

Versuch 3: Beugung und Brechung

Team 4-11: Jascha Fricker, Benedict Brouwer

24. März 2023

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	2
1.1	Beugung am Einfachspalt	2
1.2	Beugung am Gitter	2
1.3	Brechung am Prisma	2
2	Ergebnisse	2
2.1	Einfachspalt	2
2.2	Berechnung der Wellenlängen einer Hg Lampe	3
2.3	Prisma	4
3	Fragen	7

1 Theorie

In diesem Versuch wurde mit einem Einfachspalt, einem Gitter und einem Prisma Phänomene der Beugung und Brechung untersucht.

1.1 Beugung am Einfachspalt

Bei bestrahlung eines Einfachspalts (mit Spaltbreite d) mit kohärentem Licht der Wellenlänge λ entsteht auf dem Schirm mit Abstand l ein Beugungsbild bestehend aus Minima und Maxima mit Abstand s zum Maxima nullter Ordnung. Dessen Position kann mit folgenden Formeln berechnet werden:

$$\frac{n * \lambda}{d} = \sin \alpha \approx \tan \alpha = \frac{s_{Minima}}{l} \quad (1)$$

$$\frac{(n + \frac{1}{2}) * \lambda}{d} = \sin \alpha \approx \tan \alpha = \frac{s_{Maxima}}{l} \quad (2)$$

1.2 Beugung am Gitter

Wird ein Gitter mit Gitterkonstante a bestrahlt so entsteht auf dem Schirm ein charakteristisches Beugungsbild mit Hauptmaxima n -ter Ordnung mit Entfernung s zum Mittelpunkt. Deren Position kann berechnet werden mit:

$$\frac{n * \lambda}{a} = \sin \alpha \approx \tan \alpha = \frac{s_{Maxima}}{l} \quad (3)$$

1.3 Brechung am Prisma

Brechungsindex Der Brechungsindex n kann aus dem minimalen Ablenkungswinkel δ_{min} und dem Winkel e des Prismas mit der Formel

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\delta_{min} + e}{2}\right)}{\sin\left(\frac{e}{2}\right)} \quad (4)$$

berechnet werden.

2 Ergebnisse

2.1 Einfachspalt

In diesem Versuchsteil wurde mit einem Laser der Wellenlänge $\lambda = 532(1)\text{nm}$ ein Einfachspalt bestrahlt und dessen Beugungsbild untersucht. Dazu wurde bei drei unterschiedlichen Schirmabständen der Abstand der Minima der jeweiligen Ordnung zueinander gemessen. Bei der Auswertung wurde die Kleinwinkelnäherung angewendet, da im Extremfall $\arctan\left(\frac{s}{l}\right) = 1,1457^\circ$ und $\arcsin\left(\frac{s}{l}\right) = 1,1459^\circ$ was einer Abweichung von 0,017% entspricht. Die

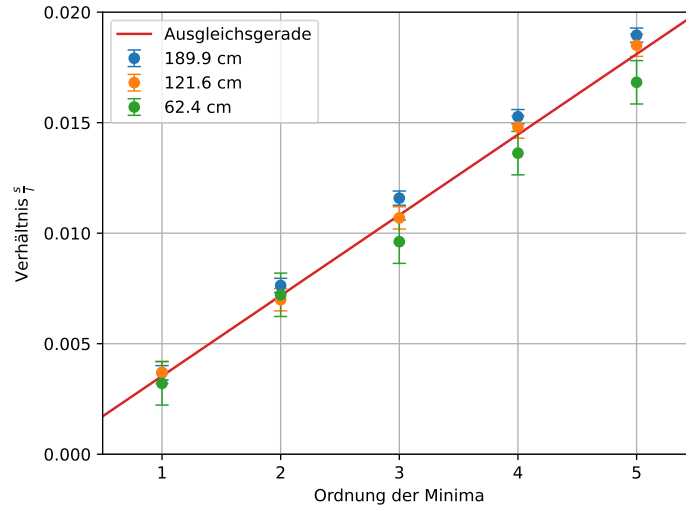


Abbildung 1: Messergebnisse des Einzelspalts

Messergebnisse wurden in Graph 1 geplottet und mit einer Ausgleichsgerade $a \cdot x + b$ mit den Parametern $a = 3,64(13) \cdot 10^{-3}$ und $b = -1,05 \cdot 10^{-4}$ gefittet. Mit diesen Parametern lässt sich aus Formel 1 und mithilfe der gaußschen Fehlerfortpflanzung die Spaltbreite berechnen zu $d = 146(5) \cdot 10^{-3}$. Die Fehlerbalken wurden mit dem Analogfehler eines Metermaßes (0,1 cm) und Fehlerfortpflanzung berechnet. Das Ergebnis scheint realistisch und auch der Fehler ist angesichts der Messmethode gerechtfertigt.

