

# Der Quantenkoffer<sup>®</sup>

Dr. Henning Weier  
qutools GmbH

# qutools GmbH

- Gegründet 2005
- Spin-Off der LMU München (Lehrstuhl Hänsch)
- Kommerzialisierung von Quantenoptik-Komponenten

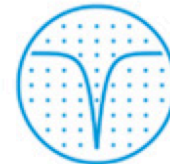
**quED** Entanglement  
Demonstrator



**qu2PI** Two-Photon  
Interferometer



**quPSI** Photon Statistics  
Instrument



**quTAU** Time-to-Digital  
Converter



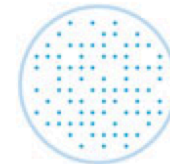
**quTD** Single Photon  
Detector



**quEff** Absolute  
Efficiency Measurement  
Setup

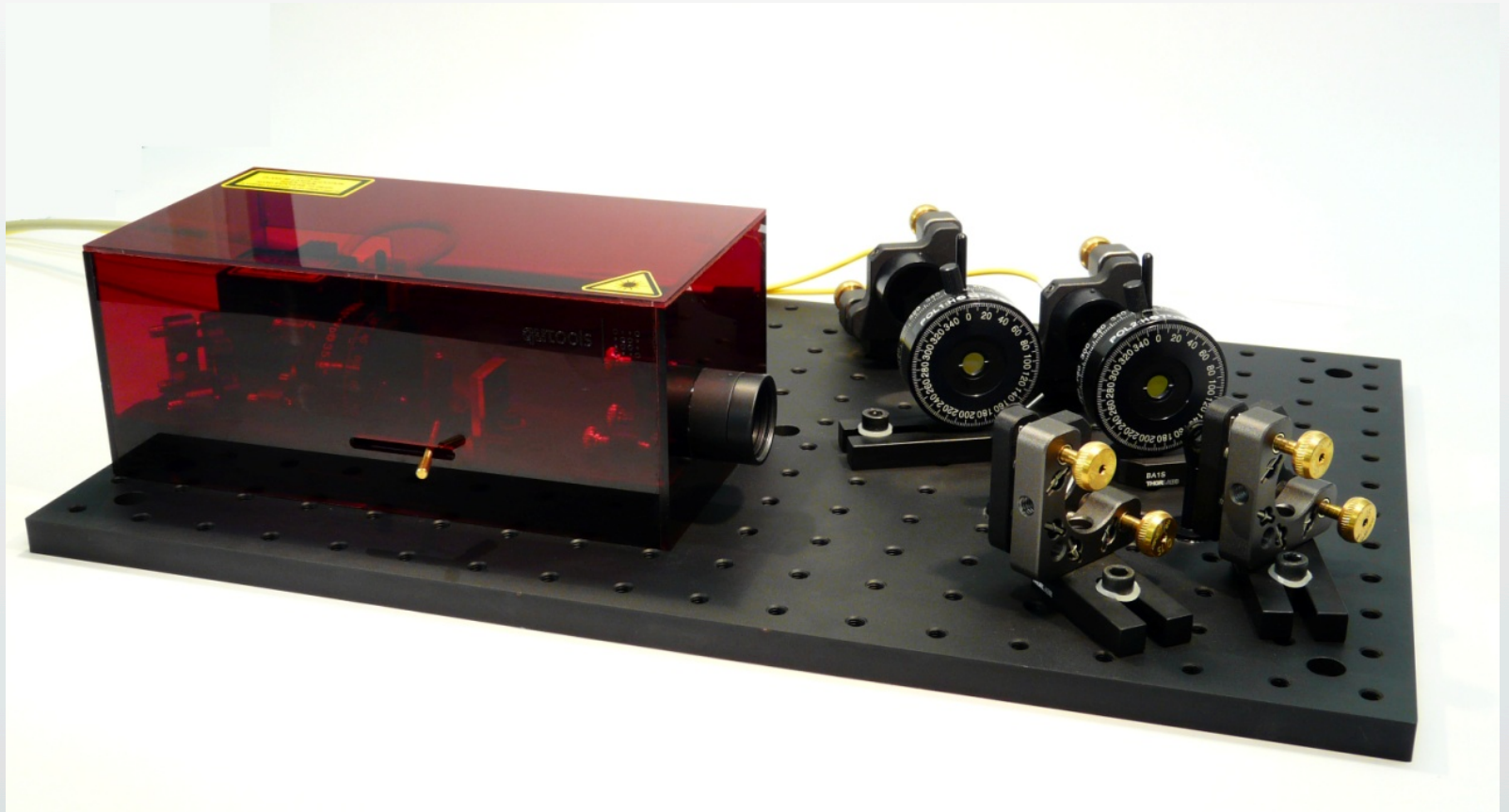


**quRNG** Quantum  
Random Number  
Generator



# quED Entanglement Demonstrator

- Verwendung: Physik-Studium, Fortgeschrittenen-Praktikum
- Weltweit rund 30-mal im Einsatz



