

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

LABORÜBUNGEN 2: ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS, OPTIK

Übungsnummer: PHYC03UF

Übungstitel: Gitter und Prisma

Betreuer: Nicole Oberth

Gruppennummer: 1

Name: PHILIPP Maximilian

Name: STARK Matthias

Mat. Nr.: 11839611

Mat. Nr.: 12004907

Datum der Übung: 12 November

WS 2021/2022

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
1.1	Gitter	3
1.2	Prisma	3
2	Grundlagen	4
2.1	Gitter	4
2.1.1	Beugung und Interferenz am Gitter	4
2.1.2	Dispersion und Auflösungsvermögen des Gitters	5
2.2	Prisma	7
2.2.1	Brechung und Dispersion	7
2.2.2	Strahlengang im Prisma	8
3	Versuchsanordnung	11
3.1	Gitter	11
3.2	Prisma	12
3.2.1	Messung des brechenden Winkels	12
3.2.2	Messung des minimalen Ablenkungswinkels	12
4	Geräteliste	15
5	Versuchsdurchführung & Messergebnisse	15
5.1	Gitter	15
5.1.1	Gitterkonstante	15
5.1.2	Wellenlänge	17
5.1.3	Auflösungsvermögen	18
5.2	Prisma	19
5.2.1	Brechender Winkel	19
5.2.2	Brechungsindex	19
5.2.3	Auflösungsvermögen	22
6	Auswertung	22
6.1	Gitter	23
6.1.1	Gitterkonstante	23
6.1.2	Wellenlänge	24
6.1.3	Auflösungsvermögen	24
6.2	Prisma	25
6.2.1	Brechender Winkel	25
6.2.2	Brechungsindex	25
6.2.3	Auflösungsvermögen	26
7	Diskussion	27
7.1	Gitter	27
7.2	Prisma	27
8	Zusammenfassung	29
8.1	Gitter	29
8.2	Prisma	30
9	Anmerkungen	30

1 Aufgabenstellung

1.1 Gitter

- Justieren des Spektrometers.
- Bestimmung der Gitterkonstante mittels einer Na-Dampflampe. Dabei sind die Wellenlängen der gelben Na-Doppellinien 5889.95 \AA und 5895.92 \AA .
- Bestimmung der Wellenlängen der gut sichtbaren Linien einer Spektrallampe.
- Berechnung des Auflösungsvermögens der Messanordnung.

1.2 Prisma

- Justieren des Spektrometers.
- Bestimmen Sie den brechenden Winkel des Prismas durch Messung des Reflexionswinkels. Die Messung ist fünfmal zu wiederholen, der Mittelwert für γ ist zu berechnen und die Unsicherheit von γ mit Hilfe der Messreihe anzugeben.
- Bestimmen Sie den Brechungsindex $n(\lambda_0)$ des Prismas für die sichtbaren Linien einer Hg-Dampflampe nach der Methode der minimalen Ablenkung, und zeichnen Sie die Dispersionskurve. Für die kürzeste und längste Wellenlänge ist die Messung 5 mal zu wiederholen. Die relative Unsicherheit der zugehörigen Brechungsindizes ist mittels der Messreihe anzugeben.
- Berechnen Sie das Auflösungsvermögen der Messanordnung für eine der beiden gelben Linien mittels der ermittelten Dispersionskurve.

2 Grundlagen

2.1 Gitter

2.1.1 Beugung und Interferenz am Gitter

Ein ebenes Strichgitter besteht aus lichtdurchlässigen Öffnungen und lichtundurchlässigen Balken, welche in genau gleichen Abständen abwechselnd aufeinander folgen (Abbildung 1). Praktisch wird ein solches Gitter z.B. durch eine Glasplatte realisiert, in welche mit einem Diamanten auf einer äußerst präzise arbeitenden Teilungsmaschine genau äquidistante Linien eingeritzt werden. Ein Gitter ist umso leistungsfähiger, je größer die geteilte Fläche und je kleiner die regelmäßige Teilung ist. Fällt Licht auf ein solches Gitter, so wird es gebeugt. Von jedem Punkt einer Öffnung gehen nach dem Huygens'schen Prinzip Kugelwellen aus, die sich je nach der Richtung und der Wellenlänge durch Interferenz verstärken oder abschwächen. Ein Bündel parallelen Lichtes falle senkrecht auf das Gitter (Abbildung 1). In der Richtung φ wird ein Maximum der Lichtintensität beobachtet, wenn der Gangunterschied Δ zwischen zwei von benachbarten Gitteröffnungen ausgehenden Elementarwellen gerade ein ganzes Vielfaches der Wellenlänge λ ist.

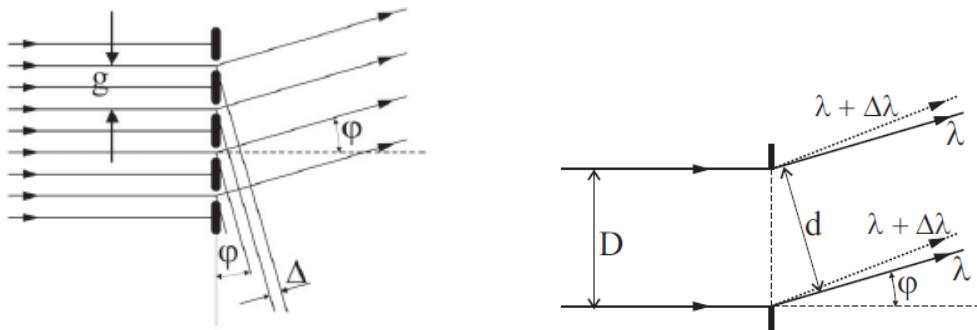


Abbildung 1: Paralleles Licht am Gitter. $\Delta = \text{Abbildung 2:}$ Zur Benennung der Variablen am $gsin(\varphi)$.

Ist g der Öffnungsabstand, die sogenannte Gitterkonstante, so ist der Gangunterschied:

$$\Delta = g \sin(\varphi) \quad (1)$$

Somit lautet die Bedingung für ein Helligkeitsmaximum der Wellenlänge λ :

$$z\lambda = g \sin(\varphi) \quad (2)$$

z ist eine ganze Zahl, und wird als Ordnungszahl des Beugungsmaximums bezeichnet. Fällt Licht auf das Gitter, welches sich aus verschiedenen Wellenlängen zusammensetzt, so entsteht in verschiedenen Richtungen gegen den einfallenden Strahl für jede Wellenlänge ein eigenes Beugungsmaximum. Eine Folge solcher Maxima, die zu verschiedenen Wellenlängen, d.h. Farben gehören, bezeichnet man als Spektrum. Den Ordnungszahlen $z = 1, 2, 3, \dots$ entsprechen die Spektren 1., 2., 3., ... Ordnung. Sie liegen bei senkrechtem Einfall des Lichtes symmetrisch zur Einfallsrichtung und entstehen unter umso

größerem Winkel φ , je höher die Ordnungszahl z ist. Spektren verschiedener Ordnung können sich teilweise überdecken, da nach Gl. (2) zum gleichen Winkel φ Beugungsmaxima verschiedener Ordnung für verschiedene Wellenlängen gehören.

2.1.2 Dispersion und Auflösungsvermögen des Gitters

Die Maxima der beiden um $\Delta\lambda$ verschiedenen Wellenlängen λ und $\lambda + \Delta\lambda$ werden durch das Gitter um den Winkel $\Delta\varphi$ getrennt (Abbildung 2). Ein Maß für die Auffächerung des Lichtes ist die Winkeldispersion. Sie ist definiert durch:

$$\lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta\lambda} = \frac{d\varphi}{d\lambda} \quad (3)$$

Für das Gitter erhält man

$$\frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{z}{g \cos(\varphi)} \quad (4)$$

indem man Gl. (2) nach φ differenziert, und den Kehrwert bildet. Eine ebenfalls wichtige Eigenschaft optischer Geräte ist ihr Auflösungsvermögen. Dieses gibt für dispergierende Systeme – hier ist es das Gitter – an, welche Wellenzüge mit der Wellenlänge λ und $\lambda + \Delta\lambda$ gerade noch aufgelöst, d.h. getrennt wahrgenommen werden können. Das Auflösungsvermögen ist umso größer, je kleiner das beobachtbare $\Delta\lambda$ ist, und ist definiert durch $\lambda/\Delta\lambda$. Die Grenze des optischen Auflösungsvermögens wird beim Gitter nicht nur durch die Dispersion sondern auch entscheidend durch die Begrenzung des durch das Gitter hindurchtretenden Strahlenbündels beeinflusst. Das Licht wird nämlich an der Begrenzung des Bündels gebeugt. Es entsteht daher auch ohne Gitter, allein durch die begrenzte Breite D des zur Verfügung stehenden Lichtbündels (Abbildung 2) Beugung und Interferenz, und daher eine Folge von Maxima und Minima. Die stärkste Begrenzung ist nach Abbildung 2 durch die Breite d gegeben.

