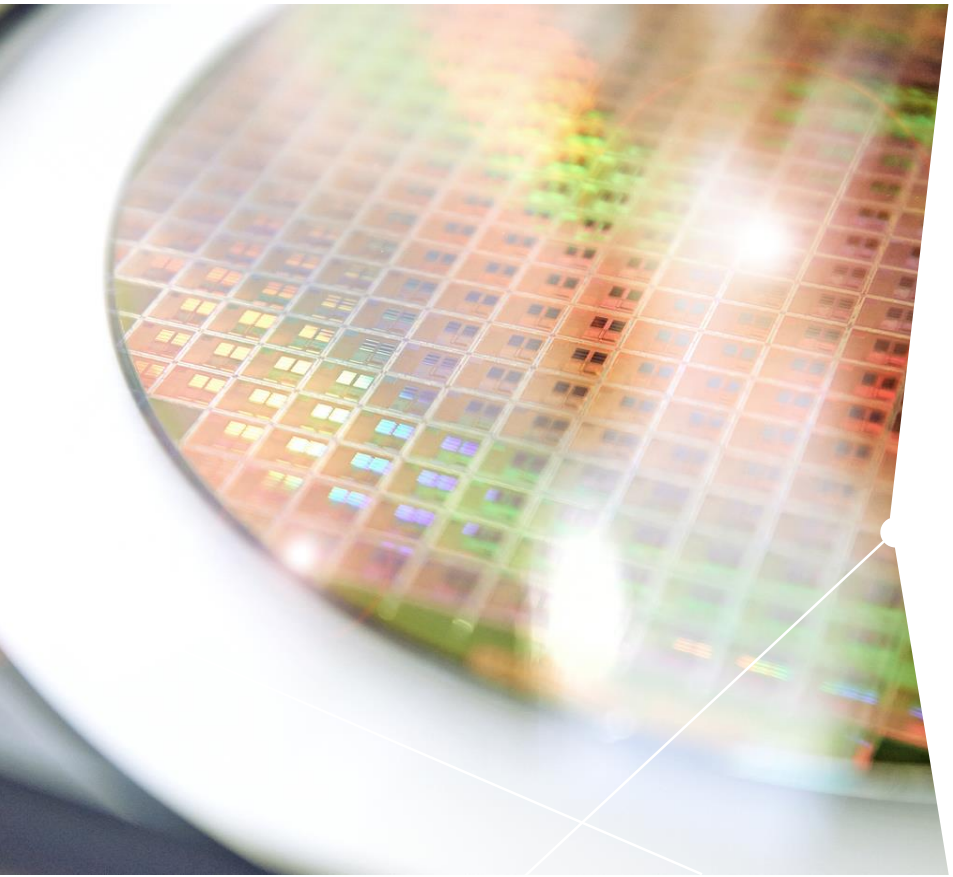
Führendes Unternehmen
in Automotive, Energiemanagement, energieeffiziente Technologien und IoT

9%+ I 19% I 13%
Zielgeschäftsmodell[2]

[1] Stand 30. September 2021
[2] über den Zyklus 9%+ Umsatzwachstum, 19% Segmentergebnismarge, Investitions-Umsatz-Verhältnis von 13%; mit fortschreitender Integration von Cypress

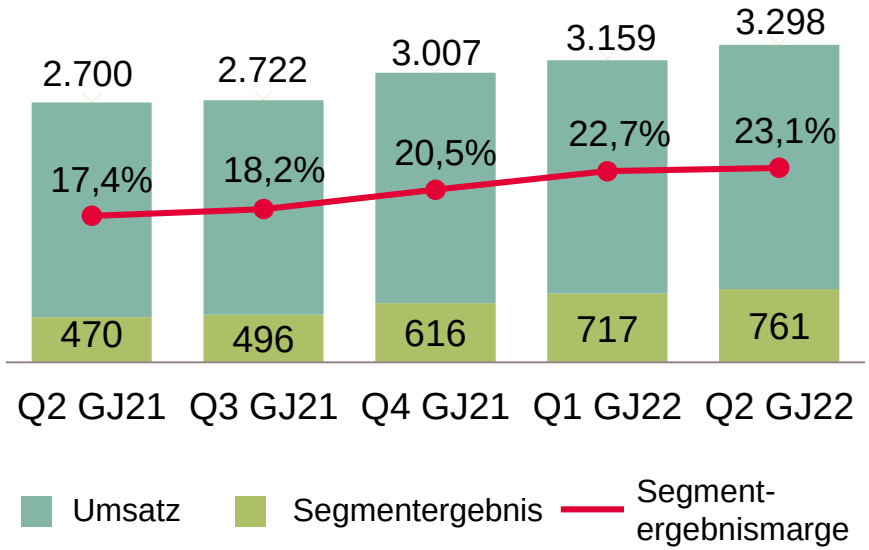
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved. Infineon Proprietary

Infineon folgt einem profitablen Wachstumskurs



Umsatz und Ergebnis

Infineon [Mio. €]

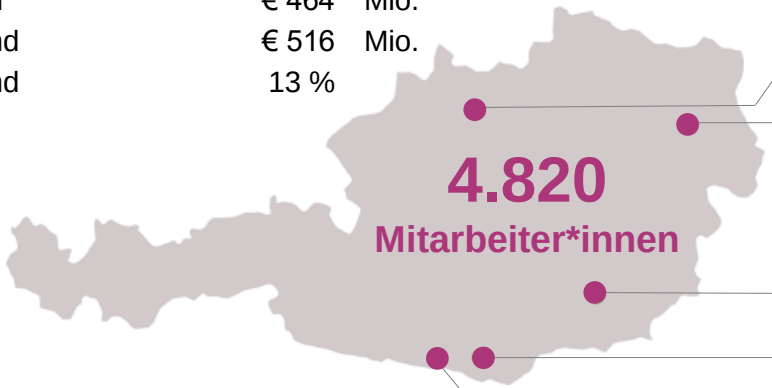


Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Infineon Austria ist das forschungsstärkste Unternehmen Österreichs

