

17. Januar 2020, 19:03 Uhr Report

## Das Superhirn

**Der Quantencomputer gilt als Wundermaschine der Zukunft. Er kann komplexe Aufgaben bewältigen und etwa Autos in Echtzeit durch den Verkehr steuern. Doch ob sich die Hoffnungen erfüllen, ist keineswegs sicher.**

Von Helmut Martin-Jung

Facebook Twitter WhatsApp E-Mail Flipboard Pocket

Federico Carminati gehört zu jener eher seltenen Sorte Wissenschaftler, die ihre komplizierte Welt in einfache Worte fassen können. Carminati ist Physiker, und er sagt: "Von 96 Prozent des Universums wissen wir nicht, was es ist." Das reizt Forscher wie ihn, und darum ist in der Nähe von Genf die größte Maschine entstanden, die Menschen jemals gebaut haben: der Teilchenbeschleuniger am Kernforschungszentrum Cern. Carminatis Job dabei: Er sucht mit seinem Team nach neuen Möglichkeiten, die ungeheure Menge an Daten auszuwerten, die die Maschine ausspuckt.

Denn Carminati hat ein Problem: "Um all diese Daten zu berechnen, müsste die Rechenleistung bis zum Jahr 2030 um das Hundertfache steigen", sagt der Wissenschaftler, "wir laufen auf eine Wand zu." Diese imaginäre Wand, sie wächst empor, weil das Ende einer Entwicklung in Sicht kommt: Die Welt muss sich von der lieb gewonnenen Regel verabschieden, dass Computerchips immer leistungsfähiger werden. Jahrzehntelang hat sich Moores Gesetz, das eigentlich kein Gesetz ist, sondern vielmehr eine recht gewagte Vorhersage, als korrekt erwiesen. Alle eineinhalb bis zwei Jahre verdoppelte sich seit den 1960er-Jahren die Zahl der Transistoren auf den Siliziumchips und damit die Rechenleistung. Doch inzwischen sind daraus eher drei Jahre geworden, und - schlimmer noch - die Grenzen der Physik machen sich bemerkbar.

"Ausgerechnet jetzt, wo wir Maschinen hätten, um die Forschung zu künstlicher Intelligenz voranzutreiben, geht deren Entwicklung nicht mehr weiter", klagt auch Alessandro Curioni. Er leitet das Forschungszentrum des IT-Konzerns IBM in Rüschlikon bei Zürich. Die beiden Wissenschaftler Curioni und Carminati - und mit ihnen alle, die auf mehr Rechenleistung angewiesen sind - hoffen inzwischen, dass eine andere Technologie erfolgreich sein wird: Quantencomputer. Diese Maschinen, die auf ganz andere Weise rechnen als herkömmliche Computer, könnten komplexe Aufgaben in null Komma nichts lösen, bei denen sogar die gewaltigen Rechenanlagen kapitulieren, die man Supercomputer nennt.

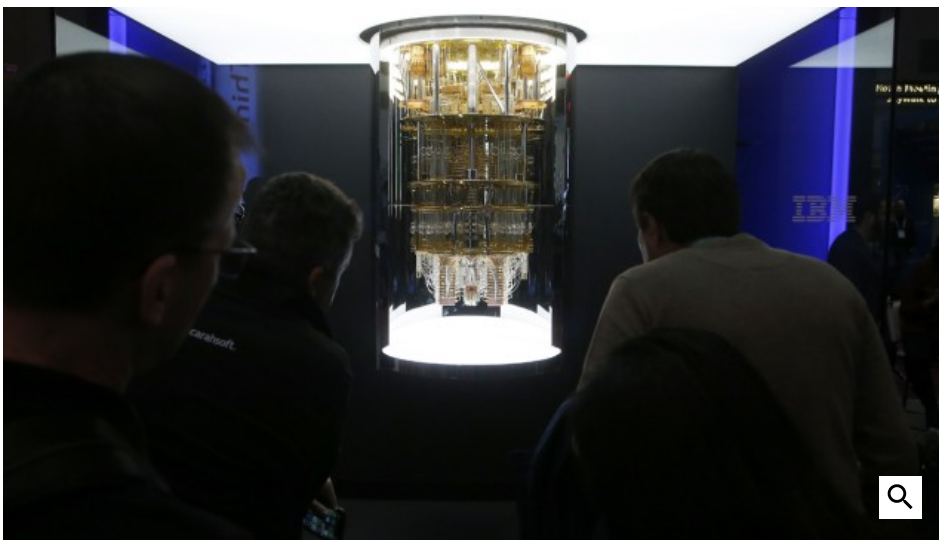
### Das Umfeld muss kälter als der Weltraum sein

