

Ein Quantencomputer mit 1121 Qubits

Wie mehr Rechenleistung den „Quantum Advantage“ zeitnah fördern wird. Das jüngste Konjunkturpaket der Bundesregierung schnürt Quantencomputing mit einer Unterstützung von zwei Milliarden Euro fest ein. Mindestens zwei Quantencomputer sollen von geeigneten Konsortien gebaut werden. Damit soll ein Zeichen gesetzt werden für mehr europäische Souveränität und Eigenständigkeit in einer Technologie, die schon mittelfristig zur breiten Anwendung in Industrie und Wirtschaft gelangen soll.

IT-Riese IBM hat im Januar 2019 mit dem „Q System One“ den ersten schaltungsbasierten kommerziellen Quantencomputer eingeführt. 2021 soll der erste deutsche Quantencomputer gebaut werden. Dirk Wittkopp ist Vice President Development und Geschäftsführer des deutschen IBM Entwicklungszentrums und berichtet von aktuellen Planungen.

Seit wann beschäftigt sich IBM mit dem Thema Quantencomputing? Welche Forschungsergebnisse haben dem Quantencomputer endgültig zum Durchbruch verholfen?

Der Quantencomputer in unserem Rechenzentrum in Ehningen steht bereits und ist seit Jahresanfang live für die Fraunhofer-Gesellschaft als IBM Q Hub und ihre Kunden. Wir sind besonders stolz darauf, dass es sich dabei um das erste IBM Q System weltweit außerhalb der USA handelt. Wir sind, wenn Sie so wollen, schon Jahrzehnte an dem Thema dran. Mitte der 80er-Jahre war dann der Zeitpunkt, an dem verschiedene Forschungsthemen mit der

Quantenmechanik zusammengeführt werden konnten. Wir waren 2016 das erste Unternehmen, das Quantencomputer für Forschung und Entwicklung über die Cloud zugänglich gemacht hat. Aktuell haben wir mehr als 30 solcher Systeme online.

„Wir glauben, dass die Quantentechnologie innerhalb dieses Jahrzehnts so weit fortschreiten wird, dass es auf verschiedenen Anwendungsfeldern erhebliche Vorteile für Wirtschaft und Wissenschaft bietet wird.“

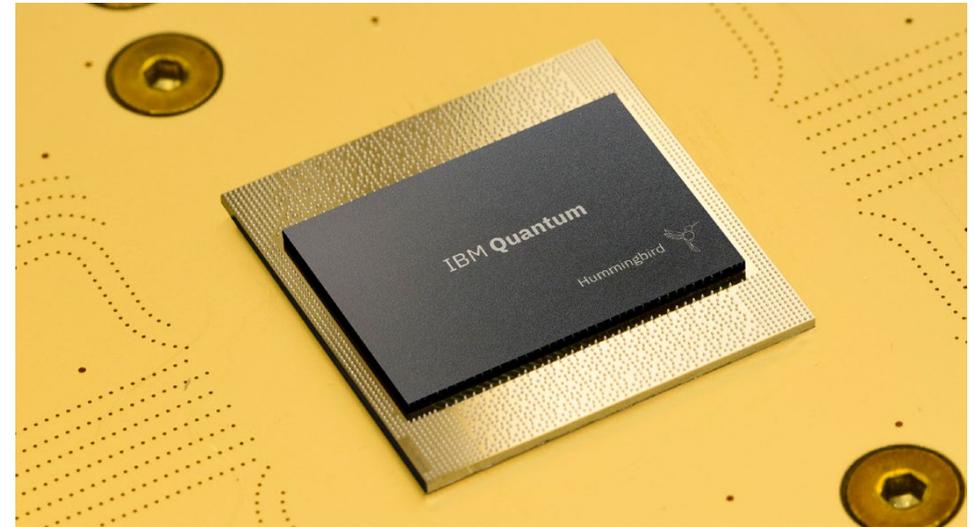
Was erhofft man sich vom Quantencomputer-Standort Deutschland?

