

IO3

Modul Optik

Diffraction

Das Phänomen der Diffraction - auch Beugung genannt - ist eine essentielle Manifestation der Welleneigenschaften des Lichts. Im Rahmen der geometrischen Optik lässt sich dieses Phänomen nicht verstehen, da sich das Licht in Raumbereiche ausbreitet, welche bei geradliniger Ausbreitung durch ein Hindernis versperrt sind. Die Diffraction ist von enormer Bedeutung, sowohl im wissenschaftlichen als auch im technischen Sinne.

In diesem Versuch wird das Phänomen anhand der Beugung an Spalt und Gitter untersucht.

Versuch IO3 - Diffraktion

Das Phänomen der Diffraktion - auch Beugung genannt - ist eine essentielle Manifestation der Welleneigenschaften des Lichts. Im Rahmen der geometrischen Optik lässt sich dieses Phänomen nicht verstehen, da sich das Licht in Raumbereiche ausbreitet, welche bei geradliniger Ausbreitung durch ein Hindernis versperrt sind. Die Diffraktion ist von enormer Bedeutung, sowohl im wissenschaftlichen als auch im technischen Sinne.

In diesem Versuch wird das Phänomen anhand der Beugung an Spalt und Gitter untersucht.

1.1 Fragen zur Vorbereitung

- Welche Phänomene kennst Du, bei denen die Welleneigenschaften des Lichts zu Tage treten?
- Welche Phänomene kennst Du, bei denen die Teilcheneigenschaften des Lichts zu Tage treten?
- Was besagt das Huygen'sche Prinzip?
- Durch welche Größen werden (Licht-)Wellen vollständig definiert?
- Was versteht man unter dem Begriff Kohärenz? Worin liegt der Unterschied zwischen zeitlicher und räumlicher Kohärenz?
- In welchem Wellenlängenbereich befindet sich das optische Spektrum (vom Menschen wahrnehmbares Licht)?
- Wie lautet der Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Frequenz im Falle von elektromagnetischer Strahlung?
- Was versteht man unter dem Begriff Intensität und welche physikalische Einheit besitzt sie?
- Wie sind die Bessel-Funktionen erster Gattung definiert? Welche Differentialgleichung wird durch diese Funktionen gelöst und wo tritt diese auf, bzw. bei welcher Symmetrie tritt diese häufig auf?
- Was versteht man unter den Begriffen konstruktive und destruktive Interferenz?
- Interferenz ist eine direkte Folge des Superpositionsprinzips für Wellen. Warum gilt das Superpositionsprinzip? (Hinweis: es handelt sich um eine mathematische Aussage bzgl. linearer Gleichungen)
- Leite die Bedingung für konstruktive Interferenz am Doppelspalt her.

1.2 Theorie

1.2.1 Die Welleneigenschaften des Lichts

Die Natur des Lichtes war lange Zeit umstritten, da es sowohl Phänomene gibt, welche sich nur durch Annahme eines Stroms von Teilchen erklären lassen, als auch Phänomene, welche nur durch die Annahme von Lichtwellen zu verstehen sind. Letztendlich wurde dieser Widerspruch durch den Welle-Teilchen-Dualismus der Quantenmechanik gelöst.

Die in diesem Versuch zu beobachtenden Diffraktionsmuster und deren Intensitätsverteilung lassen sich nur verstehen, wenn das Licht gewisse Eigenschaften einer Welle besitzt, da es sich in Raumregionen ausbreitet, welche bei geradliniger Ausbreitung nicht direkt zugänglich sind. Dieses Verhalten kann relativ anschaulich erklärt werden, mit Hilfe des HUYGENSCHEN PRINZIPS¹, welches besagt:

Jeder Punkt einer Wellenfront kann als Ausgangspunkt einer sogenannten Elementarwelle betrachtet werden. Durch Superposition aller Elementarwellen erhält man die resultierende Wellenfront.