Geschäftsjahr 2021 (per 30.09.2021)

Umsatz	€ 3.898	Mio.
Ergebnis vor Steuern	€ 361	Mio.
Investitionen	€ 464	Mio.
F&E-Aufwand	€ 516	Mio.
F&E-Aufwand in % d. Umsatzes	13 %	



Linz (F&E)

Wien (Vertrieb)

Graz (F&E)

Klagenfurt (IT)
internationale Headquarter-Funktion

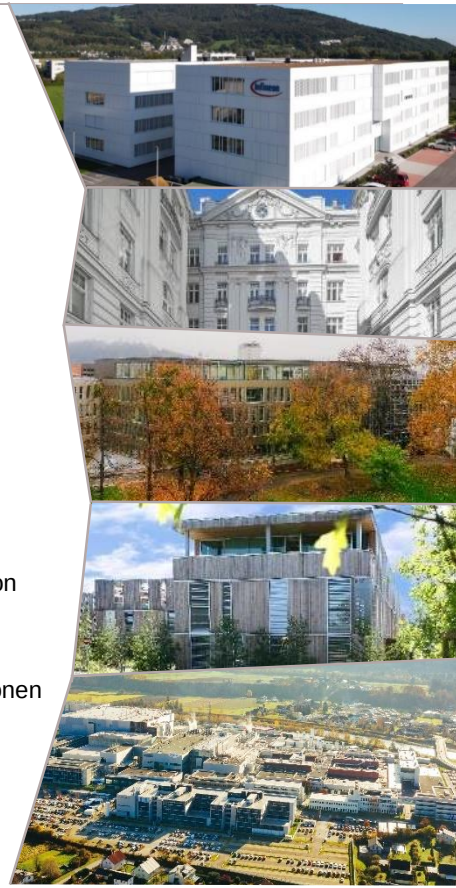
Villach (F&E, P, G, IT)
internationale Headquarter-Funktionen

Beteiligungen Inland

Infineon Technologies Linz
IT Services, Klagenfurt
KAI, Villach

Beteiligungen Ausland

Infineon Technologies Romania SCS (F&E)
Infineon Technologies (Kulim) Sdn Bhd, Malaysia (P)



Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Agenda

1. Vorstellung
2. Wozu brauchen wir Quantencomputer?
3. Was ist ein Quantencomputer?
4. Herausforderungen und nächste Schritte

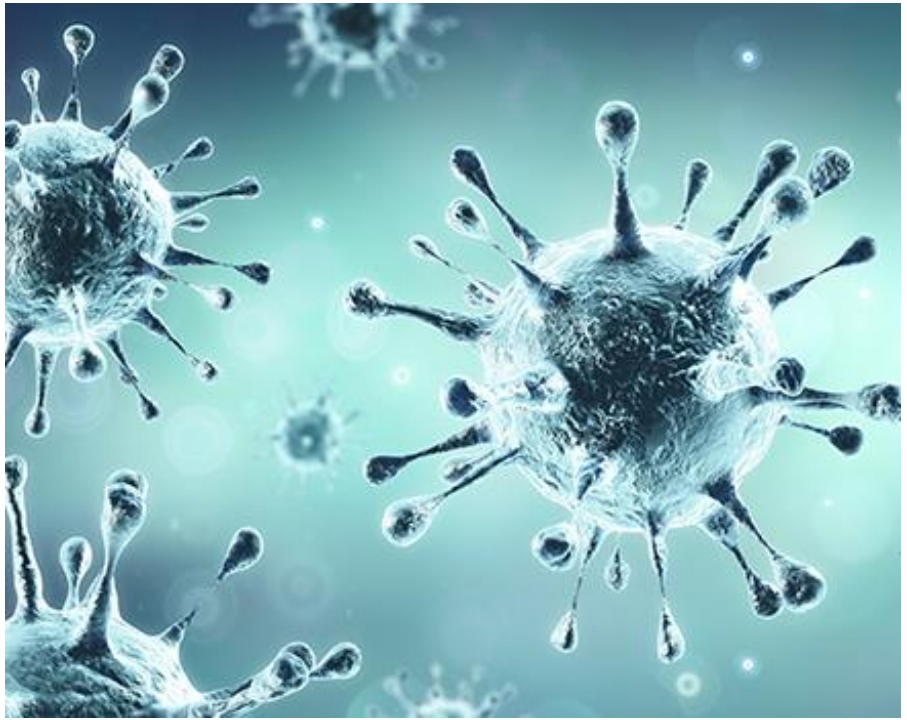
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved. Infineon Proprietary

Quantencomputing: schwierige Probleme effizient lösen

Optimierungsprobleme

https://www.x-sieben.at/weiterbildung/logistik-supply-chain-management-academy-lehrgang