Ziel der Kooperation mit der Fraunhofer-Gesellschaft ist es, die Kompetenzen und Strategien rund um das Thema Quantencomputing für die Industrie und anwendungsorientierte Verfahren voranzutreiben. Die gemeinsame Initiative vereint etablierte Partner aus Universitäten, Forschung und Industrie unter dem Dach eines Fraunhofer-Kompetenznetzwerks Quantencomputing. Wir versprechen uns davon, die Rolle Deutschlands als führende Technologie- und Innovationsdrehscheibe zu stärken.

Bis 2023 will IBM mit seiner Quantum Roadmap einen breiten Einsatz des Quantencomputers für die Wirtschaft ermöglichen. Das System „Quantum Condor“ will



Auf der CES 2020 kündigte IBM die Erweiterung des IBM Q-Netzwerks an, das mittlerweile über 100 Unternehmen in verschiedenen Branchen umfasst, darunter: Luftfahrtindustrie, Automobil, Bank- und Finanzwesen, Energie, Versicherungen, Materialien und Elektronik. (Credits: IBM)

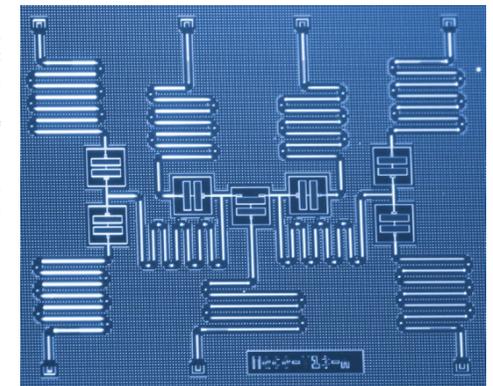


IBM Quantum Hummingbird ist ein 65-Qubit-Prozessor, der in der IBM Cloud für Mitglieder des IBM Q Network verfügbar ist. Quantenprozessoren stützen sich auf die Mathematik der Elementarteilchen, um die Rechenkapazitäten zu erweitern und Quantenschaltungen anstelle der Logikschaltungen digitaler Computer auszuführen. (Credits: Connie Zhou für IBM)

mit einer Leistung von ca. 1100 Qubits bisherige Systeme, die ca. 100 Qubits aufweisen, weit übertrumpfen. Wie ist die technische Revolution, dieser „Quantum Advantage“, möglich?

Für uns ist Quantum Advantage der Wendepunkt für die Quantentechnologie. Wir glauben, dass die Quantentechnologie innerhalb dieses Jahrzehnts so weit fortschreiten wird, dass es auf verschiedenen Anwendungsfeldern erhebliche Vorteile für Wirtschaft und Wissenschaft bietet wird, die über das hinausgehen, was für klassische Computer jemals möglich wäre.

Unser Ziel ist es daher in einem ersten Schritt, in zwei Jahren Beispiele für solche industriellen Anwendungen zu haben. Dazu haben wir uns eine ambitionierte Roadmap auf die Fahnen geschrieben, innerhalb derer wir von der Hardware bis zu den Anwendungen alles parallel weiterentwickeln. Das Modell „Quantum Eagle“ soll ab 2021 mit 127 Qubits rechnen, „Quantum Osprey“ im Jahr darauf mit 433 Qubits, dann folgt „Quantum Condor“ mit 1121 Qubits. Dafür entwickeln wir neue Komponenten, um das Verhalten von mehr Qubits gleichzeitig auslesen zu können. Wir arbeiten auch daran, mehrere Recheneinheiten miteinander zu kombinieren. Die zusätzlichen Verbesserungen in der Kryogenik und der Qubit-Kontrolle für diesen Chip sowie des dazugehörigen rund drei Meter hohen und zwei Meter breiten Kühlelements namens „Goldey“ ermöglichen nach unserer Vorstellung auch die für eine vollständige Fehlertoleranz erforderliche Skalierung für Systeme, die Millionen Qubits ansteuern können.