¹Christiaan Huygens, 1629-1695

Dieses Prinzip erlaubt es, sowohl das Phänomen der Diffraction als auch das der Refraction zu verstehen, bzw. zu konstruieren, wie das entsprechende Phänomen zustande kommt. (vgl. Abb. 1.1)

Mathematisch lassen sich Lichtwellen wie folgt beschreiben:

$$\psi(\vec{r}, t, \omega) = A \cdot e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t + \Phi)} \quad (1.1)$$

Es handelt sich hierbei um die allgemeine Form einer EBENEN WELLE, welche die Lösungen der HOMOGENEN WELLENGLEICHUNG darstellen. Bei dieser Gleichung handelt es sich um eine homogene, lineare Differentialgleichung 2. Ordnung. Aus der Mathematik ist bekannt, dass beliebige Linearkombinationen von Lösungen einer linearen Gleichung wiederum eine Lösung derselben Gleichung darstellen. Folglich sind Linearkombinationen von ebenen Wellen immer noch eine gültige Lösung dieser Gleichung. Aus dieser mathematischen Eigenschaft resultiert das SUPERPOSITIONSPRINZIP für Wellen.

Im Folgenden wollen wir uns auf den eindimensionalen Fall beschränken, eine ebene Welle lässt sich dann auch wie folgt darstellen:

$$\psi(x, t) = A \cdot \sin(\omega t - k_x x + \Phi) \quad (1.2)$$

Hierbei bezeichnet A die Amplitude, ω die Kreisfrequenz, k_x die x-Komponente des Wellenvektors \vec{k} und Φ die Phase der ebenen Welle. Kreisfrequenz und Wellenvektor stehen wie folgt im Bezug zueinander:

$$\frac{\omega}{c} = |\vec{k}| = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (1.3)$$

Hierbei bezeichnet c die LICHTGESCHWINDIGKEIT und λ die WELLENLÄNGE des Lichts.

1.2.2 Die Bedeutung der Phase

Zunächst scheint die PHASE hier eine redundante Grösse zu sein, aufgrund der Periodizität der Sinusfunktion. Jedoch kommt der Phase eine grosse Bedeutung zu, sobald verschiedene Wellen zueinander in Bezug gesetzt werden. Betrachtet man zwei Wellen derselben Form wie in Gleichung 1.2, so können wir diese gemäss dem Superpositionsprinzip überlagern.

Besitzen beide Wellen jedoch unterschiedliche Phasen, so wird sich bei der Superposition lokal die Amplitude der resultierenden Welle ändern. Dieses Phänomen bezeichnet man als INTERFERENZ. Addieren sich die Amplituden der beiden in unserem Beispiel betrachteten Wellen vollständig zu Null, so spricht man von DESTRUKTIVER INTERFERENZ, dies ist der Fall wenn beide Wellen gegenphasig schwingen, $\Phi = (2n + 1)\pi$, $n \in \mathbb{N}_0$. Addieren sie sich jedoch exakt zur doppelten Amplitude, so spricht man von KONSTRUKTIVER INTERFERENZ, beide Wellen schwingen in Phase, $\Phi = 2n\pi$, $n \in \mathbb{N}_0$.

Ist die Phase beider Wellen nicht konstant, sondern verändert sich, so resultiert daraus eine zeitliche Abfolge von konstruktiver und destruktiver Interferenz, so wie aller Zwischenstadien. Somit ist das resultierende Interferenzmuster zeitlich nicht konstant. Besitzen die betrachteten Wellen jedoch eine zeitlich konstante Phasenbeziehung, so sagt man, die Wellen bzw. das Licht ist KOHÄRENT. In diesem Fall erhält man ein stationäres Interferenzmuster.

Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle noch darauf hingewiesen, dass man zusätzlich noch zwischen ZEITLICHER KOHÄRENZ und RÄUMLICHER KOHÄRENZ unterscheidet. Soll eine Welle zu einer zeitlich verschobenen Kopie kohärent sein, so ist zeitliche Kohärenz erforderlich. Die zeitliche Kohärenz von Licht wird durch seine spektrale Zusammensetzung bestimmt. Monochromatisches Licht, wie es z.B. von einem Laser ausgesandt wird, ist immer vollständig zeitlich kohärent. Wohingegen Licht, welches aus mehreren Wellenlängen besteht,

wie z.B. Sonnenlicht, in der Regel inkohärent ist.

Räumliche Kohärenz ist erforderlich, wenn Licht mit einer räumlich verschobenen Kopie seiner selbst interferieren soll. Genau dieser Fall wird im vorliegenden Versuch betrachtet. Räumliche Kohärenz hängt in vielen Fällen von der Form und Ausdehnung der betrachteten Lichtquelle ab. Es sei an dieser Stelle nur darauf hingewiesen, dass ein Laser (wie in diesem Versuch verwendet), Licht mit der grössten räumlichen Kohärenz überhaupt aussendet. Sie kann hier bis zu mehreren hundert Metern betragen.

