

# Quantenteleportation

14.01.2009

Fabian Käding

# Themenübersicht:

- Was ist Quantenteleportation
- Verschränkte Zustände (EPR-Paare)
- Theorie zur Quantenteleportation
- Experimentelle Realisierung
- Zusammenfassung und Anwendungen

# Was ist Quantenteleportation?

- Übertragung des unbekanntes Zustands eines Quantensystems von Alice (Sender) zu Bob (Empfänger)
- verschränkter Zustände und geringer Menge klassischer Information
- Findet der Informationsaustausch mit Überlichtgeschwindigkeit statt?

# Verschränkte Zustände (EPR-Paare)

- Laserlicht durch nicht-linearen Kristall

- im folgenden:

0=horizontal 1=vertikal polarisiert

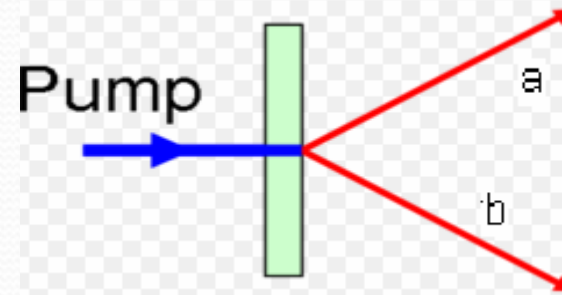
- Impuls- und Energieerhaltung:

$$\omega_p = \omega_a + \omega_b$$

$$k_p = k_a + k_b$$

- Einzelne Photonen unpolarisiert -> verschränkter Zustand

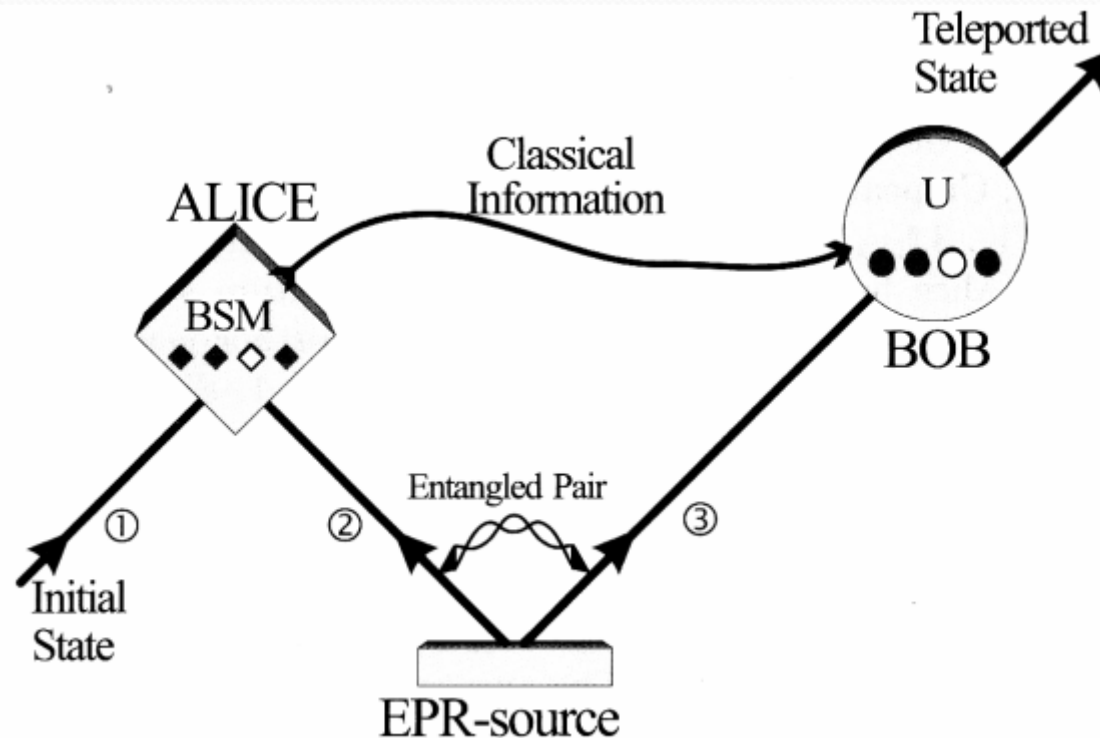
$$|\Psi_{ab}^-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle_a |1\rangle_b - |1\rangle_a |0\rangle_b)$$



