

IBM Quantum Lab  
in Yorktown Heights, New York

# „Quantencomputing könnte vieles bewirken“

Interview mit Dr. Heike Riel, Leiterin von IBM Research Quantum Europe in Zürich

Maiko Pfalz

2016 hat IBM als erstes Unternehmen einen Quantencomputer – mit damals fünf Qubits – in der Cloud weltweit kostenlos verfügbar gemacht. 2021 wurde nahe Stuttgart der erste kommerzielle Quantencomputer Europas eingeweiht. Vor wenigen Monaten zeigten Wissenschaftler von IBM, dass Quantencomputer nützliche Ergebnisse für Probleme liefern können, die die besten skalierbaren klassischen Methoden überfordern. Bei der Entwicklung von Quantencomputern auf Basis supraleitender Qubits ist IBM – neben Google – weltweit führend.

## Seit wann ist Quantencomputing ein Thema bei IBM?

Mit Quantencomputing beschäftigen wir uns seit den 1980er-Jahren, als Richard Feynman seine Idee eines Quantencomputers skizzierte. Charlie Bennet und Rolf Landauer arbeiteten ab den 70ern zur Quanteninformationstheorie, und Mitte der 90er-Jahre veröffentlichte David DiVincenzo, der heutige Direktor des Peter-Grünberg-Instituts am Forschungszentrum Jülich, seine grundlegenden Kriterien für die Realisierung eines Quantencomputers.

## Die Entwicklung eines Quantencomputers braucht also einen langen Atem.

Wir hatten stets exzellente Persönlichkeiten im Team, die die Forschung in Theorie und Praxis konsequent vorantrieben und von einem guten Umfeld mit hervorragender Infrastruktur profitiert haben.

## Welche Meilensteine gab es?

Es gab viele. Ein wichtiger war 2016 der Quantenprozessor in der Cloud. Seitdem ist die Entwicklung auf allen Ebenen

rasant vorangeschritten – mit Verbesserungen in der Qubit- und Quantenprozessortechnologie, der Steuerelektronik, der Software und den Algorithmen sowie Verfeinerungen der Anwendungen, die sich mit relevanten Problemen in Wissenschaft und Wirtschaft befassen. Ein Meilenstein war auch die Entdeckung der Fehlermitigation 2017.

## Was bedeutet das?

Wenn wir das Rauschen im Quantenprozessor verstehen und charakterisieren können, können wir seine Effekte beseitigen und mit fehlerbehafteten Qubits zu nicht fehlerbehafteten Ergebnissen kommen. Das war entscheidend, den Nutzen eines Quantenprozessors mit 127 Qubits zu zeigen.

## Sie setzen auf supraleitende Qubits.

### Welche Vorteile bieten diese?

Sie werden in etablierten und erprobten Verfahren der Halbleitertechnologie hergestellt. Das erleichtert die Skalierbarkeit und garantiert die Qualität. Zudem erlauben supraleitende Qubits sehr schnelle Gate-Operationen, und es ist gelungen, ihre Kohärenzzeiten vom Nano- in den Millisekundenbereich zu erhöhen.

## Aber ob sich die supraleitenden Qubits durchsetzen werden, ist noch offen?

Das muss sich zeigen, aber ich bin sehr optimistisch. Wir arbeiten an einem modularen Skalierungsansatz, der weiteren Qualitätssteigerung sowie daran, das Rauschen zu reduzieren und damit die Leistungsfähigkeit zu erhöhen.

## Wie sieht es mit konkurrierenden Ansätzen aus?

Es gibt verschiedene Implementierungen von Qubits mit unterschiedlichem Entwicklungsstand. Sie alle haben Vor-

und Nachteile. Neben supraleitenden Qubits gibt es auch Qubits, die auf Ionen oder neutralen Atomen basieren, Spinqubits, photonische Quantencomputer und Ideen für topologische Qubits.

### Die führenden Technologien sind derzeit Ionen und supraleitende Qubits?

Ja. Aber das Potenzial supraleitender Qubits ist aufgrund ihrer größeren Skalierbarkeit unstrittig.

### Was ist entscheidend, um Quantencomputer leistungsfähiger zu machen als Supercomputer?

Die Rauschunterdrückung ist ein wichtiges Thema. Aktuell nutzen wir die Fehlermitigation. Eine langfristige Lösung ist die Fehlerkorrektur.

### Um das zu zeigen, müssen Sie Ihre Ergebnisse immer mit klassischen Rechnern vergleichen.

Das ist leider nicht möglich, wenn die Rechnung zu komplex ist. Verifikationsmethoden sind deshalb ein wichtiges Forschungsthema. Dank der Fehlermitigation liefern Quantencomputer heute Ergebnisse, wo klassische Rechner an Grenzen stoßen. Daraus hat sich ein Wettstreit zwischen beiden Communities entwickelt.

### Was unterscheidet den Betrieb eines Quantencomputers von dem eines herkömmlichen Rechners?

Unser Quantencomputer basiert auf einem Zwei-Niveau-Energie-System in Josephson-Junctions und erfordert daher ultrakalte Temperaturen von etwa 10 mK. Die Qubits steuern wir mit Mikrowellenpulsen an. Die Handhabung des Systems und die Berechnung unterscheiden sich grundlegend. Unser Ziel ist es aber, die Bedienung des Quantencomputers der eines klassischen Rechners anzunähern. Unser Quantencomputer wird mittels Python programmiert bzw. mit unserem Open-Source-Tool Qiskit.