1.2.3 Der Begriff der Intensität

Der Begriff der INTENSITÄT ist den meisten Studenten bereits zu Beginn des Studiums bekannt. Trotzdem fällt es vielen schwer, diesen Begriff anschaulich zu erklären, bzw. ein intuitives Verständnis zu erlangen. In der Physik gibt es jedoch eine präzise und logische Definition dieser physikalischen Grösse:

$$\text{Intensität} = \frac{\text{Energie}}{\text{Fläche} \cdot \text{Zeit}} ; [\text{Intensität}] = \frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (1.4)$$

Anders ausgedrückt handelt es sich bei der Intensität um eine Leistungsdichte bezogen auf eine bestimmte Fläche. Man spricht daher auch von einer Flächenleistungsdichte. Anhand obiger Definition ist ersichtlich, dass diese Grösse also mit der Energie einer Welle zusammenhängt. Für Wellen gilt im Allgemeinen, dass

$$I \propto A^2, \quad (1.5)$$

wobei A die Amplitude der entsprechenden Welle ist. Weiterhin ist es wichtig, dass z.B. für eine Punktquelle - eine häufig in der Physik verwendete Modellvorstellung - die Intensität mit $1/r^2$ abfällt. Ist z.B. die gesamte abgestrahlte Leistung P einer Punktquelle bekannt, so kann gezeigt werden, dass sich die Intensität im Abstand r zu

$$I(r) = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (1.6)$$

ergibt. Wohlgermerkt gilt dies alles nur im Vakuum bzw. in Abwesenheit eines absorbierenden Mediums. Ist zusätzlich ein absorbierendes Medium vorhanden, so kann gezeigt werden, dass die Intensität exponentiell abfällt:

$$I(r) = I_0 \cdot e^{-\mu r} \quad (1.7)$$

Diese Gesetzmässigkeit trägt den Namen BEER-LAMBERT'SCHES GESETZ und μ bezeichnet den so genannten ABSORPTIONSKOEFFIZIENTEN. Hierbei handelt es sich um eine Materialeigenschaft, welche gegebenenfalls sogar von der Wellenlänge der jeweiligen Strahlung abhängen kann.

1.2.4 Beugung am Spalt

Betrachten wir nun den Fall, dass eine Front ebener Wellen auf einen Spalt zu läuft. Ist dieser Spalt gross im Vergleich zur Wellenlänge des Lichts, werden die Welleneigenschaften nicht beobachtbar sein. Folglich muss der Spalt in der Grössenordnung der Wellenlänge des verwendeten Lichts sein. Betrachten wir nun Abbildung 1.1. Dort ist ersichtlich, dass Wellenzüge, welche unter dem gleichen Winkel bezüglich der optischen Achse gebeugt wurden, einen Gangunterschied Δ aufweisen. Manche Wellenzüge müssen also eine grössere Strecke zurücklegen als andere.

Anhand der obigen Diskussion der Bedeutung der Phase, sollte nun ersichtlich sein, wie die

Bedingung für konstruktive bzw. destruktive Interferenz hergeleitet werden kann. In der Abbildung 1.1 sind lediglich die beiden äusseren Wellenzüge dargestellt, welche an den beiden Randpunkten des Spaltes gebeugt werden. Zwischen diesen kann man sich jedoch beliebig viele weitere Wellenzüge vorstellen. Besteht zwischen diesen beiden äusseren Wellenzügen

