Physik Q11		
Licht als Welle	Teil 1	22-26. Juni

Licht als elektromagnetische Welle

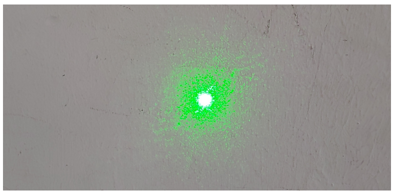
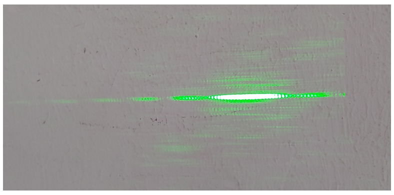
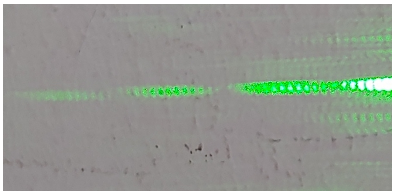
Manche Eigenschaften elektromagnetischer Wellen kennen wir von mechanischen Wellen (z.B: Beugung, Interferenzmuster hinter einem Doppelspalt), andere sind dagegen aus der Optik, also der Ausbreitung von Lichtstrahlen bekannt (z.B. Brechung, Reflexion).

Daraus ergibt sich die Frage, ob sich diese beiden Sichtweisen nicht vereinheitlichen lassen. Hat Licht vielleicht auch Eigenschaften von Wellen? Kann Licht hinter einem Doppelspalt vielleicht auch ein Interferenzmuster zeigen? Kann Licht an einer Kante „herumgebeugt“ werden?

Aus Alltagsbeobachtungen kennt man diese Eigenschaft von Licht wahrscheinlich nicht. Wenn das Licht einer Taschenlampe durch zwei parallel Spalte leuchtet, dann wird es zwar in seiner Intensität gedämpft, es gibt hinter dem Doppelspalt aber keine Stellen, an denen es völlig dunkel ist (Interferenzminimum) und daneben wieder hell wird (Interferenzmaximum).

An der Kante einer Türe wird das Licht auch nicht gebeugt. Sonst könnte man ja „um die Ecke schauen“.

Unter bestimmten Voraussetzungen kann Licht aber tatsächlich Welleneigenschaften zeigen. Wenn man vor einen einfarbigen Laserstrahl einen schmalen Doppelspalt stellt, dann erkennt man auf der Wand, dass aus dem punktförmigen Lichtfleck ein schmaler Strich geworden ist. Das Licht des Lasers wurde also am Spalt gebeugt. Man sieht auch, dass das Licht an manchen Stellen heller, an anderen Stellen schwächer ist.

		
Lichtfleck des direkten Laserstrahls auf der Wand.	Bild des Lasers hinter einem schmalen Doppelspalt. Es gibt Stellen, an denen Licht auf die Wand trifft und daneben Bereiche, in denen es dunkel ist.	Vergrößerter Ausschnitt des mittleren Bildes. In den grünen Bereichen sieht man weitere Helligkeitsunterschiede.

Diese Beobachtungen lassen die Vermutung zu, dass sich Licht (unter bestimmten Voraussetzungen) wie eine Welle verhält.

Warum kann man diese Beobachtung nur mit Laserlicht aber nicht mit „normalem“ Licht machen?

Aus der Unterstufe wissen wir, dass weißes Licht sich aus allen möglichen Farben des Spektrums zusammensetzt. Dabei hat Licht je nach Farbe eine andere Wellenlänge. Diese Wellenlänge reicht von 390 nm bei violettem Licht bis zu 780 nm bei rotem Licht (siehe Buch S. 168).

Trifft nun weißes Licht auf einen Doppelspalt, dann gehen von den beiden Spalten zwar Elementarwellen aus, die sich hinter dem Spalt wieder überlagern. Diese Elementarwellen haben aber alle völlig verschiedene Wellenlängen. An keiner Stelle hinter dem Spalt kann es dann dazu kommen, dass sich alle verschiedenen Wellen immer gegenseitig auslöschen oder verstärken. Es kann also kein Interferenzmuster auftreten. Auch bei Wasserwellen treten stabile Interferenzmuster nur dann auf, wenn die sich überlagernden Einzelwellen die gleiche Wellenlänge haben.

Außerdem sind die einzelnen Wellenzüge, die bei Licht von einer Glühlampe ausgesandt werden, sehr kurz und haben völlig zufällige Phasenlagen. Nur mit Wellenzügen mit gleicher Frequenz (bzw.

Wellenlänge) und fester Phasenlage können Interferenzmuster auftreten. Solche Wellenzüge heißen **kohärent** (vergleiche Buch S. 169).

Lage der Maxima bzw. Minima bei einem Doppelspalt

Eine Welle mit ebenen Wellenfronten trifft von links auf einen Doppelspalt. Der Abstand der beiden Spalte ist b. Von jedem der beiden Spalte geht eine Elementarwelle aus. Wir untersuchen, welche Bedingung erfüllt sein muss, damit im Punkt S hinter dem Doppelspalt ein Maximum bzw. ein Minimum im Interferenzbild auftritt.

