

GLOBE



AUFBRUCH INS UNGEWISSE

Wie Grundlagenforschung
Optionen für die Zukunft schafft

SEITE 12

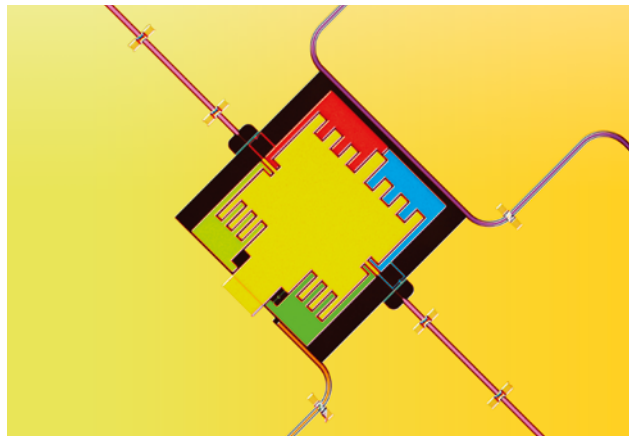
Chinas Aufstieg
zur KI-Supermacht
SEITE 8

Schwitzen für
ein kühleres Singapur
SEITE 36

Beekeeper: Imker
der digitalen Welt
SEITE 46

Quantencomputer galten lange als Utopie. Inzwischen weiss man: Solche Rechner lassen sich bauen. Doch bis sie nützlich sind, braucht es noch einiges an Grundlagenarbeit – und viel Geld.

TEXT Felix Würsten



Diese Quantenschaltung wurde gebraucht, um Vorgänge der Photosynthese bei Pflanzen im Modell zu simulieren.

Eine Vision wird Realität

Als Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger, Wolfgang Pauli und andere grosse Physiker in den 20er-Jahren die Grundlagen der Quantenmechanik erarbeiteten, konnten sie sich wohl kaum vorstellen, dass 90 Jahre später, basierend auf ihren exotisch anmutenden Theorien, gewaltige Summen in den Bau futuristischer Rechenmaschinen investiert würden. Tatsächlich hat sich in den letzten Jahren ein regelrechter Wettlauf entwickelt, wer denn nun als Erster einen Quantencomputer herstellen wird, der Aufgaben lösen kann, die konventionelle Computer aufgrund der langen Rechenzeit nicht meistern können. Nicht nur amerikanische Grosskonzerne wie Google, Microsoft, IBM und Intel wenden heute grosse Sum-

men auf, um den Bau solcher Rechner zu ermöglichen. Auch China investiert Milliardenbeträge in diese zukunftssträchtige Technologie.

Diese rasante Entwicklung erstaunt, auch wenn Quantencomputer schon seit Längerem als regelrechte Wundergeräte angepriesen werden. Denn noch kurz vor der Jahrtausendwende diskutierte man in Fachkreisen ernsthaft darüber, ob es denn überhaupt möglich sei, die rätselhaften Phänomene der Quantenmechanik zum Lösen von praktischen Problemen zu nutzen.

Inzwischen weiss man: Der Bau eines Quantencomputers ist prinzipiell möglich. Heute ist man in der Lage, einige Dutzend Quanteneinheiten – sogenannte Qubits, wie die >

Einheiten, mit denen Quantencomputer rechnen, genannt werden – zu kontrollieren, erklärt Andreas Wallraff, Professor für Festkörperphysik: «Die Frage ist also: Wie lange dauert es noch, bis diese Rechenmaschinen für konkrete Anwendungen genutzt werden können?» Rund eine Million Qubits, so schätzt Wallraffs Kollege Matthias Troyer, Professor für Theoretische Physik, müssten dazu miteinander verknüpft werden. «Das ist ein grosser Sprung», räumt er ein. «Doch wir haben heute sehr konkrete Pläne, wie man so eine Maschine bauen kann. Es gibt keine fundamentalen wissenschaftlichen Hürden mehr.»

Unterschiedliche Wege

Die Quantenforscher verfolgen dabei verschiedene Ansätze. Während manche Forschende zum Rechnen Ionen als quantenmechanische Objekte verwenden möchten, setzen andere auf spezielle Halbleitermaterialien oder supraleitende Schaltungen. Welche Technik sich letztlich durchsetzen wird, ist noch offen. «Im Moment

haben die supraleitenden Schaltungen die Nase vorne», erklärt Wallraff, der selber in seiner Gruppe mit dieser Technologie arbeitet.

