

**Forschungszentrum MATHEON**  
Mathematik für Schlüsseltechnologien

Rudolf Kellermann  
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
Technische Universität Berlin, Sekr. MA 3-1  
Straße des 17. Juni 136, 10623 Berlin  
Tel.: +49 (0)30 314-29274  
Email: [kellermann@matheon.de](mailto:kellermann@matheon.de)  
[www.matheon.de](http://www.matheon.de)

Berlin, 13. Oktober 2015

## **Sichere Datenübertragung dank eines einzigen Photons**

**Physiker der TU Berlin und Mathematiker des MATHEON sind so erfolgreich, dass selbst das renommiert Journal „Nature Communications“ über ihr Projekt berichtete**

Sicherheit in der Datenübertragung ist nicht erst seit dem NSA-Skandal ein wichtiges Thema. Dabei steht der Wunsch nach Schnelligkeit gelegentlich zum Wunsch nach hoher Sicherheit in einem gewissen Widerspruch. Besonders bei der Übertragung sensibler Daten, beispielsweise von Banken oder im Politikbereich, muss die Sicherheit allerdings im Vordergrund stehen. Diese hohe Sicherheit ist eine der wissenschaftlichen Aufgaben des Sonderforschungsbereichs SFB 787 „Halbleiter-Nanophotonik“, dessen Sprecherhochschule die TU Berlin ist. Beteiligt sind auch die Mathematiker und MATHEON-Mitglieder Prof. Frank Schmidt, Dr. Sven Burger und Dr. Benjamin Wohlfeil vom Zuse-Institut Berlin. Ein von den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern entwickelter Grundbaustein zur absolut abhörsicheren Informationsübertragung durch einzelne Photonen wurde vor kurzem sogar von der Zeitschrift „Nature Communications“ mit einem großen Beitrag (doi:10.1038/ncomms8662) gewürdigt.

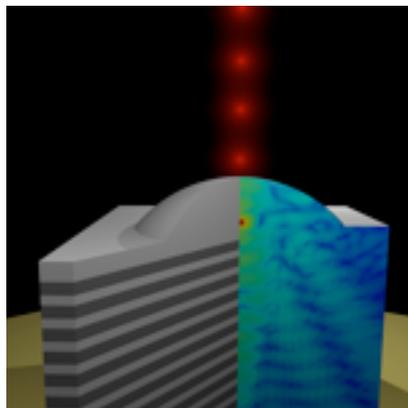
Daten werden in der Regel in Glasfasern mit Lichtimpulsen übermittelt. Die normale Übertragung geschieht mit 1 und 0, wobei die „Eins“ Milliarden von Photonen in Form eines Lichtpulses beträgt, die Null dagegen kein Licht sendet. Diese Übertragung birgt die Gefahr, dass beispielsweise von den vielen Milliarden Lichtteilchen 10.000 heraus gezogen werden, um die Information abzuhören. Dies würde beim Empfänger überhaupt nicht auffallen. „Man kann als Empfänger nicht unterscheiden, ob die gesamte Information angekommen ist oder ein Teil abgehört wurde“, erklärt Prof. Stephan Reitzenstein, Sprecher des Sonderforschungsbereichs und Professor am Institut für Physik der TU Berlin.

In der Quantenkommunikation will man daher mit einzelnen Photonen arbeiten. Das bedeutet vereinfacht ausgedrückt, dass im Falle eines Abhörversuches auch nur dieses einzelne Photon aus der Übermittlung herausgenommen werden kann, dann kann aber auch keine Nachricht beim Empfänger mehr ankommen und so wird der Abhörversuch offensichtlich. Hinzu kommt, dass durch einen Abhörversuch der Zu-

stand des Photons unwiderruflich verändert wird und daher nicht wieder in die Datenübertragung eingefügt werden kann. „Man hat damit das System derart gestört, dass auch das Kopieren auffallen würde“, so Reitzenstein. Mit der Quantenkommunikation könnte man das Abhören also „rein theoretisch“ vollkommen unmöglich zu machen, zumindest aber auf ein Minimum beschränken.

Tatsächlich gibt es derzeit schon Systeme zu kaufen, die auf dieser Basis arbeiten. Im Forschungsprojekt wird jedoch mit Lichtquellen gearbeitet und geforscht, die derzeit noch nicht auf dem Markt zu erwerben sind. Die erhältlichen Systeme bedienen sich normaler Laser mit einer Ausgangsleistung von etwa einem Milliwatt. Dann wird diese Leistung mittels Abschwächern soweit minimiert, dass im Mittel ein Photon aus dem System heraus kommt. Das Problem ist jedoch hierbei, dass durch die notwendige starke Abschwächung bei vielen Impulsen gar kein Photon oder auch pro Impuls mehr als ein Photon entsteht. Die Möglichkeit eines Versagens der aktuellen Systeme ist also relativ groß und somit sind diese Systeme noch sehr langsam und vergleichsweise unsicher.

Konkret bedeutet dies, dass es kommerziell noch nicht möglich ist, auf Knopfdruck einzelne Lichtquellen so zu aktivieren, dass sie tatsächlich immer und ausschließlich ein einzelnes Photon aussenden. „Diesen Vorgang kann man sich in etwa wie die Benutzung einer Pistole vorzustellen, wo jeweils ein Photon abgeschossen wird. Genau hier ist der Ansatz des Forschungsprojekts“, so Stephan Reitzenstein.



