

# Quantenradierer und 'verzögerte Wahl'-Experimente

Thomas Reichenbacher

Goethe-Universität Frankfurt

7. Juli 2001

# Der Doppelspaltversuch

- ▶ seit T. Young (1801) faszinierendes Experiment
- ▶ de Broglie (1924): auch mit massiven, ausgedehnten Teilchen möglich
- ▶ Versuche mit Elektronen (Möllenstedt/Düker 1956, Jönsson 1961), Atomen (He, Na), Molekülen (bis zu  $C_{60}F_{48}$ )
- ▶ Erklärungsversuche: Wellennatur des Lichts (nach Huygens)

# Welle-Teilchen-Dualismus und Unschärferelation

- ▶ Bohr: Quantenobjekte sind Welle *und* Teilchen; messbar sind aber gleichzeitig nur Observablen, die auf Teilchen *oder* Wellen hindeuten (Komplementaritätsprinzip)
- ▶ Müssen diese Observablen der Unschärferelation genügen, d.h.  $[A, B] \geq \frac{\hbar}{2}$ ? Nein, der Grund liegt in der Verschränkung (s. u.).
- ▶ Einstein: „Gott würfelt nicht“, „Gibt es den Mond nur, wenn man hinschaut?“

# Einsteins Gedankenexperiment 1

DISCUSSION WITH EINSTEIN ON EPISTEMOLOGICAL  
PROBLEMS IN ATOMIC PHYSICS

NIELS BOHR

Originally published in Albert Einstein: *Philosopher-Scientist*, P. A.  
Schilpp, ed., pp. 200-41 *The Library of Living Philosophers*,  
Evanston (1949).

Einsteins Einwand:  
Impulsmessung am Eintrittsschlitz  
erlaubt Weg für jedes Photon zu identifizieren

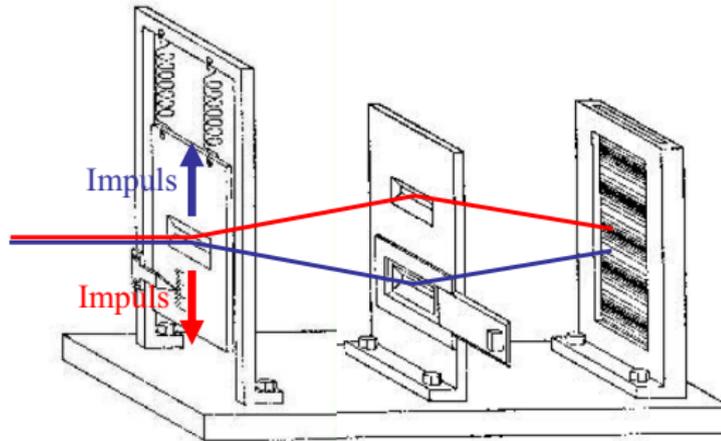


Fig. 5

Fig. 4

# Einsteins Gedankenexperiment 2

Bohrs Antwort:  
Für den Schlitz gilt die Unschärferelation  
Wenn man den Impuls des Schlitzes  
hinreichend genau festlegt, wird der Ort so  
unscharf, dass die beiden Schlitze nicht mehr  
kohärent beleuchtet werden

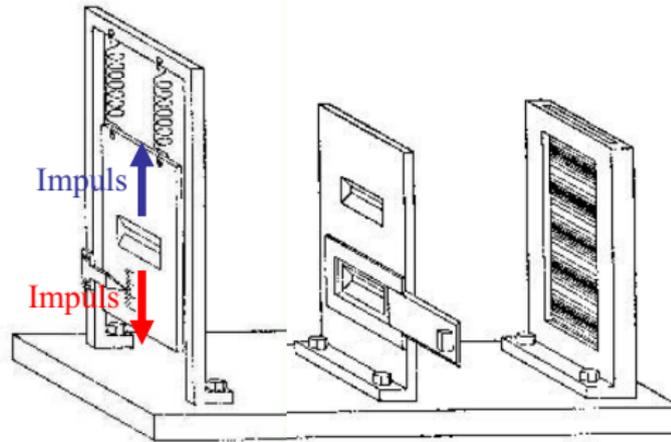


Fig. 5

Fig. 4

# Einsteins Gedankenexperiment 3

Bohrs Antwort:  
 Für den Schlitz gilt die Unschärferelation  
 Wenn man den Impuls des Schlitzes  
 hinreichend genau festlegt, wird der Ort so  
 unscharf, dass das Interferenz Muster um  
 ein halbes Maximum verschoben wird

