

Physikpraktikum für Naturwissenschaftler

Versuch: Beugung

Durchgeführt am 06. Dezember 2018

Betreuer: Devin Assenheimer

Gruppe 13

Felix Burr: felix.burr@uni-ulm.de

Johannes Spindler: johannes.spindler@uni-ulm.de

Wir bestätigen hiermit, das Protokoll selbstständig erarbeitet zu haben und in genauer Kenntnis über dessen Inhalt zu sein.

Felix Burr

Johannes Spindler

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Strukturaufklärung (Bestimmung einer Gitterkonstanten)	3
2.1	Versuchsdurchführung	3
2.2	Fehlerrechnung	4
2.3	Messwerte und Ergebnisse	4
2.4	Ergebnisdiskussion	4
3	Bestimmung der Spurweite einer CD bzw. DVD	4
3.1	Versuchsdurchführung	4
3.2	Messwerte und Ergebnisse	5
3.3	Ergebnisdiskussion	5
4	Spektralanalyse (Untersuchung einer unbekannten Lichtquelle)	5
4.1	Versuchsdurchführung	5
4.2	Messwerte und Ergebnisse	5
4.3	Ergebnisdiskussion	5
5	Beugungserscheinungen am Einzelspalt und an einem Haar	5
5.1	Versuchsdurchführung	5
5.2	Messwerte und Ergebnisse	7
5.3	Ergebnisdiskussion	8
6	Modellversuch zum Auflösungsvermögen des Mikroskops	9
6.1	Versuchsdurchführung	9
6.2	Ergebnisdiskussion	9

1 Einleitung

Unter Beugung wird die Ausbreitung von Wellen in den Schattenbereich hinter Objekten verstanden. Da Beugung für Wellen auftritt, aber nicht für Teilchen, ist die Beugung von Licht ein Indiz für dessen Wellencharakter. Mithilfe des Strahlenmodells des Lichts ist die Beugung nicht erklärbar und die Geometrische Optik mit ihrem Strahlenmodell ist auch nur eine Annäherung an die Realität, da sie nutzt, dass die Beugung des Lichts vernachlässigbar ist, wenn Öffnungen und Hindernisse sehr viel größer sind als die Wellenlänge des Lichts. Das Phänomen der Beugung ist sehr nützlich bei der Untersuchung von Objekten. So kann zum Beispiel die Spaltbreite eines Gitters, die Gitterkonstante, berechnet werden (siehe Abschnitt 2) oder ein chemisches Element durch die Spektralanalyse bestimmt werden (siehe Abschnitt 4).

2 Strukturaufklärung (Bestimmung einer Gitterkonstanten)

2.1 Versuchsdurchführung

Das zu untersuchende Gitter mit Gitterkonstante g wird mit einem HeNe-Laser der Wellenlänge $\lambda = 632,8\text{nm}$ beleuchtet. Die Wand dient als Schirm, weshalb der Laser so positioniert sein soll, dass der Strahl senkrecht zur Wand verläuft. Es erscheinen Beugungsmaxima auf der Wand. Abbildung 1 zeigt diese Versuchsanordnung.

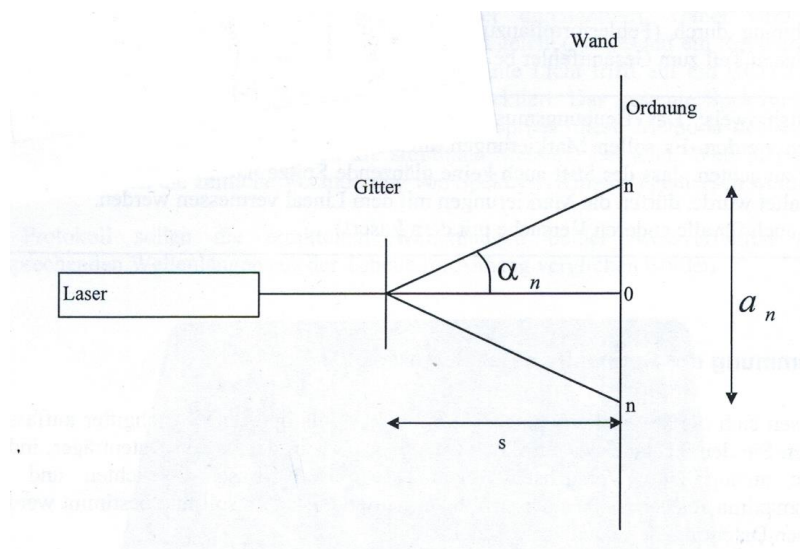


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Gitterkonstante (aus der Versuchsanleitung)

