

Deutschlandfunk
Wissenschaft im Brennpunkt

Rechnen mit Qubits

Der Computer der Zukunft nimmt Gestalt an

| | |
|------------|------------------|
| Autor | Ralf Krauter |
| Redaktion | Christiane Knoll |
| Länge | 26'56'' |
| Sendedatum | 18. Januar 2009 |

MANUSKRIFT

Sprecherin

Wissenschaft im Brennpunkt

Zuspiel 1: Atmo auf dem Weg ins Labor, MD 1, Track 1, 00s
Lüfterrauschen, Schritte im Gang...

Reporter: Darüber

Das Institut für Standards und Technologie der USA ist eine renommierte Forschungseinrichtung. Die Zweigstelle in Colorado liegt am Ortsende des Studentenstädtchens Boulder. Flache Bauten auf einem abgezaunten Areal. Direkt dahinter gewaltige Granitfelsen, Ausläufer der Rocky Mountains.

Regie: Zuspiel wieder hochziehen

...So everything started in the smaller lab. And that's where we still have this trap...

Reporter: Darüber

Der Physiker Dr. Didi Leibfried ist um die 40 und arbeitet schon seit vielen Jahren hier. Studiert hat er in München, aber weil ihm die deutschen Fachwörter oft gar nicht mehr einfallen, spricht er lieber englisch. Didi Leibfried ist Experte für Laser und kalte Atome. In einem riesigen Labor betreibt er Grundlagenforschung für den Bau eines neuartigen Supercomputers.

Sprecherin: Titellansage

Rechnen mit Qubits. Der Computer der Zukunft nimmt Gestalt an. Eine Sendung von Ralf Krauter.

Regie: Zuspiel wieder hochziehen

Tür geht auf... Atmowechsel... So you can hear it's mostly fans and air-conditioning. The real beauty of these labs are actually our laser beams that you unfortunately can't see in the radio...

Reporter: Darüber

Der Anblick ist atemberaubend. In dem abgedunkelten Raum steht ein riesiger Tisch vom Format einer Squash-Courts, darauf ein Gewirr aus Linsen und Spiegeln. Lüfter kühlen mächtige Laser, die rote, hell- und dunkelgrüne Strahlen im Zickzack über die Platte schießen.

Regie: Zuspiel wieder hochziehen

... so in this lab, we work with aluminium ions, magnesium ions and also beryllium ions. And you need lasers for each of that species...

Reporter: Darüber

2 Jahre hat der Aufbau der Laser und Präzisionsoptiken gedauert. Die Forscher verwenden sie, um einzelne Ionen – das sind elektrisch geladene Atome – einzufangen, tiefzukühlen und zu manipulieren. Stellt man das clever genug an, so die Hoffnung, ließen sich die festgesetzten Ionen verwenden, um einen Computer zu bauen, der sich die bizarren Gesetze der Quantenwelt zunutze macht. Ein solcher Quantencomputer könnte ganz viele Rechenschritte gleichzeitig erledigen und würde konventionelle Rechner dadurch ziemlich alt aussehen lassen. Didi Leibfrieds Kollege John zeigt auf einen Monitor am vorderen Rand des Laser-Spektakels.

Zuspiel 2: O-Ton Leibfried, Track 4

There's an ion on the screen, if you want to... Oh, yeah. So this is actually a single ion that's trapped in the trap...

Übersetzer: Darüber

Der helle Punkt dort ist ein Ion, das sich gerade in unserer Falle befindet. Um es sichtbar zu machen, strahlen wir mit einem Laser darauf. Dadurch beginnt es hell zu leuchten. Es ist, als ob sie einen Leuchtturm aus großer Ferne betrachten. Seine Struktur können sie nicht erkennen, aber das Licht, das er aussendet, ist deutlich zu sehen.

...that's the fluorescence from a single ion that's trapped in the trap that's on the table here...

Reporter: Darüber

Das gefangene Ion befindet sich im Zentrum eines luftleeren Stahlzylinders. Winzige Elektroden halten es in Position, Laserstrahlen, die durch Bullaugen ins Innere des Vakuums tanks gelangen, können es anschieben und zum Leuchten anregen. Wirklich spannend wird es aber erst, wenn mehrere Ionen in der Falle stecken und sich gegenseitig beeinflussen. Bei einem ihrer Experimente haben die US-Forscher auf diese Weise 6 Ionen zu einem simplen Speichermodul verschaltet. Weil sich die Ionen elektrisch abstoßen, schweben die Leuchtpunkte in gleichmäßigem Abstand voneinander, aufgereiht wie auf einer Perlenkette.

