

Nobelpreis 2022

3.6b Verschränkung & Quantentechnologie von abhörsicherer Kommunikation zum Quanteninternet

Prof. David Hunger

Physikalisches Institut, KIT Fakultät für Physik

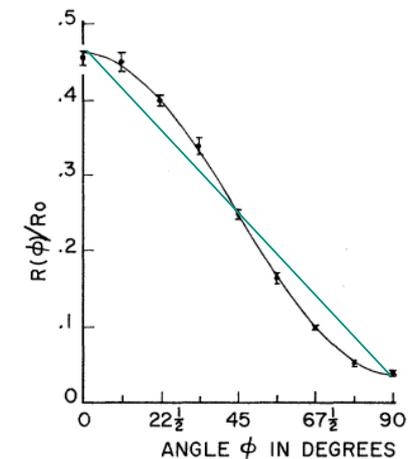
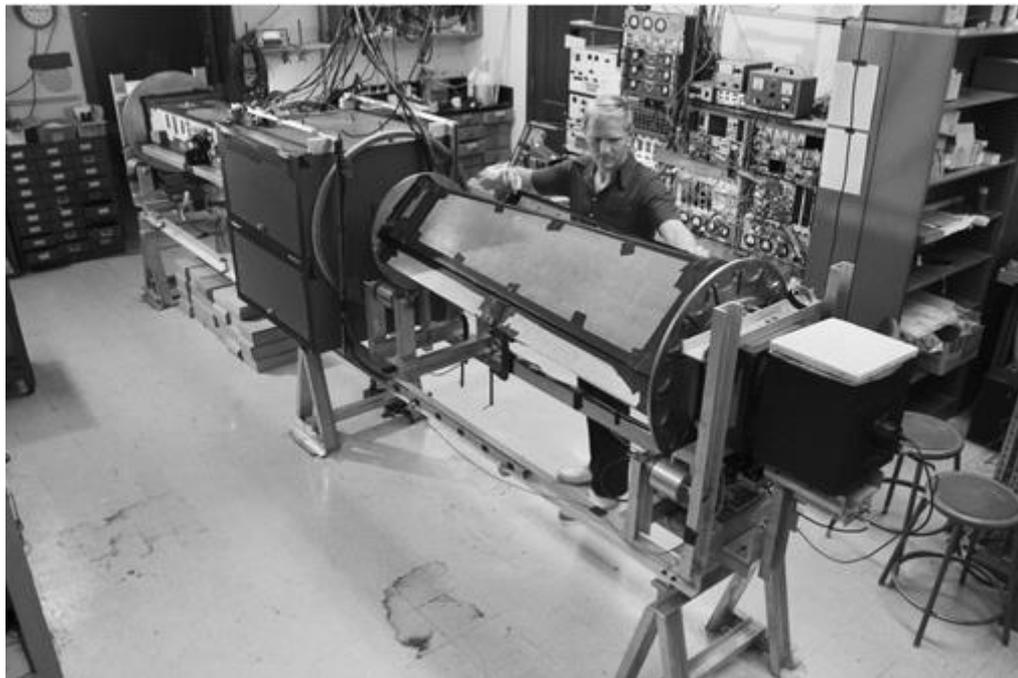
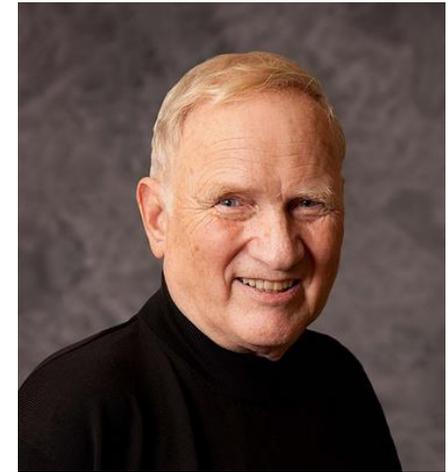


Das erste Verschränkungsexperiment

John Clauser (*1942, Pasadena, Kalifornien, USA)

Forscher in Berkley, Californien

- Theorie & Experiment
- Erster experimenteller Nachweis nichtklassischer Korrelation bei verschränkten Photonen von Kalzium Atomen (1972)

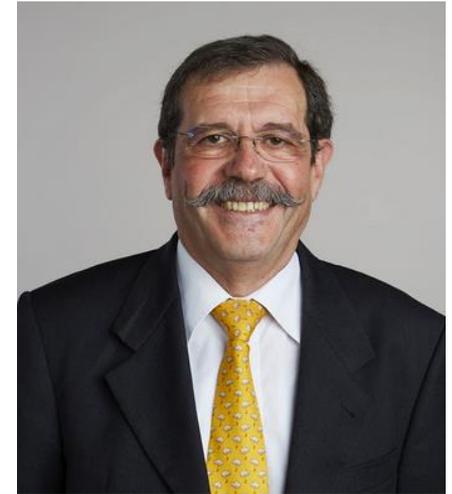


Weitere Experimente – Stopfen von Schlupflöchern

Alain Aspect (*1947, Agen, Frankreich)

Professor am Institut d'Optique, Paris-Saclay

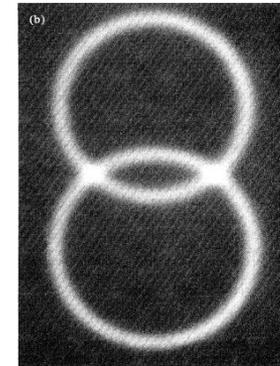
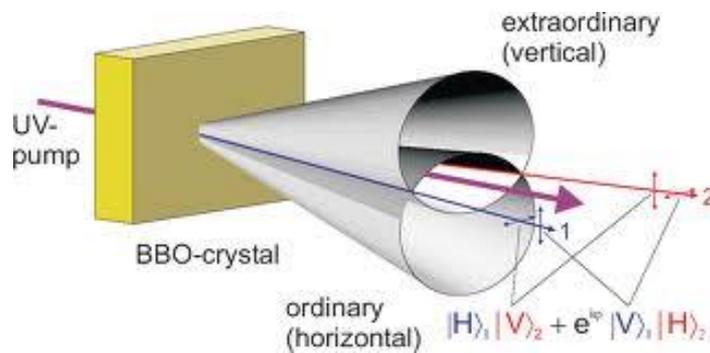
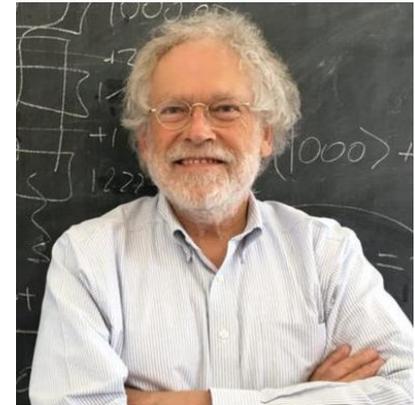
- Sind Messungen a, b wirklich unabhängig?
- Schalten der Messrichtung während Teilchen fliegen



Einfacherer Aufbau

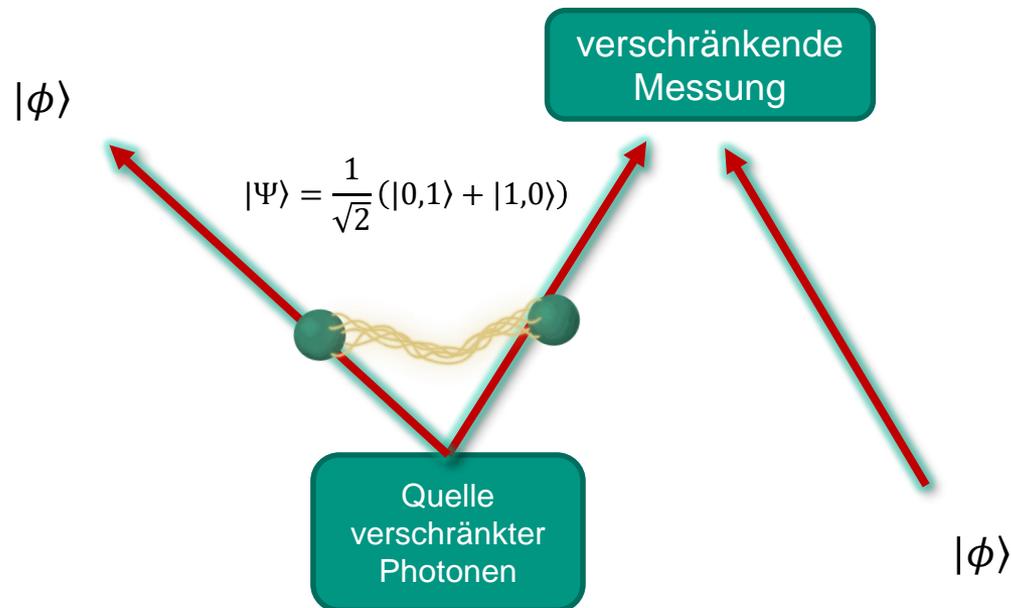
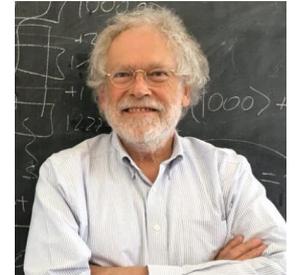
Anton Zeilinger (*1945, Ried im Innkreis, Österreich)
 Professor an der Universität Wien

