

**DAS VON WOLFGANG LECHNER** gemeinsam mit Philipp Hauke (li.) und Peter Zoller (re.) entwickelte, neue Modell beseitigt grundlegende Einschränkungen der Programmierbarkeit bisheriger Ansätze und öffnet den Weg zur Lösung sehr allgemeiner Optimierungsprobleme mit Hilfe der Quantenmechanik.

# EIN GÄNZLICH NEUER WEG

Die Physiker Wolfgang Lechner, Philipp Hauke und Peter Zoller schlagen einen Bauplan für einen skalierbaren Quantencomputer vor.

**D**ie Entwicklung eines Quantencomputers, der manche Aufgaben sehr viel effizienter lösen kann als klassische Computer, hat in den vergangenen Jahren große Fortschritte gemacht. Heute können Physiker im Labor sehr gezielt Quantenbits erzeugen, sie kontrollieren und mit ihnen einfache Rechnungen durchführen. Für den praktischen Einsatz sind dabei besonders sogenannte „adiabatische“ Quantencomputer sehr interessant. Diese sind dafür konzipiert, Optimierungsprobleme zu lösen, die am herkömmlichen Computer nicht mehr machbar sind. Allen bisherigen Konzepten für diese Art von Quantencomputer ist allerdings gemeinsam, dass sie die Quantenbits direkt in

Verbindung bringen müssen, um über deren Wechselwirkungen ein Programm ablaufen zu lassen. Die möglichen Wechselwirkungen und damit die Rechenschritte sind aber durch die räumliche Anordnung der Quantenbits beschränkt. „Die Programmiersprache in diesen Systemen ist die Wechselwirkung zwischen den physikalischen Quantenbits. Sie ist durch die Hardware vorgegeben. Damit unterliegenden alle diese Ansätze einer sehr grundlegenden Einschränkung, wenn es darum geht, einen voll programmierbaren Quantencomputer zu bauen“, erklärt Wolfgang Lechner vom Institut für Quantenoptik und Quanteninformation der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Innsbruck.

Gemeinsam mit Philipp Hauke und Peter Zoller hat Lechner einen gänzlich neuen Weg eingeschlagen. Die Theoretiker am Quantenphysik-Standort Innsbruck umgehen die Einschränkungen durch die Hardware, indem sie die Programmierung des Quantencomputers von der Ebene der physikalischen Quantenbits lösen und neue Quantenbits einführen. Die physikalischen Quantenbits repräsentieren jeweils ein Paar von logischen Quantenbits und können über lokale Felder angesteuert werden. Bei Atomen oder Ionen sind das zum Beispiel elektrische Felder, bei supraleitenden Quantenbits Magnetfelder. „Die logischen Quantenbits können über diese Felder frei programmiert werden“, erklärt Mitautor Philipp Hauke vom Institut für Theoretische Physik der Universität Innsbruck: „Damit wird nicht nur die Beschränkung durch die Hardware umgangen, sondern auch die technische Umsetzung skalierbar.“

### Eingebaute Fehlerkorrektur

Weil in der vorgeschlagenen Architektur die Anzahl der Freiheitsgrade ansteigt – was auch zu nichtphysikalischen Lösungen führen würde –, ordnen die Physiker die Quantenbits räumlich so an, dass jeweils vier von ihnen lokal wechselwirken. „Damit sorgen wir dafür, dass nur noch physikalische Lösungen möglich sind“, erklärt Wolfgang Lechner. Das

Ergebnis eines Rechengangs wird in mehreren physikalischen Quantenbits gleichzeitig gespeichert. „Die Lösung liegt in redundanter Form vor. Damit ist unser Modell auch gleichzeitig fehlertolerant“, freut sich Lechner.