Auch bei IBM in Rüschlikon wird am Quantencomputer geforscht. Der Weg ins dortige Quantenlabor führt durch die fensterlosen Gänge eines nüchternen Zweckbaus mit dem Charme der 1960er-Jahre. Die Wände sind mit Platten in einem blassen Violett-Ton verkleidet. Hinein kommt man nur mit Chipkarten, an den Türen zu manchen der Labors warnen grellgelbe Schilder: "Achtung, Laser!" Andere Forscher wiederum haben so empfindliche Geräte, dass sie Besucher vorsorglich bitten, nicht ohne Voranmeldung hereinzuplatzen. Auch die Quantenchips sind empfindlich. Schon ein einziges Atom, das störend dazwischengerät, kann sie aus dem Takt bringen. Und sie funktionieren überhaupt nur, wenn sie auf eine Temperatur ganz nahe am absoluten Nullpunkt heruntergekühlt werden, kälter als im Weltraum.

Den eigentlichen Chip kann man deshalb während des Betriebes nicht sehen. Er steckt in einer aus mehreren metallenen Schalen aufgebauten Hülle. Diese Hülle ähnelt einer Tonne, der Fachbegriff dafür lautet Kryostat. Zur Kühlung wird flüssiges Helium in die Tonne gepumpt. Die Pumpe summt und gibt zwischendurch ein Piepen von sich, das an die Intensivstation in einem Krankenhaus erinnert.

Drei Tage dauert es, bis das System überhaupt so weit heruntergekühlt ist, dass es die Arbeit aufnehmen kann. Warum aber die Kälte? Nur so werden die Materialien - Aluminium und Niobium -, die in einer nur 100 Nanometer dünnen Schicht auf Silizium aufgebracht werden, zu Supraleitern, verlieren also ihren elektrischen Widerstand. Qubit nennen die Forscher das, womit sie da rechnen. "Ein Qubit verhält sich wie ein künstliches Atom", sagt Heike Riel. Die hochdekorierte deutsche Physikerin leitet die Abteilung Wissenschaft und Technik im Zürcher IBM-Forschungszentrum.

Diese künstlichen Atome werden anschließend, gesteuert durch herkömmliche Computer, mit Mikrowellenstrahlung angeregt - und dann geschieht Erstaunliches. Dann tritt das auf, was jeglicher normalen Erfahrung widerspricht: Subatomare Teilchen können an zwei Positionen gleichzeitig sein. Anders als Transistoren und ihre Bits, mit denen Computer heute rechnen, haben Qubits also nicht entweder den Wert 0 oder den Wert 1, sondern können für eine gewisse Zeit auch beides zugleich sein. Der Physiker Erwin Schrödinger hat das mit seinem berühmten Beispiel von der Katze in einer Kiste anschaulich erklärt: Eine Katze kommt in eine verschlossene Kiste, in die zu einem unbekanntem Zeitpunkt tödliches Gas strömt. Solange man die Kiste nicht öffnet, so Schrödinger, wisse man nicht, ob die Katze tot sei oder ob sie noch lebe.



Technikmesse CES in Las Vegas. (Foto: Ross D.

mindest theoretisch - die Rechenleistung, herkömmlichen Chip die Rechenleistung er: "Mit 275 Qubits gibt es mehr

in Team manipuliert Ionen mit bringen, zusammenzuarbeiten. Deshalb mehrere hintereinander ausführen. Noch

allerdings steht die Forschung zu dieser neuen Technologie ziemlich am Anfang. Heutige Computerchips haben Milliarden Transistoren, die Quantencomputer dagegen arbeiten mit gerade einmal 80 Qubits oder weniger, und so richtig ist noch nicht klar, wie man ihre Zahl substanziell erhöhen kann. Denn je mehr Qubits ein System hat, umso schwerer ist es, sie zu kontrollieren, sie also zusammenzuschalten. Die Fehlerrate steigt enorm an, für einen Quantenrechner mit einigen Tausend Qubits wären dann Hunderttausende Qubits bloß dafür nötig, die Fehler zu korrigieren.

Es gibt aber auch ganz praktische Probleme. Etwa mit den Kabeln, die die Rechenergebnisse aus der Kältetonne nach draußen übermitteln. Je mehr Qubits, desto mehr Kabel sind nötig - das führt irgendwann zu einem Platzproblem. Auch daran arbeiten die Wissenschaftler bei IBM in Rueschlikon. Mehrere Qubits, so ein Forschungsansatz, könnten sich ein Kabel teilen, so wie man das auch bei Glasfaserkabeln macht.

