idw - Informationsdienst Wissenschaft
Nachrichten, Termine, Experten

Pressemitteilung

Universität Augsburg
Corina Härning

01.03.2021
http://idw-online.de/de/news764037

Forschungsergebnisse
Physik / Astronomie
überregional

# Eine präzise Mischung von Licht und Schall: Nanoschallwellen versetzen künstliche Atome in Schwingung

**Einem deutsch-polnischen Forscherteam aus Augsburg, Münster, München und Breslau ist es gelungen, gezielt Nanoschallwellen auf einzelne Lichtquanten zu übertragen. In einer in der Fachzeitschrift „Optica“ veröffentlichten Studie verwenden die Wissenschaftler ein „künstliches Atom“, das die Vibrationen der Schallwelle mit nie dagewesener Präzision in einzelne Lichtquanten, Photonen umwandelt. Das erstmals nachgewiesene Prinzip bildet einen wichtigen Baustein für die Entwicklung hybrider Quantentechnologien.**

Licht- und Schallwellen bilden das Rückgrat der modernen Kommunikationstechnologie. Während Licht Daten über Glasfasern über lange Strecken überträgt, finden Schallwellen-Chips bei der drahtlosen Kommunikation zwischen Routern, Tablets oder Smartphones Verwendung. Diese beiden Schlüsseltechnologien gilt es für die jetzt angebrochene Ära der Quantenkommunikation mit Lichtquanten fit zu machen. Hier spielen sogenannte hybride Quantentechnologien eine zentrale Rolle.

Hybride Quantentechnologien nutzen Licht und Schallwellen

Diese verbinden verschiedenartige Quantensysteme miteinander, um die unterschiedlichen Stärken gezielt zu nutzen und gleichzeitig die einzelnen Schwächen zu umgehen. „Auf diesem Feld sind Schwingungen des Kristallgitters besonders vielversprechend,“ erläutert Professor Hubert Krenner, der die Studie an der Universität Augsburg leitet und ergänzt: „Phononen, wie wir Physiker diese Schwingungen nennen, verzerren jedes im Kristall eingebettete Objekt und verändern so seine physikalischen Eigenschaften.“

In ihrer Studie verwenden die Forscher akustische Oberflächenwellen, um ein einzelnes künstliches Atom, einen sogenannten Quantenpunkt, in Schwingung zu versetzen und so die Farbe des Lichts, das dieser abstrahlt, zu ändern. Dr. Daniel Wigger, der an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster und der Technischen Universität Breslau (Politechnika Wrocławska) die Kopplung von Quantenpunkten und Phononen erforscht, ist begeistert: „In unseren Simulationen konnten wir die in Augsburg gemessenen Spektren nahezu perfekt nachbilden, indem wir die Nanoschallwelle wie einen Phononen-Laser in unser Modell eingebaut haben.“

Die vorgestellten Forschungsergebnisse sind ein Meilenstein für die Entwicklung hybrider Quantentechnologien, weil der Quantenpunkt einzelne Lichtquanten, sogenannte Photonen abstrahlt, die durch die Schallwelle exakt getaktet sind. Dr. Matthias Weiß, der am Augsburger Physikinstitut im Sommer seine Promotion abgeschlossen hat, fügt hinzu: „Besonders spannend ist, dass die Spektrallinien der an der TU München hergestellten Quantenpunkte so extrem scharf sind. Dadurch konnte ich beobachten, wie sich diese um die Winzigkeit der Energie eines einzelnen Phonons verschiebt.“

Winzigkeit von Energie wird sichtbar

Das Forscherteam konnte aber noch einen entscheidenden Schritt weitergehen. Die Wissenschaftler verwendeten eine zweite Schallwelle mit einer anderen Frequenz. Im Spektrum des Quantenpunkts zeigten sich nun neue Spektrallinien, die der Summe oder Differenz der Frequenzen der beiden Schallwellen entsprachen. Professor Hubert Krenner: „Dieses Wellenmischen kennt man in der Optik seit Jahrzehnten und es wird zum Beispiel in Laserpointern verwendet, um grünes Licht zu erzeugen. Unsere Laser sind Nanoschallwellen, die wir mit Lichtquanten mischen."