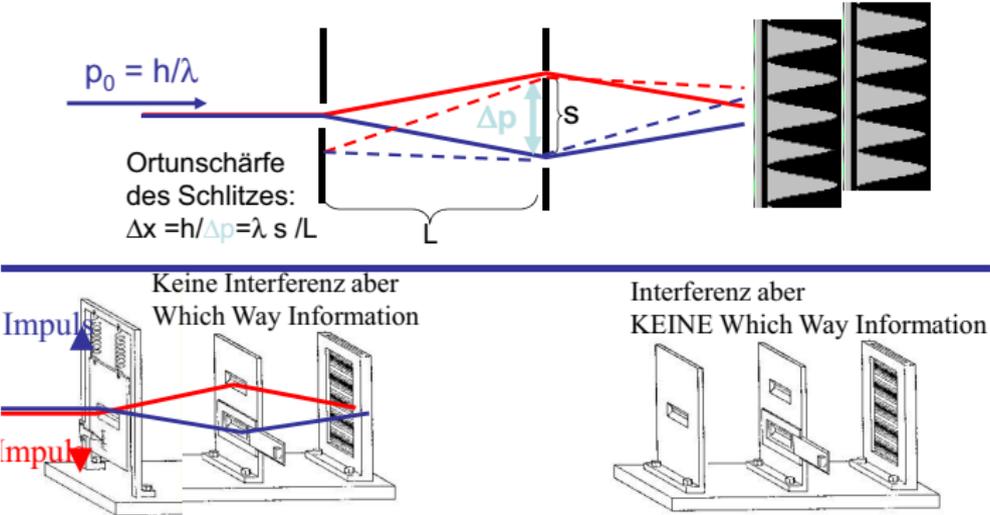


Abbildung: Vorlesung Atomphysik 1, T. Jahnke, SS 2010

# Welcher-Weg-Information

- ▶ durch Verdecken eines Spalts?
- ▶ durch Impulsübertrag auf Blende?
- ▶ geht auch störungsfrei: Scully/Drühl (1982) bzw. Scully/Englert/Walther (SEW, 1991)
- ▶ ist sogar rückgängig zu machen: **Quantenradierer**

