



Dienstag, 2.3.2021 ▾

# Frankfurter Allgemeine

(<https://zeitung.faz.net/faz/seite-eins/2021-03-02/>)

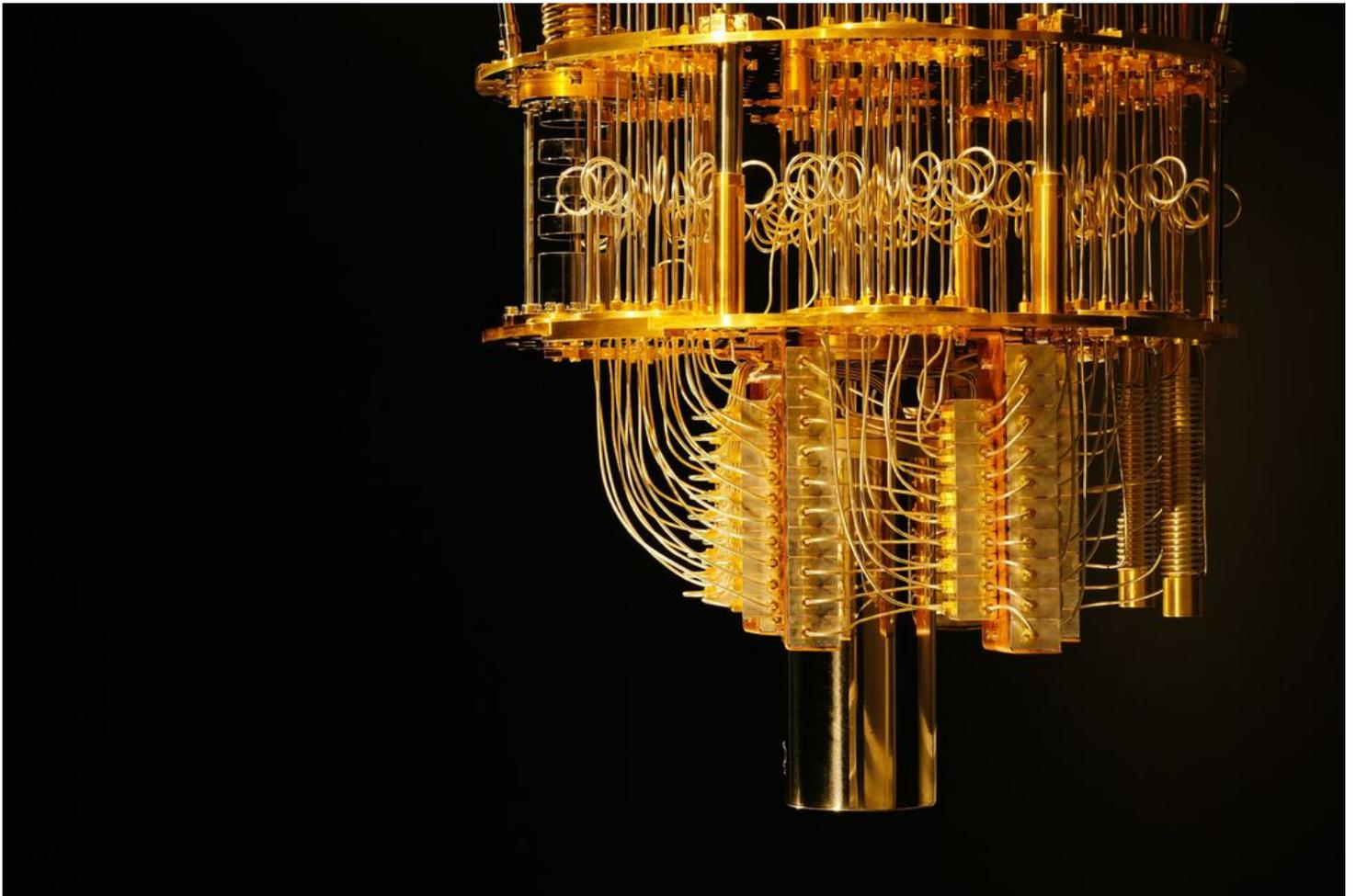
ZEITUNG  FAZ.NET

Seite Eins (<https://zeitung.faz.net/faz/seite-eins/2021-03-02/>) Politik (<https://zeitung.faz.net/faz/politik/2021-03-02/>)

## Computer üben den Quantensprung

Quantencomputer laufen inzwischen stabil. Sie verlassen gerade die Physik-Labore und ziehen in die konventionellen Rechenzentren ein. Doch beim Umzug in die Datenzentren gibt es einige Herausforderungen zu bewältigen.

