

## **Geistlicher Höhenblick – Eine Bestandsaufnahme zur derzeitigen Welt-Situation – Teil 43**

Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=OD438CCPlx0>

9. November 2018 – Anthony Patch – **Die Stadt der gefallenen Engel** – Teil 4

### **Das Quantum-Internet**

Dazu zunächst eine Radio-Sendung vom Deutschland-Funk vom 12. August 2018.

Quelle: [https://www.deutschlandfunk.de/quanteninternet-das-web-q-0-nimmt-gestalt-an.740.de.html?dram:article\\_id=425283](https://www.deutschlandfunk.de/quanteninternet-das-web-q-0-nimmt-gestalt-an.740.de.html?dram:article_id=425283)

### **Quanten-Internet - Das Web Q.0 nimmt Gestalt an**

Regierungen und Unternehmen rund um den Globus haben ein erklärtes Ziel: Ein weltumspannendes Quanteninternet für absolut abhörsichere Kommunikation. Bei der Entwicklung dieser Zukunftstechnologien und dem Aufbau der nötigen Infrastruktur hat China aktuell die Nase vorn, doch die Europäer holen auf.

Eine Sendung von Ralf Krauter und Frank Grotelüschen



Ein Quanteninternet soll künftig Quantencomputer wie dieser Prototyp von IBM vernetzen. Eine weitere wichtige Anwendung: Absolut abhörsichere

## Kommunikation mittels Quantenkryptographie (IBM Research)

Anfang Juli 2018 gab es in München eine Fachtagung zur Quanten-Technologie. Knapp 150 Experten aus Forschung und Industrie diskutierten dort über mutmaßliche Schlüsseltechnologien für das 21. Jahrhundert. Es ging um die Frage, wie und wann Quanten-Computer, Quanten-Kryptographie und Quanten-Internet unseren Alltag verändern werden. Neben führenden Vertretern von „IBM“, „Intel“ und „Google“ hielten auch Max-Planck- und Universitätsforscher Vorträge zum Stand der Entwicklung. Darunter auch der Italiener Prof. Tommaso Calarco, Direktor des Instituts für komplexe Quantensysteme der Universität Ulm. Er sagte:

„Ich forsche im Bereich der Quanten-Kontrolle, also wie man Quanten-Technologien bauen kann. Ich bin ein Quantenphysiker, ein Theoretiker. Und darüber hinaus koordiniere ich auch die Aktivitäten der wissenschaftlichen Community auf EU-Ebene zum Thema Quanten-Technologie, insbesondere im Rahmen des Quanten-Flagschiffs.“

### **Milliardenschweres EU-Forschungsprojekt**

Das Quanten-Flagschiff-Projekt, das Tommaso Calarco initiiert hat, ist ein milliardenschweres Forschungsprojekt, mit dem die EU-Kommission Europas Forschern und Firmen, den Rücken stärken will. Denn die USA, China und Japan zum Beispiel, fördern die Entwicklung neuer Quanten-Technologien schon seit Jahren massiv. Eines der ersten konkreten Ziele, auf das man im ‚Quanten-Technologie-Flagschiff‘ hinarbeite, sagt Tommaso Calarco, seien absolut abhörsichere Kommunikationskanäle via Internet oder Satellit, mittels so genannter Quanten-Kryptographie.

### **Die Vision der Forscher**

„Die sichere Kommunikation mittels einzelnen Photonen, die nicht abgehört werden können, sind ja Quanten. Also ein Quant kann nicht in zwei Teile geteilt werden. Das heißt, wenn das ankommt, können wir verifizieren, die Kommunikation ist angekommen.“

Prof. Tommaso Calarco koordiniert das EU-Flagschiffprojekt zur Quanten-Technologie (Universität Ulm)

Die Vision der Forscher: Das heutige Internet so umzubauen, dass über seine Glasfaserkabel auch Quanten-Information ausgetauscht werden kann. Und zwar derart, dass absolut niemand eine Chance hat, die übermittelten Daten abzugreifen. Security built by Nature – die bizarren Gesetze der Quanten-Welt machen's möglich.