2.2 Berechnung der Wellenlängen einer Hg Lampe

Um die charakteristischen Wellenlängen einer Quecksilberdampf-Lampe zu bestimmen wird in diesem Versuchsteil deren Licht auf ein Gitter mit einer Gitterkonstante von $a = 10.00(02)\mu\text{m}$ gerichtet. Anschließend wurde bei drei unterschiedlichen Abständen der Abstand der Maxima gleicher Ordnung zueinander gemessen für drei der charakteristischen Wellenlängen. Hierbei kann nicht von der Kleinwinkelnäherung Gebrauch gemacht werden, da im Extremfall $\arctan\left(\frac{s}{l}\right) = 14.574^\circ$ und $\arcsin\left(\frac{s}{l}\right) = 15.070^\circ$ was einer Abweichung von 2,14% entspricht. Daher wurde in der Auswertung $\sin\left(\arctan\left(\frac{s}{l}\right)\right)$ gegen die Ordnung der Maxima für die drei Wellenlängen wie in den Graphen 2, 3 und 4 zu sehen aufgetragen. Dabei fällt auf, dass die Messwerte des Abstandes 26,15cm eine hohe Ungenauigkeit aufweisen, was vermutlich an dem kleineren Abstand der Maxima bei dieser Länge liegt. Mit den Parametern der Ausgleichsgeraden kann nun mit Formel 3 für jede Farbe die Wellenlänge berechnet werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 mit den Literaturwerten verglichen. Die Ergebnisse liegen nahe an den Literaturwerten allerdings mit

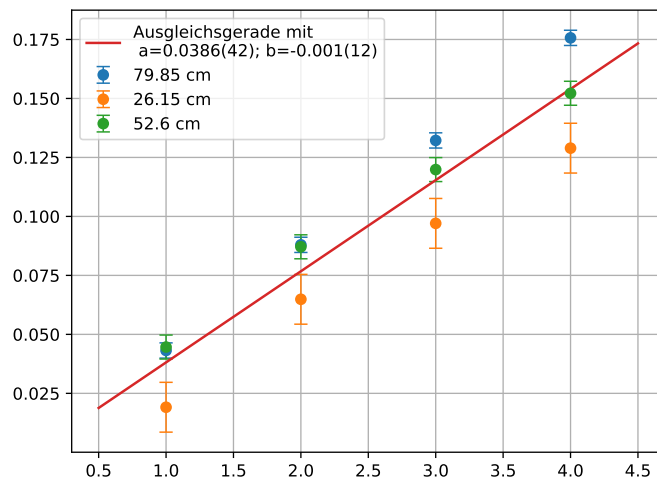


Abbildung 2: Messergebnisse am Gitter der blauen Wellenlänge

Farbe	Steigung der Ausgleichsgeraden	Wellenlänge λ in nm	Literaturwert λ_{lit} in nm [5]
Grün	0,0549(33)	549(33)	546
Blau	0,0386(42)	390(40)	405
Rot	0,0574(39)	570(40)	577 bzw. 579

Tabelle 1: Ergebnisse der Hg-Lampe

einem großen Fehler von bis zu 40 nm. Dieser lässt sich mit dem großen Fehler des Fits erklären aufgrund der großen Ungenauigkeit bei dem Abstand $a = 26,15\text{ cm}$. Zur Fehlerberechnung fließen die analogen Fehler (Metermaß 0,1 cm) in den Fehler des Fits mit ein, welcher dann mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung mit dem Fehler der Gitterkonstante kombiniert wird.

