

Gedankenexperiment: der Quantenbomben-Tester von Elitzur und Vaidman

Jörg Thorwart

Entnommen aus
QUANTENCOMPUTING IM
MINT-UNTERRICHT



Gemeinsam für guten MINT-Unterricht



**QUANTEN-
COMPUTING**
IM MINT-UNTERRICHT

ERMÖGLICHT DURCH

**WILHELM UND ELSE
HERAEUS-STIFTUNG**



Aufgabe: Funktionstüchtigkeit einer Bombe testen

- ▶ Wir haben eine Reihe lichtempfindlicher Bomben. Einige davon funktionieren und explodieren, wenn sie von einem Photon getroffen werden, andere sind dagegen defekt und explodieren nicht.



Defekte Bombe

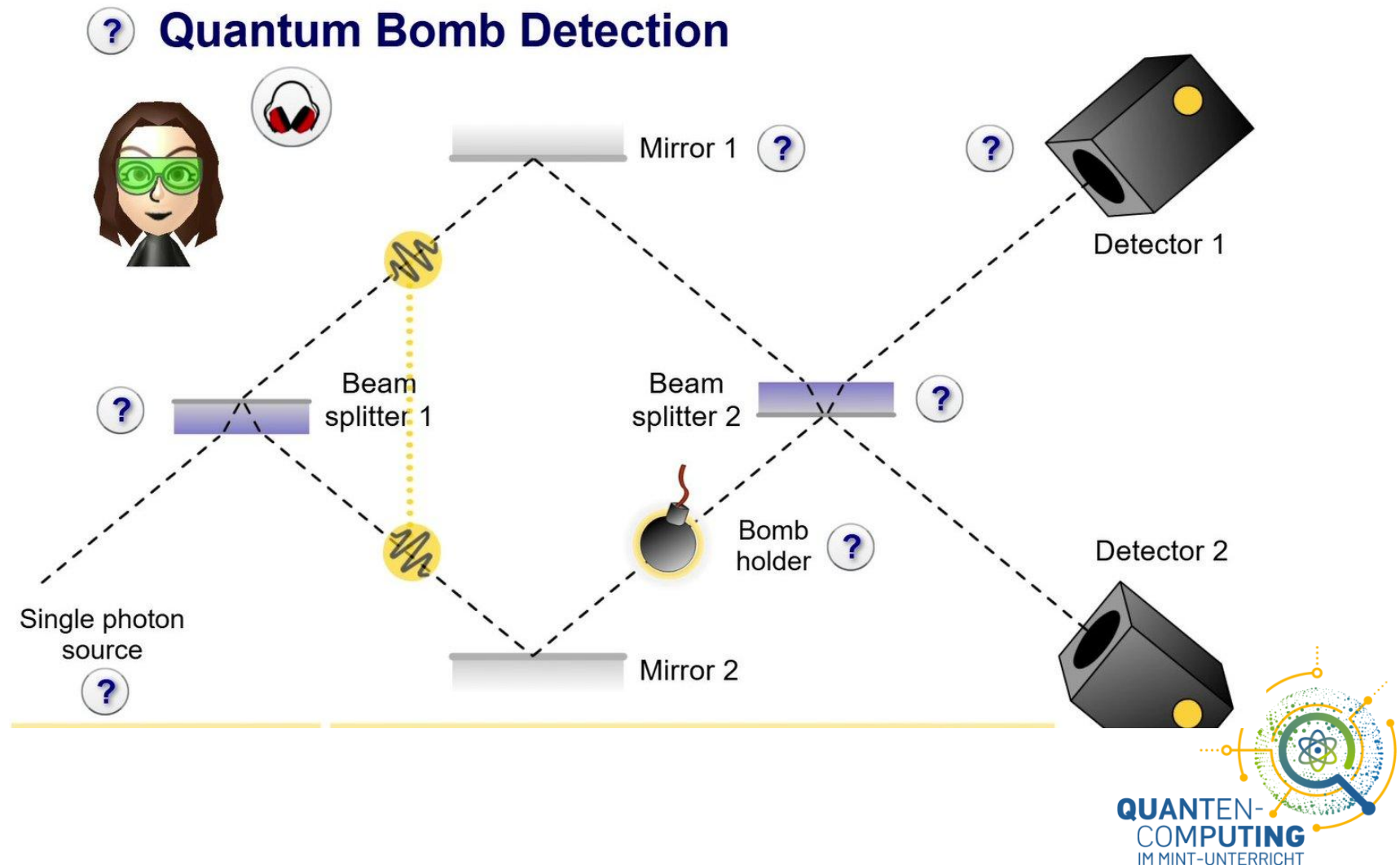


Funktionierende Bombe

- ▶ Können wir einige der funktionierenden Bomben finden, ohne dass sie explodieren?
- ▶ Mit klassischer Physik geht das nicht. **Aber mithilfe der Quantenphysik ist es möglich!**

Die Quantenphysik macht es möglich!

