

Quantencomputer

Wenn man mit Photonen rechnet

Von Rainer Scharf



Mehrere Millionen Operationen wären pro Sekunde möglich

31. Januar 2007

Während die Funktionsweise herkömmlicher Computer auf der klassischen Physik beruht, nutzt der Quantencomputer die Gesetze der Quantenphysik. Dadurch könnte er bestimmte Aufgaben innerhalb von Minuten lösen, für die Elektronenrechner Jahrtausende bräuchten. Bei der Entwicklung von Quantencomputern orientierte man sich bisher am Aufbau herkömmlicher Rechner. Doch mit dem Einweg-Quantencomputer haben Forscher an der Universität Wien vor zwei Jahren ein völlig neues Konzept verwirklicht. Sie haben diesen Rechnertyp jetzt verbessert und wesentlich effizienter gemacht.

Wie alle Quantencomputer verarbeitet auch der von Anton Zeilinger und seinen Mitarbeitern gebaute Rechner keine Bits, sondern Qubits. Während ein Bit den Wert 0 oder 1 hat, kann sich ein Qubit in einer Überlagerung von Zuständen befinden. Dadurch könnte ein Quantencomputer mit einigen hundert Qubits eine astronomisch große Zahl von Berechnungen parallel ausführen. Doch bislang kann man nur eine Handvoll Qubits verarbeiten.

Mit verschränkten Photonen rechnen

Bisherige Quantenrechner haben die Qubits bei Berechnungen möglichst schonend behandelt und kontrolliert verändert. Dazu setzte man zum Beispiel in Ionen oder Atomen gespeicherte Qubits Lichtpulsen aus. Paare von Qubits brachte man zusammen und ließ sie aufeinander wirken, oder man „verschränkte“ sie. Bei Verschränkung waren die Zustände der einzelnen Qubits völlig unbestimmt, aber dennoch durch eine „spukhafte Fernwirkung“ miteinander verbunden. Die Programme der Quantenrechner bestanden aus einer Abfolge von solchen Manipulationen an einzelnen oder mehreren Qubits. Das Rechenergebnis wurde dadurch ermittelt, dass man an den Qubits den Zustand maß, wobei sie gelöscht wurden.

Der Einweg-Quantencomputer, den Robert Raussendorf und Hans J. Briegel 2001 vorgeschlagen hatten, geht anders vor. Er benötigt eine möglichst große Zahl von verschränkten Qubits. Im Laufe der Rechnung werden die Qubits einzeln manipuliert oder durch Messung gelöscht, wodurch die Prozedur unumkehrbar wird. Damit entfallen die langwierigen Manipulationen an Paaren von Qubits. Das Rechenergebnis steht in den am Ende übrigbleibenden Qubits, die schließlich ebenfalls durch Messung ausgelesen werden. Ein Einweg-Quantencomputer kann so dieselben Rechnungen ausführen wie ein „herkömmlicher“ Quantencomputer



Was hier nach Disco aussieht, könnte der Rechner der Zukunft sein

Polarisationszustände als Quantenbits

Die Forscher um Zeilinger nutzen die Polarisation - also den Schwingungszustand - von Photonen, um Qubits zu speichern. Ein Photon kann nicht nur horizontal oder vertikal polarisiert sein, was den Bitwerten 0 beziehungsweise 1 entspricht, sondern durch Überlagerung dieser beiden Polarisierungen auch in einer beliebigen Richtung. Zunächst stellten die Forscher Photonenpaare mit verschränkter Polarisation her. Dazu ließen sie rote Laserpulse durch einen Bariumboratkristall hin- und wieder zurücklaufen. Der Kristall konnte einzelne Laserphotonen in je zwei verschränkte infrarote Photonen umwandeln. Die Polarisationsrichtungen dieser beiden Photonen waren unbestimmt, doch stets parallel zueinander. Zwei solcher Photonenpaare, die zunächst voneinander unabhängig waren, wurden dann ihrerseits mit Hilfe eines halbdurchlässigen Spiegels verschränkt.

Die vier verschränkten Photonen waren das Ausgangsmaterial für die elementaren Rechnungen. Bei zwei der Photonen wurden die unbestimmten Polarisationsrichtungen gemessen. Das Ergebnis - horizontale oder vertikale Polarisation für das erste beziehungsweise zweite Photon - war nach den Gesetzen der Quantenphysik zufällig. Es teilte sich aber umgehend den beiden anderen Photonen mit. Sie nahmen, je nachdem, welches der vier möglichen Ergebnisse vorlag, einen von vier möglichen Polarisationszuständen an. Da nur einer dieser Zustände das gewünschte Rechenresultat enthielt, war die Effizienz des Quantencomputers zunächst noch gering, doch sie ließ sich erhöhen.

Rekord im Heidelberger Laserlabor

In Abhängigkeit vom Ergebnis der Polarisationsmessungen an den ersten beiden Photonen wurde die Polarisation der andern beiden Photonen korrigiert. Um nach den Messungen Zeit zu gewinnen, ließen die Forscher die beiden Photonen durch einige Dutzend Meter lange Glasfasern laufen, die zu elektrooptischen Modulatoren führten. Während der Laufzeit hatte ein Computer die Messergebnisse ausgewertet und entsprechende Signale zu den Modulatoren geschickt, die die Polarisation der sie passierenden Photonen so korrigierten, dass die Qubits auf den beiden Photonen das „richtige“ Ergebnis lieferten („Nature“, Bd. 445, S. 65). Bei umfangreichen Tests erwies sich der Einweg-Quantencomputer als zuverlässig und unübertroffen schnell. In einer Sekunde könnte er mehrere Millionen elementare logische Operationen ausführen.

Für größere Rechnungen müsste man Hunderte verschränkter Qubits zur Verfügung stellen. Davon ist man noch weit entfernt. Allerdings haben chinesische und deutsche Wissenschaftler um Jian-Wei Pan von der Universität Heidelberg kürzlich immerhin schon sechs Photonen miteinander verschränkt, wie sie in der Online-Ausgabe der Zeitschrift „Nature Physics“ ausführten.

Text: sf / F.A.Z., 31.01.2007
Bildmaterial: Universität Wien

Zum Thema

- **Verschränkte Photonen als Hardware**
- **Wie man schwingende Spiegel mit Licht einfriert**
- **Photonenfusion macht ungenutzte Anteile der Solarenergie zugänglich**
- **Begehrte Lichtquanten**
- **Physik: Licht im Schneckentempo**
- **Einsteins Fernwirkung spukt auf allen Ebenen**
- **Mit verschränktem Licht sicher verschlüsselt**

© F.A.Z. Electronic Media GmbH 2001 - 2007
Dies ist ein Ausdruck aus www.faz.net