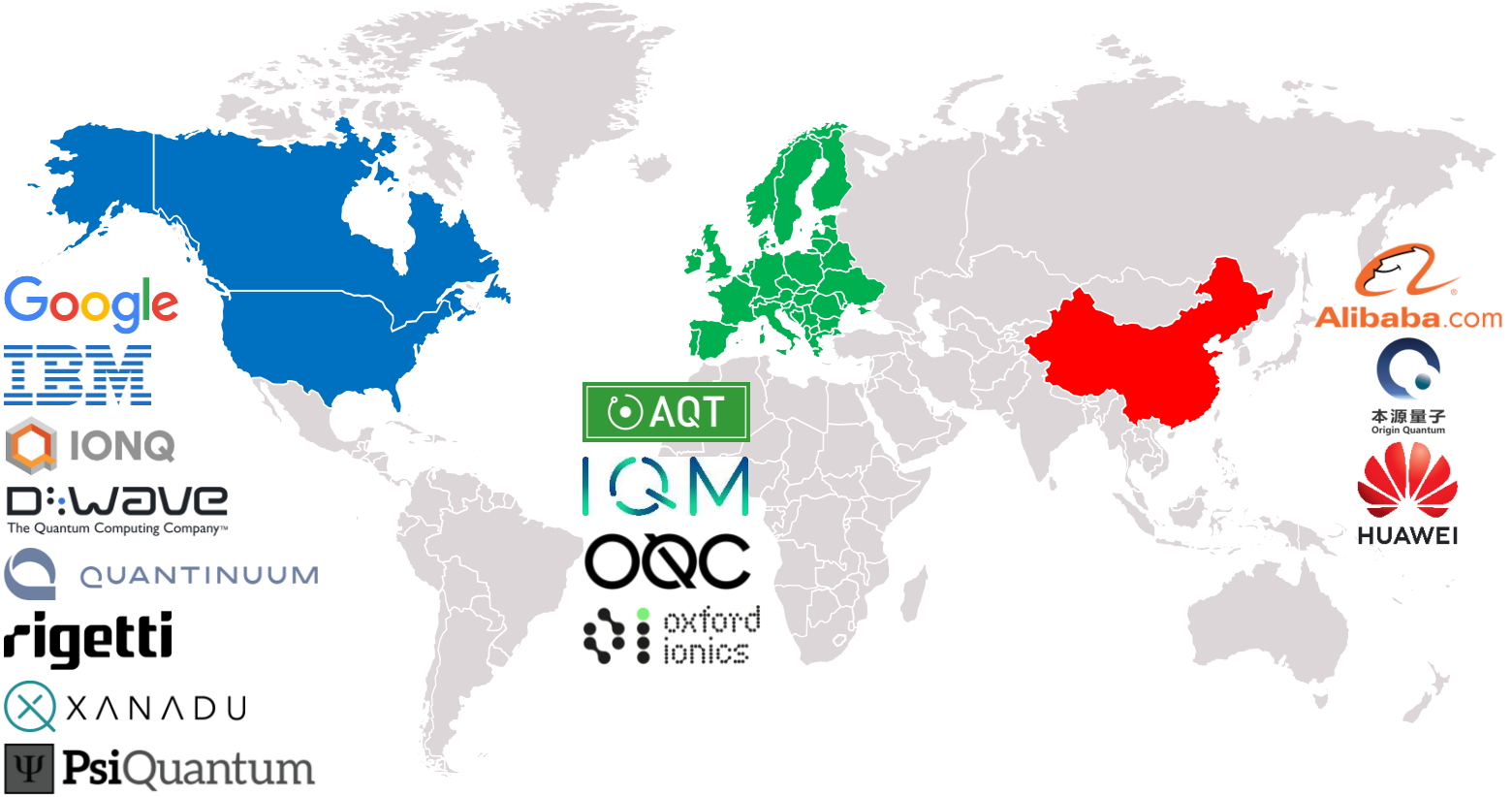
Quantensimulation



https://www.i-med.ac.at/mypoint/news/748888.html

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Quantencomputing ist von strategischer Bedeutung für Europa



Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Agenda

1. Vorstellung
2. Wozu brauchen wir Quantencomputer?
3. Was ist ein Quantencomputer?
4. Herausforderungen und nächste Schritte

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Quantenmechanik: wenige Teilchen in vielen Zuständen

1 Qubit (Quantenbit)

- Zwei mögliche Zustände:
  $|0\rangle$ oder $|1\rangle$
- Auch **gleichzeitig**, als Überlagerung:
  $|0\rangle + |1\rangle$

2 verschränkte Qubits

- Bis 4 **Zustände gleichzeitig**:
  $|00\rangle$, $|01\rangle$, $|10\rangle$, $|11\rangle$
- oder z.B.: $|00\rangle - |01\rangle + |11\rangle$

Typische Qubits:
Elektron (Spin up/down)
Licht (Polarisation H / V)
…insgesamt ca. 15

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved. Infineon Proprietary

Quantenmechanik: wenige Teilchen in vielen Zuständen

1 Qubit (Quantenbit)

- Zwei mögliche Zustände:
  $|0\rangle$ oder $|1\rangle$
- Auch **gleichzeitig**, als Überlagerung:
  $|0\rangle + |1\rangle$

2 verschränkte Qubits

- Bis 4 **Zustände gleichzeitig**:
  $|00\rangle$, $|01\rangle$, $|10\rangle$, $|11\rangle$
- oder z.B.: $|00\rangle - |01\rangle + |11\rangle$

Typische Qubits:
Elektron (Spin up/down)
Licht (Polarisation H / V)
…insgesamt ca. 15

10 verschränkte Qubits

- Bis zu **1024 Zustände gleichzeitig**
- In beliebiger Überlagerung, z.B.:
  $|0100010100\rangle + |1001000011\rangle - \cdots$