# Verschränkte Zustände (EPR-Paare)

- Verschränkung unabhängig von Entfernung
- Erst nach Messung von einem Photon stellt sich raus wie es polarisiert ist
- Liegt das Messergebnis vor, muss das zweite Photon genau die andere Polarisation besitzen, wo auch immer es ist .

# Theorie der Quantenteleportation



„Experimental quantum teleportation“, A. Zeilinger *et al.* *Nature* **390**, 575 (1997)

# Prinzip der Quantenteleportation



Bennet 1993

„Teleporting an Unknown Quantum State via Dual Classical and

Einstein-Podolsky-Rosen Channels“, Charles H. Bennett *et al.*

*Physikal Review Letters* 70, No.13 (1993)

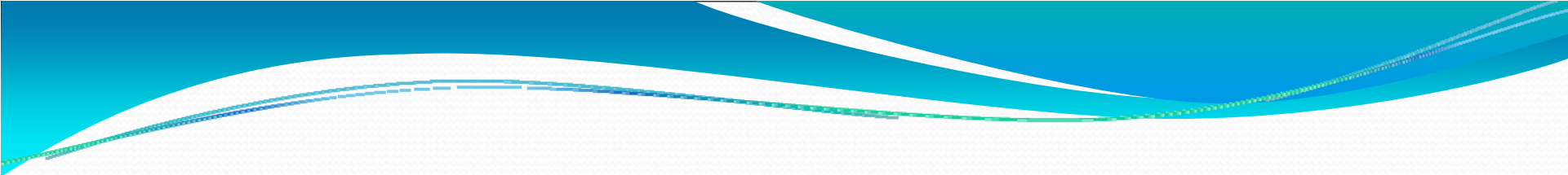
Ein unbekannter Quantenzustand

$$|\Psi\rangle_1 = a_0|0\rangle_1 + a_1|1\rangle_1$$

wird von Alice an Bob teleportiert.

Mithilfe des verschränkten Quantenpaares 2 und 3 bei Alice und Bob im Zustand:

$$|\Psi_{23}^-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle_2|1\rangle_3 - |1\rangle_2|0\rangle_3)$$

- 
- Alice führt Messung an Quant 1 und 2 durch  
⇒ Quant 3 in Zustand projiziert
  - Messergebnis von Alice an Bob klassisch übertragen
  - Bob kann mit der Information Quant 3 in den richtigen Zustand bringen.
  
  - Ausgangszustand von Quant 1 ist zerstört  
- no cloning theorem



# Theorie der Quantenteleportation

- Berechnungen:  
teleportierender Zustand von  
Quant 1

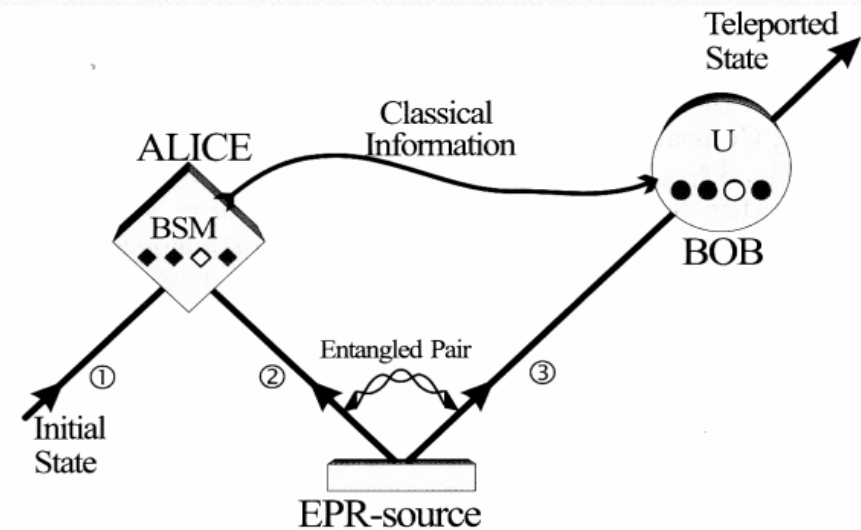
$$|\Psi\rangle_1 = a_0|0\rangle_1 + a_1|1\rangle_1$$

