

Bauanleitung für einen Doppelspalt mit drehbaren Polarisationsfolien

- ➔ Dieser Versuch ist ein **Modellversuch** zur „Welcher-Weg-Information“ und zum „Quantenradierer“. Er ist nicht beweiskräftig für die Grundprinzipien der Quantenphysik! Er kann auch klassisch mit der Wellentheorie erklärt werden. Aber es ist ein realer Versuch, der genau diese Grundprinzipien („Wesenszüge“) eindrucksvoll zeigt. Mit Elektronen und Atomen wurden ähnliche Versuche in den letzten Jahren durchgeführt. Für die Schule sind derartige Experimente natürlich in keiner Weise realisierbar. Dennoch wurden von verschiedener Seite fachliche Einwände erhoben. Andererseits sind bereits mehrere Veröffentlichungen vor allem in Spektrum der Wissenschaft erschienen (02/2004 und 07/2007), die genau diesen Versuch mit Polarisationsfolien beschreiben. Verschiedene PC-Simulationen vor allem seitens der Uni München zeigen ebenfalls genau diesen Versuch, darüber hinaus auch unter Verwendung eines Interferometers anstelle des Doppelspalts (www.didaktik.physik.uni-muenchen.de)
- ➔ Im **Abitur 2007** in Baden-Württemberg (Nachtermin) ist der Versuch zum Doppelspalt mit drehbaren Polarisationsfolien enthalten. Es steht dabei dem Schüler frei, den Versuch mit den Wesenszügen der Quantenphysik zu erklären oder klassisch über Polarisation von Wellen.
- ➔ Im Heft Juli 2007 wird in „Spektrum der Wissenschaft“ ebenfalls ein Selbstbauversuch zum Quantenradierer vorgestellt

Inzwischen ist das Gerät auch käuflich zu erwerben. **Bezugsquelle:** <http://www.muero-fraeser.de/>
Suchwort „Quantenradierer“

Doch man kann auch mit etwas Geschick selbst einen Doppelspalt mit drehbaren Polfolien herstellen. Diese Bauanleitung ist nach einigen Fehlversuchen entstanden in der Absicht, anderen Kollegen, die sich daran versuchen wollen, mühsames Herumprobieren zu ersparen. Andererseits erhebt diese Anleitung keinesfalls den Anspruch die einzige sinnvolle Möglichkeit zu sein, doch sie funktioniert!

1. Schritt: wir brauchen eine **Montageplatte**. Ich verwende den Deckel der Hülle einer Videokassette. In der Mitte wird ein Loch von 5-10mm Durchmesser gebohrt. Darüber wird später der Doppelspalt geklebt.
2. Schritt: Der **Doppelspalt** wird aus den beiden Hälften einer Rasierklinge gefertigt. Man schneidet mit einer Küchenschere die Klinge in der Mitte auseinander. (Es mag anfangs etwas Überwindung kosten, Metall zu schneiden, es geht aber ohne Probleme). Man sollte darauf achten sich mit den Rasierklingen nicht zu schneiden! Für den Mittelsteg kann man undurchsichtiges Plastikmaterial aus dem Büro verwenden (z.B. Heftstreifen). Man schneidet einen etwa 2mm breiten Streifen ab. Natürlich kann man auch hier Metall von einer Rasierklinge verwenden, aber es ist mühsam einen so schmalen gleichbreiten Streifen Metall zu schneiden.
3. Schritt: Zunächst befestigt man mit Tesafilm den **Mittelsteg** mittig über dem gebohrten Loch. Dann setzt man links und rechts die Spaltbacken unter Durchsicht-Kontrolle gegen einen weißen Hintergrund an, und befestigt sie ebenfalls mit Tesafilm.
4. Die **Spaltbreite** sollte kleiner sein als der Spaltabstand; etwa 0,5-1mm per Augenmaß. Zu enge Spaltbreiten haben ein lichtschwaches Beugungsbild zur Folge.