Zuspiel 3: O-Ton Leibfried, Track 11, 45s

In the optimised setup where we've done multi-qubit algorithms loading let's say six ions takes about five minutes...

Übersetzer: Darüber

Wenn die Laser warmgelaufen sind, dauert es nur 5 Minuten, um 6 oder auch mehr Ionen in die Falle zu laden. Für eine logische Operation kitzeln wir sie dann selektiv mit Laserstrahlen. Leider funktioniert das nicht wie bei normaler Elektronik. Da wissen sie genau: Wenn ich an diesen Schaltkreis 5 Volt anlege, spuckt er automatisch das richtige Ergebnis aus. Wir dagegen müssen jeden Rechenschritt stundenlang optimieren. An einem guten Tag funktioniert alles und wir erzielen wirklich Ergebnisse. Das Aufnehmen der Daten dauert dann wieder einige Stunden. Verglichen mit den Anstrengungen, das Ganze überhaupt zum Laufen zu bringen, fallen die aber kaum ins Gewicht.

... But compared to the effort for gearing up your experiment, the time for running it is very short.

Reporter

Für eine klitzekleine Berechnung, die jeder PC-Prozessor in Sekundenbruchteilen erledigt, braucht es manchmal ein Jahr Vorbereitung. Klingt für Laien irrwitzig ineffizient. Für Forscher wie Didi Leibfried ist es Alltag.

Zuspiel 4: O-Ton Leibfried, Track 12,

And that's because all this is at the cutting edge of what people can do...

Übersetzer: Darüber

Alles was wir hier tun, ist an der Grenze des Machbaren. Es ist wie beim Sport. Sie haben einen Rekord aufgestellt und wissen: Ich will mich weiter steigern. Also trainieren sie ein Bisschen härter, um nächstes Jahr noch einen Tick besser zu sein. Nur so können sie erneut die 100 anderen Athleten abhängen, die ihnen auf den Fersen sind.

... So you always have to be pushing the envelope.

Zuspiel 5: Musikalischer Akzent, futuristisch, wabernd, diffus

Liegt als abklingendes Bett unter folgendem Sprecherinnen-Text

Sprecherin

Quantencomputer für Einsteiger - Kapitel 1: Wie alles begann

1994 präsentiert der US-Mathematiker Peter Shor ein Verfahren, um Zahlen schneller zu zerlegen als je zuvor. Für Banken und Geheimdienste war das ein Schock. Gängige Verschlüsselungsverfahren basieren darauf, dass konventionelle Zahlenfresser Jahre brauchen, um große Zahlen in ihre Primfaktoren zu zerlegen. 15 hat man schnell in 3 mal 5 zerlegt. Ist der geheime Schlüssel eines Codes dagegen lang genug, ist die Chance, ihn zu knacken, praktisch gleich null. Doch in Peter Shors Quantenwelt gelten andere Regeln. Um eine Zahl mit 130 Stellen zu zerlegen, bräuchte ein hochparallel arbeitender Quantencomputer demnach 10 Millionen mal weniger Rechenschritte als ein heutiger Supercomputer. Bei einer 600-stelligen Vorgabe, wäre der Quantenrechner 100 Milliarden Milliarden mal schneller fertig.

Reporter: Darüber

Die Kryptographen bekamen noch eine Atempause, denn der Bau solch eines Quantenrechners ist bislang keinem gelungen. Die technischen Herausforderungen sind so enorm, dass die Realisierung des Quantenkalküls lange als Hirngespinnst galt. Mittlerweile hat sich das Blatt gewendet. Die meisten Experten glauben: Es ist nur eine Frage der Zeit.

Zuspiel 6: O-Ton Wineland, Track 24, 30s

I would say it's at least a decade away. But maybe not a lot longer than that...

Übersetzer: Darüber

Es wird noch mindestens 10 Jahre dauern, bis Quantencomputer genauso leistungsfähig sind wie klassische Computer. Vielleicht aber nicht viel länger. Ich bin optimistisch, dass es innerhalb von 10 bis 20 Jahren gelingen könnte. Zum Glück bin ich dann in Rente und muss dieses Versprechen nicht mehr einlösen.

... I'm lucky because I won't be around or at least won't be working in 20 years to have to own up to that prediction.

Reporter

Dr. David Wineland ist der Chef von Didi Leibfried und Leiter der Ionenspeichergruppe am NIST in Boulder. In seinem Büro lehnt ein Rennrad an der Wand, mit dem er nach Feierabend in die Rockies fährt. Wineland ist Mitte 50 und gilt als heißer Kandidat für den Physiknobelpreis. Seine Expertise für Atomuhren und gefangene Ionen habe ihn eher zufällig zu einem der Pioniere des Quantenrechnens gemacht, sagt er.