- verschränkter Zustand von  
Quant 2 und 3

$$|\Psi_{23}^-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle_2|1\rangle_3 - |1\rangle_2|0\rangle_3)$$

kompletter Zustand der drei Teilchen vor Alices Messung

$$|\Psi_{123}\rangle = \frac{a_0}{\sqrt{2}}(|0\rangle_1|0\rangle_2|1\rangle_3 - |0\rangle_1|1\rangle_2|0\rangle_3) + \frac{a_1}{\sqrt{2}}(|1\rangle_1|0\rangle_2|1\rangle_3 - |1\rangle_1|1\rangle_2|0\rangle_3)$$

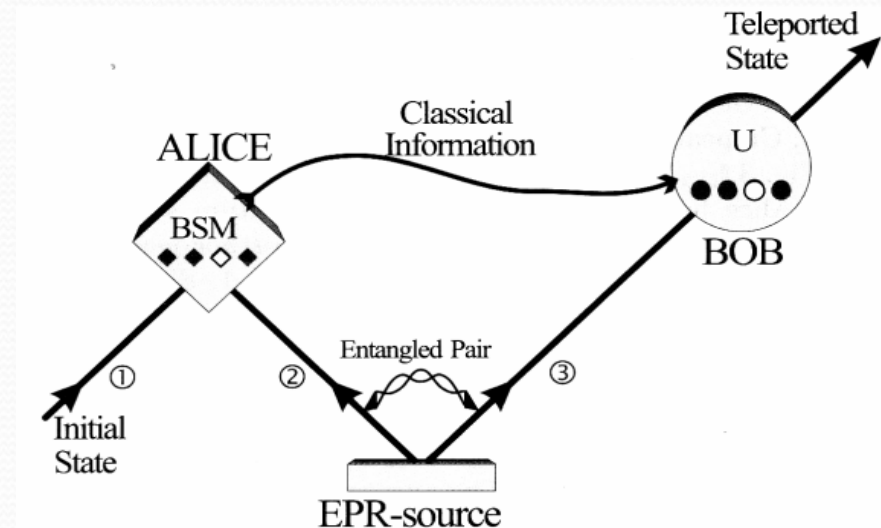


- Die Quanten 1 und 2 befinden sich nach der Messung bei Alice in einem der vier sogenannten Bell-Zustände

$$|\Psi_{12}^{\pm}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle_1|1\rangle_2 \pm |1\rangle_1|0\rangle_2)$$

$$|\Phi_{12}^{\pm}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle_1|0\rangle_2 \pm |1\rangle_1|1\rangle_2)$$

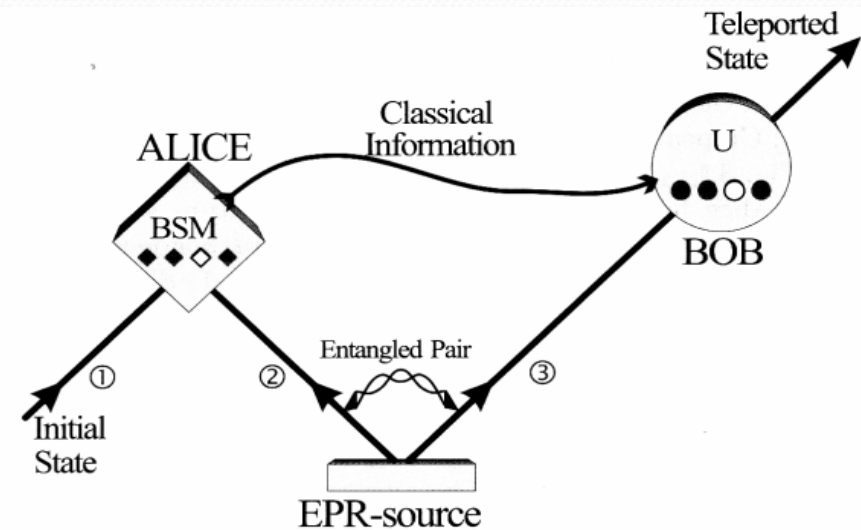
- Ausdrücken der Gleichung vorige Seite durch die Bell-Zustände