Das erste Minimum findet man unter dem Winkel α , wobei gilt:

$$\lambda = d \sin(\alpha) \quad (5)$$

denn die Teilstrahlenbündel 1–6, 2–7, 3–8 usw. (Abbildung 3) heben sich gegenseitig auf, wenn ihr Gangunterschied $(d/2)\sin(\alpha)$ gleich $\lambda/2$ ist.

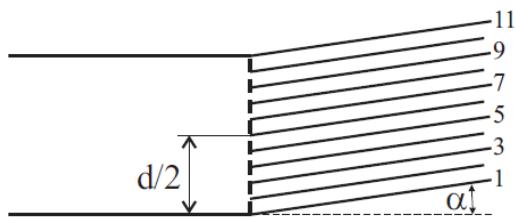


Abbildung 3: Aufspaltung am Gitter

Es ist nicht möglich, das Parallelstrahlenbündel eines Gegenstandspunktes exakt in einem Bildpunkt zu vereinigen. Das Bild eines Punktes hat vielmehr eine Intensitätsverteilung wie sie Abbildung 4 zeigt. Bei großer Bündelbreite d ist nach Gl. (5) der Abstand des ersten Minimums vom Hauptmaximum klein, sodass für viele Zwecke die Abbildung punktförmig angesehen werden kann. Wegen der Kleinheit von α bei großem d kann $\sin(\alpha) \approx \alpha$ gesetzt werden und Gl. (5) durch

$$\alpha = \frac{\lambda}{d} \quad (6)$$

ersetzt werden.

Zwei gegeneinander geneigte Lichtstrahlenbündel werden erfahrungsgemäß dann noch in zwei getrennt wahrnehmbare Bildpunkte A und B abgebildet, wenn das Hauptmaximum des einen Punktes mit dem ersten Minimum des zweiten Punktes zusammenfällt. Die Helligkeitskurve S (Abbildung 5) als Summe der beiden Intensitätskurven von Punkt A und B zeigt nämlich eine noch erkennbare Abschwächung in der Mitte. Die Strahlenbündel A und B in Abbildung 2 können daher dann noch getrennt beobachtet werden, wenn

$$\Delta\varphi \geq \alpha \quad (7)$$

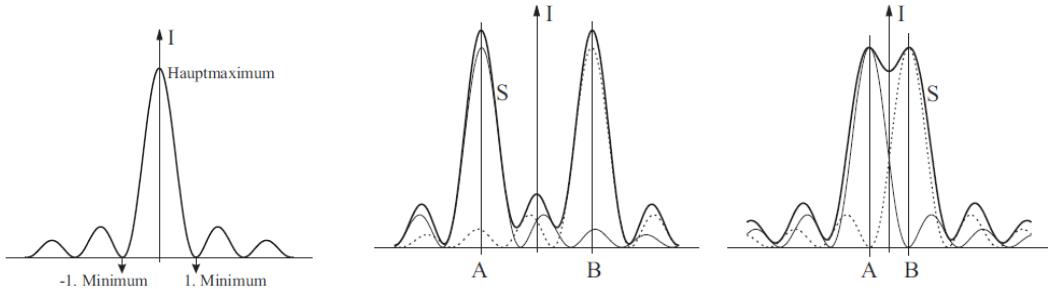


Abbildung
Intensitätsverlauf eines Lichtbündels am Gitter.

4: Abbildung 5: Intensitätsverläufe zweier gegeneinander geneigter Lichtbündel am Gitter, eines an der Auflösungsgrenze. Die Punkte werden so lange getrennt wahrgenommen, bis das Maximum von A am Ort des ersten Minimums von B ist.

Da $\Delta\varphi$ durch die Winkeldispersion des Gitters festliegt

$$\Delta\varphi = \frac{d\varphi}{d\lambda} \Delta\lambda \quad (8)$$

erhält man mit Gl. (6):

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = d \frac{d\varphi}{d\lambda} \quad (9)$$

Die Breite d des gebeugten Bündels hängt vom Winkel φ ab, unter dem es das Gitter verlässt (Abbildung 2):

$$d = D \cos(\varphi) \quad (10)$$

Mit Gl. (4) und (10) nimmt Gl. (9) folgende Gestalt an:

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{zD}{g} \quad (11)$$

D/g stellt die Anzahl N aller vom Licht getroffenen Gitterstriche dar. Man erhält schließlich:

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = zN \quad (12)$$

Die Größe $\lambda/\Delta\lambda$ wird Auflösungsvermögen genannt. Sie nimmt proportional mit der Strichzahl N des Gitters und der Ordnung des Spektrums zu.

2.2 Prisma

2.2.1 Brechung und Dispersion

Der Brechungsindex n eines Mediums ist das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeit c im Vakuum zur Lichtgeschwindigkeit u im Medium:

$$n = \frac{c}{u} \quad (13)$$

Der Gang eines monochromatischen (einfarbigen) Lichtstrahles der Frequenz ν durch verschiedene, nicht absorbierende, homogene und isotrope optische Medien wird durch ihre Brechungsindizes, sowie die geometrische Form und die Lage ihrer Begrenzungsfächen eindeutig festgelegt. An der Grenze zweier Medien mit verschiedenen Brechungsindizes n_1 und n_2 tritt stets Reflexion und Brechung auf (Abbildung 6). Während der reflektierte Strahl R mit dem Lot L stets denselben Winkel α bildet wie der einfallende Strahl E , lässt sich der Winkel β zwischen gebrochenem Strahl G und Lot nach dem Brechungsgesetz von Snellius berechnen.

$$n_1 \sin(\alpha) = n_2 \sin(\beta) \quad (14)$$

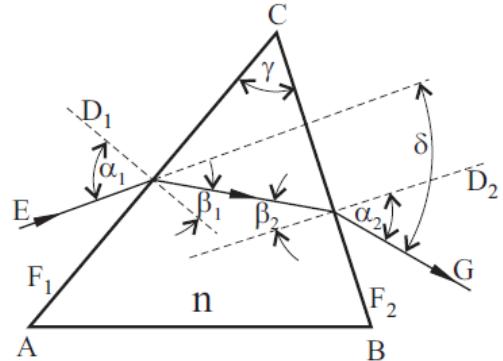
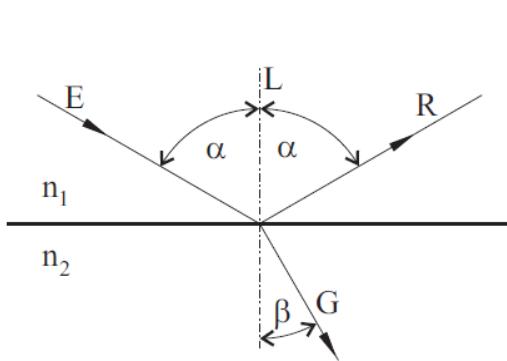


Abbildung 6: Reflexion und Brechung an einer Grenzfläche.

Abbildung 7: Strahlengang im Prisma.

Der Berechnungsindex von Vakuum wird willkürlich durch $n_0 = 1$ definiert. Daher tritt der Lichtstrahl aus dem Vakuum in das zweite Medium so ein, dass

$$n = \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} \quad (15)$$

gilt.

Diese Form gilt in guter Näherung auch für den Übergang des Lichtes aus einem gasförmigen Medium in ein flüssiges oder festes, da der Brechungsindex von Gasen nur sehr wenig von 1 verschieden ist. Die Abhängigkeit $n = n(\lambda)$ des Brechungsindex von der Wellenlänge in Luft (unter Normalbedingungen) bezeichnet man als Dispersionsrelation. Infolge der Dispersion der Brechungsindizes hängt der Brechungswinkel β nicht nur vom Einfallswinkel, sondern auch von der Wellenlänge des Lichtes ab. Mehrfarbiges Licht wird daher bei der Brechung stets in seine Bestandteile aufgespalten, d.h. spektral zerlegt.

Als Dispersion D bezeichnet man den Ausdruck

$$D = \frac{dn}{d\lambda} \quad (16)$$

also die Steigung der Dispersionskurve. Das Auflösungsvermögen eines Prismas ist durch

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = t \frac{dn}{d\lambda} \quad (17)$$

gegeben, mit t der Basislänge des wirksamen Strahlenbündels im Prisma.