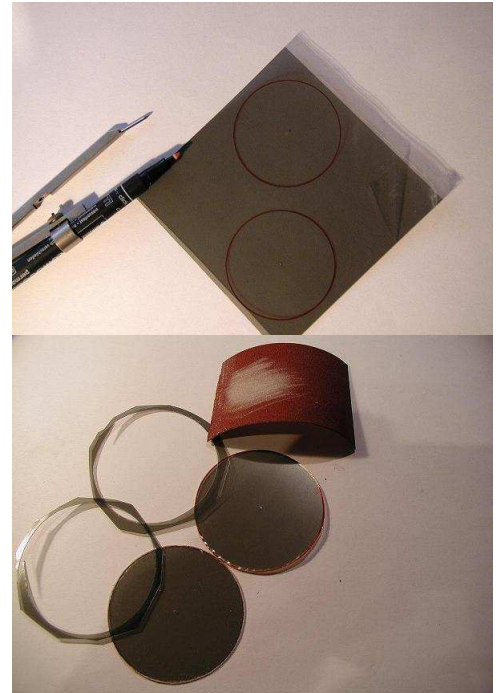
5. Bevor man die Polfolien anbringt, sollte man den Doppelspalt mit einem Laser **testen** (vgl. Seite3)

6. Die **Polarisationsfolien** schneidet an am besten mit einer gebogenen Nagelschere aus. Durchmesser der beiden Scheiben 5cm. Man zeichnet den Umriss mit einem Zirkel. Der Mittelpunkt und der geschnittene Rand müssen so genau wie irgend möglich sein.

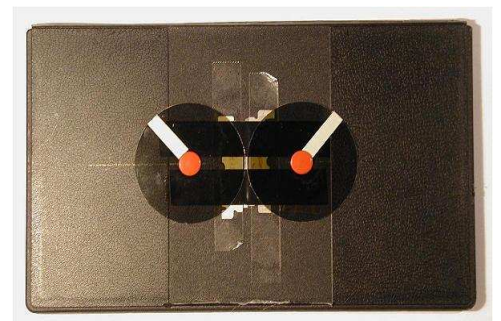
Polarisationsfolien gibt es z.B. in den Abmessungen 10cm*10cm für 4,00 € das Stück bei Wenger-Lehrmittl, Tel. 0771-3914, Fax 0771-3918 oder im Internet unter www.wenger-lehrmittel.de.

Die Polfolien sind beiderseits mit einer Schutzfolie versehen, die man erst nach dem Ausschneiden entfernt. Kleinere Ecken oder Kanten lassen sich mit feinem Schleifpapier glätten.

Um eine einheitliche **Polarisationsrichtung** zu markieren (Klebestreifen) legt man die ausgeschnittenen runden Folien auf eine andere Polfolie, eventuell einen Rest. (Durchsicht; z.B. auf dem Tageslichtprojektor). Man kann dazu auch eine Polarisationsfolie aus der Physik-Sammlung verwenden (Meist montiert auf Haltestiel)



7. Die Polfolien werden danach exakt auf die Montageplatte gelegt und mit einer Pinnadel (oder Reissnagel) drehbar befestigt. Den Pin- oder Reißnagel einfach mit Kraft durchdrücken. Er sollte stramm sitzen und nicht von selbst herausfallen.

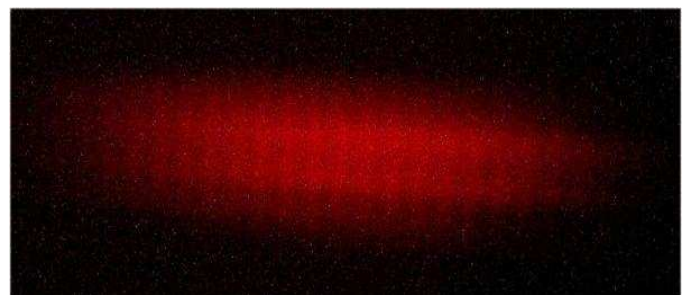
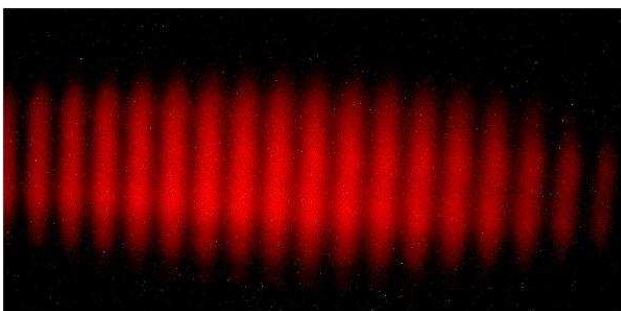


Versuchsergebnisse, die mit der hier dargestellten Anordnung erzielt wurden.