Eine ganze Menge technischer Probleme sind das. Könnte es den Quantencomputern am Ende gar ergehen wie einst der künstlichen Intelligenz? Mehrmals in den vergangenen Jahrzehnten wähten sich Forscher schon kurz vor dem Ziel, doch dann stockte die Entwicklung, kam sogar fast zum Stillstand. KI-Winter heißen diese Perioden, in denen es nur noch wenig Forschungsgeld für die Technologie gab. Vor allem deshalb, weil zuvor so hohe Erwartungen aufgebaut worden waren, entstand der Eindruck, als gäbe es kaum Fortschritte.

Einige Forscher befürchten, dass es der Quantenforschung ebenso ergehen könnte. Zwar hat der Internetkonzern Google vor wenigen Monaten mit großem Bohei einen Quantencomputer präsentiert, der eine komplexe Rechenaufgabe gelöst hat, die der derzeit schnellste Supercomputer nicht geschafft hätte. Doch die Aufgabe war vollkommen akademisch - es ging vor

allem darum, die sogenannte Quantum Supremacy zu beweisen, dass also die Quantentechnik Supercomputer schlagen könne. Was nun genau bewiesen ist, darüber gehen die Meinungen in der Fachwelt deshalb auseinander. Manche sagen, es sei ein Durchbruch, ähnlich dem ersten Satelliten *Sputnik*, der auch nichts konnte außer piepsen, letztendlich aber die Ära der Raumfahrt begründet hat - das sind die Optimisten.

## Die herkömmlichen Computer stoßen an Grenzen

Das eigentliche Ziel der Forscher ist es aber natürlich, eine Rechenmaschine zu bauen, die bei ganz realen Problemen hilft. Eine, die "eine Revolution auslösen" könnte, wie Cern-Forscher Carminati sagt. Sie würde nicht nur ihm helfen, die Datenberge des Cern zu verarbeiten. Die Maschine könnte auch den Verkehr in Großstädten in Echtzeit berechnen - und dabei jedem einzelnen Fahrzeug eine eigene Route zuweisen. Sie könnte helfen zu verstehen, was wirklich passiert, wenn sich Proteine unfassbar komplex falten. Und sie könnte die Risiken für Versicherer und Banken anhand einer Vielzahl von Faktoren viel genauer und vor allem viel schneller kalkulieren als herkömmliche Rechner.

Doch bevor es so weit ist, müssen die Physiker eben noch eine Vielzahl technischer Probleme lösen. So kann man Quantenchips noch nicht in ein iPhone einbauen oder in einen Laptop. Sie funktionieren - Stand heute - nur in einer Laborumgebung.

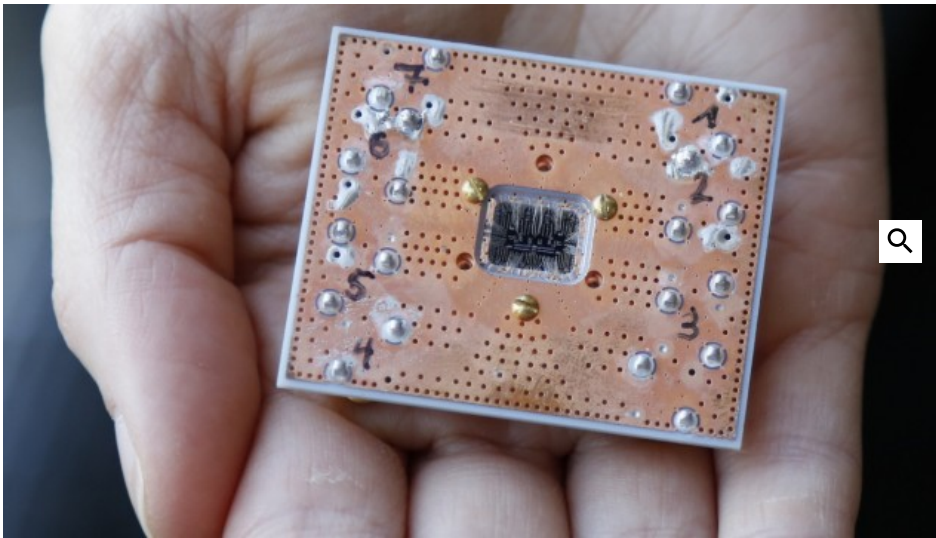
Die Physikerin Riel argumentiert, schon mit Quantencomputern, die etwas mehr leisteten als die heute verfügbaren, ließen sich "relevante Anwendungen" verwirklichen. Quantencomputer, die zwischen 100 und 200 Qubits zur Verfügung haben, könnten zum Beispiel helfen, die Entwicklung von Batterien für Elektroautos voranzutreiben. Der Volkswagen-Konzern, der ganz auf Elektromobilität umsteigen will, setzt darauf große Hoffnungen. Mit leistungsfähigen Quantencomputern könnten die ungeheuer komplexen chemischen Vorgänge in Batterien simuliert und so neue Technologien oder Materialien dafür entwickelt werden. Etwas weiter ist VW schon bei der Simulation von Verkehrsflüssen. Einige Busse in der katalanischen Metropole Barcelona übermitteln live ihre Position, daraus errechnet ein Computer mit Quantentechnologie alle 30 Sekunden für jeden Bus die schnellste Verbindung zum nächsten Haltepunkt.

