

# **Forscher sortieren einzelne Lichtquanten mit Höchstgeschwindigkeit**

geschrieben von Andreas Potthoff | 22. November 2022

## **Nanoschallwelle kontrolliert Photonen auf einem Chip – Meilenstein hin zu hybriden Quantentechnologien**

Einem deutsch-spanischen Forscherteam aus Valencia, Münster, Augsburg, Berlin und München ist es gelungen, einzelne Lichtquanten mit höchster Präzision zu kontrollieren. In der Fachzeitschrift „Nature Communications“ berichten die Wissenschaftler, wie sie einzelne Photonen auf einem Chip mithilfe einer Schallwelle gezielt zwischen zwei Ausgängen mit Gigahertz-Frequenzen hin- und herschalten. Diese erstmals gezeigte Methode kann nun für akustische Quantentechnologien oder komplexe integrierte photonische Netzwerke angewandt werden.

Licht- und Schallwellen bilden das technologische Rückgrat moderner Kommunikation. Während Glasfasern mit Laserlicht das weltweite Internet aufspannen, werden Chips für Nanoschallwellen zur drahtlosen Datenübertragung mit Gigahertz-Frequenzen zwischen Smartphones, Tablets oder Laptops verwendet. Eine der drängendsten Fragen für die Zukunft ist daher, wie diese Technologien um Quantensysteme erweitert werden können, um beispielsweise abhörsichere Quantenkommunikationsnetzwerke aufzubauen.

„Lichtquanten oder Photonen spielen bei der Entwicklung von

Quantentechnologien eine ganz zentrale Rolle“, unterstreicht Physiker Prof. Dr. Hubert Krenner, der die Studie in Münster und Augsburg leitet. „Unserem Team ist es nun gelungen, einzelne Photonen auf einem daumennagelgroßen Chip zu erzeugen und dann mit bisher unerreichter Präzision exakt getaktet mit Hilfe von Schallwellen zu kontrollieren.“ Dr. Mauricio de Lima, der an der Universität Valencia forscht und die dortigen Arbeiten koordinierte, ergänzt: „Das Funktionsprinzip unseres Chips war uns zwar für ‚klassisches‘ Laserlicht bekannt. Doch jetzt ist uns mit Lichtquanten der langersehnte Durchbruch hin zu Quantentechnologien gelungen.“

In ihrer Studie fertigten die Forscher einen Chip, der mit winzigen „Leiterbahnen“ für Lichtquanten, sogenannten Wellenleitern, ausgestattet ist. Diese sind zirka 30-mal dünner als ein menschliches Haar. Zusätzlich enthielt dieser Chip Quanten-Lichtquellen, sogenannte Quantenpunkte. Dr. Matthias Weiß von der Universität Münster, der die optischen Experimente durchführte, erläutert: „Diese Quantenpunkte sind wenige Nanometer große Inseln im Inneren der Wellenleiter, die Licht als einzelne Photonen abstrahlen. In unserem Chip sind die Quantenpunkte mit eingebaut und wir müssen einzelne Photonen nicht erst kompliziert mit einer anderen Quelle erzeugen und mit den Wellenleitern koppeln.“ Dr. Dominik Bühler, der im Rahmen seiner Doktorarbeit an der Universität Valencia die Quanten-Chips entworfen hat, weist auf die Schnelligkeit der Technik hin: „Mithilfe der Nanoschallwellen ist es uns möglich, die direkt auf dem Chip erzeugten Photonen mit vorher nicht erreichter Geschwindigkeit während ihrer Ausbreitung in den Wellenleitern zwischen zwei Ausgängen hin und her zu schalten.“

Die Forscher sehen ihre Ergebnisse als einen Meilenstein auf dem Weg zu hybriden Quantentechnologien, da sie drei verschiedene Quantensysteme kombinieren: Quantenlichtquellen in Form der Quantenpunkte, die erzeugten Lichtquanten sowie Phononen, die Quantenteilchen der Schallwelle. Die an der

Universität Valencia entworfenen und am Berliner Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik mit Quantenpunkten der TU München hergestellten hybriden Quanten-Chips übertrafen die Erwartungen des Forschungsteams.