Klassischer Computer

- Für Rechenschritt mit 10 Qubit Zustand:
  - 1024 Zahlen speichern
  - 1024 Rechenschritte durchführen

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved. Infineon Proprietary

Quanten-Vorsprung ab ca. 50 Qubits

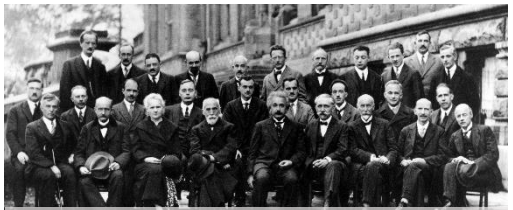
Qubits	Klassicher Speicher	Zeit für einen Rechenschritt
10	16 kByte	Mikrosekunden auf Uhr
20	16 MByte	Millisekunden auf Smartphone
30	16 GByte	Sekunden auf Laptop
40	16 TByte	Sekunden auf Supercomputer
50	16 PByte	Sekunden auf Top-Supercomputer
60	16 EByte	Minuten auf zukünftigem Supercomputer
70	16 ZByte	Stunden auf möglichem Supercomputer?
…	…	…
250	Anzahl Teilchen im Universum	Milliarden Jahre

Source: M. Troyer, *Simulating Quantum Computers*

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved. Infineon Proprietary

Bisherige Höhepunkte des Quantum Computings

Grundlagen der Quantenmechanik etabliert



Solvay Konferenz, 1927

2-Qubit Gatter vorgeschlagen und realisiert

- I. Cirac
- P. Zoller
- D. Wineland

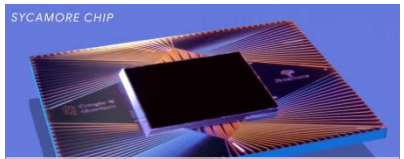
Primfaktorzerlegung durchgeführt

- IBM

IBM Lab, 2001

Quanten-Vorsprung gezeigt

- Google



Google, 2019

1980er | 1990er | 2000er | 2010er | 2020er

Quantum Computing vorgeschlagen

- P. Benioff
- R. Feynman
- D. Deutsch

R. Feynman, 1985

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.

IBM, 2021

AQT, 2021

Kommerzielle Quanten-computer verfügbar

- IBM
- AQT

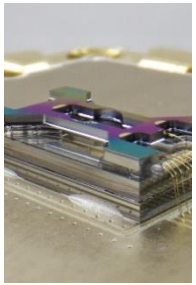
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Agenda

1. Vorstellung
2. Wozu brauchen wir Quantencomputer?
3. Was ist ein Quantencomputer?
4. Herausforderungen und nächste Schritte

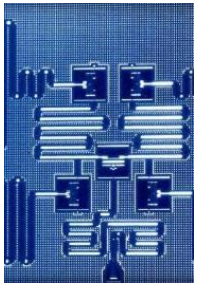
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

2 (+4) führende Quantencomputing-Architekturen



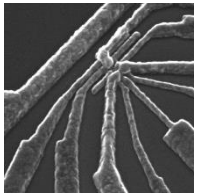
Gespeicherte Ionen

+ Längste Kohärenzzeit ~ 1h
+ Höchste Gattergüte > 99.9%
+ Höchste Verschränkg.: 24 Qb
+ Betriebstemp. 10…300 K



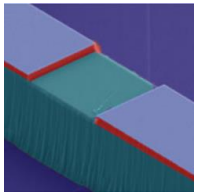
Supraleitende Resonatoren

+ Quantenvorsprung gezeigt
+ Meiste Qubits: 53
+ Schnellste Gatter: 100ns



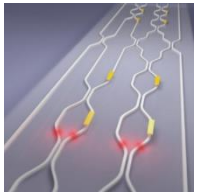
Silizium Quantenpunkte

+ Großes Potenzial für Miniaturisierung



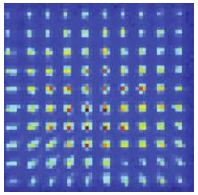
Farbzentren Diamant, SiC

+ Betrieb bei Raumtemperatur möglich



Photonische Qubits

+ Quantenvorsprung gezeigt
+ Betrieb bei Raumtemperatur

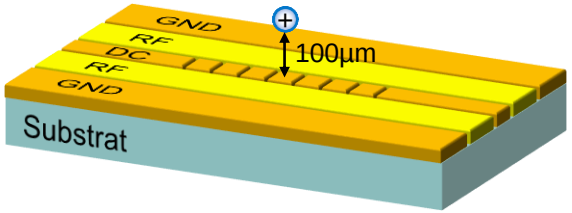


Neutrale Atome

+ Günstige Skalierungs-kompromisse

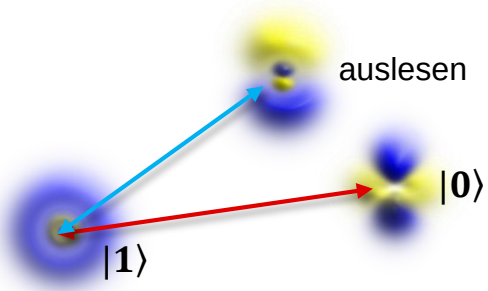
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Gespeicherte Ionen sind natürliche Qubits



