



Ein Ingenieur arbeitet im Forschungszentrum von IBM im Grossraum New York am Quantencomputer Q System One.

MISHA FRIEDMAN / GETTY

Der letzte Schrei an der Wall Street

Quantencomputer waren lange Zeit eine Zukunftsvision von Nerds. Inzwischen geht es um die Frage, wer mit ihnen das grosse Geld macht. Ganz vorne in der Forschung dabei ist die Finanzindustrie. VON HELGA RIETZ

An der Börse steigen und fallen die Kurse von Aktien, Derivaten und Optionen Tag für Tag, scheinbar unvorhersehbar. Aber es gibt mathematische Methoden, mit denen sich die Wahrscheinlichkeit bestimmter Marktentwicklungen quantifizieren lässt.

Weil an der Börse auch kleine Vorteile grosse Gewinne bedeuten können, ist der Finanzmarkt seit je schnell an Bord, wenn es gilt, neue Methoden zu nutzen. So war es beim Hochfrequenzhandel, ebenso bei der Anwendung maschinellen Lernens. Und nun ist der letzte Schrei an der Wall Street das Quantencomputing. Das jedenfalls suggerieren manche Schlagzeilen grosser Zeitungen.

Tatsächlich kommen neue Beiträge zum Quantencomputing seit geraumer Zeit nicht mehr zwingend aus den Elfenbeintürmen der Universitäten. Grossbanken wie JP Morgan Chase, Goldman Sachs, die Bank of America und Credit Suisse haben eigene Forschungsteams zusammengestellt, die die neuen Möglichkeiten erkunden.

«Inzwischen hat fast jede Bank einen Head of Quantum Computing», sagt Antoine Jacquier, Finanzmathematiker am Imperial College London und am Turing Institute, das ebenfalls an der Themse liegt. Jacquier gilt als Experte für die Möglichkeiten, welche Quantencomputer für die Finanzindustrie eröffnen könnten. Diese Rechenmaschinen nutzen Objekte aus der Quantenwelt, etwa Ionen, Atome, Photonen oder supraleitende Schleifen, um damit Rechenoperationen durchzuführen.

Teil eines grösseren Ökosystems

Um das Rechnen mit Quanten herum ist in den letzten Jahren ein privatwirtschaftliches Ökosystem gewachsen, das ganze Branchen erfasst. Die Finanzindustrie ist nur die Spitze des Eisbergs. Mehr als 200 Firmen sind zurzeit im Bereich Quantencomputing tätig; entwickeln Hardware, vor allem aber Software und Services für potenzielle Anwender, und versuchen sich zeitig eine gute Position zu sichern. Unter ihnen sind Schwergewichte wie IBM und Google. Auch Alibaba, HP, Tencent, Baidu und Huawei haben eigene Forschungsabteilungen zum Quantencomputing aufgebaut.

Um das Rechnen mit Quanten herum ist ein privatwirtschaftliches Ökosystem gewachsen. Die Finanzindustrie ist die Spitze des Eisbergs.

Die meisten der Unternehmen in der Branche sind indes junge, relativ kleine Startups. Jahr um Jahr gelingt es ihnen, mehr Risikokapital einzuwerben: Laut einer Analyse von Pitchbook, einem Anbieter von Marktdaten und -analysen, ist allein in den ersten neun Monaten 2021 über eine Milliarde Dollar an Risikokapital in private Quantencomputing-Firmen geflossen – mehr als in den drei Jahren davor zusammengenommen.