„Null“ oder „Eins“, „An“ oder „Aus“ – das Bit ist die grundlegende

Informationseinheit des digitalen Zeitalters. Anders bei der Quanten-Information. Das Quanten-Bit, das Qubit ist nicht nur „Null“ oder „Eins“, sondern „Null“ und „Eins“ zugleich. Die Folge: „Ein Qubit kann viele Zustände gleichzeitig annehmen und ein Rechenraum zur Verfügung stellen, der viel größer ist als bei einem klassischen Bit“, erklärt IBM-Forscherin Heike Riel.

Die Vision: Ein Rechner basierend auf Qubits, ein Quanten-Computer. Er würde jeden Superrechner in den Schatten stellen, erklärt Peter Zoller von der Universität Innsbruck: „Wenn Sie einen Quanten-Computer hätten mit 300 Quanten-Bits, wäre der gleich mächtig wie ein Computer, der jedes Atom in sichtbaren Universum als eine Speicherzelle verwendet.“

Und: Mit Quanten-Bits lassen sich Informationen übertragen, absolut abhörsicher. Der Grund ist: "Dass man auf der Basis der Quanten-Physik sicher sein kann, dass man jeden Abhörer, der in der Leitung ist, bemerkt“, so Gerd Leuchs vom Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts in Erlangen.

Dabei hilft das wohl merkwürdigste aller Quantenphänomene: Die **Verschränkung**. Einst von Albert Einstein postuliert, bedeutet sie, dass **zwei Quanten selbst dann noch in Verbindung stehen, wenn sie kilometerweit voneinander entfernt sind**. „Dann taucht irgendwie der Zustand des ersten Photons auf dem Photon, das ganz weit weg ist, wieder auf“, sagt Wolfgang Tittel. Eine **Quanten-Teleportation**. Die Verschränkung und das Quanten-Bit – zwei Kernbegriffe für die Quanten-Information. Doch Vorsicht: „Wann immer ich ein System anfasse – alleine durch das Anfassen verändert es sich schon“, weiß Dieter Meschede von der Universität Bonn, „weshalb es verdammt schwierig ist, das alles in die Technologie der Zukunft zu packen – in Quanten-Rechner und Kryptographie-Systeme, verbunden durch ein globales Quanten-Internet.“

## **Quantenkommunikation und klassische Kommunikation**

Mit Quanten-Computern, die konventionelle Superrechner alt aussehen lassen, rechnen Fachleute zwar in frühestens 10 Jahren. Doch die abhörsichere Kommunikation via Quanten-Kryptographie könnte schneller Realität werden.

Was den Aufbau eines Quanten-Internets angeht, das dazu nötig wäre, spielt in Europa das niederländische Städtchen Delft eine wichtige Rolle. Denn am dortigen Forschungszentrum „Qutech“ arbeiten weltweit führende Experimental-Physiker und Quanten-Informationstheoretiker daran, die Vision vom „Web Q.0“ zu verwirklichen. Federführend mit dabei ist die Informatik-Professorin Stephanie Wehner. Sie hat ihr Geld früher mal als professionelle Hackerin verdient, später in Kalifornien und Singapur geforscht und gilt heute als renommierte Expertin für Quantenkryptographie.

Die Informatikerin Professor Stephanie Wehner arbeitet am niederländischen Forschungszentrum „QUTECH“ in Delft am Aufbau eines Quanten-Internets (Technische Universität Delft)

Im Gespräch mit Ralf Krauter erklärt Stephanie Wehner, was sie und ihre Kollegen so sicher macht, dass dem Quanten-Internet die Zukunft gehört.

### **Neue Anwendungen wie abhörsichere Kommunikation**

Stephanie Wehner:

Wir finden ein Quanten-Internet spannend, weil man damit Sachen machen kann, die man auf dem normalen Internet nicht machen kann. Ein Quanten-Internet hat eine ganze Reihe von neuen Anwendungen, zum Beispiel abhörsichere Kommunikation, die Synchronisierung von Uhren, in verschiedenen Räumen, wo man sagen kann, dass man mit Quantenkommunikation eine viel größere Genauigkeit erreichen kann als mit klassischer Kommunikation. Man kann in einem Netzwerk mit Quanten-Kommunikation Koordinationsprobleme lösen, – und davon gibt es ganz viele in klassischen Netzwerken. Es gibt sehr viele Anwendungen im Quanten-Internet, und deswegen möchten wir eins realisieren. Es ist vielleicht wichtig, auch zu sagen, dass wir nicht denken, dass das Quanten-Internet das klassische Internet ersetzt, weil das klassische Internet für viele Sachen schneller und praktischer ist, für bestimmte Anwendungen, zum Beispiel das Übertragen von Filmen, die Sie gerne anschauen möchten. Wir gehen davon aus, dass es im Zeitraum von 10, 15 Jahren ein Quanten-Internet parallel zum bestehenden Internet geben wird.

### **Quanten-Kommunikation über lange Abstände erreichen**

Ralf Krauter:

Stichwort „Abhörsichere Kommunikation“: Die erste quanten-kryptographisch gesicherte Banküberweisung wurde ja schon 2004 von Forschern, wie Anton Zeilinger in Wien, demonstriert. Seit über 10 Jahren gibt's auch schon kommerzielle Quanten-Kryptographiesysteme zu kaufen, etwa vom Schweizer Unternehmen „ID-Quantique“. Mit diesen Geräten übertragen Banken und Regierungen heute bereits abhörsicher zwischen verschiedenen Standorten geheime Verschlüsselungscodes. Wo springt die existierende Technik zu kurz? Also warum braucht man da noch ein Quanten-Internet?

Stephanie Wehner:

Das Ziel von einem Quanten-Internet ist, Quanten-Kommunikation auch über lange Abstände zu erreichen. Die Quanten-Geräte, die man jetzt kaufen kann, sind limitiert in zwei Richtungen: Sie können über kurze Abstände – und „kurz“ heißt hier etwa 80 Kilometer – Schlüssel erstellen. Hier bringt das

Quanten-Internet eben längere Abstände. Und das Zweite ist, dass diese Sachen, die man jetzt kaufen kann, nur eine einzige Anwendung unterstützen – nämlich: Schlüsselaustausch für die sichere Datenübertragung.

## **Verschränkung als Schlüssel zu allen Anwendungen**

Ralf Krauter:

Welche Rolle spielt das quantenmechanische Phänomen der Verschränkung – von dem wir eben gehört haben – für ein künftiges Quanten-Internet? Ist das der Schlüssel zu allem?

Stephanie Wehner:

Das Phänomen von Verschränkung ist der Schlüssel zu eigentlich allen Anwendungen von einem Quanten-Internet. Das kann man so verstehen, dass Verschränkung zwei Eigenschaften hat, und aus diesen Eigenschaften, lassen sich eigentlich alle Anwendungen ableiten.

Die erste Eigenschaft ist, dass Verschränkung Koordination ermöglicht. Nehmen wir mal an, man hat zwei Quantum-Bits, eines davon ist hier in Delft und eines ist in Berlin. Dann können wir mit diesen Qubits perfekt koordinieren. Wenn ich hier in Delft auf meinem Qubit eine Messung mache und Sie machen die gleiche Messung in Berlin, dann bekommen wir immer das gleiche Messergebnis. Und das gilt für jede Messung. So eine Messung kann man jetzt als Frage verstehen; wir können das Qubit fragen: „Hey Qubit, bist Du rot oder grün?“ Und wenn man die gleiche Frage in Berlin stellt und ich bekomme hier die Antwort „rot“, dann lautet auch die Antwort in Berlin „rot“. Wenn ich hier in Delft die Antwort „grün“ bekomme, dann ist auch die Antwort in Berlin „grün“. Man kann das zur Koordination verwenden. Nehmen wir einmal an, wir wären in einem Labyrinth und müssten uns entscheiden, ob wir jetzt nach links oder rechts weitergehen. Dann wäre die Frage: „Hey Qubit, sollen wir nach links oder nach rechts gehen?“ Und dann machen beide immer das gleiche. Und diese Kommunikation kann man sofort mit Verschränkung erreichen. Also schneller als wir miteinander kommunizieren könnten.

## **‚Spukhafte Fernwirkung‘ erlaubt abhörsichere Kommunikation**

Ralf Krauter:

Das ist genau diese spukhafte Fernwirkung, die Albert Einstein so suspekt war.