# Scully/Drühl-Quantenradierer

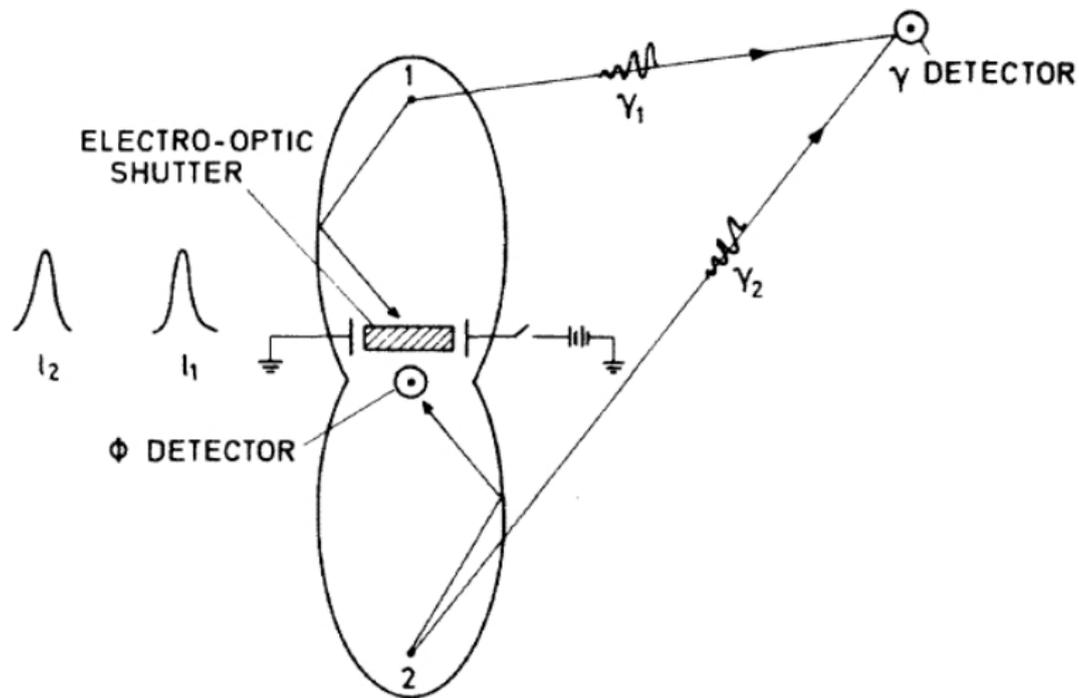


Abbildung: M. O. Scully, and K. Drühl, Phys. Rev. A (25) 2208 (1982)

# SEW-Quantenradierer (Theorie)

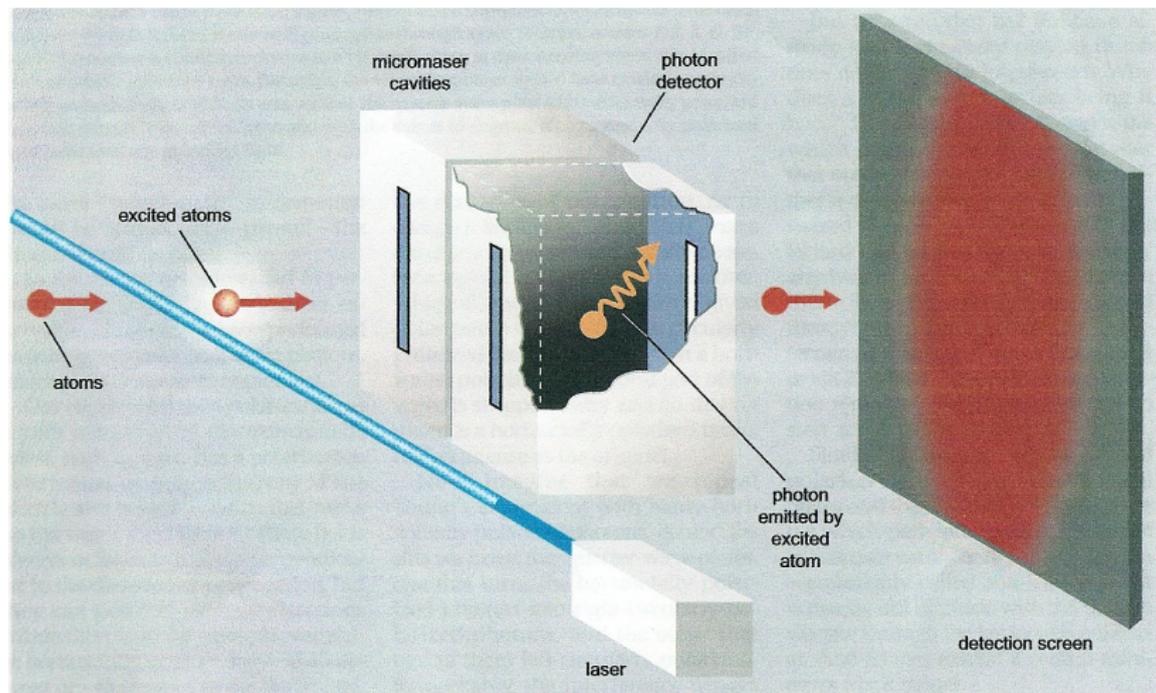


Abbildung: S. W. Walborn et al., American Scientist (91), 336–343 (2003)