Für jedes Maximapaar der Ordnung n wird bis $n = 3$ jeweils der Abstand a_n zwischen den beiden Maxima gemessen. Mit dem Winkel α_n zwischen dem Laserstrahl und der

Strecke Gitter-Maximum kann dann die Gitterkonstante berechnet werden:

$$g = \frac{n\lambda}{\sin(\alpha_n)} \quad (1)$$

α_n wird mit dem konstanten Abstand s zwischen Gitter und Wand bestimmt durch $\tan(\alpha_n) = \frac{a_n}{2s}$, deshalb ergibt sich für g :

$$g = \frac{n\lambda}{\sin\left(\arctan\left(\frac{a_n}{2s}\right)\right)} \quad (2)$$

In diesem Versuch ist α_n klein, deshalb wird die Kleinwinkelnäherung $\tan(\alpha_n) \cong \sin(\alpha_n)$ verwendet:

$$g \cong \frac{n\lambda}{\tan\left(\arctan\left(\frac{a_n}{2s}\right)\right)} = \frac{2n\lambda s}{a_n} \quad (3)$$

2.2 Fehlerrechnung

Der Größtfehler Δg der Gitterkonstante mit Gleichung 3 beträgt

$$\Delta g = \left| \frac{\partial g}{\partial s} \right| \Delta s + \left| \frac{\partial g}{\partial a_n} \right| \Delta a_n = \left| \frac{2n\lambda}{a_n} \right| \Delta s + \left| 2n\lambda s \cdot \frac{-1}{a_n^2} \right| \Delta a_n = \frac{2n\lambda}{a_n} \cdot \left(\Delta s + \frac{s}{a_n} \Delta a_n \right)$$

Mit den Größtfehlern $\Delta s = 0,005m$ und $\Delta a_n = 0,002m$ ergeben sich die Werte aus Tabelle 1 für Δg .

2.3 Messwerte und Ergebnisse

Bekannte Wellenlänge des Lasers: $\lambda = 632,8nm = 6,328 \cdot 10^{-7}m$

Messung des Abstands Gitter-Wand: $s = 1,975m$ Tabelle 1 zeigt für jede Ordnung n die Abstandsmessung a_n zwischen den Maxima, das Ergebnis für g und den Größtfehler Δg .

Tabelle 1: Maxima-Abstand a_n , damit errechnete Gitterkonstante g und deren Größtfehler Δg nach Ordnungen n der Maxima

n	a_n [m]	g [m]	Δg [m]
1	0,248	$1,008 \cdot 10^{-5}$	$1,068 \cdot 10^{-7}$
2	0,504	$9,919 \cdot 10^{-6}$	$6,477 \cdot 10^{-8}$
3	0,773	$9,701 \cdot 10^{-6}$	$4,966 \cdot 10^{-8}$
Mittelwert		$9,900 \cdot 10^{-6}$	$7,364 \cdot 10^{-8}$

2.4 Ergebnisdiskussion

Der tatsächliche Wert für die Gitterkonstante ist mit $10\mu m = 10^{-5}m$ angegeben. Diesen unterschreitet der Mittelwert um 1% und liegt damit außerhalb des Größtfehlerintervalls. Diese Abweichung ist akzeptabel, da bei der Bestimmung von g die Kleinwinkelnäherung in Gleichung 3 statt der genauen Gleichung 2 genutzt wurde.

3 Bestimmung der Spurweite einer CD bzw. DVD

3.1 Versuchsdurchführung

Ziel des Versuches ist es, die Spurweite eines Datenträgers zu berechnen und damit zu bestimmen, ob es sich um eine CD oder um eine DVD handelt. Dazu wird dasselbe Vorgehen wie bei der Berechnung der Gitterkonstante im vorherigen Abschnitt angewandt, diesmal ist g die Spurweite. Es wird wieder der HeNe-Laser verwendet, die CD ersetzt das Gitter. Es werden nur die Maxima erster Ordnung betrachtet, da die Maxima höherer Ordnung nicht zu erkennen sind. Der Laser muss dieses Mal etwas näher zur Wand gerückt werden, da die Winkel α_n wesentlich größer als beim Gitter sind. Daher wird die Berechnung per Kleinwinkelnäherung (Gleichung 3) zu ungenau, stattdessen wird der genaue Wert mit Gleichung 2 berechnet.