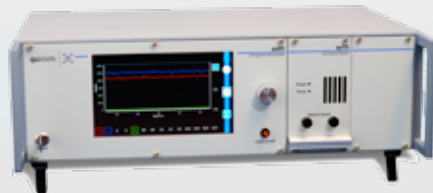
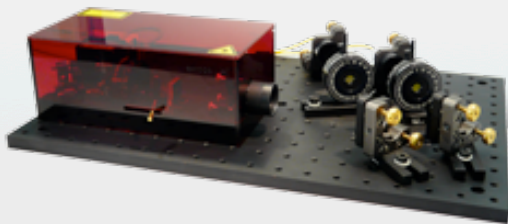
# Quantenkoffer-Prototyp





# Quantenkoffer-Prototyp

- Basis für Weiterentwicklung als Lehrmittel
- Einsatzgebiete: Gymnasien, Schülerlabore, Universitäten
- Ziel: Quantenphysik (auch) phänomenologisch vermitteln



# Quantenkoffer-Prototyp

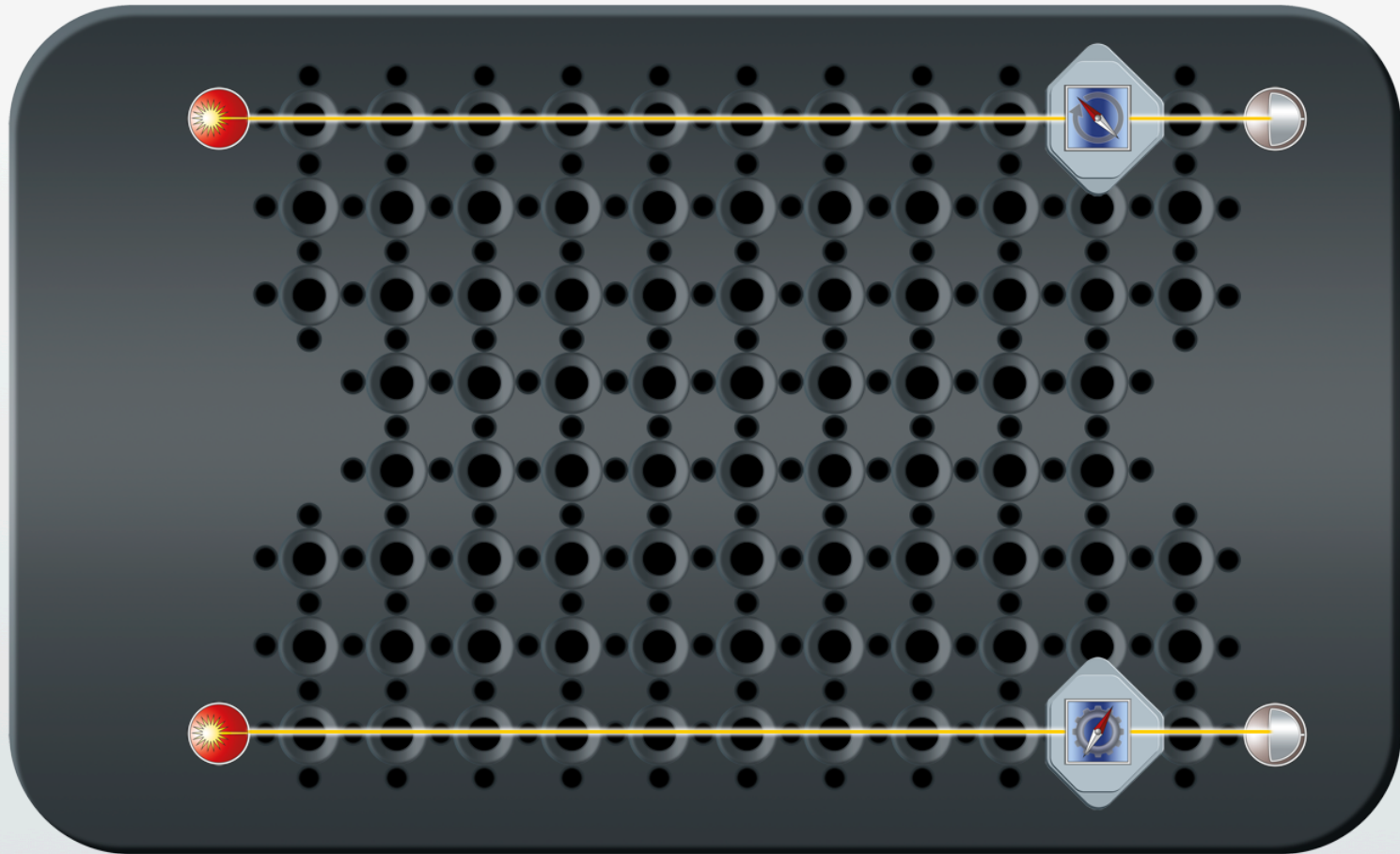
- Basis für Weiterentwicklung als Lehrmittel
- Einsatzgebiete: Gymnasien, Schülerlabore, Universitäten
- Ziel: Quantenphysik (auch) phänomenologisch vermitteln