# SEW-Quantenradierer (Experiment 1a)

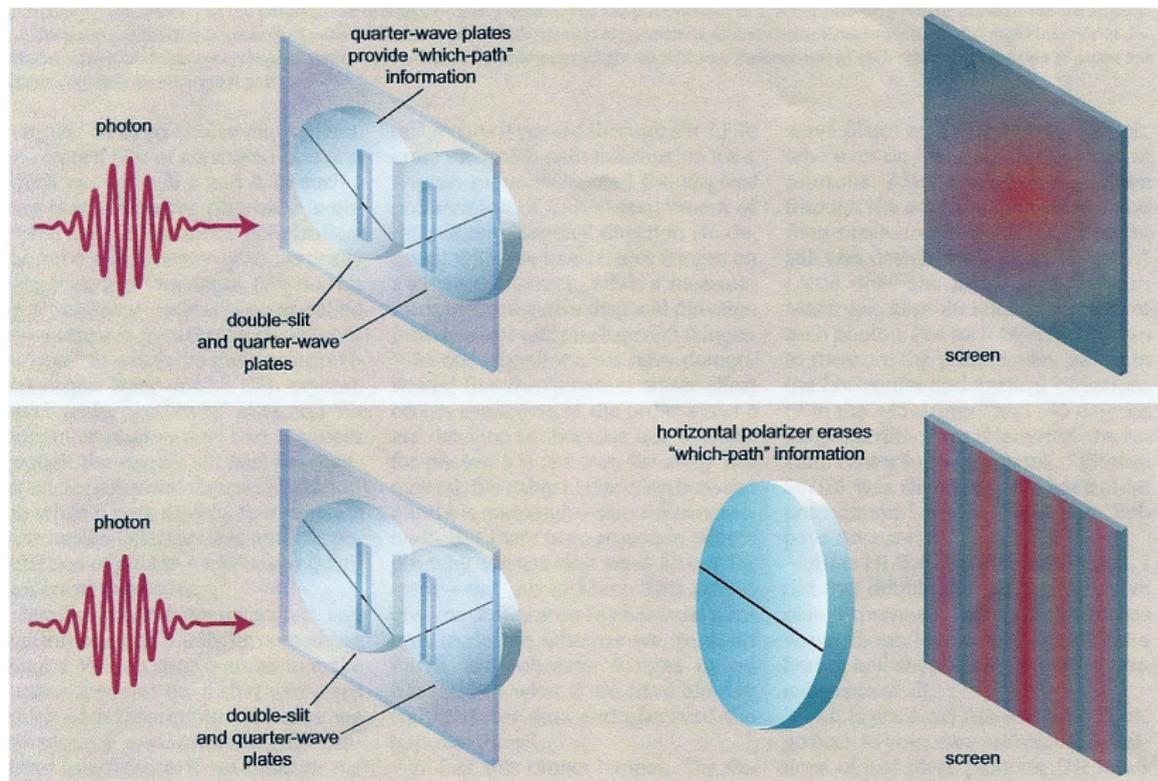


Abbildung: S. W. Walborn et al., American Scientist (91), 336–343 (2003)

