



FEHLERLOSES QUANTENRECHNEN

Bausteine eines künftigen Quantencomputers wurden in den vergangenen Jahren im Labor bereits erfolgreich erprobt. Doch die Versuchsreihen sind störungsanfällig. Der Experimentalphysiker Rainer Blatt hat daher eine Vision – die Quantenfehlerkorrektur.

Es ist ein alltäglicher Vorgang. Man kopiert Daten von einer DVD auf eine Festplatte, von dieser wiederum Daten auf einen USB-Stick oder überhaupt von Festplatte zu Festplatte. Abermilliarden von Bits, ganze Gigabytes werden auf die Reise geschickt und kommen am gewünschten Speicherort wieder an. Es funktioniert, ohne Fehler – denn der Computer checkt selbst, ob beim Übertragen der Daten ein Fehler passiert. Fehlerkorrektur nennt sich das Verfahren, das nach einem scheinbar simplen, aber auch aufwändigen System funktioniert: Die Information wird einfach dreimal geschickt, dreimal die Null oder dreimal die Eins. Bei einem störungsfreien Übertragen wird dreimal die Null empfangen, kommt es aber durch ein Rauschen zu einer Störung, lautet das Ergebnis zum Beispiel Null, Null, Eins – und der Computer trifft eine Mehrheitsentscheidung für die Null. Ein Standardverfahren, das heute überall eingesetzt wird, die Fehlerquote darf allerdings nicht zu groß sein.

Ein Verfahren allerdings, das in der Quantenphysik nicht eingesetzt werden kann – und somit einen potenziellen Quantencomputer zu fehleranfällig machen würde. Denn das Bit der Quantenmechanik ist das Qubit, und dies kann auch noch

Lasern mit kalten, in einer elektromagnetischen Falle gespeicherten Ionen basiert (Zoller mit Ignacio Cirac), sei es ein auf Messungen basierendes Rechenmodell für Quantencomputer (Briegel), sei es durch das erste Bose-Einstein-Kondensat aus Molekülen (Grimm) oder durch die Erzeugung des ersten „Quantenbytes“ aus acht Qubits (Blatt).

FEHLERKORREKTUR

Eine Steigerung auf mehr verschränkte Teilchen – bis zu 30 – hält Blatt für technisch möglich, nur: Die Innsbrucker Physiker können es nicht nachweisen. Um das weltweit erste Quantenbyte durch Zahlen beschreiben zu können, mussten rund 650.000 Messungen durchgeführt werden, dieser Messprozess nahm über zehn Stunden in Anspruch. Die Berechnung der Zahlen und deren Umsetzung in eine grafische Darstellung auf einem Hochleistungscomputer der Universität dauerte mehrere Wochen. Bei einem weiteren Teilchen würde der Messaufwand laut Blatt auf eine Woche anwachsen. Hier sind neue Programme und Ideen gefragt, Blatt will sich aber in den nächsten Jahren mit einem anderen Problem beschäftigen – mit der Quantenfehlerkorrektur. Denn inzwischen weiß man: Es ist möglich. Theoretisch wurde es gezeigt, im Experiment wurde es teilweise auch schon vorgeführt. Voraussetzung ist allerdings, dass nach Meinung vieler Theoretiker die Güte der

„Die Quantentechnologie wird die Technologie des 21. Jahrhunderts definitiv verändern.“ Rainer Blatt

andere Zustände als Null und Eins annehmen, und zwar auch Überlagerungen von Null und Eins. Und die besondere Crux: Jede Messung, die Informationen über den Zustand eines Qubits liefert, zerstört diesen Zustand – und kann somit nicht mehr gesendet werden. Auch eine Informationskopie ist unmöglich. William Wootters und Wojciech Zurek veröffentlichten 1982 das No-Cloning-Theorem, das besagt, dass es nicht möglich ist, ein System zu bauen, das jedes beliebige Qubit perfekt auf ein anderes Qubit kopiert, ohne dabei das ursprüngliche zu verändern. Kein Wunder also, wenn der Experimentalphysiker Prof. Rainer Blatt sagt: „Wenn man mich vor zehn, zwölf Jahren gefragt hätte, ob eine Quantenfehlerkorrektur möglich ist, hätte ich gesagt: Nein, das geht nicht. Wenn man etwas gemessen hat und ein Fehler ist passiert – Pech.“ Heute denkt Rainer Blatt allerdings anders.

In den letzten Jahren haben Blatt und seine Kollegen Prof. Peter Zoller, Prof. Hans Briegel und Prof. Rudolf Grimm sowie ihre Mitarbeiter regelmäßig für internationales Aufsehen gesorgt. Sei es durch ein vorgeschlagenes Modell eines Quantencomputers, das auf der Wechselwirkung von

Rechenbausteine mindestens über 99 Prozent liegen muss. Und im Jahr 2008 gelang es Innsbrucker Forschern erstmals, ein beinahe fehlerfrei arbeitendes Quanten-Gatter zu bauen.

Die Physiker Jan Benhelm, Gerhard Kirchmair, Christian Roos und Rainer Blatt verwirklichten dabei ein sogenanntes Mølmer-Sørensen-Gatter aus Kalziumionen. Dabei wird ein zweifarbiges Laserstrahl gleichzeitig auf zwei stark abgekühlte, in einer Falle gefangene Ionen gerichtet. Durch die Wechselwirkung mit dem Laserlicht können die beiden Teilchen miteinander verschränkt werden. Bei dem Experiment veränderten sie die Lichtintensität zeitlich und erzeugten damit einen Laserpuls mit abgerundeten Flanken – und erreichten eine Güte von 99,3 Prozent. Unter anderem eine wichtige Grundlage für Blatts Vision der Quantenfehlerkorrektur, die er in den nächsten fünf, sechs Jahren erreichen will. Auch um eine Technologie besser in den Griff zu bekommen, die nicht nur einen Quantencomputer möglich machen soll. Blatt: „Der Quantencomputer ist nur ein Schlagwort für die Einführung der Quantentechnologie auf breiter Basis. Und diese wird die Technologie des 21. Jahrhunderts definitiv verändern.“ ah

RAINER BLATT



Der 1952 in Idar-Oberstein, Deutschland, geborene Rainer Blatt studierte von 1973 bis 1981 Mathematik und Physik an der Universität Mainz, 1994 wurde er zum Professor für Physik an die Universität Göttingen berufen, ein Jahr später erhielt er den Lehrstuhl für Experimentalphysik an der Universität Innsbruck. Seit 2000 leitet er das Institut für Experimentalphysik, seit 2003 ist er auch Wissenschaftlicher Direktor am Institut für Quantenoptik und Quanteninformation der ÖAW. Neben anderen Preisen und Auszeichnungen erhielt Blatt im Jahr 2008 den Advanced Grant des Europäischen Forschungsrates, mit dem ihm in den nächsten fünf Jahren rund 2,2 Millionen Euro für seine Forschungsarbeit zur Verfügung stehen.