3.2 Messwerte und Ergebnisse

Bekannte Wellenlänge des Lasers: $\lambda = 632,8nm = 6,328 \cdot 10^{-7}m$

Messung des Abstands CD-Wand: $s = 0,196m$

Abstand der Maxima: $a_n = 0,185m$

$$g = \frac{n\lambda}{\sin\left(\arctan\left(\frac{a_n}{2s}\right)\right)} = \frac{1 \cdot 6,328 \cdot 10^{-7}m}{\sin\left(\arctan\left(\frac{0,185m}{2 \cdot 0,196m}\right)\right)} = 1,483 \cdot 10^{-6}m$$

3.3 Ergebnisdiskussion

Da der tatsächliche Werte für die Spurweite einer CD mit $1,6\mu m = 1,6 \cdot 10^{-6}m$, einer DVD mit $0,74\mu m$ und einer Blu-ray mit $0,32\mu m$ in der Versuchsanleitung angegeben ist, muss es sich bei dem Datenträger um eine CD handeln. Die berechnete Spurweite unterschreitet die tatsächliche also um 7,3%. Gründe für diese Abweichung sind wohl Fehler bei der Messung von a_n und s , sowie eine nicht genau senkrechte Ausrichtung des Lasers zur Wand.

4 Spektralanalyse (Untersuchung einer unbekannten Lichtquelle)

4.1 Versuchsdurchführung

4.2 Messwerte und Ergebnisse

4.3 Ergebnisdiskussion

5 Beugungserscheinungen am Einzelspalt und an einem Haar

5.1 Versuchsdurchführung

In diesem Versuch beleuchten wir einen Einzelspalt mittels eines HeNe-Lasers. Wir beobachten hier, wie sich die Beugungserscheinungen bei unterschiedlichen Spaltbreiten verhalten. Mittels Photodiode erfassen wir die Positionen lokaler Minima. Später ersetzen wir den Einzelspalt mit einem Haar, und bestimmen dessen Durchmesser.

5.2 Messwerte und Ergebnisse

Tabelle 2: Gemessene Intensität zu deren Position

Position [mm]	Intensität [V]
0,5	0,04
1	0,06
1,5	0,33
2	0,85
2,5	1,17
3	0,94
3,5	0,37
4	0,09
4,5	0,86
5	2,44
5,5	3,54
6	3,47
6,5	1,9
7	0,7
7,5	3,51
8	13,77
8,5	13,77
9	13,77
9,5	13,77
10	13,78
10,5	13,78
11	13,78
11,5	13,77
12	13,77
12,5	11,23
13	2,16
13,5	0,82
14	2,74
14,5	4,22
15	3,95
15,5	2,4
16	0,9
16,5	0,23
17	0,55
17,5	0,99
18	1,1
18,5	0,8
19	0,35
19,5	0,08
20	0,07