## SEW-Quantenradierer (Experiment 1b)

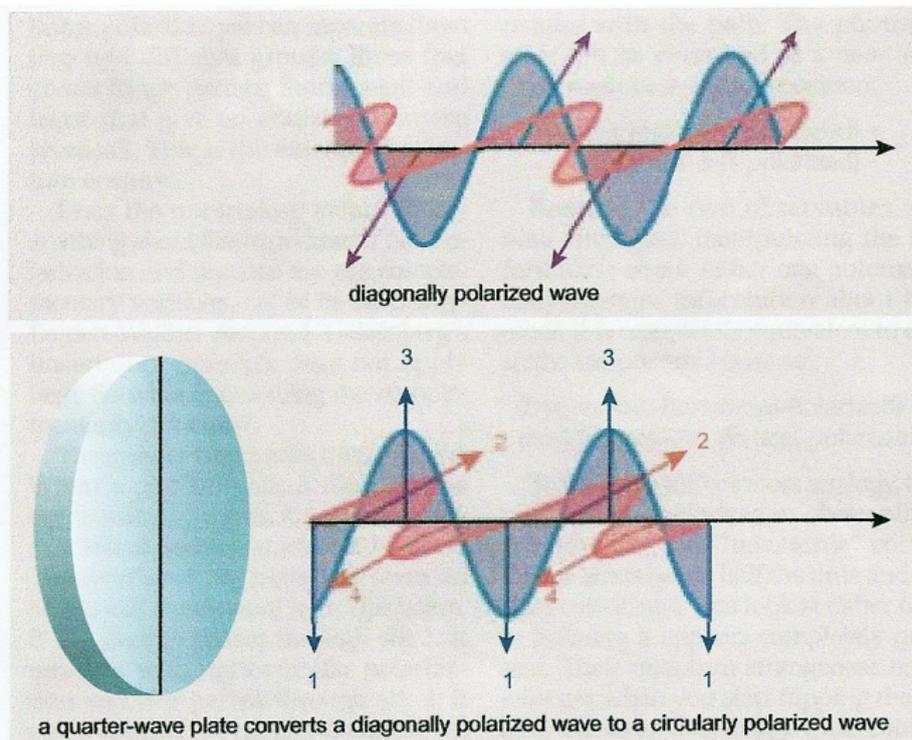


Abbildung: S. W. Walborn et al., American Scientist (91), 336–343 (2003)

# SEW-Quantenradierer (Experiment 1c)

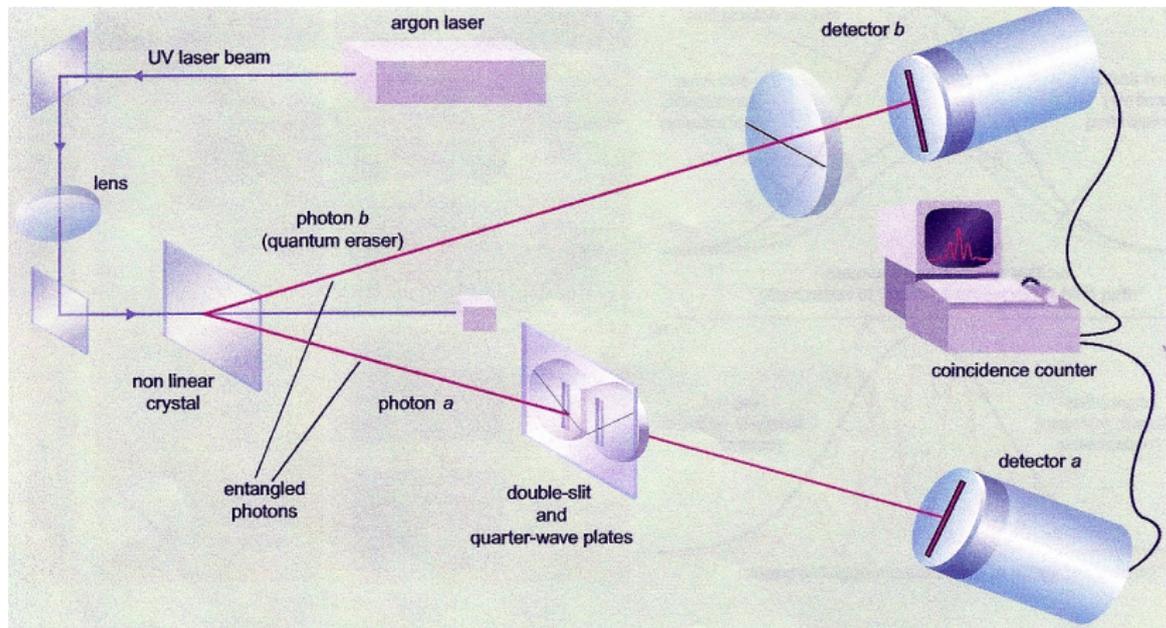


Abbildung: S. W. Walborn et al., American Scientist (91), 336–343 (2003)

