



Leopoldina  
Nationale Akademie  
der Wissenschaften



*Juni 2015*

*Kurzfassung der Stellungnahme*

## Perspektiven der Quantentechnologien

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina  
acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften  
Union der deutschen Akademien der Wissenschaften

Die Quantentechnologien haben sich in den vergangenen Jahrzehnten als neues Forschungsgebiet etabliert, das auf Erkenntnissen aus Physik, Mathematik und Informatik aufbaut und zahlreiche neue Ideen und Konzepte für technische Anwendungen hervorgebracht hat.

Grundlage aller Quantentechnologien sind die Erkenntnisse der Quantenphysik. Diese umfasst alle Theorien und formalen theoretischen Konzepte sowie deren Interpretation, die zur Beschreibung atomarer und subatomarer Systeme entwickelt wurden. Sie ist unter anderem die Grundlage für die Festkörper-, Atom- und Molekülphysik sowie der theoretischen Chemie.

Ohne die Quantenphysik wären viele Entdeckungen und Erfindungen des 20. Jahrhunderts nicht möglich gewesen, bei denen quantenmechanische Prinzipien eine bedeutende Rolle spielen. Dazu gehören der Laser, Atomuhren oder die Ortsbestimmung mittels Satelliten (GPS) – besonders aber die gesamte Elektronik einschließlich Computer, Internet und Mobilfunk. Diese Technologien werden auch als Quantentechnologien der „ersten Generation“ bezeichnet.



**Abbildung 1:** Ein Teilchen kann gleichzeitig zwei Wege nehmen, wenn man es in der Zwischenzeit nicht beobachtet.  
[Charles Addams, *The New Yorker* 1940]

In den vergangenen Jahren wurde deutlich, dass die Nutzung weiterer quantenmechanischer Effekte, die weit über die bisher genutzten Prinzipien der Quantenmechanik hinausführen, vielfältige neue technische Anwendungen in Aussicht stellt. Aufbauend auf Ergebnissen der Grundlagenforschung werden erste technische Anwendungen der „zweiten Generation“ der Quantentechnologien entwickelt. Diese neuen Quantentechnologien stehen im Mittelpunkt der vorliegenden Stellungnahme.

Das Potenzial der **neuen Quantentechnologien** ist groß: So etwa für die Informationsverarbeitung und die sichere Kommunikation sowie für die hochempfindliche Sensorik im Messwesen, bei der Standardisierung und in der Medizin.

Ein prominentes Beispiel für das Potenzial der neuen Quantentechnologien ist die Quanteninformationstheorie und ihre Anwendungen für die **sichere Datenübertragung**. Nach den Naturgesetzen der Quantenphysik verursacht ein dritter Teilnehmer (ein unberechtigter Lauscher) zwingend eine Störung der Nachrichtenübertragung, die vom Sender und Empfänger registriert werden kann. Dieses Prinzip macht sich die Quantenkryptographie zunutze, z.B. bei der Datenübertragung mittels Quantenzuständen des Lichts. Anders als die heutige Kryptographie stützt sie sich nicht auf plausible, aber unbewiesene mathematische Annahmen, sondern auf Naturgesetze. Damit erreicht die Quantenkryptografie, die in ersten Modellversuchen bereits erprobt wird, ein neues Niveau der Übertragungssicherheit.

Die **Quanteninformationstheorie** könnte darüber hinaus in Zukunft auch leistungsfähigere Rechnerkonzepte und Rechenverfahren entwickeln. Die herkömmliche Rechnertechnik, die die Basis für Datenverarbeitung und Kommunikation ist, wird aufgrund der zunehmenden Informationsdichte und Integration immer kleinerer Bauelemente unweigerlich an Grenzen stoßen. Quantentechnologische Ansätze könnten der fortschreitenden Miniaturisierung in der Elektronik neue Perspektiven eröffnen.

