

Akusto- optischer Modulator

[AkustoOptischerModulator.ggb](#)

Der Modulation liegt der DEBYE- SEARS- Effekt zugrunde. Licht wird an einer Ultraschall- Welle in einer Flüssigkeit oder einem Festkörper gebeugt, wenn es die zugehörige Zelle orthogonal zur Ausbreitungsrichtung durchquert.

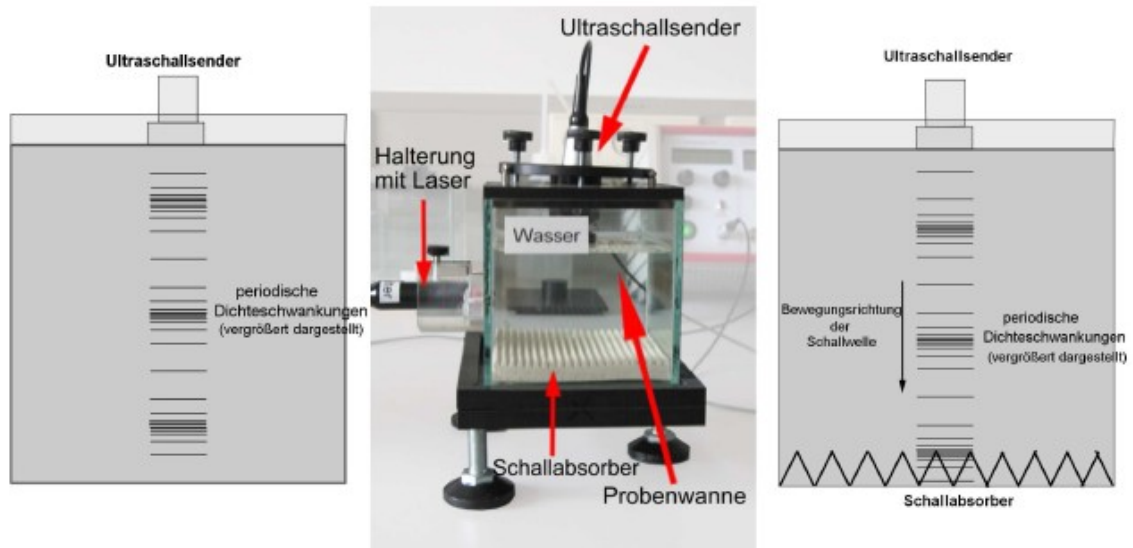


Abbildung 23: Probenwanne mit Schallabsorber

Quelle: Licht und Laser. Eine Versuchsreihe für die Oberstufe. LightSchools, ILP Uni Hamburg, 2012, S. 26.

Im Experiment tritt neben der Ausbildung eines Interferenzmusters eine Veränderung der Wellenlänge des Lichtes auf.

Diese Veränderung der Wellenlänge basiert auf dem DOPPLEREffekt. Für Licht wird dieser

beschrieben durch
$$f_R = f_0 \cdot \frac{\sqrt{1 - \beta^2}}{1 + \beta \cdot \cos \vartheta} \quad \text{mit} \quad \beta = \frac{v}{c} .$$

Wegen $f = \frac{c}{\lambda}$ und $v \ll c$ ist diese Gleichung gleichwertig zu

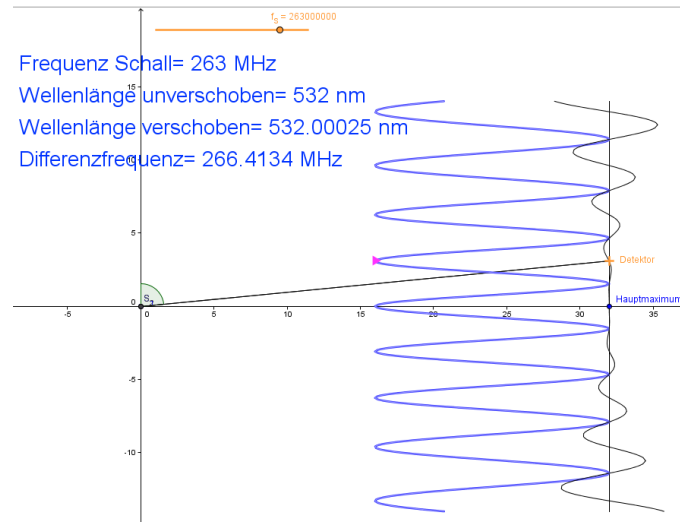
$$\lambda_R = \lambda_0 \cdot (1 + \beta \cdot \cos \vartheta) .$$

Die postulierte Wellenlängenänderung lässt sich also unter der Annahme verstehen, dass zunächst Beugung auftritt und in Folge der dadurch bewirkten Abweichung von der geradlinigen Ausbreitung eine richtungsabhängige Wellenlängenveränderung anzunehmen ist.

Eine **Modellation** kann sich auf einen Doppelspalt beschränken. Dessen Spaltweite ist die Wellenlänge der Ultraschallwelle, denn die Druckminima sind die lichtdurchlässigen Orte in der Ultraschallwelle. Dieser Doppelspalt liegt am Ort (0,0) in der Zeichenfläche. Wegen des sehr geringen Spaltabstandes sieht man dort nur einen Punkt.

