

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Physikalische Grundlagen	2
2.1	Das Huygenssche Prinzip	2
2.2	Kohärenz und Interferenz	2
2.3	Beugung am Einzelspalt	3
2.4	Beugung und Interferenz am Gitter	4
2.5	Spektrales Auflösungsvermögen	6
3	Versuchsaufbau und Durchführung	6
3.1	Versuchsaufbau	7
3.2	Messungen und Auswertung	7
3.2.1	Wellenlänge λ_{Gelb}	7
3.2.2	Ablenkungen am Glasgitter	8
3.2.3	Gitterkonstante und Auflösungsvermögen	9
3.2.4	Auflösungsvermögen	9
3.2.5	Fehlerdiskussion	10
4	Fragen	10
5	Verzeichnisse	12
5.1	Abbildungsverzeichnis	12
5.2	Tabellenverzeichnis	12
5.3	Literaturverzeichnis	13

Anhang A: Messprotokoll aus dem Praktikum

1 Einleitung

Anfang des 19. Jahrhunderts gelang es den Wissenschaftlern T.Young mit einem Experiment am Doppelspalt erstmals die Wellentheorie experimentell zu bestätigen. Versuche von A.J.Fresnel bauten die Theorie weiter aus. Allerdings trugen auch Versuche an einem optischen Gitter durch J.v.Frauenhofer zur Wellentheorie bei. In diesem Versuch werden, analog zu dem von Frauenhofer durchgeführten Experiment, Beugungserscheinungen an einem Gitter untersucht. Zusätzlich wird das spektrale Auflösungsvermögen der verwendeten Gitter bestimmt.

2 Physikalische Grundlagen

Im Folgenden sollen die für den Versuch wichtigen physikalischen Grundlagen beschrieben und erläutert werden.

2.1 Das Huygenssche Prinzip

Das Huygenssche Prinzip gilt für alle Arten von Wellen und besagt, dass jeder Punkt einer Wellenfront als Ausgangspunkt einer neuen Welle, einer sogenannten Elementarwelle, betrachtet werden kann. Die Wellenfront ergibt sich so aus der Superposition der einzelnen Elementarwellen. Obwohl die Theorie ein Ausbreitungsmedium für Wellen voraussetzt und Licht für die Ausbreitung kein Medium benötigt, können mit Hilfe des Huygensschen Prinzips die Beugung, Brechung und Reflektion von Licht erklärt werden.

2.2 Kohärenz und Interferenz

Lichtwellen können sich, wie andere Wellen auch, überlagern. Die Überlagerung von Lichtwellen heißt Interferenz. Die Interferenzstruktur zweier überlagerter Lichtwellen ist im Allgemeinen nicht stationär. Um eine zeitlich stationäre Interferenzstruktur beobachten zu können, müssen die Lichtwellen kohärent sein. Kohärente Lichtwellen können bis auf eine feste Phasenverschiebung durch die gleiche Wellenfunktion beschrieben werden.

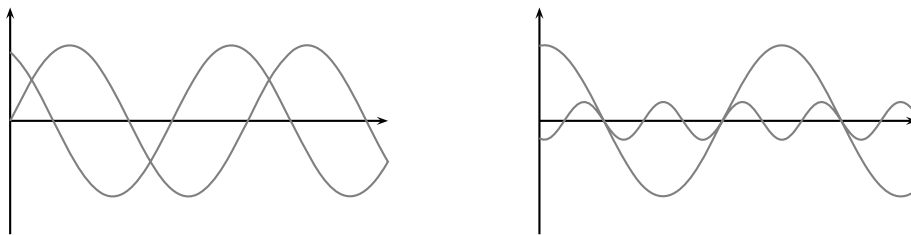


Abbildung 1: *Verdeutlichung der Phasenbeziehung kohärenter Wellen. Die Wellenfunktionen des linken Schaubildes stimmen, bis auf eine Konstante Phasendifferenz überein, während die Wellenlängen der rechts dargestellten Wellenzüge variieren.*

Bei Kohärenz lassen sich zwei Begriffe unterscheiden, die zeitliche Kohärenz, die angibt welche Zeit sich die Phasenbeziehung in einem Punkt um weniger als 2π ändert, und die

räumliche Kohärenz, die die Kohärenz einer Welle in verschiedenen Ortspunkten angibt. Bei der Überlagerung kohärenter Wellen entsteht also ein Interferenzmuster. Abbildung (2) zeigt das Interferenzmuster, das bei der Überlagerung von zwei Kugel- bzw Kreiswellen entsteht. Im Falle von überlagerten Lichtwellen kann das Interferenzmuster auf einem Schirm im Lichtfeld beobachtet werden.