2.2.2 Strahlengang im Prisma

Diese Übung befasst sich mit dem Strahlengang und der Dispersion eines Glasprismas in Luft (Abbildung 7). Ein monochromatischer Lichtstrahl E fällt unter dem Winkel α_1 auf der einen Seite F_1 (brechende Fläche) des Prismas ein, und verlässt das Prisma nach zweimaliger Brechung unter dem Winkel α_2 aus der Fläche F_2 . Der Lichtstrahl hat dabei eine Richtungsänderung um den Winkel δ erfahren. Der Winkel γ zwischen F_1 und F_2 heißt brechender Winkel. Der Ablenkungswinkel wird durch den brechenden Winkel γ und den Einfallswinkel α_1 sowie den Brechungsindex n bestimmt.

$$\delta = \delta(\gamma, \alpha_1, n) \quad (18)$$

Wegen der Dispersion ist er auch noch von der Farbe des Lichts abhängig. Durch Messung von δ, γ, α_1 bei einer gegebenen Wellenlänge λ kann daher

$$n(\lambda) = f(\delta, \gamma, \alpha_1) \quad (19)$$

ermittelt werden, wenn die Funktion $f(\delta, \gamma, \alpha_1)$ bekannt ist. Beim Ein- und Austritt des Strahls gilt das Brechungsgesetz:

$$\sin(\alpha_1) = n \sin(\beta_1) \quad , \quad \sin(\alpha_2) = n \sin(\beta_2) \quad (20)$$

Die Winkel $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \delta, \gamma$ sind außerdem durch rein geometrische Beziehungen miteinander verknüpft:

$$\beta_1 + \beta_2 = \gamma \quad (21)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \delta + \gamma \quad (22)$$

Die Winkel des Dreiecks D_1CD_2 sind $90^\circ - \beta_1$, $90^\circ - \beta_2$ und γ , und, da die Winkelsumme im Dreieck 180° beträgt, folgt aus $90^\circ - \beta_1 + 90^\circ - \beta_2 + \gamma = 180^\circ$ Gl. (21). Der Ablenkungswinkel beim Eintritt in das Prisma ist durch $\alpha_1 - \beta_1$ gegeben. Beim Austritt erfolgt eine weitere Ablenkung um $\alpha_2 - \beta_2$. Die gesamte Ablenkung

$$\delta = \alpha_1 - \beta_1 + \alpha_2 - \beta_2 \quad (23)$$

liefert unter Berücksichtigung von Gl. (21) die Beziehung Gl. (22). Um Gl. (18) zu finden, müssen die Gleichungen (20) (21) (22) verwendet werden. Addiert man die Gleichungen (20), so erhält man durch trigonometrische Umrechnung:

$$\sin(\alpha_1) + \sin(\alpha_2) = 2 \sin\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right) \cos\left(\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}\right) \quad (24)$$

wegen $\sin(\alpha_1) = n \sin(\beta_1)$ und $\sin(\alpha_2) = n \sin(\beta_2)$ ist:

$$\sin(\alpha_1) + \sin(\alpha_2) = n (\sin(\beta_1) + \sin(\beta_2)) = n 2 \sin\left(\frac{\beta_1 + \beta_2}{2}\right) \cos\left(\frac{\beta_1 - \beta_2}{2}\right) \quad (25)$$

Setzt man Gl. (21) und (22) ein, so gilt

$$\sin\left(\frac{\delta + \gamma}{2}\right) \cos\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right) = n \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \cos\left(\frac{\beta_1 - \beta_2}{2}\right) \quad (26)$$

oder

$$\sin\left(\frac{\delta + \gamma}{2}\right) = n \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \frac{\cos(\frac{\beta_1 - \beta_2}{2})}{\cos(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2})} \quad (27)$$

Um diese Gleichungen auf die Form nach Gl. (18) zu bringen, müsste β_1 , β_2 und α_2 durch γ , δ , α_1 und n ausgedrückt werden. Dies würde auf eine komplizierte Formel führen. Im Sonderfall des symmetrischen Strahlenganges

$$\alpha_1 = \alpha_2 \quad , \quad \beta_1 = \beta_2 \quad (28)$$

erhält man jedoch die einfache Gleichung

$$n = \frac{\sin(\frac{\gamma + \delta}{2})}{\sin(\frac{\gamma}{2})} \quad (29)$$

Der symmetrische Strahlengang ist durch einen minimalen Ablenkungswinkel gekennzeichnet. Es sei $\alpha_1 > \alpha_2$, dann ist wegen Gl. (21) auch $\beta_1 > \beta_2$. Somit gilt die Ungleichung $\alpha_1 + \beta_1 > \alpha_2 + \beta_2$. Da eine Ungleichung nach Äquivalenzumformungen erhalten bleibt, gilt auch $\alpha_1 - \alpha_2 > \beta_2 - \beta_1$ und $\cos(\alpha_1 - \alpha_2) < \cos(\beta_2 - \beta_1)$. Da die Kosinusfunktion symmetrisch ist, gilt:

$$\cos(\alpha_1 - \alpha_2) < \cos(\beta_1 - \beta_2) \quad (30)$$

Diese Ungleichung gilt auch für $\alpha_1 < \alpha_2$. Der Bruch auf der rechten Seite von Gl. (27) ist daher im allgemeinen größer als 1. Sein minimaler Wert ist eins bei symmetrischem Strahlendurchgang. Es hat dann auch die linke Seite von Gl. (27) ein Minimum:

$$\sin\left(\frac{\gamma + \delta}{2}\right) = \min \quad (31)$$

Da die Sinusfunktion zwischen 0° und 90° monoton steigend ist, kann in diesem Bereich ein Minimum nur auftreten, wenn das Argument ein Minimum hat: $(\gamma + \delta)/2 = \min$. Der brechende Winkel liegt fest, somit kann nur der Ablenkungswinkel den minimalen Argumentwert bewirken.

$$\delta = \min \quad (32)$$

Für den Bereich 90° bis 270° ist die Sinusfunktion monoton fallend. Ihr Minimum müsste daher durch ein Maximum des Arguments hervorgerufen werden. Da aber $\gamma + \delta \leq 180^\circ$ ($\alpha_1 \leq 90^\circ$), ist dieser Fall physikalisch nicht realisierbar.

Aufgrund von Gl. (29) lässt sich der Brechungsindex n eines Prismas als Funktion der Wellenlänge λ , d.h. der Farbe des Lichts einfach messen, indem man den brechenden Winkel γ , und für verschiedene Farben den minimalen Ablenkungswinkel ermittelt:

$$n(\lambda) = f(\delta, \gamma) \quad , \quad \delta = \min \quad (33)$$

Ein Vergleich mit Gl. (13) zeigt, dass das Aufsuchen der minimalen Ablenkung die Messung des Einfallswinkel α_1 ersetzt.

3 Versuchsanordnung

3.1 Gitter

Vor den Spalt SP des Kollimatorrohres K eines Spektrometers (Abbildung 8) wird eine Lichtquelle L gebracht. Das vom Kollimator kommende Parallelstrahlenbündel wird am Gitter G gebeugt, und die Interferenzbilder im Fernrohr F beobachtet. Der Spektrometertisch T besitzt eine Gradeinteilung W , sodass die Stellung des Fernrohrs mit Hilfe eines Nonius N abgelesen werden kann. Der Nonius ist mit dem Fernrohr verbunden. Er enthält 10 Teilstriche auf einer Teilungslänge von 9 Skalenteilen. Dadurch unterscheiden sich die beiden Skalen W und N um 0.1 Teilstrich pro Skalenteil. Deckt sich der i -te Teilstrich des Nonius mit einem Skalenstrich der Teilung W , so bedeutet dies, dass $0.1i$ Skalenteile zum Skalenwert c hinzuzuzählen sind.

Zur Bestimmung der Gitterkonstanten bringt man eine Lichtquelle bekannter Wellenlänge vor den Spalt des Kollimators, und misst den Ablenkungswinkel φ . Die Messung wird mit zunehmender Ordnung z genauer, denn die relative Unsicherheit von φ verkleinert sich mit zunehmendem Winkel, da man in jeder Stellung mit einer gleichbleibenden Ableseunsicherheit $\Delta\varphi$ rechnen kann. Durch Wahl von z und Messung des Winkels φ kann nach Gl. (1) bei bekannter Wellenlänge die Gitterkonstante berechnet werden. Bei bekannter Gitterkonstante g kann nun Gl. (1) zur Wellenlängenmessung benutzt werden.