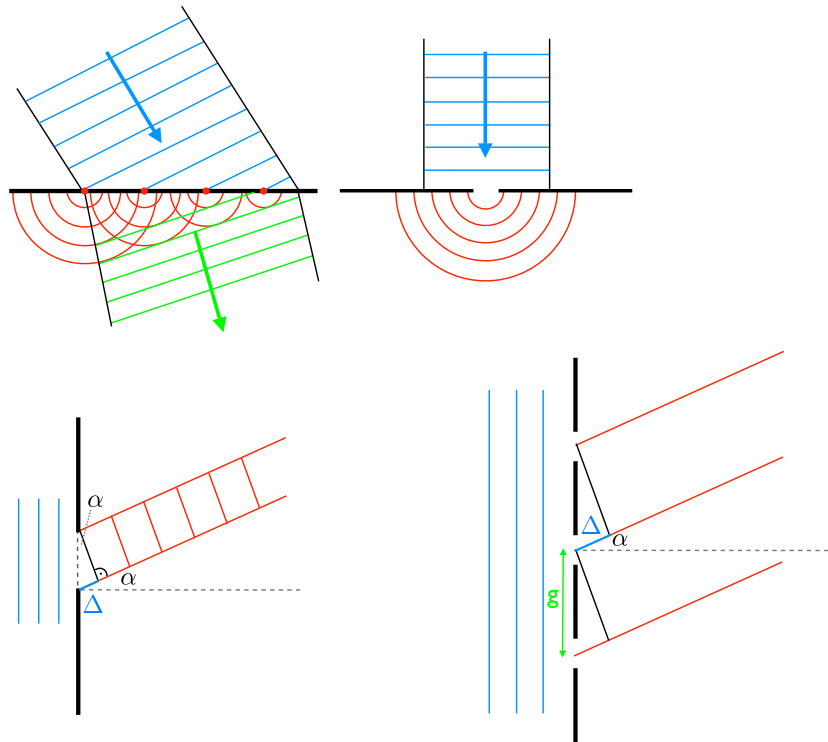


Abbildung 1.1: HUYGENS PRINZIP und Beugung am Spalt bzw. am Gitter. Diese Skizzen sind obligatorische Hilfsmittel zu Herleitung der Bedingung für Maxima/Minima der Intensität.

ein Gangunterschied von $n\lambda$, so besteht offensichtlich zwischen dem ersten (d.h. einem der äusseren) und dem mittleren Wellenzug ein Gangunterschied von $n\lambda/2$ - sie interferieren also destruktiv. Ebenso wird zwischen dem zweiten und dem nächst höheren Wellenzug destruktive Interferenz auftreten usw.. Folglich wird ein Minimum der Intensität auftreten. Bezeichnet man den Winkel, unter welchem die gebeugten Wellen beobachtet werden mit α und die Breite des Spaltes mit b , so kann mit Hilfe einer Skizze wie derjenigen in Abb. 1.1 folgende Bedingung für ein Minimum der Intensität am Spalt abgeleitet werden:

$$\Delta = 2n\pi = n \cdot \lambda = b \cdot \sin \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{n\lambda}{b}, n \in \mathbb{N} \quad (1.8)$$

Die Berechnung des Intensitätsverlaufs, welcher im Experiment beobachtet wird, ist relativ kompliziert und soll an dieser Stelle nicht vorgeführt werden². Für die Intensität normiert auf

²Die vollständige Ableitung kann in den Literaturangaben am Ende dieser Anleitung recherchiert werden, bzw. wird sie üblicherweise im Physik 4 behandelt.

die Intensität des Hauptmaximums gilt:

$$\frac{I}{I_H} = \left(\frac{\sin^2 U}{U^2} \right), \quad U := \frac{k \cdot b \sin \alpha}{2} \quad (1.9)$$

Der Verlauf der Intensität ist also durch das Quadrat einer SINUS CARDINALIS bzw. sinc-Funktion gegeben. Abbildung 1.2 zeigt ein Beispiel dieser Funktion. Das Maximum in der Mitte des Darstellungsbereiches, wird als Hauptmaximum bezeichnet und übersteigt alle anderen Maxima - die so genannten Nebenmaxima - bei weitem.