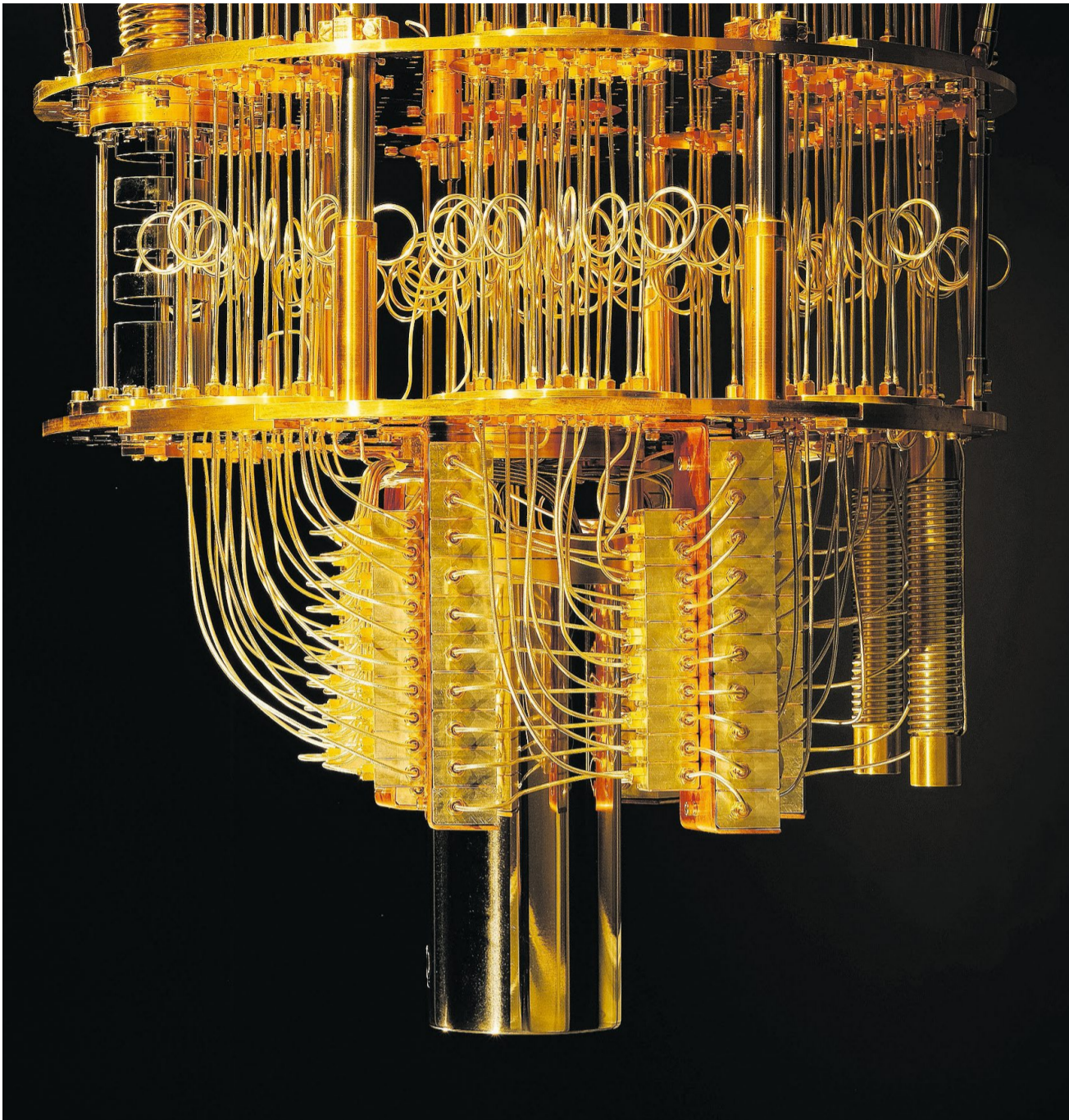
Man kann sich fragen, ob sich die Investoren mit allzu grossem Optimismus auf eine neue Technologie stürzen, die zwar viel verspricht, bis zur Reife aber gut und gerne noch Jahrzehnte brauchen könnte. Rein technisch betrachtet ist das Rechnen mit Quanten noch immer unreif, wie auch Jacquier betont. Dessen ungeachtet scheint es derzeit wenig Zweifel daran zu geben, dass das Quantencomputing in absehbarer Zeit nützliche Resultate liefern wird – und sehr viel Geld.

Davon sind auch die Unternehmensberater der Boston Consulting Group überzeugt. In einer Einschätzung haben sie geschrieben, dass Quantencomputing-Anwendungen bis 2050 in verschiedensten Industriezweigen zwischen 450 und 850 Milliarden Dollar einspielen dürften – 70 bis 135 Milliarden davon könnten auf die Finanzbranche entfallen.

Simulieren, optimieren, lernen

Banken (und Versicherungen) dürften in mehreren kritischen Punkten von der Rechenpower der Quantencomputer profitieren. Einer betrifft die Modellierung und Risikoanalyse von Märkten. Laut Stefan Wörner, der bei IBM Research die Abteilung Quantum Applications Research & Software leitet, werden solche Marktsimulationen herangezogen, um die Preise von Derivaten und Optionen festzulegen und das implizite Risiko abzuschätzen – möglichst so, dass das Investment sich auszahlt.