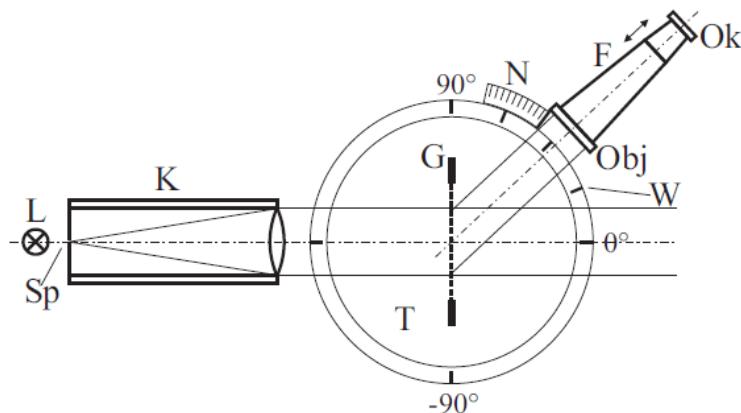


Abbildung 8: Aufbau zur Messung mit dem Gitter.

3.2 Prisma

3.2.1 Messung des brechenden Winkels

Das Prisma wird so auf den fixierten Spektrometertisch T gestellt, dass der zu messende Winkel γ auf das Spaltrohr K hinweist (Abbildung 9). Dann wird das Fernrohr F abwechselnd nach links und nach rechts so weit geschwenkt, bis man das Spiegelbild des mit der Lampe L beleuchteten Spaltes Sp im Fernrohr sieht, und mit dem Fadenkreuz zusammenfällt. Man liest die zugehörigen Stellungen der reflektierten Spaltbilder S_1 und S_2 an der Winkelteilung W des Spektrometertisches mit Hilfe des Nonius N ab. Durch diese beiden Ablesungen ist der Winkel zwischen den beiden reflektierten Strahlenbündeln bestimmt. Aus der geometrischen Anordnung und dem Reflexionsgesetz: Einfallswinkel = Reflexionswinkel folgt:

$$\gamma = \frac{\epsilon}{2} \quad (34)$$

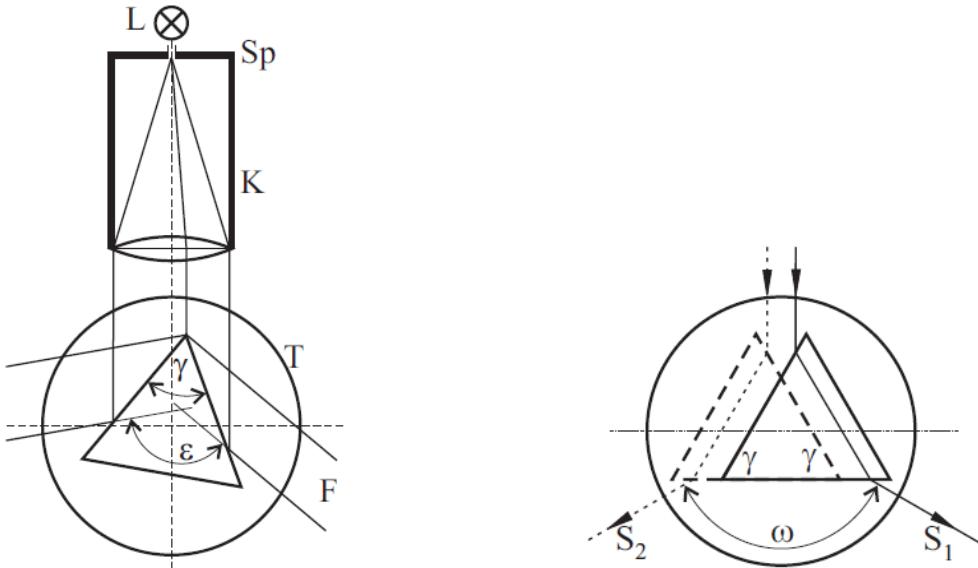


Abbildung 9: Messung des brechenden Win- **Abbildung 10:** Messung des minimalen Ablenkungswinkels.
kels. L Lampe, Sp Spalt, K Kollimator, T Teil- kreis, F zum Fernrohr.

3.2.2 Messung des minimalen Ablenkungswinkels

Man stellt das Prisma so auf den Spektrometertisch, dass das vom Spaltrohr kommende Licht auf eine der brechenden Flächen F_1 und F_2 einfällt, und sucht den gebrochenen Strahl. Man dreht nun das Prisma langsam und verfolgt die Bewegung des gebrochenen Strahles mit dem Fernrohr. Im Moment, in dem die Stellung minimaler Ablenkung durchlaufen wird, kehrt der Drehsinn des gebrochenen Strahles um. Durch Hin- und Herschwenken des Prismas lässt sich die genaue Minimumeinstellung sehr leicht feststel-

len. Diese besondere Lage S_1 des gebrochenen Strahles wird an der Winkelteilung des fixierten Spektrometertisches abgelesen (Abbildung 10). Man könnte nun das Prisma entfernen, und mit dem Fernrohr den ungebrochenen Strahl S_0 aufsuchen. Der Winkel δ zwischen diesen Lagen ist der gesuchte Ablenkungswinkel. Man führt die Messung jedoch besser in zwei zum einfallenden Strahl symmetrischen Lagen des Prismas durch. Man dreht daher das Prisma bei fixiertem Spektrometertisch, bis das Licht auf die zweite brechende Fläche fällt, und sucht wieder die Lage minimaler Ablenkung S_2 . Der Winkel ω zwischen diesen beiden Lagen ist aus Symmetriegründen gleich der doppelten minimalen Ablenkung. Es gilt daher:

$$\delta = \frac{\omega}{2} \quad (35)$$

Diese Methode liefert genauere Werte für δ . Die absolute Unsicherheit der Winkelmessung kann bei beiden Methoden gleich angenommen werden, der relative Unsicherheit der Messung von ω ist jedoch halb so groß.

Der Tatsächliche Versuchsaufbau ist in folgender Abbildung ersichtlich.



Abbildung 11: Versuchsaufbau, 1 beschreibt dabei die Na-Dampflampe, 2 die Spektrallampe, 3 dein Spektrometertisch, auf den sich die Gradeinteilung mit Nonius (4) und das Podest für das Gitter und Prisma (5) befindet, 6 der Kollimator und 7 das Fernrohr.

Das verendete Beugungsgitter und Prisma sind in folgender Abbildung sichtbar.

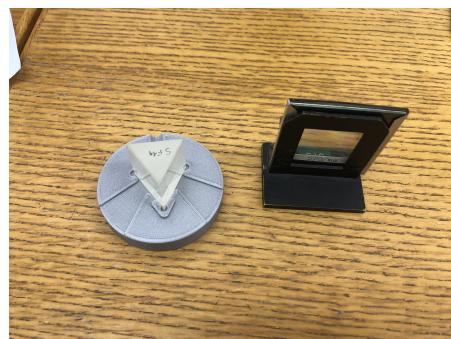


Abbildung 12: Verwendetes Beugungsgitter und Prisma

4 Geräteliste

Für die Messungen wurden folgende Geräte verwendet:

Tabelle 1: Verwendete Geräte

Gerät	Typ	Hersteller
Na-Dampflampe	SO 40 35 60-35 W (V/615/1)	Philips
Spektrallampe	58230AH/00	Philips
Beugungsgitter	G / 8	
Prisma	S F 11	
Spektrometertisch	V / 341	
Spalt		
Fernrohr		
Gradanzeige mit Nonius		
Kollimator		
Millimeterpapier		
Karte		

5 Versuchsdurchführung & Messergebnisse

Sofern es nicht anders angegeben ist, ist bei allen Winkelangaben von einer Unsicherheit von $\pm 0,2^\circ$ auszugehen.

5.1 Gitter

5.1.1 Gitterkonstante

Zunächst wird die Gitterkonstante des verwendeten Beugungsgitters bestimmt. Dazu wird die NA-Dampflampe als Lichtquelle für die Anordnung verwendet, weil diese annähernd monochromatisches Licht einer bekannten Wellenlänge aussendet. Der Mittelwert der Wellenlänge der Kennlinien beträgt laut Angabe 589,2935 nm [2].

Bei der NA-Dampflampe ist dabei zu beachten, dass diese bereits einige Minuten läuft, um dafür zu sorgen, dass ein konstantes Spektrum ausgestrahlt wird. Nun wird der Kollimator vor die Lichtquelle platziert, wie auch in Abbildung 11 sichtbar, und der Spalt so weit geschlossen, dass gerade noch eine scharfe Linie sichtbar wird. Nun wird der Winkel, unter welchem das Licht gebeugt wird, bestimmt. Dazu wird die ± 2 . Ordnung mit dem Fernrohr gesucht und mit den sich darin befindenden Fadenkreuz anvisiert, wie in Abbildung 13 ersichtlich.