2.3 Prisma

In diesem Versuch wurde die Interaktion von Licht mit einem Prisma untersucht. Als erstes wird der Winkel des Prismas gemessen. Mit diesem und Licht mit bekannten Wellenlängen kann der Brechungsindex des Prismenmaterials in Abhängigkeit von der Wellenlänge bestimmt werden, indem der minimale Ablenkwinkel des Lichts durch das Prisma gemessen wird. Jetzt kann von unbekanntem Licht die Wellenlänge bestimmt werden.

Prismenwinkel Der Prismenwinkel e kann durch die Messung der beiden Reflektionswinkel $\phi = 124,10(2)^\circ$ und $\theta = 4,10(2)^\circ$ bei Beleuchtung genau

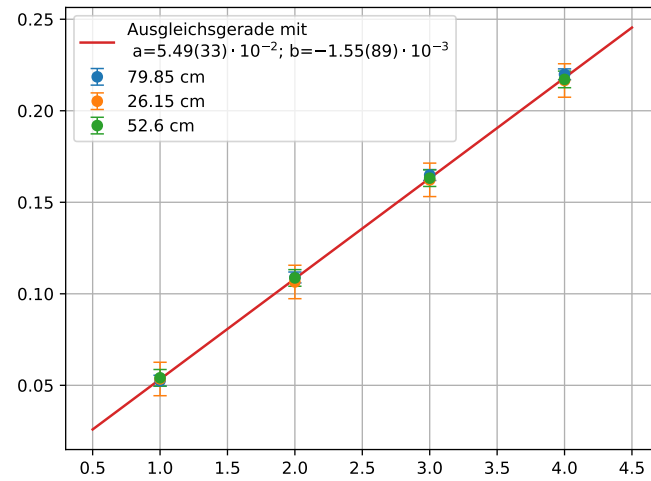


Abbildung 3: Messergebnisse am Gitter der grünen Wellenlänge

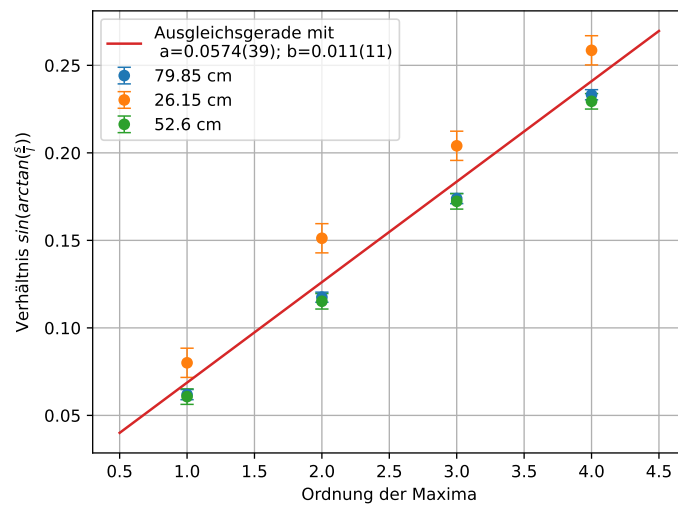


Abbildung 4: Messergebnisse am Gitter der roten Wellenlänge

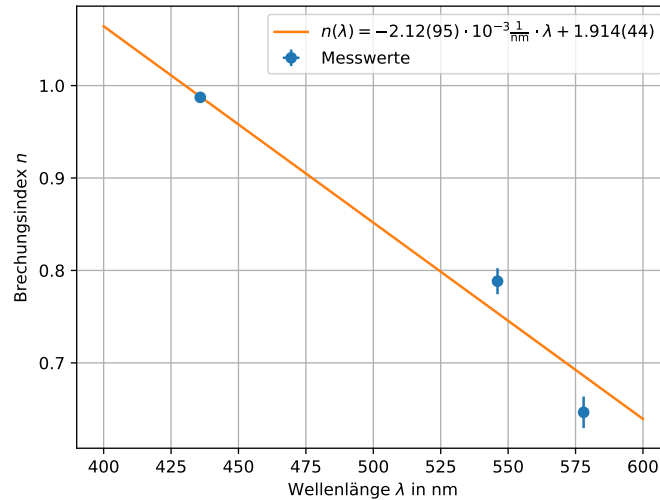


Abbildung 5: Brechungsindex des Prismas

auf die Kante des Prismas bestimmt werden. Es gilt

$$e = \frac{\phi - \theta}{2} = 60,000(14)^\circ . \quad (5)$$

Als Fehler wurde eine anaoge Ableseungenauigkeit von $0,1^\circ$ angenommen.

