# Das Quanteninternet

QUANTENTECHNOLOGIE · KOMMUNIKATION UND SICHERHEIT

Das Wort klingt, als könnte man bald schneller surfen oder Filme in einer Sekunde herunterladen. Das wird nicht passieren. Ein Quanteninternet wird das bestehende Internet nicht ersetzen und auch nicht schneller machen. Es wird etwas anderes können, das mit einem klassischen Netz grundsätzlich unmöglich ist: Quantenzustände zwischen weit entfernten Orten austauschen, ohne dass sie unterwegs kopiert oder unbemerkt abgefangen werden können.

Wofür man das braucht, wie weit die Forschung ist und warum das Ganze so schwierig ist, darum geht es in diesem Artikel.

## Was es verschicken soll

Im heutigen Internet reisen Bits, Nullen und Einsen, die man beliebig oft kopieren kann. Genau das macht es so leistungsfähig, und genau das ist zugleich sein Sicherheitsproblem. Wer eine Leitung anzapft, kann die Daten mitlesen, ohne dass Sender oder Empfänger etwas merken.

Ein Quanteninternet soll Qubits übertragen, meistens in Form einzelner Photonen. Qubits haben eine Eigenschaft, die sie fundamental von Bits unterscheidet: Man kann einen unbekannten Quantenzustand nicht kopieren. Das ist kein technisches Hindernis, sondern folgt direkt aus den Gesetzen der Quantenmechanik und ist als No-Cloning-Theorem bekannt[1]. Wer ein Qubit unterwegs abfängt und misst, verändert es, und das lässt sich am anderen Ende feststellen.

Noch wichtiger als das Verschicken einzelner Qubits ist aber etwas anderes. Ein Quanteninternet soll Verschränkung zwischen weit entfernten Knoten herstellen. Zwei verschränkte Teilchen verhalten sich bei Messungen wie ein einziges System, egal wie weit sie voneinander entfernt sind. Wer an zwei Orten je eine Hälfte eines verschränkten Paars besitzt, verfügt über eine Art gemeinsame Ressource, mit der sich abhörsichere Schlüssel erzeugen und sogar Quantenzustände per Teleportation übertragen lassen.

## Wozu das gut sein soll

Die bekannteste Anwendung ist die Quantenkryptographie. Zwei Partner erzeugen über das Netz einen gemeinsamen geheimen Schlüssel, und jeder Lauschangriff hinterlässt Spuren. Dafür reichen schon einfache Vorstufen eines Quanteninternets, und solche Verbindungen werden bereits erprobt.

Weitere Anwendungen werden erst mit einem voll ausgebauten Netz möglich. Man könnte entfernte Quantencomputer zu einem größeren zusammenschalten oder einem Quantencomputer in der Cloud eine Aufgabe geben, ohne dass der Betreiber erfährt, was gerechnet wird. Man könnte Atomuhren über Kontinente hinweg genauer abgleichen und Teleskope zu riesigen virtuellen Instrumenten verbinden. Die Physiker Stephanie Wehner, David Elkouss und Ronald Hanson aus Delft haben 2018 einen Fahrplan dafür veröffentlicht, der sechs Ausbaustufen beschreibt, von einfachen Verbindungen für die Schlüsselverteilung bis zu einem Netz aus vollwertigen Quantencomputern [2]. Bei welcher Anwendung es einmal den größten Nutzen geben wird, weiß heute niemand, so wie beim Start des Internets auch niemand an Videotelefonie oder Online-Shopping gedacht hat.

## Das Problem mit der Glasfaser

Warum gibt es das alles noch nicht? Weil Photonen in Glasfasern verloren gehen. Selbst sehr gute Fasern schlucken auf jedem Kilometer etwa fünf Prozent des Lichts. Das klingt harmlos, summiert sich aber gnadenlos. Nach 100 Kilometern kommt noch etwa ein Prozent der Photonen an, nach 1000 Kilometern rechnerisch nur noch eines von $10^{20}$. Selbst mit einer Quelle, die zehn Milliarden Photonen pro Sekunde losschickt, käme im Schnitt nur alle paar Jahrhunderte eines an.

Im klassischen Internet löst man das mit Verstärkern, die das Signal alle paar Dutzend Kilometer auffrischen. Ein Verstärker kopiert aber das Signal, und Kopieren ist bei Qubits verboten. Man braucht deshalb etwas ganz Neues, sogenannte Quantenrepeater. Sie verstärken nichts, sondern verschränken zunächst kurze Teilstrecken und reichen die Verschränkung dann von Station zu Station weiter, bis die beiden Enden verbunden sind (Abb. 1). Das Konzept haben Hans Briegel, Wolfgang Dür, Ignacio Cirac und Peter Zoller in Innsbruck 1998 beschrieben [3]. Gebaut sind solche Repeater, die zuverlässig über große Entfernungen funktionieren, noch nicht. Sie brauchen Quantenspeicher, die einen Zustand so lange festhalten, bis auch die Nachbarstrecke bereit ist.

