



# Eine kurze Einführung in Quantencomputing

**Robert Wille & Team**

Technische Universität München  
Munich Quantum Software Company

[robert.wille@tum.de](mailto:robert.wille@tum.de)

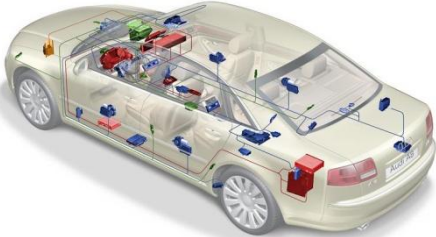
<https://www.cda.cit.tum.de/research/quantum/>

Connect on [LinkedIn](#)



**HIGHTECH**  
Agenda Bayern

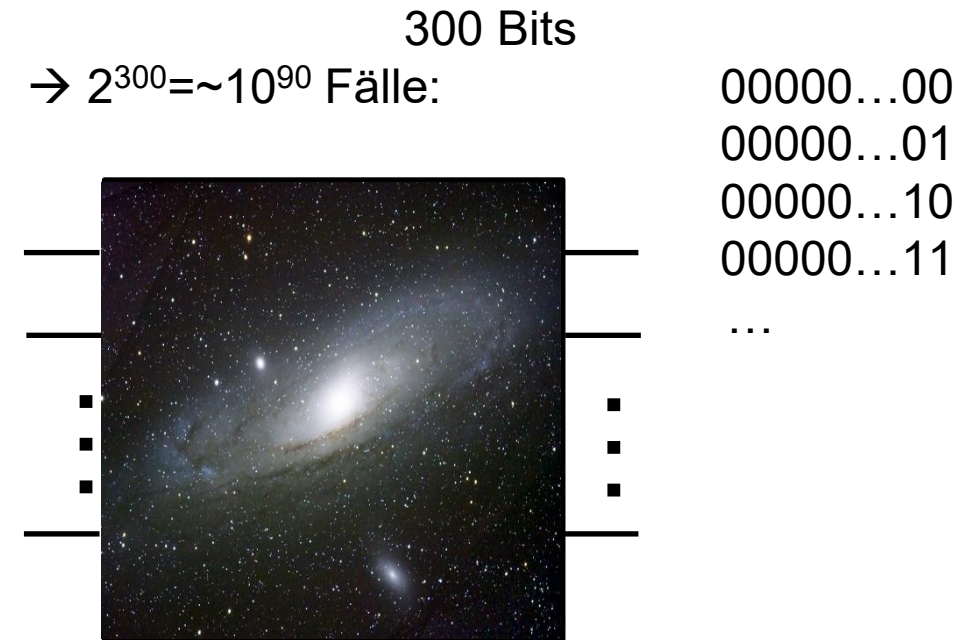
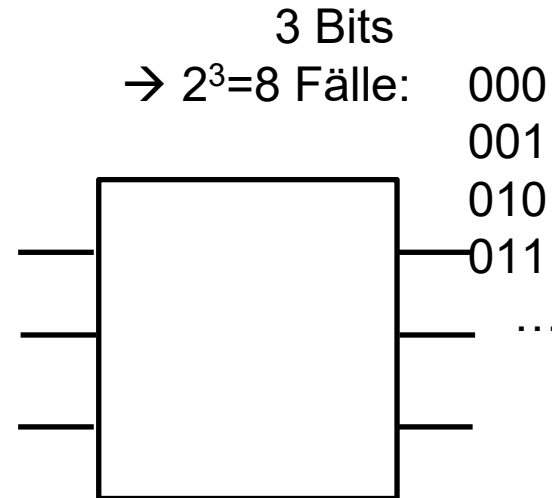
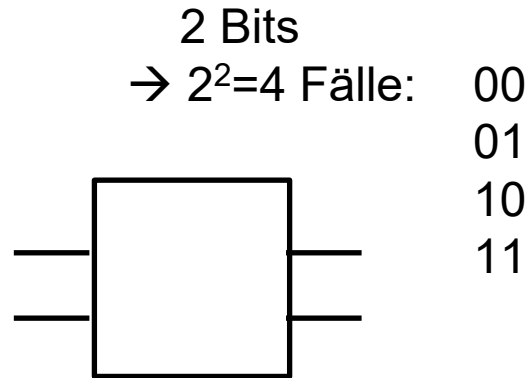
# Computer Heute