Von Peter Welchering



**Schöner rechnen mit mehr Tempo:** gekühlte Lichtleiter des Quantencomputers IBM Q System One, der von der Fraunhofer Gesellschaft eingesetzt wird © Hersteller



BEITRAG TEILEN

Die Universität der Bundeswehr baut in München derzeit ihren Quantencomputer-Hub aus. Die Fraunhofer Gesellschaft will noch in diesem Jahr die ersten universellen Quantencomputer in Betrieb nehmen. Und die Bundesregierung hat im Rahmen ihrer

Covid-19-Konjunkturlilfe zwei Milliarden Euro als Anschubfinanzierung zur Verfügung gestellt, damit der Quantencomputer den Weg in den Alltag des Höchstleistungsrechnens ohne Reibungsverluste schafft. Das wäre dann gleichsam ein Quantensprung in der Computerwelt, wüssten wir nicht, dass das rein physikalisch nur ein winziger Schritt ist.

Die Nachfrage nach Quantencomputing wächst. Fachleute des Finanzdienstleisters Morgan Stanley prognostizieren einen jährlichen Umsatz von neun Milliarden Euro bis zum Jahr 2025. Die Lage auf dem Quantencomputermarkt sieht von außen unübersichtlich aus. Auch deshalb, weil die Entwickler von Quantencomputern ihre Projekte unter strenger Geheimhaltung betreiben. Aber eine Botschaft geben sie gern heraus: Die Hersteller von Quantencomputern haben volle Auftragsbücher. So konnte D-Wave erst kürzlich ein halbes Dutzend Quantenrechner an Militärs und Forschungseinrichtungen liefern.

IBM und Google starten schon lange einen Wettlauf, wer mehr Quantenbits (Qubits) in kürzerer Zeit zur Verfügung stellen kann. Der chinesische Internet-Konzern holt bei der Entwicklung mächtig auf. Dessen Entwicklungsingenieure haben die Grenze von 127 Quantenbits ins Auge gefasst. Ob die allerdings noch in diesem Jahr geknackt werden kann, weiß derzeit niemand. IBM hat für das Jahr 2022 sogar einen Quantencomputer mit 433 Qubits angekündigt.

Die Rechenleistung der Quantencomputer verdoppelt sich mit jedem Quantenbit. Deshalb ist das Rennen um den Computer mit den meisten Qubits spannend. „Allerdings ist die Anzahl der Qubits keine gute Größe, um die Leistungsfähigkeit der Anlagen zu vergleichen“, erklärt Heike Riel, die Leiterin der Quantencomputer-Entwicklung am IBM-Forschungslabor im schweizerischen Rüslikon.

Zum einen gibt es verschiedene Arten von Quantencomputern. So unterscheiden die Entwickler universelle Quantencomputer von Quantenannealern, die für ganz spezifische Aufgaben entwickelt wurden. Auch bei den universellen Quantencomputern haben wir es mit unterschiedlichen Implementierungen zu tun.

„Das Quantenvolumen ist im Vergleich aussagekräftiger, weil man sehen kann, wie viel Quantencomputing man mit einer bestimmten Implementierung durchführen kann“,

erläutert Riel. Entscheidend ist dabei die Qualität der Quantenbits. Dazu zählt etwa die Zeit, die ein Quantensystem stabil bleibt, um rechnen zu können, man spricht von Kohärenzzeit. Auch die Zahl der Quantenbits, die miteinander verbunden werden können, geht in die Berechnung des Quantenvolumens ein. Damit die Fehlerraten möglichst gering gehalten werden, muss das Grundrauschen in den Quantenbits eliminiert werden. Dieses Grundrauschen bezeichnen die Entwickler auch als Lärm oder Noise.

