

Quanten statt klassisch

Franziska Konitzer

Was die Rechenleistung betrifft, versprechen Quantencomputer, derzeitige Supercomputer mühe-los zu übertrumpfen. Allerdings sind sie kein All-heilmittel für die wachsenden Datenfluten, die auch in der Geodäsie anfallen. Und ganz so weit sind sie auch noch nicht.

Die Datenmengen sind gewaltig: Allein die Satellitenmissionen Sentinel-1, -2 und -3 schicken bis Ende 2017 im Rahmen der europäischen Copernicus-Mission täglich zwanzig Terabyte an Daten zur Erde. Dies ist nur ein Beispiel potentiell geodätischer Daten. Heutzutage ist die Geodäsie mit Unmengen von Satellitendaten, etwa in Form von digitalen Bildern, als auch von Daten terrestri- scher Sensoren wie Laserscannern konfrontiert und muss mit teils aufwendigen Modellen unbekannte Parameter bestimmen. Somit ist »Big Data« eine große Herausfor- derung, nicht nur für Geodäten. Auch die Computer, die derartige Daten empfangen, speichern und auf möglichst sinnvolle Art und Weise weiterverarbeiten sollen, stoßen langsam aber sicher an ihre Grenzen.

Schon lange können derartige Aufgaben nur von riesigen Supercomputern bewältigt werden, wie es sie am Forschungszentrum Jülich oder am Leibniz-Rechenzen- trum in Garching gibt. Die Wirklichkeit ist komplex und erfordert Millionen von Rechenstunden. Dem setzt die Quantenphysik eine schlichte Spanne entgegen: vierzig bis fünfzig Qubits.

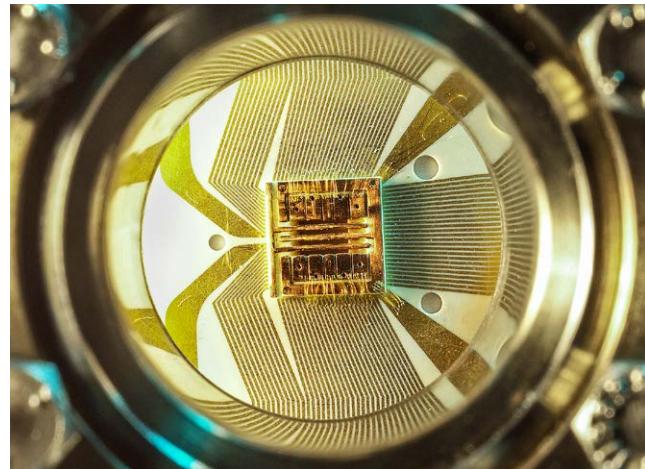
Quanten- versus Supercomputer

So viele Quantenbits, kurz Qubits, bräuchte ein Quantencomputer, um für gewisse Probleme auch den leistungs-fähigsten Supercomputer der Welt zu schlagen. Darüber hinaus würde er eine gewünschte Antwort nicht innerhalb von Wochen und Monaten, sondern innerhalb von Sekundenbruchteilen liefern. Keine Frage, das wäre nicht nur für Geodäten unheimlich praktisch.

Auch die EU ist dieser Meinung. Wie im letzten Jahr bekannt wurde, will sie die Entwicklung der Quantentechnologie mit einer milliardenschweren Flaggschiff-Initiative vorantreiben. Auch China will demnächst ein ähnliches Programm starten. Und in den USA tüfteln Google, Microsoft und IBM schon seit längerem an ihren eigenen Quantencomputern.

Doch was steckt hinter dem Quantencomputing und taugt es wirklich dazu, in naher Zukunft die Informationsverarbeitung zu revolutionieren?

Die kurze Antwort darauf muss lauten: ja.



Copyright: C. Lackner

Mit der klassischen Vorstellung von einem Computer hat das zumindest derzeit noch nichts zu tun: ein Quantencomputer an der Universität Innsbruck. Sein Herzstück ist eine Ionenfalle, mit der die Wissenschaftler Quantenteilchen kontrolliert ansteuern können.