- „einfache“ Quelle verschränkter Photonen mit nichtlinearer Optik



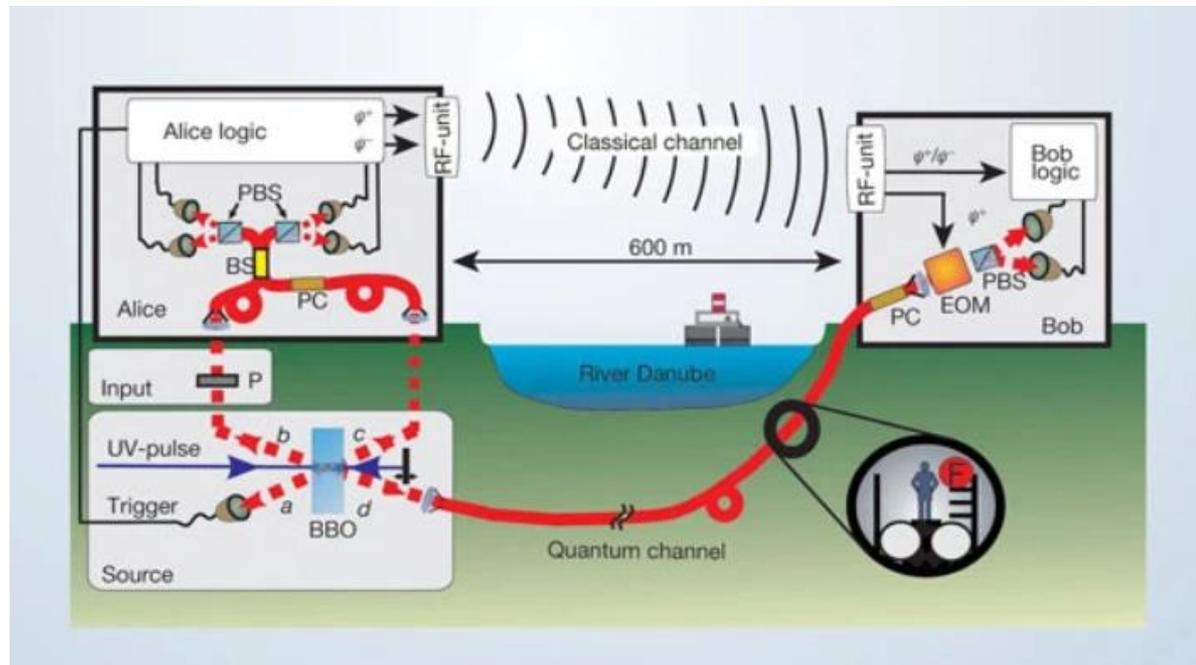
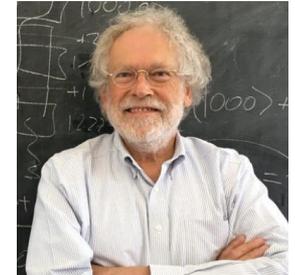
Quantenteleportation

Übertragung von Quantenzuständen

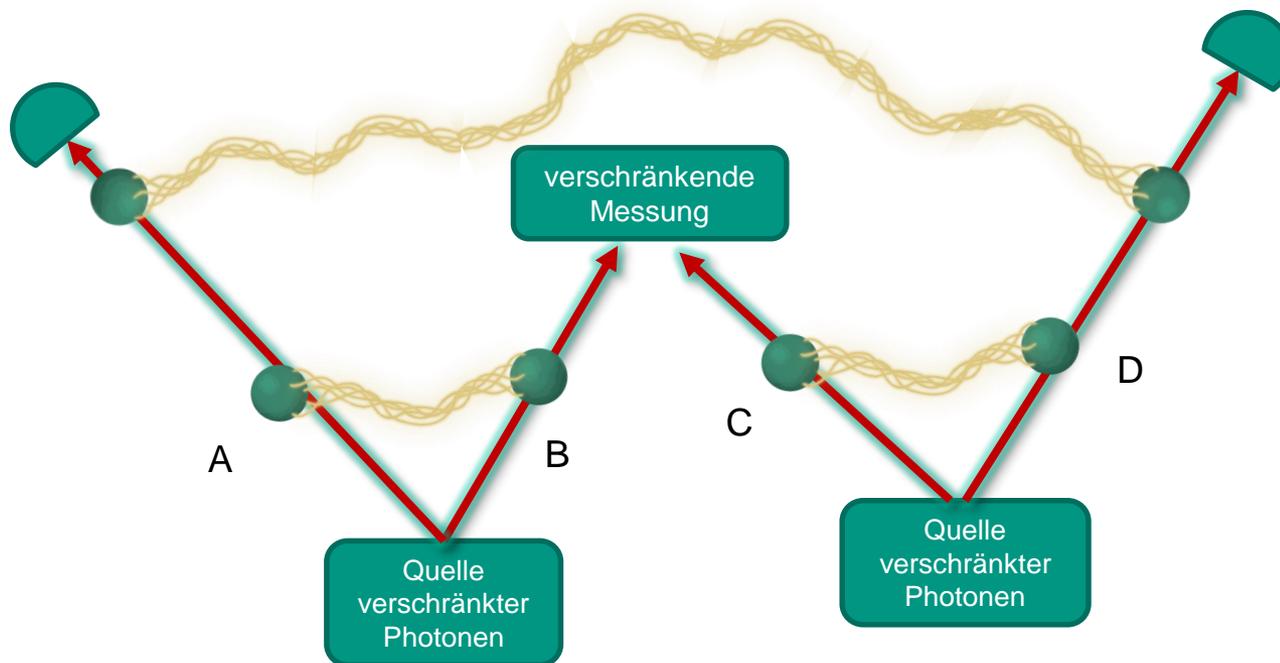
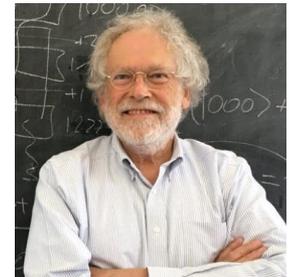


Quantenteleportation

Übertragung von Quantenzuständen

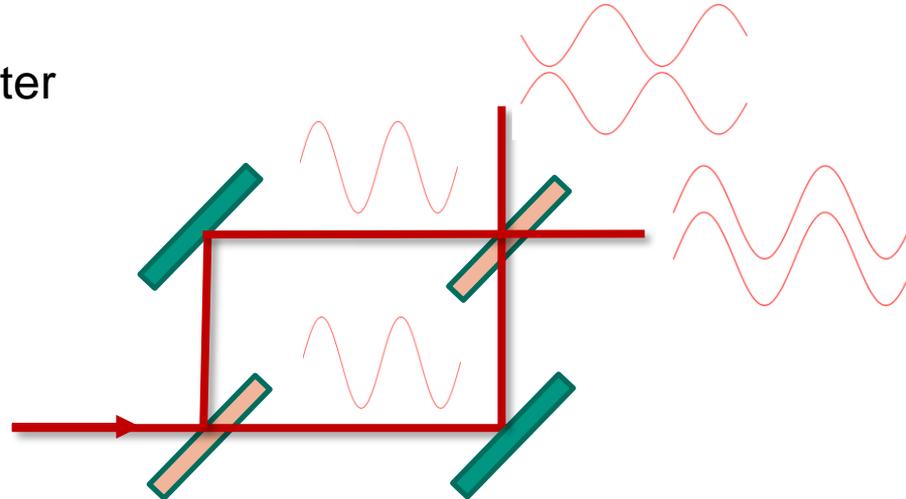


Verschränkungstausch



Einzelphoton Experimente mit Interferometern

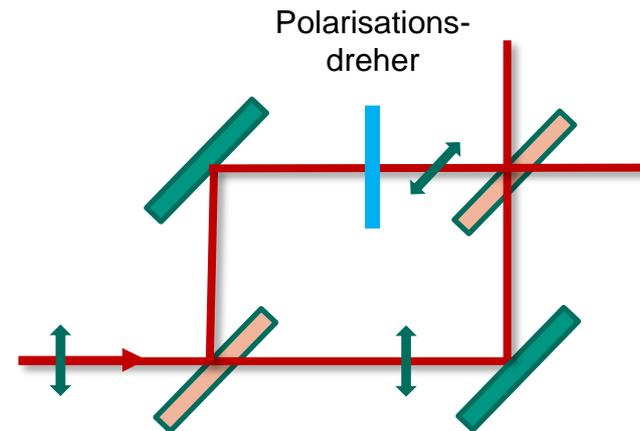
Mach-Zehnder Interferometer



Wegmarkierung mit Polarisationsdreher:

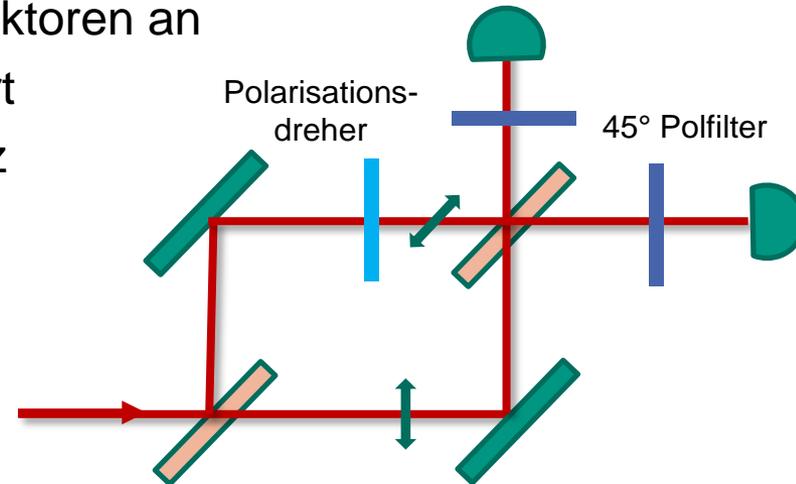
Keine Interferenz

- klassisch: orthogonale Polarisationsrichtungen interferieren nicht
- quantenmechanisch: Wege sind unterscheidbar



Der „Quantenradierer“

- Bringe nun 45° Polfilter vor den Detektoren an
- 50% der Photonen werden absorbiert
- Die transmittierten zeigen Interferenz



- Klassisch: Polfilter selektiert parallele E-Feld Komponenten
 - Quantenmechanisch: Wege sind nicht mehr unterscheidbar
- Information über den Weg des Teilchens kann nachträglich „ausradiert“ werden und damit Interferenz hergestellt werden

„Quantenradierer“

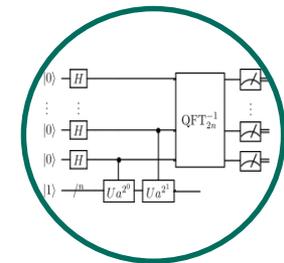
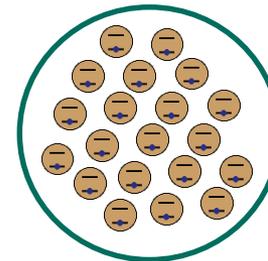
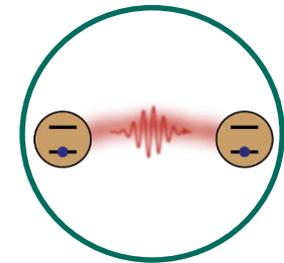
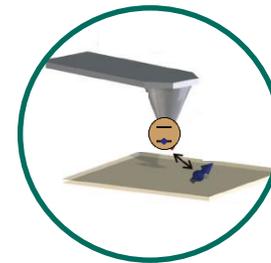
siehe Praktikum Lehramt

Die 2. Quantenrevolution: Quantentechnologien

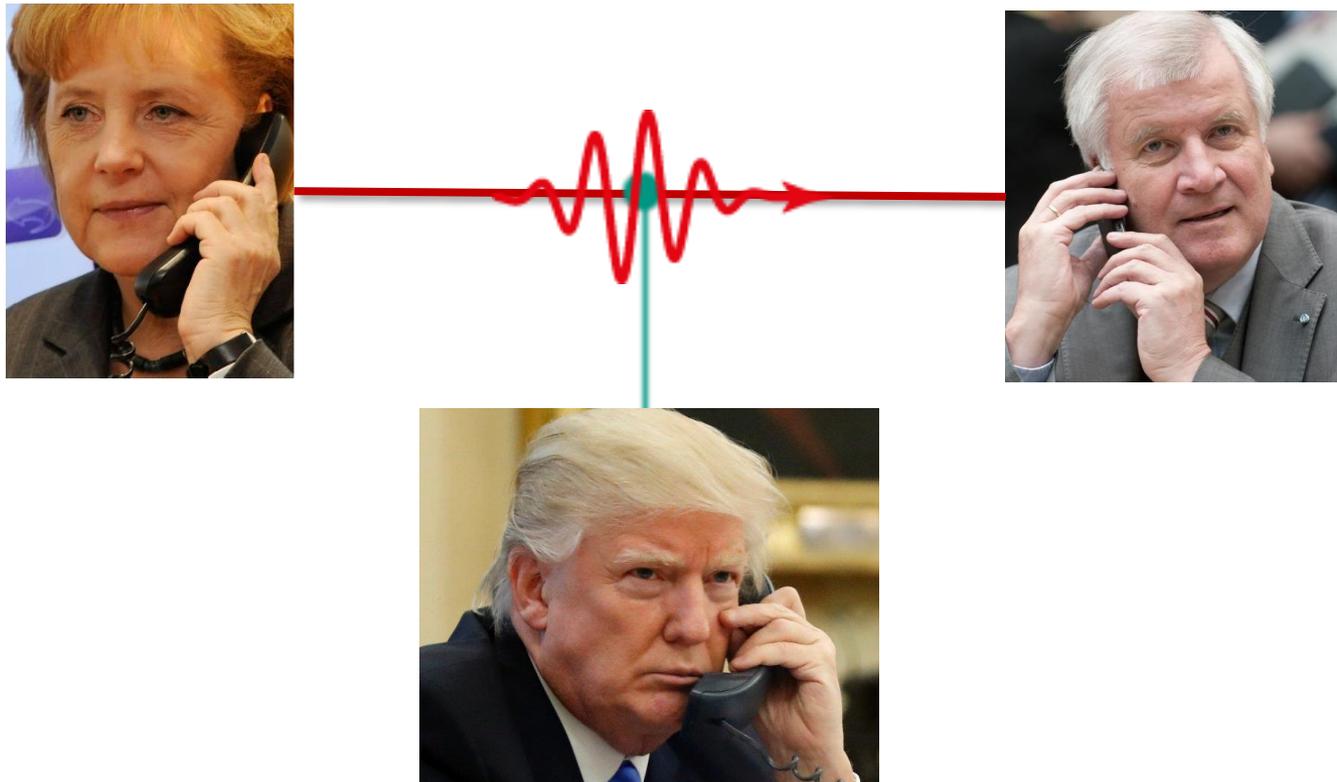
- einzelne Quantensysteme als Bausteine
- Superposition & Verschränkung als Ressource

Anwendungsgebiete

- Quantenkommunikation
- Quantensensoren
- Quantencomputer
- Quantensimulation



Sichere Kommunikation



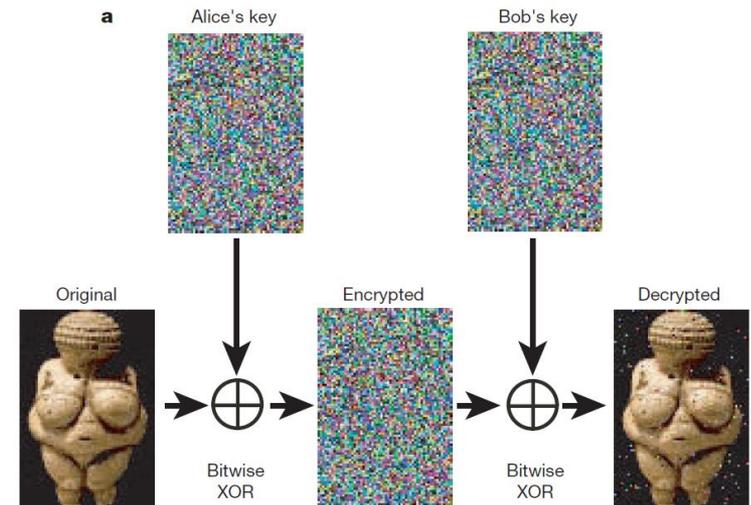
Quantenkryptographie

Kryptographie

teile geheimen, zufälligen Schlüssel

Gefahr:

- Abhören beim Schlüsselaustausch
- Quantencomputer können klassische Verschlüsselung knacken



PRL 84, 4729 (2000)

Quantenkryptographie

- Quantenzustände können nicht kopiert werden (No-Cloning-Theorem)

→ absolut abhörsicher

einzelne Photonen um Schlüssel zu teilen



Quantenkryptographie kommerziell verfügbar seit ~ 20 Jahren



4th generation Quantum Key Distribution XG Series

Leveraging quantum technology for unconditional data protection.