Brechungsindex Mit Formel 4 kann der Brechungsindex des Prismenmaterials in Abhängigkeit von der Wellenlänge berechnet werden. Die berechneten Werte und die gemessenen Werte sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Die Wellenlängenabhängigkeit kann durch eine Gerade genähert werden. Die und der Fit sind in Abbildung 5 gezeigt. Die gefittete Kurve stimmt nicht mit den Unsicherheiten überein. Das kann aber daran liegen, dass für die Winkelunsicherheit nur die digitale Unsicherheit von $0,1^\circ$ berücksichtigt wurde, also $0,04^\circ$ für die Differenz von zwei Messwerten.

Wellenlänge λ in nm [5]	Winkel	Brechungsindex n
577/579nm	$48,20(04)^\circ$	$0,647(017)$
546,07nm	$48,60(04)^\circ$	$0,788(014)$
435,83nm	$50,40(04)^\circ$	$0,987(005)$

Tabelle 2: Ergebnisse der Prisma Messung

Energiesparlampe Aus den gemessenen Winkeln lassen sich mit vorher berechneten gefitteten Gerade aus den Winkeln die Wellenlängen der

Linien berechnen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Die Wellenlängen passen zu den beobachteten Farben von grün und rot. Dadurch dass es viele verschiedene Bauarten von Energiesparlampen gibt, konnten keine eindeutigen Literaturwert gefunden werden, mit denen verglichen werden kann.

Wellenlänge λ in nm	Winkel	Brechungsindex n
515,4nm	48,7°	0,819
740,8nm	47,5°	0,340

Tabelle 3: Ergebnisse der Energiesparlampe

3 Fragen

1. Interferenzphänomene lassen sich am besten mit einer Lichtquelle demonstrieren, die eine hohe Kohärenz aufweist. Das bedeutet, dass das Licht aus einer einzigen Quelle stammt und die Wellenlängenunterschiede zwischen den einzelnen Wellenpaketen sehr gering sind. Ein Beispiel für eine solche Lichtquelle ist ein Laser [2].
2. Beugungserscheinungen treten nicht nur an Objekten auf, deren Abmessung in der Größenordnung der Lichtwelle liegt. Beugung ist eine wellentypische Erscheinung und tritt immer dann auf, wenn Licht auf ein Hindernis trifft. Die Beugung ist umso stärker, je kleiner das Hindernis im Vergleich zur Wellenlänge des Lichts ist [4].
3. Das Auflösungsvermögen eines Prismenspektrometers kann in der Praxis begrenzt sein durch die Qualität des Prismas, die Größe des Eintrittsspalt und die Qualität der Detektoren [3].
4. Unter Dispersion versteht man die Abhängigkeit des Brechungsindex eines Materials von der Wellenlänge des Lichts. Das bedeutet, dass sich das Licht unterschiedlicher Wellenlängen unterschiedlich stark brechen lässt [1].
5. Der Brechungsindex von Flintglas nimmt vom roten zum blauen Spektralbereich ab [1].
6. Der Verlauf der Funktion $n(\lambda)$ ist nicht linear, sondern hängt von der Art des Materials ab [3].

Literatur

- [1] Spektrum der Wissenschaft. Dispersion. <https://www.spektrum.de/lexikon/optik/dispersion/4212>, 2023.

- [2] Spektrum der Wissenschaft. Interferenzerscheinungen. <https://www.spektrum.de/lexikon/optik/interferenzerscheinungen/1450>, 2023.
- [3] Physikalisches Grundpraktikum. Versuch v-406: Prismenspektrometer. <https://www.physik.uni-jena.de/pafmedia/praktika/physikalisches-grundpraktikum/versuche-anleitungen/v-406.pdf>, 2023.
- [4] Lernhelfer. Beugung von licht. <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/beugung-von-licht>, 2023.
- [5] Wikipedia. Quecksilberdampflampe. <https://de.wikipedia.org/wiki/Quecksilberdampflampe>.