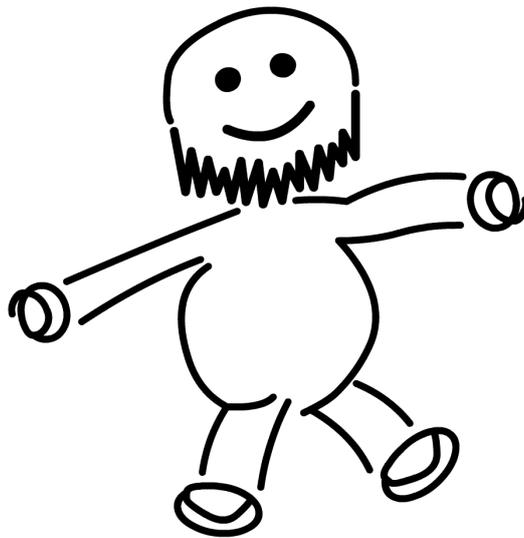


Demonstrationspraktikum für Lehramtskandidaten

Versuch O1

Beugung am Spalt und Gitter

Sommersemester 2006



Name:	Daniel Scholz
Mitarbeiter:	Steffen Ravekes
E-Mail:	daniel@mehr-davon.de
Gruppe:	4
Durchgeführt am:	23. Mai 2006
Protokoll abgeben:	30. Mai 2006
Protokoll verbessert:	–

Testiert: _____

1 Einleitung

In diesem Versuch soll der Wellencharakter von Licht beobachtet und diskutiert werden. Die Grundlage zur allen Effekten wie zum Beispiel Beugung wird das Huygensche Prinzip sein, welches für Schüler leicht verständlich und anschaulich ist.

Ziel wird es auch sein die Wellenlänge des Lichtes zu bestimmen. Mit einer Quecksilberdampfampe können anschließend sogar differenzierte Aussage über verschiedene Farben getroffen werden.

2 Theorie

2.1 Das Huygensche Prinzip

Das Huygenssche Prinzip beschreibt die Ausbreitung von Wellen. Jeder Punkt der Wellenfront innerhalb eines Mediums wird hierbei als Ausgangspunkt einer Kugelwelle im Raum, einer so genannten *Elementarwelle* angesehen. Für den zweidimensionalen Fall sprechen wir von *Kreiswellen* in der Ebene. Da sich die entstehenden Elementarwellen in alle Richtungen ausbreiten, ergibt sich wiederum eine Wellenfront. Diese setzt sich durch Überlagerung aller Elementarwellen zusammen, somit erhalten wir konstruktive und destruktive *Interferenz*.

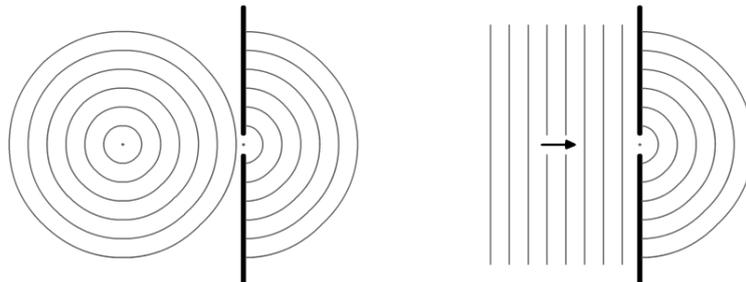


Abbildung 1: Verdeutlichung des Huygenschen Prinzips.

2.2 Das Brechungsgesetz

Mit dem Huygenschen Prinzip lässt sich auch *Brechung* an zwei Medien erklären.