Zweitens haben Fondsmanager eine Menge Optimierungsprobleme zu lösen. Hierbei geht es um die Frage, wie ein Portfolio bei gleichbleibendem Risiko noch mehr Rendite erwirtschaften oder bei gleicher Rendite mit einem geringeren Anlagerisiko einhergehen kann. Und drittens können aus den Datenbergen, die der Handel tagtäglich gene-



Quantencomputer bestehen vor allem aus Kühlelementen, die den Prozessor auf die erforderliche Temperatur bringen. GRAHAM CARLOW

riert, mittels maschinellen Lernens neue Erkenntnisse abgeleitet werden. Heute schon wird Machine-Learning verwendet, um Geldwäschern auf die Spur zu kommen oder Transaktionen automatisch durchzuführen. Und auf allen drei Feldern versprechen sich die «Quants» einen weiteren Sprung nach vorn.

Wie viel davon ist Hype, und worauf gründet sich der enorme Zukunftsoptimismus der Branche?

Bis etwa 2010 waren Quantencomputer vor allem Laborkuriositäten. Maschinen, mit denen in vielen, vielen Jahren einmal etwas Nützliches angestellt werden könnte. Vielleicht. Unter der Voraussetzung, dass zuvor etliche technische Probleme gelöst würden. Und so ziemlich alles, was über Quantencomputer geschrieben wurde, folgte diesem einen Narrativ: «Wenn es irgendwann einen voll funktionsfähigen Quantencomputer gibt, dann wird man damit tolle Dinge tun können.»

Exponentielles Wachstum

Heute, nur zehn Jahre später, kann jedermann selbst einen Quantencomputer bedienen. Die hochkomplizierte, notorisch empfindliche Hardware steht zwar bei IBM, Amazon Braket oder Google, aber als Cloud-Service kann jeder, der das will und über ein gewisses Spezialwissen verfügt, Rechnungen auf den Maschinen ausführen lassen.

Der momentan leistungsfähigste Quantenrechner verfügt gerade einmal über 100 Qubits. Deshalb können bis anhin nur recht überschaubare, wenig komplexe Rechnungen durchgeführt werden. Das grosse Interesse und Engagement verschiedenster Industriezweige gründet sich also offensichtlich auf die Erwartung, dass auch die Entwicklung der Quantencomputer dem Mooreschen Gesetz folgen wird.

«Wir sehen ein exponentielles Wachstum», sagt Michael Biercuk, Gründer und CEO von Q-CTRL, einem Startup in Sydney, «und zwar auf mehreren Ebenen: Die Anzahl Qubits in funktionierenden Maschinen wächst exponentiell, aber auch die Anzahl veröffentlichter Arbeiten und angemeldeter Patente. Die Entwicklungen kommen schneller voran, als wir vor wenigen Jahren noch erwartet haben.»

Wie die Arbeit zahlreicher Mathematiker und Physiker gezeigt hat, bieten Quantenalgorithmen ausgerechnet bei jenen Problemen Vorteile, die für klassische Rechner besonders harte Nüsse sind. Dazu gehört das grosse Feld der Simulationen, bei dem, grob gesagt, die Weiterentwicklung von komplizierten Zusammenhängen prognostiziert wird. Klassisch löst man die Aufgabe mit roher Rechengewalt, egal, ob es um Windströme in der Atmosphäre geht oder die Schwingungen eines Moleküls.

Im Quantencomputer indes laufen diese Simulationen in einer Umgebung ab, die selbst den Gesetzen der Quantentheorie genügt. Damit ist ein Quantencomputer vielen natürlichen Systemen viel ähnlicher als ein klassischer Computer. Selbst Probleme, die auf den ersten Blick nichts mit Quanten zu tun haben, lassen sich oft so umformulieren, dass sie der Arbeitsweise eines Quantencomputers entgegenkommen. Das Klima zum Beispiel. Oder eben die Wertentwicklung eines Portfolios.

Die Quantenalgorithmen zur Lösung all dieser Fragestellungen sind schon vergleichsweise alt. Der Shor-Algorithmus, der grosse Zahlen in Primfaktoren zerlegt und deshalb die Verschlüsselungstechnik von heute obsolet machen könnte, stammt aus dem Jahr 1994; jener von Lov Grover, der das effiziente Durchsuchen grosser Datenbanken mit dem Quantencomputer möglich macht, wurde 1996 publiziert.

Seither sind die Methoden kontinuierlich erweitert und verfeinert worden – unter anderem in den Forschungsabteilungen von Grossbanken wie JP Morgan Chase, Goldman Sachs, der Bank of America und der Credit Suisse.