Umgesetzt werden kann die neue Architektur auf allen Quantenbit-Plattformen: von supraleitenden Schaltkreisen bis zu ultrakalten Gasen in optischen Gittern. „Unser Ansatz erlaubt auch den Einsatz von Technologien, die bisher für diese Art der Quanteninformationsverarbeitung nicht genutzt werden konnten“, sagt der Physiker, der nun gemeinsam mit Hauke und Zoller das neue Modell in der Fachzeitschrift *Science Advances* vorstellt. In der Wissenschaftsgemeinde und darüber hinaus stößt es bereits auf großes Interesse. „Der Schritt von mechanischen Rechenmaschinen zu frei programmierbaren Computern hat vor 80 Jahren das IT-Zeitalter eingeleitet, heute stehen wir in Hinblick auf die Quanteninformationsverarbeitung an einem ähnlichen Punkt“, zeigt sich Peter Zoller überzeugt.

Die neue Architektur für Quantencomputer wurde Anfang dieses Jahres auch als Patent eingereicht. Finanziell unterstützt wurden die Arbeiten vom österreichischen Wissenschaftsfonds FWF und dem europäischen Forschungsrat ERC.

*„Die Lösung liegt in redundanter Form vor. Damit ist unser Modell auch gleichzeitig fehlertolerant.“*

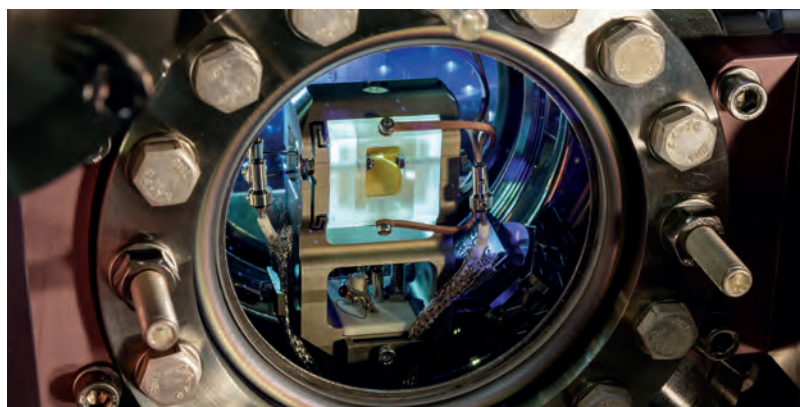
Wolfgang Lechner

cf 

## NEUE QUANTENTECHNOLOGIEN

Die Innsbrucker Physik ist bei der Entwicklung eines Quantencomputers weltweit führend. Das zeigt nicht nur die aktuelle Arbeit zum adiabatischen Quantencomputer. Als Ideengeber und experimentelle Wegbereiter der Quanteninformation lassen die Forscherinnen und Forscher an der Universität Innsbruck und dem ebenfalls in Innsbruck beheimateten Institut für Quantenoptik und Quanteninformation (IQOQI) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften immer wieder international aufhorchen.

Es ist aber nicht nur der Quantencomputer, der diese Forschungen so interessant macht. Noch bevor dieser für echte Anwendungen zur Verfügung steht, werden vielen neue Quantentechnologien Einzug in unseren Alltag halten. Geht es nach den deutschen Akademien der Wissenschaften, wird das 21. Jahrhundert das Jahrhundert der Quantentechnologie: „Ohne die Quantenphysik wären viele Entdeckungen und Erfindungen des 20. Jahrhunderts nicht möglich gewesen, bei denen quantenmechanische Prinzipien eine bedeutende Rolle spielen. Dazu gehören der Laser, Atomuhren oder die Ortsbestimmung mittels Satelliten (GPS) – besonders aber die gesamte Elektronik einschließlich Computer, Internet und Mobilfunk. ... In den vergangenen Jahren wurde deutlich, dass die Nutzung weiterer quantenmechanischer Effekte, die weit über die bisher genutzten Prinzipien der Quantenmechanik hinausführen, vielfältige neue technische Anwendungen in Aussicht stellt ... Das Potenzial der neuen Quantentechnologien ist groß: So etwa für die Informationsverarbeitung und die sichere Kommunikation sowie für die hochempfindliche Sensorik im Messwesen, bei der



EINE LINEARE PAUL-FALLE in einem Präzisionsspektroskopie-Experiment

Mehr dazu: [bit.ly/quantentechnologien](http://bit.ly/quantentechnologien)