Zuspiel 7: O-Ton Wineland, Track 5, 25s

Maybe by accident...

Übersetzer: Darüber

Als das Feld vor gut 10 Jahren populär wurde, überlegten wir gerade, uns bei unseren Experimenten mit Atomuhren das quantenmechanische Prinzip der Verschränkung zunutze zu machen. Es besagt, dass atomare Objekte regelrecht miteinander verschmelzen und im Nu Informationen austauschen können. Diese Verschränkung bildet die Essenz aller Quantencomputer. Wir waren deshalb gut vorbereitet, um auf den Zug aufzuspringen und machten einige der ersten Versuche.

...So we were, I would say, well poised to jump in. And we were able to do some of the initial experiments.

Reporter

1995, ein Jahr nachdem Peter Shor seinen Algorithmus zum Codeknacken veröffentlicht hatte, baute David Wineland das erste quantenlogische Schaltelement aus gefangenen Ionen und legte damit den Grundstein für ein boomendes Forschungsgebiet. Heute werden alle paar Wochen neue Ergebnisse veröffentlicht: Trippelschritte auf dem Weg in eine neue Ära.

Zuspiel 8: Musikalischer Akzent, futuristisch, wabernd, diffus
Liegt als abklingendes Bett unter folgendem Sprecherinnen-Text

Sprecherin: Darüber

Quantencomputer für Einsteiger - Kapitel 2: Kopf und Zahl.

Klassische Computer rechnen mit Bits, die entweder den Wert 0 oder den Wert 1 annehmen können – repräsentiert durch die Zustände Strom oder kein Strom auf einem Mikrochip. Quantencomputer dagegen rechnen mit Quantenbits. Diese Qubits können die Werte 0 und 1 gleichzeitig annehmen.

Zur Veranschaulichung ist eine Münze hilfreich: Kopf bedeutet 0, Zahl eine 1. Während die Münze beim klassischen Computer während einer Berechnung immer wieder auf der Tischoberfläche umgedreht wird, fliegt sie bei einer Quanten-Kalkulation quasi durch die Luft. Im Flug repräsentiert das rotierende Geldstück zeitgleich die beiden Werte Kopf oder Zahl, Null oder Eins. Erst der Aufprall am Boden zerstört diesen Mischzustand und nagelt die Münze wieder auf Kopf oder Zahl fest. Dieser Vorgang entspricht dem Auslesen eines Qubits.

Reporter

Als Qubits kommen verschiedene elementare Bausteine der Materie in Frage. Polarisierte Lichtteilchen zum Beispiel, Elektronen, Atomkerne oder eingesperrte Ionen. All diese Ansätze werden in Labors rund um den Globus erprobt. Über simple Vorläufer eines Abakus kam noch keiner hinaus. Die begehrten Sowohl-als-auch-Zustände sind fragil und rinnen den Forschern wie Sand durch die Finger. Am weitesten fortgeschritten sind die Versuche mit gefangenen Ionen, also geladenen Atomen in der Falle.

Zuspiel 9: O-Ton Leibfried, Track 14 + 15

If you look in here you can actually see one of the sideviews...

Reporter: Darüber

Didi Leibfried zeigt durch eines der Bullaugen auf ein Metallplättchen in dem silbernen Stahltank. Eine Haaresbreite über seinen goldenen Leiterbahnen schweben die Magnesium-Ionen, die die US-Forscher als Qubits verwenden. Die Ionen haben zwei stabile Energieniveaus, die sich mit einem Laserpuls anregen lassen. Während der Experimente befinden sie sich gleichzeitig ein Bisschen in beiden davon - genau wie die rotierende Münze im Flug.

Regie: Zuspiel wieder hochziehen

... This is a very simple array. But we need a lot of feedthroughs to get all the electronics hooked up. In the long run you can't do it that way...

Übersetzer: Darüber

Über die vielen Drähte, die sie da sehen, steuern wir die filigranen Elektroden auf dem Chip, die die Ionen in der Schwebelage halten. Die Verkabelung ist eine Sisyphosarbeit - vor allem, wenn sie statt 8 oder 10 Ionen einmal 50 oder 100 kontrollieren wollen. Deshalb haben unsere neuesten Chipfallen schon einen Teil der Elektronik integriert. Sie werden einfach in einen verdrahteten Sockel

gesteckt – etwa so wie ein Pentium-Prozessor auf die Platine in ihrem PC. Das Fernziel wäre, dass man künftig nur noch ein Stromkabel braucht und ein paar Drähte, die einem das Ergebnis der Rechnung übermitteln.