In der Modellation wird angenommen, dass der Schall parallel zur Ebene, in der der Detektor verschoben werden kann, von oben nach unten verläuft.

[AkustoOptischerModulator.ggb](#)



Beispiel für eine Schallfrequenz $f_s = 263,000$ MHz. Diese wurde am Schieberegler am oberen Bildrand eingestellt. Der Detektor steht im Moment annähernd im ersten Maximum. Man erkennt, dass die verschobene Wellenlänge etwa größer als die angenommene Wellenlänge des Lichtes von $\lambda_0 = 532$ nm ist. Es würde sich eine Schwebungsfrequenz von $f = 266$ MHz ergeben. An der Wellenlängenvergrößerung kann man erkennen, dass der Schall von oben nach unten verläuft, also am eingestellten Beobachtungsort den Photonen entgegen läuft.

Für die beiden Pfade zu dem verschiebbar gedachten Detektor am rechten Bildrand wird in der Modellation zunächst der Winkel ϑ bestimmt und daraus die Zeigerstellung gemäß

$$z = \exp(-i \cdot 2\pi \cdot \text{Pfadlänge} / \text{Lamda}(\vartheta))$$

ermittelt.

(Im Konstruktionsprotokoll heißen die beiden Zeiger z_{10} und z_{20} , die Wellenlänge $\text{Lamda}(\vartheta)$ wird dort Lamda_R genannt).

Das Quadrat der Zeigersumme für die Superposition der beiden möglichen Pfade wird über der Beobachtungsebene als blaue Linie aufgetragen.

Zum Vergleich wird eine ebensolche Modellation für einen Doppelspalt gleichen Spaltabstandes durchgeführt, jetzt aber ohne den quer dazu laufenden Schall, die beiden Zeiger heißen z_1 und z_2 .

Man erkennt ohne Hilfsmittel nicht, dass die beiden Intensitätskurven sich unterscheiden würden.

Darum wird in einer Anzeige für jeden Ort des Detektors die dort beobachtbare, verschobene Wellenlänge angezeigt.

In einem **Experiment** könnte man die Wellenlängenverschiebung z.B. dadurch nachweisen, dass man das Licht aus dem Hauptmaximum über zwei Spiegel mit dem aus einem der Maxima in einem Fotodetektor überlagert, mit einem Oszilloskop die gemessene Intensität über der Zeit anzeigt und so die Schwebungsfrequenz misst.

Darum wird die Schwebungsfrequenz ebenfalls groß angezeigt.

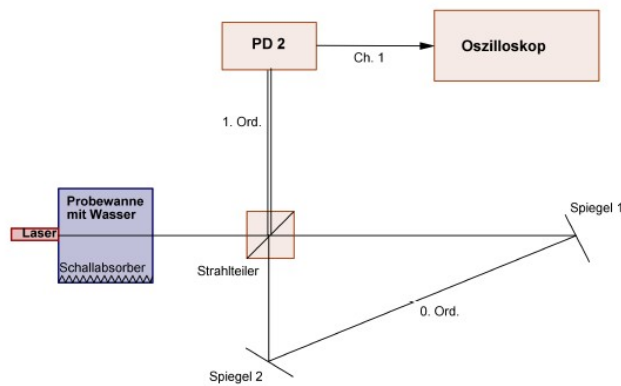


Abbildung 28: Aufbau zur Bestimmung der Frequenzverschiebung des Lichtes.

Quelle: Licht und Laser. Eine Versuchsreihe für die Oberstufe. LightSchools, ILP Uni Hamburg, 2012, S. 34.

Dieses **Messverfahren** kann man verstehen, wenn man beachtet, dass in Richtung $\vartheta = 90^\circ$ keine Wellenlängenveränderung auftritt, dass also im Hauptmaximum nur Licht der ursprünglichen Wellenlänge auftritt. Mit der gelegentlich benutzten Deutung der zufälligen Aufnahme eines oder mehrerer Phononen durch die Photonen ist dies nicht verträglich; dann müssten auch im Hauptmaximum alle Wellenlängen auftreten, weil ja die Interferenz in jedem Fall und unabhängig von der Wellenlänge dort konstruktiv ist.

Man kann **im Modell erkunden**, dass die Frequenzänderung annähernd einer Gleichung der Form

$$f_n = f_0 + n \cdot f_S$$

genügt, wo f_S die Frequenz des Ultraschalls ist, wenn man durch Anfassen des Detektors mit der Maus nacheinander die Maxima mit den Nummern $n = \dots -2; -1; 0; 1; 2 \dots$ auswählt.

Dieses Erkundungsergebnis rechtfertigt aber nicht den Schluss, dass die Photonen Energie aus dem Ultraschall in irgend einer Form quantisiert aufnehmen, denn die Messung stützt sich nur auf die Maxima. Für alle anderen Orte existiert ja eine kontinuierlich veränderliche Wellenlängenverschiebung.