Eine Wellenfront treffe mit der Geschwindigkeit v_1 auf ein zweites Medium, in welchem sich das Licht mit anderer Geschwindigkeit v_2 ausbreite. Mit den Einfallswinkel α und Ausfallswinkel β aus Abbildung 2 gilt dann das Brechungsgesetz

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \text{konstant.}$$

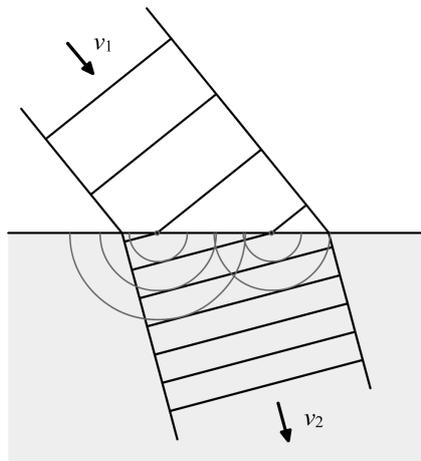


Abbildung 2: Erklärung des Brechungsgesetzes mit dem Huygenschen Prinzip.

2.3 Beugung

Als *Beugung* bezeichnen wir das Phänomen, das Licht beim Durchgang durch begrenzte Öffnungen oder beim Vorbeigang an Kanten in den eigentlichen geometrischen *Schatten* vordringt. Auch dieses Phänomen ist mit dem Huygenschen Prinzip zu erklären.

Beugung an einer Kante

Beim Vorbeilaufen von stehenden Lichtwellen an einer Kante ist zu beobachten, dass auch hinter der Kante, also im geometrischen Schatten, Licht ankommt.

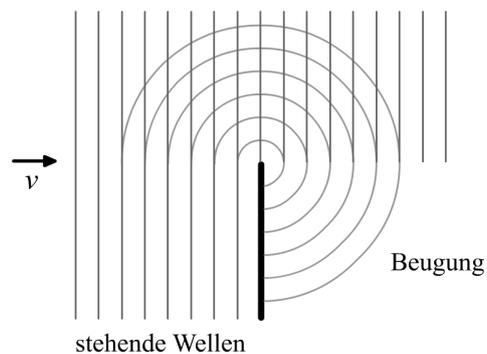


Abbildung 3: Beugung an einer Kante.

Beugung am Spalt

Wir betrachten einen Spalt mit der Breite d und bezeichnen den Gangunterschied der Randstrahlen des Parallelbündels mit Δs .

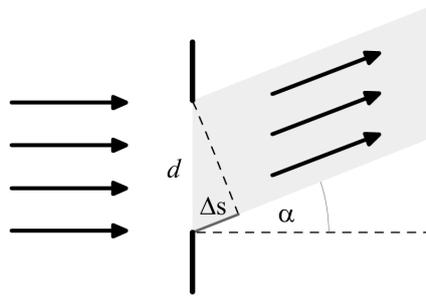


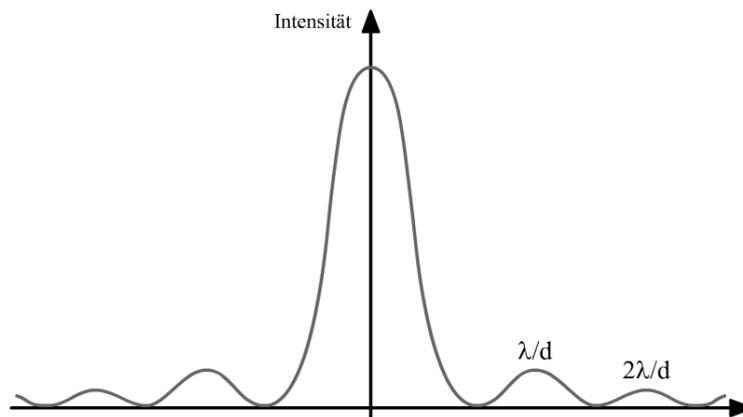
Abbildung 4: Beugung am Spalt.