... some lines that basically tell you, what the outcome of your calculation is. But everything else should be handled right on the chip...

Reporter: Darüber

Das Herzstück eines künftigen Quantenrechners ist ein Ensemble von Qubits. Im Prinzip gilt dabei: Je mehr Qubits desto besser. Ihr Zusammenspiel erlaubt in der Theorie nämlich ultraschnelle Berechnungen. Während ein PC mit 10 Bits jeweils nur eine von 1024 Zahlen verarbeiten kann, könnte ein Quantenrechner mit 10 Qubits all diese 1024 Werte gleichzeitig verarbeiten. Ein Ensemble von 250 Qubits könnte bereits mehr Zahlen gleichzeitig speichern, als es Atome im Universum gibt.

Der Vorteil liegt auf der Hand. Während ein klassischer Computer, um beispielsweise die kürzeste Route für einen Handelsreisenden zu finden, alle möglichen Optionen nacheinander durchspielen muss, um die beste zu finden, könnte ein Quantenprozessor den virtuellen Geschäftsmann in einem Aufwasch auf alle Routen gleichzeitig schicken. Das spart Rechenzeit. Um einen heutigen Pentium-Prozessor zu schlagen, wären je nach Aufgabenstellung wohl mindestens einige hundert Qubits nötig. Mit gefangenen Ionen wird das kaum zu schaffen sein.

Zuspiel 10: O-Ton Leibfried, Track 16, 50s

The real non-scalable thing you can see in this lab is actually the lasers...

Übersetzer: Darüber

Das Sperrige in diesem Labor sind die Laser und die zugehörigen Optiken. Je mehr Ionen wir kontrollieren wollen, umso mehr davon brauchen wir. Der Übergang von 10 auf sagen wir 100 Ionen ist so nicht zu schaffen. Wir müssen also einen Weg finden, um diesen Aufwand zu verringern. Aber das hier ist nur ein Prototyp. Wir wollen zeigen, dass das Ganze im Prinzip funktioniert. Den Aufbau verkleinern, das wäre der nächste Schritt.

... This is just a prototype. You're trying to make the thing work in principle. And then you can work on making it smaller.

Reporter

Im Dezember 2005 vermeldeten die Ionen-Dompteure aus Boulder, sie hätten erstmals 6 Qubits zu einem Quantenregister verschaltet - und damit eine zentrale Komponente eines Quantenrechners realisiert. Die konkurrierende Gruppe um Professor Rainer Blatt an der Universität Innsbruck hatte zeitgleich erstmals 8 Ionenqubits gekoppelt und damit das erste Quantenbyte realisiert. Von kommerziellen Anwendungen ist man hier wie dort noch meilenweit entfernt.

Ganz anders im kanadischen Burnaby – zumindest wenn man den Ankündigungen glauben schenken darf. Das kleine Start-Up-Unternehmen D-Wave in einem Vorort von Vancouver will noch 2008 die ersten

Quantenprozessoren auf den Markt bringen. „Was wir hier entwickeln, hat das Potenzial, die bedeutendste Erfindung unserer Generation zu sein“, erklärt D-Wave-Gründer und Technologie-Chef Dr. Geordie Rose in einem Skype-Interview.

Zuspiel 11: O-Ton Rose, 1:55 – 2:30

We think of harnessing the properties of the quantum world as being somewhat akin to harnessing electricity or fire or agriculture or the printing press...

Übersetzung: Darüber

Das Ausnutzen von Quanteneffekten wird ähnlich fundamentale Auswirkungen haben, wie die Erfindung der Elektrizität, des Feuers, des Ackerbaus oder des Buchdrucks. Die Folgen für die menschliche Zivilisation werden weitreichend sein.

... will have a wide-ranging impact on human civilization for many years to come.

Reporter

Im Februar 2007 präsentierten die kanadischen Tüftler im Silicon Valley den weltweit ersten Quantenprozessor mit 16 Qubits. Im November 2007, auf der Supercomputer-Konferenz in Reno, schraubte D-Wave den eigenen Rekord auf 28 Qubits. Statt tiefgekühlter Ionen verwenden die Kanadier einen völlig anderen Ansatz. Das Herzstück ihres Quantenrechners ist ein fingernagelgroßer Chip mit schachbrettartig angeordneten Stromschleifen darauf. Knapp über dem absoluten Nullpunkt verlieren die Metallschleifen ihren elektrischen Widerstand: Sie werden supraleitend. Weil der Strom darin sowohl im Uhrzeigersinn als auch entgegen gesetzt fließen kann, lässt sich ein Mischzustand einstellen, bei dem er ein Bisschen in beide Richtungen fließt - die Quantenmechanik macht's möglich.

