

## Pressemitteilung

Universität Innsbruck

Dr. Christian Flatz

25.05.2022

<http://idw-online.de/de/news794237>

Forschungsergebnisse, Wissenschaftliche Publikationen  
Informationstechnik, Physik / Astronomie  
überregional



## Quantencomputer lernt fehlerfrei Rechnen

**Damit Quantencomputer für die Praxis taugen, müssen Fehler erkannt und korrigiert werden. An der Universität Innsbruck hat nun ein Team von Experimentalphysikern erstmals ein universelles Set von Rechenoperationen auf fehlertoleranten Quantenbits umgesetzt und damit gezeigt, wie ein Algorithmus auf einem Quantencomputer programmiert werden kann, damit Fehler das Ergebnis nicht verfälschen.**

Die hohe Präzision moderner Computer hat das Auftreten von Fehler während der Verarbeitung und Speicherung von Daten zu einer Seltenheit werden lassen. Für kritische Anwendung, bei welchen schon einzelne Fehler schwerwiegende Folgen haben können, werden jedoch immer noch Fehlerkorrekturmechanismen, die auf Redundanz der verarbeiteten Daten basieren, eingesetzt. Quantencomputer sind deutlich anfälliger für Störungen und werden damit wohl immer auf Fehlerkorrekturmechanismen angewiesen sein, weil Fehler sich sonst unkontrolliert im System ausbreiten und Information verloren geht. Weil die Quantenphysik es verbietet, Quanteninformation zu kopieren, muss ein logisches Quantenbit auf einen verschränkten Zustand mehrerer physikalischer Systeme, zum Beispiel einzelner Atome, verteilt werden, um die notwendige Redundanz zu erreichen. Dem Team um Thomas Monz vom Institut für Experimentalphysik der Universität Innsbruck und Markus Müller von der RWTH Aachen und dem Forschungszentrum Jülich in Deutschland ist es nun erstmals gelungen, ein Set von Rechenoperationen auf zwei logischen Quantenbits zu realisieren, mit dem jede mögliche Operation umgesetzt werden kann. „Für einen praxistauglichen Quantencomputer benötigen wir einen universellen Gattersatz, mit dem wir alle Algorithmen programmieren können“, erklärt der Innsbrucker Experimentalphysiker Lukas Postler.

### Fundamentale Rechenoperation realisiert

Die Wissenschaftler haben diesen universellen Gattersatz auf einem Ionenfallen-Quantencomputer mit 16 gefangenen Atomen umgesetzt. Die Quanteninformation wurde dabei in zwei logischen Quantenbits gespeichert, die auf jeweils sieben Atome verteilt waren. Nun ist es erstmals gelungen, auf diesen fehlertoleranten Quantenbits zwei Rechengatter zu realisieren, die für einen universellen Gattersatz notwendig sind: eine Rechenoperation auf zwei Quantenbits (ein CNOT-Gatter) und ein logisches T-Gatter, welches auf fehlertoleranten Quantenbits besonders schwierig zu implementieren ist. „T-Gatter sind sehr fundamentale Operationen“, erläutert der Theoretiker Markus Müller. „Sie sind besonders interessant, weil Quantenalgorithmen ohne T-Gatter auf klassischen Computern relativ einfach simuliert werden können. Bei Algorithmen mit T-Gatter ist das nicht mehr möglich.“ Demonstriert haben die Physiker das T-Gatter, indem sie einen speziellen Zustand in einem logischen Quantenbit präpariert und diesen über eine verschränkte Gatteroperation auf ein weiteres Quantenbit teleportiert haben.

### Aufwand steigt, aber Genauigkeit auch

In logischen Quantenbits ist die gespeicherte Quanteninformation vor Fehlern geschützt. Doch diese ist ohne Rechenoperationen nutzlos und diese Operationen sind selbst fehleranfällig. Die Physiker haben Operationen auf den logischen Quantenbits so implementiert, dass auch Fehler, welche durch die zugrundeliegenden physikalischen Operationen verursacht werden, erkannt und korrigiert werden können. So haben sie die erste fehlertolerante

Implementierung eines universellen Gattersatzes auf logischen Quantenbits umgesetzt. „Die fehlertolerante Implementierung benötigt mehr physikalische Operationen. Diese Operationen führen zwar zu zusätzlichen Fehlern auf den einzelnen gefangenen Atomen, dennoch ist die Qualität der logischen Quantenoperationen besser als die nicht-fehlertoleranter Implementierungen“, freut sich Thomas Monz. „Aufwand und Komplexität steigen, aber das Ergebnis ist besser.“ Ihre experimentellen Ergebnisse haben die Forscher auch mittels numerischer Simulationen auf klassischen Rechnern überprüft und bestätigt.

Die Physiker verfügen nun über alle Bausteine für fehlertolerantes Rechnen auf einem Quantencomputer. Jetzt geht es darum, diese Methoden auf größeren und damit für die Praxis interessanten Quantenrechnern umzusetzen. Die in Innsbruck auf einem Ionenfallen-Quantencomputer gezeigten Verfahren können auch auf anderen Architekturen für Quantencomputer eingesetzt werden.

Finanziell unterstützt wurden die Forschungen unter anderem von der Europäischen Union im Rahmen der Quanten-Flagship-Initiative sowie von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG, dem österreichischen Wissenschaftsfonds FWF und der Industriellenvereinigung Tirol.