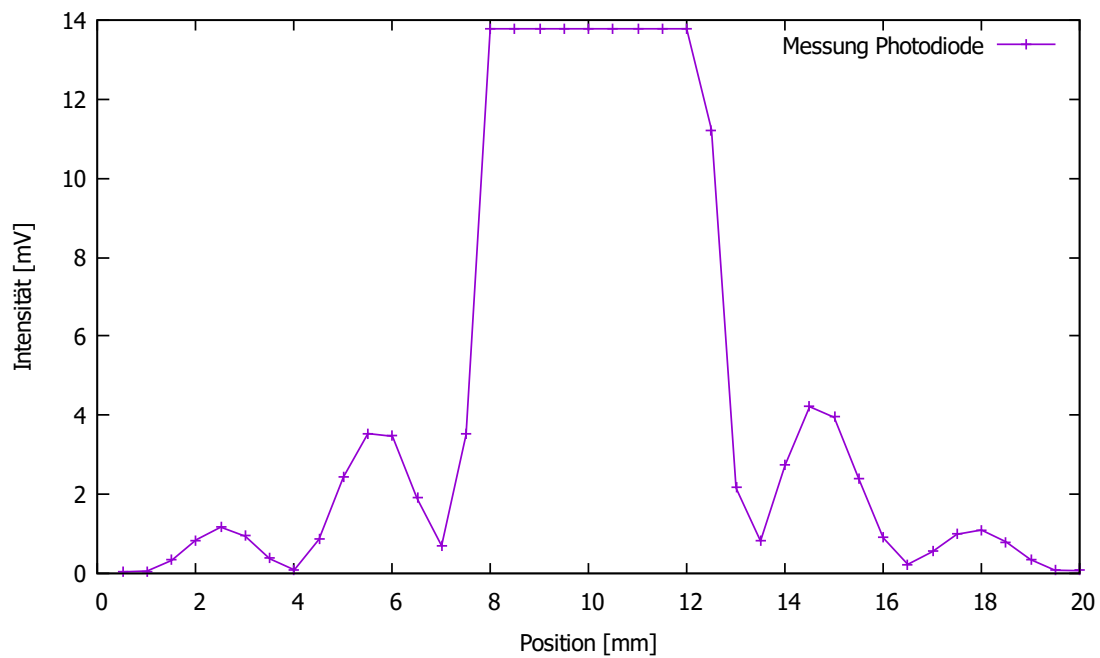


Abbildung 2: Visualisierung von Tabelle 2

Tabelle 3: Auswertung der Daten aus Tabelle 2 und Abbildung 2

Minima-Ordnung	Abstand Minima [m]	Spaltbreite [m]
1	0,018	0,000132888
2	0,034	0,000140704941176
3	0,051	0,000140704941176
Mittelwert		0,000138099294118

Tabelle 4: Auswertung des Beugungsmusters an einem Haar

Minima-Ordnung	Abstand Minima [m]	Spaltbreite [m]
1	0,032	7,8309E-05
2	0,064	7,8309E-05
3	0,096	7,8309E-05

5.3 Ergebnisdiskussion

Beim Herumexperimentieren mit der Spaltbreite des Einzelspalts ist uns aufgefallen, dass bei Verkleinerung des Spalts die Minima und Maximas n-ter Ordnung näher zu-

sammenrücken. Dies deckt sich mit Gleichung 2, in der zu sehen ist, dass die Abstände zwischen den Minimas proportional zu der Einzelspaltbreite verhält.

Mittels Tabelle 2 und Abbildung 2 erhalten wir eine Spaltbreite von

$d = \frac{3 \cdot 632,8 \cdot 10^{-9} m}{\sin \arctan \frac{0,02 m}{2 \cdot 0,776 m}} = 0,147 mm$. Durch messen erhalten wir aus Tabelle 3 eine Spaltbreite von $0,138 mm$. Somit weicht die mit der Photodiode gemessene Spaltbreite um $6,7\%$ von der per Lineal gemessenen ab. Die Messmethode mittels Photodiode ist viel genauer, da die Werte bei unserer Messung um $0,5 mm$ abweichen können, und bei der Messung mit dem Lineal war dies bei etwa $2 mm$.

Bei der Messung der Haarbrite (Tabelle 4) erhalten wir einen Wert von $7,8309 E - 05 m$. Dies ist im Rahmen von gängigen Haarbreiten.

6 Modellversuch zum Auflösungsvermögen des Mikroskops

6.1 Versuchsdurchführung

Hier bilden wir das mit dem Laser beleuchtete Gitter aus dem ersten Versuch auf die Wand ab, indem wir eine Linse der Brennweite $f = 20 mm$ zur Hilfe nehmen. Mit einer Irisblende blenden wir alle höheren Beugungsordnungen aus, sodass nur noch das Maxima 0. Ordnung hindurch passt. Danach werden wir auch Maxima 1. und höher durch die Blende hindurch lassen.

6.2 Ergebnisdiskussion

Es war keine Struktur zu erkennen, wenn man nur das Maxima 0. Ordnung durch die Blende liest. Bei hinzufügen von mehreren Maximas konnte man parallele Linien erkennen. Dies zeigt, dass man beim Mikroskopieren nur eine genaue Aussage über ein Objekt machen kann, wenn mehr als 1 Maxima abgebildet wird