Zuspiel 12: O-Ton Rose, 5:05 – 6:47

Superconducting qubits are the only known approach to building these types of devices, where...

Übersetzer: Darüber

Supraleitende Qubits sind die einzige Methode, um quantenmechanische Informationseinheiten zu bauen, die vergleichsweise groß sind. Unsere Qubits sind makroskopische Drahtschleifen. Weil sie supraleitend sind, gehorchen sie – trotz ihrer Größe - den Gesetzen der Quantenwelt. Wir müssen also keine winzigen atomaren Objekte manipulieren, um Quanteneffekte auszunutzen, sondern wir können relativ große Strukturen verwenden, die sich mit den Tricks der Halbleiterindustrie millionenfach herstellen lassen.

... to build circuits that have millions or a hundred of millions of components on them.

Reporter

Bis Ende 2008 will D-Wave einen Prozessor mit 1024 Qubits zum Laufen bringen. Sofern die Entwickler halten, was sie Risikokapitalgebern und künftigen Kunden versprechen, wäre das ein Quantensprung im wahrsten

Sinne des Wortes. Ganz ohne raumfüllende Laseroptiken derart viele Qubits zu koppeln - das wäre ein unglaublicher Fortschritt in unheimlich kurzer Zeit, der alle anderen Experten alt aussehen ließe. Doch die bleiben skeptisch. Nicht zuletzt, weil sich die Kanadier bezüglich Details ihrer revolutionären Technologie bedeckt halten. Wissenschaftliche Publikationen? Fehlanzeige.

Zuspiel 13: O-Ton Rose, 29:27 – 30:00

Our objective is to build quantum computers. It's not really to convince other people that we have...

Übersetzer: Darüber

Unser Ziel ist es, Quantencomputer zu bauen, und nicht andere Leute davon zu überzeugen, dass uns das gelungen ist. Unsere Mission unterscheidet sich deshalb deutlich von der anderer Forscher. Die bekommen fast immer öffentliche Gelder und müssen so viel wie möglich publizieren, um dann wieder neue Fördermittel zu erhalten. Wir dagegen haben Sponsoren, die gar nicht wollen, dass wir etwas veröffentlichen.

... We get funding from people who don't want us to publish. So our environment in which we work is quite different.

Reporter

Das macht es schwer einzuschätzen, wie ernst die Ankündigungen aus Burnaby zu nehmen sind, sagt der Quantencomputer-Experte Dr. David Weiss von der Penn State University - und bringt damit die Kritik vieler Kollegen auf den Punkt.

Zuspiel 14: O-Ton Weiss, 15:35 + 15:55

Without some peer reviewed work it's really hard to judge the validity of the various claims.

Reporter

Wenn an den Behauptungen tatsächlich etwas dran sein sollte, sagt David Weiss, dann wäre das allerdings in der Tat ein Knüller.

Zuspiel 15: O-Ton Weiss, 16:40

That would be amazing. If they could have a hundred qubits in a system...

Übersetzer: Darüber

Wenn die es wirklich schaffen, einen funktionierenden Quanten-Prozessor mit 100 Qubits zu bauen, dann hätten sie alle anderen Experten deklassiert.

... they would have really smoked the rest of the field. But I guess it remains to be seen.

Reporter

Den Beweis, dass ihr Quantenprozessor seinen Namen verdient, sind die Kanadier noch schuldig geblieben. Bei den bisherigen Vorführungen im Silicon Valley und anderswo haben die Wunderchips das Labor in Vancouver nie verlassen. Der Zugriff auf ihre supraleitenden Schaltkreise erfolgte über ein Internetportal aus der Ferne. Ein Szenario, dem D-Wave

auch bei der künftigen Vermarktung seiner Quanten-Prozessoren Priorität einräumt. Die Benutzer, also etwa ein Unternehmen oder Forschungsinstitut würde sein Problem über eine spezielle Software nach Kanada schicken, dort würde es gelöst und die Ergebnisse per Internet an den Kunden übermittelt.

Zuspiel 16: Musikalischer Akzent, futuristisch, wabernd, diffus
Liegt als abklingendes Bett unter folgendem Sprecherinnen-Text

Sprecherin: Darüber

Quantencomputer für Einsteiger - Kapitel 3: Qubits gerührt und geschüttelt.