Die vom oberen Spalt ausgehende Elementarwelle muss bis zum Punkt S die Strecke s_1 zurücklegen, die untere Elementarwelle dagegen die Strecke s_2. Zwischen den beiden Elementarwellen besteht deshalb ein **Gangunterschied** $\Delta s = s_2 - s_1$, wenn sie in S ankommen.

Damit im Punkt S ein Minimum auftritt, müssen sich die beiden Elementarwellen vollständig gegenseitig auslöschen. Dazu muss Wellenberg der einen Elementarwelle auf Wellental der anderen Elementarwelle treffen. Dies ist dann der Fall, wenn der Gangunterschied zwischen beiden Wellen $\frac{\lambda}{2}$, $\frac{3\lambda}{2}$, $\frac{5\lambda}{2}$, $\frac{7\lambda}{2}$ usw. beträgt.

Im Punkt S tritt ein Maximum auf, wenn sich die beiden Elementarwellen optimal verstärken, wenn also Wellenberg auf Wellenberg bzw. Wellental auf Wellental trifft. Der Gangunterschied muss dann 0, λ, 2λ, 3λ, 4λ usw. betragen.

<u>destruktive</u> Interferenz (Minima)

$\Delta s = (2k+1)\cdot\frac{\lambda}{2}; \quad (k = 0;1;2;3;\ldots)$

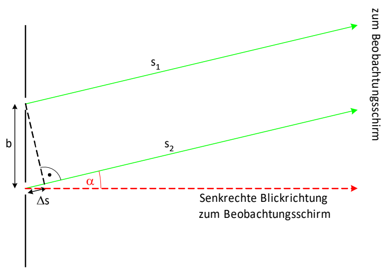
<u>konstruktive</u> Interferenz (Maxima)

$\Delta s = k\cdot\lambda; \quad (k = 0;1;2;3;\ldots)$

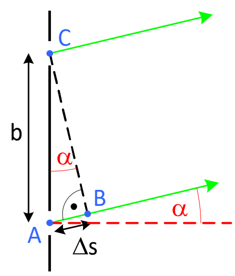
Diese Bedingungen für Minima und Maxima gelten allgemein für alle Wellen.

Führt man den Versuch mit Licht durch, dann ist die Entfernung zum Bildschirm (in der Regel einige Dezimeter) im Vergleich zum Abstand der beiden Spalte (weniger als 1 mm) sehr groß. Die Strecken s_1 und s_2 verlaufen daher nahezu parallel.

In diesem Fall kann man den Gangunterschied Δs durch den Winkel α und den Spaltabstand b ausrechnen.



Das Dreieck ABC hat bei C einen rechten Winkel, b ist die Hypotenuse und Δs die Gegenkathete des Winkels α. Dieser Winkel ist genauso groß wie der Winkel zwischen der senkrechten Richtung zum Beobachtungsschirm und der Richtung zum Punkt S auf dem Schirm.



$$\sin\alpha = \frac{\text{Gegenkathete von } \alpha}{\text{Hypotenuse}} = \frac{\Delta s}{b}$$

$$\Rightarrow \quad \Delta s = b\cdot\sin\alpha$$

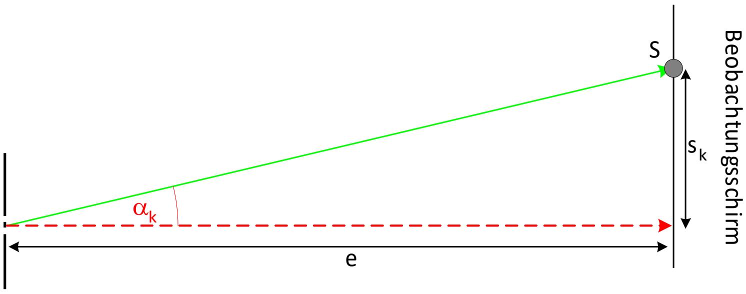
Ein *Maximum* tritt für $\Delta s = k\cdot\lambda$ auf, also für $b\cdot\sin\alpha = k\cdot\lambda$ bzw.

$$\boxed{\sin\alpha_k = \frac{k\cdot\lambda}{b}; \quad k = 0;1;2;3;\ldots}$$

Ein *Minimum* entsteht für $\Delta s = (2k+1) \cdot \frac{\lambda}{2}$ auf, also für $b \cdot \sin\alpha = (2k+1) \cdot \frac{\lambda}{2}$ bzw.

$$\sin\alpha_k = \frac{(2k+1) \cdot \lambda}{2b}; \quad k = 0; 1; 2; 3; \ldots$$

Auf dem Beobachtungsschirm entsteht ein Maximum im Punkt S, der den Abstand s_k von der senkrechten Auftreffrichtung hat.



Für das große Dreieck gilt dann:

$$\tan\alpha_k = \frac{\text{Gegenkathete von } \alpha_k}{\text{Ankathete von } \alpha_k} = \frac{s_k}{e}$$

Der Abstand e zwischen Spalt und Bildschirm ist sehr viel größer als s_k, die Winkel α_k sind daher alle sehr klein. In diesem Fall ist $\tan\alpha_k \approx \sin\alpha_k$.

Daher gilt für die auftretenden Maxima: $\boxed{\sin\alpha_k = \frac{k \cdot \lambda}{b} = \frac{s_k}{e}; \quad (k = 0; 1; 2; 3; \ldots)}$