Mit Quantenteilchen zum Quantencomputer

Für die längere Antwort muss man zoomen, und zwar auf die Größenskala der allerkleinsten Teilchen, von Atomen und Lichtteilchen, also dorthin, wo die Gesetze unserer vertrauten Alltagswelt den Regeln der Quantenwelt weichen. In der klassischen Welt arbeiten klassische Computer mit klassischen Bits, die entweder Null oder Eins sein können. Für ein Quantenbit hingegen gilt dieses binäre »oder« nicht. »Ein Qubit ist nicht nur Null oder Eins, sondern es kann auch alle möglichen Überlagerungen dazwischen sein«, sagt Tommaso Calarco, Physiker an der Universität Ulm.

Dieses »alles mögliche dazwischen« ist der Knackpunkt. Es basiert darauf, dass in der Quantenwelt die Quanteneigenschaften eines Teilchens nicht eindeutig festgelegt sind, bevor sie nicht vermessen sind. Diese Quanteneigenschaft kann beispielsweise die Polarisation, also die Schwingungsrichtung eines Teilchens, sein oder der Drehimpuls eines geladenen Atoms. Wäre die Farbe eines Atoms – hätte ein Atom eine Farbe! – eine Quanteneigenschaft, könnte man es sich so vorstellen, dass das Atom weder blau noch grün ist, sondern es ist blau und grün gleichzeitig. Erst eine Messung der Farbe legt fest, dass es tatsächlich blau oder mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit grün ist.

Damit ist man aber nur bei einem einzelnen Qubit und ein Computer braucht mehrere davon. Hier kommt die »spukhafte Fernwirkung« ins Spiel, die schon Albert Einstein irritiert hat. Denn Quantenteilchen lassen sich miteinander so verschränken, dass ihre Eigenschaften nicht mehr unabhängig voneinander betrachtet werden

können, egal, wie weit sie räumlich voneinander getrennt sind. Um beim Beispiel mit den farbigen Atomen zu bleiben: Hätte man zwei solcher verschränkter Atome, würde man vor einer Messung nicht wissen, welche Farbe sie hätten. Sobald man aber die Farbe eines der beiden Atome misst, liegt auch die Farbe des anderen sofort und ohne Zeitverzögerung fest. Die Anzahl der möglichen Zustände, die diese Systeme aus verschränkten Teilchen einnehmen können, steigt somit exponentiell mit der Zahl der Qubits an.

»Damit sind die Möglichkeiten von Quantensystemen exponentiell größer als die von klassischen Systemen«, sagt Tommaso Calarco. «Stellen Sie sich vor, Sie wollen ein ungeordnetes Adressbuch nach einem spezifischen Namen durchsuchen. Ein klassischer Computer muss das Stück für Stück, letztendlich Bit für Bit, bewerkstelligen. Bei einem Quantencomputer hingegen kann ich alle möglichen Anfangsbedingungen für meine Rechnungen darin codieren und in einem Schlag alles parallel machen.«

Dabei gibt es nur ein Problem: »Ein Kollege von mir sagt immer: Es ist einfacher, einen Schneeball in der Hölle festzuhalten, als den Zustand eines quantenverschränkten Qubits lange genug aufrechtzuerhalten, um damit Berechnungen durchführen zu können«, sagt Calarco.

Ionenfallen in Innsbruck

Rainer Blatt von der Universität Innsbruck kennt sich mit Schneebällen in der Hölle aus – zusammen mit seiner Forschungsgruppe betreibt er nämlich bereits zwei Quantencomputer. Ein Dritter befindet sich derzeit im Bau. Der



Copyright: IQOQI/M. R. Knabl

Die Forschungsgruppe von Rainer Blatt tüftelt an der Universität Innsbruck an Quantencomputern. Einer davon ist hier im Hintergrund zu sehen.