# Computers Heute



# Mögliche Zustände (Klassisch)

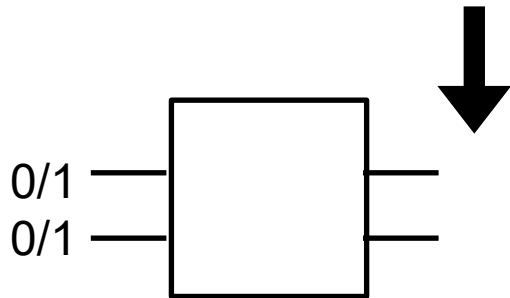


- Zum Vergleich, die Anzahl der Atome im Universum beträgt ungefähr  $\sim 10^{78}$

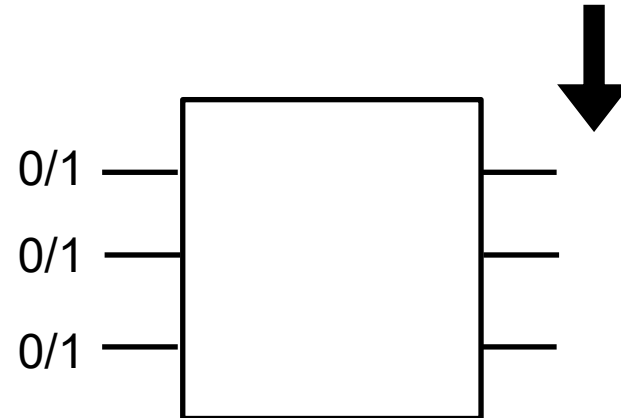
# Mögliche Zustände (Quantum)



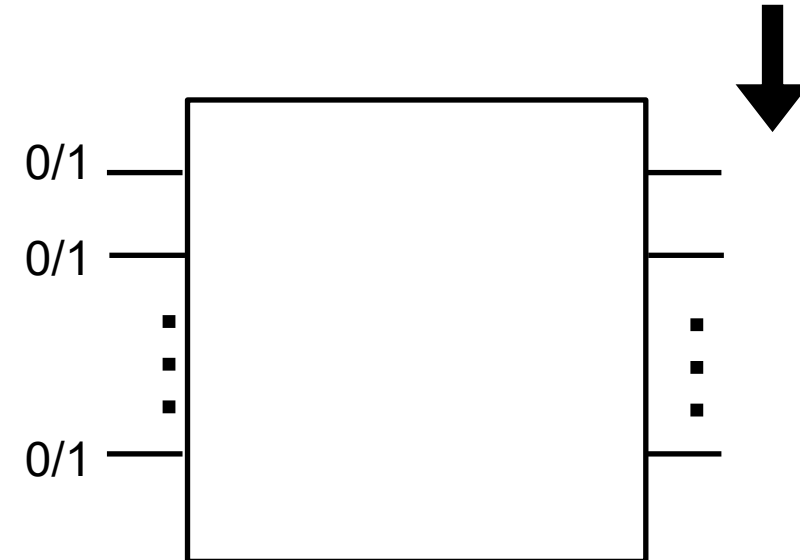
Alle möglichen  
Ergebnisse gleichzeitig



Alle möglichen  
Ergebnisse gleichzeitig



Alle möglichen  
Ergebnisse gleichzeitig



- **Aber:** Messung liefert nur ein mögliches Resultat!
- Für viele Anwendungen (wenn auch nicht alle) existieren aber “Tricks”, die Wahrscheinlichkeit des gewünschten Resultates zu erhöhen (z.B. durch “amplitude amplification”, ...)