Aus technischer Sicht gilt es vor allem zwei Hindernisse zu bewältigen: Zum einen ist die Steuerung der Quantenobjekte sehr aufwändig und die dazu erforderliche Elektronik muss erst noch entwickelt werden. Zum anderen müssen die heutigen Komponenten massiv verkleinert werden, damit sie zu einem brauchbaren Computer verbunden werden können. Dabei stellt sich beispielsweise bei den supraleitenden Schaltungen das Problem, dass die bisherigen Verfahren, die man in der Chipindustrie für die Integration von Schaltkreisen verwendet, nicht einfach telquel übernommen werden können. Denn sie führen dazu, dass die Qualität der Qubits schlechter wird und das Ziel, mit ihnen zu rechnen, also in weitere Distanz rückt. «Die Chiphersteller müssen ganz neue Lösungen finden, um diese Aufgabe zu meistern», erklärt Wallraff.

Anwendungen gesucht

Die Fortschritte bei der Entwicklung der Hardware beindrucken auch Renato Renner, Professor für Theoretische Physik. Für ihn steht inzwischen eine andere Frage im Vordergrund: Was genau will man mit den Quantencomputern eigentlich machen? Bis vor Kurzem wusste man nur bei einer

konkreten Anwendung, dass ein Quantencomputer herkömmlichen Rechnern klar überlegen wäre: der Faktorzerlegung grosser Zahlen. Doch just diese Anwendung ist kommerziell gesehen nicht interessant. Mit ihr kann man zwar die heutigen Verschlüsselungstechniken knacken, was für Regierungen und Nachrichtendienste eine reizvolle Aussicht ist. Doch wirklich Geld verdienen lässt sich damit nicht. Auch Wallraff sieht diesen Punkt kritisch: «Wenn es nicht gelingt, in absehbarer Zeit kommerziell interessante Anwendungen zu finden, werden die grossen Firmen auf Dauer die notwendigen Investitionen nicht tätigen. Und die Hochschulen alleine verfügen nicht über genügend Mittel, einen praxistauglichen Rechner zu bauen.»

Dass die führenden Computerfirmen heute dennoch bereit sind, viel Geld in die Hand zu nehmen, dazu hat Troyer einen wichtigen Beitrag geleistet. Er zeigte vor ungefähr drei Jahren konkret auf, dass ein Quantencomputer bestimmte chemische Simulationen effizienter lösen kann als ein herkömmlicher Rechner. «Mit einem Quantencomputer könnte man das Verhalten von Molekülen viel genauer voraussagen als bisher», erklärt er. «Das wäre bei der Entwicklung von neuen Chemikalien oder Materialien ein grosser Vorteil.» Dieses Beispiel überzeugt auch Wallraff: «Die Entwicklung von Medikamenten erfor-



Matthias Troyer

ist Professor am Institut für Theoretische Physik. Er befasst sich mit Themen aus dem Bereich Quanteninformatik: von der Simulation von Materialien und Quantenbauelementen bis hin zu Quantensoftware und Anwendungen künftiger Quantencomputer.

→ www.comp.phys.ethz.ch

«Wir haben sehr konkrete Pläne, wie man so eine Maschine bauen kann.»



«Wenn es nicht gelingt, kommerziell interessante Anwendungen zu finden, werden notwendige Investitionen ausbleiben.»



Andreas Wallraff

ist Professor am Laboratorium für Festkörperphysik. In seiner Forschung beschäftigt er sich schwergewichtig mit quantenoptischen Systemen und der Verarbeitung von Quanteninformationen in supraleitenden Schaltungen.

→ qudev.phys.ethz.ch

dert heute Milliardeninvestitionen. Wenn man diese Kosten dank Quantencomputern reduzieren kann, gibt es ein handfestes Interesse, diese kostspieligen Geräte zu entwickeln.»

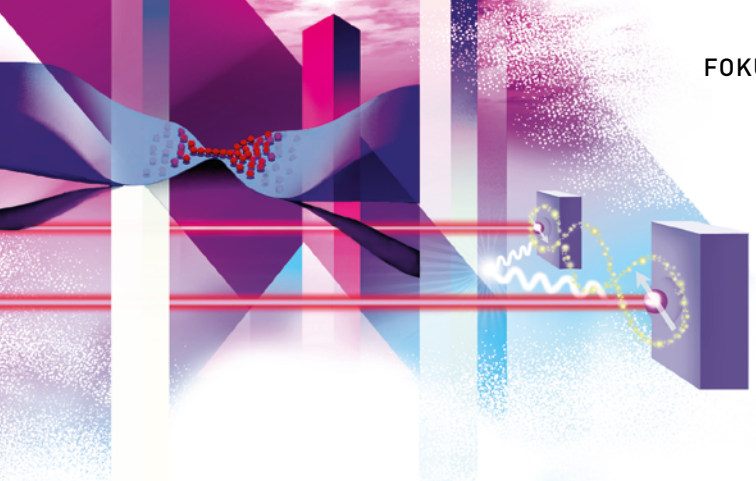
Dass es bis heute noch kaum konkrete Anwendungsbeispiele gibt, beunruhigt Renner nicht weiter. «Bisher sind Quantencomputer hypothetische Geräte. Man kann nicht erwarten, dass sich Heerscharen von Informatikern mit einer Maschine beschäftigen, die es erst auf dem Papier gibt.» Das werde sich ändern, sobald sich die Diskussion nicht mehr alleine um die Hardware drehe, sondern auch um die Software. «Quantencomputer verfügen über ein viel breiteres Spektrum an Befehlen als klassische Rechner», erläutert Renner. «Deshalb brauchen wir Informatiker, die diese Vorteile auch nutzen können.»