Abbildung 13: mit Fadenkreuz anvisierte Beugungsordnung

Dadurch kann der entsprechende Winkel an der Gradeinteilung des Tisches abgelesen werden. Um einen Fehler durch eine eventuelle Verschiebung des Fadenkreuzes auszuschließen wird, wie bereits erwähnt, der Winkel der positiven und negativen Beugungsordnung notiert und der Mittelwert für die Berechnung verwendet. Diese Messung wird insgesamt 6 mal wiederholt, was folgende Werte liefert.

Tabelle 2: gemessene Werte der Winkel Na-Dampflampe

φ_r ... abgelesener Winkel nach rechts

φ_l ... abgelesener Winkel nach links

	$\varphi_r / {}^\circ$	$\varphi_l / {}^\circ$
0	42.1	317.3
1	42.0	317.4
2	41.9	317.4
3	42.0	317.3
4	42.0	317.3
5	41.9	317.2

5.1.2 Wellenlänge

Um die Wellenlängen der unterschiedlichen Farben zu bestimmen, wird die Na-Dampflampe durch die Spektrallampe ersetzt und die Apparatur wieder, wie bereits zuvor beschrieben aufgebaut.

Nun wird der Winkel der einzelnen Farben der 2. Beugungsordnung bestimmt, indem wieder das Fadenkreuz des Fernrohrs auf der entsprechenden Linie zentriert wird, wie beispielsweise in Abbildung 14 sichtbar.

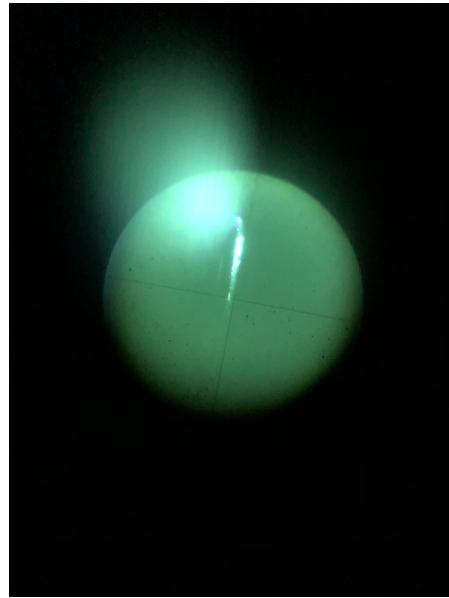


Abbildung 14: anvisieren der unterschiedlichen Farben mithilfe des Fadenkreuzes

Die so erhaltenen Werte für die Winkel sind in folgender Tabelle aufgelistet.

Tabelle 3: gemessene Winkel der verschiedenen Wellenlängen

φ_r ... abgelesener Winkel nach rechts

φ_l ... abgelesener Winkel nach links

	$\varphi_r / {}^\circ$	$\varphi_l / {}^\circ$
Violett	27.5	332.3
Blau	29.8	330.0
Türkis1	34.1	325.6
Türkis2	34.6	325.3
Grün	38.5	321.2
Orange1	41.1	318.5
Orange2	41.4	318.3
Rot1	43.9	315.8
Rot2	45.3	314.2

5.1.3 Auflösungsvermögen

Um das Auflösungsvermögen der Anordnung bestimmen zu können muss der Durchmesser des Kollimators bestimmt werden. Dazu wird Millimeterpapier vor den Kollimator gehalten, wodurch so durch abzählen der Kästchen der Durchmesser des Lichtkreises bestimmt werden kann. Die entsprechende Vorgehensweise ist in folgender Abbildung 15 sichtbar.

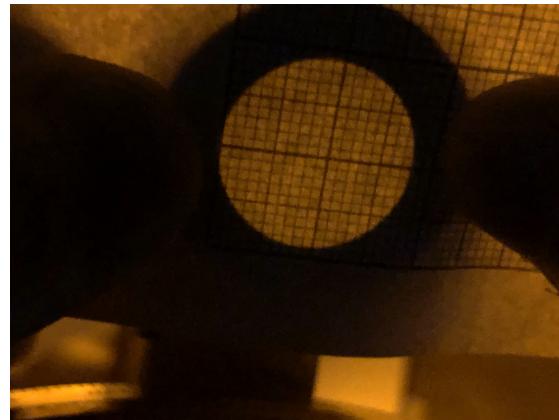


Abbildung 15: Bestimmung des Durchmessers des Kollimators mithilfe von Millimeterpapier

Anhand der oben ersichtlichen Abbildung wird nun der Durchmesser des Kollimators anhand der Pixelanzahl bestimmt und so anhand des Maßstabs des Millimeterpapiers auf die Größe geschlossen, was einen Durchmesser von

$$D = (1,809 \pm 0,016) \text{ cm} \quad (36)$$

liefert.

5.2 Prisma

5.2.1 Brechender Winkel

Um den brechenden Winkel des Prismas zu bestimmen, wird dieses auf den Sockel des Spektrometertisches gestellt, sodass die Spitze des Prismas direkt auf die Lichtquelle zeigt. Dadurch entstehen 2 Lichtpunkte, deren Winkel erneut mithilfe des Fernrohrs bestimmt werden müssen. Diese Messung wird auch nach vorsichtigen Verrücken des Prismas mehrmals wiederholt, wodurch folgende Werte entstehen.

Tabelle 4: gemessene linke und rechte Winkel des abgelenkten Strahls

φ_r ... abgelesener Winkel nach rechts

φ_l ... abgelesener Winkel nach links

	$\varphi_r / {}^\circ$	$\varphi_l / {}^\circ$
0	56.7	297.0
1	59.8	300.1
2	54.5	295.3
3	64.5	304.8
4	64.4	304.6

5.2.2 Brechungsindex

Um den Brechungsindex zu bestimmen, wird das Prisma, wie in Abbildung 16 sichtbar, mit der matten Seite in den Strahlengang gestellt, wodurch sich das weiße Licht der Lampe in seine Spektralen Bestandteile zerlegt, wie in Abbildung 17 sichtbar.

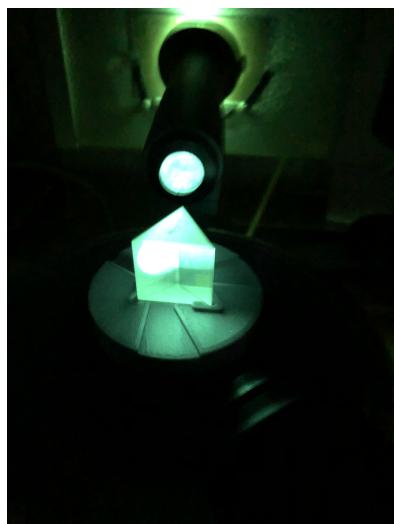


Abbildung 16: Prisma in Strahlengang

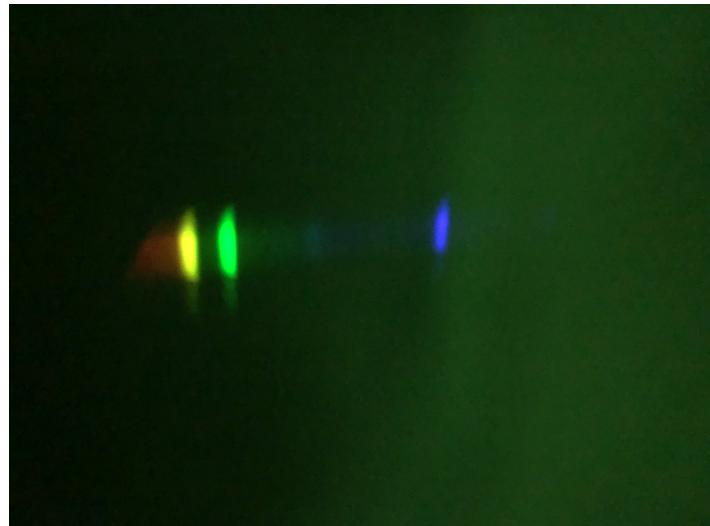


Abbildung 17: Spektrale Aufteilung des weißen Lichts

Tabelle 5: gemessene linke und rechte Winkel des zerlegten Strahls bei der entsprechenden Wellenlänge φ_r ... abgelesener Winkel nach rechts φ_l ... abgelesener Winkel nach links

	$\varphi_r / {}^\circ$	$\varphi_l / {}^\circ$
Dunkelrot	64.6	295.4
Rot	65.1	294.6
Gelb1	65.9	294.0
Gelb2	66.0	293.8
Grün	66.8	293.1
Blaugrün	68.5	291.4
Indigo	71.4	287.6
Violett1	73.9	286.3
Violett2	74.2	286.0

Um den Fehler der durch das Einrichten des Prismas entsteht möglichst gering zu halten, wird die Messung noch weitere 5 mal wiederholt.