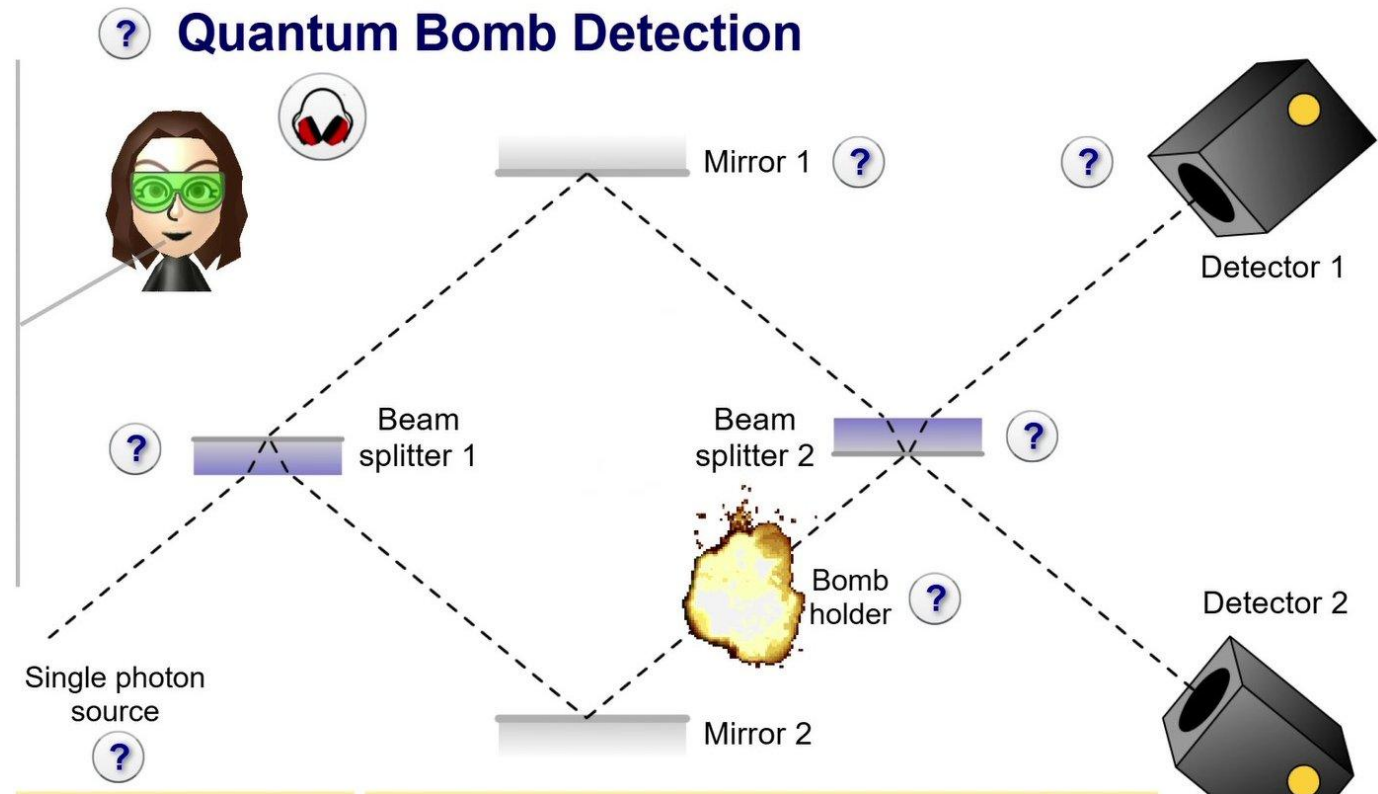
- ▶ Setze die zu testende Bombe in den Strahlengang eines Mach-Zehnder-Interferometers und feuere ein einzelnes Photon ab.



Was passiert, wenn die Bombe funktioniert?