Heute gibt es erst wenige Spezialisten, die so wie Troyer in der Lage sind, Quantenrechner zu programmieren. «Wir brauchen Informatiker,

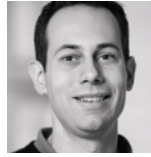
die auch Kenntnisse in Quantenmechanik haben und sich in dieser Welt zurechtfinden», bestätigt Toyer. «Der Bau eines Quantencomputers macht nur Sinn, wenn man weiss, wie man die Quanteneffekte zur Lösung von Problemen einsetzen kann.»

Europa im Wettbewerb

Angesichts der Aufbruchsstimmung in diesem Fachgebiet stellt sich für Europa die Frage, ob es mit Amerika und Asien mithalten kann. «Europa hat wichtige Forschungsbeiträge in diesem Gebiet geleistet», erklärt Troyer. «Dennoch fällt es den europäischen Ländern schwer, diese Resultate in konkrete Wertschöpfung umzusetzen.» Das liege auch daran, dass die amerikanischen Firmen langfristig denken. «Sie machen sich bereits heute Gedanken, wie es mit der Computerindustrie weitergehen soll, wenn man bei der Entwicklung von Computerchips an das physikalisch bedingte Limit stossen wird.»



«Vielleicht wird sich nun – ähnlich wie in der Pionierzeit der Quantenmechanik – das physikalische Weltbild ändern.»



Renato Renner

ist Professor für Theoretische Physik. Seine Forschungsinteressen liegen im Bereich der Quanteninformationswissenschaften, der Quantenthermodynamik und der Grundlagen der Quantenphysik.

→ www.qit.ethz.ch

Hinweisen suchen, wie sie ihr Standardmodell ergänzen könnten, hofft auch Renner, dass beim Bau von Quantencomputern mögliche Widersprüche in der Quantenmechanik sichtbar werden. Für die Physiker ist insbesondere der Übergang zwischen der atomaren Welt, in der die Regeln der Quantenmechanik gelten, und der makroskopischen Welt, die den Gesetzmässigkeiten der klassischen Physik folgt, von Bedeutung. Wenn man künftig grössere Quantensysteme untersuchen kann, versteht man wahrscheinlich auch besser, was genau an diesem Übergang passiert. «Vielleicht wird sich nun – ähnlich wie in der Pionierzeit der Quantenmechanik – unser physikalisches Weltbild nochmals grundlegend ändern», hofft Renner. «Es wäre schön, wenn der Bau des Quantencomputers dazu einen Beitrag leisten würde.» ○

Immerhin: Die EU hat kürzlich ein gross angelegtes Flaggschiff-Programm lanciert und will über die nächsten zehn Jahre hinweg 1 Milliarde Euro investieren, damit auch in Europa quantenmechanische Erkenntnisse vermehrt in konkrete Produkte umgesetzt werden. Ob dieses Geld ausreicht, um im globalen Wettbewerb mitzuhalten, muss sich weisen: China beispielsweise investiert in den nächsten Jahren 10 Milliarden Dollar in ein neues nationales Labor für Quantenwissenschaften. Und wenn man bedenkt, dass alleine schon die Entwicklung eines neuen Intel-Chips Milliarden verschlingt, relativiert sich der Betrag, den die EU für die Quantenforschung ausgeben will. Bemerkenswert findet Wallraff, dass in Europa eher die kleineren Länder führend sind. Die Niederlande, Dänemark, Österreich und die Schweiz haben einen vergleichsweise hohen wissenschaftlichen Output in diesem

Bereich. «Die Schweiz und auch die ETH Zürich befinden sich in einer guten Ausgangslage», stellt er fest. «Umso wichtiger ist es, dass sie sich nun überlegen, wie sie sich künftig positionieren wollen.»

Mit dem stärkeren Engagement der grossen Konzerne hat auch die Berichterstattung in den Medien zugenommen, denn die Firmen preisen ihre Fortschritte in den höchsten Tönen an. Auch wenn die Anwendung in der öffentlichen Wahrnehmung inzwischen im Vordergrund steht: Für die Grundlagenforscher gibt es auch 100 Jahre nach den ersten Pionierarbeiten noch viel zu tun. «Im Grunde genommen ist ein Quantencomputer ein grosses quantenmechanisches Experiment», erklärt Renner. Als Grundlagenforscher erhofft sich Renner Anregungen, wie man die Quantenmechanik erweitern könnte. Ähnlich wie die Teilchenphysiker, die mit ihren grossen Beschleunigern nach