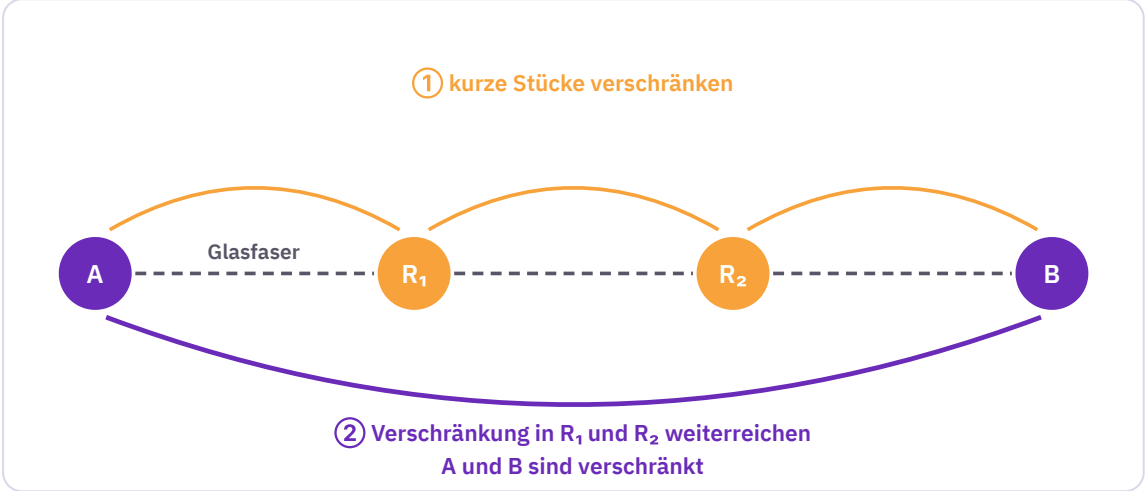



**Abb. 1:** Ein Quantenrepeater verstärkt kein Signal. Er verschränkt kurze Abschnitte und reicht die Verschränkung durch einen Verschränkungsaustausch weiter. Eigene Darstellung nach [3].

## Über das Weltall

Eine Abkürzung führt durch den Weltraum. Im Vakuum geht kaum Licht verloren, und die Atmosphäre ist nach oben hin nur wenige Kilometer dick. China startete 2016 den Satelliten Micius, benannt nach einem chinesischen Philosophen. Er verteilte verschränkte Photonenpaare an zwei Bodenstationen, die mehr als 1200 Kilometer voneinander entfernt lagen [4]. Wenig später nutzten chinesische und österreichische Forscher ihn, um einen Quantenschlüssel zwischen Xinglong bei Peking und Graz auszutauschen, rund 7600 Kilometer voneinander entfernt, und hielten eine verschlüsselte Videokonferenz ab [5]. Der Satellit war dabei allerdings ein vertrauenswürdiger Zwischenhändler, der den Schlüssel kannte. Ein echtes Quanteninternet ist das noch nicht. Gezeigt hat es aber, dass die Technik über solche Distanzen funktioniert.

Inzwischen wird die Technik kleiner und billiger. 2025 tauschte der chinesische Mikrosatellit Jinan-1, nur etwa ein Zehntel so schwer wie Micius, einen Quantenschlüssel zwischen Peking und der Universität Stellenbosch in Südafrika aus, über rund 12 900 Kilometer. Die Empfangsstation am Boden wog statt 13 Tonnen nur noch etwa 100 Kilogramm. Auch hier kennt der Satellit allerdings den Schlüssel, wer ihn hacken könnte, könnte also mitlesen [6].

## Die ersten echten Netze

Am Boden geht es langsamer, aber gründlicher voran. Die Gruppe von Ronald Hanson an der Forschungseinrichtung QuTech in Delft verband 2021 erstmals drei Quantenprozessoren zu einem kleinen Netz. Die Knoten, liebevoll Alice, Bob und Charlie getauft, bestehen aus winzigen Defekten in Diamantkristallen. Das Team konnte alle drei miteinander verschränken und Verschränkung über den mittleren Knoten weiterreichen, also genau das, was später ein Repeater tun soll [7].

Im Oktober 2024 gelang derselben Gruppe der Schritt aus dem Labor hinaus. Sie verschränkte zwei Diamant-Qubits in Delft und Den Haag über 25 Kilometer Glasfaser, die ganz normal unter den Straßen liegt [8]. Das ist noch ein bescheidenes Netz, gemessen an dem, was man sich vorstellt. Aber es ist der erste Abschnitt einer Verbindung zwischen zwei Städten, in dem echte Quantenprozessoren miteinander sprechen.

Auch die Reichweite wächst. Im August 2026 berichtete ein Team der University of Science and Technology of China, es habe zwei Quantenspeicher aus gekühlten Rubidiumatomen über 420 Kilometer Glasfaser verschränkt, mehr als viermal so weit wie bisher bei solchen Speichern. Ab etwa 320 Kilometern war die Verbindung über die Speicher sogar besser, als es eine direkte Übertragung durch dieselbe Faser je sein könnte, genau der Vorteil, den Quantenrepeater bringen sollen. Allerdings lagen nur rund zehn Kilometer der Faser draußen im Boden, der Rest war im Labor aufgewickelt [9].