Dann gilt für den Winkel α zur optischen Achse $\sin \alpha = \Delta s/d$. Damit erhalten wir **konstruktive Interferenz**, also ein Maximum der Intensität, bei

$$\left(n + \frac{1}{2}\right) \lambda = d \sin \alpha.$$

Hierbei ist λ die Wellenlänge und $n = 1, 2, \dots$. Mit gleichen Bezeichnungen erhalten wir **destruktive Interferenz**, also ein Minimum der Intensität, bei

$$n\lambda = d \sin \alpha.$$

Abbildung 5: Intensitätsverteilung bei der Beugung am Spalt in Abhängigkeit des Winkels α .

Beugung am Gitter

Beim Gitter treffen die Lichtstrahlen auf mehrere Spalten, welche den gleichen Abstand g zueinander haben. Dies wird durch die **Gitterkonstante** beschrieben. g hat dabei gegenüber der Wellenlänge λ eine kleine Breite.

Um das Interferenzmuster hinter dem Gitter zu verstehen, können wir uns an jedem Spalt erneut nach dem Huygenschen Prinzip den Ausgangspunkt einer Elementarwelle vorstellen.

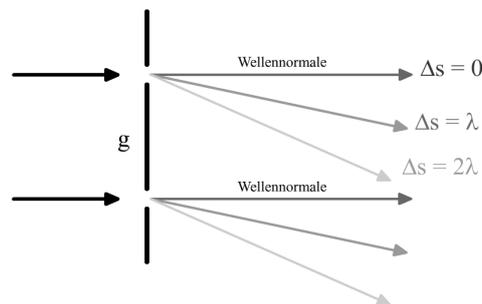


Abbildung 6: Beugung am Gitter.

Ein Interferenzmaximum erhalten wir auch hier genau dann, wenn der Gangunterschied zweier Elementarwellen ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist. Wir erhalten also

$$n\lambda = g \sin \alpha, \quad (1)$$

dabei ist n die **Ordnung** des Maximums, das heißt der n -fache Gangunterschied der Wellenlänge zwischen den Spalten.

Beugung am Draht

Ein Draht der Dicke d ist das komplementäre Objekt zu einem Spalt der Breite d . Dies bedeutet, dass die Beugung an einem Draht, eine zur Beugung am Spalt komplementäre Amplitudenverteilung der Lichtwellen erzeugt. Dieser Effekt wird als **Babinet Prinzip** bezeichnet. Mit gleichen Bezeichnungen wie beim Spalt erhalten wir hier nun gerade bei Winkeln α mit

$$n\lambda = d \sin \alpha. \quad (2)$$

destruktive Interferenz.

2.4 Quecksilberdampf Lampe

Eine Quecksilberdampf Lampe ist eine Gasentladungslampe mit einer Quecksilberdampffüllung. Nach den Regeln der Quantenphysik werden die Quecksilberatome nur auf fest definierte Energieniveaus angeregt und senden damit auch nur bestimmte Energien wieder aus.

Wir haben also eine Lichtquelle, die nur bestimmte Wellenlänge hervorbringt. Bei einer Quecksilberdampf Lampe erhalten wir vor allem Licht der Wellenlängen 405 nm , 436 nm , 546 nm , 578 nm und 613 nm . Einige dieser Wellenlängen sollen im Versuch mittels Beugung am Gitter bestimmt werden.

3 Versuchsdurchführung

Wir gliedern den Versuch in zwei Teile.

3.1 Beugung am Draht

Im ersten Versuch diente zur Bestimmung der Lichtwellenlänge. Dazu verwendeten wir die Beugung am Draht mit dem Versuchsaufbau aus Abbildung 7.

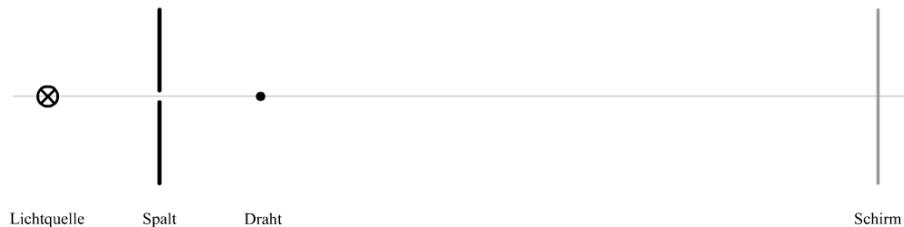


Abbildung 7: Versuchsaufbau zu Teil 1.