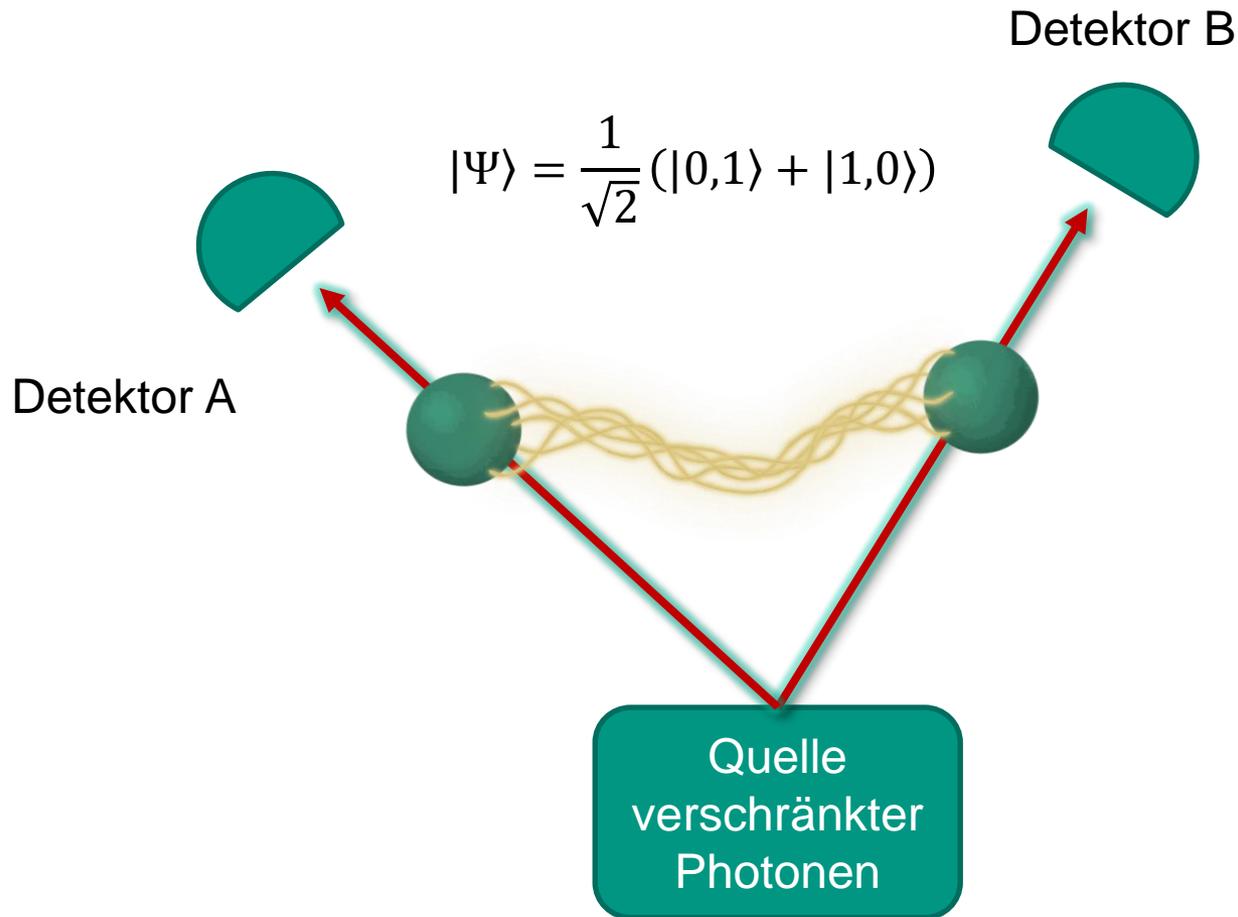
Once and for all.

