



**PRESSEINFORMATION**  
**Garching, 25.02.2007**

## **Quantenkommunikation ohne Verluste**

**Forscher am Max-Planck-Institut für Quantenoptik entwickeln neuartige Protokolle für die verlustfreie Kommunikation in Quantennetzwerken**

**Quantennetzwerke bestehen aus Knoten, die über den Austausch von Photonen Quantenzustände aussenden und empfangen können. Mit solchen Netzwerken können z.B. geheime Botschaften verschlüsselt auf sicherem Weg zu verschickt werden. Dabei ist es wichtig, Quantenkommunikation zwischen beliebigen Knoten innerhalb des Netzes zu ermöglichen. Wie Prof. Ignacio Cirac, Direktor am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching bei München, Antonio Acín (ICFO-Institut de Ciències Fotoniques, Spanien) und Maciej Lewenstein (ICREA-Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats, Spanien) berichten (Nature Physics, Advance Online Publication, 25. Februar 2007) hängt die Effizienz eines Quantenprotokolls stark davon ab, wie die Knoten dargestellt und miteinander verschränkt werden. Unter Ausnutzung von Eigenschaften, die nur Quantensysteme aufweisen, entwickelten die Wissenschaftler Protokolle, die auch in unendlich ausgedehnten Netzen eine verlustfreie Übertragung von Information zwischen zwei beliebigen Knoten gewährleisten.**

Die klassische Informationstheorie beschäftigt sich unter anderem damit, den optimalen Weg für die Informationsübertragung zwischen zwei beliebigen Knoten (das sind gewissermaßen Schaltstellen, die die Information weiterleiten) in einem Netzwerk zu finden. Dabei sind vor allem zwei Dinge zu beachten: zum einen, welche und wie viele Knoten miteinander verbunden sein müssen (es wäre zu teuer, alle miteinander verknüpfen), um eine Übertragung zu garantieren. Zum anderen, auf wie vielen und auf welchen Wegen man die Botschaft verschickt, um sie vollständig zu übermitteln, da nicht alle Kanäle perfekt sind (d.h. man hat ein Rauschen). Die für ein bestimmtes Netz gewählten Übertragungsregeln werden in einem so genannten Protokoll fest gehalten.

Mit ähnlichen Fragen hat man sich bei der Gestaltung von Quantennetzwerken zu befassen, in denen die einzelnen Knoten durch Quantensysteme realisiert sind. Um hier Quanteninformationen von Knoten A nach Knoten B zu übertragen (dieser Vorgang wird auch Teleportation genannt) muss man erreichen, dass die beiden Knoten mit einander verschränkt sind. (Die Verschränkung zweier Quantensysteme bedeutet, dass ihre Eigenschaften perfekt korreliert und damit voneinander abhängig sind.) So wie in der klassischen Informationstheorie die Übertragungsprotokolle je nach der Anordnung der Knoten entsprechend gestaltet werden, geht es auch in der Quanteninformationstheorie darum, für spezielle Konfigurationen von Quantennetzwerken das optimale Protokoll zu finden, um die Informationen (selbst im Grenzfall unendlich ausgedehnter Quantennetzwerke) über weite Entfernungen verlustfrei zu übertragen.

Ein Quantennetzwerk ist ein Verbund von Knoten, zwischen denen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eine Verbindung besteht, d.h. die einen gewissen Grad von Verschränkung aufweisen. Es müssen also effiziente Protokolle geschaffen werden, welche die Wahrscheinlichkeit maximieren, zwischen beliebigen Knoten maximale Verschränkung zu erhalten. Die hierfür von Cirac und seinen Mitarbeitern entwickelten Protokolle lehnen sich zwar an die Konzepte der klassischen Informationstheorie (Durchflusstheorie) an, steigern aber deren Effizienz erheblich, indem sie Quantenphänomene berücksichtigen und ausnutzen.