Im Labor liefern Quantencomputer schon seit einigen Jahren befriedigende Ergebnisse. Allerdings wird dort auch ein großer Aufwand getrieben, um die fragilen Quanten gegen schädliche Umwelteinflüsse abzuschirmen. Erschütterungsfrei und unter Vakuumbedingungen werden die Qubits in sogenannten Kryostaten fast auf den absoluten Nullpunkt heruntergekühlt. Unter solchen Bedingungen rechnen Quantencomputer sehr stabil. So hat sich die Zahl der industriellen Anwendungen in den letzten Jahren vervielfacht. Wirtschaftswissenschaftler lassen zum Beispiel ihre Risikoanalysen auf Quantencomputern rechnen. Sie eignen sich auch besonders gut dazu, die Eigenschaften von Materialien zu berechnen. Im Flugzeugbau, in der Medizin und in der Automobilindustrie sind solche Anwendungen äußerst gefragt.

Quantencomputer nutzen die Gesetze der Quantenphysik. „Auch die kleinsten Teilchen, die Moleküle, unterliegen den Gesetzen der Quantenphysik, so dass man mit einem Quantencomputer wirklich schön die Eigenschaften von Molekülen berechnen kann“, erläutert Quantenforscherin Riel. „Allerdings sind für solche Berechnungen neue Analyse-Algorithmen notwendig“, stellt Federico Carminati, Computerchef am europäischen Kernforschungszentrum Cern in Genf, klar. Inzwischen sind schon sehr brauchbare Software-Bibliotheken in diesem Bereich entstanden. Der Entwicklungsaufwand dafür war allerdings hoch. Doch diese Hürde für den Umzug der Quantencomputer aus dem Labor in die Rechenzentren ist geschafft. Die Methoden der Software-Entwicklung für Quantencomputer sind inzwischen auf einem ähnlichen Niveau wie für die Entwicklung von Supercomputern.

Allerdings ist die Programmierung von Quantencomputern noch immer eher mit Maschinenprogrammierung als mit standardisierten Programmiersprachen vergleichbar. Von der Raffinesse herkömmlicher Programmiersprachen ist man noch entfernt, denn Quanten-Algorithmen sind nicht direkt mit Algorithmen konventioneller Computer vergleichbar.

Noch komplizierter wird es, wenn Quantencomputer und Supercomputer gemeinsam ein Problem lösen sollen. Dann müssen im Datenzentrum die einzelnen Rechenaufgaben jeweils direkt an einen Quanten-Algorithmus oder einen konventionellen Algorithmus überwiesen werden. So können etwa Pharmazeuten auf beiden Computern neue Medikamente entwickeln, indem sie die Moleküleigenschaften für neue Wirkstoffe von

einem Quantencomputer berechnen lassen. Anschließend werden bestimmte Wirkmechanismen auf dem herkömmlichen Supercomputer simuliert.

Auch die Analysten von Banken und Versicherungen sind hochgradig interessiert. Denn etwa Berechnungen zur Preisentwicklung in der Finanzmathematik lassen sich so in kollegialer Rechenarbeit von Supercomputer und Quantencomputer effizient erledigen.

Grundlage solcher Berechnungen sind Differentialgleichungen. Auf dem Quantencomputer werden die Gleichungen berechnet, die sich in quantenmechanische Gleichungen umwandeln lassen. Den Rest erledigt der Supercomputer.

Der kann natürlich auch Quantencomputing simulieren und so bei der Entwicklung von Quanten-Algorithmen helfen. Damit haben zum Beispiel die Forscher am Leibniz-Rechenzentrum in Garching bei München bereits Erfahrungen sammeln können. Auf dem dort stehenden Höchstleistungsrechner mit dem klingenden Namen Supermuc-NG steht schon seit einiger Zeit ein Quantencomputingsimulator mit 42 Quantenbit bereit.

Eine andere Hürde besteht darin, die Elektronik für die Quantencomputer an die Bedürfnisse von Rechenzentren anzupassen. „Wenn wir im Labor Quanten-Prozessoren untersuchen, wollen wir natürlich von der Elektronik her flexible Instrumente haben“, berichtet Riel. Im Datenzentrum aber gelten andere Maßstäbe. „Das Gerät muss hier nicht mehr die gesamte Flexibilität des Testens erlauben.“

Seit IBM im Jahr 2019 den ersten Quantencomputer vorgestellt hat, der außerhalb einer Laborumgebung einsetzbar ist, hat sich die gesamte Elektronik erheblich weiterentwickelt. „Das Rauschen in den elektronischen Bauteilen ist reduziert worden, und die Elektronik wurde verkleinert“, charakterisiert Riel die Entwicklung.