Stephanie Wehner:

Ganz genau. Also die erste wichtige Eigenschaft von Verschränkung ist genau diese spukhafte Fernwirkung, die Koordination ermöglicht. Und darum

ist das Quanten-Internet sehr praktisch für Anwendungen bei denen eben Koordination relevant ist. Man kann nicht schneller als die Lichtgeschwindigkeit kommunizieren; man kann aber schneller als die Lichtgeschwindigkeit koordinieren. Also die erste Eigenschaft ist Koordination.

Die zweite Eigenschaft ist, dass man Verschränkungen nicht teilen kann. Wenn zwei Qubits miteinander verschränkt sind, dann kann man diese Verschränkungen als eine private Verbindung auffassen.

Man kann beweisen, dass nichts Anderes im Universum Teil an dieser Verschränkung haben kann. Zwei Parteien können immer absolut koordiniert und verschränkt sein, aber niemals drei. Und das ist der Grund, warum man abhörsichere Kommunikation erreichen kann, indem man Verschränkung aufbaut. Die misst man, dann kommt immer das gleiche Messergebnis. Aber nichts Anderes in diesem Universum kann Teil von dieser Verschränkung sein, und nichts Anderes in diesem Universum wird lernen, was genau das Messergebnis war – und was als Konsequenz davon der Schlüssel ist, den wir dann verwenden, um abhörsichere Kommunikation zu etablieren.

### **China ist Vorreiter beim Aufbau eines Quanten-Netzwerks**

Ralf Krauter:

Schauen wir nach China, wo man beim Aufbau eines Quanten-Internets voranprescht. Im September 2017 wurde da ein 2.000 Kilometer langes Glasfasernetz mit 32 Relais-Stationen in Betrieb genommen, das Dutzende Firmen und Behörden zwischen Peking und Schanghai abhörsicher vernetzt. Wie beeindruckend ist das aus Ihrer Sicht, was die Chinesen in Sachen glasfaserbasierter Quanten-Kryptographie schon auf die Beine gestellt haben?

Stephanie Wehner:

Ich finde die Sache in China sehr beeindruckend; aber es ist wichtig, festzustellen, dass dieses Netzwerk nicht Qubits von einem Ende zum anderen schickt. Man stellt da zwischen Peking und Schanghai keine Verschränkung her. Das Netzwerk funktioniert so, dass man diese etwa 2.000 Kilometer aufteilt in kleine Stückchen von etwa 80 bis 100 Kilometern und dann jeweils für jedes Stückchen einen separaten Schlüssel herstellt und damit dann die sichere Kommunikation von Peking nach Schanghai möglich macht. Allerdings nur wenn alle diese Stationen in der Mitte sicher sind, ist dann auch die Verbindung von Peking nach Shanghai sicher. Es ist wichtig zu verstehen, dass das kein echtes Quanten-Netzwerk ist, was wirklich ermöglicht, absolut sicher über diese Distanz zu kommunizieren. Es ist aber natürlich ein wichtiger und interessanter Schritt in diese Richtung.

## Quantenkommunikation via Satellit

Auf der Quantentechnologie-Tagung Anfang Juli 2018 in München waren auch Experten aus China dabei. Und die verkündeten dort: „Das bereits existierende glasfaserbasierte Quanten-Netzwerk soll jetzt um 11.000 Kilometer erweitert werden. Und eine eigens gegründete Firma soll das künftig betreiben und ihren Kunden Quantenschlüssel für abhörsichere Verbindungen bereitstellen.“ Die versammelten Experten staunten nicht schlecht, wie stark China da aufs Tempo drückt. Mein Eindruck, dass China aktuell Technologie-Treiber auf dem Gebiet ist, wollte Tommaso Calarco, der Initiator des EU-Quantenflugschiff-Projektes, allerdings nicht bestätigen. Er sagte:

„Technologie-Treiber würde ich noch nicht sagen. Denn die ganzen Ideen, die dort umgesetzt werden, sind Ideen, die schon in den letzten 10-20 Jahren in Europa und den USA entwickelt worden sind. Die Chinesen benutzen Dinge, Methoden, die wir entwickelt haben, aber mit viel größeren Ressourcen. Insofern haben sie schon eine sehr wichtige und führende Rolle, indem sie zeigen, dass das wirklich machbar ist. Das ist auch strategisch sehr relevant.“

Der Motor der dynamischen Entwicklung in China ist ein Mann namens Jian-Wei Pan, ein Physiker, der einst in Europa in die Lehre ging, bei dem schon erwähnten Anton Zeilinger. Frank Grotelüschen hat mit Jian-Wei Pan über seine Karriere gesprochen – und über seine Vision für das Quanten-Internet.