Das internationale Team hat einen weiteren entscheidenden Schritt hin zu akustischen Quantentechnologien gemacht. „Wir arbeiten bereits mit Hochdruck daran, unseren Chip zu erweitern, um den Quantenzustand der Photonen beliebig programmieren zu können oder sogar mehrere Photonen mit unterschiedlichen Farben zwischen vier oder mehr Ausgängen zu sortieren“, blickt Dr. Mauricio de Lima in die Zukunft. Physik-Professor Hubert Krenner fügt hinzu „Hier kommt uns eine einzigartige Stärke unserer Nanoschallwellen zugute. Da diese sich nahezu verlustfrei auf der Chipoberfläche ausbreiten, können wir elegant fast beliebig viele Wellenleiter mit einer einzigen Welle hochpräzise kontrollieren.“

Die Europäische Union hat die Forschungsarbeiten im Doktorandenkolleg ITN SAWtrain im Zuge des Rahmenprogramms „Horizon 2020“ (Marie-Skłodowska-Curie Grant Agreement 642688) gefördert.

### **Originalveröffentlichung**

Dominik D. Bühler, Matthias Weiß, Antonio Crespo-Poveda, Emeline D. S. Nysten, Jonathan J. Finley, Kai Müller, Paulo V. Santos, Mauricio M. de Lima Jr., H. J. Krenner (2022): On-chip generation and dynamic piezo-optomechanical rotation of single photons. Nature Communications 13, Article number: 6998; DOI: 10.1038/s41467-022-34372-9

### **Weiterführende Informationen**

Per Delsing et al. (2019): The 2019 surface acoustic wave roadmap. Journal of Physics D: Applied Physics 52, 353001; DOI: 10.1088/1361-6463/ab1b04

Pressestelle der Universität Münster  
Schlossplatz 2, 48149 Münster  
pressestelle@uni-muenster.de  
+49 251 83-22232 o. -22233

upm – Mediendienst der WWU Münster  
<http://www.uni-muenster.de/journalisten/upmabo/>

---

## Links:

- Originalveröffentlichung  
<https://doi.org/10.1038/s41467-022-34372-9>
  - Originalveröffentlichung (share link)  
<https://rdcu.be/cZPgX>
  - Video: SAWtrain-Doktoranden erklären SAW-Technologie  
<https://youtu.be/H0MJstxNDQM>
  - Arbeitsgruppe von Prof. Krenner an der WWU  
<https://www.uni-muenster.de/Physik.PI/Krenner/>
- 

Quelle: Pressemitteilung / Pressestelle der Universität  
Münster (upm)

---

# Quantensystem: Schaukeln auf der Quantenebene

geschrieben von Andreas Potthoff | 22. November 2022

# **Forschungs-Team aus Münster, Bayreuth und Berlin schlägt einen neuen Weg vor, um Einzelphotonen zu erzeugen**

Nach der „ersten Quantenrevolution“ – der Entwicklung von Geräten wie Laser und Atomuhr – ist derzeit die „zweite Quantenrevolution“ im vollen Gange: Experten aus aller Welt entwickeln grundlegend neue Technologien, die auf der Quantenphysik beruhen. Eine Schlüsselanwendung ist die Quantenkommunikation, bei der Informationen in Licht geschrieben und verschickt werden. Für viele Anwendungen von Quanteneffekten muss das Licht in einem bestimmten Zustand sein, nämlich in einem Einzelphotonenzustand. Aber wie erzeugt man solche 2021 und Berlin schlagen in der aktuellen Ausgabe des Fachjournals „PRX-Quantum“ jetzt einen neuen Weg vor, ein Quantensystem zu präparieren, um Bauteile für die Quantentechnologie zu entwickeln.

Aus Expertensicht ist es sehr vielversprechend, Quantensysteme zu nutzen, um Einzelphotonenzustände zu erzeugen. Ein bekanntes Beispiel für solch ein Quantensystem ist ein Quantenpunkt. Dabei handelt es sich um eine Halbleiter-Struktur, die nur wenige Nanometer groß ist. Mit Hilfe von Lasern kann man Quantenpunkte ansteuern. Zwar haben Quantenpunkte ähnliche Eigenschaften wie Atome, aber sie sind in einem Kristall vorhanden, was für Anwendungen oft praktischer ist. „Quantenpunkte sind hervorragend für die Erzeugung einzelner Photonen geeignet, und das machen wir in unserem Labor auch schon beinahe täglich. Aber man kann daran noch viel verbessern, gerade wenn man diese Technologie aus dem Labor in die Anwendung bringen möchte“, sagt Dr. Tobias Heindel, Leiter eines Experimentallabors für die Quantenkommunikation an der TU Berlin.