# Potential

**Robert Wille & Team**

Technische Universität München  
Munich Quantum Software Company

[robert.wille@tum.de](mailto:robert.wille@tum.de)

<https://www.cda.cit.tum.de/research/quantum/>

Connect on [LinkedIn](#)



**HIGHTECH**  
Agenda Bayern

# Verschiedene Technologien



## ■ Superconductors



## ■ Trapped Ions



## ■ Photons



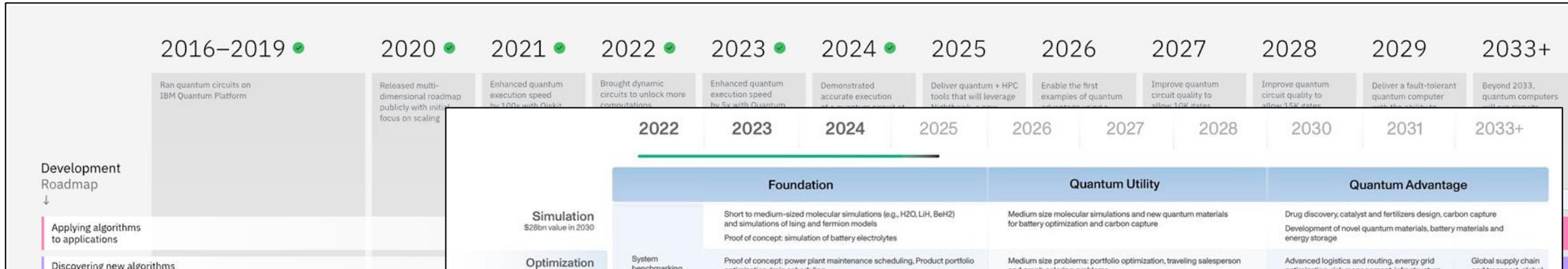
## ■ Neural Atoms



## ■ Silicon Spins/Quantum Dots



# Roadmaps



## IonQ Roadmap for Large-Scale, Fault-Tolerant Quantum Computers

Built on pioneering trapped ion research, IonQ's roadmap is enabled by the nearly 1,000 patented hardware and software breakthroughs that were developed at IonQ integrated from strategic acquisitions.



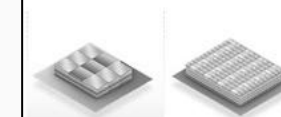
### Original IonQ #AQ Roadmap

<b>2024</b> 36 Algorithmic Qubits	<b>2025</b> 64 Algorithmic Qubits	<b>2026</b> 256 Algorithmic Qubits	<b>2027</b> 384 Algorithmic Qubits	<b>2028</b> 1,024 Algorithmic Qubits
--------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	---

### Updated Technology Roadmap

2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<b>Commercial Quantum Computers</b> <b>36</b> Physical Qubits <b>99.96%</b> Physical Qubit Fidelity All-to-All Connectivity Optical Gate Operations 1D Qubit Array	<b>Commercial Quantum Computers</b> <b>64</b> Physical Qubits <b>99.99%</b> Physical Qubit Fidelity All-to-All Connectivity Microwave Gate Operations 2D Qubit Array Mid-Circuit Measurement Parallel Operations	<b>Commercial Quantum Computers</b> <b>256</b> Physical Qubits <b>99.99%</b> Physical Qubit Fidelity <b>12</b> Logical Qubits <b>&lt;1.00E-7</b> Logical Error Rate All-to-All Connectivity Microwave Gate Operations 2D Qubit Array Mid-Circuit Measurement Parallel Operations	<b>Commercial Quantum Computers</b> <b>10,000</b> Physical Qubits <b>99.99%</b> Physical Qubit Fidelity <b>800</b> Logical Qubits <b>&lt;1.00E-7</b> Logical Error Rate All-to-All Connectivity Microwave Gate Operations 2D Qubit Array Mid-Circuit Measurement Parallel Operations	<b>Commercial Quantum Computers</b> <b>20,000</b> Physical Qubits <b>99.99%</b> Physical Qubit Fidelity <b>1,600</b> Logical Qubits <b>&lt;1.00E-7</b> Logical Error Rate All-to-All Connectivity Microwave Gate Operations 2D Qubit Array Mid-Circuit Measurement Photonic Interconnect Parallel Operations	<b>Commercial Quantum Computers</b> <b>200,000</b> Physical Qubits <b>99.99%</b> Physical Qubit Fidelity <b>8,000</b> Logical Qubits <b>&lt;1.00^-12</b> Logical Error Rate All-to-All Connectivity Microwave Gate Operations 2D Qubit Array Mid-Circuit Measurement Photonic Interconnect Parallel Operations	<b>Commercial Quantum Computers</b> <b>2,000,000</b> Physical Qubits <b>99.99%</b> Physical Qubit Fidelity <b>80,000</b> Logical Qubits <b>&lt;1.00^-12</b> Logical Error Rate All-to-All Connectivity Microwave Gate Operations 2D Qubit Array Mid-Circuit Measurement Photonic Interconnect Parallel Operations
<b>Development Systems</b> <b>36+</b> Physical Qubits	<b>Development Systems</b> <b>64-100+</b> Physical Qubits	<b>Development Systems</b> <b>100-256+</b> Physical Qubits				