Schematische Darstellung der Einzelphotonenquelle auf Basis einer Quantenpunkt-Mikrolinse. (privat)

Nach Kenntnis des Physikers werden diese Vorgänge zwar weltweit untersucht, einzigartig allerdings ist der große Fortschritt der Berliner Forscher. Einzigartig ist auch die spezielle Lithografie-Methode des Berliner Ansatzes. Gearbeitet wird mit Quantenpunkten auf einem kleinen Halbleiterobjekt mit einer Ausdehnung von 10-20 Na-

nometern. Wird dieser Quantenpunkt auf „Knopfdruck“ angeregt, wird ein Elektron gespeichert mit einem so genannten Loch als Gegenstück. Nach einer gewissen Zeit vereinigen sich diese beiden entgegengesetzt geladenen Teilchen und senden ein Photon aus. Allerdings formen sich solche Quantenpunkte bei der Herstellung zufällig auf der Oberfläche des Halbleitermaterials. Man weiß also nicht zuverlässig, wo der Quantenpunkt sitzt. Dies führt in der Regel zu einer beliebig schlechten Ausbeute. Im Sonderforschungsbereich wurde daher eine Methode entwickelt, mit der man sicher den Quantenpunkt lokalisieren kann, um diesen als Einzelphotonen-Quelle gezielt in eine Mikrolinse einzubetten.

Hier kommen Frank Schmidt, Sven Burger und Benjamin Wohlfeil ins Spiel. Die Mathematiker rechneten und rechnen den optischen Teil der Quantenphysik. „Wir hatten eine gegebene Lichtquelle und eine gegebene Konfiguration als Vorgabe. Nun mussten wir die Frage klären, wie die optimale Form, Größe oder Höhe der Linse, also die finale Optik auszusehen hat. Es geht dabei letztlich um die Optimierung der Linse, also ein klassisches Optimierungsproblem“, so Prof. Schmidt. Ein weiteres Problem für die Mathematiker war es, den Stromfluss durch das nötige Trägermetall zu gewährleisten und dann zu berechnen, wie viel Licht schließlich aus der Linse kommt. Das ist nicht ganz einfach, weil Metall auch Licht absorbiert. „Alles zu lösende Voraussetzungen, um aus dem physikalischen Effekt ein handels- und herstellbares Design zumachen“ ergänzt Benjamin Wohlfeil. Dafür wurden ganz unterschiedliche Linsenformen ausprobiert. Hierfür wurden große Rechner gebraucht und die Mathematik ist angehalten, diese Berechnungen behandelbar zu machen. Schließlich waren die Mathematiker sehr erfolgreich, denn sie konnten den Anteil des austretenden Lichts in ihren Rechnungen von etwa einem Prozent auf über 60 Prozent erhöhen.

Die entwickelte Mikrolinse unterscheidet sich kaum von einer normalen Linse, allerdings wird die Linse im umgekehrten Sinne angewendet. Der „Brennfleck“ ist die einzelne Photonenquelle und die Linse gibt dieses Photon dann effizient in die Umgebung, also den Kommunikationskanal ab. Ohne eine solche Linse würde nur ungefähr jedes 100ste Photon nach außen gelangen.

Gleichzeitig werden beim Fertigungsprozess der Linse alle anderen störenden Quantenpunkte entfernt, so dass der einzig effektive Quantenpunkt in der Linse sitzt. Voraussetzung für diesen Vorgang ist ein ausgeklügeltes in-situ Lithographieverfahren, welches in den vergangenen vier Jahren in der Gruppe von Prof. Reitzenstein entwickelt wurde. Mit der Berliner Methode kann also voll kontrolliert jeweils eine optimale Linse mit integriertem Quantenpunkt hergestellt werden. Wobei das Material identisch ist, aus dem sowohl der Quantenpunkt wie auch die Linse entstanden sind. Das ist bisher weltweit einmalig, denn die Prozessausbeute liegt mit dieser Methode bei etwa 90 Prozent im Gegensatz zu allen anderen weltweit betriebenen Methoden, deren Ausbeute bei lediglich einem Prozent liegt.

Noch ist die Entwicklung aber nicht so weit, dass dieser Vorgang in fertige Geräte eingebaut werden kann. Behindert wird dies besonders dadurch, dass für den Betrieb extrem niedrige Temperaturen von weniger als -240 Grad Celsius benötigt werden. Das Problem der Kühlung zu lösen wird Aufgabe für die nächsten Jahre sein. Eine weitere Aufgabe wird es sein, von der bisherigen Emissionswellenlänge von 900 Nanometern auf die in der Telekommunikation üblichen 1300 Nanometer zu kommen und die Quellen direkt an eine Glasfaser anzukoppeln. Wenn diese Herausforderungen gemeistert sind, sollte der ersten kommerziellen Einzelphotonenquelle „Made in Berlin“ nichts mehr im Wege stehen.

Schließlich besteht noch das Problem der zu geringen Reichweite dieser Quanten-Datenübertragung, da diese Form der Kommunikation eine Verstärkung der Signale grundsätzlich nicht zulässt. In allen gängigen Glasfaserkabeln werden die Daten jeweils nach wenigen 10 km immer wieder verstärkt, um eine möglichst große Reichweite zu erreichen. In der Quantenkommunikation muss hingegen auf die Teleportation zurückgegriffen werden, die bislang im Wesentlichen aus Science-Fiction Filmen bekannt ist. Hier ist der Einsatz der MATHEON-Mathematiker ebenso gefragt wie bei der Aufgabe, die Übertragung schneller zu machen.

Ob diese Aufgabe in den nächsten vier Jahren und damit dem Ende des Sonderforschungsbereichs aufgrund der Höchstdauer von zwölf Jahren erfüllt werden können, glaubt Prof. Reitzenstein nicht. „Dieses zuletzt genannte Problem könnten Aufgabe eines neuen Sonderforschungsbereiches sein. Allerdings sehen wir da einer großen Konkurrenz vor allem aus China entgegen, wo in diese Forschung gerade zwei bis dreistellige Millionenbeträge investiert werden“, so der Physiker.