IBM-Wissenschaftler haben einen neuen Ansatz zur Simulation von Molekülen auf einem Quantencomputer entwickelt, der eines Tages dazu beitragen könnte, die Chemie und die Materialwissenschaften zu revolutionieren. Die Wissenschaftler verwendeten erfolgreich sechs Qubits auf einem speziell entwickelten 7-Qubit-Quantenprozessor, um das Problem der Molekülstruktur für Berylliumhydrid (BeH₂) anzugehen – das größte Molekül, das bisher auf einem Quantencomputer simuliert wurde. Die Ergebnisse zeigen einen Forschungsweg für kurzfristige Quantensysteme auf, um unser Verständnis komplexer chemischer Reaktionen zu verbessern, die zu praktischen Anwendungen führen könnten. (Kredit: Kandala et al, IBM)

Wie stellt sich IBM diesen breiten Einsatz für die Wirtschaft vor? Welche Bereiche der Wirtschaft sind die User von „Quantum Condor“?

Die enorme Rechenleistung von Quantencomputern hat das Potenzial, exponentielle Fortschritte und Beschleunigungen bei einer ganzen Reihe von Themen zu ermöglichen, die nicht nur auf eine Industrie beschränkt sind. Nehmen wir beispielsweise das Thema künstliche Intelligenz: KI-Systeme arbeiten umso genauer, je größer die Datenmengen sind, die von den Algorithmen des maschinellen Lernens, die sie trainieren, klassifiziert und analysiert werden können. Je präziser diese Daten nach bestimmten Charakteristika oder Merkmalen eingeordnet werden können, desto präzisere Ergebnisse werden im Anschluss durch die KI geliefert. Beim maschinellen Lernen sind vor allem sogenannte Merkmalsräume interessant – mathematische Räume, die ein Objekt durch seine Messwerte in Bezug auf dessen besondere Eigenschaften bestimmen. Quantensysteme bieten alternative Wege, um einen solchen Raum zu betrachten.

Ein anderes Beispiel ist die Chemie. Die exakte Simulation selbst einer relativ einfachen Verbindung wie Koffein würde ein klassisches IT-System mit so vielen Bits erfordern, wie es Atome in der Milchstraße gibt. Wir haben eine Methode entwickelt, bei der Quantensysteme so eingesetzt werden können, dass dort rechnerisch schwierige Aufgaben ablaufen, während die anderen Teile einer Simulation weiterhin auf klassische Rechner ausgelagert und verarbeitet werden.

So kann beispielsweise heute schon das Verhalten von kleinen Molekülen wie Lithiumhydrid simuliert werden. Wenn eines Tages Hunderte oder gar Tausende von Qubits zusammenarbeiten, um Informationen zu verarbeiten, könnten diese Maschinen alle möglichen natürlichen Systeme simulieren, die wir heute bestenfalls annähernd kennen. Wir könnten sofort wissen, wie sich ein bestimmtes Medikament auf unseren Körper auswirkt. Wir könnten effizientere Batterien bauen, um ein nachhaltigeres Energienetz zu schaffen, oder bessere Düngemittel, um die weltweite Nahrungsmittelversorgung zu verbessern. Quantensysteme könnten auch eingesetzt werden, um effiziente Logistikabläufe zu schaffen, Finanzportfolios dynamisch zu optimieren oder die Materialforschung voranzutreiben.

Programmierer kommunizieren über ein Dualsystem aus Einsen und Nullen mit ihrem Computer. Wie kommunizieren wir mit einem Quantencomputer? Bleibt unser Zugang zu einem Quantencomputer dann doch der herkömmliche Computer? Sehen Sie gerade dahinter eine Lösung, einem mittelständischen Unternehmen, das sich keinen Quantencomputer leisten kann, einen Zugang zu einem Quantencomputer zu gewähren?

Ein Quantenalgorithmus funktioniert in der Tat anders: Hier arbeitet man mit probabilistischen Algorithmen, die keine eindeutigen Ergebnisse, sondern Wahrscheinlichkeiten für bestimmte Ergebnisse liefern. In der klassischen IT folgt ein Algorithmus einer Reihe von Schritten, und am Ende erhält der Anwender ein Ergebnis. Diese beiden Welten muss man

zusammenbringen. Wir haben dafür in einem ersten Schritt vor drei Jahren bereits Qiskit (<https://qiskit.org/>), eine modulare Open-Source-Programmierung für die Arbeit mit Quantencomputern auf der Ebene von Schaltungen und Anwendungsmodulen bereitgestellt. Zudem haben wir gerade erst unsere Quantum Software Roadmap veröffentlicht, die es Software-Entwicklern einfacher machen wird, Quantencomputer zu nutzen. Der Zugang zu unseren Systemen erfolgt über die IBM Cloud – also letztlich über herkömmliche Computer, die jeder Nutzer und Unternehmen aller Größen verwenden.

