



## Rydberg-Systeme als neue Plattform für Optische Quantenkommunikation und Quantennetzwerke

*Durchbruch in der Quantenforschung: Mit elektromagnetisch induzierter Transparenz lassen sich starke Wechselwirkungen von Rydberg-Atomen auf Licht übertragen. Forschern am Max-Planck-Institut für Quantenoptik ist es nun erstmals gelungen, mithilfe dieses Mechanismus ein Photon-Photon-Quantengatter zu realisieren. Sie erhalten damit eine sehr hohe Kontrolle über einzelne Photonen und machen einen wichtigen Schritt hin zu Anwendungen in Quantenkommunikation und -netzwerken.*

Garching, Deutschland, 29. Oktober 2018 – „**Seit den 2000er Jahren versuchen Wissenschaftler, Rydberg-Atome für die Verarbeitung von Quanteninformationen mit Photonen einzusetzen. Jetzt ist uns ein entscheidender Schritt in diese Richtung gelungen**“, so **Steffen Schmidt-Eberle**, Doktorand am Max-Planck-Institut für Quantenoptik im Forschungszentrum-Garching bei München. Unter Leitung von **Stephan Dürr** und **Gerhard Rempe**, Direktor der Abteilung Quantendynamik, arbeitet er seit 2014 zusammen mit einem Team aus Wissenschaftlern auf das Ziel hin, ein Photon-Photon-Quantengatter zu entwickeln.

Da Rydberg-Atome stark miteinander wechselwirken, sind diese hervorragend geeignet, um Quanteninformationen zu verarbeiten. Die Forscher versuchen diese bekannte starke Wechselwirkung zwischen Rydberg-Atomen auf Licht zu übertragen und auf diesem Weg eine logische Operation zwischen zwei Lichtquanten, also Photonen, zu implementieren. Dieses kontrollierte Verfahren ist notwendig, um Quanteninformationen innerhalb eines Quantennetzwerks korrekt verarbeiten zu können.

„Die Kontrolle über Licht und dessen Eigenschaften spielt in der modernen Welt eine immer bedeutendere Rolle. Heutige Alltagsanwendungen reichen von der Medizin über die Materialbearbeitung bis hin zur schnellen Datenübertragung. Ein aktuelles Forschungsziel ist es daher, Licht auf dem Niveau einzelner Photonen ähnlich umfassend kontrollieren zu können“, führt der Forscher Schmidt-Eberle aus.

Mit Photonen können Informationen besonders schnell ausgetauscht werden und sie erreichen hohe Bandbreiten. Das ist der Grund, warum optische Technologien heutzutage bereits standardmäßig für den Austausch von Daten im Internet eingesetzt werden. Auch zukünftige Quantentechnologien werden voraussichtlich auf diese besonderen Eigenschaften von Photonen setzen, um Quantenzustände und damit Quanteninformationen zwischen verschiedenen Knoten zu übertragen.

Erste Versuche, Photonen nicht nur für die Übertragung, sondern auch für die Verarbeitung von Information zu nutzen, scheiterten allerdings daran, dass Lichtpulse von selbst nicht miteinander interagieren. Die Forscher am Max-Planck-Institut für Quantenoptik haben dieses Problem nun gelöst, indem sie die Photonen an Rydberg-Atome koppeln. Mithilfe der starken Wechselwirkung zwischen den Rydberg-Atomen ist es ihnen erstmals gelungen, eine effektive Wechselwirkung für Photonen herzustellen und schließlich ein Quantengatter zwischen zwei Photonen zu

realisieren. Ein solches Quantengatter kann in einem zukünftigen Quantencomputer oder -netzwerk eine ähnliche Rolle wie die CPU in einem klassischen Computer spielen.