Auch Cloud-Modelle, die Quantencomputing als Service bieten, geraten jetzt in den Blick. So dürfte Quantencomputing in nicht allzu ferner Zukunft sogar für Mittelständler erschwinglich und damit interessant werden. Daneben aber werden Quantencomputer als Spezialrechner in großen Rechenzentren eine wesentliche Rolle spielen. Dafür muss der Quantencomputer in die Rechenzentrums-Infrastruktur eingepasst werden. Je nachdem, welche Anforderungsprofile die Nutzer und Kunden der Rechenzentren haben, werden sich unterschiedliche Mischformen aus Höchstleistungsrechnen und Quantencomputing entwickeln.

Teils werden dafür Quantencomputer mit ihren Kryostaten in den Rechenzentren aufgebaut, teils werden aber auch Rechenzentren Quantencomputing aus der Cloud beziehen. „Wir arbeiten daran, unseren Nutzern Zugang zu verschiedener, bereits auf dem Markt befindlicher Quantencomputing-Hardware zu ermöglichen und das dafür

notwendige Ökosystem aufzubauen“, beschreibt zum Beispiel Dieter Kranzlmüller, Leiter des Leibniz-Rechenzentrums, die derzeit dringlichste Aufgabe der großen Rechenzentren in Deutschland.

## Schnelle Prozessoren



**Fit für Qubit-Anwendungen:** Quantencomputer im Rechenzentrum © Hersteller

Quantencomputer können Probleme lösen, die selbst die schnellsten Supercomputer der Welt bisher nicht berechnen können. Denn sie sind in der Lage, aberwitzig große Datenmengen gleichzeitig zu bearbeiten. Dabei rechnen sie völlig anders als herkömmliche Computer. Will ein konventioneller Computer zwei Zahlen addieren, nimmt er zunächst eine Bitreihe aus dem Arbeitsspeicher, wendet den logischen Operator „und“ an und nimmt eine zweite Bitreihe, welche die zweite Zahl darstellt, hinzu. Das Ergebnis der Addition legt er wieder in einer Bit-Reihe ab. Ein Quantencomputer nimmt für solch eine Aufgabe ebenfalls zwei Quantenbit-Reihen. Aber jedes Quantenbit hat nicht nur den Wert Null oder Eins wie normale Bits, sondern es kann jeden Wert zwischen Null und Eins annehmen. Die Fachleute sprechen hier von Superposition.

Weil jedes Quantenbit theoretisch also jeden Wert zwischen Null und Eins annehmen kann, kann jede Quantenbit-Reihe eine riesige Menge an Daten

annehmen kann, kann jede Quantenbit-Reihe eine riesige Menge an Daten enthalten. Bei einem Quantencomputer mit 20 Quantenbits entspricht eine solche Reihe 16 Megabyte herkömmlicher Computer, nämlich  $2$  hoch  $20$ , also  $2$  mal  $2$  mal  $2$  – und das ganze  $20$  Mal. Bei 53 Qubits sind das  $2$  hoch  $53$ . Deshalb können Quantenrechner so große Mengen an Informationen verarbeiten und sind dadurch herkömmlichen Supercomputern überlegen. Quantenrechner mit

zwei Qubits können  $2$  hoch  $2$  mögliche Bit-Zustände gleichzeitig verwenden, also vier. Quantencomputer mit 53 Quantenbits können  $2$  hoch  $53$  mögliche Bitzustände gleichzeitig verwenden, also mehr als eine Billion Bitzustände gleichzeitig. Quantencomputer haben bei solchen Berechnungen noch einen Vorteil: Sie verwenden Methoden der Quantenphysik, arbeiten also auf der Ebene einzelner Atome.



BEITRAG TEILEN



(<https://zeitung.faz.net/faz/seite-eins/2021-03-02/>)