Jedoch wurden hier nur die Winkel der am weitesten außen liegenden Farben, also Dunkelrot und Violett, notiert, wodurch folgende Tabelle entsteht.

Tabelle 6: gemessene linke und rechte Winkel des zerlegten Strahls bei den außenliegenden Wellenlängen φ_r ... abgelesener Winkel nach rechts bei der entsprechenden Farbe φ_l ... abgelesener Winkel nach links bei der entsprechenden Farbe

	$\varphi_{\text{Violett}_r} / {}^\circ$	$\varphi_{\text{Violett}_l} / {}^\circ$	$\varphi_{\text{Dunkelrot}_r} / {}^\circ$	$\varphi_{\text{Dunkelrot}_l} / {}^\circ$
0	74.2	286.0	64.6	295.4
1	73.9	285.9	64.2	295.4
2	75.8	286.0	64.4	295.3
3	74.1	286.0	64.4	295.3
4	74.8	285.1	64.9	295.5
5	74.0	285.8	64.4	295.6

Die Mittelwerte sind:

$$\varphi_{\text{Dunkelrot}} = (64,53 \pm 0,05)^\circ$$

$$\varphi_{\text{Violett}} = (74,33 \pm 0,17)^\circ$$

Weil die dunkelrote Linie sehr schwer eindeutig zu bestimmen ist, empfiehlt es sich dabei die Intensität durch Variation der Spaltbreite anzupassen und die orangen Linien mithilfe einer Karte abzudecken um so die roten Linien besser identifizieren zu können, ohne dem

Auge dabei zu große Qualen auszusetzen. Dieses einschieben der Karte ist in folgender Abbildung 18 sichtbar.

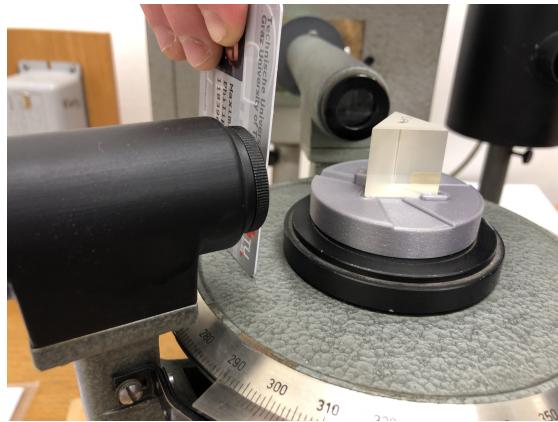


Abbildung 18: Einschieben einer Karte um die intensiveren Spektren auszublenden

5.2.3 Auflösungsvermögen

Um des Auslösevermögen bestimmen zu können, muss nur der Durchmesser des Kolimators gemessen werden. Da es sich dabei um den selben wie zuvor handelt wird hier auch der, zuvor mithilfe von Millimeterpapier bestimmte, Wert von $(1,809 \pm 0,016)$ cm übernommen.

6 Auswertung

Um zu sehen wie sich die Unsicherheit der Messungen bis in die Ergebnisse fortpflanzt, ist Gleichung 37 verwendet worden. Die Grundlagen dieser Gleichung stammen von den Powerpointfolien von GUM.[5] Die Verallgemeinerung ist von Wikipedia entnommen worden [1]. Für die Auswertung ist die Programmiersprache Python im speziellen das Packet `scipy`, zur Hilfe genommen worden.

$$V_y = J(x) \cdot V_x \cdot J^T(x) \quad (37)$$

Wobei V_y und V_x die Kovarianzmatrizen von den Vektoren \mathbf{y} und \mathbf{x} sind. \mathbf{x} ist der Vektor der Eingangsvariablen und \mathbf{y} ist der Vektor der Ausgangsvariablen. J ist die Jakobimatrix der vektorwertigen Funktion $\mathbf{y} = \vec{F}(\mathbf{x})$. So lassen sich die Komponenten der Matrix relativ einfach anschreiben $J_{ij}(x) = \frac{\partial y_i}{\partial x_j}(x)$. Damit man die Unsicherheit der einzelnen Variablen y_i bekommt, muss nur die Quadratwurzel des i-ten Diagonalelementes der \mathbf{y} -Kovarianzmatrix genommen werden $u_i = \sqrt{\text{diag}(V_y)_i}$. Da in diesem Experiment meistens nur skalare Funktionen untersucht werden, vereinfacht sich die Gleichung 37 dramatisch und die Unsicherheit der Variable y lässt sich einfach so berechnen:

$$u_y = \sqrt{\text{grad}y^T \cdot V_x \cdot \text{grad}y} \quad (38)$$

Für die erhaltenen Werte wurde von einer Normalverteilung ausgegangen, weshalb der jeweilige student t Korrekturfaktor für ein 3σ Konfidenzintervall verwendet werden muss.

Es wurde jedes mal der doppelte Winkel gemessen. Um dann auf die gesuchten Winkel zu kommen wurden diese so berechnet

$$\phi = (\phi_r + 360 - \phi_l)/2 \quad (39)$$

6.1 Gitter

6.1.1 Gitterkonstante

Der Winkel wurde mit folgender Gleichung berechnet. Daraus wurde dann g bestimmt, indem Gleichung 2 auf g umgeformt wird.

$$g = 2 * (5880.95 + 5895.92) / (2 * \sin(pi * phi / 180) * 10 ** 7) \quad (40)$$

So kommt man auf folgende Werte:

Tabelle 7: erhaltene Gitterkonstanten und Winkel zweite Ordnung

φ ... erhaltener Winkel 2. Ordnung

g ... erhaltene Gitterkonstante

Δ ... entsprechende Unsicherheit

	$\varphi / {}^\circ$	$\Delta\varphi / {}^\circ$	g / mm	$\Delta g / \text{mm}$
0	42.40	0.2	0.001747	0.000007
1	42.30	0.2	0.001750	0.000007
2	42.25	0.2	0.001752	0.000007
3	42.35	0.2	0.001748	0.000007
4	42.35	0.2	0.001748	0.000007
5	42.35	0.2	0.001748	0.000007

Daraus wurde der Mittelwert bestimmt, was folgenden Wert ergibt:

$$\bar{g} = (0,001\,748\,8 \pm 0,000\,000\,7) \text{ mm} \quad (41)$$

Da g nun bekannt ist, kann auch auf die Verdrehung des Gitters zurückgeschlossen werden, indem die echte Gitterkonstante durch den erhaltenen Wert dividieren und davon der arccos genommen wird, was im folgenden sichtbar ist.

$$\bar{\varphi}_0 = \arccos\left(\frac{g'}{g}\right) = (4,6 \pm 0,3)^\circ \quad (42)$$

Dadurch erhält man eine Verschiebung von ungefähr $(4,6 \pm 0,3)^\circ$ zur perfekten frontal Einstellung. Diese Information kann verwendet werden um das Gitter perfekt orthogonal einzurichten indem die maximale Gitterkonstante g gefunden wird.

6.1.2 Wellenlänge

Für die folgenden Berechnungen muss $z = 2$ angenommen werden, da immer die zweite Ordnung bestimmt wurde.

Nun wird der Mittelwert von g in verwendet, indem Gleichung 11 auf λ umgeformt wird, was folgende Werte liefert.

Tabelle 8: Berechnete Wellenlängen anhand der Gitterkonstanten und der gemessenen Winkel zweite Ordnung

φ ... erhaltener Winkel 2. Ordnung

λ ... erhaltene Wellenlänge

Δ ... entsprechende Unsicherheit

	$\varphi / {}^\circ$	$\Delta\varphi / {}^\circ$	λ / nm	$\Delta\lambda / \text{nm}$
Violett	27.60	0.2	405	3
Blau	29.90	0.2	436	3
Türkis1	34.25	0.2	492	3
Türkis2	34.65	0.2	497	3
Grün	38.65	0.2	546	3
Orange1	41.30	0.2	577	3
Orange2	41.55	0.2	580	3
Rot1	44.05	0.2	608	3
Rot2	45.55	0.2	624	3

6.1.3 Auflösungsvermögen

Auch hier wurde wieder $z = 2$ angenommen, da die zweite Ordnung gemessen wurde. Der bestimmte Mittelwert von der Gitterkonstante g und Dicke des Rohrs wurden mit Gleichung 11 verwendet um folgende Werte zu erhalten.