Heute ist der chinesische Physiker Jian-Wei Pan ein Star der Quanten-Szene. Doch eigentlich war das Feld für ihn nicht gerade die Liebe auf den ersten Blick. Denn er sagt: „Als Student belegte ich einen Kurs in Quanten-Mechanik. Zunächst aber wollte mir ihr Grundkonzept so gar nicht einleuchten. Und so musste ich viel Zeit investieren, um Phänomene wie die Überlagerung oder Verschränkung von Quanten-Zuständen zu verstehen.“

Halbe Sachen sind offenbar nicht sein Ding. Also zog es Pan im Jahr 1996 wohl zum prominentesten Quantenphysiker der Welt – zu Anton Zeilinger nach Österreich. Schon ein Jahr später, noch während seiner Doktorarbeit, gelang diesem Chinesen ein Coup: Er zählte zu jenem Team, dem erstmals die Quanten-Teleportation glückte: Die Forscher um Anton Zeilinger konnten Photonen, also Lichtteilchen, regelrecht beamen – wenn auch nur von einer Ecke des Labortisches zur anderen. Was Pan damals schon faszinierte, das war nicht nur ein bahnbrechendes Grundlagenexperiment, sondern eine Pioniertat für künftige Quanten-Technologien. Er sagte:

„In Innsbruck dachten damals ein paar Leute zum ersten Mal ernsthaft

darüber nach, ob sich so etwas für abhörsichere Kommunikation nutzen ließe. Und ich hatte das Glück, dabei sein zu dürfen – als Mitglied eines wunderbaren Teams.“

2003 zog es ihn nach Deutschland, an die Uni Heidelberg. Hier konnte Jan-Wei Pan eine eigene Forschergruppe aufbauen. Er sagte: „Ich liebe Deutschland – das Brot, das Essen, die Kultur. Und ich mag die deutsche Art, Wissenschaft zu betreiben.“

Dennoch: Als ihm die chinesische Universität für Wissenschaft und Technik in Hefei 2008 ein großzügiges Angebot unterbreitete, zog es den Physiker zurück in seine Heimat. Da sagte er: „China ist meine Heimat. Und ich denke, es ist eine gute Sache, wenn ich hier etwas zur Entwicklung von Wissenschaft und Technologie beitragen kann. Deshalb habe ich die Einladung sofort angenommen.“

Jian-Wei Pan, der der Uni Heidelberg als Honorarprofessor verbunden bleibt, tüftelt seit langem an einer Vision: Die Quantenkommunikation über große Entfernungen. Er meint: „Quanten-Signale können sich in einer Glasfaser nur beschränkt ausbreiten. In der Regel werden sie nach wenigen hundert Kilometern absorbiert.“ Deshalb verfolgt Pan parallel ein anderes Konzept: Die Quanten-Kommunikation via Satellit. Denn im luftleeren Raum, können sich die Lichtsignale, welche die Quanten-Information übertragen, ungestört fortpflanzen.

Um das Ganze zu testen, startete China 2016 den weltweit ersten Quanten-Satelliten ins All, finanziert mit Milliarden von der Regierung, maßgeblich mitentwickelt von Pan. 2017 kam dann die Erfolgsmeldung. „Letztes Jahr haben wir es geschafft, mit unserem Quanten-Satelliten eine sichere Verbindung zwischen Peking und Wien herzustellen, über eine Entfernung von 7600 Kilometern.“ Der Satellit hatte tatsächlich einen Quanten-Schlüssel von Fernost nach Österreich übermittelt, zu Pans Doktorvater Anton Zeilinger in Wien – und zwar absolut abhörsicher. Ein Triumph, der China endgültig an die Spitze der Quanten-Technologie brachte.