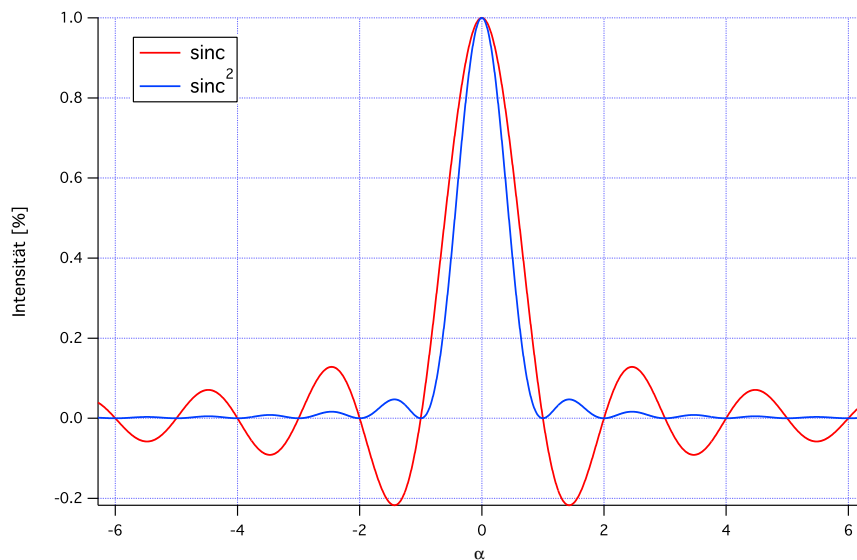


Abbildung 1.2: Dieser Graph zeigt den Verlauf des SINUS CARDINALIS, normiert auf die Intensität des Hauptmaximums. Das Hauptmaximum erreicht folglich 1, während die so genannten Nebenmaxima eine deutlich geringere Intensität aufweisen.

Die sinc Funktion ist identisch mit der SPHÄRISCHEN BESSEL-FUNKTION ERSTER ART und als solche eine Lösung der BESSELSCHEN DIFFERENTIALGLEICHUNG, welche für die Physik der Wellen, als auch für viele weitere radialsymmetrische Probleme, eine enorme Bedeutung besitzt.

1.2.5 Beugung am Gitter

Neben der Beugung am Spalt, wird in diesem Versuch auch die Beugung am Gitter beobachtet. Die Beugung am Gitter stellt eine Verallgemeinerung der Beugung am Doppelspalt dar - ein Experiment mit enormer Bedeutung in der Physik, da sich hier der Übergang von klassischer Physik zur Quantenmechanik beobachten lässt. Weiterhin besitzt das Beugungsgitter auch eine gewisse technische Bedeutung, so ist es z.B. Hauptbestandteil eines Gitterspektrometers.

Erneut betrachten wir Abbildung 1.1 und wenden das im Abschnitt über die Phase gewonnene Wissen auf diese Problemstellung an. Erneut gilt es zu analysieren, unter welchen Umständen konstruktive bzw. destruktive Interferenz stattfinden kann. Nun betrachten wir Wellenzüge, welche wiederum unter dem gleichen Beugungswinkel α bezüglich der optischen Achse beobachtet werden sollen. Jedoch passieren diese Wellenzüge nun unterschiedliche Spalte des Gitters. Das Gitter sei nun im Wesentlichen durch die Gitterkonstante g charakterisiert.

Erneut stellt sich anhand der Skizze heraus, dass unterschiedliche Wellenzüge einen Gangunterschied zueinander aufweisen. Damit alle Wellenzüge, die unter dem gleichen Beugungswinkel beobachtet werden, aber unterschiedliche Spalte passieren, konstruktiv interferieren, müssen sie einen Gangunterschied von $n\lambda$ aufweisen. Unter Ausnutzung der Definition des Sinus bezüglich Gegenkathete und Hypotenuse eines rechtwinkligen Dreiecks ergibt sich für den Gangunterschied aber auch die Beziehung

$$\Delta = g \cdot \sin \alpha,$$

woraus sich schliesslich folgende Bedingung für die Maxima der Beugung am Gitter ergibt:

$$\sin \alpha = \frac{n\lambda}{g}, \quad n \in \mathbb{N} \quad (1.10)$$

Diese Formel ist von sehr ähnlicher Gestalt, wie diejenige, welche für die Minima der Beugung am Gitter abgeleitet wurde, beschreibt aber in diesem Fall die Maxima der Beugung! Es gilt hervorzuheben, dass der Beugungswinkel α eine Funktion der Wellenlänge ist und somit Licht unterschiedlicher Wellenlänge unterschiedlich stark gebeugt wird! Rotes Licht besitzt eine grössere Wellenlänge als blaues Licht, wird also gemäss dieser Formel stärker gebeugt als blaues Licht.

Somit verhält sich Licht bei der Diffraktion/Beugung genau umgekehrt wie bei der Refrakti-