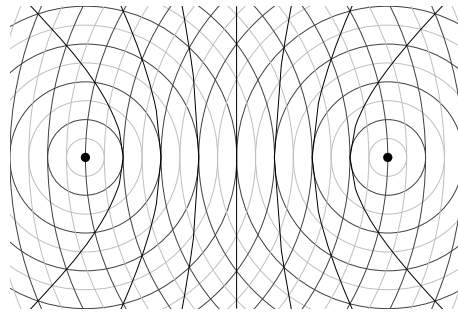


Abbildung 2: *Interferenz von konzentrischen Wellen. Die Amplitude der resultierenden Welle wird auf den Schwarz eingezeichneten Linien maximal. Die Wellenberge sind hier dunkel dargestellt. Idee zur Grafik:[WPEnz]*

Im Falle des Gitter ist weniger die Interferenz von zwei Wellen, sondern vielmehr die Interferenz von vielen Wellenzügen relevant. Auch hierbei überlagern sich die Wellenzüge zu einer resultieren Welle, die bei Kohärenz der einzelnen Teilwellen, ebenfalls stationäre Interferenz bilden kann.

2.3 Beugung am Einzelspalt

Die Beugung bezeichnet in der Optik ein Phänomen bei dem Lichtwellen beim Durchgang durch begrenzte Öffnungen teilweise von ihrer Ausbreitungsrichtung abgelenkt werden. Beugung kann aber auch beim Vorbeigang von Licht an transmittierenden Medien beobachtet werden. Wichtig im Zusammenhang mit den Beugungserscheinungen am Gitter

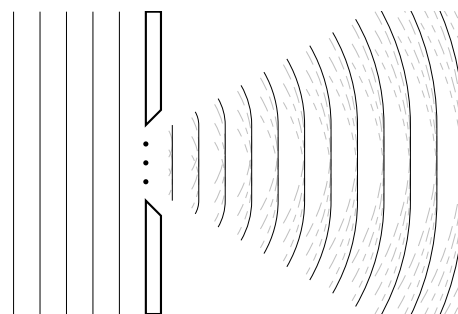


Abbildung 3: *Schematische Darstellung zur Beugung am Spalt. Nach dem Huygensschen Prinzip ist jeder Punkt einer Wellenfront Ausgangspunkt einer Elementarwelle. Diese Addieren sich nach dem Spalt zur einer gebeugten Wellenfront. Nach [Dem04] Abb.:10.35*

ist die Beugung von Licht am Einzelspalt. Diese kann durch das Huygenssche Prinzip für Wellen erklärt werden. Voraussetzung für eine Beugung am Spalt ist, dass die Spaltbreite in der Größenordnung der Wellenlänge gehalten wird. Ist die Spaltbreite zu groß, so wird

Licht beim Durchgang durch den Spalt nicht gebeugt, für Spaltbreiten gegen Null ist bei allen Ablenkungswinkeln die gleiche Lichtintensität zu beobachten. Abbildung (3) stellt das Prinzip der Beugung am Spalt schematisch dar.

Nach dem Einzelspalt ist durch die Überlagerung von den einzelnen Elementarwellen ein Interferenzmuster zu beobachten. Die Interferenzen wurden bei der Zeichnung in Abbildung (3) nicht berücksichtigt. Die Interferenzen bewirken, dass sich die Intensität in Abhängigkeit des Winkels zur optischen Achse verändert. Die Anzahl und die Winkel bei denen sich ein Intensitätsmaximum nachweisen lässt wird vom Verhältnis der Spaltbreite b zur Wellenlänge λ bestimmt. Abbildung (refdia:IntensEinzelspalt) zeigt die Intensitätsverteilung bei einem Verhältnis $b/\lambda = 5$ In Formeln gilt für die Intensitätsverteilung nach

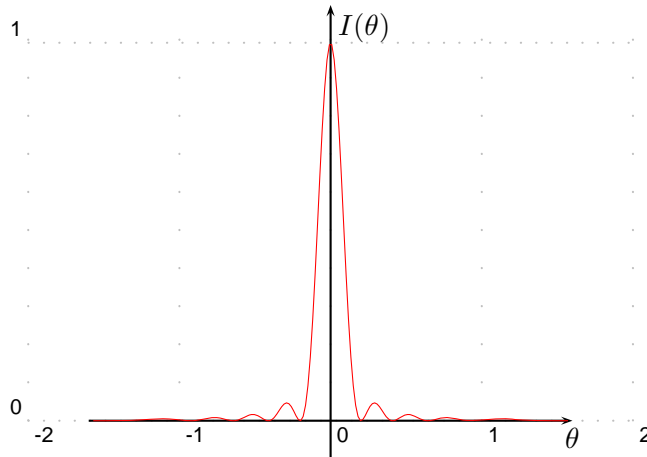


Abbildung 4: Die Intensitätsverteilung der Resultierenden durch Interferenzen nach einem Spalt. Hier ist das Verhältnis der Spaltbreite b und der Wellenlänge λ der gebeugten Welle als $b/\lambda = 5$ gewählt.

