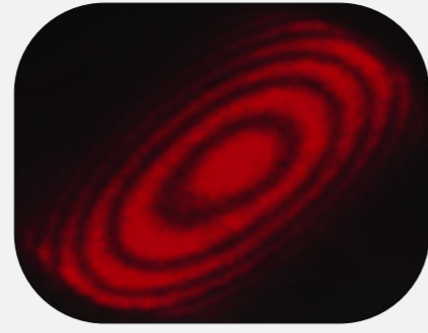
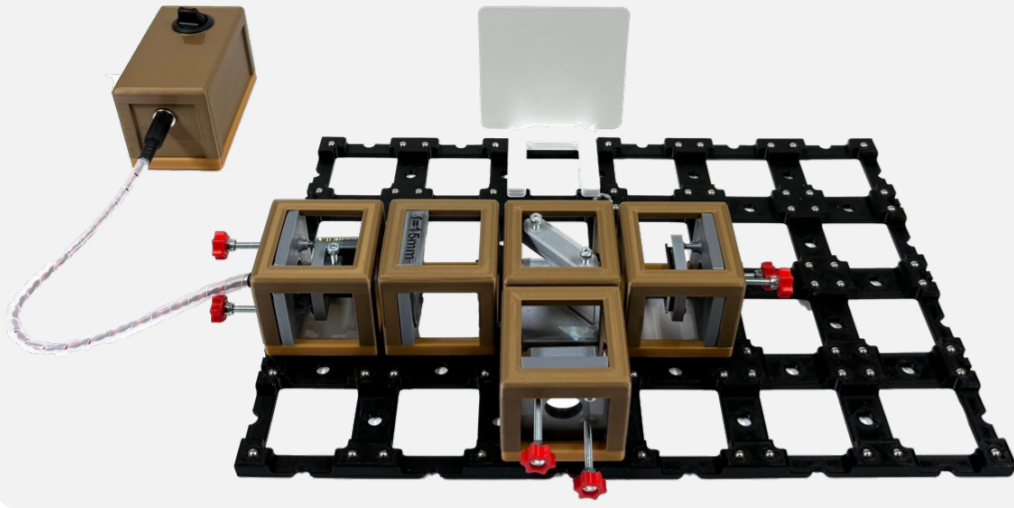


## Michelson-Interferometer

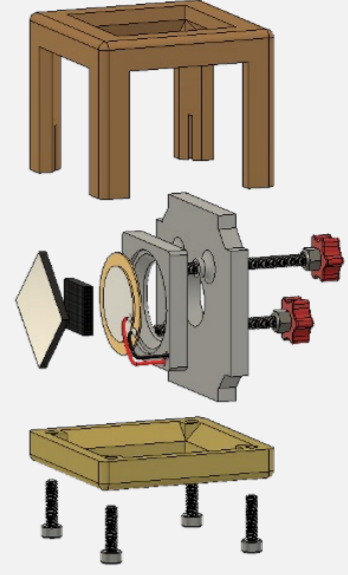


Interferenzmuster

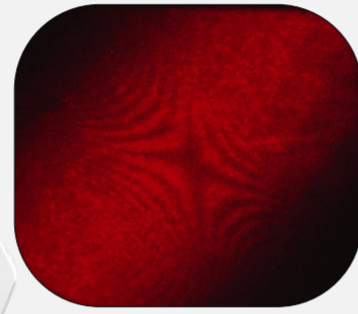
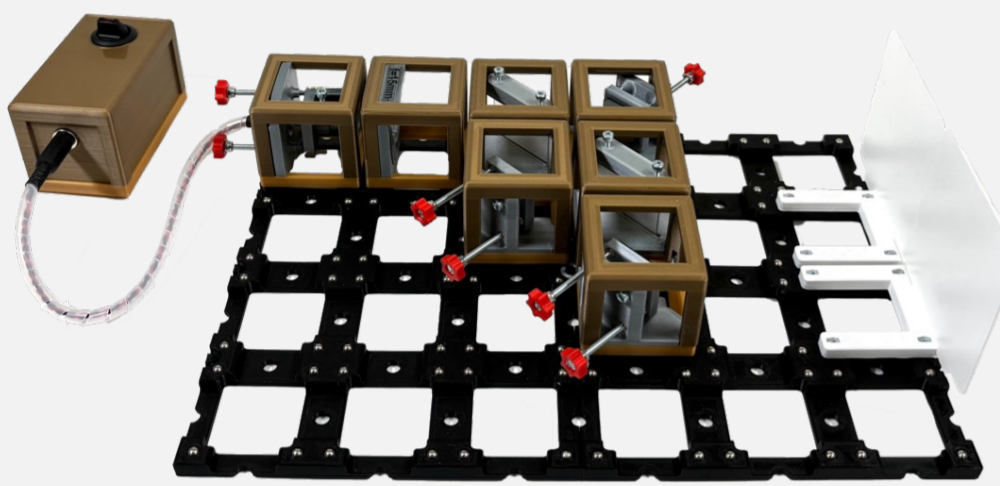
## Messungen

Mit einem elektrisch verstellbaren Piezo-Element können quantitative Messungen durchgeführt werden.