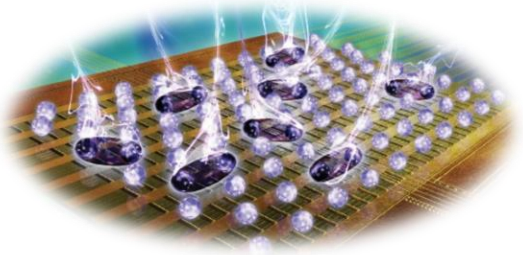
Ionen speichern

- Betrieb im Kryovakuum
- Atom im Flug ionisiert
- Ion gefangen mittels DC- & RF-Feldern
- Ion schwebt, ist perfekt vor Störungen geschützt



Mit Qubits rechnen

- Laser- oder Mikrowellen-felder für Gatter
- Laser zum Auslesen
- Lasers zum Fangen, Kühlen, Zustands-pumpen

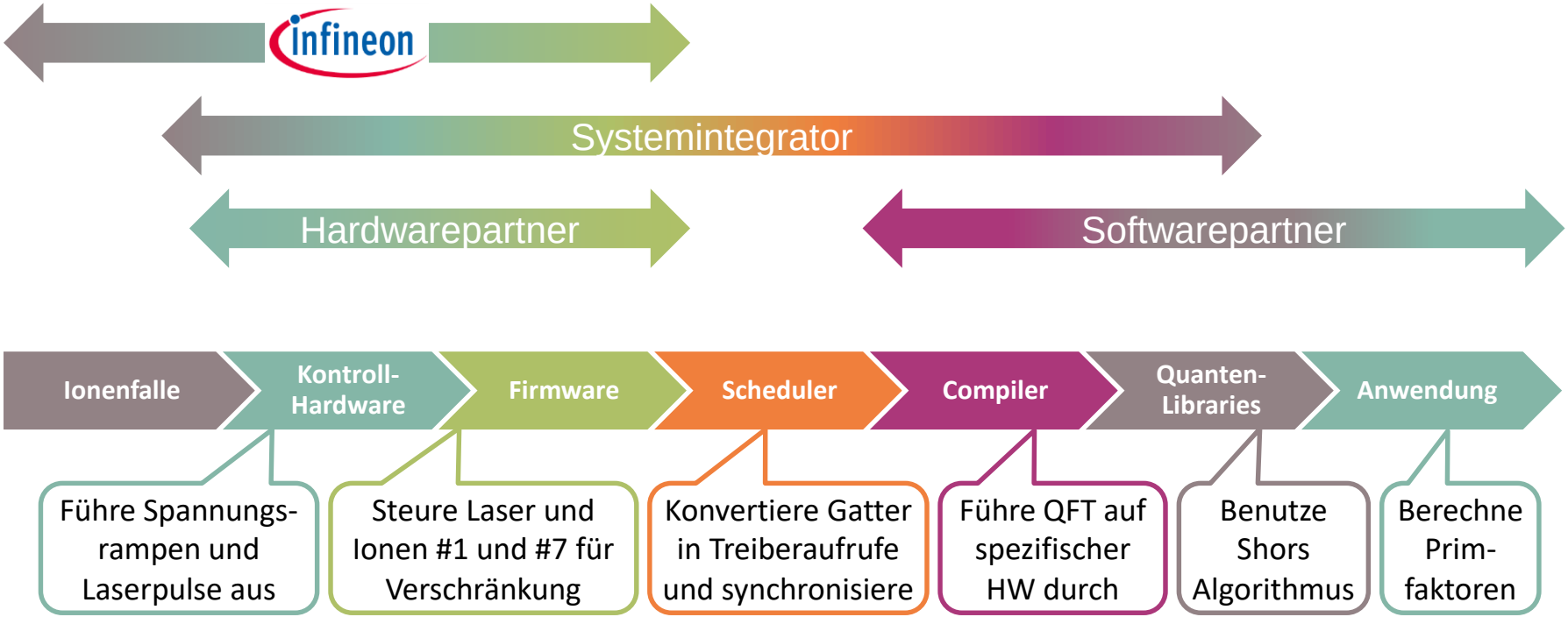


Skalierung >100 Qb

- Mehr Laser
- Viel mehr Elektroden
- Zuverlässig bleiben
- Komplexität managen