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = z \frac{D}{g} = 2 \frac{18,09 \pm 0,16}{0,001\,748\,8 \pm 0,000\,000\,7} = (2,069 \pm 0,018) \cdot 10^4 \quad (43)$$

6.2 Prisma

6.2.1 Brechender Winkel

Auch hier wurden wieder Gleichung 39 und Gleichung 34 verwendet, um auf folgende Werte zu kommen.

Tabelle 9: bestimmte Werte für den brechenden Winkel

γ ... erhaltener Wert für den brechenden Winkel

Δ ... entsprechende Unsicherheit

	$\gamma / {}^\circ$	$\Delta\gamma / {}^\circ$
0	59.85	0.2
1	59.85	0.2
2	59.60	0.2
3	59.85	0.2
4	59.90	0.2

Daraus wird wieder der Mittelwert gebildet was folgenden Wert ergibt.

$$\gamma = (59,81 \pm 0,05) {}^\circ \quad (44)$$

6.2.2 Brechungsindex

Der Winkel wurde mit Gleichung 39 berechnet und dann mittels γ in Gleichung 29 verwendet, um folgende Werte zu erhalten.

Tabelle 10: erhaltene Brechzahlen

δ ... gemessener Winkel

λ ... gegebene Wellenlänge

n ... erhaltene Brechzahl

n_{theo} ... verglichene Literaturwerte [4]

Δ ... entsprechende Unsicherheit

	$\delta / {}^\circ$	$\Delta\delta / {}^\circ$	$\lambda / \mu\text{m}$	$n / 1$	$\Delta n / 1$	$n_{theo} / 1$
0	64.53	0.05	0.6908	1.7738	0.0011	1.7726
1	65.25	0.2	0.6234	1.7796	0.0017	1.7798
2	65.95	0.2	0.5791	1.7852	0.0016	1.7860
3	66.1	0.2	0.5770	1.7864	0.0016	1.7864
4	66.85	0.2	0.5461	1.7924	0.0016	1.7919
5	68.55	0.2	0.4916	1.8055	0.0016	1.8048
6	71.9	0.2	0.4358	1.8304	0.0015	1.8252
7	73.8	0.2	0.4078	1.8436	0.0014	1.8401
8	74.33	0.17	0.4045	1.8451	0.0013	1.8422

Füttet man nun die erhaltenen Werte an die “Sellmeier - Kurve“, bekommt man folgende Abbildung 19:

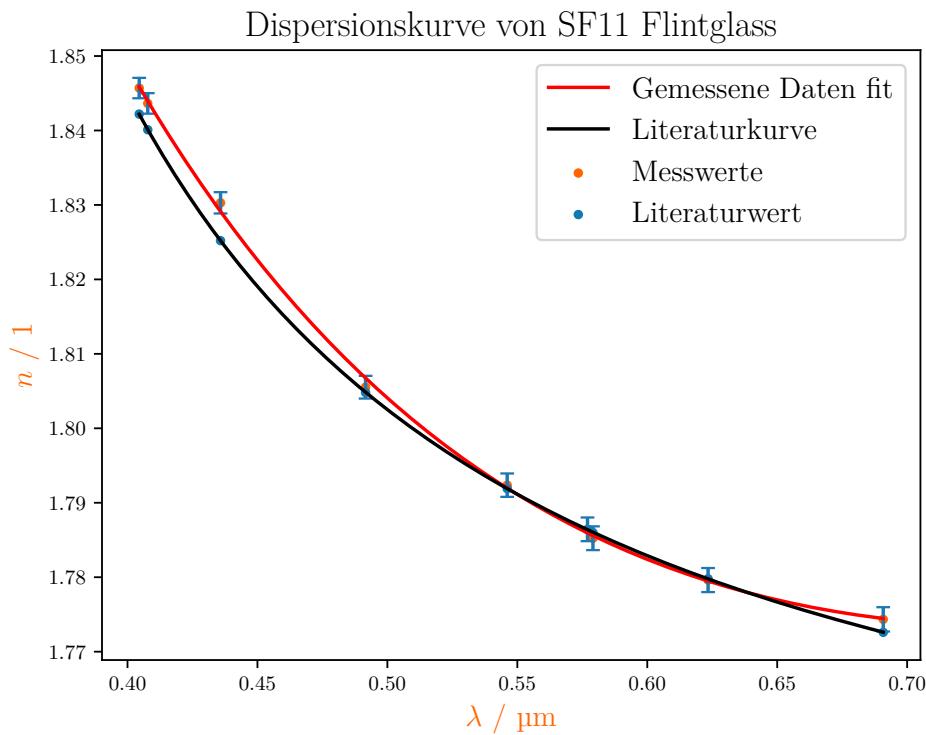


Abbildung 19: erhaltene Dispersionkurve

Die theoretische Kurve wurde ebenfalls geplottet mit:

$$n^2 - 1 = \frac{1.73848403\lambda^2}{\lambda^2 - 0.0136068604} + \frac{0.311168974\lambda^2}{\lambda^2 - 0.0615960463} + \frac{1.17490871\lambda^2}{\lambda^2 - 121.922711} \quad (45)$$

6.2.3 Auflösungsvermögen

Die Dispersion bei einer Wellenlänge von 0.0005791mm wurde aus der gefitteten Dispersionkurve gemessen, was folgende Werte liefert.

$$\frac{dn}{d\lambda} = (167,69 \pm 0,05) \frac{1}{\text{mm}} \quad (46)$$

Das Auflösungsvermögen bei einer Wellenlänge von 0,0005791 mm und einem $t = (18,09 \pm 0,16)$ mm ist gleich der Dicke des Strahlbündels laut Tutor, was folgende Berechnungen ermöglicht:

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = t \left| \frac{dn}{d\lambda} \right| = 3034 \pm 27 \quad (47)$$

7 Diskussion

Die Winkelmessungen auf der linken und rechten Seite stellen sicher, dass eine Fehljustierung oder Verschiebung des Fadenkreuzes ausgeschlossen werden kann, da nur der Relativwinkel, als Differenz der beiden Messungen bei den darauf folgenden Berechnungen verwendet wird.

Auch ist die Gradmessung aufgrund des Nonius relativ genau gelungen. Diese könnte jedoch bei Verwendung eines Tisches mit genauerer Gradauflösung noch genauer sein. Um die Unsicherheit zusätzlich zu verringern wurde immer von den 2. Beugungsordnungen aus gemessen.

Ein weiterer Verbesserungsvorschlag wäre computerunterstützte Messungen durchzuführen, um so beispielsweise den Umkehrpunkt für das Prisma oder die genaue Ausrichtung des Fadenkreuzes auf die Spektralen Linien noch genauer zu bestimmen. Diese würden dann über noch genauere Gradsensoren verfügen und so den entstehenden Messfehler deutlich senken.

Die Bestimmung des Durchmessers des Kollimatorrohrs konnte aufgrund des Millimeterpapiers als Maßstab sehr genau bestimmt werden.

7.1 Gitter

Der invertierte Wert der Gitterkonstante von $(572 \pm 4) \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$ entspricht dem auf den Gitter angeschriebenen Wert von $570 \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$.

Vergleicht man die erhaltenen Werte aus Tabelle 8 mit den angegebenen Werten aus der Vorlage [2], die in Tabelle 10 zu finden sind, ist sichtbar, dass alle erhaltenen Werte außer "Rot 1" im Fehlerintervall enthalten sind. Dies ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass der genaue Winkel bei rot nur sehr schwer zu bestimmen war.

7.2 Prisma

Der erhaltene Wert für den brechenden Winkel des Prismas γ sollte aufgrund der Eigenschaften eines gleichseitigen Prismas 60° betragen. [3] Der Literaturwert ist also im erhaltenen Fehlerintervall von $(59,8 \pm 1,0)^\circ$ enthalten.

Da zuerst davon ausgegangen wurde, dass der erhaltene Wert zu hoch sei, wurde nochmals alle Schritte durchgegangen, um mögliche Fehler ausfindig zu machen. Zusätzlich wurde Versucht durch Translationen die Grenzen der Fehler zu untersuchen, was schlussendlich zur Erkenntnis führte, dass die Durchführung nicht perfekt sein muss, um gute Werte zu erhalten.

Da so der vermeintliche Fehler nicht erklärt werden konnte, wurde der Versuch nochmals unter Verwendung eines anderen Prismas stichprobenartig durchgeführt, was jedoch auch die selben Werte lieferte.