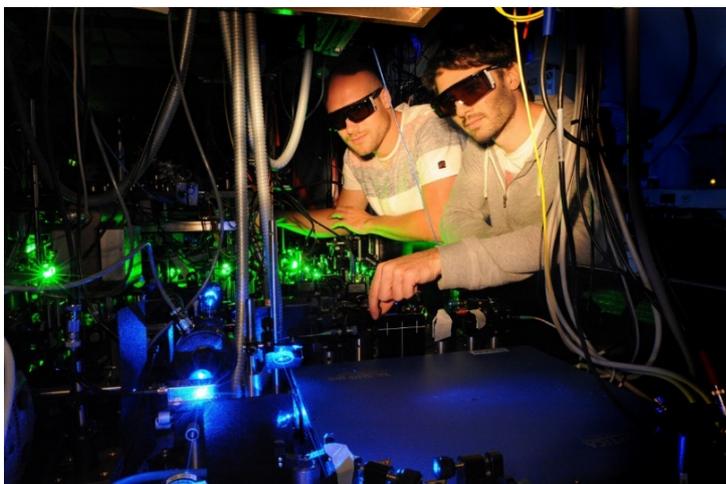
Die Forscher gehen im Photon-Photon-Quantengatter-Experiment wie folgt vor: Zunächst erzeugen sie eine ein Mikrokkelvin kalte Atomwolke und speichern darin ein erstes Photon. Durch diese Atomwolke senden sie nun ein zweites Photon. Im Anschluss lesen sie das erste Photon aus und messen die Polarisation beider Photonen. Dabei ist der Einfluss des ersten Photons auf das zweite so stark, dass die Polarisation des zweiten Photons abhängig von der Polarisation des ersten Photons um 90 Grad gedreht wird. „Es ist schon faszinierend, dass es gelingt, mit einem einzelnen Photon einen so großen Effekt zu erzeugen“, sagt der Doktorand Schmidt-Eberle begeistert.

„Eine der zentralen Herausforderungen, nämlich die Wechselwirkung so stark zu machen, dass der Drehwinkel nicht zu klein ausfällt, konnten wir schon vor zwei Jahren lösen. Die aktuelle Herausforderung bestand für uns darin, die Drehung nicht davon abhängig zu machen, ob das erste Photon eingestrahlt wird oder nicht, sondern davon, welche Polarisation es hat“, konkretisiert Stephan Dürr, Leiter des Projekts. Um dies zu erreichen, war es für die Forscher entscheidend, geeignete atomare Zustände zu identifizieren, an welche die Photonen gekoppelt werden können, und diese Kopplung dann technisch zu implementieren.

„Die Erzeugung der effektiven Wechselwirkung zwischen Photonen mittels Rydberg-Atomen ist ein junges, dynamisches Gebiet, das es ermöglicht, optische Nichtlinearität auf dem Niveau einzelner Photonen zu demonstrieren. Die Realisierung eines Quantengatters ist ein entscheidender Meilenstein in der Entwicklung dieses Gebietes, der zeigt, dass die Eigenschaften eines Photons durch den Einfluss nur eines anderen Photons maximal verändert werden“, ergänzt Stephan Dürr.

„Wir konnten in unseren Versuchen erstmals den Beweis erbringen, dass die Verarbeitung von Quanteninformationen zwischen Photonen mit Rydberg-Systemen überhaupt möglich ist. Das ist ein entscheidender Schritt, um in der Folge ein hoch-effizientes Photon-Photon-Quantengatter entwickeln zu können“, bestätigt Gerhard Rempe die Leistung seiner Wissenschaftler.

## Bildmaterial



*Steffen Schmidt-Eberle mit Kollege Thomas Stolz bei der Arbeit im Labor: Am Max-Planck-Institut für Quantenoptik erforschen sie Grundlagen für zukünftige Quantentechnologien. | Foto: Lukas Husel/MPQ*

**Originalveröffentlichung:**

Daniel Tiarks, Steffen Schmidt-Eberle, Thomas Stolz, Gerhard Rempe,  
Stephan Dürr

**A Photon-Photon Quantum Gate Based on Rydberg Interactions**

Nature Physics, October 29<sup>th</sup>, 2018

doi: [10.1038/s41567-018-0313-7](https://doi.org/10.1038/s41567-018-0313-7)

**Kontakt****Prof. Dr. Gerhard Rempe**

Direktor am Max-Planck-Institut für Quantenoptik  
Hans-Kopfermann-Str. 1, Garching bei München, Deutschland  
Telefon: +49 89 32905 701 | E-Mail: [gerhard.rempe@mpq.mpg.de](mailto:gerhard.rempe@mpq.mpg.de)

**Steffen Schmidt-Eberle**

Doktorand am Max-Planck-Institut für Quantenoptik  
Hans-Kopfermann-Str. 1, Garching bei München, Deutschland  
Telefon +49 89 32905 245 | E-Mail: [s.schmidt@mpq.mpg.de](mailto:s.schmidt@mpq.mpg.de)