# Quantenkoffer-Spielbrett Unterseite



# Quantenkoffer-Spielbrett Oberseite





# Quantenkoffer-Spielbrett Unterseite



# Quantenkoffer-Experimente (Auszug)

- Teilchencharakter von Photonen
- Welleneigenschaften von Photonen
  - Michelson-Interferometer
  - Doppelspaltversuch
- Quantenkryptographie
- Quantenzufallszahlengenerator
- Lichtgeschwindigkeitsmessung mit Photonenpaaren
- Hong-Ou-Mandel-Effekt
- Verschränkung

Derzeit mehr als 25 Experimentvorschläge

# Quantenkryptographie

## Klassische Kryptographie: One-Time-Pad

- Symmetrisch: Partner haben identischen, geheimen Schlüssel
- Bitweise XOR
- Schlüssel so lang wie Nachricht, nur einmal verwendbar
- Beweisbar sicher
- Nachteil: Schlüsselverteilung klassisch nicht sicher möglich
- Dieses Problem löst die Quantenkryptographie

### Alice

Nachricht: 1100

Schlüssel: 1010

Chiffre : 0110

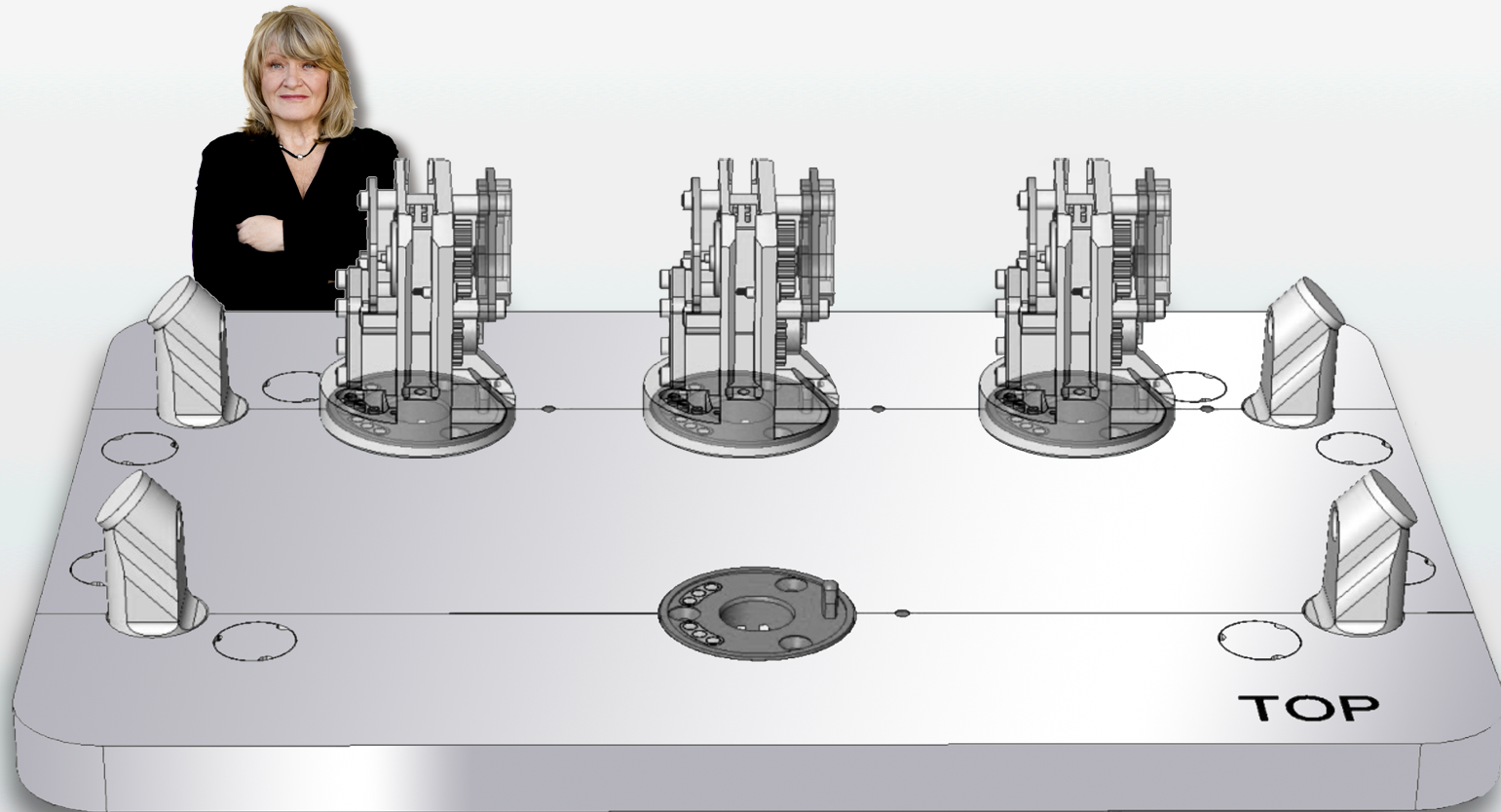
### Bob

Chiffre : 0110

Schlüssel: 1010

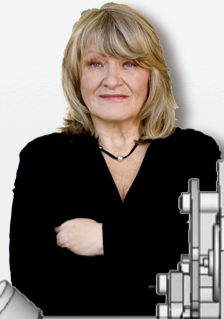
Nachricht: 1100

# Quantenkryptographie – BB84



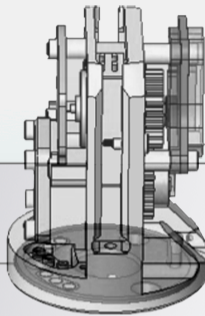