Der hier verwendete rote Laser (billiger Laserpointer) sendet vertikal polarisiertes Licht aus. Der Laser bzw. Laserpointer muss etwa 2m vom Doppelspalt entfernt sein, um beide Spaltöffnungen noch auszuleuchten (ohne Strahlaufweitung durch eine Linse)

Volle Interferenz (Folien parallel)

Keine Interferenz (Folien 90^0 gegeneinander)



Einige Hinweise zur Justierung und zum möglichen Einsatz im Unterricht

- Der Laser muss **linear polarisiertes Licht** aussenden- rote Laserpointer tun dies nach meiner Erfahrung in der Regel. (Andernfalls muss man vor dem Strahlaustritt ein kleines Stück Polfolie anbringen; bei grünen Laserpointern muss ggf. ein kleines Stück Polfolie vor die Austrittsöffnung des Strahls geklebt werden)
- Wenn man den Versuch ohne Linse zur Strahlaufweitung ausführen will, dann muss der **Laser einige Meter vom Doppelspalt entfernt** stehen, sodass der Strahl (aufgrund der leichten Divergenz) gerade breit genug ist, um beide Spaltöffnungen zu beleuchten.
- **Test:** man hält relativ dicht hinter die Spaltöffnungen ein Blatt weißes Papier. Bei richtiger Justierung sieht man die beiden Strahlbündel, die noch nicht überlappen und infolgedessen auch noch nicht interferieren. Vergrößert man die Distanz von Papier und Spalt kommt es ab ein bis zwei Metern Abstand zur Überlappung und zur Interferenz.

Die gegenseitigen Abstände Δx der Maximae aufgrund der Doppelspaltinterferenz sind sehr klein und nur im Bereich eines Millimeters

$$\Delta x = \frac{L \cdot \lambda}{d} \quad ; \quad \lambda = 650 \text{ nm} \quad ; \quad d: \text{ Spaltmitten-Abstand; } L: \text{ Abstand Spalt-Schirm}$$

Die folgende Tabelle soll einen Einblick in die zu erwartenden Abstände benachbarter Doppelspalt-Maximae geben. (oft als „riffles“ bezeichnet)

Abstand der Spaltmitten	Abstand: Spalt-Schirm	Δx (gerundet)
1mm	1m	0,7mm
1mm	2m	1,3mm
1mm	3m	2mm
2mm	1m	0,3mm
2mm	2m	0,7mm
2mm	3m	1mm

Man sieht, dass die „riffles“ der Doppelspaltinterferenz sehr eng liegen; das ist wichtig zu wissen, denn man sieht zusätzlich die Einzelspaltbeugung, deren Interferenzbild weit breiter ist. Durch die Polfilter lässt sich aber nur die Doppelspaltinterferenz „zerstören“, die Einzelspaltinterferenz bleibt!

... und zum möglichen Einsatz im Unterricht

Versuch 1) Selbstgebauter Doppelspalt zunächst ohne Polfolien

Nur eine Spaltöffnung beleuchten; Beugungsbild beobachten und beschreiben

Nun beide Spaltöffnungen beleuchten; mit dem weißen Papier (siehe oben) zeigen, dass erst bei Überlappung der Strahlbündel plötzlich „Riffles“ im Maximum null erschienen. Ist das die Doppelspaltinterferenz? Abschätzung durch Rechnung; Abstand der Spaltmitten dazu grob messen

Versuch 2) Mit Polfolien (Laser sendet vertikal polarisiertes Licht)

Polfolien parallel: Riffles bleiben sichtbar

Jetzt beide Polfolien um jeweils 45° aus der Vertikalen wegdrehen; Riffles sind verschwunden.

Klassische Deutung: zueinander vertikal polarisierte Wellen können nicht interferieren

Quantenmechanisch: Durch die Polfolien wurde eine welche Weg-Information in den Photonen kodiert (Verschränkung Spalt-Polarisation). Daraus folgt, dass nun keine Interferenz mehr stattfinden kann. (umgekehrte Schlussrichtung nicht zulässig!)

Versuch 3) Dritte Polfolie vor dem Schirm (vertikal); Riffles erscheinen wieder schwach sichtbar.

Klassische Deutung: die 3. Folie lässt nur die vertikalen Komponenten durch; diese können nun wieder interferieren

quantenmechanisch: die 3. Folie (der Radierer) lässt nur alle vertikal polarisierten Photonen durch, die horizontalen werden weggefiltert. Die Photonen hinter dem „Radierer“ bauen ein Interferenzmuster auf, da (für dieses Ensemble) keine WW- Information vorhanden ist. Der Quantenradierer ist also eine Art Filter.