# SEW-Quantenradierer (Experiment 1d)

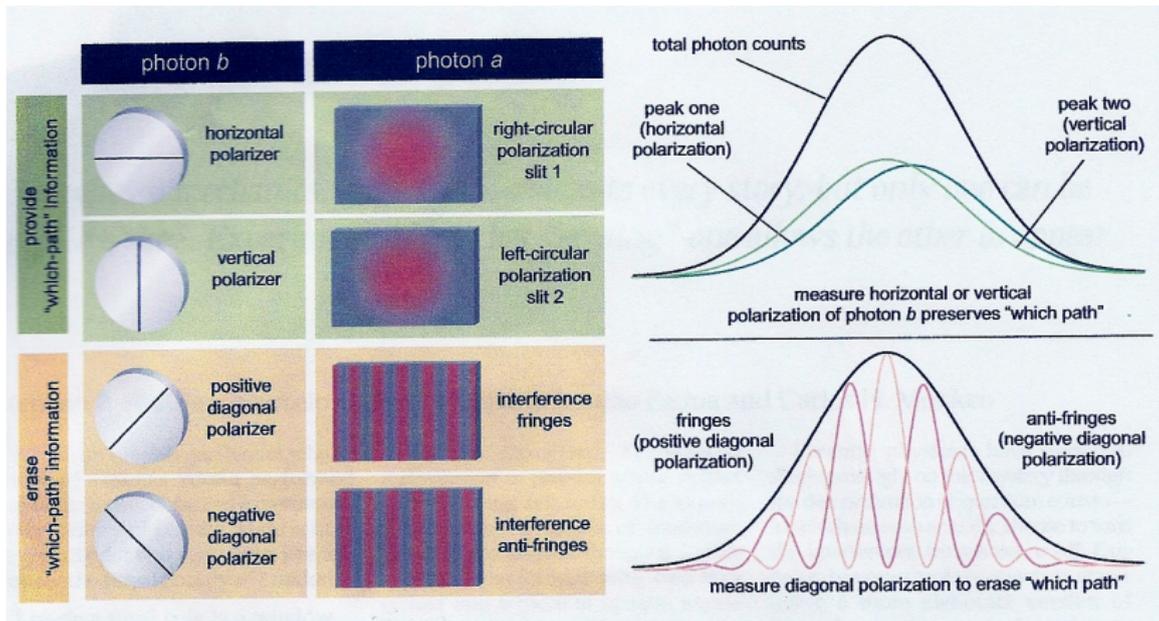


Abbildung: S. W. Walborn et al., American Scientist (91), 336–343 (2003)

## SEW-Quantenradierer (Experiment 2)

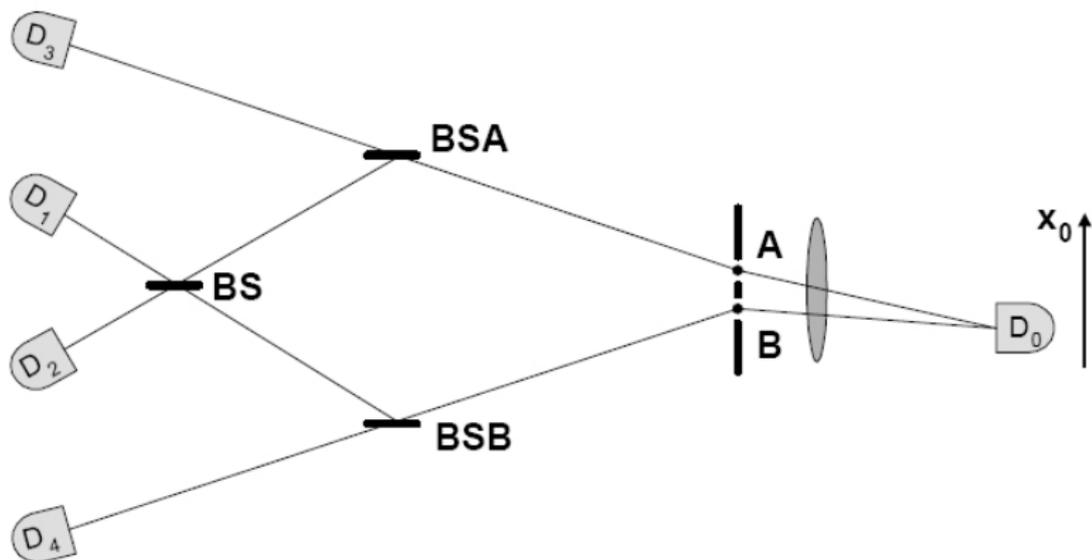


Abbildung: Y.-H. Kim et al., Phys. Rev. Lett. (84) 1 (2000)