Die wichtigsten Ziele der Forscher sind also schnell zusammengefasst: "Wir müssen das Quantenvolumen erhöhen und längere Kohärenzzeiten erreichen", sagt Riel. Also mehr Qubits in die Rechner packen und den Zustand verlängern, in dem sich die Elementarteilchen zusammenschalten lassen. Bisher gelingt das nur für sehr kurze Zeiträume, 100 Mikrosekunden, also ein Zehntausendstel einer Sekunde.

Mehr und mehr Wissenschaftler sind zwar mittlerweile davon überzeugt, dass sich die technischen Hürden lösen lassen. Doch sicher ist das keineswegs. Und dann ist immer noch die Frage, wie lange es noch dauert. Bis die Technik breite Anwendung findet, könnten Jahrzehnte vergehen. Es ist aber auch nicht ausgeschlossen, dass die Entwicklung an eine unüberwindliche Grenze stößt.

Quantenchips sind sehr leistungsfähig - und hochempfindlich: Schon ein einziges Atom, das störend dazwischengerät, kann sie aus dem Takt bringen. Bisher funktionieren sie deshalb nur in Laborumgebung. (Foto: Seth Wenig/AP)

Dabei wird ein neuer Leistungssprung in der Computertechnologie dringend benötigt. Viele Forschungszweige sind schon heute auf hoch entwickelte Computersimulationen angewiesen, in der Astrophysik genauso wie in der Medizin, der Biologie,



terig, es herzustellen, aber noch viel  
das Vitamin B12 künstlich nachzubauen,  
nur bedingt weiter - die Moleküle sind zu  
Würde man alle Möglichkeiten  
s länger dauern, als das Universum alt ist.  
tatsächlich eine neue Ära begründen.

iel jene, die nicht wollen, dass ihre  
len können. Unternehmen, Verwaltungen,  
munizierten. Es gilt geradezu als  
erzeitigen Supercomputer zumindest

### Auch Kriminelle sind fasziniert von der Technik

Sorgen muss man sich vor allem um Daten machen, die in langlebigen Geräten stecken, etwa Satelliten oder Bohrinnseln, oder die lange aufbewahrt werden wie etwa Gesundheitsdaten oder die Schlüssel für Kryptogeld. Noch leisten Quantencomputer ja nicht genug, aber Spione oder Kriminelle könnten auch auf die Idee kommen, nach dem Prinzip "Sammele jetzt, knacke später" zu verfahren, warnt der Kryptografie-Experte Vadim Lyubashevsky. Wer sichergehen wolle, müsse sich daher schon jetzt mit quantensicheren Verschlüsselungsverfahren beschäftigen.

Das ist freilich aufwendig. Das gilt, zumindest heute noch, aber auch für das Arbeiten mit Quantencomputern selbst. "Man kann nicht einfach den Code von einem herkömmlichen Computer nehmen und damit auf einem Quantencomputer rechnen", sagt Stefan Woerner, der sich bei IBM darum kümmert, wie die neue Technologie in der Finanzbranche angewendet werden kann. "Das muss alles von Grund auf neu programmiert werden."

Doch die Vorteile wären unschlagbar: Statt über Nacht wie herkömmliche Supercomputer liefert ein Quantencomputer nahezu in Echtzeit Ergebnisse für Risikoanalysen und Preisgestaltung. Und er braucht dazu nicht Millionen Beispiele, es reichen einige Tausend. Woerner hat die Erfahrung gemacht, dass Quantencomputer auf seinem Gebiet besonders effizient sind, wenn sie mit herkömmlichen Computern zusammenarbeiten - die werden eingesetzt, um die Fehlerrate der Quantencomputer zu reduzieren.

Federico Carminati, dem Cern-Forscher, der auf mehr Rechenleistung wartet, dürften solche Details letztlich egal sein. Was er sich wünscht, beschreibt er mit einem Zitat des berühmten Physikerkollegen Richard Feynman. Die Welt, sagte der schon vor fast 40 Jahren, sei "verdammte noch mal" nicht nach den Regeln der klassischen Physik aufgebaut, sondern aus Quanten. "Wenn wir sie simulieren wollen, muss es quantenmechanisch sein."