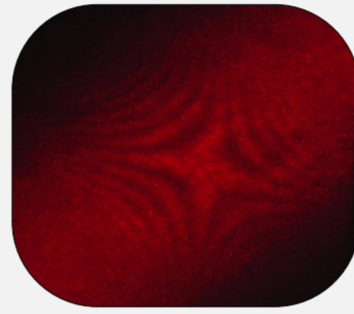
Durch eine Potenzialdifferenz von etwa 20V kann dabei eine Verschiebung des Spiegelements um ca. 1600nm realisiert werden. Dies entspricht bei rotem Licht ( $\lambda=650\text{nm}$ ) etwa fünf „Ringdurchläufen“.



## Mach-Zehnder-Interferometer



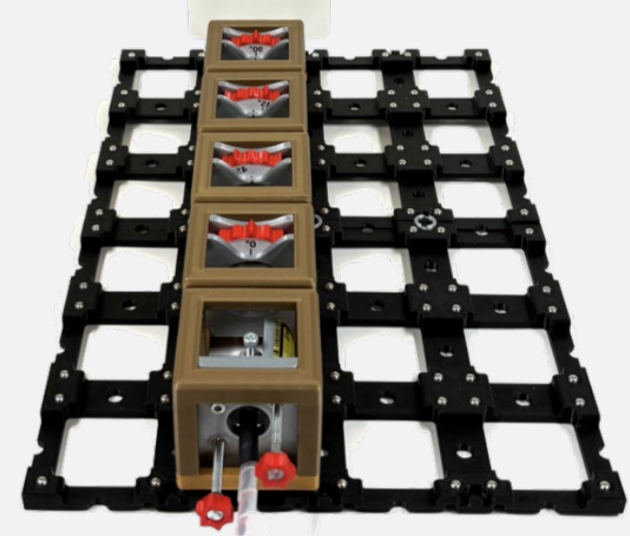
1. Ausgang



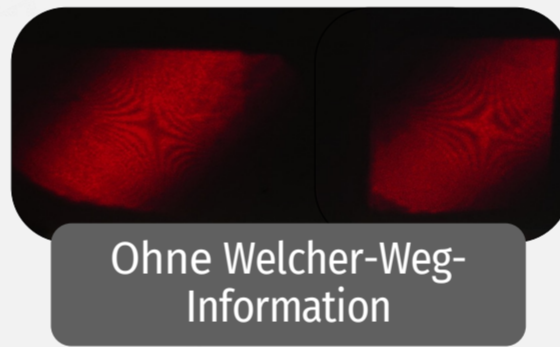
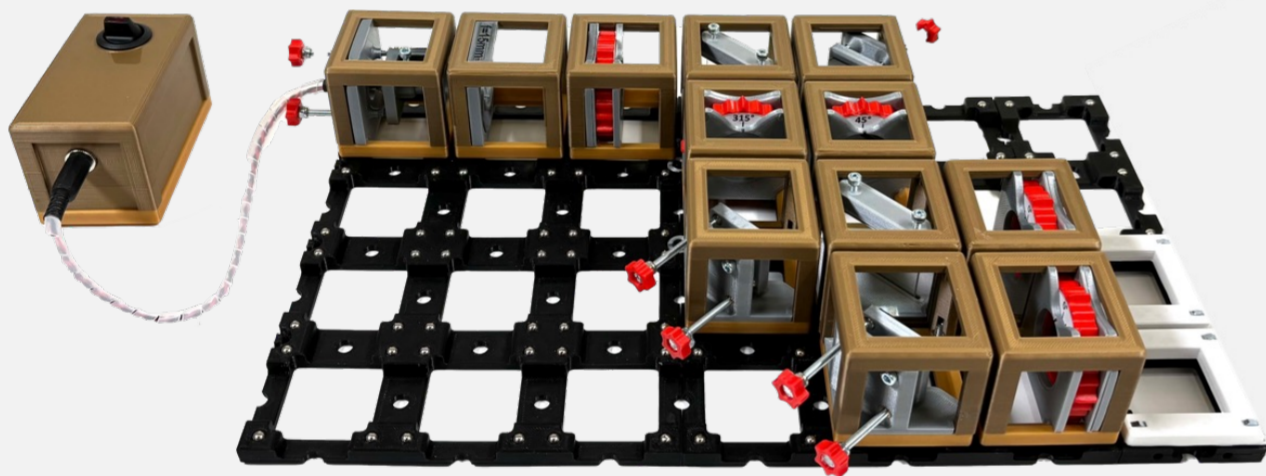
2. Ausgang

Beim Mach-Zehnder-Interferometer ergeben sich typischerweise zwei inverse Muster.