# Quantenkryptographie – BB84



## Alice

- Wählt eine von 4 Polarisationen und schickt zugehöriges Photon ( $H, +45^\circ \Rightarrow 0, V, -45^\circ \Rightarrow 1$ ).



## Bob

- Wählt eine von 2 Basen und analysiert Photon darin.
- Meldet Alice, welche Photonen er detektiert hat.



- Wählen die Ereignisse aus, bei denen die Basen übereinstimmen.

- Haben jetzt (idealerweise) identischen, geheimen Schlüssel.

# Quantenkryptographie – BB84



# Quantenkryptographie – BB84

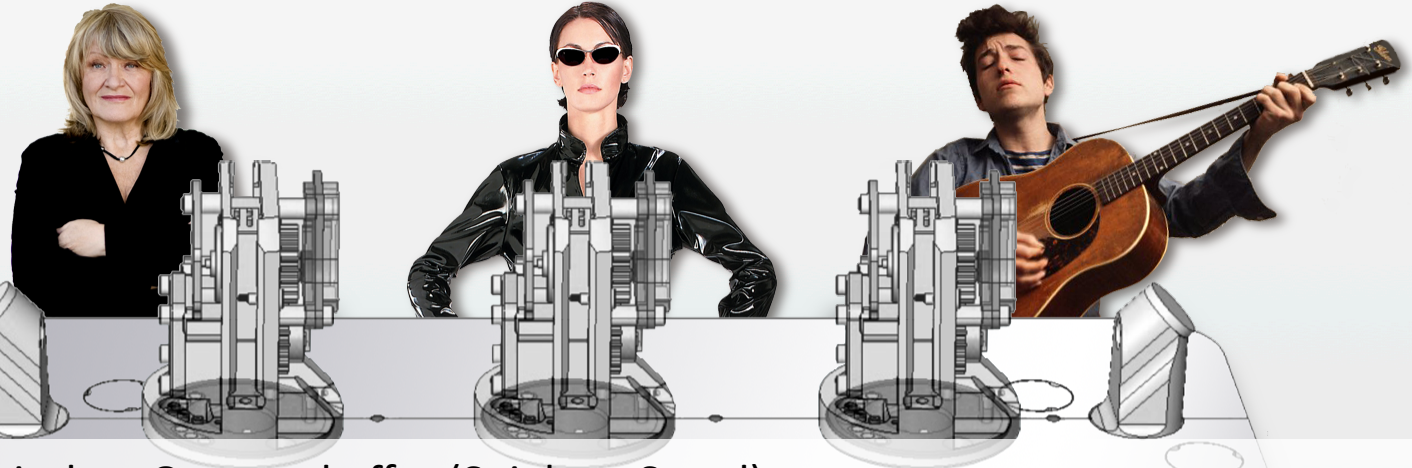


## Einfacher Angriff: Intercept-Resend

- Eve misst in einer Basis und schickt das Ergebnis weiter
- Wenn zufällig gleiche Basis: keine Fehler
- Wenn nicht: Keine Information, 50% Fehler
- Insgesamt: 25% Fehler
- Deshalb: Fehlerkorrektur & -zählung, Privacy Amplification



# Quantenkryptographie – BB84



Umsetzung mit dem Quantenkoffer (Spiel am Stand)

- Polarisierte Photonenpaare (V)

**Alice**

- Halbwellenplättchen dreht Polarisation

**Eve**

- Polarisator

**Bob**

- Polarisator



Wir freuen uns auf Ihren Besuch!

