

FOCUS



Der nächste Quantensprung

Wie die neue Generation
der Supercomputer unser
Leben verändern wird

30. Mai 2020

DER CORONA-LOCKDOWN HABEN WIR ÜBERREAGIERT?

Deutschland und das Virus, *eine Zwischenbilanz*

Bodo
Ramelow

Armin
Laschet

Markus
Söder

Christian
Drosten

Jens
Spahn



Wut der Sammler:
Ist das noch
Berlin oder kann
das weg?

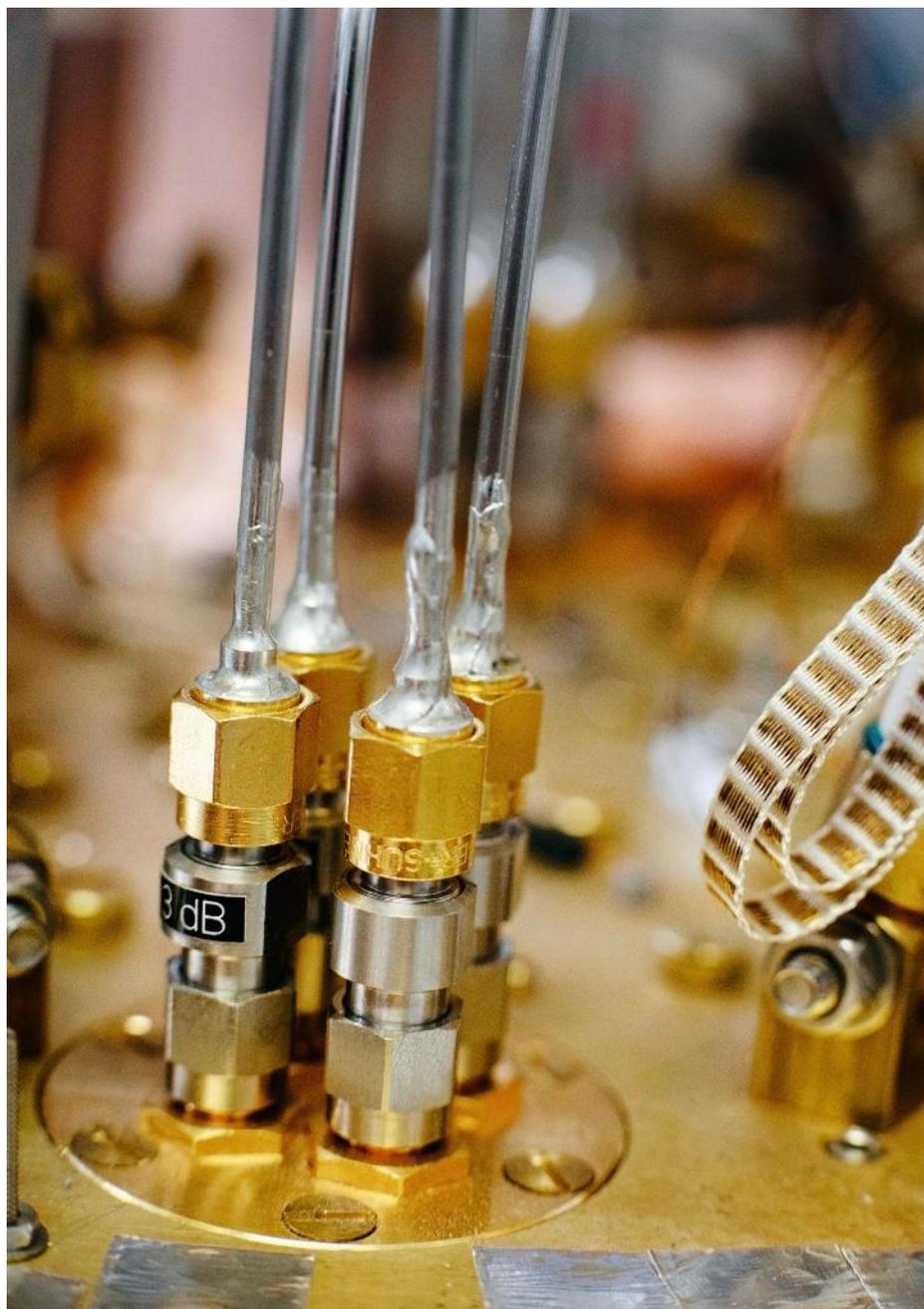
Vertrauensverlust:
Christian Lindner
und die Sinnkrise
der Liberalen

Grill Royal:
Warum wir
Prometheus für die
Glut danken

Rettet Hongkong!
Ein dringender
Appell von
Joshua Wong

Testversion
Mit diesem Gerät erforschen Physiker der TU München die „Teleportation“ von Quanten: Wie lassen sich die Daten von Quantencomputern übertragen?