- Gleichung sieht aus wie folgt:

$$\begin{aligned}
 |\Psi_{123}\rangle = & \frac{1}{2} [ |\Psi_{12}^{-}\rangle (-a_0|0\rangle_3 - a_1|1\rangle_3) + |\Psi_{12}^{+}\rangle (-a_0|0\rangle_3 + a_1|1\rangle_3) \\
 & + |\Phi_{12}^{-}\rangle (a_0|1\rangle_3 + a_1|0\rangle_3) + |\Phi_{12}^{+}\rangle (a_0|1\rangle_3 - a_1|0\rangle_3) ]
 \end{aligned}$$

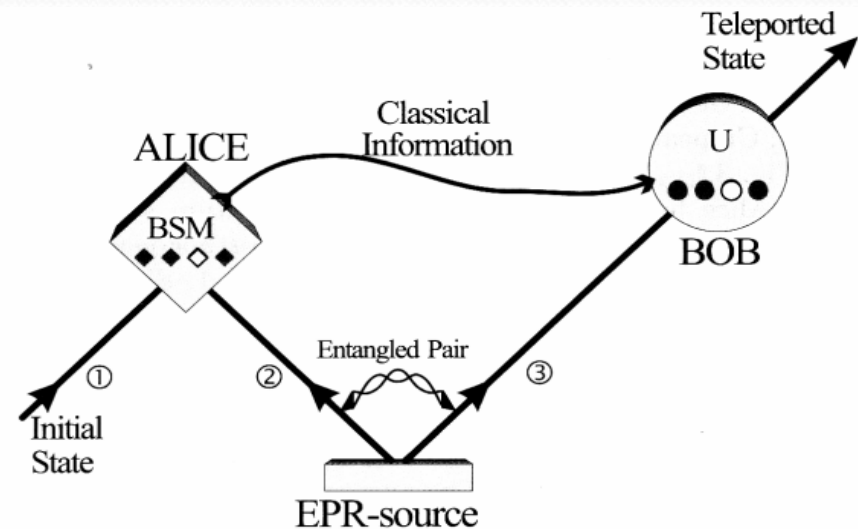
- Wahrscheinlichkeiten betragen jeweils  $\frac{1}{4}$
- Misst man Zustand  $|\Psi_{12}^{-}\rangle$  ist Bobs Zustand gleich mit dem Originalem Zustand von Teilchen 1



- Bis auf einen Phasenfaktor,  
das Minus:
- Teilchen 1 (Alice):

$$|\Psi\rangle_1 = a_0|0\rangle_1 + a_1|1\rangle_1$$

- Messung von einem der anderen 3 Zustände  
=> Teilchen 3 muss noch geeignet gedreht werden



Teilchen 3 (Bob):