Die Qubits auf dem D-Wave-Chip sind supraleitende Stromschleifen. Da die Ringströme in den Leiterschleifen winzige Magnetfelder erzeugen, spüren sich die Qubits gegenseitig. Genau so, wie sich magnetische Kompassnadeln, die man auf den Nägeln eines Fakirbrettes verteilt, gegenseitig beeinflussen. Die Stärke der Kopplung können die Kanadier regulieren. Für eine Rechnung wird das Qubit-Ensemble in einen genau definierten Anfangszustand versetzt und dann sich selbst überlassen. Die Gesetze der Thermodynamik führen dazu, dass sich die Magnetnadeln in einem Zustand minimaler Energie einpendeln – typischerweise innerhalb weniger Sekunden. Die Orientierung der Nadeln verrät dann die Lösung des Problems. Komplexe Optimierungsaufgaben und Datenbanksuchen sollen sich so deutlich schneller durchführen lassen.

Reporter

Der supraleitende Quantenprozessor von D-Wave ist dafür ausgelegt, quantenmechanische Systeme zu simulieren. Eine Aufgabe, für die sich Nanotechnologen und Biologen gleichermaßen interessieren. Die Eigenschaften komplexer Eiweißmoleküle zum Beispiel lassen sich heute nur näherungsweise berechnen. Die zugehörige Gleichung exakt zu lösen, ist für klassische Computer zu rechenintensiv. Mit verschränkten Qubits – prophezeien Theoretiker - ließe sich der Aufwand dramatisch reduzieren.

Bis es soweit ist, müssen die kanadischen Tüftler aber noch allerhand Probleme in den Griff bekommen: Die Fertigungsmethoden verfeinern, das Rauschen in den Zuleitungen unterdrücken und magnetische Störfelder auf dem Chip eliminieren. Um zügig voran zu kommen, will D-Wave künftig vermehrt externe Experten einbinden - und endlich Fachartikel publizieren.

Zuspiel 17: O-Ton Zumbühl, Track 25, 30s

Es ist einerseits sicher eine Konkurrenz, die weltweit stattfindet. Nicht nur zwischen Gruppen, die auf demselben Gebiet arbeiten, sondern auch zwischen vielleicht sonst nicht so direkt verwandten Feldern. Aber ich würde schon sagen: Es ist im Interesse von allen, dass das irgendwo gelingt und dass man Fortschritte macht. Ich persönlich wünsche allen Glück, die das versuchen.

Reporter

Professor Dominik Zumbühl von der Universität Basel ist Experte für Spin-Qubits: Mikroskopische Halbleiterpünktchen, in denen einzelne Elektronen

gefangen sind, wie Erbsen in einer Salatschüssel. Da der Eigendrehmoment der eingeschlossenen Elektronen – ihr Spin - in einem Magnetfeld nach oben oder unten zeigt, taugen sie als Quantenbit.

Zuspiel 18: O-Ton Zumbühl, Track 6, 27s

Spins in Quantumdots – das sind Nanostrukturen, die mit Fabrikationsmethoden hergestellt werden, sehr vergleichbar mit den Methoden der Halbleitertechnik und -industrie. Von daher denkt man eigentlich, dass es möglich sein sollte, solch ein System zu skalieren. Das heißt nicht nur ein, zwei, sondern in der Zukunft vielleicht auch 20, 50 oder 100 solche Quantenbits realisieren zu können.

Reporter

Und damit eine kritische Masse, die mit im Vakuum schwebenden Ionen wohl schwer zu schaffen sein wird. Weshalb es gut sein könnte, dass die eingeschlossenen Elektronen den Ionenfallen langfristig den Rang ablaufen. Aber noch stecke man in den Kinderschuhen, räumt Dominik Zumbühl ein. Ionen-Dompteure wie David Wineland in Boulder haben die Nase vorn.

Zuspiel 19: O-Ton Wineland, Track 29

I always like to compare it to a Marathon race where it might be argued that we're ahead but we can still see the starting line...

Übersetzer: Darüber

Ich vergleiche die Situation gerne mit einem Marathonlauf. Momentan liegen wir vorn - aber wir sind eben erst gestartet und der Weg ist noch lang. Vermutlich wird uns über kurz oder lang jemand einholen und hinter sich lassen. Aber noch ist völlig offen, wer am Ende das Rennen machen wird. Wir bemühen uns jedenfalls unseren Vorsprung zu halten.

... And I think we'll push as hard as we can to try and maintain this lead, but I wouldn't want to make too much out of this lead. We're only slightly ahead at this point.

Zuspiel 20: Musikalischer Akzent, futuristisch, wabernd, diffus

Liegt als abklingendes Bett unter folgendem Sprecherinnen-Text

Sprecherin: Darüber

Quantencomputer für Einsteiger - Kapitel 4: Verschränkte Qubits in der Falle.

