

## Verschränkung durch Polarisation [VerschränkungPol.ggb](#)

Polarisationsverschränkte Photonen gehen z.B. aus einer Calcium-Kaskade (im Modell „Q“) aus. Die Paare sind in einer Superposition der beiden Denkmöglichkeiten H und V und breiten sich von der Quelle aus nach links bzw. rechts aus. Die denkbaren Polarisationszustände werden im Modell dargestellt durch die beiden blauen bzw. grünen Linien an den Orten der Filter.

Man muss nun die Koinzidenzrate bestimmen. Das geschieht durch

$$\text{Koinzidenzrate} = \{(\text{PhotLH} \text{ UND } \text{PhotRH}) \text{ ODER } (\text{PhotLV} \text{ UND } \text{PhotRV})\}^2.$$

Man hat also das Produkt der zugehörigen Zeiger **zl** und **zr** zu bilden:

$$\text{pqtrans} = \{z1h * \mathbf{zl} * z2h * \mathbf{zr} + z1v * \mathbf{zl} * z2v * \mathbf{zr}\}^2$$

Zur Erläuterung der Zeiger- Multiplikation findet man Hilfe in [Pfadregel.doc](#)

Da ohne Beschränkung der Allgemeinheit die beiden Strecken Q – Filter gleich groß sind, kommt keine unterschiedliche Phase für die beiden Zeiger **zl** und **zr** ins Spiel. Deswegen kann man diese beiden Terme ausklammern und danach unbeachtet lassen.

Die Polarisation jedes der beiden Photonen wird in den Filtern auf deren Achsenrichtung projiziert.

Die entsprechend durchgeführte Konstruktion dient dabei nur der Bestimmung der Zeigerlänge. Das Ergebnis der Konstruktion ist selbst kein Zeiger!

Sie führt im Programm auf die Längen z1h, z2h, z1v und z2v. Darin steht der Index 1 für links, 2 für rechts.

Die zu erwartende Koinzidenzrate wird folglich durch den Term

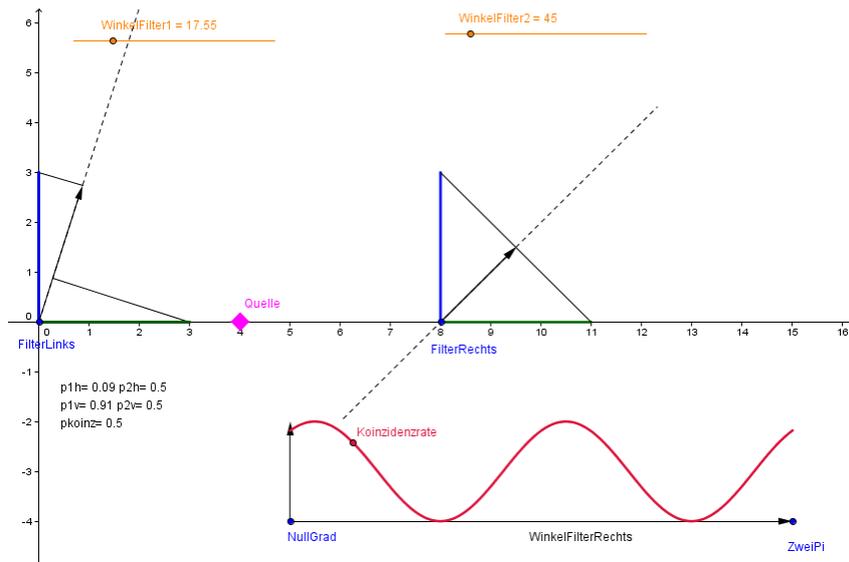
$$\text{pqtrans} = \{z1h * z2h + z1v * z2v\}^2$$

beschrieben.

- pqtrans = 0.79
- spr = 1.5
- z1h = 0.3
- z1v = 0.95
- z2h = 0.71
- z2v = 0.71

In der Modellation aufgetragen wird die Koinzidenzrate pqtrans über dem Winkel des rechten Filters.

