

Die Rechenkunst des Quantencomputers

Lange existierten Quantencomputer nur als Utopie in den Köpfen von Physikern. Inzwischen gibt es sie wirklich. Welche Probleme sich mit ihnen künftig womöglich lösen lassen, kann man theoretisch untersuchen – der Physiker Privatdozent Dr. Thomas Neuhaus nutzt dazu herkömmliche, aber extrem leistungsstarke Rechner: die Jülicher Supercomputer.

Die Zukunft hat schon begonnen. Das wird mancher denken, wenn er liest, dass man seit 2011 beim kanadischen Unternehmen D-Wave Quantencomputer kaufen kann. Während alle gängigen PCs, Smartphones und Höchstleistungsrechner als kleinste Informationseinheiten Bits verwenden,

die nur die Werte 0 und 1 annehmen können, arbeiten Quantencomputer mit Quanten-Bits, kurz Qubits, die aus vielen sich überlagernden Zuständen bestehen. Dadurch sind Quantencomputer prinzipiell in der Lage, anders als herkömmliche Prozessoren mit jedem Schaltvorgang viele Rechenoperationen gleichzeitig

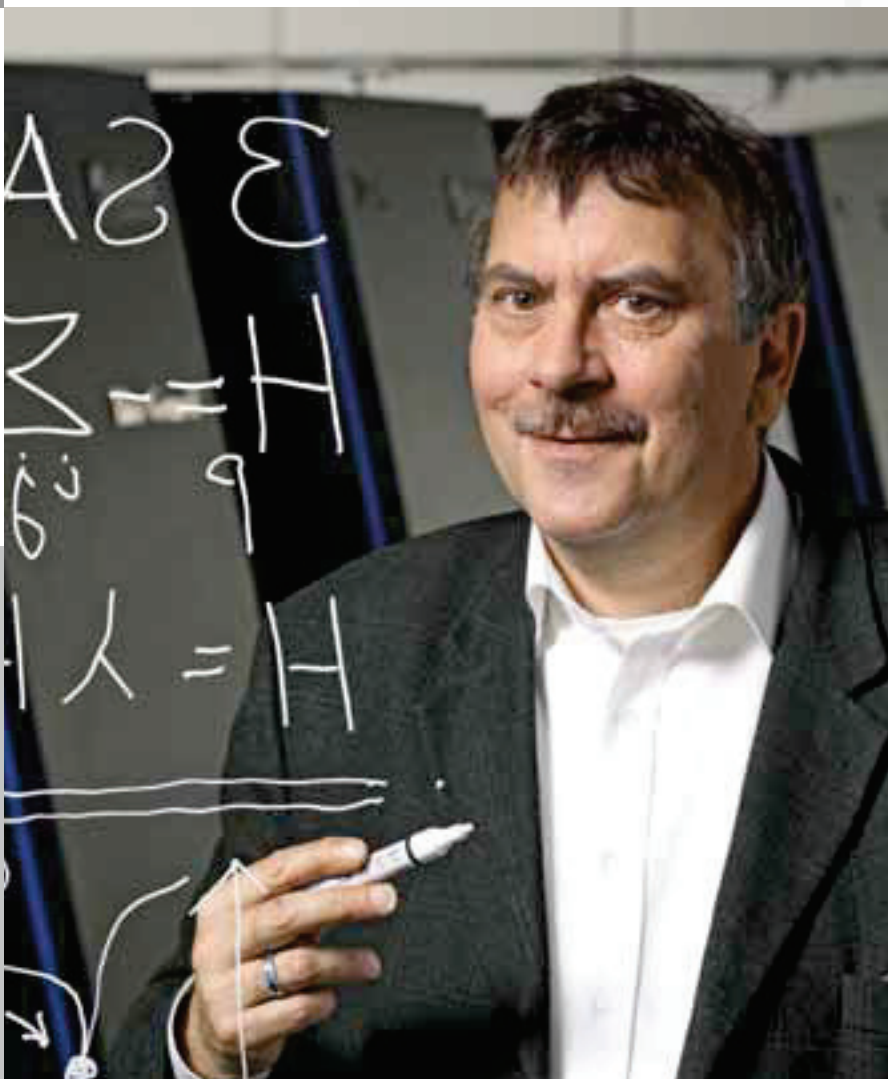
durchzuführen. Vor allem deshalb hoffen Physiker seit den 1980er-Jahren, dass Quantencomputer bestimmte Rechenaufgaben mit unvorstellbarer Geschwindigkeit lösen könnten.

VERBLÜFFENDE VARIANTE

Für Quantencomputer haben die Experten bisher überwiegend ein Konzept verfolgt, bei dem die Qubits von Teilchen – zum Beispiel von Atomkernen – gebildet werden, deren quantenmechanischer Drehimpuls, der Spin, gezielt beeinflusst werden kann. „Bei solchen Quantencomputern wird versucht, die Logik, die ein normaler Computer für das Addieren, Multiplizieren und überhaupt das Rechnen braucht, auf die Drehung einzelner Spins zu übertragen“, erläutert Thomas Neuhaus von der Jülicher Forschergruppe „Quantum Information Processing“. Das Problem: Jeder einzelne Spin muss sehr präzise eingestellt werden, was bereits für reale Systeme von lediglich vier oder acht Qubits sehr schwierig ist.

Neuhaus beschäftigt sich dagegen mit der Theorie einer neuen und besonders verblüffenden Variante des Quantencomputers. Diese Variante, den adiabatischen Quantencomputer, hat

Mathematische Formeln und die Jülicher Superrechner (im Hintergrund) sind das Handwerkszeug von Privatdozent Dr. Thomas Neuhaus, der die mögliche Leistungsfähigkeit künftiger Quantencomputer erforscht.