Bei den Ionenfallen besteht das Qubit-Ensemble aus perlenförmig aufgereihten Ionen, die sich wegen ihrer elektrischen Ladung gegenseitig beeinflussen. Kitzelt man eines mit dem Laser, versetzt es den Rest der Kette in Schwingung. Der Informationsübertrag von Qubit zu Qubit bewirkt eine Kopplung. Diese so genannte Verschränkung lässt die einzelnen Qubits sekundenlang zu einem einzigen Quantensystem verschmelzen. Um damit zu rechnen, wird die Ionenkette mit einer komplizierten Abfolge von Laserpulsen traktiert, deren Sequenz charakteristisch für die logischen Operationen ist, die ausgeführt werden sollen. Am Schluss unterbricht ein Lichtblitz die quantenmechanische Schwebung, eine Kamera liest das Ergebnis ab.

Um das Münz-Bild wieder aufzugreifen: Es wäre in etwa so, als würde man eine Handvoll Münzen mit genau definiertem Schwung in die Luft werfen und dann einige davon mit Laserstrahlen beschießen, um ihre Flugbahn zu verändern und sie mit anderen rotierenden Geldstücken kollidieren zu lassen. Nach dem Aufprall auf dem Boden liefert die Verteilung von Kopf und Zahl die Antwort.

Reporter

Möglichst viele Qubits zu koppeln, war lange oberstes Ziel der Forschung. Doch die Ionen-Dompteure haben ihre Prioritäten geändert. 10 Ionen und mehr sind heute schon drin. Statt diese Zahl weiter nach oben zu schrauben, verfeinern die Forscher die lasergesteuerten Schaltvorgänge. Wie zuverlässig die funktionieren, ist nämlich der Schlüssel zum Heiligen Gral des Quantenkalküls: Der Fehlerkorrektur, erklärt David Wineland.

Zuspiel 21: O-Ton Wineland, Track 14, 70s

It's similar to what's being done in classical computing and it's trying to be able to correct for errors...

Übersetzer: Darüber

Wie bei klassischen Computern auch brauchen wir Methoden, um Fehler zu korrigieren, die sich im Lauf einer Kalkulation einschleichen. Die Theoretiker sagen uns: Wenn ihr es schafft, die Güte eurer logischen Operationen auf mindestens 99,99 Prozent zu steigern, dann könnt ihr dank Fehlerkorrektur beliebig lange Befehlsketten abarbeiten, ohne Gefahr zu laufen, dass die gespeicherte Quanteninformation auf der Strecke bleibt. 99,99 Prozent Genauigkeit: Das bedeutet, maximal einer von 10 000 Schaltvorgängen darf daneben gehen. Momentan gehen 3 von 100 schief. Das weiter zu verbessern, wird dauern.

... In other words an error rate of one in 10000. As you see, we'll have a long way to go and certainly any other implementations will have a long way to go in this respect as well.

Reporter

Laser stabilisieren, Magnetfelder abschirmen und Temperaturschwankungen eliminieren lautet die Devise. Ende April 2008 publizierten die Innsbrucker Wissenschaftler um Rainer Blatt eine neue Bestmarke: Einen elementaren Quantenlogikbaustein mit einer Güte von 99,3 Prozent. 21 logische Operationen am Stück konnten die Österreicher damit ausführen, bevor ihnen der empfindliche Überlagerungszustand ihres Qubit-Duos zwischen den Fingern zerann. Ein weiterer Trippelschritt auf dem Weg zum Ionenbasierten Quantenprozessor.

Zuspiel 22: O-Ton Leibfried, Track 48

So I think finally maybe you want to have a look at our most ambitious trap so far. And that only exists as a prototype so far...

Reporter: Darüber

Wie solch ein Quantenprozessor aufgebaut sein könnte, darüber hat man sich in Innsbruck wie Boulder natürlich längst Gedanken gemacht. Am US-Institut für Standards und Technologie setzt man auf eine Art Pferderennbahn im Chipformat. Statt Vierbeinern sollen tiefgekühlte Qubits auf die Bahn geschickt und von komplizierten Elektrodenstrukturen in der Spur gehalten werden, erklärt Didi Leibfried.

Zuspiel 23: O-Ton Leibfried, Track 54 + Track 59

It's a little bit like a honeycomb structure, but it's more elongated...

Übersetzer: Darüber

Man hat eine Art Förderband, mit dem man Ionen zwischen verschiedenen Zonen hin und her schieben kann. In einer werden sie mit Laserstrahlen präpariert, in einer anderen kommen sie mit anderen Qubits in Kontakt, um ein logisches Schaltelement zu bilden, in einer dritten Zone wird ihre Information ausgelesen.