dem Einzelspalt in Abhängigkeit des Winkels θ zur optischen Achse:

$$I(\theta) = I_S \frac{\sin^2(\pi(b/\lambda) \sin(\theta))}{(\pi(b/\lambda) \sin(\theta))^2} \quad (1)$$

2.4 Beugung und Interferenz am Gitter

Ein optisches Gitter besteht aus einer Vielzahl von Spalten, die in einem regelmäßigen Abstand angeordnet sind. Ein Gitter kann bei einer Beleuchtung aus dem Unendlichen als eine Reihe von synchron schwingenden Oszillatoren angesehen werden, von denen jeder eine Kreiswelle erzeugt. Betrachten wir nun allerdings nur die Anteile der Kreiswellen die eine bestimmte Richtung haben, so haben die Wellenfronten aus den Oszillatoren einen Gangunterschied Δs . Dieser lässt sich aus dem Winkel θ von der Senkrechten und dem Abstand d der Oszillatoren ausdrücken als (vgl. Abb. (5)):

$$\Delta s = \sin(\theta)d$$

Ist der Abstand des Betrachters im Vergleich zum Abstand der Oszillatoren groß, verlaufen die Teilwellen zu einem Betrachter in der Nähe der Spalte nahezu parallel und der Winkel

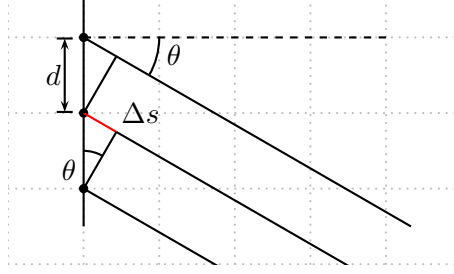


Abbildung 5: Winkelbeziehungen am Gitter. Ist der rot eingezeichnete Gangunterschied ein Vielfaches der Wellenlänge (also $d \sin(\theta) = m\lambda$), so können die Teilwellen konstruktiv interferieren.

θ ist bei allen Spalten fast identisch. Für eine positive Interferenz beim Betrachter muss der Gangunterschied der einzelnen Wellenfronten ein vielfaches der Wellenlänge betragen. Ein Kriterium für positive Interferenz unter einem bestimmten Winkel θ ist demnach:

$$\Delta s = d \sin(\theta) = m\lambda \quad m \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad (2)$$

Die ganze Zahl m wird auch die Ordnung des Interferenzmaximums genannt. Am Maximum 5. Ordnung haben die einzelnen Strahlen also einen Gangunterschied von 5λ . Die Intensität der Welle in θ Richtung lässt sich ähnlich wie die Intensitätsverteilung am Spalt bestimmen und hängt neben dem Verhältnis der Oszillatorenabstände d zur Wellenlänge λ auch von der Anzahl N der Oszillatoren ab. Die Intensität ergibt sich zu:

$$I(\theta) = I_0 \frac{\sin^2[N\pi(d/\lambda) \sin \theta]}{\sin^2[\pi(d/\lambda) \sin \theta]} \quad (3)$$

Hierbei ist I_0 die von einem Oszillator ausgesendete Intensität.

Reale Gitter sind allerdings eine Anordnung aus Spalten, so dass das Modell der schwingen Oszillatoren nicht unbedingt anwendbar ist. Die Intensitätsverteilung nach einem Gitter ist durch die Intensitätsverteilung der Spaltanordnung aus Formel 3 und der Intensitätsverteilung nach dem Spalt aus Formel 1 bestimmt. Für die Intensität nach dem Gitter gilt so:

$$I(\theta) = I_0 \cdot \frac{\sin^2[\pi(b/\lambda) \sin(\theta)]}{[\pi(b/\lambda) \sin(\theta)]^2} \cdot \frac{\sin^2[N\pi(d/\lambda) \sin \theta]}{\sin^2[\pi(d/\lambda) \sin \theta]} \quad (4)$$

Die Intensitätsverteilung nach einem Gitter mit geringer Spaltanzahl ist in Abbildung (6) dargestellt. Die notwendige Bedingung für maximale Interferenz ergibt sich aus Gleichung (2). Es fällt allerdings auf, dass nicht alle Maxima als solche zu erkennen sind. Die Intensität der Maxima wird durch die Beugungsverteilung bestimmt. Zwischen den Hauptmaxima befinden sich Nebenmaxima, die durch die Überlagerung von Teilen der gebeugten Wellen. Für eine Große Anzahl von Spalten sind diese wegen der geringen Intensität vernachlässigbar.