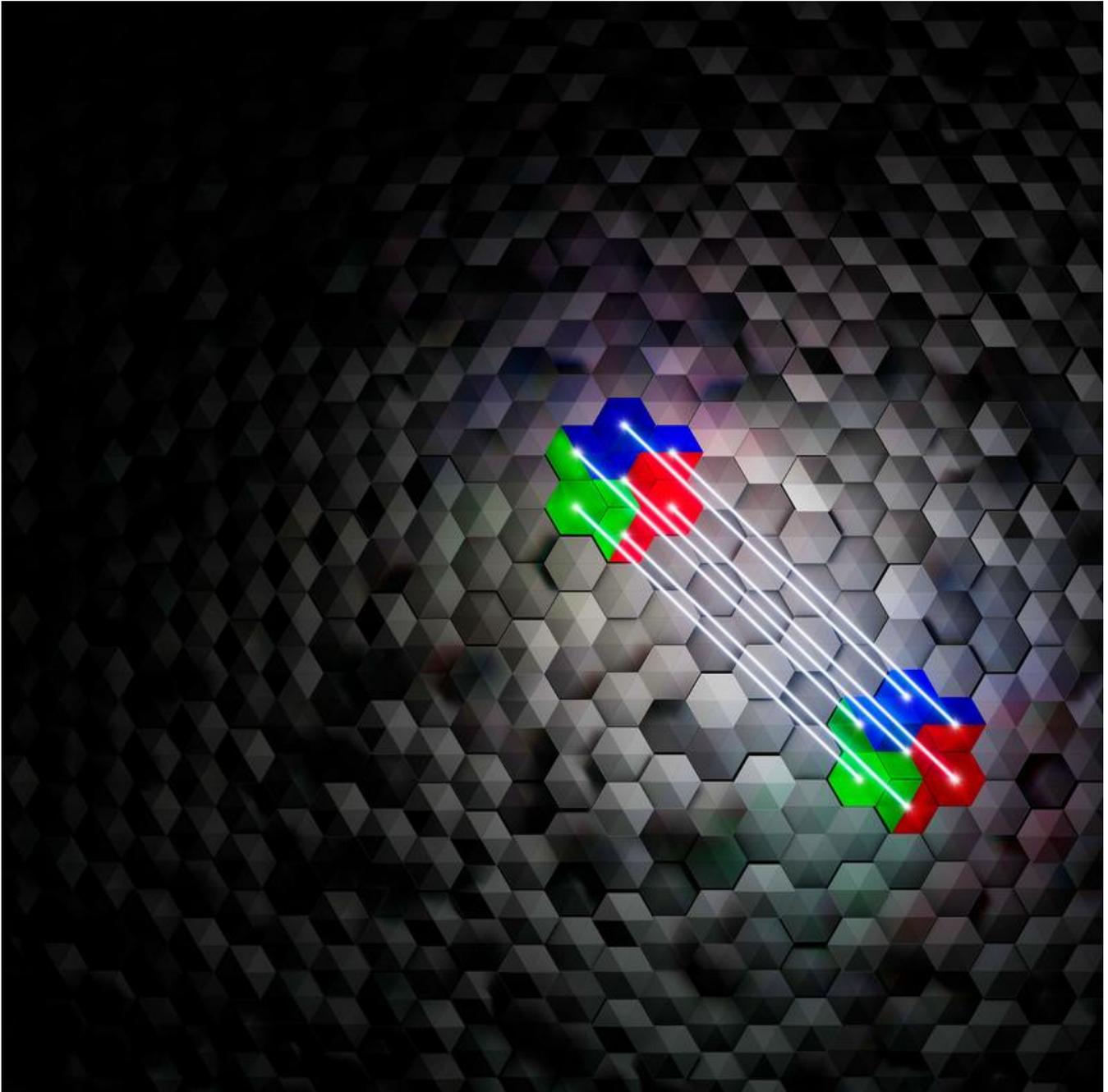
wissenschaftliche Ansprechpartner:

Lukas Postler  
Institut für Experimentalphysik  
Universität Innsbruck  
T +43 512 507- 52554  
E [lukas.postler@uibk.ac.at](mailto:lukas.postler@uibk.ac.at)  
W <https://quantumoptics.at/>

Markus Müller  
Institut für Quanteninformation  
RWTH Aachen  
T +49 241 80 28412  
E [m.mueller@physik.rwth-aachen.de](mailto:m.mueller@physik.rwth-aachen.de)  
W <https://markus-mueller.website/>

Originalpublikation:

Demonstration of fault-tolerant universal quantum gate operations. Lukas Postler, Sascha Heußen, Ivan Pogorelov, Manuel Rispler, Thomas Feldker, Michael Meth, Christian D. Marciniak, Roman Stricker, Martin Ringbauer, Rainer Blatt, Philipp Schindler, Markus Müller, and Thomas Monz. Nature 2022 doi: 10.1038/s41586-022-04721-1  
<https://www.nature.com/articles/s41586-022-04721-1> [<https://arxiv.org/abs/2111.12654>]



Künstlerische Darstellung der Manipulation von logischen Quantenbits, welche durch Quantenfehlerkorrektur vor Fehlern geschützt sind.  
Johannes Knüsz