Kern
Vergoldete Kupferplatten kühlen den Computer. In den fünf Alutöpfchen darunter arbeiten die Prozessoren. Im Betrieb wird der Rechner in eine Art riesige Thermoskanne gesteckt



Das mächtigste Werkzeug des 21. Jahrhunderts

Wundermaschinen

In Sachen Leistungskraft verhält sich ein normaler PC zu einem Quantencomputer wie ein Ruderboot zu einem Flugzeugträger.

Neue Dimension

Die Technologie nutzt die physikalischen Gesetze aus der Welt der subatomaren Teilchen, der Elektronen, Quarks und Photonen.

Hochempfindlich

Noch funktionieren Quantencomputer nur in Laboren – heruntergekühlt auf eine Temperatur nahe dem absoluten Nullpunkt von minus 273,15 Grad Celsius. In Smartphones werden sie so bald nicht zu finden sein.

Schwache Signale

Die Wissenschaftler fangen die Mikrowellen auf, die der Computer produziert, verstärken sie und leiten sie über gekühlte Kabel weiter

Der nächste Quantensprung

Sie sind tausendfach schneller als die Superrechner unserer Zeit und werden die nächste technische Revolution auslösen: Noch liegen amerikanische und chinesische Firmen bei der **Entwicklung von Quantencomputern** vorn – doch deutsche Forscher holen gerade auf

TEXT VON MICHAEL KNEISSLER

Die Gerätschaften im Keller der Technischen Universität München auf dem Campus Garching sehen aus, als hätte sich ein vollkommen durchgeknallter Erfinder auf dem Schrottplatz bedient und alles zusammengelötet, was er finden konnte: eine Blechtonne, Aluminiumprofile, jede Menge Kabel und Kupferdraht. Außerdem hat er noch eine Klappleiter, einen gebrauchten Bürostuhl und ein grau kariertes Küchenhandtuch hinzugefügt.

Aber der Eindruck täuscht. Das provisorisch wirkende Keller-Arrangement ist Deutschlands Beitrag zur Zukunft der Informationstechnologie. Der Erfinder ist auch nicht durchgeknallt, sondern Professor und heißt Rudolf Gross. Einer der renommiertesten Physiker Europas und Direktor des Walther-Meißner-Instituts für Tieftemperaturforschung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Und das seltsame Gerät ist der zurzeit am weitesten fortgeschrittene Quantenprozessor Deutschlands.

Quantencomputer gelten als die Superrechner der Zukunft, weil sie komplexe und komplizierte Aufgabenstellungen viel schneller lösen können als herkömmliche Rechner. Etwa: Wie baut man Moleküle zu völlig neuen Werkstoffen oder Medikamenten zusammen? Wie entwickelt (oder knackt) man ultrakomplexe Verschlüsselungssysteme? Wie kann man das Wetter noch besser vorhersagen? Wie steuert man Tausende selbstfahrende Autos optimal und unfallfrei durch eine Millionenstadt?

An diesen Fragen rechnen herkömmliche Computer ewig, weil sie mit ihrer Bit-Technologie eine Aufgabe nach der anderen erledigen müssen, und oft finden sie gar kein Ergebnis. Zu kompliziert!

Quantencomputer dagegen nutzen die seltsamen Vorgänge der unsichtbaren

subatomaren Welt, um unglaublich viele Dinge gleichzeitig zu machen, Wahrscheinlichkeiten zu untersuchen und schließlich in Windeseile zu einem Ergebnis zu kommen.

Bestes Beispiel: der Quantenprozessor Sycamore von Google. Am 23. Oktober 2019 löste der Google-Rechner ein schwieriges mathematisches Problem in

Quantenrechner im Keller stehen. Er will damit Logistikprobleme lösen. Das können Quantenrechner wohl besser als herkömmliche Computer.