# Komplementaritätsprinzip und Verschränkung

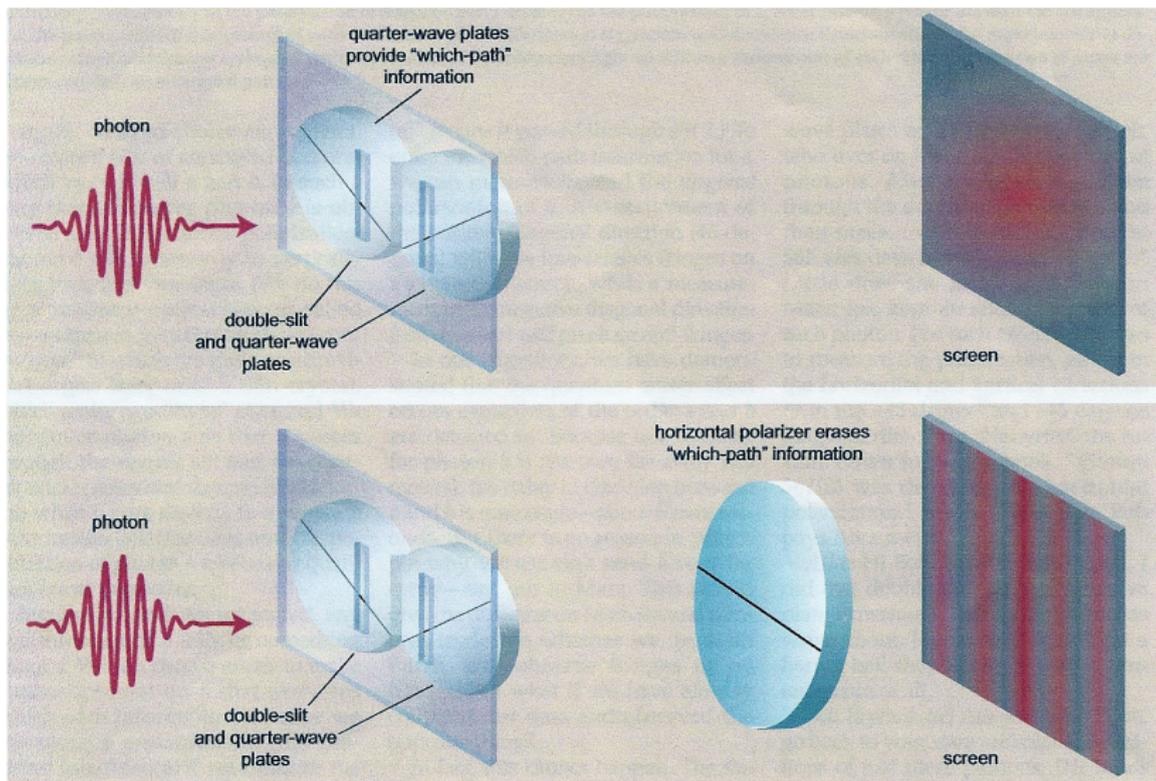


Abbildung: S. W. Walborn et al., American Scientist (91), 336–343 (2003)

# Zusammenfassung

- ▶ Interferenz am Doppelspalt, wenn welcher-Weg-Information unbekannt
- ▶ Quantenradierer können welcher-Weg-Information wieder auslöschen
- ▶ mit verzögerte Wahl-Experimenten lassen sich „seltsame Dinge anstellen“
- ▶ **aber:** man kann nicht die Vergangenheit ändern!
- ▶ Komplementaritätsprinzip hängt mit Verschränkung zusammen, nicht mit Unschärferelation
- ▶ Verschränkung ist Teil des Messprozesses
- ▶  $\Rightarrow$  Komplementaritätsprinzip ist grundlegend für QM (?)

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!