Die Betrachtung von Beugungs- und Interferenzphänomenen in der Ferne bietet die Möglichkeit durch relativ einfache geometrische Zusammenhänge und damit auch Gleichungen beschrieben zu werden. Diese Art der Betrachtung von Beugungsphänomenen wird als Fraunhofersche Beugung bezeichnet. Eine Betrachtung in der Nähe des beugenden Objekts oder mit nicht parallelem Licht als Quelle führt zur Fresnelschen Beugung. Hierbei

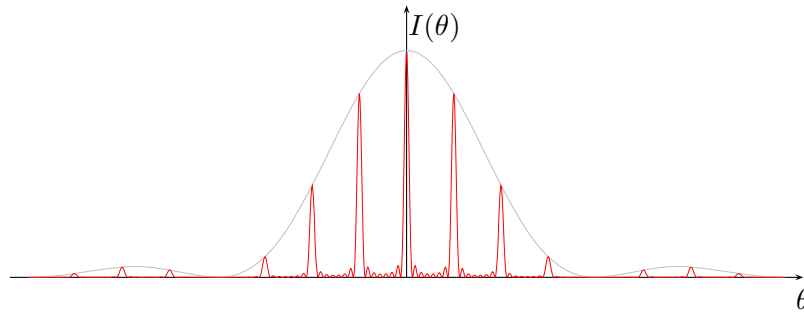


Abbildung 6: Die Intensitätsverteilung nach der Beugung und Interferenz im Fernfeld nach einem Gitter. Die Intensitätsverteilung ergibt sich durch die Anordnung des Gitters, während die Intensität durch die Beugungsverteilung bedingt wird.

sind die physikalischen Effekte die gleichen wie bei der Fraunhoferschen Beugung, führen aber zu weitaus komplexeren geometrischen Zusammenhängen.

2.5 Spektrales Auflösungsvermögen

Das Auflösungsvermögen U eines Gitters gibt Aufschluss über die Fähigkeit die Intensitätsmaxima für Lichtwellen nahe beieinanderliegender Wellenlängen nach Durchgang durch den Apparat räumlich getrennt darzustellen. Das Auflösungsvermögen ist definiert als:

$$U = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad (5)$$

Da die Winkel höherer Beugungsordnungen am Gitter auch von der Wellenlänge des verwendeten Lichts abhängen, muss das Spektrale Auflösungsvermögen theoretisch für jede Wellenlänge (oder zumindest Wellenlängenbereiche) angegeben werden. Bei Beugungsgittern gelten zwei Wellenlängen λ_1 und $\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda$ als getrennt, wenn das Interferenzmaximum der einen Wellenlänge in ein Minimum der anderen Wellenlänge fällt. Das Auflösungsvermögen nimmt beim Gitter mit steigender Ordnung der Interferenzmaxima zu. Für das Auflösungsvermögen eines Gitters gilt

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = k \cdot m \quad (6)$$

wobei m die Ordnung des Beugungsmaximums und k die Anzahl der beleuchteten Spalte, also die effektive Spaltanzahl ist.

3 Versuchsaufbau und Durchführung

Im Versuch wurden an zwei Gittern, einem Drahtgitter und einem Glasgitter, jeweils Messungen zur Ablenkung der charakteristischen Strahlung einer Quecksilberdampfampe vorgenommen. Eine dritte qualitative Messung an einem dritten Drahtgitter schließt dem Versuch ab.

3.1 Versuchsaufbau

Zur Beleuchtung der Gitter im Versuch dient das Licht einer Quecksilberdampfampe, das mit Hilfe eines Kondensors auf einen Beleuchtungsspalt projiziert wird. Dieser wird mit Hilfe einer weiteren Linse auf das zu untersuchende Gitter abgebildet. Dies ermöglicht die Beleuchtung mit parallelem und, Aufgrund der Verdetschen Kohärenzbeziehung auch räumlich Kohärentem, Licht und einer qualitativen Untersuchung nach den Gesetzen der Fraunhoferschen Beugung. Nach der Linse zur Parallelisierung des Lichts ist für die Untersuchung des ersten Gitters ein Interferenzfilter in den Strahlengang eingebracht der aus den Spektrallinien des Quecksilberspektrums nur für die Gelben Linien durchlässig ist.

