

Hart und kühl kalkuliert.

Die Realisierung eines Quantencomputers rückt näher.

Günter Sturm, ScienceUp Sturm und Bomfleur GbR,
Camerloherstr. 19, D-85737 Ismaning
www.ScienceUp.de

Physiker aus Japan, den Niederlanden und den USA haben einen großen Schritt hin zum Bau eines Quantencomputers getan. Yasunobu Nakamura und seine Kollegen von den RIKEN- und NEC-Laboratorien in Japan und von der "State University of New York, Stony Brook" haben zum ersten Mal zwei Qubits (Quanten-Bits) in einem Festkörper "verschränkt"[1]. Gleichzeitig haben der mit Nakamura zusammenarbeitende rumänische Physiker Irinel Chiorescu und seine Kollegen von der Delft University of Technology aus den Niederlanden einen neuen Typ eines supraleitenden Qubits entwickelt [2].

Quanten-Bits oder *Qubits* sind die "Schaltelemente" in einem Quantencomputer (für eine Einführung, siehe z. B. [3]). Zwei grundlegende quantenmechanische Prinzipien werden für Quantencomputer benötigt: Die *Superposition* von quantenmechanischen Zuständen und die *Verschränkung* zwischen mehreren Teilchen. Superposition bedeutet kurz gesagt, dass ein Teilchen nicht nur im Zustand a (z. B. Spin "auf") oder im Zustand b (z. B. Spin "ab") existieren kann, sondern auch in einer Mischung dieser beiden Zustände. Verschränkung zwischen Teilchen bedeutet, dass sie durch eine gemeinsame Wellenfunktion beschrieben werden. Sie verhalten sich dann wie ein einzelnes Teilchen (siehe z. B. [4]). Das Superpositions-Prinzip gilt auch für verschränkte Teilchen.

Um aus Qubits einen Quantencomputer zu bauen, müssen diese in einer kontrollierten Art und Weise zur Wechselwirkung gebracht werden. Hierfür gibt es mehrere experimentelle Ansätze: So kann z. B. der Spin von Atomkernen als Qubit dienen. Die geeignete Rechenmethode ist hier die NMR (kernmagnetische Resonanz). Oder man verwendet geladene Atome (Ionen), die frei schwebend in einer "elektrischen Falle" wie auf einer Perlenschnur aufgereiht sind und mit Laserpulsen manipuliert werden. Beide Verfahren haben aber einen großen Nachteil: Die benötigten Apparaturen haben Wohnzimmergröße und sind sehr teuer (Größenordnung 1.000.000 Euro). Am einfachsten wäre es, wenn ein Quantencomputer im Inneren ähnlich wie ein herkömmlicher PC aus festen Schaltkreisen aufgebaut wäre. Grundbausteine solcher Festkörper-Quantenrechner könnten winzige supraleitende Metallplättchen sein, die wie bei einem PC mit elektrischer Spannung manipuliert werden.

Nakamura et al. haben jetzt kleine "Kästchen" eines supraleitenden Materials verwendet, die über einen Kondensator mit einer "Josephson-junction" (eine dünne Isolatorschicht, die als "supraleitendes Reservoir" dient) verbunden wurden. Ein Cooper-Paar von Elektronen (zwei

über Gitterschwingungen gekoppelte Elektronen) kann durch den Isolator in das Kästchen tunneln. Das Kästchen selbst ist hier das Qubit, es kann in zwei Zuständen existieren: In einem gibt es einen Überschuss an Cooper-Paaren, im anderen nicht. Die Qubits werden über den Kondensator zur Wechselwirkung gebracht. Damit wird ein verschränktes Qubit-Paar erzeugt.

Obwohl das Team um Nakamura noch keinen bestimmten verschränkten Zustand gemessen hat, konnten sie zeigen, dass das Qubit-Paar verschränkt ist. Damit scheint es also tatsächlich möglich zu sein, ein "quantenlogisches Gitter" aus Festkörper-Einheiten aufzubauen. Viele solcher Einheiten würden dann die Bausteine eines Quantencomputers bilden.