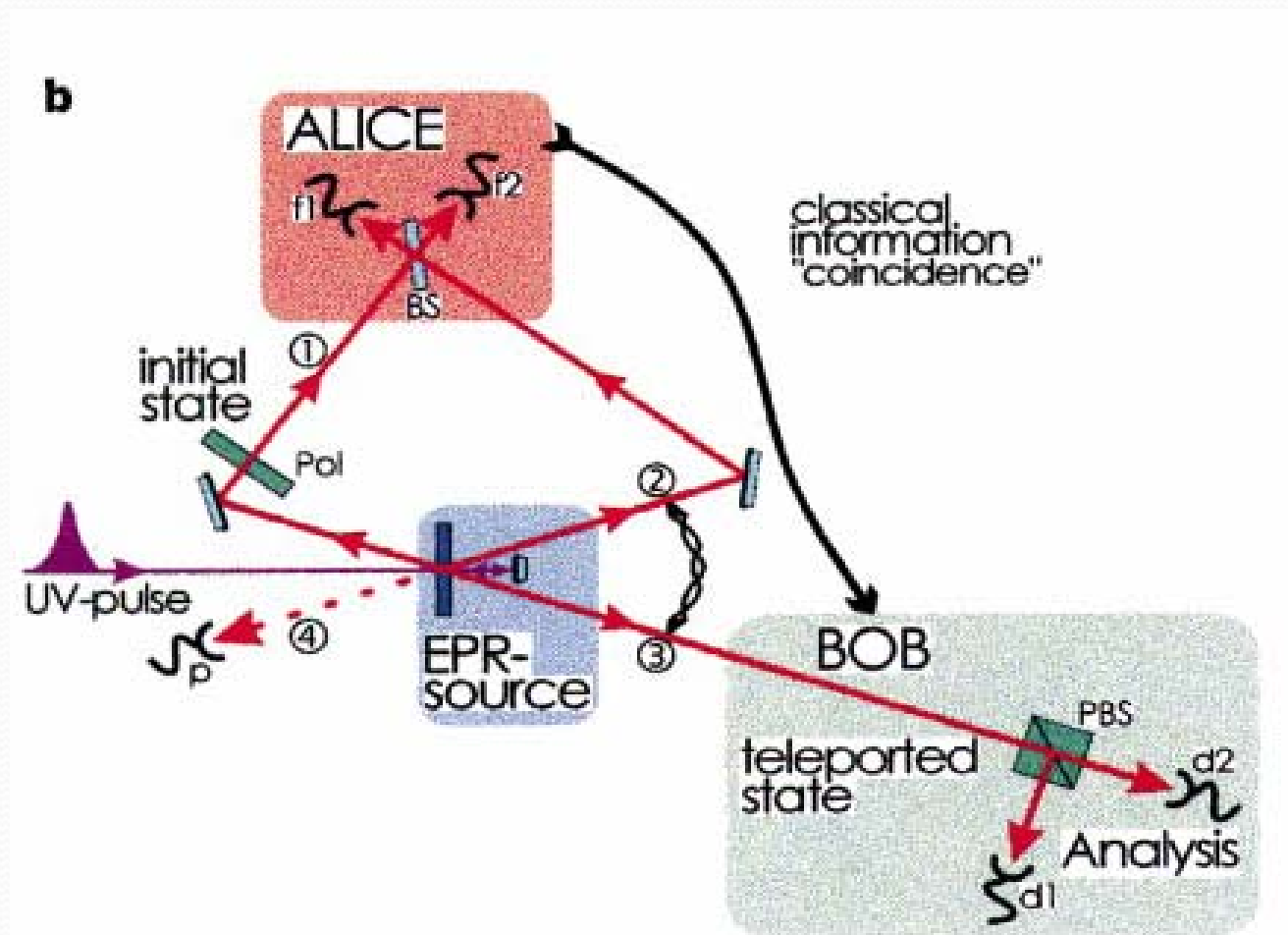
$$|\Psi\rangle_3 = -a_0|0\rangle_3 - a_1|1\rangle_3$$

# Experimentelle Realisierung

- Anton Zeilinger gelang 1997 erstmals das Experiment Quantenteleportation im Labor