Die Präzision dieses Phänomens ist atemberaubend. „Als ich die Frequenz einer der beiden Schallwellen um die Winzigkeit von weniger als einem billionstel Teil veränderte, beobachtete ich, wie das Spektrum über die Dauer eines Tages exakt wie vorhergesagt schwingt," berichtet Matthias Weiß. Der Quantenpunkt selbst stellt ein sogenanntes Qubit dar, die Grundeinheit bei der Quanteninformationsverarbeitung. Daniel Wigger fügt hinzu: „Es war vollkommen ausreichend, den Quantenpunkt als Qubit in unser Modell einzubauen, das von der Schallwelle in Schwingung versetzt wird. Sonst mussten wir keine Annahmen machen." Die hervorragende Übereinstimmung zwischen den Berechnungen und den experimentellen Resultaten zeigt nach Ansicht der Forscher, dass ihr Modell bereits alle wesentlichen Eigenschaften richtig beschreibt. Somit sollte es auch direkt auf andere Qubits anwendbar sein.

Erfolg basiert auf jahrelanger gemeinsamer Spitzenforschung

In ihrer Spitzenforschung konnten die Arbeitsgruppen in Deutschland und Polen auf jahrelange Erfahrung bauen. Professor Tilmann Kuhn und Professor Paweł Machnikowski haben an der Universität Münster und der Politechnika Wrocławska Pionierarbeiten in der theoretischen Beschreibung der Kopplung von Quantenpunkten und Phononen geleistet, die Hubert Krenner mit Nanoschallwellen im Experiment untersucht. „In diesem Projekt", so Paweł Machnikowski, „haben wir sehr von der einzigartigen Verknüpfung von Theorie und Experiment und unserem gemeinsamen, reichen Erfahrungsschatz profitiert." Auch der münstersche Professor Tilmann Kuhn freut sich: „Bis jetzt wurden Phononen bei der Kontrolle von Quantenzuständen leider oft nur als lästiges Übel betrachtet und es wurde versucht, ihren Einfluss weitestgehend zu unterdrücken. In dieser Arbeit konnten Phononen nun ganz gezielt benutzt werden, um Quantenzustände zu kontrollieren."

Die nun in Optica erschienene Arbeit ist aber nur der erste Schritt hin zu phononischen Quantentechnologien. Matthias Weiß hat auch schon die nächsten Experimente durchgeführt, deren Ergebnisse Daniel Wigger zurzeit in Polen mit der Theorie in Einklang bringt.

wissenschaftliche Ansprechpartner:

Prof. Dr. Hubert Krenner
Institut für Physik, Lehrstuhl für Experimentalphysik 1
Universität Augsburg
hubert.krenner@uni-a.de