Vor praktischen Anwendungen gibt es aber für Pan und seine Leute noch viel zu tun. Er sagt: „Wir müssen noch zwei Probleme lösen. Erstens: Unser Satellit funktioniert nur bei Nacht, das Tageslicht stört die Kommunikation. Deshalb arbeiten wir an einer Technologie, die die Quanten-Kommunikation auch bei Tag ermöglicht. Und zweitens: Unser Satellit umkreist die Erde auf einem niedrigen Orbit und kommt nur zwei Mal täglich an den Sendestationen vorbei. Das ist natürlich noch zu wenig für eine praktische Anwendung.“

Doch der chinesische Quanten-Papst hat schon eine Idee: Er will weitere Quanten-Satelliten ins All schießen. Dieses Satelliten-Netz soll eine



ausreichende Abdeckung schaffen und so die Basis bilden für ein **weltweites Quanten-Web**. Er meint: „Wir glauben, wir können so ein globales Quanten-Internet in etwa zehn Jahren zur Verfügung stellen.“ Und sollte er diese Vision mit der ihm eigenen Zielstrebigkeit verfolgen, ist Jian-Wei Pan das durchaus zuzutrauen.

### **Zeitraum von 10 bis 15 Jahren realistisch?**

Der erwähnte chinesische Quantensatellit heißt „MICIUS“. Und der geheime Schlüssel, der mit seiner Hilfe zwischen Peking und Wien übertragen wurde, diente am 29. September 2017 zur Verschlüsselung des ersten absolut abhörsicheren interkontinentalen Video-Telefonats.

Frage an Professor Stephanie Wehner, die Quanten-Kryptographie-Expertin beim „Qutech“-Institut in Delft: Wie sehr hat Sie das damals beeindruckt – das war ja eine Weltpremiere?

Stephanie Wehner:

Was mich dabei beeindruckt hat, war eigentlich nicht der Schlüssel-Austausch, sondern die Verteilung von Verschränkungen von einem Satelliten innerhalb von China. Es ist nämlich wichtig zu sagen, dass dieser Satellit in der Video-Übertragung zwischen Wien und China nämlich auch ein Relais war. Das heißt, diese Verbindung ist auch nur abhörsicher, wenn man dem Satelliten vertraut. Diese Video-Übertragung war nicht End-to-end sicher.

Es gab allerdings noch ein anderes Experiment, was meiner Meinung nach vielleicht noch beeindruckender ist, wo innerhalb von China selbst über eine Distanz von 1203 Kilometern Verschränkung kreiert wurde. Also wenn man in einem Satelliten zwei Photonen – zwei Lichtteilchen, zwei Qubits – präpariert, die schon verschränkt sind und das eine geht eben nach links auf die Erde, das andere nach rechts, dann hat man damit über einen relativ langen Abstand auf der Erde eine Verschränkung generiert. Und damit könnte man in der Zukunft eben auch über diesen langen Abstand absolut abhörsichere Kommunikation realisieren.

Ralf Krauter:

Wie wir gehört haben, ist es Jian-Wei Pans Vision, innerhalb von zehn Jahren durch Verbindung von Satelliten und Glasfasernetzen am Boden ein globales Quanten-Internet aufzubauen. Halten Sie das für realistisch?

Stephanie Wehner:

Ich denke, dass es möglich ist, das in zehn Jahren zu erreichen, vielleicht ist 15 Jahre etwas realistischer. Es ist aber wirklich schwierig, da eine genaue Zahl zu nennen. Aber ich würde einmal sagen im Zeitraum: Innerhalb von 10

bis 15 Jahren.

## **Schlüssel-Technologie: Quanten-Repeater**

Eine Schlüssel-Komponente der glasfaserbasierten Quanten-Netzwerke sind so genannte „Quanten-Repeater“. Denn mit deren Hilfe könnte man Quanten-Information am Boden über größere Entfernungen übertragen als die derzeit möglichen 100 bis 200 Kilometer. Quanten-Repeater gelten seit Jahren als der Heilige Gral der Quantenkommunikation, und es gibt intensive Forschungsaktivitäten.