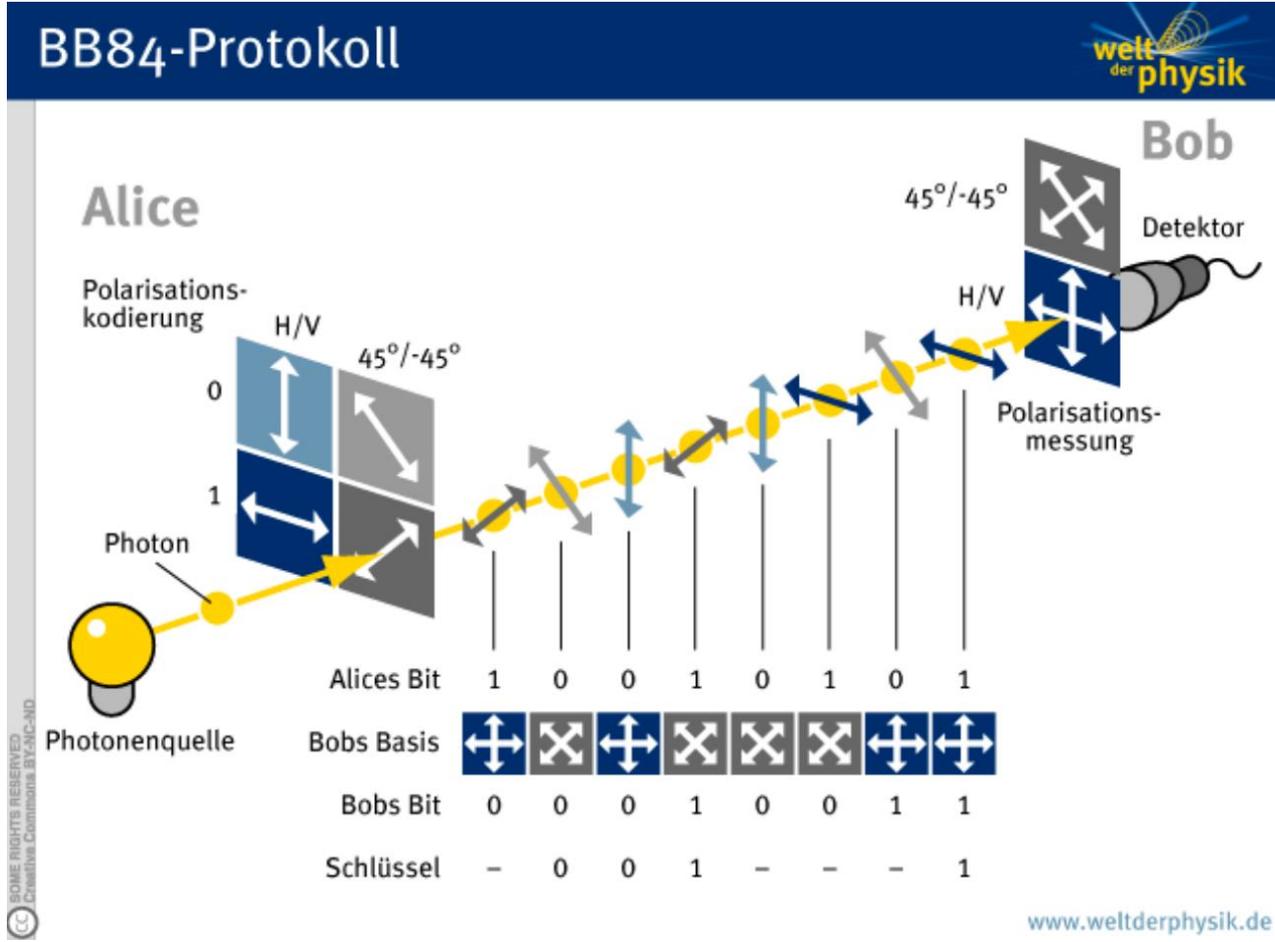


Erste Nutzer

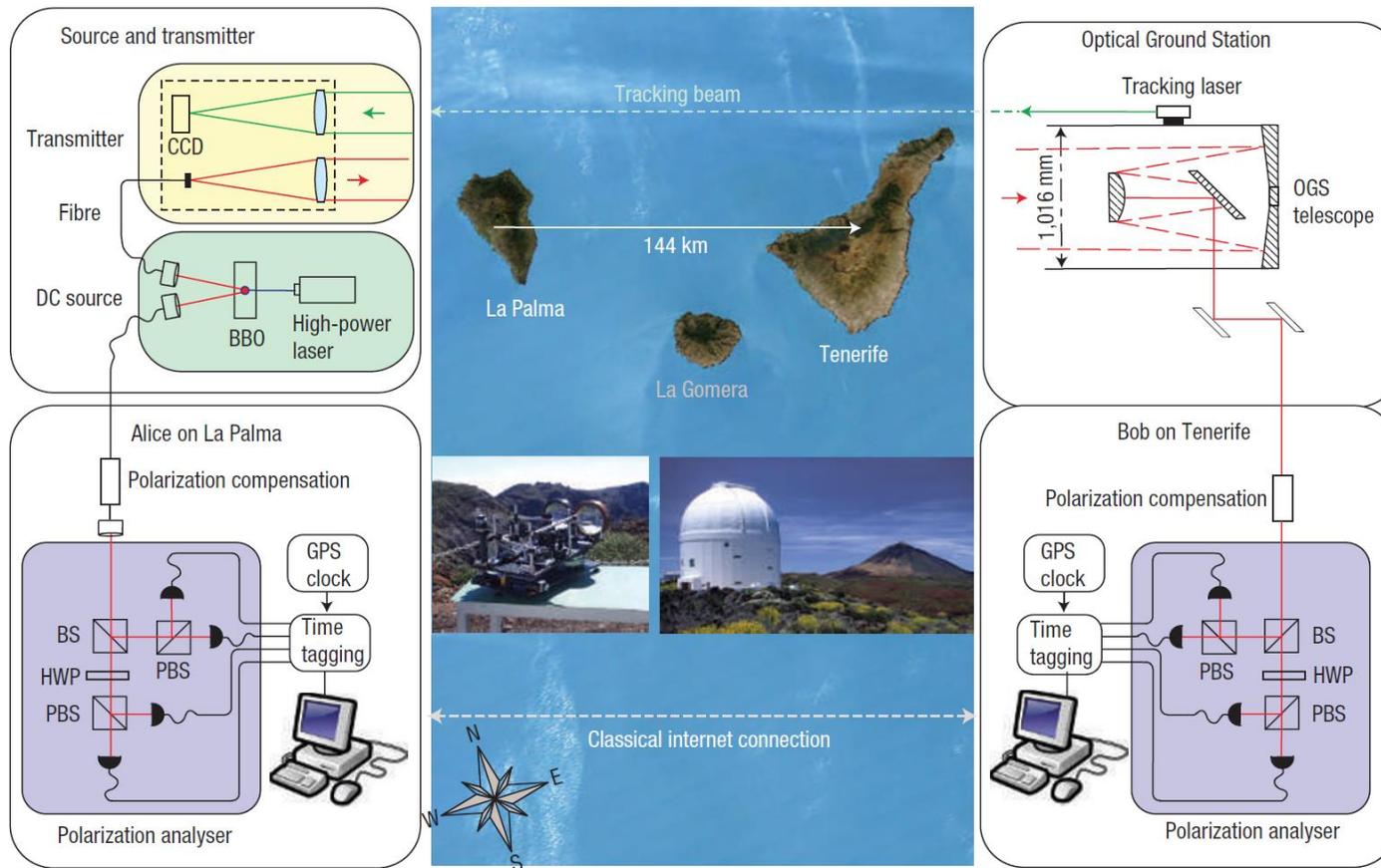
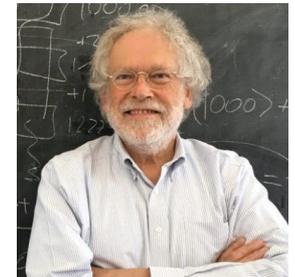
- Quantenverschlüsselung der Wahlen in Genf (2007)
- Banken
- Militär
- Behörden

Quantenschlüsselaustausch mit verschränkten Photonen



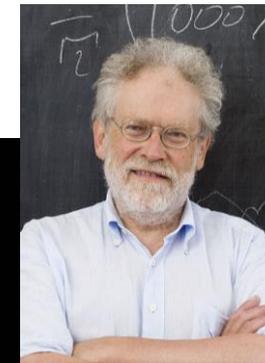


Quantenschlüsselaustausch



Quantenkryptographie

- Überbrückung weiter Strecken via Satellit



Anton Zeilinger



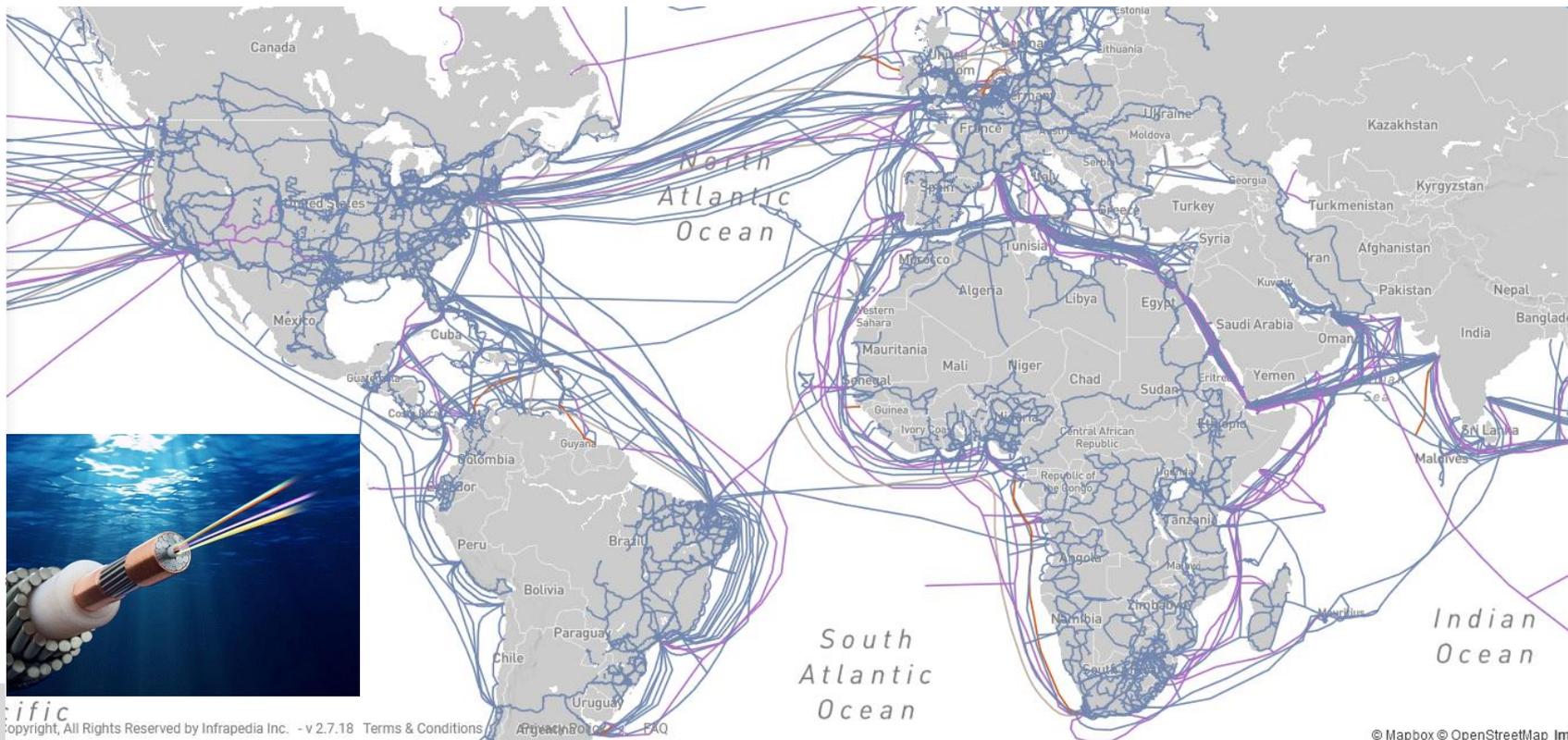
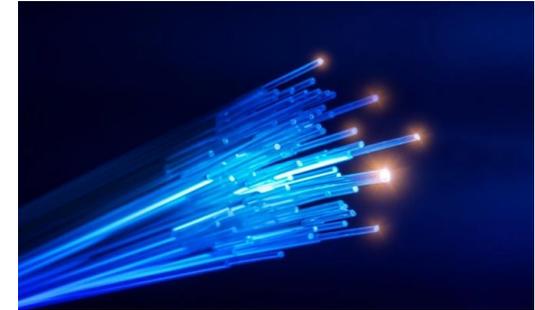
Jianwei Pan