... training, drug-discovery, personalized medicine, ...  
 ... omics modelling, optimizing trading strategies, ...  
 ... nomous systems



Fault Tolerance	
10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>
100k	1M
600-1800	2400-7200

# Mögliche Anwendungen



## Illustrative

Horizons Primary value pools Economic value Incremental Significant Disruptive  
Economic value (\$ trillions)

Industry	Key segment for QC	Impact of QC <sup>1</sup>		Industry size
		~2025-30	~2030-35	
Global energy and Materials	Oil & gas			5-10
	Sustainable energy			1-5
	Chemicals			1-5
Pharmaceuticals and medical products	Pharmaceuticals			1-5
Advanced industries	Automotive and assembly			1-5
	Aerospace and defense			<1
	Advanced electronics			<1
	Semiconductors			<1
Financial industry <sup>1</sup>				>10
Telecommunications, media, and technology	Telecommunications			1-5
	Media			1-5
Travel, transport, and logistics	Logistics			5-10
Insurance				5-10

1. Relative impact on the industry; absolute impact depends on relative impact as well as the size of the industry.  
2. Includes asset management.

## Outlook

Impact from QC is expected to be most disruptive for the chemicals and pharmaceutical industries, as quantum-computing-based simulation of molecular processes may replace the need for lab-based testing

In the automotive industry, this may stimulate breakthroughs in battery development and new fuels

Impact on the financial industry is more incremental; yet value at stake is high, especially in asset management



# Wie legt man los?

**Robert Wille & Team**

Technische Universität München  
Munich Quantum Software Company

[robert.wille@tum.de](mailto:robert.wille@tum.de)