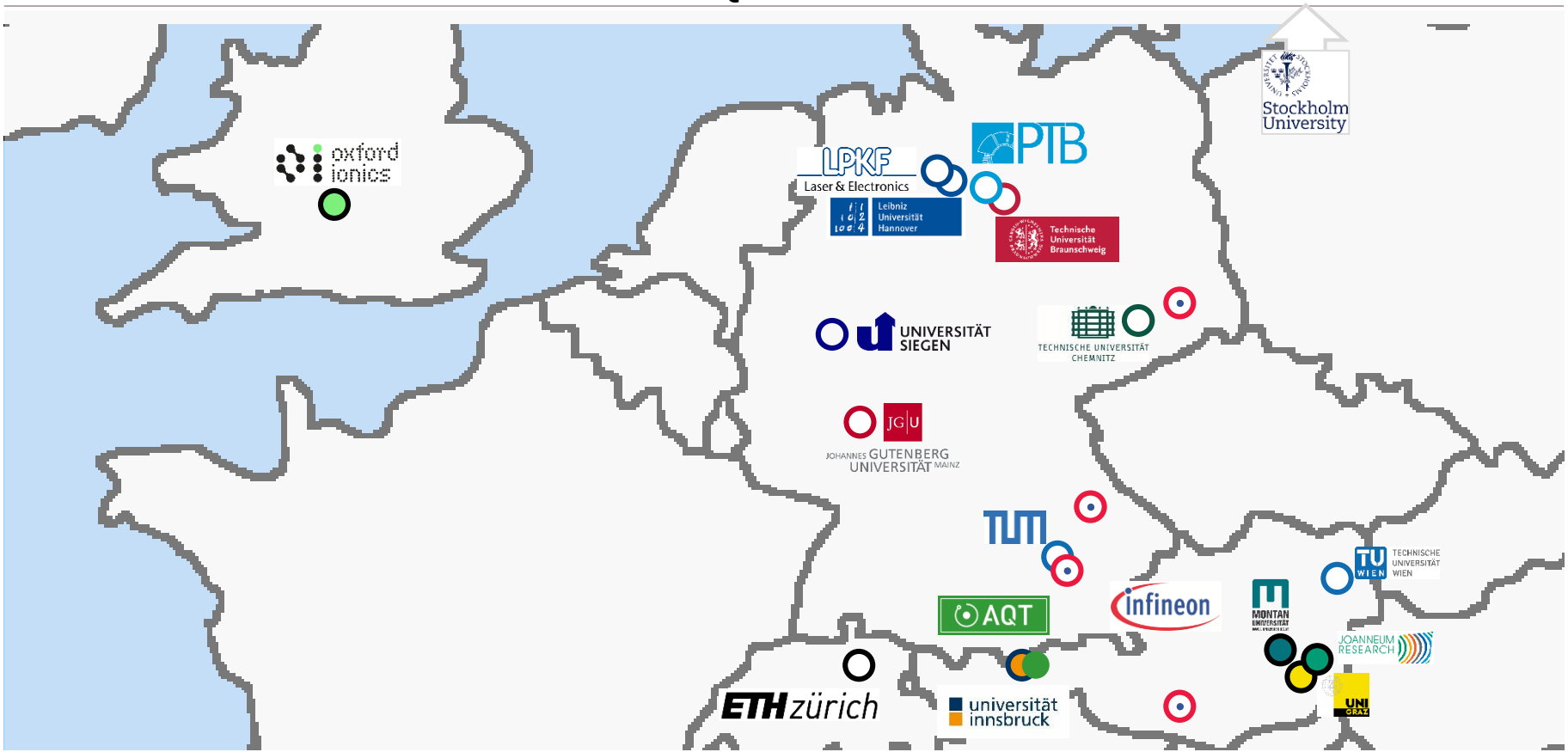
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved. Infineon Proprietary

Nutzbringender QC: Infineon liefert den Rechenkern



Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved. Infineon Proprietary

Unser Partnernetzwerk für Ionenfallen-QC wächst



Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved. Infineon Proprietary

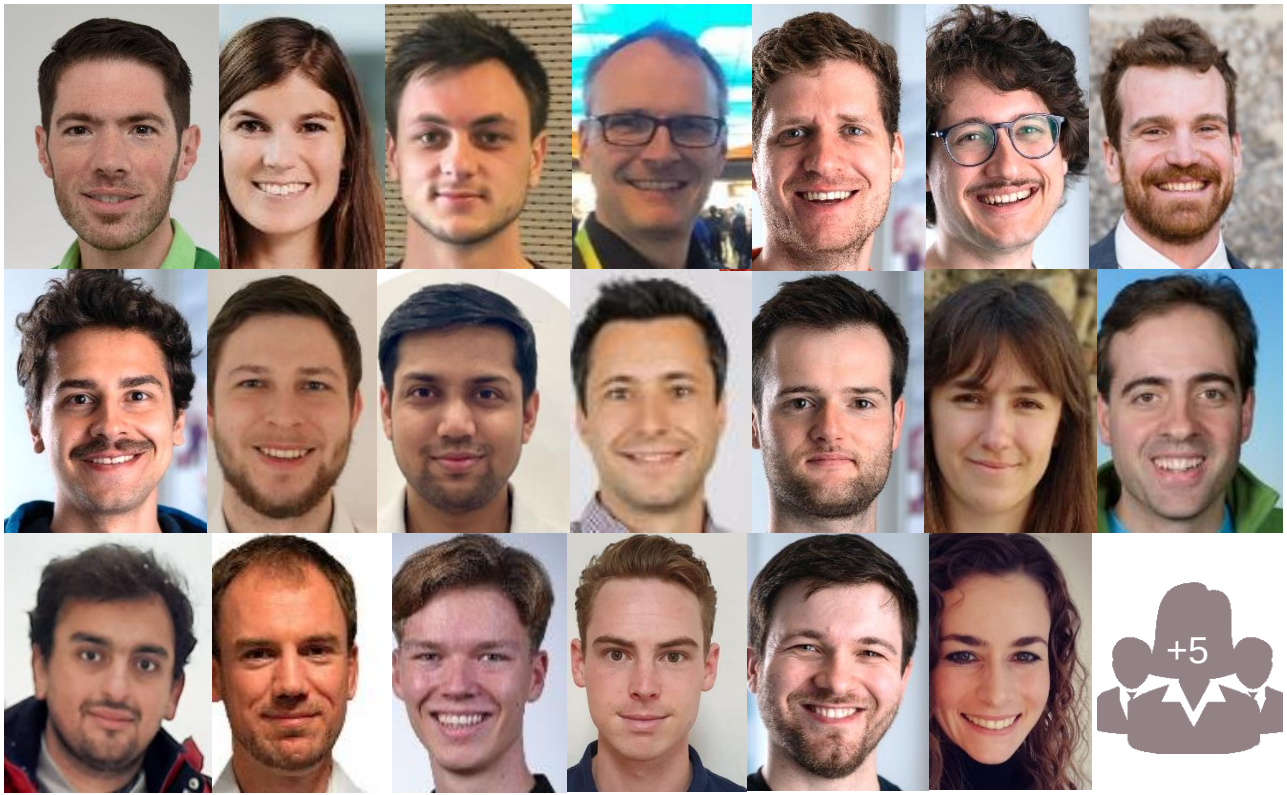
Das Infineon Trapped-Ion Team: jung und 100% Quantum

