

# Bis zur Revolution dauert es noch

Mit Quantencomputern beginnt ein neues Zeitalter der Informationsverarbeitung. Ihre Entwicklung schreitet voran, aber es sind noch einige Hürden zu nehmen, bis ein universell einsetzbares Gerät auf den Markt kommt. **Von Michael Vogel**

**A**ls Taxifahrer in Peking braucht man gute Nerven: Schnell muss es gehen, trotz Stau - die ideale Route ist oft nur schwer zu finden. Forscher des Volkswagen-Konzerns haben die Positions- und Fahrtrichtungsangaben der Taxis genutzt, um im Nachhinein optimale Routen für einige hundert Taxis zu ermitteln. Die Simulation an sich ist nicht aussergewöhnlich, das Besondere ist das Gerät, auf dem sie durchgeführt wurde: auf einem Quantencomputer. «Wir arbeiten schon länger mit der kanadischen Firma D-Wave zusammen und seit letztem Jahr mit Google. Wir wollen deren Quantencomputer auf unternehmerisch sinnvolle Fragestellungen anwenden», sagt der IT-Chef des Volkswagen-Konzerns Martin Hofmann. «Dabei geht es uns zunächst um die Frage, ob spezifische Probleme überhaupt mit einem Quantencomputer zu bearbeiten sind.»

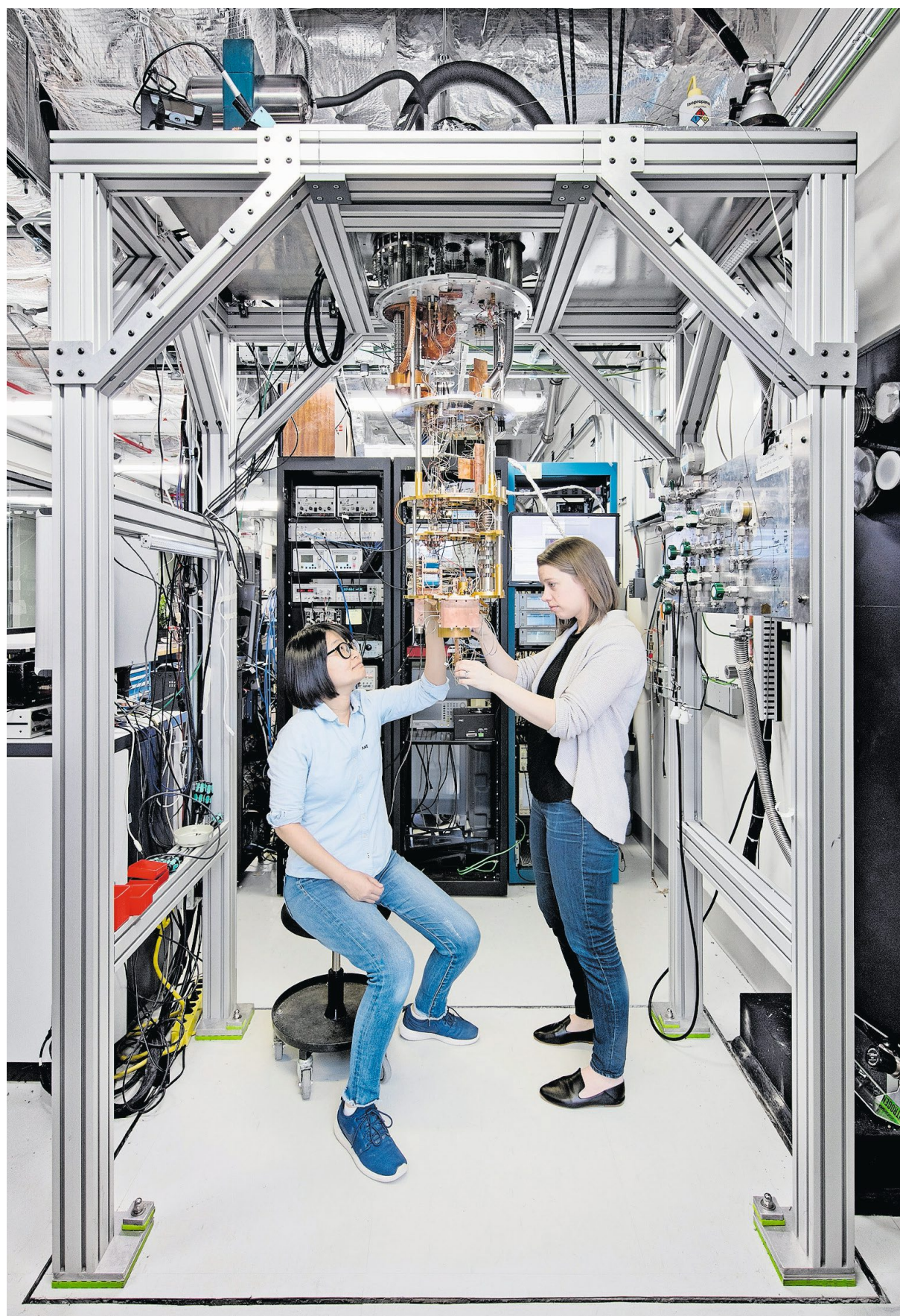
Für Firmen wie Google oder D-Wave sind solche Kooperationen interessant, weil sie Fragestellungen aus der Praxis aufgreifen. Volkswagen beschäftigt sich mit Projekten zur Verkehrsoptimierung, der Simulation von Elektroautobatterien sowie maschinellem Lernen für die Umfelderkennung von autonomen Fahrzeugen. Hier gibt es immer wieder Probleme, die sich mit heutigen Computern nicht oder nur unzureichend lösen lassen - weil es an Rechenleistung fehlt. «Die Batterieforschung ist so ein Fall. Man muss heute noch Prototypen bauen, was Zeit und Geld kostet», sagt Hofmann. Mit Quantencomputern, so die Hoffnung, könnte es eines Tages möglich werden, sich den Prototyp zu ersparen, weil die Simulation einer Batterie bereits ausreichend realistisch ist.