Für das **Messwesen** könnte durch die Nutzung von Quanteneffekten eine bislang ungeahnte Empfindlichkeit und Genauigkeit erreicht werden, die die Messung von Zeiten, Massen und Strömen wesentlich verbessert. Dies eröffnet Anwendungsperspektiven für hochgenaue Ortungs- und Navigationssysteme und für medizinische Diagnosegeräte.

Die Entwicklung der Quantentechnologien erfolgt dabei auch über die Weiterentwicklung und Verfeinerung zahlreicher herkömmlicher Technologiefelder, beispielsweise von Kühlsystemen und Mikrofertigungsverfahren, in der Laserchemie oder der Nanotechnologie. Die zielgerichtete Entwicklung der Quantentechnologien hat somit auch einen positiven Effekt bezüglich dieser „Begleittechnologien“.

Die neuen Quantentechnologien befinden sich in weiten Teilen noch im Stadium der Grundlagenforschung. Die Nutzbarmachung quantenphysikalischer Effekte in den Quantentechnologien der neuen Generation bedarf daher noch großer Forschungsanstrengungen. Die Quantenkryptographie ist dabei derzeit das – auch im Hinblick auf die wirtschaftliche Nutzbarkeit – am weitesten entwickelte Teilgebiet der neuen Quantentechnologien.

Obwohl viele der grundlegenden Entdeckungen zu den neuen Quantentechnologien in Deutschland erfolgt sind, gibt es bislang in Deutschland kein Unternehmen, das versucht, die neuen quantenphysikalischen Effekte wirtschaftlich zu verwerten.

Diese Stellungnahme identifiziert als eines der Hauptprobleme die bestehende **Forschungs- und Förderstruktur**. Aufgrund des interdisziplinären Charakters ist die Förderung zu den einzelnen Aspekten der Quantentechnologien weit über die unterschiedlichen Fachgebiete verstreut. Entsprechend sind auch die Kompetenzen an verschiedenen Orten angesiedelt und werden daher von der Industrie nicht wahrgenommen. Diese Stellungnahme möchte aufzeigen, dass eine zielgerichtete systematische Förderung der Quantentechnologien, insbesondere im Hinblick auf die technische Umsetzung, Rahmenbedingungen schaffen könnte, in denen mittelfristig innovative Produkte entstehen könnten. Durch Bildung geeigneter Forschungszentren und -cluster sollten Strukturen entwickelt werden, in denen die unterschiedlichen Bearbeitungsschritte zur Entwicklung neuer Quantentechnologien möglichst gemeinsam in Angriff genommen werden.

Um auf dem Gebiet der Quantentechnologien international nicht den Anschluss zu verlieren, sollte zudem die **Ausbildung** von Ingenieurinnen und Ingenieuren inhaltlich ergänzt werden. Bereits in der Grundausbildung, d. h. bereits im Bachelor-Studiengang, sollte das Grundwissen über Quantenphänomene vermittelt werden – und zwar mit derselben Selbstverständlichkeit, mit der etwa das Wissen der Mechanik vermittelt wird. Das gilt besonders für die Studienrichtungen Elektrotechnik und Informationstechnik, da sich vermutlich hier die ersten Anwendungen ergeben werden.