Mit dem so erzeugten parallelen und kohärenten (bei der Untersuchung des ersten Gitters auch bichromatischem) Licht wird nun das Gitter beleuchtet. Nach dem Gitter ist ein Fernrohr zur Winkelmessung drehbar angebracht. Die Anordnung der Linsen im Fernrohr ermöglicht es parallele Lichtwellen zur Interferenz zu bringen, ohne den sonst nötigen großen Abstand vom Gitter zu haben. Auch hier kann aufgrund des Fernrohrs die Fraunhofersche Beugung angewendet werden.

Die Messung des Winkels θ erfolgt hierbei durch die Drehung um die Achse des Fernrohrs. Der Ablenkwinkel des Fernrohrs zur optischen Achse (also dem Maximum nullter Ordnung) entspricht dann Aufgrund der Wechselwinkelbeziehung genau dem Ablenkwinkel der betrachteten Lichtwellen. Es wird sozusagen nur die optische Achse senkrecht zum Gitter verschoben. Dies ist möglich Aufgrund der kleinen Ablenkwinkel und der Beleuchtung mehrerer Spalte des Gitters.

Technisch werden die Winkel im Experiment nicht durch eine Winkelskala, sondern durch die Auslenkung eines am Fernrohr angebrachten Hebels bestimmt. Wird der Hebelarm um $\Delta x = x - x_0$ von der Messung des Interferenzmaximums nullter Ordnung ausgelenkt, ergibt sich der Winkel aus dem Abstand d zwischen Drehachse und Messspindel als:

$$\tan(\alpha) = \frac{x - x_0}{d} \quad (7)$$

3.2 Messungen und Auswertung

Als vorbereitende Messung wurde als erstes der Abstand der Drehachse zur eingesetzten Messspindel mit

$$d = 34.45cm$$

bestimmt. Aufgrund der Messmethode mit einem Lineal kann hierbei die Messungenauigkeit auf

$$\delta_d = 0.1cm$$

geschätzt werden.

3.2.1 Wellenlänge λ_{Gelb}

Zur Bestimmung der Wellenlänge am zweischichtigen Drahtgitter der Gitterkonstante $g_1 = 0.4mm$ wurden die Ablenkwinkel für Maxima von 5 Ordnungen bestimmt. Dabei dient das Maximum nullter Ordnung als Wert für die Messung des Ablenkwinkels. Aufgrund der Messung mit der Spindel kann der Fehler der einzelnen Messung auf $\delta_x = 0.05mm$

geschätzt werden. Die Wellenlänge wurde mit Formel (2) errechnet. Für die Fehlerrechnungen ergeben sich die Formeln:

$$\delta_\alpha = \frac{\sqrt{d^2(\delta_x - \delta_{x_0})^2 + \delta_d^2(x - x_0)^2}}{d^2 + (x - x_0)^2} \quad (8)$$

$$\delta_\lambda = \frac{\cos(\alpha)g}{m} \delta_\alpha \quad (9)$$

Tabelle (1) stellt die Messergebnisse und die daraus errechneten Werte für das erste Gitter mit den Fehlern unter Berücksichtigung der Fehlerfortpflanzung dar.

m	x/mm	α/rad	δ_α/rad	λ/nm	δ_λ/nm
-5	101.56	-0.0075	0.0002	600	16
-4	101.06	-0.0060	0.0002	600	20
-3	100.56	-0.0045	0.0002	601	27
-2	100.06	-0.0030	0.0002	603	41
-1	99.56	-0.0015	0.0002	609	82
0	99.05				
1	98.59	0.0013	0.0002	550	82
2	98.11	0.0028	0.0002	562	41
3	97.59	0.0043	0.0002	581	27
4	97.10	0.0058	0.0002	582	20
5	96.56	0.0074	0.0002	595	16

Tabelle 1: *Tabellarische Übersicht der gemessenen Ablenkungen beim Doppeldrahtgitter mit den Ergebnissen der Rechnung.*

Aus den Werten der einzelnen Messungen ergibt sich für die Wellenlänge λ_{Gelb} ein Mittelwert von

$$\lambda_{Gelb} = 588(14)nm$$

Der Literaturwert von $\lambda_{Gelb} = 578nm$ liegt damit noch in der Messungenauigkeit des Messwerts.

