

# Quantentechnologien

Bereits für die absehbare Zukunft ist mit der praktischen Nutzbarmachung neuer, auf sogenannten Quanteneffekten basierender Technologien zu rechnen. Wesentliche Verbesserungen verspricht man sich damit z. B. bei Kommunikationsverfahren, welche prinzipiell nicht mehr abhörbar sind, kaum aufklär- und nicht täuschbaren Radarsystemen sowie durch Quantencomputer.

Quanteneffekte zeigen sich typischerweise im Bereich des Kleinsten, d. h. auf der Ebene der Atome und subatomaren Teilchen. Sie sind sozusagen die Schatten der Quantenwelt, deren Eigenschaften unserer Erfahrung und Intuition davon, wie die Welt unserer alltäglichen Anschauung funktioniert, oft widersprechen: Quantenzustände, wie z. B. die von einzelnen Photonen (den Lichtquanten), sind in allen ihren Eigenschaften irgendwie „verschmiert“ und mehrdeutig, d. h. sie existieren in sogenannten Überlagerungen all ihrer klassischen Zustände gleichzeitig, und räumlich getrennte Quantensysteme können in Wirklichkeit Teil eines gemeinsamen Quantenzustands sein und damit in ihren Eigenschaften auf zunächst „geheimnisvolle“ Weise verbunden sein (sogenannte Verschränkung).

Obwohl sie auf den ersten Blick seltsam erscheint, ist die Quantenwelt dennoch real – sie ist ein neuer Teil unserer Realität, der uns erst durch moderne Technik zugänglich wird und dessen neue Eigenschaften sich in Quantentechnologien technisch ausnutzen lassen. Mit diesen lassen sich nämlich bestimmte Grenzen klassischer Technologien, welche noch auf entsprechenden Grenzen der klassischen Physik basieren, überwinden, was zum Teil mit erheblichen Vorteilen verbunden sein kann.

Quantentechnologien nutzen Eigenschaften der Quantenwelt wie Überlagerung und Verschränkung, indem sie Quantenzustände gezielt präparieren, manipulieren und übertragen bzw. aussenden und empfangen. Besonders mächtig ist die Verschränkung, bei der zwei oder mehr Teilchen (z. B. Photonen) derart stark in ihren Eigenschaften miteinander zu einem Quantenzustand verknüpft werden, dass sie wie ein einziges Objekt behandelt werden müssen. Dabei ist es gleichzeitig möglich, die zugrunde liegenden Teilchen weit voneinander zu ent-

fernen, den verschränkten Quantenzustand also sehr weit auszudehnen. Verschränkung ist die zentrale Ressource, welche in Quantentechnologien ausgenutzt wird. So dient z. B. in der Quantenkommunikation die vorher zwischen Kommunikationsendpunkten verteilte Verschränkung dazu, andere Quantenzustände zu übertragen, oder klassische Kommunikation zu verbessern.

Wer kommunizieren kann, ohne dass die eigenen Aussendungen detektiert bzw. aufgeklärt werden können, ist z. B. auf dem informationsdominierten Gefechtsfeld der Zukunft klar im Vorteil. Aufgrund der signifikanten Vorteile, welche verteilte Verschränkung prinzipiell für die Übertragung sowohl von Quanten- als auch von klassischer Information bietet, könnten Quantenkommunikationsverfahren genau dies in Zukunft absehbar ermöglichen. Die Nutzung von Verschränkung und quantenkryptografischer Prinzipien führt dazu, dass die Kommunikation quantensicher ist, der Gegner also prinzipiell keine Informationen über die kommunizierten Inhalte erlangen kann. Über eine solche optische Quantenkommunikationsstrecke zwischen dem chinesischen Forschungssatelliten MICIUS in einer niedrigen Erdumlaufbahn und einer Bodenstation wurde beispielsweise bereits 2022 berichtet. Dabei wurden Übertragungsraten von bis zu 15 kbit/s erreicht.

Mit verschränkten Quantenzuständen lassen sich auch Sensoren zur Ferndetektion wie etwa Quantenradare realisieren. Auf einem mit dem Radarsignal verschränkten Referenzsignal basierende Quantenradar-Systeme sind prinzipiell kaum aufzuklären, da sie ihre ultraschwachen und rauschartigen Mikrowellensignale im temperaturbedingten Umgebungsrauschen verstecken können. Sollte dennoch eine Aufklärung gelingen, können solche Quantenradare praktisch kaum gestört und überhaupt nicht getäuscht werden. Quantenradar als Technologie befindet sich jedoch insgesamt noch auf einem sehr frühen, hauptsächlich konzeptionellen Entwicklungsstand. Selbst das Grundkonzept eines solchen Radars ist aus verschiedenen Gründen noch nicht praktikabel. Unter anderem existieren noch keine Quantenspei-

cher, welche für die Zwischenspeicherung des mit dem Radarsignal verschränkten Referenzsignals benötigt werden. Auch die vorhandenen Quellen für die benötigten verschränkten Quantenzustände im Mikrowellenbereich sind für Radaranwendungen noch zu schwach und zu verrauscht.

Quantencomputer nutzen in ihren Quantenbits (Qubits) ebenfalls Verschränkung und Überlagerung. Aufgrund der Eigenheiten der Quantenphysik können bestimmte auf ihnen ausgeführte Quantenalgorithmen grundsätzlich weniger Rechenschritte benötigen als bei herkömmlichen, also klassischen Algorithmen erforderlich. Dabei sind Berechnungen auf Quantencomputern jedoch nicht immer schneller als Berechnungen auf klassischen Computern und zukünftige Quantencomputer sollte man sich somit eher als spezielle Co-Prozessoren von klassischen Computern vorstellen.

Quantencomputer könnten überall dort zum Einsatz kommen, wo es um sehr große zu bearbeitende Datenmengen oder sehr komplexe und zeitaufwendige Berechnungen geht, deren Bearbeitung bzw. Berechnung zeitkritisch durchgeführt werden muss. Außerdem könnten sie eingesetzt werden, wenn es um Berechnungen auf als Quantenzustände vorliegenden Daten geht, wie sie beispielsweise von Quantensensoren produziert würden.

Viele Quantentechnologien hängen konzeptionell sehr eng zusammen, da sie auf wenigen sehr allgemein anwendbaren Grundkonzepten der Quanteninformatonstheorie basieren. Verschiedene Teiltechnologien können sich so gegenseitig befruchten. Gleichzeitig gibt es bei den jeweiligen Einzeltechnologien oft viele Anwendungsmöglichkeiten und es werden kontinuierlich neue Ideen und Konzepte vorgeschlagen und experimentell erforscht. Quantentechnologien werden nicht zu einer Neuformulierung bekannter Wirkzusammenhänge führen, jedoch zu teils erheblichen Verbesserungen bei den Grundtechnologien Kommunikation, Sensorik und Datenverarbeitung.

**Dr. Oliver Gabel und Dr. Karsten Michael**