

QUANTEN computing

Nicht zu Unrecht haben Quanten den Ruf des Unberechenbaren, und doch wollen Forschung und Industrie künftig mit ihnen rechnen. Klar ist inzwischen: Unmöglich ist es nicht, aber eine immense Herausforderung – vorausgesetzt, man beherrscht die Grundlagen.

Grundlagen	
Crashkurs Quantenmechanik	8
Einordnung	
Die Frage der Quantenüberlegenheit	14
Mathematik	
Quantengatter erklärt	22
Schaltungen	
Wichtige Quantengatter im Überblick	30
Handhabbarkeit	
Quantenfehlerkorrektur	32

>> Denn wenn man nicht zunächst über die Quantentheorie entsetzt ist, kann man sie doch unmöglich verstanden haben. << Niels Bohr

QUANTEN systeme

Mit Quanten rechnen können heute nicht nur Forscher, sondern alle, die sich bei einem Anbieter öffentlich zugänglicher Quantencomputer einen Account zulegen. Auch in Deutschland ist inzwischen ein erstes System im Einsatz.

Funktionsweise	
Wie man Qubits implementiert	38
Umsetzung	
Quantenrechner heute	44
Adiabatische Rechner	
Quanten-Annealer für Optimierungsaufgaben	50
Installationen	
Quantencomputer in Deutschland	56
Ausprobieren	
Quantencomputer aus der Cloud	60

>> Wir wissen nicht, wohin die Reise geht; wir wissen nicht einmal: Wer fährt? << Joseph Weizenbaum

Rubriken

Editorial: Zwischen null und eins
Impressum, Inserentenverzeichnis

3
149



QUANTEN anwendungen

Bei Anwendungen für Quantencomputer denken die meisten an Kryptografie. Ebenfalls hoch im Kurs stehen inzwischen KI und Machine Learning. Und wozu nutzt die Industrie Quantenrechner?

Kryptografie heute

Gefahren für aktuelle Verschlüsselungsmethoden **70**

Kryptografie morgen

Post-Quanten-Verschlüsselung **74**

KI

Quantenmethoden bringen frischen Wind ins maschinelle Lernen **82**

Algorithmus

HHL: Quantenverfahren für lineare Gleichungssysteme **86**

Optimierung

Quanten und das binäre Lackierereiproblem **90**

>> Die Quanten sind doch eine hoffnungslose Schweinerei! <<

Max Born



QUANTEN programmierung

Selbst Anwendungen für den Quantencomputer schreiben – das schien vor einigen Jahren noch reichlich illusorisch. Heute stehen demjenigen, der sich mit den Unterschieden zur klassischen Programmierung auseinandergesetzt hat, High-Level-Sprachen und verschiedene Entwicklungsumgebungen zur Verfügung.

Einführung

Klassische versus Quantenprogrammierung **98**

Generische Sprachen

Die Hochsprache Silq **102**

Spielwiese

Quantenspiele, IBMs Qiskit und RasQberry **108**

Einblick bekommen

Entwickeln mit Microsofts Azure Quantum **118**

Gehversuche

Einstieg in Microsofts Quantensprache Q# **124**

Ökotop

Googles Quantum AI Framework Cirq **130**

>> Im Grunde haben die Physiker einen schweren Verlust erlitten: Sie verloren ihren Halt in der Realität. <<

Bryce DeWitt und Neill Graham



Diesseits der QUANTEN

Systeme, die Nullen und Einsen auf dem klassischen Wege verarbeiten, werden uns noch erhalten bleiben. Doch ziehen uns die Quanten bereits auf allen Ebenen in ihren Bann. Wer nicht genug bekommen kann, kann hier weiterstöbern.

Geschichte

Zweitausend Jahre Rechenhilfen – ein Schnelldurchlauf **138**

Alltagsphänomene

Quantenmechanik im Alltag **142**

Stöberecke

Literaturempfehlungen der Autoren **146**

Zusammengetragen

Das iX-Quantencomputer-Glossar **150**

>> Regelmäßigkeit ist die fürchterlichste Eigenschaft der Maschine. <<

Joseph Weizenbaum