



2. Oktober 2012

## Quanten-Kausalbeziehungen: A verursacht B verursacht A

**Eines der am tiefsten verwurzelten Konzepte in der Wissenschaft und in unserer Alltagserfahrung ist die Kausalität: die Idee, dass gegenwärtige Ereignisse durch vergangene Ereignisse verursacht werden und dass gegenwärtige Ereignisse wiederum zukünftige Ereignisse verursachen. Wenn ein Ereignis A eine Wirkung B verursacht, kann B nicht auch A verursachen. Nun zeigen theoretische Physiker von der Universität Wien und der Université Libre de Bruxelles, dass in der Quantenmechanik eine Situation vorstellbar ist, in der ein einzelnes Ereignis zugleich Ursache und Wirkung eines anderen Ereignisses sein kann. Die Forschungsergebnisse dazu erscheinen in der aktuellen Ausgabe von "Nature Communications".**

Obwohl noch nicht geklärt ist, ob solche Situationen tatsächlich in der Natur vorkommen, kann die bloße Möglichkeit ihrer Existenz weitreichende Folgen für die Grundlagen der Quantenmechanik, der Quantengravitation und der Quanteninformationsverarbeitung haben.

### Kausale Beziehungen: Wer beeinflusst wen?

Im Alltagsleben und in der klassischen Physik gibt es eine klare zeitliche Abfolge von Ereignissen: eine Ursache kann nur eine Wirkung in ihrer Zukunft und nicht in ihrer Vergangenheit beeinflussen. Ein einfaches Beispiel: Eine Person namens Alice betritt ein Zimmer und findet dort ein Stück Papier vor. Alice liest das Papier, radiert die Schriftzüge aus und schreibt ihre eigene Botschaft auf das Papier nieder. Eine zweite Person, Bob, die dasselbe Zimmer zu einem anderen Zeitpunkt betritt, befolgt das gleiche Prozedere: Bob liest, löscht und schreibt eine Nachricht auf das Papier. Falls Bob den Raum nach Alice betritt, wird zwar er die Botschaft von Alice lesen können, aber Alice hat keine Möglichkeit, Bobs Nachricht zu kennen. In diesem Fall ist das Verfassen der Botschaft durch Alice die "Ursache" und die von Bob gelesene Botschaft die "Wirkung". Jedes Mal, wenn die beiden den Vorgang wiederholen, wird nur eine der beiden Personen die Nachricht des anderen lesen können. Selbst wenn sie keine Uhren bei sich haben und nicht wissen, wer von ihnen als erster den Raum betritt, können sie aufgrund dessen, was sie lesen und schreiben herausfinden, welche Person als erste im Zimmer war. Wenn z.B. Alice die Nachricht "Alice war heute hier" hinterlässt, wird Bob beim Lesen der Nachricht feststellen, dass er das Zimmer erst nach Alice betreten hat.

### Quantenverletzung der kausalen Abfolge

Solange nur die Gesetze der klassischen Physik zulässig sind, steht die Reihenfolge der Ereignisse fest: Entweder ist Bob oder Alice die erste Person, die im Zimmer eine Nachricht hinterlässt. Wenn die Quantenmechanik ins Spiel kommt, kann sich dieses Bild jedoch drastisch verändern. Gemäß der Quantenmechanik können Objekte ihre wohldefinierten klassischen Eigenschaften verlieren, sodass z.B. ein Teilchen zugleich an zwei unterschiedlichen Orten sein kann. Das nennt man in der Quantenphysik "Superposition". Nun hat ein internationales Team von Physikern um Caslav Brukner von der Universität Wien gezeigt, dass sich sogar die kausale Abfolge von Ereignissen in einer solchen Superposition befinden könnte. Wenn in unserem Beispiel Alice und Bob statt eines gewöhnlichen Blatt Papiers ein Quantensystem zur Verfügung haben, um ihre Nachricht zu hinterlassen, kann nun folgende Situation eintreten: Jede der beiden Personen kann Teile der Botschaft lesen, die die andere Person geschrieben hat. Tatsächlich hat man eine Superposition der beiden Situationen: "Alice betritt das Zimmer als Erste und hinterlässt ihre Nachricht vor Bob" und "Bob betritt das Zimmer als Erster und hinterlässt seine Nachricht vor Alice".

"Solch eine Möglichkeit wurde in der Quantenmechanik nicht umgesetzt, da die Theorie immer eine bestimmte kausale Abfolge zwischen Ereignissen voraussetzt", erläutert Ognjan Oreshko von der Freien Universität Brüssel (vormals Universität Wien). "Wenn wir allerdings davon ausgehen, dass die Quantenmechanik alle Phänomene steuert, muss man naturgemäß annehmen, dass die Abfolge von Ereignissen auch unbestimmt sein könnte, ähnlich der Position und der Geschwindigkeit eines Teilchens", ergänzt Fabio Costa von der Universität Wien.

Diese Erkenntnisse stellen einen wichtigen Schritt zum Verständnis dar, dass die bestimmte kausale Abfolge nicht eine notwendige Eigenschaft der Natur sein muss. "Die wahre Herausforderung liegt nun darin herauszufinden, wo wir in der Natur nach Superpositionen der kausalen Abfolge suchen sollen", erklärt Caslav Brukner von der Gruppe Quantenoptik, Quantennanophysik, Quanteninformation der Universität Wien.

**Publikation in "Nature Communications":**

"Quantum correlations with no causal order": Ognyan Oreshkov, Fabio Costa, Caslav Brukner.  
Nature Communications  
DOI: 10.1038/ncomms2076

**Wissenschaftlicher Kontakt (Brüssel):**

Ognyan Oreshkov  
Centre for Quantum Information and Communication (QuIC)  
Université Libre de Bruxelles  
Av. F. D. Roosevelt 50 – CP165/59  
B-1050 Brussels, Belgium  
T+32-2-650 29 56  
[oreshkov@ulb.ac.be](mailto:oreshkov@ulb.ac.be)  
<http://quic.ulb.ac.be/members/oreshkov>

**Wissenschaftliche Kontakte (Wien):**

Fabio Costa  
Quantenoptik, Quantennanophysik, Quanteninformatik  
Fakultät für Physik, Universität Wien  
Boltzmannngasse 5, 1090 Wien  
T +43-1-4277-725 83  
[fabio.costa@univie.ac.at](mailto:fabio.costa@univie.ac.at)  
[www.quantumfoundations.weebly.com](http://www.quantumfoundations.weebly.com)

Caslav Brukner  
Quantenoptik, Quantennanophysik, Quanteninformatik  
Fakultät für Physik, Universität Wien  
Boltzmannngasse 5, 1090 Wien  
T +43-1-4277-725 82  
M +43-664-602 77-725 82  
[caslav.brukner@univie.ac.at](mailto:caslav.brukner@univie.ac.at)  
[www.quantumfoundations.weebly.com](http://www.quantumfoundations.weebly.com)

**Rückfragehinweise:**

Mag. Barbara Suchanek  
VCQ Press  
Boltzmannngasse 5, 1090 Wien  
T +43-1-4277-725 45  
[vcq@quantum.at](mailto:vcq@quantum.at)