3.2.2 Ablenkungen am Glasgitter

Die nächsten Messungen wurden am Glasgitter unbekannter Gitterkonstante vorgenommen. Zunächst wurden von den beiden gelben Spektrallinien jeweils die Ablenkungswinkel ermittelt. Die dabei gemessenen Werte können Tabelle (2) entnommen werden. In der Tabelle sind ebenfalls die errechneten Werte für den Mittelwert und die Differenz der Winkel eingetragen. Die eingetragenen Fehler entstehen durch Fehlerfortpflanzung.

Für die vier gemessenen Beugungsordnungen ergeben sich durch Mittelung die folgenden Werte:

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.0573(3)rad & \Delta\beta_1 &= 0.0003(6)rad \\ \beta_2 &= 0.1156(4)rad & \Delta\beta_2 &= 0.0004(8)rad \\ \beta_3 &= 0.1745(7)rad & \Delta\beta_3 &= 0.0007(15)rad \\ \beta_4 &= 0.2278(7)rad & \Delta\beta_4 &= 0.0008(14)rad \end{aligned}$$

m	x_1/mm	x_2/mm	x_0/mm	β_{m_a}	β_{m_b}	β_m	δ_{β_m}	$\Delta\beta_m$	$\delta_{\Delta\beta_m}$
1	121.41	121.28	101.48	0.0577	0.0574	0.0575	0.0002	0.0003	0.0004
1	121.48	121.34	101.48	0.0579	0.0575	0.0577	0.0002	0.0004	0.0004
1	121.48	121.38	101.48	0.0579	0.0577	0.0578	0.0002	0.0002	0.0004
2	141.58	141.42	101.48	0.1158	0.1154	0.1156	0.0003	0.0004	0.0006
2	141.57	141.40	101.48	0.1158	0.1153	0.1156	0.0003	0.0004	0.0006
3	162.38	162.08	101.48	0.1749	0.1741	0.1745	0.0004	0.0008	0.0009
3	162.34	162.07	101.48	0.1748	0.1740	0.1744	0.0004	0.0007	0.0009
3	162.34	162.10	101.48	0.1748	0.1741	0.1745	0.0004	0.0006	0.0009
4	120.44	120.13	40.38	0.2283	0.2274	0.2279	0.0005	0.0008	0.0011
4	120.38	120.10	40.38	0.2281	0.2274	0.2277	0.0005	0.0007	0.0011

Tabelle 2: Tabellarische Übersicht der gemessenen Ablenkungen beim Glasgitter mit den Ergebnissen der Rechnung. Alle Winkel sind in Radiant angegeben.

3.2.3 Gitterkonstante und Auflösungsvermögen

Aus den Werten der Messungen am Glasgitter soll nun die Gitterkonstante g_2 berechnet werden. Hierfür werden die errechneten Ablenkwinkel (β_i) und die gemessene Wellenlänge λ_{Gelb} in von Formel (2) eingesetzt. Der Fehler der Gitterkonstante ergibt sich durch die Fehlerfortpflanzung als:

$$\delta_{g_i} = N \sqrt{\frac{\lambda^2 \cos(\beta_i)^2 \delta_{\beta_i}^2 + \delta_{\lambda}^2 - \delta_{\lambda}^2 \cos(\beta_i)^2}{\sin(\beta_i)^4}} \quad (10)$$

Für die Gitterkonstante g_2 ergibt sich:

$$g_{2_1} = 10(4)\mu m \quad g_{2_2} = 10(2)\mu m \quad g_{2_3} = 10(1)\mu m \quad g_{2_4} = 10(1)\mu m$$

Als Mittelwert ergibt sich:

$$g = 10(4)\mu m$$

Die Wellenlängendifferenz kann mit Hilfe der folgenden Formel berechnet werden:

$$\Delta\lambda = \frac{d\lambda}{d\beta} \Delta\beta = \frac{d \cos(\beta)}{m} \Delta\beta$$

Nun kann aus den Werten der Tabelle die Wellenlängendifferenz berechnet werden. Es ergibt sich:

$$\Delta\lambda_1 = 4(6)nm \quad \Delta\lambda_1 = 2(6)nm \quad \Delta\lambda_1 = 3(5)nm \quad \Delta\lambda_1 = 2(3)nm$$

Durch Mittelung ergibt sich

$$\Delta\lambda = 2.6(25)nm$$

3.2.4 Auflösungsvermögen

Als letzter Teil der Auswertung soll das Auflösungsvermögen des Glasprismas bestimmt werden. Einerseits kann dies anhand der Definition des Auflösungsvermögen geschehen.