## **Der Heilige Gral der Quantenkommunikation**

„Glasfasern bilden das Rückgrat des Internets. Da wäre es schon praktisch, ließen sie sich künftig auch für die abhörsichere Kommunikation mittels Quanten-Technologie nutzen“, sagt Tracy Northup. Die US-Physikerin arbeitet an der Universität Innsbruck: „Wir stellen uns vor, dass auch das Quanten-Internet auf Glasfasern basiert. Denn dann könnten wir einfach auf große Teile der heutigen Infrastruktur zurückgreifen. Die Herausforderung dabei ist, dass wir die Signale, die wir übertragen wollen, in einem bestimmten Zustand halten müssen, einem genau definierten Quanten-Zustand. Und das ist mit der heutigen, der klassischen Technik nur sehr eingeschränkt möglich.“

Ist ein Quanten-Signal in einer Glasfaser unterwegs, verliert es allmählich an Stärke, bis es schließlich in der Faser versickert. Die maximale Reichweite von 100 bis maximal 200 Kilometern ist viel zu wenig für die Kommunikation zwischen Kontinenten. Das Problem ist: Gewöhnliche Signal-Verstärker, wie sie heute etwa alle 100 Kilometer zum Einsatz kommen, funktionieren nicht. Sie zerstören die fragilen Quanten-Signale. Also braucht es eine neue Art von Verstärker, der mit Quanten-Information klarkommt – den Quanten-Repeater.

Die ersten theoretischen Konzepte für so einen Quanten-Signalverstärker sind über 20 Jahre alt. Seitdem sind zwar viele Ideen hinzugekommen – aber realisiert wurde davon bislang noch nichts. Wir arbeiten noch daran.“

„Ein Quanten-Repeater funktioniert ganz anders als ein gewöhnlicher Verstärker. Er basiert auf der Verschränkung – jener von Albert Einstein postulierten spukhaften Fernwirkung, die zwei Quanten miteinander verbindet wie ein unsichtbares Band. In der Praxis könnte das etwa so aussehen: Ein Photon rast lichtschnell durch eine Glasfaser und kommt bei einem Repeater an. Dort trifft es auf einen Quanten-Speicher – zum Beispiel ein Atom, eingesperrt in einer Spezialfalle. Auf dieses Atom kann das Photon seine Quanten-Information übertragen. Das Atom wird dadurch zum Quanten-Speicher“, sagt Prof. Dirk Englund, ein deutscher Physiker, der schon lange in den USA arbeitet, seit einiger Zeit am MIT in Boston.

„Zum Beispiel kann man ein Photon von der linken Seite in einen Speicher tun und dann ein anderes Photon von der rechten Seite in einen anderen Speicher, und die beiden dann koppeln. Auf diese Weise kann man die linke und die rechte Seite von einem Netzwerk verschränken.“

„Dieses Spielchen lässt sich ausweiten auf andere, benachbarte Repeater – solange bis alle Repeater einer Leitung miteinander verschränkt sind. Dadurch lässt sich eine Quanten-Information, wie etwa ein geheimer Sicherheitscode, **über Tausende von Kilometern regelrecht teleportieren**. Und zwar ohne große Verluste und ohne, dass jemand auf der Strecke auch nur die geringste Chance hätte, Informationen abzugreifen. So lautet die Idee, und es gibt auch schon erste Erfolge“, sagt Dirk Englund.

„Vor kurzem hat eine Gruppe, die von Ronald Hanson aus Delft geleitet wird, die erste Hälfte eines Quanten-Repeaters vorgestellt, in dem sie über eine Distanz von 1,3 Kilometern in der Nähe von Delft zwei Elektronenspins in Diamanten verschränkt haben. Das ist der erste große Schritt in die Richtung von einem Quanten-Netzwerk. Die nächste Herausforderung ist: Man muss die Verschränkung schneller verbreiten als der Speicher verfällt. Und da sind wir gerade ganz nah dran.“