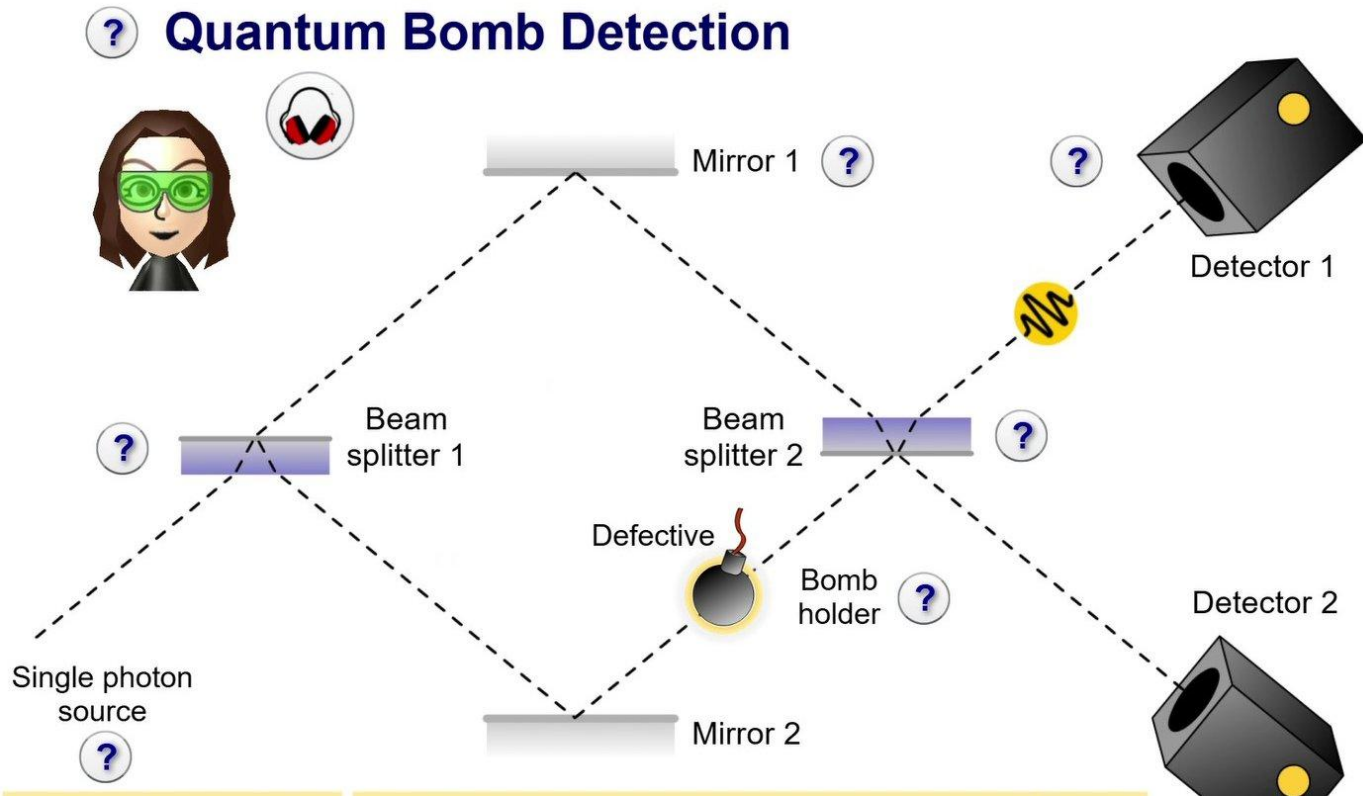
ZUSAMMENFASSUNG

- ▶ Mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % explodiert die Bombe.
- ▶ Wenn die Bombe explodiert, wissen wir mit Sicherheit, dass das Photon den unteren Weg genommen hat.
- ▶ Das entspricht der Messung: „Welchen Weg hat das Photon genommen?“.



Die Bombe muss nicht unbedingt explodieren ...