Der Autokonzern ist nicht das einzige Unternehmen, das in den vergangenen zwölf Monaten in Sachen Quantencomputer an die Öffentlichkeit gegangen ist. Von Anwenderseite zog etwa Daimler kürzlich nach. Und auf Herstellerseite haben IBM, Intel und Google verschiedene Meilensteine angekündigt. Sogar Risikokapitalgeber sind inzwischen an Quantencomputern interessiert. Stefan Filipp, Technischer Leiter Quantencomputing im IBM-Forschungslabor in Rüschlikon, beschreibt die aktuelle Situation: «Die letzten Jahre haben gezeigt, dass sich ein Quantencomputer bauen lässt. Nun wollen wir ausloten, was schon mit den heutigen Systemen praktisch machbar ist.» Die IBM-Quantencomputer stehen in den USA in Yorktown Heights, die konzerninterne Forschung läuft aber an verschiedenen Standorten, auch in der Schweiz.

## Qubits statt Nullen und Einsen

Quantencomputer sind Geräte, die nicht mit Nullen und Einsen rechnen, wie das traditionelle Computer tun. Vielmehr arbeiten sie mit Qubits, die gemäss der Quantentheorie jeden Wert zwischen null und eins annehmen können. So können Quantencomputer bei einer Rechnung viele mögliche Kombinationen gleichzeitig ausprobieren, die traditionelle Computer nacheinander abarbeiten müssten. Ein immenser Geschwindigkeitsvorteil. Allerdings kommt der nicht bei jedem Problem zum Tragen, weshalb es auch in Zukunft für traditionelle Computer genügend Aufgaben gibt. Textverarbeitung oder Videostreaming etwa erfordert keine Quantencomputer. Quantencomputer werden künftig weder auf dem Schreibtisch stehen noch in einer Hosentasche stecken.

So wie die Bits eines klassischen Computers physikalisch auf verschiedene Weise repräsentiert sein können (z. B. als elektrische Spannungen in einem Prozessor) können auch Qubits aus sehr unterschiedlichen physikalischen Objekten bestehen:



**Quantencomputer werden künftig weder auf dem Schreibtisch stehen noch in einer Hosentasche stecken.**

aus winzigen, extrem tief gekühlten supraleitenden Stromkreisen wie in den Apparaturen von IBM oder Google, aus Siliziumstrukturen wie bei Intel oder gar aus exotischen physikalischen Komponenten wie bei Microsoft, die bisher nur mathematisch vorausgesagt, aber physikalisch noch nicht nachgewiesen worden sind.