So werden in klassischen Netzwerken Verstärker, so genannte „Repeater“, eingesetzt, um zu verhindern, dass das Signal exponentiell mit der Zahl der Knoten abklingt. Dazu gibt es in der Quanteninformationstheorie kein direktes Analogon. Dafür liefert die Quantenmechanik weit mehr Möglichkeiten als die klassische Informationstheorie, die Knoten, d.h. die Quantenbits, zu manipulieren, um die Information vollständig zu erhalten.

Der fundamentale Unterschied zu klassischen Systemen besteht darin, dass man in einem Quantennetzwerk nicht mehr die Kanäle und Knoten einzeln betrachten muss. Man kann das Netzwerk vielmehr als einen einzigen Quantenzustand auffassen, den sich die Knoten teilen, und optimiert dann nicht mehr die Verschränkung von je zwei Knoten, sondern die globale Verschränkungsverteilung.

Auch unter diesen Bedingungen können, wie Cirac et al. zeigen, unterschiedliche Protokolle zu sehr unterschiedlichen Erfolgswahrscheinlichkeiten für maximale Verschränkung zwischen verschiedenen Knoten führen. Für einige Spezialfälle (ein- und zweidimensionale Netzwerke mit spezieller regelmäßiger Geometrie) erhalten die Wissenschaftler jedoch Protokolle, die deutlich besser als klassische Durchfluss-Protokolle sind. Für den Fall einer eindimensionalen Kette wurde das optimale Protokoll gefunden: auch unter Bedingungen, in denen das Signal klassisch exponentiell abklingen würde, ist hier die Übertragung von Quanteninformationen ohne Verluste möglich. (Quanten-Repeater können somit aufgefasst werden als einfache Quantennetzwerke, die Quantenkommunikation über weite Distanzen ermöglichen).

Die Rechnungen zeigen, dass das System hinsichtlich des Verschränkungsgrades eine Art Phasenübergang durchläuft: Unterhalb eines bestimmten Schwellenwertes für den Verschränkungsgrad ist der „Durchfluss“ d.h. die Übertragung von A nach B, gleich Null. Oberhalb dieses Wertes bekommt der Durchfluss einen bestimmten festen Wert, der jetzt unabhängig von der Entfernung der Knoten ist.

Statistische Methoden und Konzepte wie die klassische Durchflusstheorie können somit auch für die Gestaltung von Protokollen für die Quantenkommunikation angewendet werden. Dabei tritt aber ein neuartiges Phänomen auf: ein Verschränkungsphasenübergang. Es gibt eine „kritische“ minimale Verschränkung, die notwendig ist, um einen perfekten Quantenkanal über weite Entfernungen zu etablieren. Die Wissenschaftler wollen solche Verschränkungs- und Durchfluss-Strategien noch weiter erforschen, um Protokolle zu entwickeln, die auch in komplizierten Quantennetzwerken eine verlustfreie Informationsübertragung ermöglichen. [O.M.]

#### **Originalarbeit:**

Antonio Acín, J. Ignacio Cirac, Maciej Lewenstein  
**Entanglement Percolation in Quantum Networks**  
*Nature Physics online, 25. Februar 2007*

#### **Kontakt:**

##### **Prof. Dr. Ignacio Cirac**

Lehrstuhl für Physik, TU München  
Direktor am Max-Planck-Institut für  
Quantenoptik,  
Hans-Kopfermann-Straße 1  
85748 Garching  
Telefon: +49 - 89 / 32905 705 / 736  
Fax: +49 - 89 / 32905 336  
E-Mail: [ignacio.cirac@mpq.mpg.de](mailto:ignacio.cirac@mpq.mpg.de)  
[www.mpq.mpg.de/cirac](http://www.mpq.mpg.de/cirac)

##### **Dr. Olivia Meyer-Streng**

Presse & Kommunikation  
Max-Planck-Institut für Quantenoptik,  
Hans-Kopfermann-Straße 1  
85748 Garching  
Telefon: +49 - 89 / 32905 213  
Fax: +49 - 89 / 32905 200  
E-Mail: [olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de](mailto:olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de)