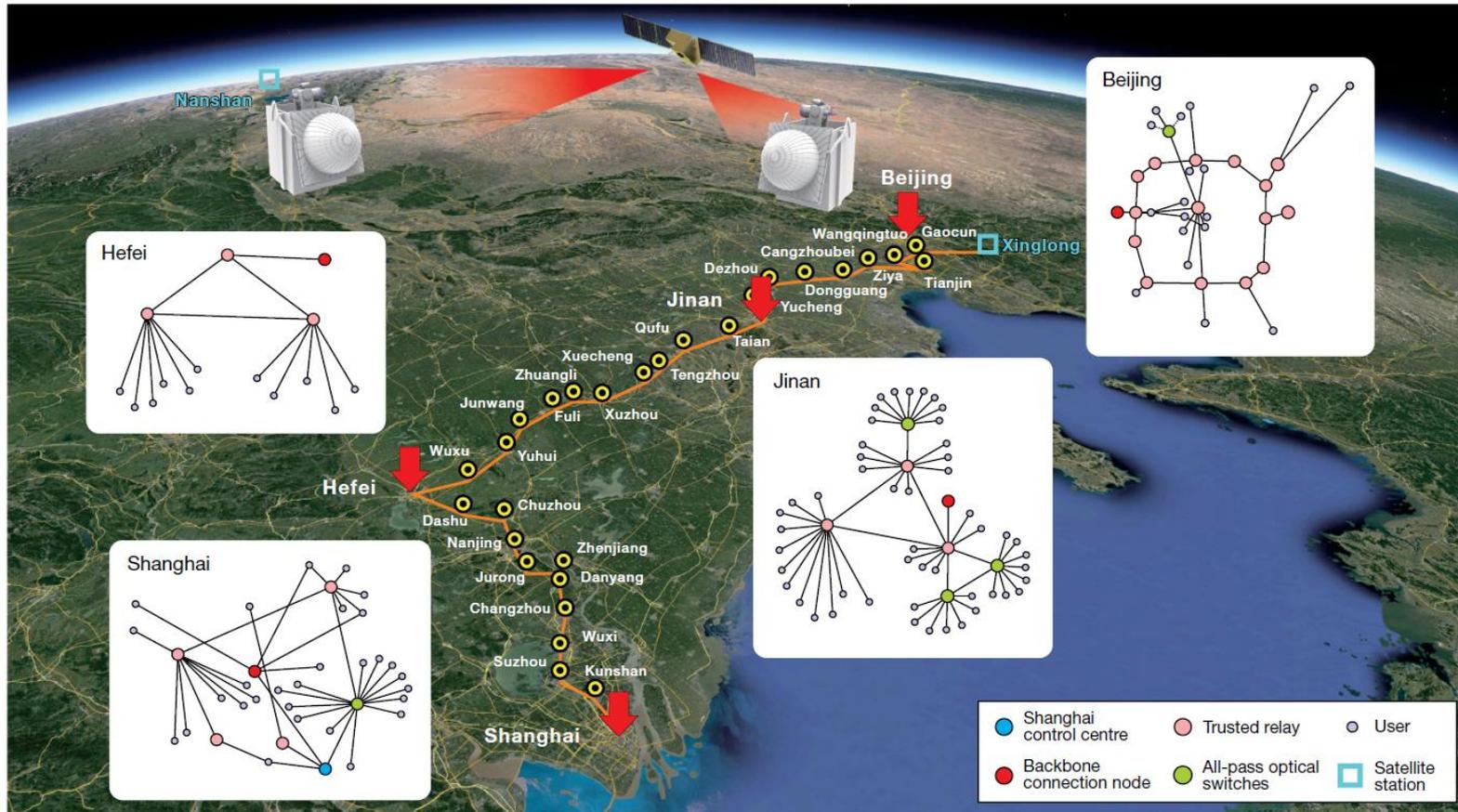
Quantenkommunikationsnetzwerke

Optische Glasfasern

- Problem 1: Dämpfung (0.2dB/km)
> 97% Verlust nach 100km
- Problem 2: keine direkte Verstärkung
(no cloning)

