

Computer der Zukunft

Quantencomputer könnten zukünftig Aufgaben bewältigen, die selbst die leistungsfähigsten Supercomputer heute noch an ihre Grenzen bringen – doch was ist *Quantum Computing* überhaupt? Unser Autor hat sich das Thema von Christopher Eichler erklären lassen.

von Beat Zurbuchen

Ist ein Quantencomputer einem normalen Computer überlegen?

Quantencomputer versprechen, einige spezifische Aufgaben effizienter lösen zu können als konventionelle Computer. Diese Überlegenheit resultiert aus der Möglichkeit, Quantenbits in Überlagerungszuständen – sogenannten Superpositionszuständen – der beiden Basiszustände 0 und 1 zu präparieren. Ein Quantencomputer kann also eine Vielzahl von Bitkombinationen gleichzeitig darstellen. Das ist insbesondere interessant für Berechnungen, bei denen ein konventioneller Computer viele Kombinationen nacheinander durchprobieren muss. Mithilfe eines Quantencomputers könnten all diese Kombinationen als Superposition vieler Quantenbits dargestellt und parallel verarbeitet werden.

Mittlerweile forschen auch Firmen wie IBM und Google sowie junge Start-ups wie Rigetti intensiv am Thema Quantum Computing. Wieso sind diese Firmen plötzlich am Bau eines Quantencomputers interessiert?

In den vergangenen zwei Jahrzehnten wurden enorme wissenschaftliche Fortschritte im Bereich der experimentellen Quantenphysik erzielt. Man war plötzlich in der Lage, einzelne quantenmechanische Systeme gezielt zu kontrollieren. Damit war die Voraussetzung geschaffen, Quantenbits physikalisch zu realisieren und die grundlegenden Konzepte des Quantencomputings erstmals im Labor zu demonstrieren. Die Vision, einen Quantencomputer zu bauen rückte



Christopher Eichler

Christopher Eichler ist Oberassistent im *Quantum Device Lab*, einer experimentellen Forschungsgruppe des Physik-Departments der ETH Zürich. Er forscht dort an der Realisierung von Quantencomputern auf der Basis von supraleitenden Schaltkreisen. Ihn fasziniert die Idee, Quantensysteme in die technologische Anwendung zu bringen. Darüber hinaus ist er begeisterter Musiker, unter anderem im Akademischen Kammerorchester Zürich, und verbringt seine freie Zeit vor allem mit seiner Familie.

damit in greifbarere Nähe. Darüber hinaus bergen Quantencomputer aufgrund ihres Anwendungspotentials langfristig einen kommerziellen Nutzen und sind sicher auch deswegen ins Blickfeld der Industrie gerückt.

Richard Feynman stellte in seinen grundlegenden Arbeiten zu Quantencomputern in den 80er-Jahren fest, dass sehr genaue Simulationen von physikalischen Systemen auf normalen Rechnern fast unmöglich, jedoch auf Quantenrechnern durchführbar seien. Was meinte er damit und gibt es noch andere Anwendungsgebiete für Quantenrechner?

Will man ein physikalisches System genau beschreiben, sind letztlich die Gesetze der Quantenmechanik entscheidend. Um also Eigenschaften solcher Systeme genau zu berechnen, muss man quantenmechanische Prozesse simulieren. Im Allgemeinen ist dies für klassische Computer jedoch schwierig, da die benötigten Ressourcen exponentiell mit der Grösse des Systems anwachsen. Wissenschaftler wie Richard Feynman und Seth Lloyd konnten in ihren theoretischen Arbeiten zeigen, dass Quantencomputer grundsätzlich in der Lage sind, solche Systeme effizient zu simulieren. Solche Simulationen – insbesondere im Bereich der Quantenchemie – sind aktuell auch das vielversprechendste Anwendungsgebiet von Quantencomputern. Eine weitere potentielle Anwendung liegt im Bereich der klassischen Optimierungsprobleme wie beispielsweise das Problem des Handelsreisenden.



8-Qubit-Quantenprozessor basierend auf supraleitenden Materialien

Was ist die Vision für Quantum Computing in der Forschungsgemeinschaft?

Ein wichtiger Meilenstein wäre sicher der Bau eines Quantencomputers, der in der Lage ist, Probleme zu lösen, die auf einem konventionellen Computer nicht lösbar sind. Einen solchen Computer könnte man dann Wissenschaftlern aus anderen Disziplinen und der industriellen Forschung zugänglich machen, um einen Beitrag dazu zu leisten, Antworten auf gesellschaftlich relevante Fragen zu finden. Zum Beispiel könnte man mit Quantencomputern die Suche nach Hochtemperatur-Supraleitern unterstützen oder die Entwicklung neuartiger Katalysatoren in der Chemie voranbringen.

Was sind die technischen Hürden, die einem voll funktionsfähigen Quantencomputer im Weg stehen?

Die aktuell grösste Herausforderung ist die Fehleranfälligkeit von Gatteroperationen auf den Quantenbits. Solche Fehler entstehen z.B. durch die unkontrollierte Wechselwirkung der Quantenbits mit ihrer Umgebung. Um Quantencomputer fehlertolerant zu machen, gibt es zwei Ansätze: Zum einen kann man bei den Eigenschaften der Quantenbits selbst ansetzen, zum Beispiel durch Verbesserungen im Design und den Fabrikationsprozessen. Zum anderen kann man Redundanz schaffen und Fehler aktiv korrigieren. Hierzu werden mehrere Quantenbits verwendet, um ein einzelnes logisches Quantenbit darzustellen. Mit gezielten Messungen während des Algorithmus' können so einzelne Fehler detektiert und anschliessend korrigiert werden. An der Implementierung solcher Fehlerkorrekturverfahren wird in unserem Feld gerade sehr aktiv geforscht.

Quantum Computing kurz erklärt

Quantum Computing nutzt die Gesetze der Quantenmechanik, um Informationen effizienter zu verarbeiten. Ähnlich wie ein normaler Rechner führt ein Quantenrechner nacheinander einzelne elementare Befehle aus, die zusammen einen Algorithmus ergeben. Im Gegensatz zu konventionellen Computern werden die Befehle jedoch nicht auf Blöcken von Bits, sondern auf Blöcken von Quantenbits durchgeführt. Ein klassisches Bit befindet sich immer in einem von zwei Zuständen: 0 oder 1. Ein Quantenbit kann sich dagegen in einem Überlagerungszustand der beiden Zustände, in einer sogenannten Superposition, befinden. Ein Register von Qubits kann daher mehrere Bitkombinationen gleichzeitig als Superposition darstellen. Das parallele Verarbeiten solcher Superpositionszustände erlaubt bei bestimmten Anwendungen effizientere Algorithmen verglichen mit jenen auf konventionellen Computern.