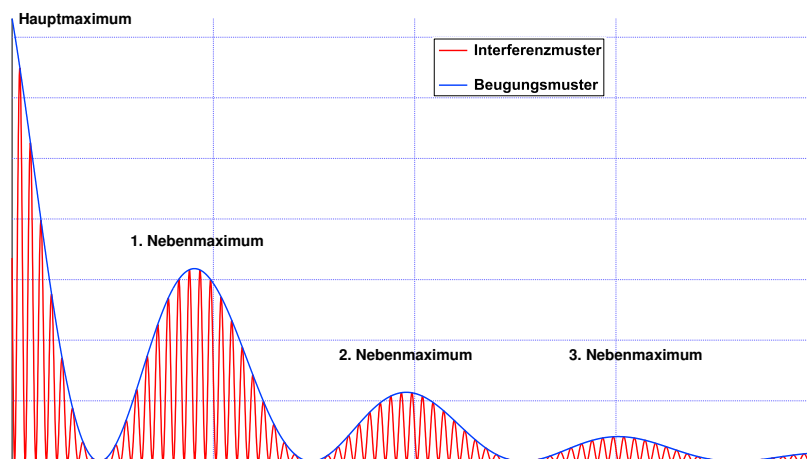


Abbildung 1.3: Dieser Graph zeigt den Verlauf der Intensität im Falle der Beugung am Gitter. Wie im Text besprochen wird ist hier eine Überlagerung aus Beugungsmuster und Interferenzmuster zu erkennen.

on/Brechung, wo aufgrund der Dispersion (Brechungsindex ist eine Funktion der Wellenlänge) blaues Licht stärker gebrochen wird als rotes Licht.

Auf für das Gitter kann der resultierende Intensitätsverlauf berechnet werden. Diese Berechnung soll wie im Fall der Beugung am Spalt hier nicht vorgeführt werden, stattdessen begnügen wir uns mit dem Resultat. Es gilt:

$$\frac{I}{I_H} = \frac{\sin^2 U}{U^2} \cdot \frac{\sin^2 W}{W^2}, \quad U = \frac{\pi b}{\lambda} \sin \alpha, \quad W = \frac{\pi n g}{\lambda} \sin \alpha \quad (1.11)$$

Der erste Term ist identisch mit dem Verlauf der Intensität am Einzelspalt. Der zweite Term beinhaltet den entscheidenden Unterschied. Er wird als (Mehrstrahl-)Interferenzterm bezeichnet. Der resultierende Verlauf ist Gegenstand der Abbildung 1.3:

1.3 Experiment

In diesem Experiment wird die Beugung am Spalt und am Gitter untersucht. Der Versuch wird im demontierten Zustand bereitstehen und die Praktikanten sollen die optischen Apparaturen gemäss dieser Anleitung aufbauen und justieren. Die exakte Justage einer optischen Apparatur kann ein zeitaufwendiger Prozess sein, es wird folglich Geduld, Fleiss und Geschick von Nöten sein!

Die korrekte Justage der Apparatur ist dem zuständigen Assistent zu demonstrieren, bevor mit den eigentlichen Messungen begonnen werden darf.

Der Laser und die Linsen, welche in diesem Experiment verwendet werden, sind mit Vorsicht und dem nötigen Verantwortungsbewusstsein zu behandeln.

1.3.1 Versuchszubehör

Komponente	Anzahl
Laser, $\lambda = 632.8nm$	1
Massstab (auf optischer Bank montiert)	1
Spaltblende am Laserende	1
Linse L_1 $f = 5mm$	1
Linse L_2 $f = 50mm$	1
Halterung für Spalt/Gitter	1
Beobachtungsschirm	1

1.3.2 Versuchsaufbau und Justage

Der Versuchsaufbau ist Gegenstand von Abbildung 1.4:

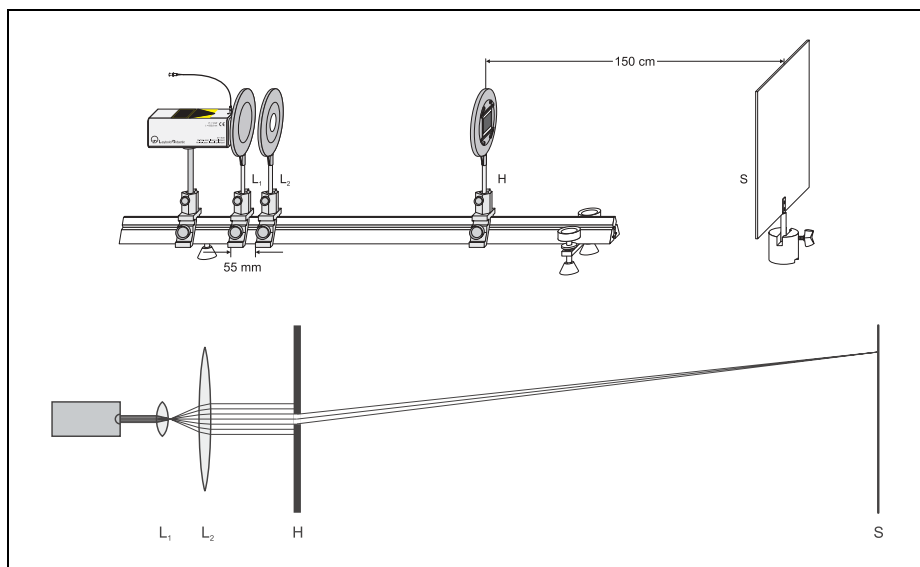


Abbildung 1.4: Schematischer Versuchsaufbau: Linsen L_1, L_2 , Halterung H, Schirm S, Laser und Optische Bank.

Für eine korrekte Justage des Versuchsaufbaus, ist wie folgt vorzugehen:

- He-Ne-Laser auf der optischen Bank befestigen.
- Schirm S ca. 1,90 m vom Laser entfernt aufstellen, Laser auf den Schirm ausrichten und einschalten.
- Halterung H mit z.B. dem Dreifachspalt in ca. 50 cm Abstand zum Laser auf der Optischen Bank positionieren. Laser so ausrichten, dass die Mitte der Blende getroffen wird.
- Kugellinse L_1 in ca. 1 cm Abstand vom Laser aufstellen (diese Linse dient dazu, den Laserstrahl aufzuweiten). Der Laser muss die Blende immer noch gut ausleuchten.
- Halterung H wieder entfernen.
- Sammellinse L_2 in ca. 55 mm Entfernung zur Kugellinse montieren (Die Sammellinse dient dazu, dass von der Kugellinse aufgeweitete Licht parallel zur optischen Bank zu führen).
- Sammellinse nun noch etwas in Richtung Kugellinse verschieben, bis sich der Durchmesser des Lasers auf dem Schirm auf ca. 6mm aufweitet. (Es sollte sich ein möglichst kreisrundes Profil ergeben).
- Überprüfe, ob der Strahldurchmesser zwischen Linse und Schirm konstant ist, z.B. mit Hilfe eines Blatt Papiers.
- Halterung H im Abstand von ca. 1,50 m vom Schirm auf der Bank montieren.
- Gegebenenfalls L_2 leicht nachjustieren, bis das Beugungsbild scharf abgebildet wird.

1.3.3 Messungen

- Verwende nacheinander die drei zur Verfügung stehenden Spalte A ($b = 0,12\text{mm}$), B ($b = 0,24\text{mm}$) und C ($b = 0,48\text{mm}$). Beobachte und skizziere das jeweilige Beugungsbild und notiere Dir Deine Beobachtungen.
- Spalt B verwenden und ein Papier auf dem Schirm fixieren. Markiere Dir die Orte der auftretenden Minima der Intensität.
- Beugung am Steg: Den Steg anstatt der Spalte verwenden und Beugungsbild beobachten. Notiere und skizziere Deine Beobachtungen und vergleiche das Beugungsbild mit dem der drei zuvor beobachteten Spalte.
- Beugung an der Lochblende: Lochblende einfügen, nacheinander die Löcher A ($b = 0,12\text{mm}$), B ($b = 0,24\text{mm}$) und C ($b = 0,48\text{mm}$) verwenden. Beobachtungen notieren und Beugungsbilder skizzieren. Erneut Loch B verwenden und wiederum mit einem auf dem Schirm montierten Papier die Maxima der Intensität auf das Papier übertragen. Durchmesser der dunklen Ringe bestimmen.
- Beugung am Gitter: Verwende nacheinander die drei zur Verfügung stehenden Gitter A (20 Spalte pro cm), B (40 Spalte pro cm) und C (80 Spalte pro cm). Skizziere die resultierende Beugungsbilder und notiere Deine Beobachtungen.
- Erneut Gitter C einstellen und ein Blatt Papier auf dem Beobachtungsschirm fixieren. Übertrage das beobachtete Beugungsbild bzw. die Positionen der sich ergebenden Maxima auf das Papier. Wiederhole diese Messung für die Gitter A und B.

- Beugung am zweidimensionalen Gitter: Es stehen zwei verschiedene Kreuzgitter zur Verfügung. Verwende wiederum ein Blatt Papier um die Positionen der beobachteten Maxima zu übertragen.