## Wann kommt es?

Ehrlich gesagt: Ein weltweites Quanteninternet, das Quantencomputer auf verschiedenen Kontinenten verbindet, ist noch viele Jahre entfernt, und eine seriöse Jahreszahl kann niemand nennen. Realistisch sind in den nächsten Jahren Netze innerhalb von Städten und Regionen, vor allem für die sichere Schlüsselverteilung zwischen Behörden, Banken und Rechenzentren, ergänzt durch Satellitenverbindungen für größere Strecken. Europa baut dafür mit EuroQCI eine eigene Infrastruktur auf.

Wer ein Quanteninternet für den eigenen Haushalt erwartet, wird vermutlich nie eines brauchen, so wie die wenigsten Menschen einen eigenen Supercomputer brauchen. Wichtig wird es trotzdem werden, auf eine stille Art, im Hintergrund der Netze, auf die wir uns alle verlassen. Und bis dahin bleibt die Post-Quanten-Kryptographie der praktische Schutz für unsere Daten.

## Zum Weiterlesen

### Einsteins Spuk. Teleportation und weitere Mysterien der Quantenphysik

Anton Zeilinger · Pantheon, 2024 · ISBN 978-3-570-55502-6

Der Nobelpreisträger, der Teleportation und Satelliten-Quantenkommunikation mit vorangetrieben hat, erzählt aus erster Hand, wie Verschränkung zur Technik wurde.

**Bei Amazon ansehen***

### Quantum Computing verstehen

Matthias Homeister · Springer Vieweg, 2022 · ISBN 978-3-658-36433-5

Erklärt Qubits, Verschränkung und Teleportation mit Schulmathematik und schlägt die Brücke zur Quantenkommunikation.

**Bei Amazon ansehen***

* Werbelink: Kaufen Sie über diesen Link, erhalten wir von Amazon eine kleine Provision, am Preis ändert sich für Sie nichts. Mehr Empfehlungen auf unserer Seite Bücher zur Quantenphysik.

## Quellen


1. W. K. Wootters, W. H. Zurek: *A single quantum cannot be cloned.* In: Nature 299 (1982), S. 802–803, doi:10.1038/299802a0.
2. S. Wehner, D. Elkouss, R. Hanson: *Quantum internet: A vision for the road ahead.* In: Science 362 (2018), eaam9288, doi:10.1126/science.aam9288.
3. H.-J. Briegel, W. Dür, J. I. Cirac, P. Zoller: *Quantum Repeaters: The Role of Imperfect Local Operations in Quantum Communication.* In: Physical Review Letters 81 (1998), S. 5932–5935, doi:10.1103/PhysRevLett.81.5932.
4. J. Yin u. a.: *Satellite-based entanglement distribution over 1200 kilometers.* In: Science 356 (2017), S. 1140–1144, doi:10.1126/science.aan3211.
5. S.-K. Liao u. a.: *Satellite-Relayed Intercontinental Quantum Network.* In: Physical Review Letters 120 (2018), 030501, doi:10.1103/PhysRevLett.120.030501.
6. Scientific American: *Mini-Satellite Sends Encrypted Quantum Message a Record-Breaking Distance.* 19. März 2025. scientificamerican.com.
7. M. Pompili u. a.: *Realization of a multinode quantum network of remote solid-state qubits.* In: Science 372 (2021), S. 259–264, doi:10.1126/science.abg1919.
8. A. J. Stolk u. a.: *Metropolitan-scale heralded entanglement of solid-state qubits.* In: Science Advances 10 (2024), eadp6442, doi:10.1126/sciadv.adp6442. Dazu: QuTech, *A rudimentary quantum network link between Dutch cities*, 30. Oktober 2024, qutech.nl.
9. M. Starr: *Physicists Shatter Quantum Entanglement Distance Record With 420 Kilometers of Optical Fiber.* ScienceAlert, 4. August 2026. sciencealert.com. Originalarbeit: X.-Y. Luo u. a., Physical Review Letters 137 (2026), 070801, doi:10.1103/ccd6-rf1s.


### Zitiervorschlag

```
quanten.de: Das Quanteninternet. Stand: Oktober 2026. URL:
https://quanten.de/quanteninternet.html (PDF:
https://quanten.de/pdf/quanteninternet.pdf)
```


Texte und Abbildungen © 2026 quanten.de. Nutzung mit Quellenangabe und Link gern, kommerzielle Nutzung nach Absprache: info@quanten.de



**Weiterlesen:** Quantenkryptographie · Quantenverschränkung · Beamen und Teleportation · Post-Quanten-Kryptographie

Online-Fassung mit aktualisierten Quellen: https://quanten.de/quanteninternet.html