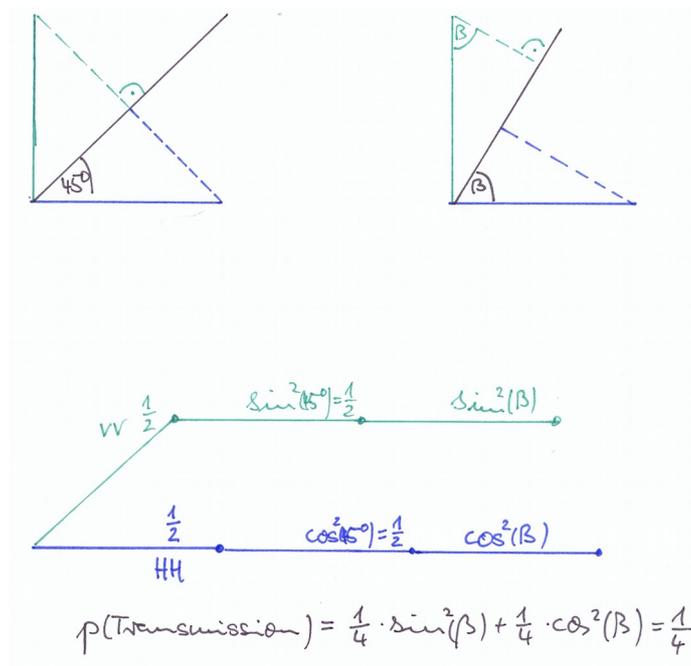
Das Ergebnis steht in völliger Übereinstimmung mit den Messdaten von Aspect u.a. (siehe unten).

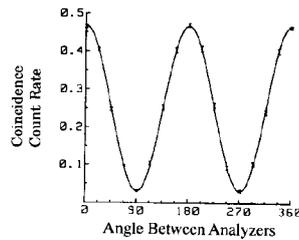


**In klassischem Verständnis würde man den Versuch durch ein Würfelexperiment modellieren.**

Diese Modellation wird besonders einfach, wenn man annimmt, dass das linke Filter auf 45° eingestellt ist und das rechte beliebig drehbar. Die zugehörigen Konstruktionszeichnungen stehen in der ersten Zeile der folgenden Abbildung. Daraus entnimmt man die Werte an den beiden Zweigen des Baumes, die zur Koinzidenz führen.

Man erkennt, dass bei der speziellen Einstellung des ersten Filters die Koinzidenzrate unabhängig vom Winkel am zweiten Filter ist und zwar konstant  $\frac{1}{4}$ . Das steht im Widerspruch zum Experiment.

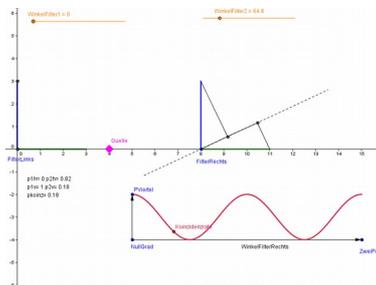




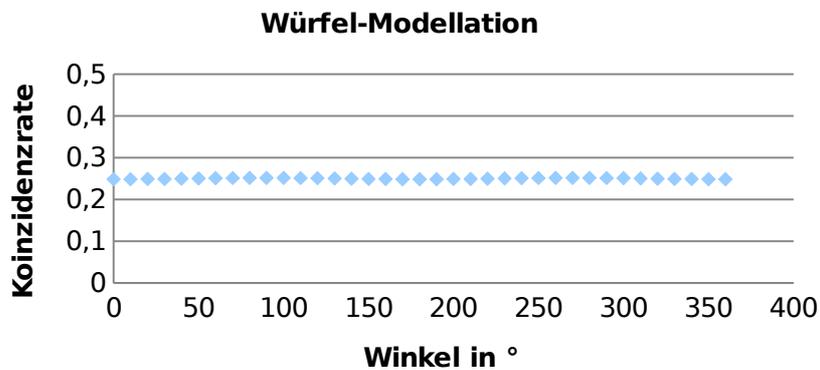
**Figure 6-7** Results of the First Aspect Experiment testing Bell's inequality. The curve drawn through the data points is not a best fit to the data, but a prediction of quantum theory. SOURCE: Modified with permission from A. Aspect, P. Grangier and G. Roger, "Experimental tests of realistic local theories via Bell's theorem," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 47 (7), p. 460 (1981), published by The American Physical Society.

Zitiert aus GREENSTEIN, ZAJONC: The Quantum Challenge. Hier wurde das linke Filter auf 0° gestellt!

Ein Ergebnis der einschlägigen Modellierung bei gleicher Einstellung zeigt diese Abbildung



Zum Vergleich wird eine Modellierung des Würfel-Vorgehens angegeben. Für die vereinbarte Einstellung erhält man vorhersagegemäß einen konstanten Verlauf: [VerschränkungPolWürfel.xlsx](#)



Für die Einstellungen im Experiment von Aspect ergibt sich - im Widerspruch zum Experiment:

### Würfel-Modellation