Bereits Anfang 2019 hat IBM mit dem Q-System seinen ersten kommerziell nutzbaren Quantencomputer präsentiert. Was ist seither vergangen? Worin besteht aktuell diese kommerzielle Nutzung? Wird „Quantum Condor“ Q-System ablösen?

Wir haben in den letzten Jahren die Arbeiten an unseren Systemen konsequent vorangetrieben, was letztlich in die eingangs beschriebene Quantum Roadmap mündet – und im Idealfall den Anfang einer Quantenindustrie bildet: Quantenverbindungen zwischen Systemen mit Millionen-Prozessor-Chips – ähnlich den Intranets, die heute bereits in Rechenzentren die Supercomputing-Prozessoren miteinander verbinden. Aber das ist noch Zukunftsmusik.

Welche technischen Voraussetzungen müssen geschaffen werden, um die Leistungsfähigkeit von Qubits in den nächsten Jahren weiter zu optimieren?

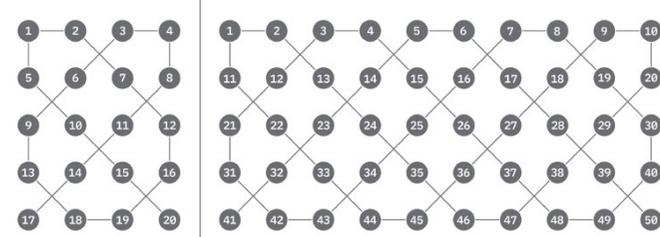
Ziel muss es sein, sogenannte fehlertolerante Quantensysteme zu entwickeln – also Quantencomputer, die eine geringstmögliche Fehlerrate aufweisen, wenn die für die Berechnungen notwendigen Messungen auf den Qubits vorgenommen werden.

Wie sehen Sie aktuell Europa, insbesondere Deutschland, im internationalen Vergleich aufgestellt? Wer liegt im Moment in der Pole-Position im Wettrennen um die Technologie von morgen?

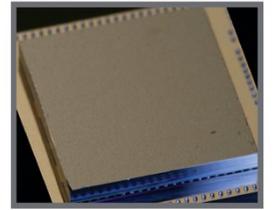
Ich denke, Europa und auch Deutschland haben verstanden, welche Bedeutung diese Technologie in den nächsten Jahren erlangen kann. Entsprechende Investitionen wurden ja bereits auf verschiedenen politischen Ebenen bereitgestellt, um die angewandte Forschung voranzubringen. Die Kooperation mit der Fraunhofer-Gesellschaft und weiteren Partnern wird hier helfen, Kompetenzen rund um Quantencomputing aufzubauen und eine Gemeinschaft aus Forschern, Entwicklern, IT- und Branchenexperten zu bilden.

Technischer Vorsprung ist essenziell, um sich wirtschaftliche Vormachtstellungen zu sichern. IBM hat zuletzt einige Partnerschaften mit anderen Unternehmen verkündet. Welche Kooperationsmodelle strebt IBM an? Welchen Nutzen erhofft man sich davon?

Wir haben bereits 2017 das IBM Q Network (<https://www.ibm.com/quantum-computing/network/overview/>) aus der Taufe gehoben – ein Netzwerk von aktuell über 130 Forschungseinrichtungen, globalen Unternehmen, Start-Ups und anderen Partnern, die mit uns daran arbeiten, die Technologie zügig weiterzuentwickeln, kommerzielle Anwendungen



A) Schema eines 20-Qubit-Systems und B) 50-Qubit-System zur Veranschaulichung der Qubit-Interkonnektivität. Diese komplexe Verbindungsstruktur ermöglicht maximale Flexibilität für IBM Q-Systeme. Das 50-Qubit ist die natürliche Erweiterung der 20-Qubit-Architektur. C) Foto des Quantenprozessorpaketes für die ersten IBM Q-Systeme. Der Prozessor bietet Verbesserungen beim supraleitenden Qubit-Design, der Konnektivität und der Verpackung. (Credits: IBM)



zu identifizieren und gleichzeitig das Wissen über das komplexe Thema in die Wissenschaft und Wirtschaft zu tragen. Wir wollen, dass das Thema Quantencomputing auf eine breite Wissensbasis gestellt und genutzt wird. Eine globale Gemeinschaft ist hier der Schlüssel, um es voranzutreiben.