Eine Schwierigkeit, die man überwinden muss, ist die Trennung der erzeugten Einzelphotonen von dem anregenden Licht des Lasers. In ihrer Arbeit schlagen die Forscher eine ganz neue Methode vor, um dieses Problem zu lösen. „Die Anregung nutzt einen Schaukel-Prozess in dem Quantensystem aus. Dafür nutzen wir einen oder mehrere Laserpulse, welche Frequenzen haben, die sich von denen des Systems deutlich unterscheiden. Dies macht das spektrale Filtern sehr einfach“, erklärt der Erstautor der Studie, Thomas Bracht von der Universität Münster.

Als „Schaukel-Prozess“ bezeichnen die Wissenschaftler ein besonderes Verhalten der durch das Laserlicht in dem Quantensystem angeregten Teilchen – der Elektronen, genauer gesagt Elektron-Loch-Paare (Exzitonen). Dabei benutzt man Laserlicht von zwei Lasern, die nahezu gleichzeitig Lichtpulse abgeben. Durch die Wechselwirkung der Pulse miteinander entsteht eine schnelle Modulation. Bei jedem Modulationszyklus wird das Teilchen immer etwas angeregt, aber auch wieder abgeregt. Dabei fällt es nicht auf den vorherigen Stand, sondern wird mit jedem „Schaukelschwung“ stärker angeregt, bis es den maximalen Zustand erreicht. Der Vorteil dieser Methode ist, dass das Laserlicht nicht dieselbe Frequenz hat wie das Licht, das von den angeregten Teilchen abgegeben wird. Vom Quantenpunkt abgegebene Photonen können daher eindeutig zugeordnet werden.

Das Team hat diesen Prozess in dem Quantensystem simuliert und so Richtlinien zur experimentellen Realisierung gegeben. „Wir erklären auch die Physik des Schaukel-Prozesses, was uns dabei hilft, die Dynamik in Quantensystemen besser zu verstehen“, betont Juniorprofessorin Dr. Doris Reiter, die die Studie geleitet hat.

Um die Photonen in der Quantenkommunikation benutzen zu können, müssen sie gewisse Eigenschaften besitzen. Außerdem sollte die Kontrolle des Quantensystems nicht negativ durch die Umgebung oder Störeinflüsse beeinflusst werden. In

Quantenpunkten ist besonders die Wechselwirkung mit dem umgebenden Halbleitermaterial oft ein großes Problem für solche Kontrollschemas. „Unsere numerischen Simulationen zeigen, dass die Eigenschaften der erzeugten Photonen nach dem Hochschaukeln vergleichbar sind mit den Ergebnissen etablierter Methoden zur Erzeugung von Einzelphotonen, die aber weniger praktisch arbeiten“, ergänzt Prof. Dr. Martin Axt, der das Forscher-Team aus Bayreuth leitet.

Bei der Studie handelt es sich um eine theoretische Arbeit. Durch die Zusammenarbeit zwischen theoretischen und experimentellen Gruppen ist der Vorschlag jedoch sehr nahe an realisierbaren, experimentellen Laborbedingungen. Die Autoren sind zuversichtlich, dass eine experimentelle Umsetzung des Schemas in Kürze erfolgen wird.

### **Förderung**

Das Projekt-Team aus Münster hatte finanzielle Unterstützung von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) über das Projekt 428026575. Tobias Heindel wird gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) über das Projekt “QuSecure” (Grant No. 13N14876) im Rahmen der Photonik Forschung Deutschland. Alexei Vagov hatte finanzielle Unterstützung von der Russian Science Foundation über das Projekt No. 18-12-00429.

### **Originalveröffentlichung:**

Thomas K. Bracht, Michael Cosacchi, Tim Seidelmann, Moritz Cygorek, Alexei Vagov, V. Martin Axt, Tobias Heindel, and Doris E. Reiter (2021): Swing-Up of Quantum Emitter Population Using Detuned Pulses. PRX Quantum 2, 040354; DOI: 10.1103/PRXQuantum.2.040354

---

## Links:

- Originalveröffentlichung in "PRX Quantum"  
<https://journals.aps.org/prxquantum/abstract/10.1103/PRXQuantum.2.040354>
- Gruppe von Juniorprofessorin Dr. Doris Reiter an der WWU Münster  
<https://www.uni-muenster.de/Physik.FT/Forschung/agreiter/>
- Gruppe von Dr. Tobias Heindel an der TU Berlin  
[https://www.ifkp.tu-berlin.de/menue/arbeitsgruppen/jag\\_heindel/home/](https://www.ifkp.tu-berlin.de/menue/arbeitsgruppen/jag_heindel/home/)
- Gruppe von Prof. Dr. Martin Axt an der Universität Bayreuth  
<https://www.axt.physik.uni-bayreuth.de/de/index.html>

---

Quelle: Pressemitteilung / Pressestelle der Universität Münster (upm)