Spalt und Draht waren so einzustellen, dass im Schatten des Drahtes destruktive Interferenzmuster zu erkennen sind. Dies sind zwei bis vier dünne dunkle Streifen auf dem Schirm.

3.2 Beugung am Gitter

Im zweiten Versuchsteil verwendeten wir eine Quecksilberdampfampe und ein Gitter.

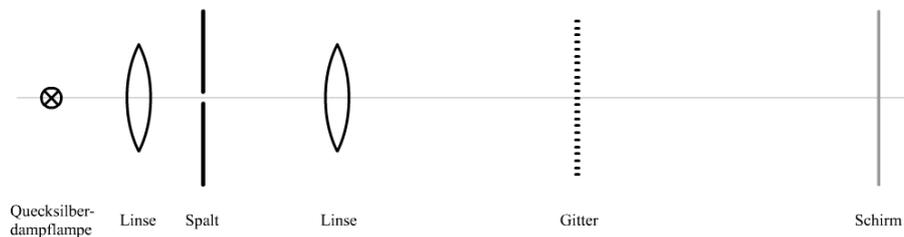


Abbildung 8: Versuchsaufbau zu Teil 2.

Mit Hilfe der Beugung am Gitter und damit der Aufspaltung der einzelnen Wellenlängen dient dieser Versuchsteil zur Bestimmung der Wellenlängen bestimmter Farbe.

4 Auswertung

4.1 Beugung am Draht

Da die Beugung am Spalt experimentell einfacher zu beobachten ist als am Draht, haben wir zunächst den Draht durch einen zweiten Spalt ersetzt und die Beugung am Spalt beobachtet. Dies diente erstens dazu eine günstige Anordnung für diesen Versuchsteil zu erhalten und zweitens sollten erste Interferenzmuster beobachtet werden.

Anschließend haben wir den Draht wieder genau an die Stelle des zweiten Spalts

gebracht und die Anlage minimal neu justiert, so dass wir im Schatten des Drahtes ein Interferenzmuster erhielten. Dies war durch zwei schwarze Streifen zu erkennen, hier fand destruktive Interferenz statt. Nach Gleichung (2) erhalten wir für $n = 1$ gerade $\lambda = d \sin \alpha$. Die Drahtdicke d betrug 0.25 mm und den Winkel $\sin \alpha$ können wir durch den Abstand l von Draht zu Schirm und den Abstand s zwischen den destruktiven Interferenzstreifen ausdrücken. Wir erhalten also

$$\lambda = \frac{d \cdot s}{l}.$$

Der Abstand l von Draht zu Schirm betrug 1.265 m und als gemessenen Mittelwert der Interferenzstreifen erhalten wir $s = 1.825 \text{ mm}$. Damit ergibt sich eine Wellenlänge von

$$\lambda = 361 \text{ nm},$$

was theoretisch gelbgrünem Licht entsprechen sollte, da diese Farbe für das menschliche Auge am besten wahrgenommen wird.

4.2 Beugung am Gitter

In diesem Versuchsteil haben wir als Lichtquelle eine Quecksilberdampfampe benutzt und diese mit Hilfe von zwei Linsen und einem Spalt scharf auf den Schirm eingestellt. Danach haben wir ein Gitter mit der Gitterkonstante $g = 3.33 \cdot 10^{-6}$ eingeführt. Auf dem Schirm war nun eine deutliche Aufspaltung der einzelnen Wellenlängen der Dampfampe zu erkennen. Nach Gleichung (1) und analog zum Draht erhalten wir

$$\lambda = \frac{g \cdot s}{l},$$

dabei ist $l = 0.590 \text{ m}$ der Abstand vom Gitter zum Schirm und s der Abstand zwischen nullten und ersten Interferenzmaximum der jeweiligen Farbe. Wir erzielten folgende Ergebnisse:

	Abstand s	theoretisch	experimentell
violett	76.3 nm	436 nm	431 nm
grün	96.3 nm	546 nm	544 nm
gelb	103.3 nm	578 nm	586 nm

Tabelle 1: Wellenlänge der Spektralfarben einer Quecksilberdampfampe.