Durch die Benutzung der Werte aus den vorherigen Teilen ergibt sich so das Auflösungsvermögen zu:

$$U = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = 226(217)$$

Eine andere Möglichkeit zur Berechnung des Auflösungsvermögens ergibt sich aus Gleichung (6). Hierzu wurde der Lichteinfall auf das Gitter durch eine Schlitzblende begrenzt. Aus der Spaltbreite b , die durch die Anzahl an Umdrehungen R des Schließmechanismus bestimmt wird, kann so auf die Anzahl der beleuchteten Spalte N geschlossen werden. Es ergibt sich für das Auflösungsvermögen:

$$U = m \cdot N = m \frac{b}{g_2} = \frac{1.4 \cdot 10^{-3}}{g} R \quad (11)$$

Mit den gemessenen Werten ergeben sich so mit einer geschätzten Messungenauigkeit von einer drittel Umdrehung:

$$U_1 = 378(43) \quad U_2 = 420(42) \quad U_3 = 462(42) \quad U_4 = 196(42)$$

3.2.5 Fehlerdiskussion

Die Untersuchung des ersten Gitters lieferte einen relativ guten Wert für die Bestimmung der Wellenlänge der Gelben Spektrallinie des Quecksilberspektrums. Der Literaturwert liegt innerhalb der Fehlergrenze.

Bei der Untersuchung des zweiten Gitters ist die Einschätzung der Messwerte eher schwieriger, da hier keine Vergleichswerte vorhanden sind. Die Bestimmung der Gitterkonstante des Glasgitters lieferte einen für ein Glasgitter gebräuchlichen Wert. Der relative Fehler der Gitterkonstante ist mit ca. 40% doch sehr hoch, doch sind die Werte aus den verschiedenen Messungen nahezu gleich. Der Fehler ergibt sich hierbei durch Fehlerfortpflanzung und rührt in erster Linie von der Messung des Maximums erster Ordnung her, bei der die Abweichung aufgrund der kleinen Winkel relativ stark ins Gewicht fällt. Um genauere Ergebnisse zu erhalten, müssten mehr Messungen an den Interferenzmaxima höherer Ordnung durchgeführt werden.

Die größten Fehler und Unsicherheiten sind bei der Messung des Auflösungsvermögens zu finden. Hier wird die Messung durch die geringen Winkeldifferenzen durch einen konstanten Messfehler bei der Messung von Winkeln sehr hoch. Das erklärt den Fehler von nahezu hundert Prozent bei der Berechnung des Auflösungsvermögens. Auch die Bestimmung mit Hilfe des Zusatzspaltes ist aufgrund der hohen Messunsicherheit bei der Spaltbreite sehr hoch. Prinzipiell eignet sich dieses Verfahren dennoch gut zur Bestimmung des Auflösungsvermögens. Allerdings muss dafür die Bestimmung der Spaltbreite exakter möglich sein. Im großen und ganzen sind die gemessenen und errechneten Werte für die Ausführung im Praktikum vertrauenswürdig.

4 Fragen

Im Folgenden sollen die Fragen des Aufgabenblattes beantwortet werden.

- 1) Warum muss die Drehachse des Fernrohres nicht durch das Gitter verlaufen?
siehe 3.1

- 2) Warum soll der Interferenzfilter in dem Bereich aufgestellt werden, in dem die Strahlen parallel verlaufen?

Die Selektierung bestimmter Wellenlängen im Interferenzfilter ist durch die Interferenz von teilweise durch den Spiegel transmittierten Wellenzügen bedingt. Die Phase unterschiedlicher transmittierter Wellenzüge hängt in erster Linie von Gangunterschied der Strahlen im Filter ab. Beträgt der Winkel der einfallenden Strahlen einen anderen als 90° , so verändert sich die Wellenlänge der vom Filter nicht gefilterten Strahlung, so dass das transmittierte Strahlungsspektrum von der Spezifikation des Filters abweicht.

- 3) Warum betragen bei einer 1:1 Abbildung die Abstände zwischen Linse und Beleuchtung doppelte Brennweite?

Aus der Newtonschen Abbildungsgleichung ergeben sich für die Brennweiten aus $f^2 = \tilde{g}\tilde{b}$. Da nun das Abbildungsverhältnis eins betragen, also $\tilde{g} = \tilde{b}$, soll kann nur gelten $f = \tilde{g} = \tilde{b}$. Allgemein ist die Bildweite/Gegebstandsweite dann definiert als:

$$b = \tilde{b} + f \quad g = \tilde{g} + f$$

- 4) Beugungsmaxima am Gitter
siehe 2.4

- 5) Warum ist für die Interferenz im Interferenzfilter kein Beleuchtungsspalt notwendig?
Die Selektierung von bestimmten Wellenlängen geschieht im Inneren des Interferenzfilters durch konstruktive Interferenz von Lichtwellen, die zwischen den verschiedenen Schichten teilweise reflektiert werden. Ein paralleler Lichteinfall ist hier nicht nötig, so dass auf einen Beleuchtungsspalt verzichtet werden kann.