Bis diese Algorithmen wirklich vertrackte Probleme lösen können, bleibt indes noch viel zu tun. Erstens sind grosse, weitgehend fehlerfrei arbeitende Quantencomputer noch immer ausser Reichweite. Diejenigen Systeme, die IBM, Google und Amazon über ihre Cloud-Services anbieten, sind sogenannte «noisy intermediate-scale quantum systems», kurz NISQ, die weit hinter dem Ideal eines universellen Quantencomputers zurückbleiben, wie Hannah Venzl erläutert, die das Kompetenznetzwerk Quantum-Computing der deutschen Fraunhofer-Gesellschaft leitet.

Zweitens hängt die Implementierung der Algorithmen von der verwendeten Hardware ab. Nicht nur unterscheiden sich die heute zur Verfügung stehenden Quantenrechner stark voneinander, auch innerhalb der Systeme sind nicht alle Qubits gleich (so wie es im Idealfall sein sollte), sondern unterschiedlich stark von Störungen beeinträchtigt.

Drittens ist es schwierig, Daten zur Bearbeitung an einen Quantencomputer zu übergeben. Man muss dazu die Qubits in einen bestimmten Ausgangszustand versetzen und die Resultate am Schluss wieder zurück in ein klassisches Datenformat übersetzen. Dies effizient zu tun, ist nach Einschätzung von Antoine Jacquier die grösste Herausforderung für die Anwendung von Quantenrechnern.

Aufgrund dieser Einschränkungen verwendet man, viertens, die Quantencomputer nie allein, sondern nur in hybriden Systemen, in denen klassische Computer nur einige für sie besonders schwierige Teilaufgaben an Quantenrechner übergeben. Dadurch entstehen zusätzliche Schnittstellen, die erst einmal bewältigt werden wollen.

Schlüsselrolle an Schnittstellen

Viele der kleineren Startups im Quantencomputing haben genau diese Schnittstellen als Geschäftsfeld für sich entdeckt, darunter Michael Biercuk's Firma Q-CTRL in Sydney. Er und andere wollen so den Zusatzaufwand reduzieren, der die Verwendung von Quantencomputern heute noch so kompliziert macht. Q-CTRL sagt von sich selbst, sie entwickle Firmware für Quantenhardware. Das Ziel ist laut Biercuk, dass Anwender schon in wenigen Jahren Codes für Quantencomputer schreiben und dabei genauso wenig über Hardware nachdenken könnten, wie das heute beim klassischen Programmieren der Fall sei.

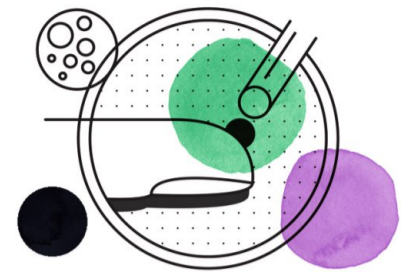
Dabei kommt eine weitere Schwierigkeit ins Spiel, die der Quantenhardware innewohnt: Qubits sind, egal auf welche Weise sie realisiert werden, notorisch instabil und reagieren selbst auf winzige Störungen von aussen empfindlich. Um aufwendige Rechnungen durchführen zu können, müssen sie deshalb stabilisiert werden – oder man korrigiert laufend die Fehler, die sich zwangsläufig einschleichen.

Dieses Korrigieren ist möglich, aber aufwendig: Um die fehleranfälligen Qubits zu bändigen, braucht es einfach noch mehr zusätzliche Qubits. Viel mehr: Derzeit ist die Rede von rund 1000 Qubits, um nur eines stabil nutzen zu können. Michael Biercuk ist jedoch optimistisch, dass sich das Verhältnis zwischen nutzbaren und zur Fehlerkorrektur «verbrauchten» Qubits auf etwa 1:10 oder 1:20 drücken lassen wird.

«Wir brauchen keine vollständig fehlertoleranten Rechner, um nützliche Dinge zu tun», sagt Biercuk, «sie müssen nur hinreichend fehlertolerant sein.» Auch müssten Quantenrechner nicht universal sein, nur gross genug für ganz bestimmte Problemlösungen. «Wenn wir uns auf dieses Ziel konzentrieren, dann können wir schon in einigen wenigen Jahren viel erreichen», so Biercuk.

Sind die hohen Erwartungen, die Investoren und verschiedenste Industrien in das Quantencomputing setzen, gerechtfertigt? Doug Finke, Herausgeber des «Quantum Computing Report» und langjähriger Beobachter der Szene, äussert sich für gewöhnlich zurückhaltend. Es bestehe durchaus die Gefahr, dass die derzeit enorm hohen Erwartungen nicht erfüllt werden könnten, jedenfalls nicht in kurzer Zeit, sagte er unlängst gegenüber dem Wissenschaftsmagazin «Nature». Die Folge davon könnte ein empfindlicher Dämpfer für die ganze Branche sein – dann nämlich, wenn sich Investoren infolge enttäuschter Erwartungen zurückziehen würden. Dies geschah in den 1990er Jahren im Hinblick auf die Anwendungen künstlicher Intelligenz.