Speicher, die eine fragile Quanten-Information lange genug halten können und die effektiv mit Photonen interagieren – das ist die große Herausforderung beim Bau des Quanten-Repeaters. Genau daran tüfteln die Physiker überall auf der Welt – und versuchen es unter Anderem mit eingesperrten Atomen, mit stickstoff-gespickten Diamanten oder mit supraleitenden Chips. Und welches Konzept dürfte das Rennen machen? „Das“, meint Tracy Northup, „ist noch ziemlich ungewiss. Das ist schwer zu sagen. Aber ich hoffe, dass ich in zehn Jahren wirklich überrascht sein werde, wie weit wir gekommen sind.“

## **Testlink Ende 2020**

Ralf Krauter:

Der im Beitrag erwähnte Ronald Hanson, der mit diamantbasierten Quanten-Bits arbeitet, ist ein Kollege von Stephanie Wehner aus Delft. Das erklärte Ziel des Forschungsverbundes, den sie leitet, lautet: Bis 2020 ein Mini-Quanten-Internet aufzubauen, das mit Quanten-Repeatern vier Städte in den Niederlanden verbindet. Aber wie optimistisch ist sie, dass das tatsächlich gelingt?

Stephanie Wehner:

Also, wir arbeiten natürlich sehr hart daran. Wir möchten bis zum Frühling

2019 einen Test-Link von Delft nach Den Haag haben, der dann eben bis Ende 2020 ausgeweitet wird. Das läuft bisher ganz gut mit diesem Testlink. Natürlich weiß ich noch nicht genau, was bis zum nächsten Frühling passieren wird. Ich hoffe, dass alles weiterhin gut läuft. Das Ziel von diesem Test-Link ist, manche Dinge schon auszuprobieren. Wir verwenden dafür normale Glasfaser, die man auch für das klassische Internet verwendet, darin kann man dann die Frequenz konvertieren. Also das Ziel von diesem Test-Link ist, so manche Dinge schon einmal auszuprobieren, als Vorbereitung für das 2020-Demonstrations-Netzwerk.

### **Einfacherer Zugang wichtig**

Ralf Krauter:

Wenn wir von 2020 noch weitere 20 Jahre vorausblicken: Was meinen Sie, wird das dann ganz normal sein, dass wir das Quanten-Internet und Services, wie abhörsichere Kommunikation, die da angeboten werden, so selbstverständlich nutzen wie heute das klassische Internet?

Stephanie Wehner:

Ja, ich denke, dass das vielleicht so sein wird. Natürlich gibt es da sehr wichtige Entwicklungen in diese Richtung. Es ist superwichtig, dass wir da Repeater haben, dass wir auch kompliziertere Processing-Modes haben. Es ist dann auch wichtig, dass man es einfacher macht, dazu Zugang zu bekommen. Das ist mit dem klassischen Internet ja auch so, bei den Internet-Providern stehen ebenfalls komplizierte Geräte, die sehr viel kosten, aber bei uns zu Hause steht nicht so ein großes, teures Gerät. Ich denke, dass es wichtig ist, billigere Endgeräte zu entwickeln, um die Weiterverbreitung sicherzustellen.

### **Europa beim Quanten-Internet gut aufgestellt**

Ralf Krauter:

Wie ist Europa im internationalen Vergleich beim Wettlauf um diese Zukunftstechnologie Quanten-Internet aufgestellt?

Stephanie Wehner:

Ich denke, dass Europa da sehr gut aufgestellt ist. Ich denke sogar, dass Europa auf dem Boden sicher vorne liegt. Bei den Satelliten möchte ich jetzt nicht unbedingt sagen, dass wir vorne liegen. Ich denke, da hat China im Moment die Nase vorn.

Wenn Europa seine Ressourcen nutzt und bündelt, dann könnte es beim Aufbau eines künftigen Web Q.0 also durchaus eine maßgebliche Rolle spielen und damit einer Zukunftstechnologie seinen Stempel aufdrücken. Ob und wie das gelingt, und wie schnell das Quanteninternet tatsächlich Gestalt

annimmt, darüber werden wir Sie hier im Deutschlandfunk natürlich weiter auf dem Laufenden halten. Ich danke fürs Zuhören, am Mikrofon war Ralf Krauter.

FORTSETZUNG FOLGT

Mach mit beim <http://endzeit-reporter.org/projekt/!>\*

Bitte beachte auch den Beitrag [In-eigener-Sache](#)