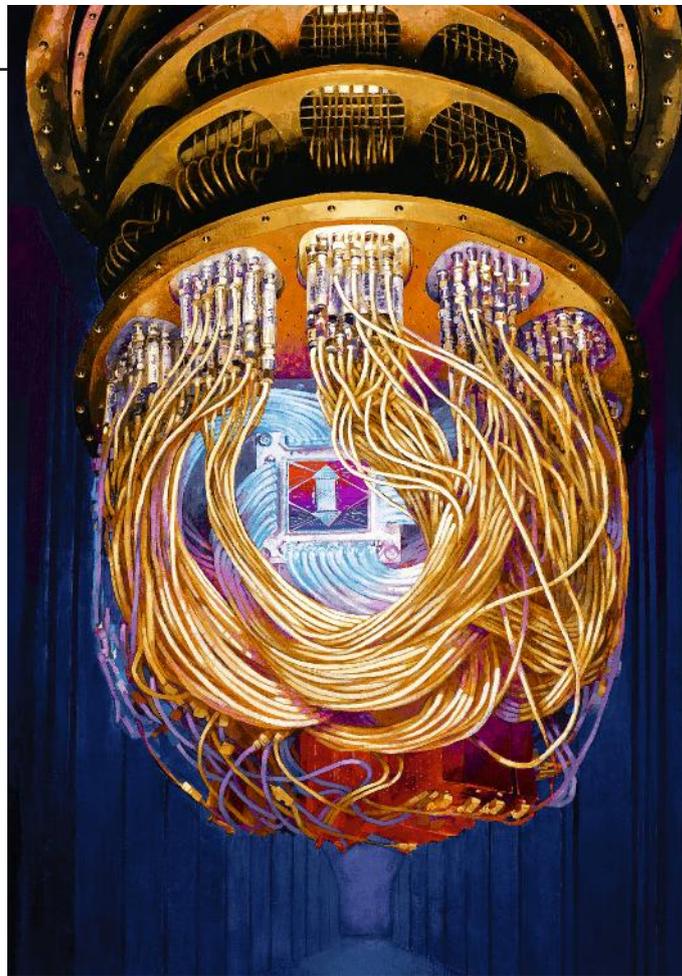
Europa ist ein wenig zurückhaltender als China. Für die nächsten zehn Jahre steht gerade mal eine Milliarde Euro für Quantenforschung zur Verfügung. Dementsprechend weit hinten liegen die Euro-

200 Sekunden, für das der herkömmliche Supercomputer Summit von IBM 10 000 Jahre gebraucht hätte. Sagt Google. IBM sagt: 2,5 Tage. Aber auch das wäre immer noch 1000-mal länger als die Rechenzeit von Sycamore.

Wer baut die erste alltagstaugliche Maschine?

Nationen und Unternehmen, die als Erste einen alltagstauglichen Quantencomputer entwickeln, haben einen Vorsprung im Wettbewerb gegenüber anderen. Die USA liegen mit dem Google-Rechner und den fast genauso großen Quantenrechnern von IBM weit vorn. Die Forschung wird unterstützt von der Weltraumbehörde NASA und dem Geheimdienst NSA. Die NSA ist vor allem daran interessiert, mithilfe von Quantenprozessoren Verschlüsselungssysteme zu knacken und sensible Daten zu sammeln.

In Russland arbeiten vier Laboratorien mit Quantentechnologien, ihr Etat ist aber gering im Vergleich zu dem, was China ausgibt. Zehn Milliarden Dollar investieren die Chinesen zurzeit in den größten Quantencampus der Welt in der Millionenstadt Hefei. Schon in diesem Jahr will China einen Quantencomputer hochfahren, dessen Rechenleistung die kombinierte Rechenleistung aller herkömmlichen Computer auf dem Globus übertrifft. Das kündigte Pan Jianwei an. Pan gilt als der bedeutendste lebende Quantenforscher der Welt. Der chinesische Amazon-Konkurrent Alibaba hat bereits einen eigenen



Techno-Ästhetik Ein Grafiker hat das Herzstück des Sycamore-Rechners von Google inmitten von Kühldrähten blau dargestellt



Mega-Investment Google-Chef Sundar Pichai präsentiert im kalifornischen Santa Barbara den Quantencomputer seiner Firma

päer im Quantenrennen. Im Moment gibt es noch keinen einzigen Rechner in Europa, der mit den Quantencomputern in den USA oder China vergleichbar wäre. Die Großrechner dort haben bereits eine Rechenpower von mehr als 50 Quantenbits (oder „Qubits“). Das ist mehr, als die modernsten herkömmlichen Rechenzentren leisten können.