1.3.4 Aufgaben zur Auswertung

Für die Auswertung der Experimente bezüglich der Beugung am Spalt, müssen folgende Aufgaben erfüllt werden:

- Leite analog zu Gleichung 1.8 die Bedingung für Maxima der Intensität des Einzelspalts ab.
- Der Abstand zwischen Spalt/Gitter und Beobachtungsschirm sei mit L bezeichnet. Leite eine Beziehung zwischen dem Beugungswinkel α und L ab, verwende dazu die Definition des Tangens sowie die Kleinwinkelnäherung. Verwende dieses Ergebnis um eine Beziehung zwischen den Abständen x_n der Minima von der optischen Achse und der Wellenlänge λ abzuleiten.
- Berechne für alle gemessenen Intensitätsminima den Quotienten x_n/n , wobei x_n den Abstand des Minimums zur optischen Achse auf dem Schirm bezeichnet und n die Ordnung des Minimums. Dieser Quotient sollte konstant sein, berechne daher Mittelwert und Standardabweichung von x_n/n . Verwende die so erhaltenen Werte, um die Breite des Spalts zu berechnen. Führe eine vollständige Fehleranalyse durch und vergleiche Deinen Wert mit dem Literaturwert. Trage Deine Ergebnisse in Graphen auf, d.h. x_n/n und b als Funktion der Anzahl N an durchgeführten Messungen, inklusive zugehörigen Fehlerbalken und berechnetem Mittelwert.
- Fertige eine Skizze an, in welcher die Beugungsbilder für alle drei beobachteten Spalte eingetragen sind. Beschreibe Deine Beobachtungen, insbesondere wie sich das Beugungsbild mit zunehmender Spaltbreite verändert. Sind Deine Beobachtungen mit den theoretischen Erwartungen konsistent? Begründe Deine Antwort.

Auswertung der Beugung am Steg:

- Fertige Graphen an, analog zu denjenigen, welche Du bereits für die Beugung am Spalt angefertigt hast, d.h. x_n/n und g als Funktion der Anzahl N an durchgeführten Messungen, inklusive zugehörigen Fehlerbalken und berechnetem Mittelwert. Vergleiche die Ergebnisse mit den angegebenen Gitterkonstanten.

Für das Experiment bezüglich der Beugung an der Lochblende sind folgende Aufgaben zu bearbeiten:

- Miss den Durchmesser d_n aller beobachteten Minima der Intensität aus. Berechne für alle beobachteten Minima den Quotienten d_n/k_n , analog zur Beugung am Spalt. Berechne anschliessend wieder Mittelwert und Standardabweichung dieser Quotienten. Für die Minima der Beugung an der Lochblende gilt folgende Beziehung:

$$\frac{d_n}{2 \cdot L} = k_n \cdot \frac{\lambda}{D} \quad (1.12)$$

Wobei D der Durchmesser der Lochblende ist, L der Abstand zum Schirm, d_n der Durchmesser des n -ten Minimums und $k_1 = 1, 220, k_2 = 2, 232, k_3 = 3, 238$. (Es können maximal drei Minima beobachtet werden.) Berechne nun unter Verwendung der Wellenlänge $\lambda = 633\text{nm}$ den Lochdurchmesser D . Führe eine vollständige Fehleranalyse durch.

Für die Auswertung der Experimente zur Beugung am Gitter ist erforderlich:

- Fertige einen Graphen an, in welchem alle drei beobachteten Beugungsbilder skizziert werden. Beschreibe Deine Beobachtungen, insbesondere die Abhängigkeit des Beugungsbildes von der Gitterkonstante g . Berechne dazu auch die jeweilige Gitterkonstante aller drei Gitter.
- Berechne den Quotienten x_n/n analog zur Auswertung der Beugung am Spalt, berechne wiederum Mittelwert und Standardabweichung.
- Verwende Deine Werte um erneut die Wellenlänge des Laserlichts zu berechnen und führe eine vollständige Fehleranalyse durch.
- Beschreibe qualitativ wie sich das Beugungsbild des zweidimensionalen Gitters von dem des eindimensionalen unterscheidet.
- Bestimme aus Deinen Daten die Gitterkonstanten in beide Raumrichtungen für das zweidimensionalen Gitter.

1.4 Literatur

- Demtröder Band 2 - *Elektrizität und Optik*, 6. Auflage: Abschnitt 10.1- 10.5 (für interessierte Studenten sein auch Abschnitt 10.6 bis 10.8 empfohlen)
- E. Hecht - *Optik*, 3. Auflage: Kapitel 9 und 10