### An welchen Forschungsthemen arbeiten Sie?

Unter anderem an der Modularität des Systems, also der Frage, wie man skaliert. Zunächst kann man den einzelnen Chip weiter vergrößern und mehr Qubits auf den gleichen Chip setzen. Doch das hat Grenzen. Wir entwickeln daher modulare Grundeinheiten, die wir replizieren können und miteinander verbinden müssen.

### Nämlich wie?

Wir müssen eine Quantenkommunikationsverbindung bauen. Für größere Distanzen müssen wir die Quanteninformation aus dem Mikrowellenbereich in den Lichtwellenbereich mit höherer Energie umwandeln. Sie kann dann verlustfrei über ein Glasfaserkabel von einem Quantenrechner zum nächsten transportiert werden.

### Gibt es weitere Forschungsfelder?

Ja, etwa die Verbesserung der elektronischen Ansteuerung der Qubits. Wir arbeiten daran, die Elektronik zu miniaturisieren und auf einem CMOS-Chip unterzubringen. Diesen können wir bei 4 Kelvin betreiben und somit das Rauschen reduzieren und den Chip schneller auslesen. Darüber hinaus forschen wir an noch offenen, grundlegenden Aspekten der Quantentechnologien, etwa hybriden Technologien zwischen Halb- und Supraleitern.

### Was fehlt noch, um tatsächlich den Vorteil von Quantencomputing zu zeigen?

Wir sind gerade im Grenzbereich. Die Anzahl der Qubits ist heute schon so groß, dass ein klassischer Rechner sie

nicht mehr simulieren kann. Es geht jetzt darum, die Tiefe und Breite der berechenbaren Quantenschaltung zu erhöhen. Die Tiefe gibt die Zahl der Gate-Operationen an, die sich hintereinander ausführen lassen, die Breite die Zahl der dafür verwendeten Qubits. 2024 wollen wir die Quantenrechenkapazität auf  $100 \times 100$  lösbar innerhalb eines Tages erhöhen. Die Herausforderung besteht nun darin, ein physikalisch relevantes Problem zu finden, das auf diese Rechenkapazität abgebildet werden kann.

### Aus welchen Bereichen könnte ein solches Problem stammen?

Etwa aus der Hochenergiephysik oder dynamischen Systemen. Es könnte auch ein Optimierungsproblem sein. In Bereichen, in denen die Komplexität eines Problems mit der Zahl der Parameter exponentiell zunimmt, steigt auch die Rechenzeit auf einem klassischen Computer exponentiell an. Hier bieten Quantencomputer einen Ausweg.

### Wie könnte der aussehen?

Ein Quantencomputer wäre in der Lage, auch größere Moleküle zu simulieren. Dafür entwickeln wir Technologien – genannt „Circuit Knitting“ –, die ein komplexes Problem lösen, indem sie es in kleinere Teile zerlegen, die wir auf den heutigen Quantenrechnern parallelisiert berechnen und anschließend wieder zusammensetzen können.

### Wo will IBM in zehn Jahren stehen?

Wir haben angekündigt, 2033 einen Quantencomputer mit 100 000 Qubits zu bauen. Das wirft die Frage auf, welche Probleme sich damit lösen lassen. Daher arbeiten wir in Abstimmung mit den jeweiligen Communities an möglichen Anwendungen.

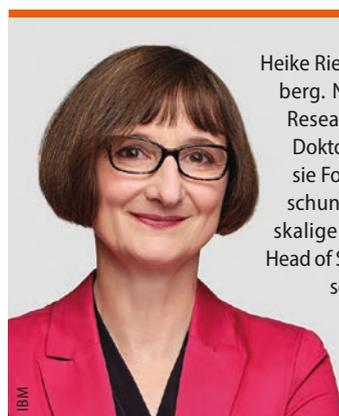
### Was versprechen Sie sich vom Quantencomputer?

Wir haben mathematische Probleme, die heutige Hochleistungsrechner nicht berechnen können. Quantencomputer werden uns in Zukunft helfen, die drängendsten Probleme unserer Zeit zu lösen.

### Zum Beispiel?

Quantencomputer könnten helfen, neue Katalysatoren zu entwickeln, um den industriellen Energieverbrauch zu senken oder um Kohlenstoffdioxid zu binden. Wir könnten die Wettervorhersage präzisieren, schneller neue Materialien oder Medikamente entwickeln und Recyclingprozesse sowie den Ressourcenverbrauch optimieren. Das Quantencomputing könnte vieles bewirken.

## Heike Riel – zur Vita



Heike Riel studierte Physik an der FAU Erlangen-Nürnberg. Nach einem Praktikum bei Hewlett-Packard Research Laboratory in Palo Alto kam sie 1998 als Doktorandin zu IBM Research in Zürich. 2003 wurde sie Forschungsmitarbeiterin, 2008 Leiterin der Forschungsgruppe für Materialintegration und nanoskalige Bauelemente. Derzeit verantwortet sie als Head of Science & Technology und Leiterin von IBM Research Quantum Europe die Forschungsagenda ihrer Abteilung mit dem Ziel, wissenschaftliche und technologische Durchbrüche, etwa im Quantencomputing, zu erzielen.