In der Theorie sind wir Deutschen dagegen super. München, Karlsruhe und das Forschungszentrum Jülich zählen zur Weltspitze. Vor allem München soll künftig eine entscheidende Rolle in der Quanten-Aufholjagd spielen. Bis Ende 2022 wird auf dem Campus Garching nördlich der bayerischen Hauptstadt das neue Center for Quantum Engineering (CQE) den Betrieb aufnehmen. Das Exzellenzcluster Munich Center for Quantum Science and Technology (MCQST) arbeitet bereits, und seit Anfang März baut die finnische Hardware-Firma IQM Quantenprozessoren in München. „München ist der optimale Standort für die Tochterfirma in Deutschland“, sagt IQM-CEO Jan Goetz. „Über die Jahre hat sich in München ein Ökosystem im Bereich Quantentechnologien entwickelt, in dem sich Akteure aus Industrie, Wissenschaft und Investoren gemeinsam darauf konzentrieren, die europäischen Anstrengungen im Bereich Quanten-Computing anzuführen.“

Rudolf Gross ist eine der Schlüsselfiguren in diesem Ökosystem. Sein kleiner Quantenrechner im Keller hat zwar gerade mal eine Handvoll Qubits, aber die Chips stellt sein Team selbst her.

Das Spezialgebiet der Truppe ist die Quantenteleportation: Wie schickt man Quanten von einem Rechner zum anderen? Das kann weltweit niemand so gut wie Gross. Er nimmt Photonen, die Quanten des Lichts, und jagt sie mit Lichtgeschwindigkeit durch tiefgekühlte Koaxialkabel. Quantentechnologie funktioniert am besten, wenn es richtig kalt ist. Am absoluten Nullpunkt bei minus 273,15 Grad Cel-

sius wird sogar Aluminium supraleitend. Die Kühlaggregate der TU München schaffen minus 272 Grad.

Professor Michael Totzeck ist der Quantenexperte beim Hightechkonzern Zeiss in Oberkochen. Zeiss ist weltbekannt für seine optischen Gläser, OP-Mikroskope und medizintechnische Systeme. Totzeck glaubt, dass Quantentechnologie am besten bei der Bildverarbeitung helfen kann. Wenn Chirurgen beispielsweise im Gehirn operieren, geht es um exakte Schnitte und Bruchteile von Millimetern. Da ist es gut, extrem leistungsfähige Quantensensoren einzusetzen. „Wir sollten uns in Deutschland auf die Software für Quantencomputer fokussieren“, sagt Totzeck. „Das hilft der Industrie. Bei der Hardware sind wir sowieso jetzt schon gnadenlos hintendran.“

Das ist schade, weil Deutschlands Unternehmen die perfekten Kunden für Quantencomputer sind. Die Autoindustrie braucht die Superrechner, um autonome Fahrzeuge zu lenken. Die Pharmaindustrie braucht sie, um Moleküle im Computer zu simulieren, aus denen neue, hochwirksame Medikamente designt werden. In der Chemieindustrie geht es um innovative, bisher unbekannte Werkstoffe, die Eigenschaften haben, die es noch nie gab. Superleichte und trotzdem hochsteife Baustoffe, selbstauflösende nachhaltige Kunststoffe, molekular designte Nahrungsmittel. Herkömmliche Computer sind von solchen Aufgaben schnell überfordert.

Im Forschungszentrum Jülich, wo eines der leistungsstärksten Rechenzentren Deutschlands steht, will ein europäisches



Wir müssen den Quantenbits klarmachen, was sie tun sollen. Sie reagieren sensibel und produzieren Fehler



Kristel Michielsens,
Forschungszentrum Jülich

Konsortium versuchen, den Rückstand aufzuholen. Schon Ende nächsten Jahres soll ein europäischer Quantenrechner mit bis zu 100 Qubits in Betrieb gehen. Das ist mehr als die amerikanische Konkurrenz zu bieten hat.

Professor Kristel Michielsens dämpft allerdings allzu hohe Erwartungen. „Ob wir das bis dahin schaffen, ist noch nicht sicher“, sagt sie. „Das ist alles sehr kompliziert.“ Michielsens ist verantwortlich für das OpenSuperQ-Projekt in Jülich. Zehn Partner aus Wissenschaft und Industrie helfen mit, zehn Millionen Euro stehen zur Verfügung, ein paar Qubits

funktionieren schon. Sie wurden Jülich von der Chalmers University im schwedischen Göteborg zur Verfügung gestellt. Aber reibungslos läuft das Experiment bisher noch nicht.