## Gesetz von Malus



## Quantenradierer (Analogieexperiment)



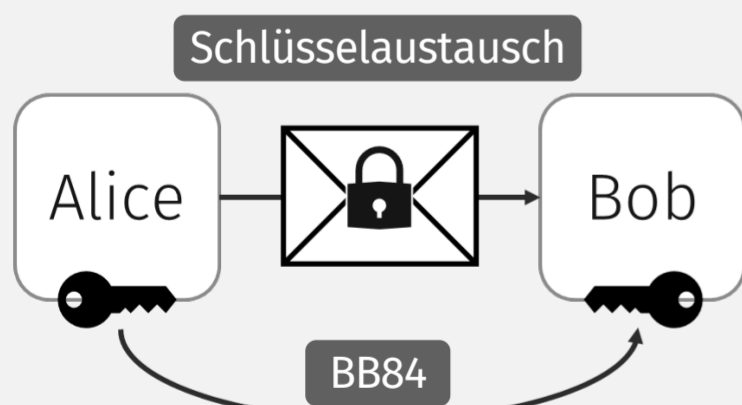
Ohne Welcher-Weg-Information



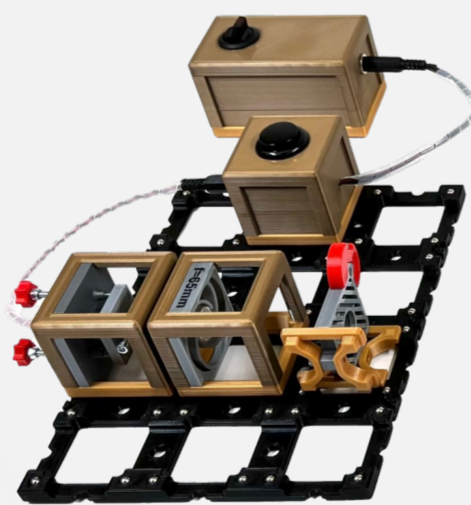
Mit Welcher-Weg-Information

Die in diesem Modellexperiment durch Manipulation von Polfiltern erzielbaren Ergebnisse entsprechen den Ergebnissen von realen Einzelphotonen-Experimenten.

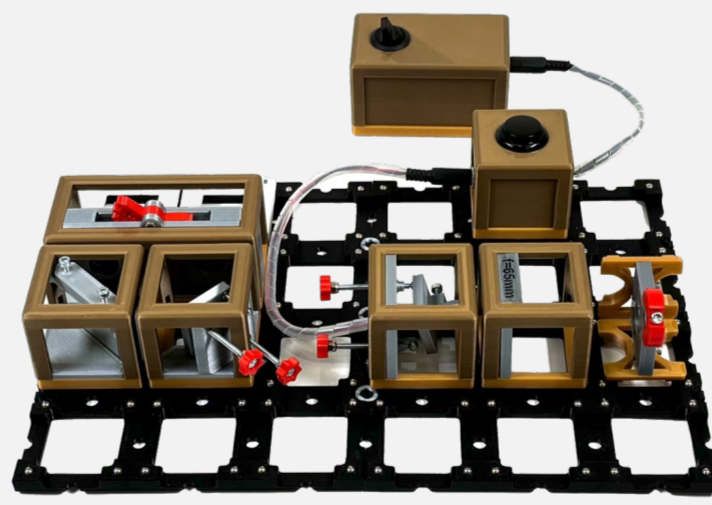
## BB84-Protokoll (Modellexperiment)



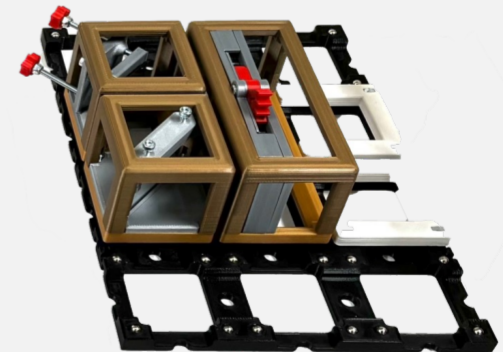
Die Erzeugung von Schlüsseln zwischen Alice und Bob kann im Modell simuliert werden. Der Einfluss einer „Abhöreinrichtung“ (Eve) kann ebenfalls untersucht werden.



Alice



Eve



Bob

Prof. Dr. Stefan Heusler\*  
Prof. Dr. Markus Gregor\*  
Dr. Alexander Pusch\*  
Nils Haverkamp\*

03Q.de

\* Institut für Didaktik der Physik  
Universität Münster

\* Fachbereich Physikingenieurwesen  
FH Münster

Haverkamp, Pusch, Heusler, Gregor (2022). A simple modular kit for various wave optic experiments using 3D printed cubes for education. Physics Education, 2022(57), 1–13. doi: 10.1088/1361-6552/ac4106.

Haverkamp, Pusch, Gregor, Heusler (2023). Low-Cost Schülerexperimente zur Wellenoptik. Ein modulares 3D-gedrucktes Experimentierset. Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht, 05, 413–420.

Heusler, Pusch, Haverkamp (2023). Quantenoptik mit modularen Schülerexperimenten. Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 34(198), 21–26.

