

Physik: Veröffentlichung in PRX Quantum

Nicht alle Quantenmessungen sind gleich

16.7.2026 - Arne Claussen | Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Lange Zeit war es schwierig nachzuweisen, dass eine Quantenmessung mehr leisten kann als eine andere. Physikerinnen und Physiker der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (HHU), der Universität Lund in Schweden und der Universität Innsbruck in Österreich entwickelten nun eine einfache Methode, mit der sie bestätigen können, dass eine bestimmte Klasse von Messungen Eigenschaften besitzt, die sich mit einfacheren Verfahren nicht nachbilden lassen. In der Fachzeitschrift PRX Quantum zeigen sie auch, dass sie dies experimentell bestätigen konnten.

Messungen sind ein zentraler Bestandteil aller Quantentechnologien. Sie lassen den Quantenzustand, auf den sie wirken, „kollabieren“, sie zerstören dabei also seine Quanteneigenschaften und bilden so die Brücke zur klassischen Welt. Die Quantenmechanik erlaubt aber auch Messungen, die allgemeiner sind als jene, die sich direkt mit den klassischen Eigenschaften eines Systems in Verbindung bringen lassen.

Diese verallgemeinerten Messungen, auch „POVMs“ (Positive Operator Valued Measures) genannt, sind nicht nur eine mathematische Kuriosität. Sie können die Effizienz von Aufgaben wie die Unterscheidung ansonsten nicht unterscheidbarer Quantenzustände verbessern, mehr Informationen aus Quantensensoren gewinnen und die Sicherheit der Quantenkommunikation erhöhen. Allerdings sind POVMs auf realen Quantenplattformen nur schwer umzusetzen; auch ist es oft schwierig nachzuweisen, dass sie einfacheren Messverfahren tatsächlich überlegen sind. Dadurch bleibt häufig unklar, ob sich der mit ihnen verbundene zusätzliche Aufwand lohnt. Die nun in der Fachzeitschrift PRX Quantum vorgestellte neue Zertifizierungsmethode liefert Forschenden ein praktisches Werkzeug, um genau diese Frage zu beantworten.

Zertifizierung von nicht simulierbaren POVMs

„Während einige POVMs tatsächlich mehr leisten als Standardmessungen, lassen sich andere mit einfacheren Mitteln ‚simulieren‘, etwa durch Kombinationen herkömmlicher Messungen“, erklärt Erstautor Raphael Brinster, Doktorand am Institut für Theoretische Physik III der HHU (Leitung: Prof. Dr. Dagmar Bruß). Er ergänzt: „Solche POVMs zu identifizieren, die sich nicht durch die Verarbeitung von Standardmessungen simulieren lassen, ist daher entscheidend, um die Vorteile verallgemeinerter Messungen zu verstehen und ihr Potenzial für Quantentechnologien auszuschöpfen. Bislang war es jedoch eine große Herausforderung, zuverlässig nachzuweisen, dass eine solche Simulation ausgeschlossen ist.“

Die dafür notwendigen analytischen Methoden wurden an der HHU unter Leitung von Dr. Nikolai Wyderka entwickelt und zusammen mit der Universität Lund zu einem robusten Zertifizierungsverfahren ausgebaut. Die Umsetzung dieses Verfahrens ist effizient möglich und benötigt nur eine kleine Anzahl von Messungen. „Das resultierende Zertifikat garantiert, dass sich die Ergebnisse der POVM durch keine Kombination von Standardmessungen reproduzieren lassen,“ so Wyderka.

Entscheidend ist außerdem, dass die Zertifizierung nicht nur theoretisch funktioniert: Wie das Innsbrucker Team an einem Quantencomputer zeigte, ist sie robust genug, um experimentellen

Fehlern standzuhalten und dennoch nicht simulierbare Messungen zuverlässig zu bestätigen.

Ermöglicht durch ein neues Paradigma des Quantencomputings

Die praktische Umsetzung von POVMs auf einem Quantencomputer ist anspruchsvoll, da sie mehr Messergebnisse liefern können als die zwei möglichen Ausgänge eines einzelnen Qubits – der grundlegenden Informationseinheit eines Quantencomputers. Solche Messungen zu implementieren und zu zertifizieren wurde erst durch eine neuartige Quantencomputerplattform der Universität Innsbruck möglich, die über das binäre Qubit-Konzept hinausgeht und mit Quantensystemen beliebiger Dimension arbeitet.

Diese sogenannten Qudits versprechen nicht nur eine effizientere Verarbeitung von Quanteninformation, sondern ermöglichen auch neue Ansätze und Verfahren, die mit Qubits allein nicht realisierbar sind. „Diese Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz von Qudits – selbst wenn sie nur zur Unterstützung von Messungen verwendet werden – den Nutzen von Quantentechnologien erheblich steigern kann“, sagt Prof. Dr. Martin Ringbauer, Leiter des Innsbrucker Forscherteams.

Das Forschungsprojekt wurde, unter anderem, vom Österreichischen Wissenschaftsfonds (FWF), dem Österreichischen Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG), der Europäischen Union, dem schwedischen Forschungsrat und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziert.

Originalpublikation

Raphael Brinster, Peter Tirler, Sishir Khandelwal, Michael Meth, Hermann Kampermann, Dagmar Bruß, Rainer Blatt, Martin Ringbauer, Armin Tavakoli & Nikolai Wyderka; Robust Certification of Non-Projective Measurements: Theory and Experiment; PRX Quantum (2026)

DOI: 10.1103/nsjr-vnmg

<https://www.hhu.de/die-hhu/presse-und-marketing/aktuelles/pressemeldungen-der-hhu/news-detailansicht/nicht-alle-quantenmessungen-sind-gleich>