- 6) Beweis von Formel (6)

Der Winkelabstand zwischen gebeugten Wellen muss zur Trennung der Lichtwellen größer als die halbe Winkelbreite der zentralen Beugungsordnung der effektiven Gitterbreite sein. Daraus ergibt sich:

$$\begin{aligned} \Delta\lambda &= \frac{d\lambda}{d\beta} \Delta\beta = \frac{d \cos(\beta)}{m} \Delta\beta \\ &\geq \frac{d \cos(\beta)}{m} \Delta\beta_{min} = \frac{\lambda}{mN} \\ \Rightarrow \frac{\lambda}{\Delta\lambda} &\leq m \cdot N \end{aligned}$$

- 7) Warum ist die Bestimmung des Ablenkungswinkels durch die Bestimmung der Ablenkung im $\frac{1}{100}mm$ Bereich und der Längenbestimmung des Auslenkungshebels im Zentimeterbereich sinnvoll?

An Gleichung (8) ist leicht zu erkennen, dass Fehler in der Abstandsbestimmung von Drehachse und Messspindel durch die Messung der Auslenkung gewichtet werden. Ist diese relativ klein, fällt der Fehler durch den Messfehler des Abstands nicht stark ins Gewicht. Anders gesagt, der relative Fehler der Messung ist auch bei relativ großem absoluten Fehler ist sehr klein und fällt daher nicht stark ins Gewicht.

- 8) Verdetsche Kohärenzbedingung

Auch der Beleuchtungsspalt besitzt die Eigenschaft Licht zu beugen. Der Winkel unter

dem das erste Maximum der Beugung am Beleuchtungsspalt zu sehen wäre, ergibt sich aus der Spaltbreite und der Wellenlänge zu $D \sin(\alpha) = \lambda$. Um möglichst keine Interferenzerscheinungen des Beleuchtungsspalt berücksichtigen zu müssen, kann die Versuchsanordnung auf das nullte Intensitätsmaximum eingeschränkt werden. Für den Winkel α zur optischen Achse muss also die Beziehung $D \sin(\alpha) \leq \lambda$ eingehalten werden. Mit dem effektiven Öffnungswinkel $\theta = 2\alpha$ ergibt sich die Kohärenzbedingung.

- 9) Welche Beugungsordnungen fallen bei der Beugung am Gitter aus wenn die Breite der Gitterstege gleich der Spaltöffnungen ist?
Beim beschriebenen Gitter fallen aufgrund der Beziehung $d/b = 2$ jedes zweite Maximum aus. Zur Erklärung siehe (2.4).
- 10) Warum fallen beim zweischichtigen Gitter die Beugungsordnungen nicht aus?
Die doppelten Gitter verändern die Beugungsverteilung, so dass die Maxima nicht mehr durch die Beugung am Gitter verkleinert werden. Exakterweise müssten die Phänomene zwischen den Gittern mit Hilfe der Fresnelschen Beugung erklärt werden.
- 11) Senkrecht und horizontale Gitter bei Beleuchtungsspalt und Lochblende.
Der Winkel des Gitters spielt bei einer Beleuchtung mit der Lochblende keine Rolle. Die Interferenzmaxima sind immer senkrecht zur Gitterausrichtung zu beobachten. Benutzt man allerdings einen Beleuchtungsspalt, so wirkt dieser wie ein Polarisationsfilter. Auch das Gitter kann als Polarisationsfilter angesehen werden, so dass bei einer Drehung des Gitters von 90° zum Spalt kein Licht mehr zu beobachten ist.

5 Verzeichnisse

5.1 Abbildungsverzeichnis

1	Kohärente Wellen	2
2	Interferenz von konzentrischen Wellen	3
3	Beugung am Spalt	3
4	Intensitätsverteilung Einzelspalt	4
5	Schema zur Phasenbeziehung am Gitter	5
6	Intensitätsverteilung des Gitters	6

5.2 Tabellenverzeichnis

1	Messwerte für Doppeldrahtgitter	8
2	Messwerte für Glasgitter	9

5.3 Literaturverzeichnis

[WPEnz] Verschiedene *Wikipedia - Die freie Enzyklopädie* <http://de.wikipedia.org>

[Dem04] W.DEMTRÖDER *Experimentalphysik 2 - Elektrizität und Optik* Springer-Verlag
3.Auflage 2004

[APScript] B.RUNGE *Versuchsanleitung zur Beugung am Gitter*