Ansatz der Innsbrucker Physiker basiert dabei auf Ionenfallen, in denen sie geladene Atome einzeln im Ultra-hochvakuum festhalten. »Ihre Überlagerung muss für die ganze Zeit der Rechendauer aufrechterhalten werden«, sagt Rainer Blatt. Die Atome müssen also sehr gut geschützt sein, denn wenn sie mit Wänden oder Gasatomen wechselwirken, wird der Quantenzustand zerstört. »Aber in der Ionenfalle können wir sie quasi wie auf dem Seziertisch mit einem Laser behandeln«, sagt Blatt.

Vierzehn beziehungsweise zwanzig Quantenteilchen können die Innsbrucker Physiker derzeit in ihren Ionenfallen vollständig kontrollieren und gezielt ansteuern, meist bis zu hundert Millisekunden lang. Bis zum Quantenvorteil, also dem Punkt, an dem der Quantencomputer mit vierzig bis fünfzig Quantenteilchen jeden Supercomputer schlägt, fehlen also noch ein paar Qubits.

Befindet sich der universelle Quantencomputer trotzdem vielleicht schon in greifbarer Nähe? »Von Google wird innerhalb dieses oder nächsten Jahres erwartet, dass sie diesen Quantenvorteil schaffen«, sagt Tommaso Calarco. Allerdings ist das mit Vorsicht zu genießen, da die Quantencomputer zunächst die klassische Welt wohl nur bei speziellen, auf sie zugeschnittenen, Algorithmen übertrumpfen werden. Darin geht es beispielsweise um die Simulation von Quantensystemen, also um die Simulation des Verhaltens von Teilchen auf kleinster Ebene.

Das mag sich zwar abstrakt anhören, birgt aber ein riesiges Anwendungspotenzial – zum Beispiel bei der Entwicklung neuer Medikamente in der Pharmaforschung, wenn es darum geht, genau das richtige Molekül zu finden, oder aber die Erkundung der Materialeigenschaften von Legierungen. »Das Number-Crunching, was man sich immer vorstellt, wird gar nicht die Hauptaufgabe von Quantencomputern sein«, ist Rainer Blatt überzeugt.

Eine Flaggschiff-Initiative für die Quantentechnologie

Derzeit findet die Entwicklung von Quantencomputern und Quantentechnologien hauptsächlich noch in Laboren an Universitäten statt. Die EU Flaggschiff-Initiative möchte dies ändern. Mitgeleitet wird sie von Tommaso Calarco. Dabei ist der universelle Quantencomputer für das Jahr 2035 nur die Vision, sozusagen nur das i-Tüpfelchen. Das Ziel der Initiative lautet, die Quantentechnologie vom Labor auf den Markt zu bringen. Dazu gehört nicht nur das Computing, sondern auch Quantenkomunikation und Quantensensorik. All das basiert auf der Kontrolle und Manipulation einzelner Quantensysteme. »Die Sensorik beispielsweise hat eine noch direktere Relevanz für die Geodäsie als ein universeller Quantencomputer. Solche Technologien beinhalten auch Anwendungen wie die Messung von Gravitationseffekten oder ultrapräzise Zeitmessungen, die auch für die Navigation mit GPS interessant sind«, sagt Calarco.

Zwar kann auch Calarco nicht spekulieren, ob wir alle jemals einen Quantencomputer in der Tasche tragen werden, aber er sagt auch: »Es gibt dabei keine konzeptionellen Probleme, sondern es ist nur eine Frage der Umsetzung. Aber diese Umsetzung ist außerordentlich schwierig.«

Mittelfristig können sich Geodäten wahrscheinlich so mit über die ultrapräzisen Früchte der Quantensensorik freuen. Aber auch beim Quantencomputer ist die Frage eher nicht, ob, sondern wann er kommt.

Kontakt: f.konitzer@gmail.com

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter www.geodaeie.info.