Sicherlich sind unter den vielen Quantum-Computing-Startups auch einige, die zu viel in zu kurzer Zeit versprechen. Zugleich aber dürfte die pessimistische Perspektive, dass auf dem Weg zu nutzen- und letztlich gewinnbringenden Quantencomputern noch Dekaden der Entwicklung notwendig sind, zu negativ sein. Das haben die letzten Jahre eindrücklich gezeigt: Wer hätte vor zehn Jahren gedacht, dass wir heute so weit sein würden, wie wir es sind?



HAUPTSACHE, GESUND

Sinnesorgan für Positives

Von Bruno Kesseli

Die Sprechstunde als Katalysator für sprachliche Glanzlichter? Das kommt vor. Kürzlich verblüffte mich ein Patient mit der Formulierung, ihm fehle «das Sinnesorgan für Positives». Er war nicht etwa poetisch veranlagt, sondern laut eigener Aussage ein nüchterner Naturwissenschaftler, der versuchte, ein gesundheitliches Problem präzise zu schildern.

In seinem Fall war es nicht schwierig, auf die Diagnose einer depressiven Episode zu kommen. Neben Freud- und Interesselosigkeit wurde das Bild durch weitere typische Symptome wie Antriebsverminderung, Schlafstörung und Appetitlosigkeit komplettiert. Entsprechend gezielt konnten die weiteren Schritte eingeleitet werden: Krankenschreibung, Empfehlung regelmässiger körperlicher Aktivität im Freien, Verordnung eines Antidepressivums und Überweisung an einen Psychiater.

Weniger einfach präsentierte sich die Ausgangslage bei einer älteren Patientin, die über Engegefühle in der Brust und Anfälle von starkem Herzklopfen klagte. Dazu kamen störende Druckgefühle in der Magengegend. Die ärztliche Sorgfaltspflicht gebot es, zunächst eine kardiale Ursache ihrer Beschwerden auszuschliessen.

Als dies erfolgt war und auch weitere Abklärungen wie die Bestimmung der Schilddrüsenwerte im Blut normale Befunde ergeben hatten, fokussierten wir im Gespräch vermehrt auf die Lebensumstände der alten Dame. Sie war schon früher durch eine ängstliche Grundhaltung aufgefallen. Dieser Wesenszug hatte sie bisher davon abgehalten, sich gegen Corona impfen zu lassen. Sie fürchtete sich vor der Impfung offensichtlich mehr als vor der Erkrankung.

Noch mehr Angst hatte die Frau aber davor, sich in ihrem Bekanntenkreis als Ungeimpfte zu outen. Die Folge war ein sozialer Rückzug, der in eine Depression mündete. Diese äusserte sich primär in den körperlichen Symptomen, die sie schliesslich zum Arzt führten. Als ihr dieser Zusammenhang klar wurde, entschied sie sich für eine Psychotherapie, von der sie nachhaltig profitierte.

Hausärzte müssen sich gelegentlich leicht süffisante Bemerkungen darüber anhören, wie viele Depressionen ihnen entgehen. Grosse Metaanalysen stützen solche Aussagen grundsätzlich. Sie belegen aber auch, dass ein wesentlicher Teil der Erkrankungsfälle in der Hausarztpraxis korrekt diagnostiziert und erfolgreich behandelt wird.

Eine Selbstverständlichkeit ist dies im heutigen Umfeld nicht. Denn allen politischen Absichtserklärungen zum Trotz bleibt im Sprechzimmer immer weniger Zeit für das Sprechen. Gerade bei sogenannten larvierten Depressionsformen wie im obigen Beispiel kann das Gespräch der Schlüssel zur korrekten Diagnose sein. Dagegen steigt der Druck, sich mit apparativen Untersuchungen gegen den potenziellen Vorwurf abzuschirmen, man habe nicht alles unternommen, um zur korrekten Diagnose zu kommen.

Die hausärztliche Kunst besteht heutzutage vielleicht auch darin, solchen Widrigkeiten zum Trotz eine gute Medizin zu machen. Wie schrieb mir doch kürzlich mein Neffe im WhatsApp-Chat, als ich ihm klagte, ich hätte es wegen Corona-Ausfällen in der Praxis grad etwas streng: «Sei doch kein Weichei, Onkel Bruno. Du bist Arzt und musstest wissen, dass dies nicht der «chilligste» Job ist.» Recht hat er.