Cross-Site Team:
15 in VIH, 5 in MUC

- 6 Experten
- 9 PhD Student*innen
- 3 MSc. Student*innen
- 2 Werkstudenten

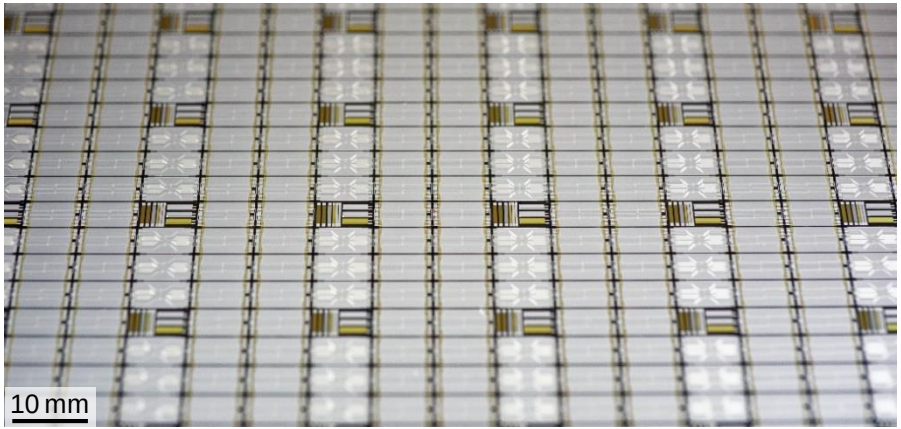
Wir suchen Verstärkung:

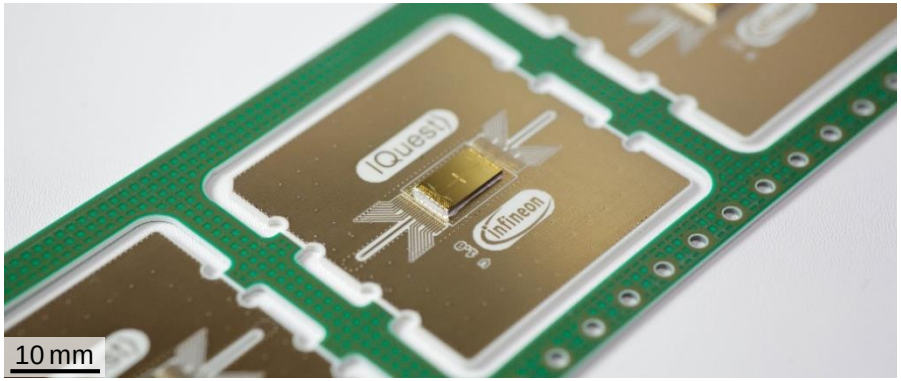
www.infineon.com/trappedions

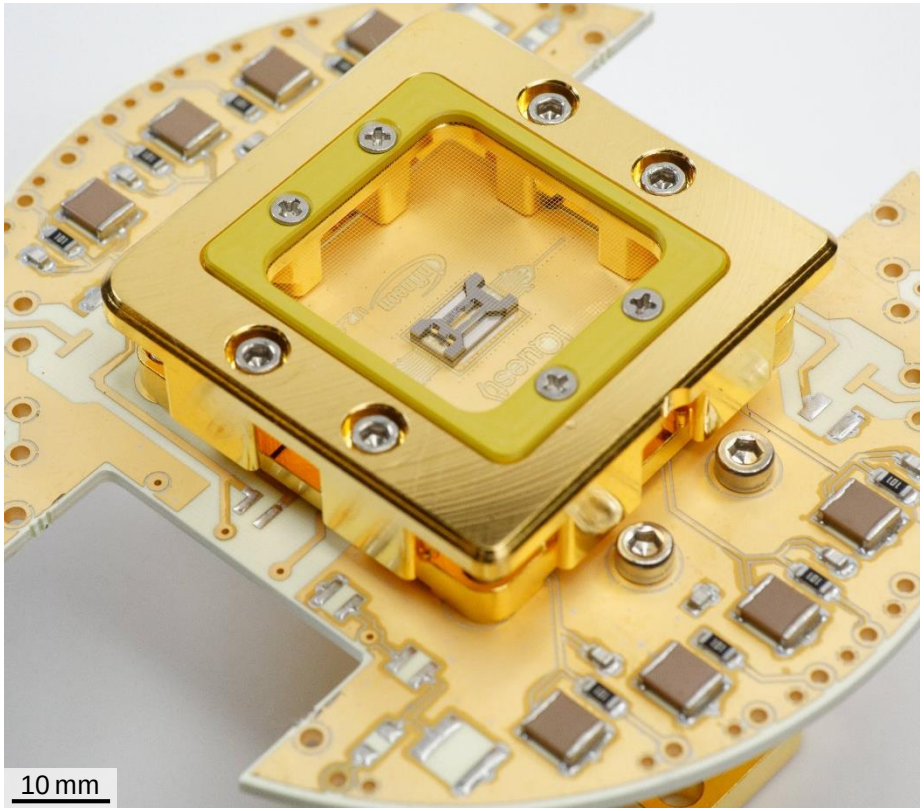


Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved. Infineon Proprietary

Quantenhardware made in Austria





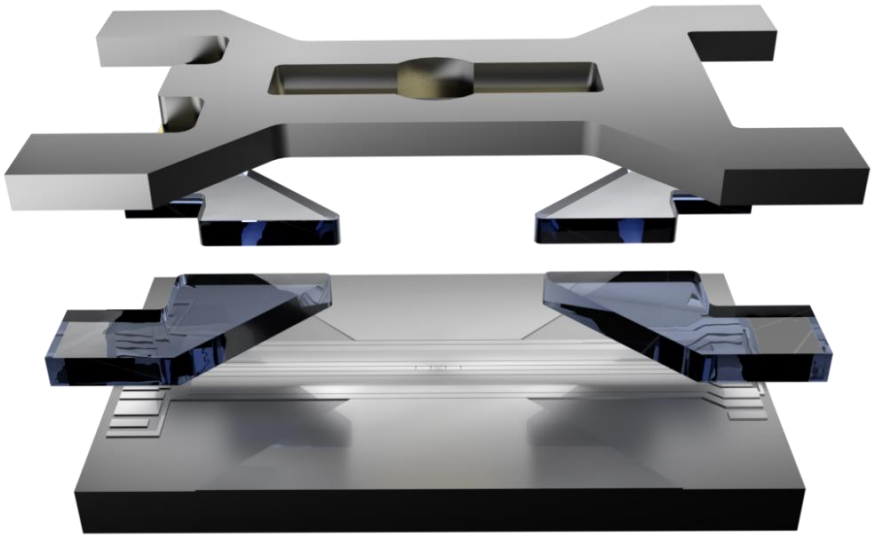


Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Highlight: die Infineon 3D Ionenfalle

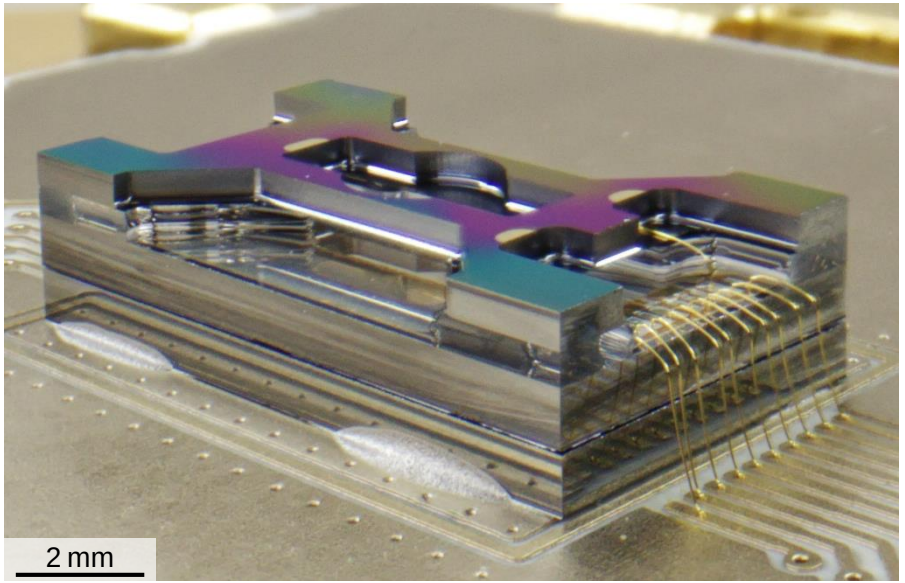
3D Konzeptrendering (2018)

- Ziel: 10x stärkerer Ioneneinschluss
- 3 Wafer → anod. Waferbond → Dicing



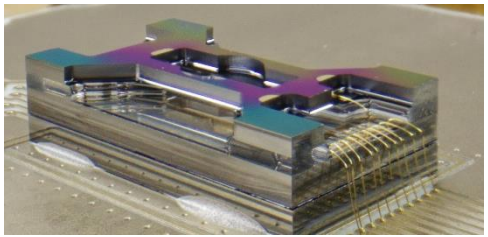
Ionenfallenmodul @ ETHZ (2020)

- 10x stärkerer Ioneneinschluss gezeigt
- Preprint auf arXiv:2202.08244



Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Wir ermöglichen nutzbringende Trapped-Ion Quantencomputer



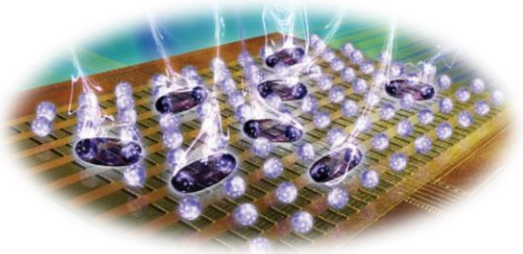
Gespeicherte Ionen

- Natürliche Qubits
- Skalierung des Systems voller Herausforderungen
- Es gibt viel zu tun!

www.infineon.com/trappedions

Infineon ist mittendrin

- Infineon QC Team bereit
- Partnernetzwerk wächst
- Hardware in Betrieb
- 31. Mai: Eröffnung Quantenlabor in Villach



Dare to Dare

- In globalem Wettlauf zu Quanten-Nützlichkeit
- Wir entwickeln den Rechenkern

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Das habe ich noch nie vorher versucht, also bin ich völlig sicher, dass ich es schaffe

Pippi Langstrumpf