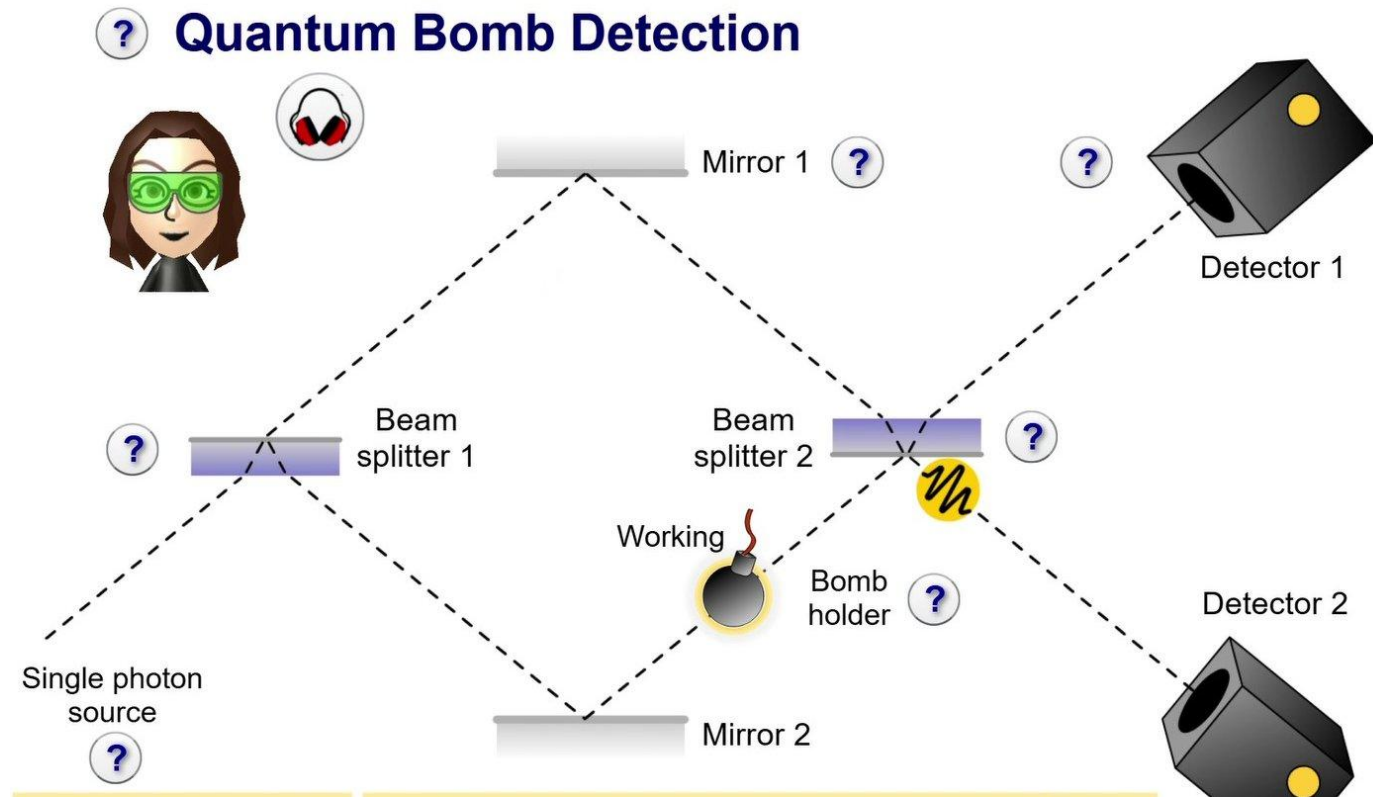
- ▶ Nehmen wir an, das Photon hat den oberen Weg genommen: Es befindet sich im Zustand $|up\rangle$.
- ▶ Die Bombe explodiert nicht und das Photon erreicht den Strahlteiler 2, wo ein neuer Superpositionszustand entsteht. Das Photon erreicht den Detektor 1 bzw. den Detektor 2 mit einer Wahrscheinlichkeit von jeweils 50 %.



... wir können auch anders ermitteln, ob sie funktioniert

- Das Photon im Detektor 2 zu beobachten, ist nur dann möglich, wenn die Bombe funktioniert. Wenn also das Photon im Detektor 2 nachgewiesen wird, wissen wir mit Sicherheit, dass die Bombe funktioniert – selbst wenn sie nicht explodiert ist.

- Das wäre mit klassischer Physik nicht möglich gewesen!



Können wir auch defekte Bomben identifizieren?

- ▶ Wenn ein einzelnes Photon den Detektor 1 erreicht, können wir nicht ausschließen, dass die Bombe funktioniert: Es besteht immer noch eine Wahrscheinlichkeit von 25 %, dass die Bombe funktioniert.
- ▶ Wenn man diese „Messung“ wiederholt und ständig das gleiche Ergebnis erhält (die Bombe explodiert nicht und das Photon erreicht Detektor 1), sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass die Bombe funktioniert, mit jeder „Messung“.
- ▶ Die Wahrscheinlichkeit, dass die Bombe funktioniert, wird immer geringer, aber sie wird niemals null sein. Das liegt am probabilistischen Aspekt einer Messung in der Quantenphysik.

Teste dein Wissen!

- ▶ Rufe die „Quantum Bomb Detection“-Simulation auf.



1. Finde im realen Aufbau („Real Facility“) 10 funktionierende Bomben.
2. Klicke auf den Tab „Challenges“ und beantworte die Fragen zum Bombentester.

Training **Real Facility** **Challenges** THOMPSON RIVERS UNIVERSITY University of St Andrews QuV+5

Quantum Bomb Detection

Place bombs you are certain are working onto the conveyor belt to the right, others go onto the conveyor belt to the left. I'll let you know how you do.

You are wearing virtual reality goggles which allow you to "see" the photons. Pay careful attention to the photons as that will help you understand how bombs are sorted.

Please familiarize yourself with the interferometer by clicking the ? symbols near each the components.

Once you have explored, send photons through the interferometer with and without bombs in the bomb holder. By placing bombs in the bomb holder learn to distinguish between working and defective bombs.

When you are confident you understand the process, please click on the Real Facility tab to remove the glasses and get sorting for real!

Main Controls

- Single photon
- Continuous Fire
- Show bomb state
- Detector Counts

Recycle Working