„Wir müssen den Qubits klarmachen, was sie tun sollen“, sagt Michielsens. „Das ist gar nicht so einfach, weil sie sehr sensibel auf Umwelteinflüsse reagieren und dann Fehler produzieren. Wir brauchen eine funktionsfähige Fehlerkorrektur, und dafür benötigt man sehr viele Qubits. Etwa dreißig bis vierzig könnten ausreichen.“ Im Moment hat Michielsens nur zwei.

30 bis 40 Millionen Dollar pro Gerät

Wird das dann überhaupt etwas mit dem Quantenrechner in Jülich? „In OpenSuperQ bauen wir einen Prototyp“, sagt Michielsens. „Wenn es damit nicht klappt, können wir ja immer noch eine Maschine von Google oder IBM kaufen.“ Oder auch nicht. So ein Quantenrechner kostet nämlich dreißig bis vierzig Millionen Dollar. „Dafür fehlt uns das Geld“, sagt Michielsens.

Die deutsche Großforschungseinrichtung Fraunhofer-Gesellschaft hat unterdessen genügend Geld aufgetrieben. Anfang 2021 soll ein IBM-Quantencomputer der Serie „Q System One“ im Rechenzentrum Ehningen bei Stuttgart mit Staatsgeldern aus Baden-Württemberg und Bayern in Betrieb gehen. Besonders auffällig ist die Kühleinheit. Sie sieht aus wie ein prächtiger Kronleuchter. Die Forscher sagen: „unser Armleuchter“. ■ ▶



Wir sollten uns in Deutschland auf die Software für Quantencomputer fokussieren. Bei der Hardware sind wir hintendran



Michael Totzeck,
Carl Zeiss AG

„Unschlagbar gut und schnell“

Physiker Rudolf Gross über **die Vorteile von Quantencomputern** und Deutschlands Problem mit „Deep Tech“

Was unterscheidet einen Quantencomputer von einem ganz normalen Computer?

Ein ganz normaler Computer arbeitet mit Bits, welche nur zwei Zustände einnehmen können: 0 oder 1. Quantencomputer arbeiten mit Qubits, und die können viel mehr, nämlich jede Menge Überlagerungen von 0 und 1.

Überlagerungen, was bedeutet das?

Stellen Sie sich eine Kugel vor. Bei normalen Bits gäbe es zwei Zustände: Die 0 wäre der Nordpol, die 1 der Südpol. Ein Qubit dagegen kann jede Position auf der Kugel einnehmen, das wären dann mehr Zustände, als es Atome im Universum gibt. Das hat für manche Aufgaben einen Riesenvorteil. Das bekannteste Beispiel ist die Zerlegung von großen Zahlen in Primzahlen. Das kann der Quantencomputer extrem viel schneller als normale Computer.

Aber was haben wir davon?

Der Quantencomputer kann Verschlüsselungen innerhalb von ein paar Sekunden knacken, für die normale Rechner Tausende von Jahren brauchen.

Dann ist der Quantencomputer doch eher eine Gefahr für die IT-Sicherheit.

Auf den ersten Blick schon. Aber andererseits kann er auch bombensichere Verschlüsselungen entwickeln. Die kann dann wirklich niemand mehr hacken.

Na toll: Der Quantencomputer löst ein Problem, das er zuerst selbst schafft?

Quantencomputer können noch viel mehr. Sie sind unschlagbar gut und schnell bei Optimierungsproblemen. Zum Beispiel das Traveling-Salesman-Problem: Ein Handlungsreisender muss auf seiner Tour quer durch Europa hundert Kunden besuchen, die alle nur zu bestimmten Terminen Zeit für ihn haben. Da die beste Route zu berechnen, ist eine hochkomplexe Aufgabe und dauert auf normalen Computern ziemlich lang. Ein Quantencomputer löst das Problem im Nullkommanichts. Auch das Simulieren von großen Molekülen für Medikamente kann er sehr gut.

Ist das, was bei Ihnen im Keller steht, ein Quantencomputer?

Fast. Ich würde sagen, das ist ein Quantenprozessor. Wir können Quantenschaltkreise mit bis zu zehn Qubits herstellen.

Ist das schon ein Superrechner?