## Mitwirkende in der Arbeitsgruppe:

**Sprecher der Arbeitsgruppe:** Prof. Dr. Wolfgang P. Schleich (Universität Ulm)

**Mitglieder der Arbeitsgruppe:** Prof. Dr. Markus Arndt (Universität Wien), Prof. Dr. Markus Aspelmeyer (Universität Wien), Prof. Dr. Manfred Bayer (Technische Universität Dortmund), Prof. Dr. Dr. Gunnar Berg (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg), Prof. Dr. Tommaso Calarco (Universität Ulm), Prof. Dr. Harald Fuchs (Westfälische Wilhelms-Universität Münster), Prof. Dr. Elisabeth Giacobino (Université de Paris), Dr. Markus Grassl (National University of Singapore Singapur, Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts, Erlangen), Prof. Dr. Peter Hänggi (Universität Augsburg), Prof. Dr. Wolfgang M. Heckl (Deutsches Museum, München), Prof. Dr. Ingolf-Volker Hertel (Max-Born-Institut, Berlin), Prof. Dr. Susana Huelga (Universität Ulm), Prof. Dr. Fedor Jelezko (Universität Ulm), Prof. Dr. Bernhard Keimer (Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart), Prof. Dr. Jörg P. Kotthaus (Ludwig-Maximilians-Universität München), Prof. Dr. Gerd Leuchs (Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts, Erlangen), Prof. Dr. Norbert Lütkenhaus, University of Waterloo), Prof. Dr. Ueli Maurer (ETH Zürich), Prof. Dr. Tilman Pfau (Universität Stuttgart), Prof. Dr. Martin B. Plenio (Universität Ulm, Imperial College, London), Prof. Dr. Ernst Maria Rasel (Leibniz-Universität Hannover), Prof. Dr. Ortwin Renn (Universität Stuttgart), Prof. Dr. Christine Silberhorn (Universität Paderborn), Prof. Dr. Jörg Schmiedmayer (Universität Wien), Prof. Dr. Doris Schmitt-Landsiedel (Technische Universität München), Prof. Dr. Kurt Schönhammer (Georg-August-Universität Göttingen), Prof. Dr. Alexey Ustinov (Karlsruher Institut für Technologie KIT), Prof. Dr. Philip Walther (Universität Wien), Prof. Dr. Harald Weinfurter (Ludwig-Maximilians-Universität München), Prof. Dr. Emo Welzl (ETH Zürich), Prof. Dr. Roland Wiesendanger (Universität Hamburg), Prof. Dr. Stefan Wolf (ETH Zürich), Prof. Dr. Anton Zeilinger (Universität Wien), Prof. Dr. Peter Zoller (Universität Innsbruck).

**Wissenschaftliche Referenten der Arbeitsgruppe:** Dr. Christian Anton (Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina), Dr. Kedar Ranade (Universität Ulm), Dr. Stefanie Westermann (Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina).

### Kontakt:

Dr. Christian Anton

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina

Abt. Wissenschaft – Politik – Gesellschaft (Leitung: Elmar König)

politikberatung@leopoldina.org

Tel.: (0345) 472 39-867

Die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften unterstützen Politik und Gesellschaft unabhängig und wissenschaftsbasiert bei der Beantwortung von Zukunftsfragen zu aktuellen Themen. Die Akademiemitglieder und weitere Experten sind hervorragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem In- und Ausland. In interdisziplinären Arbeitsgruppen erarbeiten sie Stellungnahmen, die nach externer Begutachtung vom Ständigen Ausschuss der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina verabschiedet und anschließend in der *Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung* veröffentlicht werden.

Deutsche Akademie der  
Naturforscher Leopoldina e.V.

Nationale Akademie der  
Wissenschaften

Jägerberg 1

06108 Halle (Saale)

Tel.: (0345) 472 39-867

Fax: (0345) 472 39-839

E-Mail: politikberatung@leopoldina.org

Berliner Büro:

Reinhardtstraße 14

10117 Berlin

acatech – Deutsche Akademie  
der Technikwissenschaften e.V.

Residenz München,

Hofgartenstraße 2

80539 München

Tel.: (089) 5 20 30 9-0

Fax: (089) 5 20 30 9-9

E-Mail: info@acatech.de

Hauptstadtbüro:

Unter den Linden 14

10117 Berlin

Union der deutschen Akademien  
der Wissenschaften e.V.

Geschwister-Scholl-Straße 2

55131 Mainz

Tel.: (06131) 218528-10

Fax: (06131) 218528-11

E-Mail: info@akademienunion.de

Berliner Büro:

Jägerstraße 22/23

10117 Berlin