5 Diskussion und didaktische Einordnung

Die beiden beschriebenen Versuche verdeutlichen sehr schön den Wellencharakter des Lichtes. Hierbei stehen die Phänomene Beugung und Interferenz im Mittelpunkt. Bevor jedoch Licht als Welle in der Schule diskutiert wird sollten wichtige Eigenschaften von Wellen wie stehende Wellen zuerst an Wasser- oder Schallwellen thematisiert werden, um an die Erfahrungswelt der Schüler anzuknüpfen.

Anhand des Huygenschen Prinzips lassen sich die Erscheinungen Beugung und

Interferenz sehr schön qualitativ erklären und verstehen. Bei der quantitativen Auswertung des Gitterversuchs müssen einige Abschätzungen getroffen werden, die mit den Schülern ausführlich besprochen werden müssen und für die sie sensibilisiert werden sollten. Als Beispiel wäre hier das Verhalten der Lichtstrahlen hinter dem Gitter zu erwähnen, welche zuerst als parallel angenommen werden und sich anschließend auf dem Schirm überlagern.

Insgesamt halten wir diesen Versuch als sehr schönen Versuch, der viel physikalisches Verständnis erfordert und lehrt. Die Beobachtung von Beugungsmustern an Spalt, Gitter und Lochblende können auch sehr schön als Schülerversuche zum Entdecken und Experimentieren gestellt werden. Allerdings ist bei quantitativen Auswertungen stets eine Reihe von Fehlerquellen gegeben. Bei der Beugung am Draht muss die Anlage sehr lange justiert werden, bis brauchbare Ergebnisse aufgenommen werden können. Auch ist der Abstand der Interferenzstreifen nur schwer zu bestimmen und daher stark mit Fehlern behaftet. Unser experimenteller Wert $\lambda = 361 \text{ nm}$ der Lichtwellenlänge weicht auch vom realen Wert $\lambda \approx 580 \text{ nm}$ recht stark ab.

Der Versuch mit der Quecksilberdampfampe war sehr viel einfacher und schneller aufgebaut und lieferte auch sehr viel bessere Ergebnisse. Alle experimentellen Werte sind zufrieden stellend und stimmen recht gut mit der Theorie überein. Allerdings ist die Beugung am Gitter für Schüler sehr viel schwerer zu verstehen als die Beugung am Spalt bzw. Draht. Auch sollte dieser Versuchsteil bei einer großen Klasse als Lehrerversuch durchgeführt werden, da die Quecksilberdampfampe sehr heiß wird und somit eine Gefahrenquelle birgt.

5.1 Didaktische Einordnung

Erste Erfahrungen mit Brechung sollten aus dem Alltag der Schüler bekannt sein. In der Mittelstufe wird die geometrische Optik gelehrt und somit machen die Schüler Erfahrungen mit der Brechung. Die vorgestellten quantitativen Versuche mit dem Begriff Beugung sind jedoch in der Oberstufe einzuordnen. Im Leistungskurs sollte der Wellencharakter des Lichtes ausführlich thematisiert werden, aber auch im Grundkurs sollten die Begriffe Beugung und Interferenz gelehrt werden. Hier schließen sich in der Oberstufe die Versuche zur Bestimmung der Lichtwellenlänge bestimmter Farben an, wie er im zweiten Versuchsteil vorgestellt wurde.