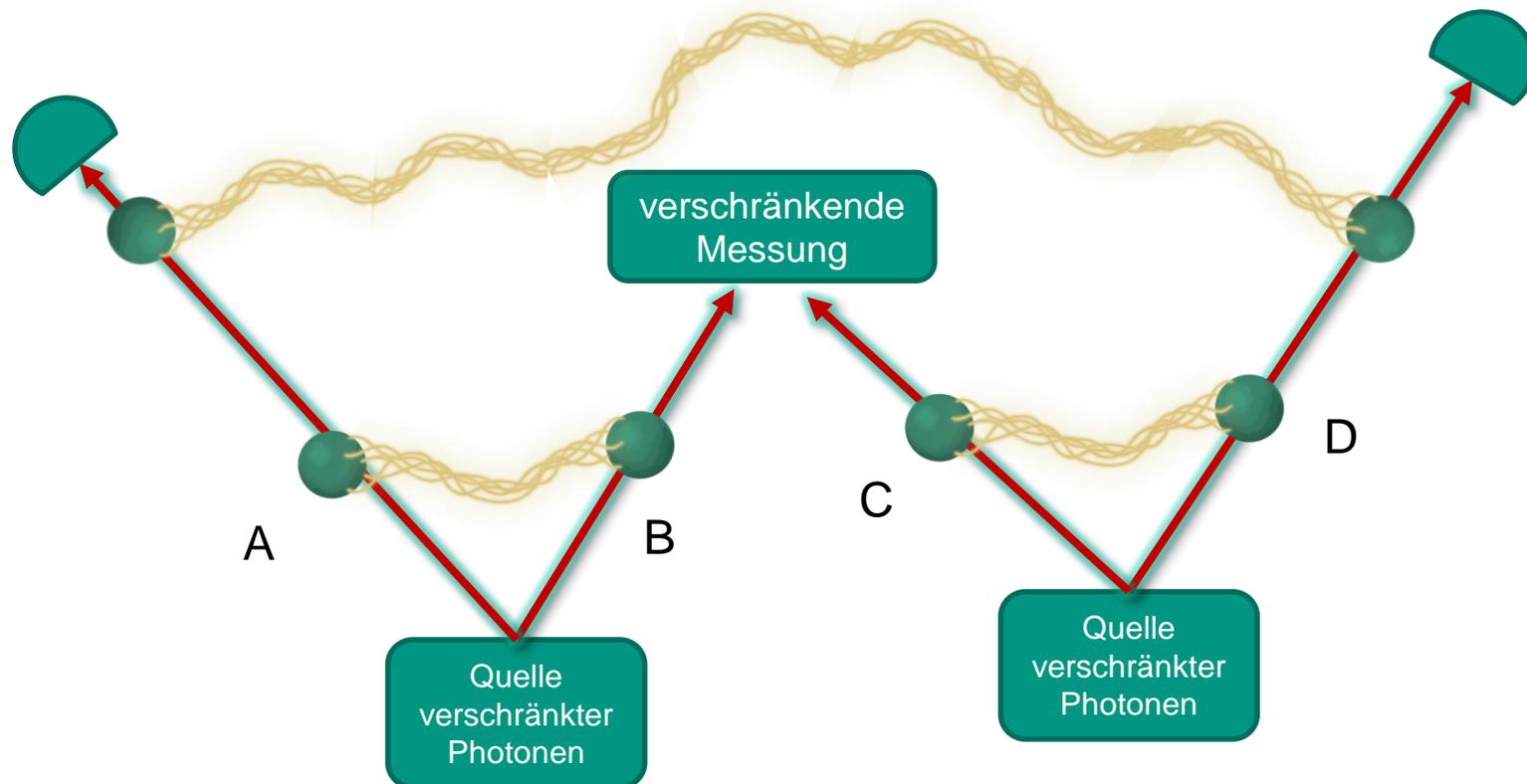


Quantenschlüsselaustausch mit sicheren Zwischenstationen

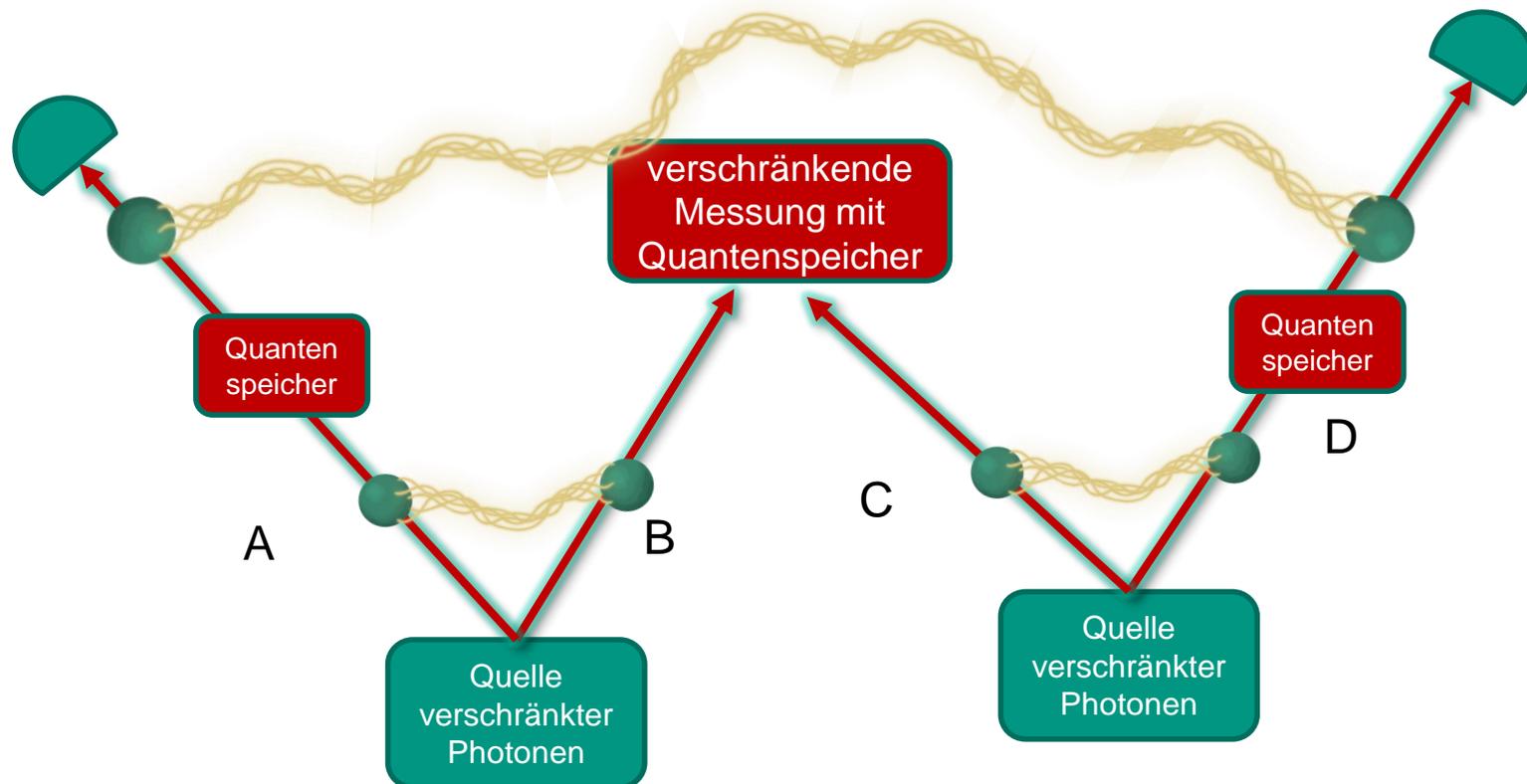


- 2000km Backbone, 32 Zwischenknoten
- 2600km Satellitenverbindung
- Verschiedene lokale Topologien
- 150 Nutzer

Die Zukunft: Netzwerke mit Verschränkungstausch

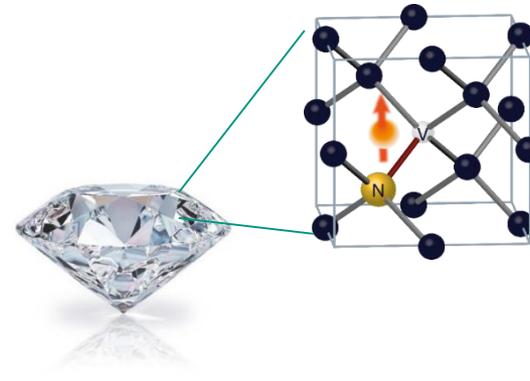
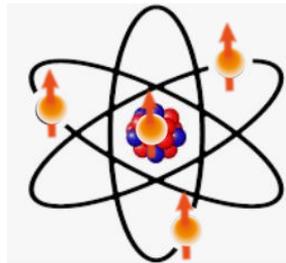
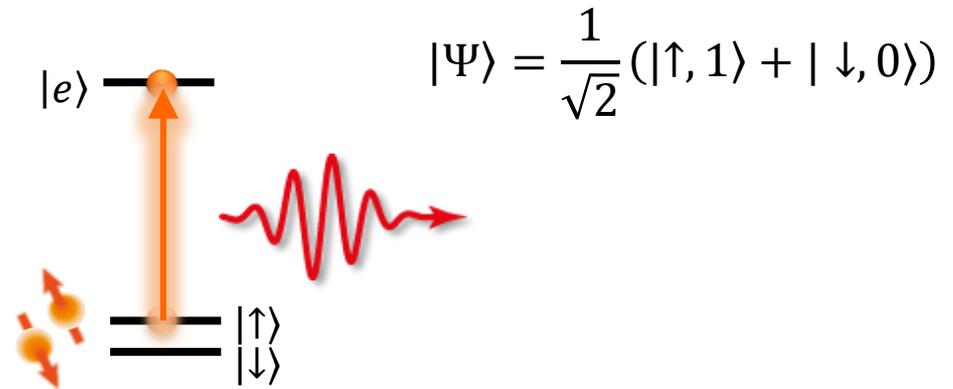


Verschränkungstausch mit Speichern



Verschränkung von Speicher Qubits

Langlebige Qubits: **Spins**



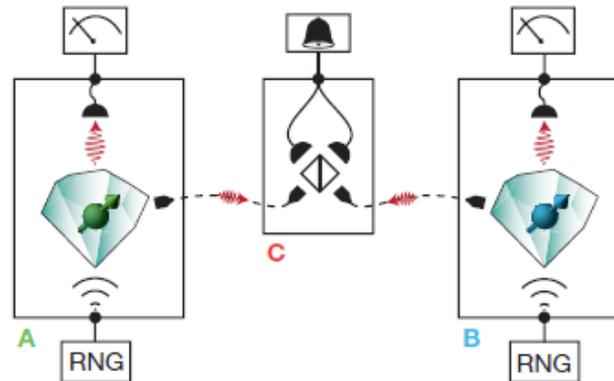
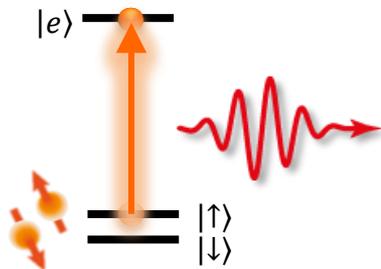
Verschränkung von Speicher Qubits



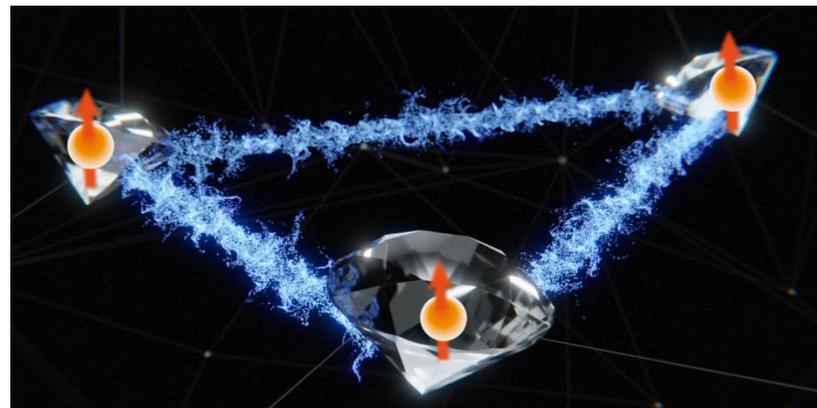
Weinfurter
(LMU München)

Rempe
(MPQ Garching)