...read out.

Reporter

Der nächste logische Schritt wäre dann, verschiedene Regionen auf dem Chip mit einer Art optischen Telefonleitung zu koppeln. Damit ließe sich die Information eines Qubits an eine andere Stelle auf dem Chip übertragen – etwa vom Speicher in den Prozessor - ohne das Ion bewegen zu müssen. Ein Vorgang, der dem Beamen bei Raumschiff Enterprise ähnelt. Auch diese Science-Fiction-Technologie wurde in Boulder, Innsbruck und anderswo bereits erprobt.

All die laseroptischen Husarenstücke auf einem Chip zu vereinen, wird aber sicher noch viele Jahre dauern. Geordie Rose, der Gründer der kanadischen Firma D-Wave, kann und will nicht so lange warten. Mit den 1024 Qubit-Prozessoren, die man derzeit entwickle, werde man demonstrieren, sagt Rose, dass Quantencomputer bei der Lösung bestimmter rechenintensiver Probleme unschlagbar sind.

Ein anschauliches Beispiel dafür ist der Handlungsreisende, der die kürzeste Route für den Besuch einer vorgegebenen Zahl von Städten wissen will. Das Problem dabei: Je mehr Städte man hinzufügt, desto komplizierter wird die Berechnung des optimalen Weges. Bei einem klassischen Computer explodiert die Zahl der nötigen Rechenschritte förmlich: Sie wächst exponentiell.

Zuspiel 24: O-Ton Rose, 40:30 41:10

If you can show that the runtime of your solution only increases linearly or quadratically with the size of the problem...

Übersetzer: Darüber

Wenn wir zeigen können, dass die nötigen Rechenschritte bei unserem Quantenprozessor viel langsamer zunehmen, dann können wir eine klare Grenze definieren und sagen: Wenn wir eine Maschine mit X Qubits bauen,

dann wird sie allen anderen überlegen sein. Selbst wenn sie alle Prozessoren, die jemals hergestellt wurden, zusammen schalten und die cleversten Algorithmen verwenden – sie könnten dieser Rechenmaschine nie das Wasser reichen.

...and use the smartest algorithms you can possibly think of – you will never be able to touch this machine.

Zuspiel 25: O-Ton Rose, 41:18 – 41:50

So, where is the crossover? I don't know. I suspect it's somewhere around a 10 000 Qubits of the type we are building now...

Übersetzer: Darüber

Wo diese Grenze liegt? Ich weiß es nicht. Vermutlich bei etwa 10 000 jener supraleitenden Qubits, die wir verwenden. In 2 bis 3 Jahren sollte es möglich sein, so viele auf einem Chip unterzubringen. Dann hätten wir einen Quantenprozessor, der Probleme lösen kann, die den teuersten klassischen Computer überfordern.

.. quantum computer, that could solve problems you couldn't solve with classical computer – regardless of how many dollars you have.

Reporter

Als es IBM-Forschern 2001 gelang, Peter Shors Algorithmus auf einem simplen Quantencomputer mit 7 Qubits zu implementieren und damit die Zahl 15 in ihre Primfaktoren 3 und 5 zu zerlegen, war das eine Sensation. Um mit Shors Quantencode Verschlüsselungen zu knacken, bei denen heutige Supercomputer die Waffen strecken, bräuchte man allerdings zehntausende verschränkter Qubits. Einen Sack Flöhe zu hüten, ist dagegen ein Picknick. Doch die Fortschritte der vergangenen Jahre belegen: Prinzipielle Hindernisse für den Bau eines Quantencomputers scheint es nicht zu geben.

David Wineland, der nobelpreisverdächtige Physiker aus Boulder, glaubt: Der Einsatz lohnt sich - auch wenn der erste Quantenrechner, der diesen Namen verdient, vielleicht nie als Code-Knacker eingesetzt wird.

Zuspiel 26: O-Ton Wineland, Track 28, 45s

I think most scientists would say: Yes we've only begun to scrape the surface of what a device might be useful for...

Übersetzer: Darüber

Die meisten Wissenschaftler sind sich einig, dass wir derzeit nur ahnen können, wofür ein Quantencomputer am Ende gut wäre. Wir kennen derzeit nur ein paar Killer-Anwendungen wie die Faktorisierung großer Zahlen. Aber in der Wissenschaft ist es doch immer so: Wenn es eine neue Technologie gibt, finden sich immer auch neue Anwendungen dafür, an die keiner gedacht hatte. Bei Quantencomputern wird es sicher genauso sein.

... undoubtedly, we will find other things that are unanticipated at this point. Based on all the examples in the past, we can be optimistic.