Die nächste Schlagzeile, die dem Quantencomputer gewidmet sein wird, dürfte sich auf die sogenannte Quantenüberlegenheit beziehen. Bereits für 2017 von einigen Forschern erwartet, wird in der Szene nun davon ausgegangen, dass es noch dieses Jahr so weit ist: der Nachweis, dass Quantencomputer ein Problem lösen können, wozu traditionelle Rechner nicht imstande sind. Dieser Nachweis ist auch nach mehr als zwei Jahrzehnten Quantencomputerforschung noch nicht erbracht. Für die kommerzielle

**Forscherinnen bauen im IBM Q Lab in Yorktown (USA) einen Quantencomputer zusammen.**(16. 3. 2017)

Nutzung von Quantenrechnern wird dieser Schritt wenig bedeuten, es ist eher eine Art Benchmark. Unter Forschern gilt der Nachweis jedoch als weiterer Meilenstein.

Die Entwicklung des Quantencomputers gleicht einem Marathon, ein Stück des Wegs ist geschafft. «Noch vor wenigen Jahren war die Arbeit mit einem Quantencomputer wie ein physikalisches Experiment, das von Spezialisten programmiert werden musste», erklärt IBM-Forscher Filipp. «Heute kann dank den ersten grafischen Programmieroberflächen und Softwarebibliotheken jeder Softwareentwickler für einen Quantencomputer programmieren.» IBM versucht eine grosse Community aufzubauen, die erste Erfahrungen mit Quantencomputern machen will. Hochschulen wie die EPFL in Lausanne sind naheliegende Verbündete. Manche der IBM-Systeme sind über das Internet für jedermann zugänglich. Will ein Programmierer dagegen tiefer einsteigen, dann geht es rasch ans Eingemachte, wie Volkswagen-IT-Chef Hofmann weiss: «Dann sind die Algorithmen sehr hardwarenah - so wie das in den Siebzigern noch auf klassischen Computern der Fall war.»

## Extrem empfindliche Prozesse

Daniel Loss, Physikprofessor an der Universität Basel, hat die Entwicklungen der vergangenen Jahrzehnte intensiv verfolgt und mitgestaltet. Das theoretische Konzept für einen der heutigen Ansätze hat er in den Neunzigern in den USA gemeinsam mit dem inzwischen in Jülich tätigen David DiVincenzo entwickelt. «Entscheidend bei einem Quantencomputer ist, dass er seinen Zustand als Quantensystem sehr viel länger aufrecht erhalten kann, als das Schalten der Qubits dauert», sagt Loss, «sonst lassen sich keine Berechnungen durchführen.»

Heutige Systeme sind empfindlich - sie können ihren Zustand für höchstens eine Hundertmillionstelsekunde bewahren; in dieser Zeitspanne sind ungefähr 1000 Rechenoperationen möglich. Und selbst dann muss der Quantencomputer sehr viele Störungen kompensieren. Das gelingt nur, wenn deutlich mehr Qubits zusammenarbeiten, als für eine völlig ungestörte Rechnung eigentlich erforderlich wären. «Sorgenfrei sind Sie erst, wenn der Computer mit einer Milliarde Qubits arbeitet», erklärt Daniel Loss. Zum Vergleich: IBM testet derzeit ein System mit 50 Qubits, Google hat kürzlich 72 Qubits angekündigt.

Welcher technologische Ansatz künftig das Rennen macht, ist in den Augen von Loss offen. Supraleitende Qubits sind am weitesten entwickelt, aber sie haben ein Problem, wenn ihre Zahl drastisch steigt: «Die Systeme werden dann so gross, dass sie nicht mehr in die Kryostaten passen», sagt Loss. «Zudem gibt es irgendwann nicht mehr genügend Platz für die vielen notwendigen elektrischen Zuleitungen.» Um diese technische Hürde zu überwinden, bedürfte es «neuer Ideen». Solche Platzprobleme haben die Loss-DiVincenzo-Qubits auf Halbleiterbasis nicht. «Zudem lassen sie sich mit Chiptechnologien ansteuern, wie sie heute in der Halbleiterindustrie etabliert sind», sagt Loss.

Kein Wunder, dass gerade Intel in Kooperation mit der TU Delft auf diese Art von Quantencomputer setzt. «Allerdings arbeiten Quantencomputer auf Halbleiterbasis erst mit ganz wenigen Qubits, supraleitende Quantencomputer sind ihnen da weit voraus», sagt Daniel Loss. Daher ist es in seinen Augen keineswegs so, dass Quantencomputer nur noch ein ingenieurwissenschaftliches, kein grundlegend physikalisches Problem mehr darstellen. «Welcher Grad der Fehlerkorrektur tatsächlich erreichbar ist, ist nämlich keineswegs geklärt», erklärt der Basler Physiker.