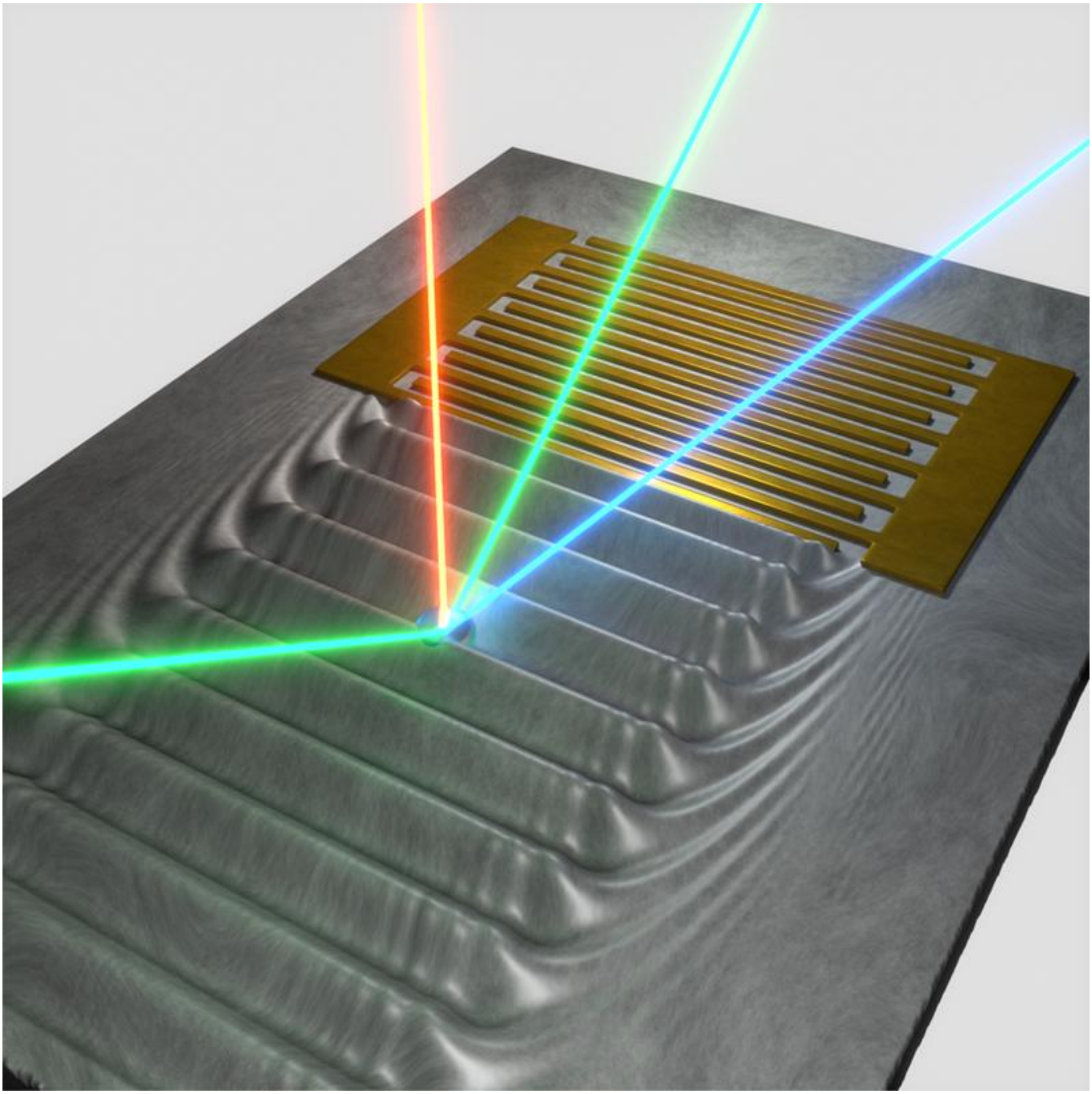
Dr. Daniel Wigger
Department of Theoretical Physics
Wrocław University of Science and Technology
daniel.wigger@pwr.edu.pl

Prof. Dr. Tilmann Kuhn
Institut für Festkörpertheorie
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
tilmann.kuhn@uni-muenster.de

Originalpublikation:

Optomechanical wave mixing by a single quantum dot

M. Weiß, D. Wigger, M. Nägele, T. Kuhn, K. Müller, J. J. Finley, P. Machnikowski, H. J. Krenner
Optica 8, (2021) – http://dx.doi.org/10.1364/OPTICA.412201



Das Licht eines Lasers (grün) wird durch ein künstliches Atom mit der Schallwelle gemischt. So wird die Farbe der abgestrahlten Lichtquanten (rot und blau) mit höchster Präzision verändert.
Uni Augsburg/Matthias Weiß
Universität Augsburg