Durch Gründliche Literaturrecherche wurde in Erfahrung gebracht, dass die Beschriftung des Prismas Aufschluss über das Material des Prismas gibt.



Abbildung 20: Prisma mit Beschriftung anhand der das Material bestimmt werden kann

Beim Material des Prismas handelt es sich um Flintglas SF 11 die entsprechenden Brechungsindizes der jeweiligen Wellenlängen sind in Tabelle 10 den erhaltenen Werten gegenübergestellt. [4]

Dieser Vergleich zeigt, dass die erhaltenen Werte genau in der richtigen Größenordnung liegen und die Literaturwerte im Fehlerintervall enthalten sind. Der Fit zeigt vor allem im mittleren Bereich eine große Übereinstimmung mit den Literaturwerten, die sogar in den Fehlerintervall enthalten sind. Für hohe und niederfrequente Bereiche weichen die erhaltenen Werte jedoch von der theoretischen Kurve ab.

Da die Kurve im Bereich von gelben Licht sehr gut mit der theoretischen Kurve übereinstimmt, kann die Dispersion bei diesen Wellenlängen, und dadurch auch das Auflösungsvermögen, sehr genau bestimmt werden, siehe Abbildung 19.

8 Zusammenfassung

8.1 Gitter

Für die Gitterkonstante g wurde folgender Wert bestimmt:

$$g = (0,001\,748\,8 \pm 0,000\,000\,7) \text{ mm}$$

Anhand der Beugungswinkel wurden folgende Wellenlängen für die verschiedenen Farbeindrücke gemessen:

Tabelle 11: Berechnete Wellenlängen für die verschiedenen Farbeindrücke

λ ... erhaltene Wellenlänge

Δ ... entsprechende Unsicherheit

	λ / nm	$\Delta\lambda / \text{nm}$
Violett	405	3
Blau	436	3
Türkis1	492	3
Türkis2	497	3
Grün	546	3
Orange1	577	3
Orange2	580	3
Rot1	608	3
Rot2	624	3

Für das Auflösungsvermögen des Gitters ergibt sich schließlich folgender Wert:

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = (2,069 \pm 0,018) \cdot 10^4$$

8.2 Prisma

Für den Brechenden Winkel des Prismas γ ergibt sich folgender Wert:

$$\gamma = (59,81 \pm 0,05)^\circ$$

Für den Brechungsindex des Prismas ergeben sich folgende Werte:

Tabelle 12: erhaltene Brechzahlen

λ ... gegebene Wellenlänge

n ... erhaltene Brechzahl

Δ ... entsprechende Unsicherheit

$\lambda / \mu\text{m}$	$n / 1$	$\Delta n / 1$
0.6908	1.7738	0.0011
0.6234	1.7796	0.0017
0.5791	1.7852	0.0016
0.5770	1.7864	0.0016
0.5461	1.7924	0.0016
0.4916	1.8055	0.0016
0.4358	1.8304	0.0015
0.4078	1.8436	0.0014
0.4045	1.8451	0.0013

Für das Auflösungsvermögen des Prismas ergibt sich schließlich folgender Wert:

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = 3034 \pm 27$$

9 Anmerkungen

Die ersten 3 Kapitel, sowie die dazugehörigen Abbildungen, wurden nicht von den Autoren persönlich erstellt, sondern sind schon im Zuge der Aufgabenstellung, in Form einer PDF, bereitgestellt und davon entnommen worden. [2]

Literatur

- [1] *Fehlerfortpflanzung*. de. Page Version ID: 205827844. Nov. 2020. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fehlerfortpflanzung&oldid=205827844> (besucht am 08.05.2021).
- [2] *Gitter Prisma*. de. Version 11. Oktober 2021. Petersgasse 16, 8010 Graz, Institut für Experimentalphysik Technische Universität Graz, 2020.
- [3] Horst Kuchling. *Taschenbuch der Physik*. Hanser Fachbuchverlag, 8. Okt. 2014. 711 S. ISBN: 3446442189. URL: https://www.ebook.de/de/product/23173597/horst_kuchling_taschenbuch_der_physik.html.
- [4] *Optical constants of SCHOTT - SF (Dense flint) SF11*. SCHOTT, 2021. URL: <https://refractiveindex.info/?shelf=glass&book=SCHOTT-SF&page=SF11> (besucht am 17.11.2021).
- [5] Braunschweig Wolfgang Kessel. *Die ISO/BIPM-GUM Sicht:Schätzwert & Messunsicherheit*. 2004.

Abbildungsverzeichnis

1	Paralleles Licht am Gitter. $\Delta = g \sin(\varphi)$	4
2	Zur Benennung der Variablen am Gitter	4
3	Aufspaltung am Gitter	5
4	Intensitätsverlauf eines Lichtbündels am Gitter	6
5	Intensitätsverläufe zweier gegeneinander geneigter Lichtbündel am Gitter, eines an der Auflösungsgrenze. Die Punkte werden so lange getrennt wahrgenommen, bis das Maximum von A am Ort des ersten Minimums von B ist	6
6	Reflexion und Brechung an einer Grenzfläche	7
7	Strahlengang im Prisma	7
8	Aufbau zur Messung mit dem Gitter	11
9	Messung des brechenden Winkels. L Lampe, Sp Spalt, K Kollimator, T Teilkreis, F zum Fernrohr	12
10	Messung des minimalen Ablenkungswinkels	12
11	Versuchsaufbau, 1 beschreibt dabei die Na-Dampflampe, 2 die Spektrallampe, 3 dein Spektrometertisch, auf den sich die Gradeinteilung mit Nominus (4) und das Podest für das Gitter und Prisma (5) befindet, 6 der Kollimator und 7 das Fernrohr	14
12	Verwendetes Beugungsgitter und Prisma	14
13	mit Fadenkreuz anvisierte Beugungsordnung	16
14	anvisieren der unterschiedlichen Farben mithilfe des Fadenkreuzes	17
15	Bestimmung des Durchmessers des Kollimators mithilfe von Millimeterpapier	18
16	Prisma in Strahlengang	20
17	Spektrale Aufteilung des weißen Lichts	20
18	Einschieben einer Karte um die intensiveren Spektren auszublenden	22

19	erhaltene Dispersionkurve	26
20	Prisma mit Beschriftung anhand der das Material bestimmt werden kann	28

Tabellenverzeichnis

1	Verwendete Geräte	15
2	gemessene Werte der Winkel Na-Dampflampe φ_r . . . abgelesener Winkel nach rechts φ_l . . . abgelesener Winkel nach links	16
3	gemessene Winkel der verschiedenen Wellenlängen φ_r . . . abgelesener Winkel nach rechts φ_l . . . abgelesener Winkel nach links	17
4	gemessene linke und rechte Winkel des abgelenkten Strahls φ_r . . . abgelesener Winkel nach rechts φ_l . . . abgelesener Winkel nach links	19
5	gemessene linke und rechte Winkel des zerlegten Strahls bei der entsprechenden Wellenlänge φ_r . . . abgelesener Winkel nach rechts φ_l . . . abgelesener Winkel nach links	21
6	gemessene linke und rechte Winkel des zerlegten Strahls bei den außenliegenden Wellenlängen φ_r . . . abgelesener Winkel nach rechts bei der entsprechenden Farbe φ_l . . . abgelesener Winkel nach links bei der entsprechenden Farbe	21
7	erhaltene Gitterkonstanten und Winkel zweite Ordnung φ . . . erhaltener Winkel 2. Ordnung g . . . erhaltene Gitterkonstante Δ . . . entsprechende Unsicherheit	23
8	Berechnete Wellenlängen anhand der Gitterkonstanten und der gemessenen Winkel zweite Ordnung φ . . . erhaltener Winkel 2. Ordnung λ . . . erhaltene Wellenlänge Δ . . . entsprechende Unsicherheit	24
9	bestimmte Werte für den brechenden Winkel γ . . . erhaltener Wert für den brechenden Winkel Δ . . . entsprechende Unsicherheit	25
10	erhaltene Brechzahlen δ . . . gemessener Winkel λ . . . gegebene Wellenlänge n . . . erhaltene Brechzahl n_{theo} . . . verglichene Literaturwerte [4] Δ . . . entsprechende Unsicherheit	25
11	Berechnete Wellenlängen für die verschiedenen Farbeindrücke λ . . . erhaltene Wellenlänge Δ . . . entsprechende Unsicherheit	29
12	erhaltene Brechzahlen λ . . . gegebene Wellenlänge n . . . erhaltene Brechzahl Δ . . . entsprechende Unsicherheit	30