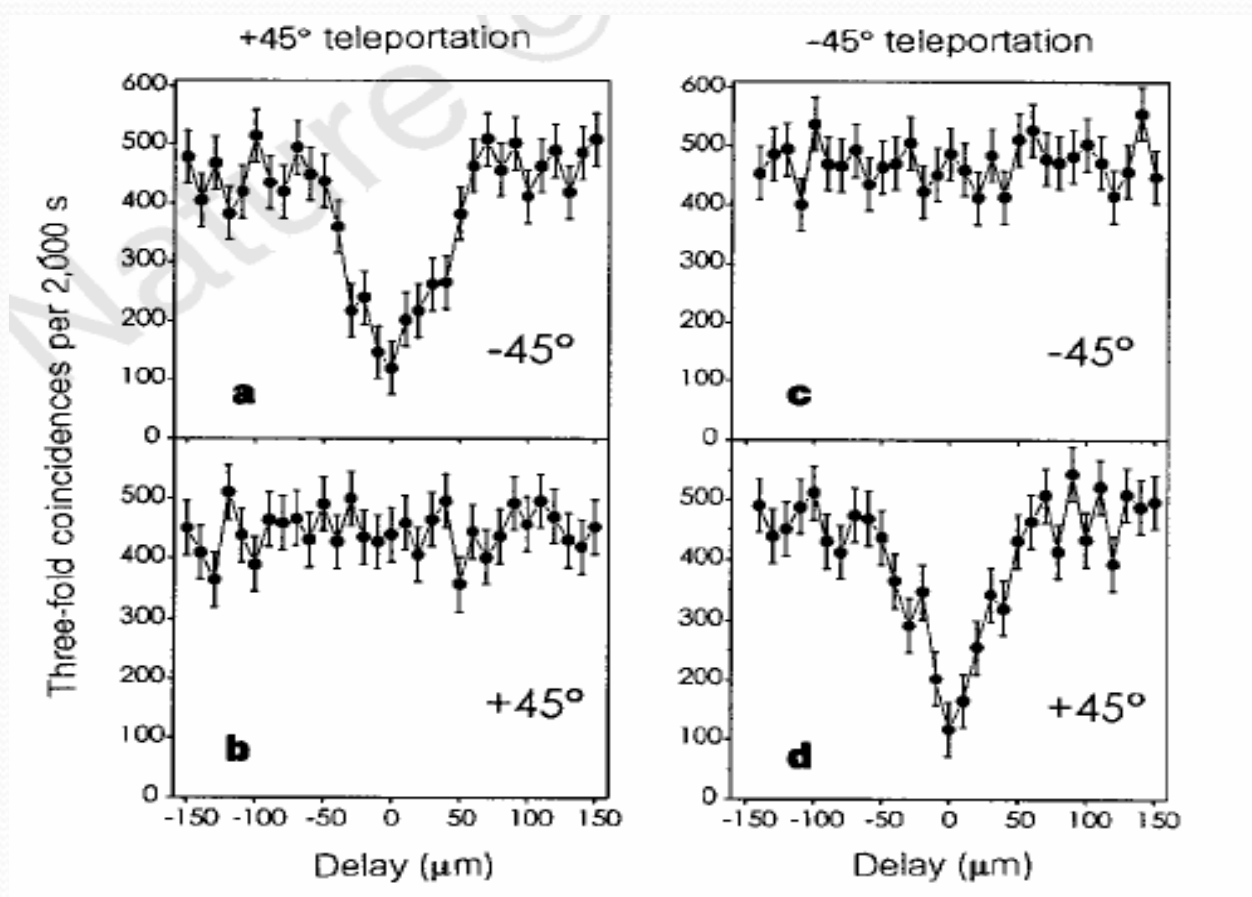


# Experimentelle Realisierung



„Experimental quantum teleportation“, A. Zeilinger *et al.* *Nature* **390**, 575 (1997)

# Ergebnisse



„Experimental quantum teleportation“, A. Zeilinger *et al.* *Nature* 390, 575 (1997)

# Zusammenfassung und Anwendungen

- Quantenteleportation benötigt den Austausch mittels klassischer Information
  - ⇒ physikalische Gesetze werden nicht verletzt
  - ⇒ kein teleportieren wie im science fiction
- Teleportation bei Quantenkryptographie
- Teleportation bei Quantencomputer





Danke für eure Aufmerksamkeit

Ende