Einen anderen experimentellen Weg ging das Team um Chiorescu: Hier wurden drei Josephson-junctions zu einem Ring vereinigt. In diesem System bilden makroskopische Ströme aus Milliarden von Cooper-Paaren, die den Ring in entgegengesetzten Richtungen durchlaufen, die Quantenzustände. Das Qubit ist hier nichts anderes als ein supraleitender Aluminiumring mit einem Durchmesser von 2 Tausendstel Millimeter. Der Vorteil dieses Ansatzes ist die relativ günstige Produktionstechnik, so dass die Autoren glauben, hier den ersten überzeugenden "Kandidaten" für den Bau eines Quantencomputers gefunden zu haben. Bisher bereitet es aber noch experimentelle Probleme, zwei mit dieser Technik erzeugte Qubits zu verschränken. Für einen funktionierenden Quantencomputer müssten hunderte bis tausende solcher Qubits verschränkt werden. Zumindest die Größe der Schaltkreise macht aber keine Probleme: Ein 1.000 Qubit-Quantencomputer wäre nicht größer als ein Daumennagel. Mehr Infos hierzu finden Sie auf der englischsprachigen Flux-qubit Website [5].

So einfach diese Festkörpertechnik klingt, sie würde sich allein schon wegen der für die Supraleitung nötigen kalten Temperaturen von einigen Milli-Kelvin nicht zum Bau von Quantencomputern eignen, die Sie in jedem Elektronik-Markt kaufen könnten. Und auch wenn mit diesen Experimenten die prinzipielle Realisierung eines Quantencomputers näher gerückt ist, muss noch viel Grundlagenforschung geleistet werden. Ein zentrales Problem ist nach wie vor, Umwelteinflüsse auf Quantencomputer zu vermeiden. Quantencomputer lassen sich durch jede kleine Störung leicht "durcheinanderbringen". Dies führt zur Dekohärenz [6], dem Zerfall des Quantenzustands, und damit auch zum Verlust der Rechenergebnisse. Quantencomputer, die komplexe Probleme lösen und diese Berechnungen um Größenordnungen schneller als herkömmliche Computer ausführen, sind frühestens in 15 bis 30 Jahren zu erwarten.

Günter Sturm

Literatur:

- [1] Yu. A. Pashkin, T. Yamamoto, O. Astafiev, Y. Nakamura, D. V. Averin, J. S. Tsai, Quantum oscillations in two coupled charge qubits, *Nature* 421, 823 (2003).
- [2] I. Chiorescu, Y. Nakamura, C. J. P. M. Harmans, J. E. Mooij, Coherent Quantum Dynamics of a Superconducting Flux Qubit, published online February 13 2003, 10.1126/science.1081045 *Science Express Reports* (2003).
- [3] G. Sturm, Quantencomputer, *Quanten.de Newsletter* März/April 2002, ISSN 16183770, online abrufbar unter www.quanten.de/newsletter.html.
- [4] B. Bomfleur, Beamen von Quantenzuständen, *Quanten.de Newsletter* Mai/Juni 2001, ISSN 16183770, online abrufbar unter www.quanten.de/newsletter.html.
- [5] <http://qt.tn.tudelft.nl/research/fluxqubit/fluxqubit.html>
- [6] B. Bomfleur, Schrödingers Katze, *Quanten.de Newsletter* September/Okttober 2001, ISSN 16183770, online abrufbar unter www.quanten.de/newsletter.html.

© 2003 ScienceUp Sturm und Bomfleur GbR, Alle Rechte vorbehalten. Nichtkommerzieller Nachdruck und Wiedergabe gestattet bei Quellenangabe ScienceUp Sturm und Bomfleur GbR, www.ScienceUp.de.