Quantencomputing und seine Anwendungen: Welche konkreten Anwendungen profitieren aktuell schon von der Nutzung eines Quantencomputers? Welche Wirtschaftszweige werden zuerst auf Quantencomputing setzen?

Die oben genannten Einsatzgebiete geben schon eine gute Idee, wo sich Quantum etablieren wird: Beispielsweise in der Pharmaforschung bei der Suche nach Molekülen, die sich für Medikamente eignen, ihr Verhalten besser vorherzusagen und die Entwicklungszyklen zu beschleunigen. Die Verbesserung von Batterien, wie es beispielsweise Daimler als Mitglied des IBM Q Network bereits macht, oder die Erforschung der Proteinfaltung, die Einfluss auf die Entstehung von Krebszellen hat. Im Finanzsektor wird Quantencomputing helfen, die Entwicklung von Risikomodellen in Banken und Versicherungen zu verbessern.

Das 21. Jahrhundert steht vor einer der größten Herausforderungen der Menschheitsgeschichte: die Klimafuge. Könnte ein Quantencomputer auch im Kampf gegen die Klimaerwärmung funktional eingesetzt werden? Wie? Quantencomputer können im Grunde überall dort eingesetzt werden, wo komplexe naturwissenschaftliche Phänomene in mathematische Modelle übersetzt werden können. Supercomputer haben schon in den letzten Jahrzehnten den Meteorologen bei ihren Vorhersagen und der Erstellung von Klimamodellen geholfen. Gleiches kann zukünftig auch für Quantencomputer gelten. Zudem könnten sie dabei helfen, im Detail die Auswirkungen von verschiedensten Emissionen und ihren Wechselwirkungen mit der Atmosphäre besser zu verstehen und uns allen dabei helfen, den Klimawandel und seine Folgen so gut wie irgend möglich abzufedern.

Wir befinden uns derzeit in einer Übergangsphase. Unsere herkömmlichen Computer sind an ihre physikali-

schen Grenzen gestoßen. Gerade das macht den Quantencomputer immer lukrativer. Welche Grenzen kann aber ein Quantencomputer selbst haben? Besteht das Risiko, dass auch er in 20, 30 oder 40 Jahren an seinen Endkapazitäten angelangt sein wird?

Auch wenn klassische Computer beispielsweise in der Prozessoren-Entwicklung an physikalische Grenzen stoßen – Stichwort Leckströme –, bleiben sie nach wie vor und noch für lange Zeit die Triebfedern für Innovation. Allein die Tatsache, dass wir unsere Quantensysteme nicht autark, sondern nur in Verbindung mit bestehenden Computern nutzen können, zeigt, dass wir noch sehr lange herkömmliche Computer nutzen werden. Und was das Ende von Quantum Computing angeht: Wir haben noch nicht mal richtig angefangen, das Potenzial auszuschöpfen.

Interview: Hannes Mittermaier

Dirk Wittkopp

Als IBM Vice President und Geschäftsführer der IBM Deutschland Forschung & Entwicklung GmbH leitet Dirk Wittkopp eines der großen IBM Global Labs, die gemeinsam die Software- und Systemprodukte von IBM entwickeln. Sein Team in Deutschland arbeitet an einem breiten Spektrum dieses Portfolios, darunter System Z- und Power-Server, Betriebssysteme, Speichersoftware, Datenverwaltungs- und Analysesoftware, Cloud-Plattformdienste sowie Lösungen für IBM Security, Internet of Things, KI-Lösungen für die Finanzbranche, Blockchain sowie Quantum Computing.



Foto: IBM