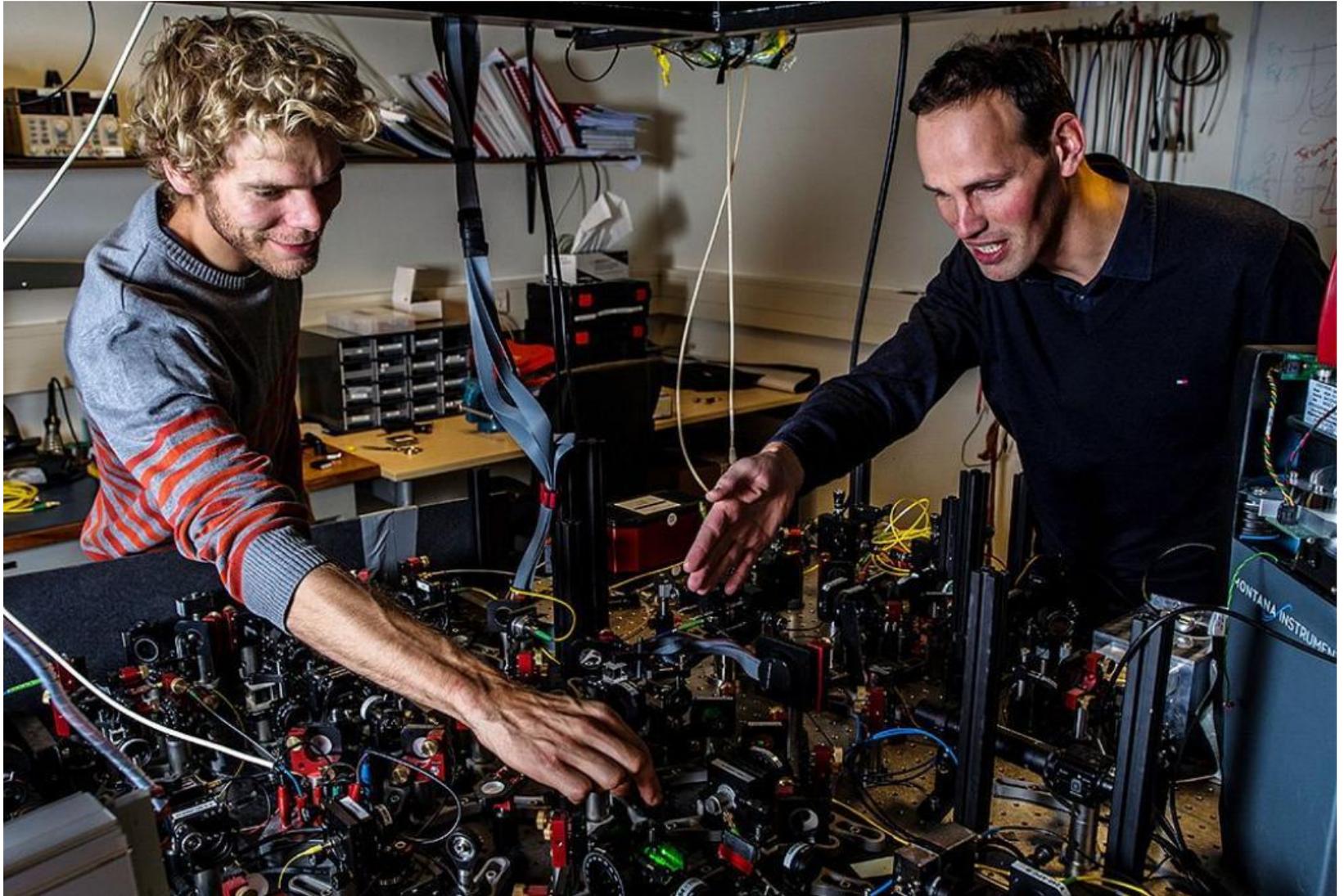
Hanson
(Delft)



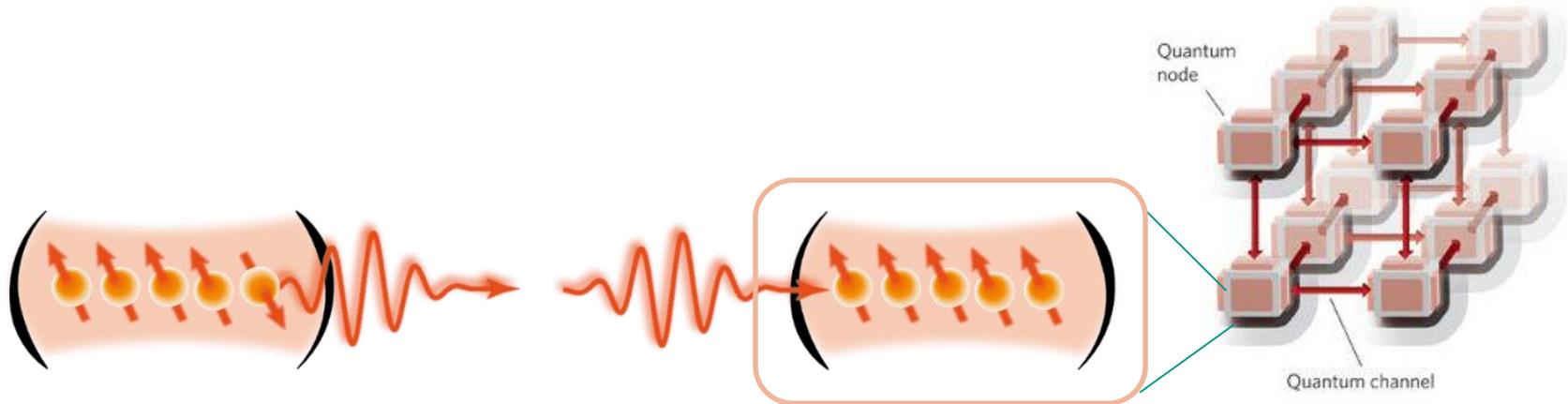
$$|\Psi\rangle = |\downarrow, \uparrow\rangle + |\uparrow, \downarrow\rangle$$



Im Labor



Quantenknoten mit vielen Qubits



Kimble, Nature 453, 1023 (2008)

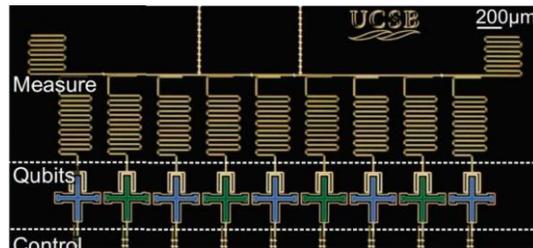
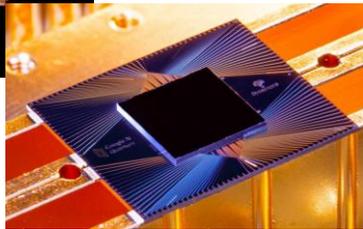
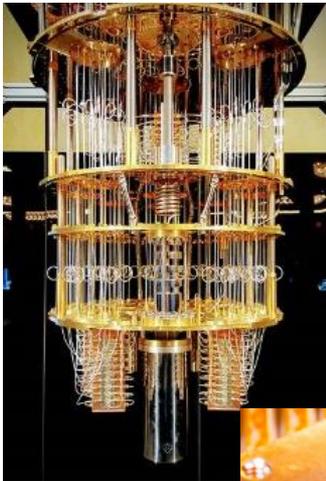
$$|\Psi\rangle = |\downarrow, \uparrow\rangle + |\uparrow, \downarrow\rangle$$

Quantencomputer

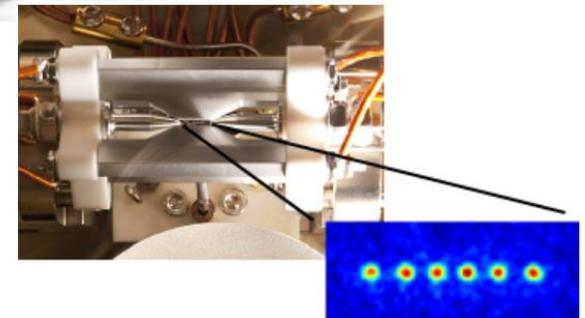


$$|\Psi\rangle = |\downarrow, \uparrow\rangle + |\uparrow, \downarrow\rangle$$

supraleitende Qubits

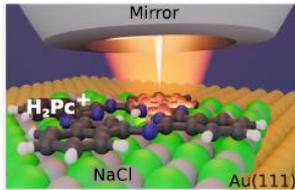


gefangene Ionen



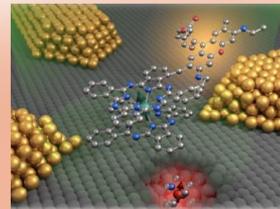
Quantentechnologien am KIT

Einzelmolekül Lichtemission



W. Wulfhekel

Quantencomputing mit Molekülspins



W. Wernsdorfer

engineered quantum systems

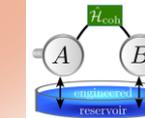


A. Metelmann

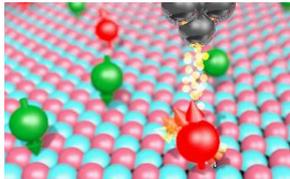
nano-optics



C. Rockstuhl

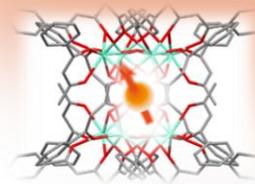


Einzelspinkontrolle im STM



P. Willke

Molekulare Quantenmaterialien

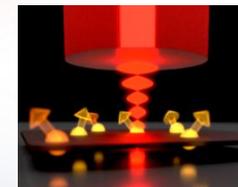


M. Ruben



P. Roesky

Spin-Photon Schnittstellen



D. Hunger

molekulare Spins



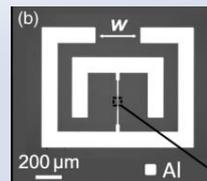
K. Fink

Multi-Qubit Systeme



S. Shnirman

Supraleitende Quantenschaltkreise

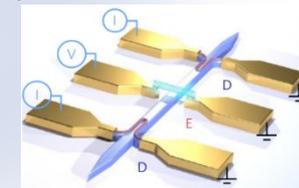


I. Pop



A. Ustinov

Integriert-photonische Quantenbauteile



R. Krupke

Supraleitende Quantenmaterialien



Künftige Quantentechnologien

- Quantencomputer für beschleunigte Rechnungen
- Quantenkommunikation über große Distanzen
- Quantensensoren für erhöhte Empfindlichkeit
- Verknüpfung von Quantencomputern & anderen Quantensystemen

Das Quanteninternet