Nein. Aber das Quantum-Supremacy-Projekt von Google hat gezeigt, dass man schon mit etwa 50 Qubits ein bestimmtes Problem viel

Google hat ausgerechnet, dass sein Quantencomputer um viele Größenordnungen weniger Energie braucht als ein herkömmlicher Superrechner. Einfach, weil er viel, viel schneller ist.

Wie steht Deutschland da, wenn es um den Bau eines Quantencomputers geht?

Deutschland und Europa sind super in der Grundlagenforschung. Wir haben exzellente Zentren zum Beispiel hier in München, aber auch in Paris, London, Göteborg. Außerdem haben wir Unternehmen, die den Quantencomputer kaufen wollen, zum Beispiel Autofirmen wie Volkswagen oder Chemiekonzerne wie BASF. Was uns fehlt, liegt dazwischen: jemand, der die Hardware baut und die Software entwickelt.

Dann müssen Sie halt ein Spin-off machen, um die Lücke zu schließen!

Wir arbeiten daran. Einer meiner Doktoranden hat die Firma IQM gegründet und will Komponenten für Quantencomputer bauen.

In München?

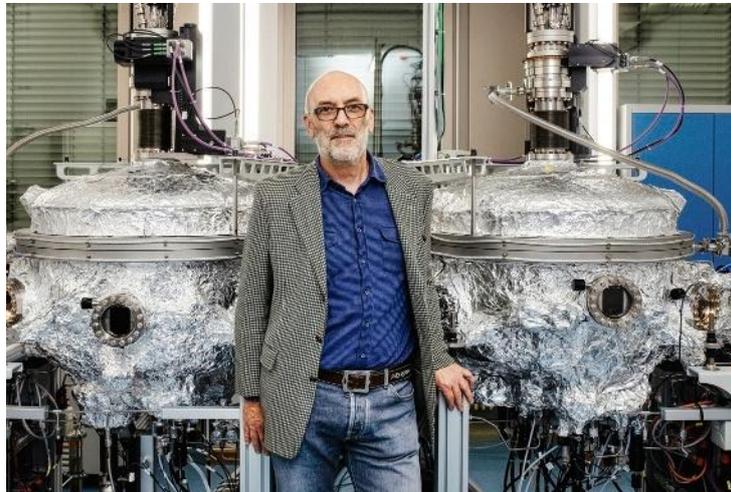
Nein, leider nicht. Die Firma ist in Espoo in Finnland.

Warum?

Was wir machen, ist Deep Tech. Da ist nicht schnell mal irgendetwas programmiert. Wir brauchen viel Geld, viel Zeit und teure Geräte. Wenn jedes Start-up diese Geräte selbst beschaffen und einrichten muss, ist es oft schon pleite, bevor es richtig losgeht. Deshalb benötigen junge Unternehmen im Deep-Tech-Bereich Technologiezentren, die das alles bereitstellen, und man mietet sich ein. So etwas haben wir in Deutschland kaum. Ich fordere das schon lang. In Finnland dagegen gibt es ein ideales Technologiezentrum für unsere Belange.

Wann gibt es den ersten funktionierenden Quantencomputer in Deutschland?

Das dauert noch ein wenig, bis die fehlerfrei laufen. Vielleicht in zehn Jahren. ■



Zukunftstechnologie im Eigenbau Rudolf Gross, 64, ist Tieftemperaturforscher an der TU München und bringt Quantenrechnern das Kommunizieren bei

schneller lösen kann als der beste normale Supercomputer. Mit 50 Qubits kann man mehr Zustände realisieren, als man im größten Speicher von Supercomputern unterbringen kann.

Was machen Sie denn mit Ihren 10 Qubits?

Zwei Dinge. Erstens: Wir stellen Hardware her. Jeder Rechner braucht Hardware. Bei klassischen Rechnern ist das die Halbleitertechnologie. Bei Quantenrechnern braucht man supraleitende Materialien. Wir entwickeln eigene Chips für Qubits und fragen uns, wie man die kontrolliert und ausliest. Zweitens beschäftigen wir uns mit Teleportation: Wir lassen Quantencomputer miteinander kommunizieren, über ein Quanten-LAN. Da sind wir weltweit führend.

Der Nachteil der Quantenrechner ist, dass sie bis fast auf den absoluten Nullpunkt heruntergekühlt werden müssen: -273,15 °C. Ist das nicht extrem energieaufwendig?

INTERVIEW: MICHAEL KNEISSLER