D-Wave in der Praxis verwirklicht – nach eigenen Angaben mit 128 Qubits. „Ein adiabatischer Quantencomputer muss keine Berechnungen durchführen, also keine Gleichungen lösen und nichts multiplizieren, um ein schwieriges mathematisches Problem zu lösen“, sagt Prof. Kristel Michielsen, Leiterin der Forschergruppe am Jülicher Institute for Advanced Simulation. Sie räumt ein, dass die Arbeitsweise des adiabatischen Quantencomputers (siehe „Handlungsreisender im Quantencomputer“) das menschliche Vorstellungsvermögen strapaziert.

LÖSUNG FÜR „NICHT HANDHABARES“

Viele Experten hofften bislang, dass Quantencomputer herkömmliche Rechner vor allem bei denjenigen mathematischen Problemen alt aussehen lassen, die als „nicht handhabbar“ eingestuft werden. Das klassische Beispiel dafür ist das „Problem des Handlungsreisenden“: Dabei gilt es, die kürzeste Tour durch eine Menge von Städten zu finden, wobei der Reisende jede Stadt genau einmal besucht und zum Ausgangspunkt zurückkehrt. Mathematisch exakt lässt sich dieses Problem nicht behandeln, sondern man kann nur eine Lösung finden, die möglichst gut ist. Für eine solche Aufgabe steigen die Rechenzeiten auf einem herkömmlichen Computer mit der Anzahl der einzubeziehenden Städte explosionsartig an.

„Wir haben ein spezielles nicht handhabbares mathematisches Problem darauhin untersucht, wie effektiv es sich mit einem adiabatischen Quantencomputer behandeln lässt“, sagt Neuhaus. Da die Jülicher Theoretiker keinen D-Wave-Quantencomputer zur Verfügung haben, simulieren sie die Abläufe extrem zeitaufwendig auf den Jülicher Supercomputern. Dabei sind sie zu einer spektakulären, gleichwohl eher ernüchternden Erkenntnis gelangt: Das untersuchte Problem bleibt auf einem Quantencomputer genauso nicht handhabbar wie auf jedem anderen Rechner. „Unsere Forschung soll auch künftig dabei helfen, die Nützlichkeit von Quantencomputern realistischer zu bewerten“, sagt Neuhaus.

Grundsätzlich ist der Jülicher Physiker davon überzeugt, dass der adiabatische Quantencomputer eine Zukunft hat. Sollte es D-Wave gelingen, die Zahl der Qubits in seinem Quantencomputer auf 512 zu erhöhen, könnte dieser die Leistungsfähigkeit eines heutigen Supercomputers bereits übertreffen. „Und dabei verbraucht er nur rund ein Tausendstel so viel Energie wie ein konventioneller Superrechner“, betont Neuhaus. ::

Der Weg zum Ziel

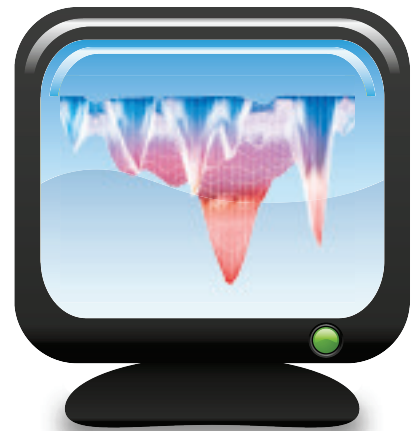
Der Standard-PC

löst mit mehreren Vorgängen, bei denen Bits zwischen 0 und 1 umgeschaltet werden, einen einzigen Rechenschritt.



Der Quantencomputer

kann prinzipiell mit jedem Schaltvorgang sehr viele Rechenschritte (Qubit-Drehungen) auf einmal ausführen.



Der adiabatische Quantencomputer

ermittelt den tiefsten Punkt einer Energiefunktion, die das zu lösende Problem beschreibt. Dieser Funktion nähert er sich – ausgehend von einem vereinfachten Problem – schrittweise an.

Handlungsreisender im Quantencomputer

Der Nutzer eines adiabatischen Quantencomputers würde das Problem des Handlungsreisenden (siehe Artikel) zunächst stark vereinfachen, indem er zum Beispiel alle Städte auf einem Kreis anordnet. Dieses vereinfachte Problem formuliert er dann mathematisch mit Hilfe einer Hamilton-Funktion, benannt nach dem irischen Mathematiker und Physiker William Rowan Hamilton (1805–1865). Sie beschreibt den Energiezustand eines quantenmechanischen Systems. Die bekannte Lösung des vereinfachten Handlungsreisenden-Problems entspricht dem

Energieminimum eines solchen quantenmechanischen Systems, das die zentrale Komponente des Quantencomputers ist.

Soll der adiabatische Quantencomputer nun das Problem des Handlungsreisenden für eine reale Städte-Anordnung lösen, so muss die ursprüngliche Hamilton-Funktion solange in kontrollierten Schritten verändert werden, bis diese das Problem beschreibt. Aufgrund eines Naturgesetzes befindet sich das quantenmechanische System bei jedem der Schritte immer im jeweils niedrigsten Energiezustand. Kommt das System bei

der Hamilton-Funktion an, die das reale Handlungsreisenden-Problem beschreibt, so ist die Lösung gefunden: Es ist das Energieminimum des erreichten quantenmechanischen Zustands.

Auch der adiabatische Quantencomputer kann Probleme nicht ohne wirklichen Aufwand lösen. Auf dem Weg zur realen Städteanordnung trifft der Computer auf einen Quantenphasenübergang, an dem er viele kleine Schritte durchführen muss, um im Energieminimum zu verbleiben.