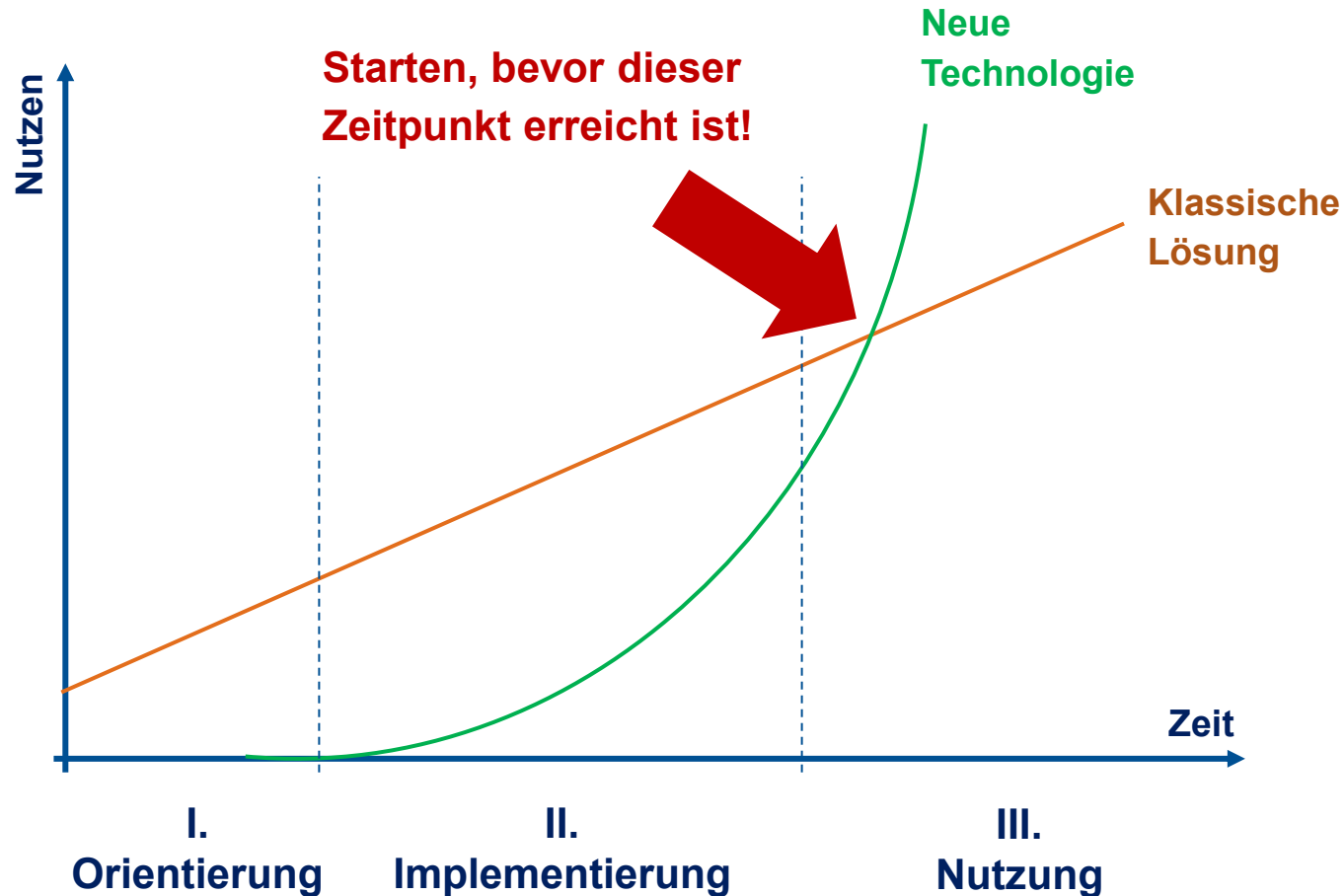
<https://www.cda.cit.tum.de/research/quantum/>

Connect on [LinkedIn](#)



**HIGHTECH**  
Agenda Bayern

# Frühzeitig einsteigen!



## ■ I. Orientierung

- Information
- Aufbau eines Teams
- Identifikation möglicher Anwendungen
- Erste Experimente/„Testballons“

## ■ II. Implementierung

- Definition einer Strategie
- Gemeinsame (langfristige) Forschungsprojekte
- Intensive Arbeit an Anwendungen
- Aufbau einer „Workforce“ und Etablierung eines Zugangs zur Technologie

## ■ III. Nutzung

- Wettbewerbsvorteile erlangen und sichern

# Von der Forschung in die Industrie



## Akademische Software

Neue Ideen

Beindruckende Ergebnisse

Prototypen

Limitierte Benutzbarkeit

Limitierte Wartung

„Whatever works“

Limitierter Support  
und Dokumentation

## Industrielle Software

Ausgereifte Implementierungen

Zugänglichkeit für Endnutzer

Continuous Integration  
Continuous Deployment

Code Qualität  
Coding Standards

Intensiver Support and  
Dokumentation

# Von der Forschung in die Industrie



## Akademische Software

Neue Ideen

Beindruckende Ergebnisse

Prototypen

Limitierte Benutzbarkeit

Limitierte Wartung

„Whatever works“

Limitierter Support und Dokumentation



Entwickelt und betreibt Quantencomputer und ermöglicht Zugriff auf versch. Technologien.



Entwickelt industrielle Software-Tools und Services, die Quantencomputing auf das Niveau bringen, das wir aus der klassischen IT gewohnt sind.



## Industrielle Software

Ausgereifte Implementierungen

Zugänglichkeit für Endnutzer

Continuous Integration  
Continuous Deployment

Code Qualität  
Coding Standards

Intensiver Support and Dokumentation