

Hier hatten wir ein Bild mit dem Logo der Uni Tübingen.  
Allerdings werden das nicht alle Tutor:innen durchgehen lassen,  
da Studierende nichts im Namen der Uni veröffentlichen dürfen,  
wegen Verantwortlichkeit und so.

---

Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler an der Universität Tübingen

## IF - Interferenz am Gitter & Beugung am Spalt

Gruppe: 3  
Verfasser: Micha Beck  
Franziska Trotter  
Studiengang: Medizintechnik B. Sc.  
Betreuer: Felix Glang  
Versuchsdatum: 04.03.2021  
Abgabedatum: Datum

# Inhaltsverzeichnis

|          |                                     |          |
|----------|-------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Theorie</b>                      | <b>2</b> |
| 1.1      | Elektromagnetische Wellen . . . . . | 2        |
| 1.2      | Beugung . . . . .                   | 2        |
| 1.2.1    | Doppelspalt . . . . .               | 2        |
| 1.2.2    | Einzelspalt . . . . .               | 3        |
| 1.2.3    | Gitter . . . . .                    | 3        |
| <b>2</b> | <b>Experimenteller Teil</b>         | <b>4</b> |
| 2.1      | Versuchsteil 1 . . . . .            | 4        |
| 2.1.1    | Aufgabenstellung . . . . .          | 4        |
| 2.1.2    | Versuchsaufbau . . . . .            | 4        |
| 2.1.3    | Durchführung . . . . .              | 4        |
| 2.1.4    | Beobachtung . . . . .               | 4        |
| 2.1.5    | Auswertung . . . . .                | 4        |
| 2.2      | Versuchsteil 2 . . . . .            | 6        |
| 2.2.1    | Aufgabenstellung . . . . .          | 6        |
| 2.2.2    | Versuchsaufbau . . . . .            | 6        |
| 2.2.3    | Durchführung . . . . .              | 6        |
| 2.2.4    | Beobachtung . . . . .               | 7        |
| 2.2.5    | Auswertung . . . . .                | 7        |
| 2.3      | Fazit . . . . .                     | 9        |
| 2.4      | Messdaten . . . . .                 | 10       |

# 1 Theorie

## 1.1 Elektromagnetische Wellen

Licht kann als elektromagnetische Welle wahrgenommen werden. Dabei ist der für das menschliche Auge sichtbare Bereich zwischen 400 nm und 800 nm ein nur kleiner Teil aller elektromagnetischen Wellen. Sie reichen von Radiowellen bis hin zur Gammastrahlung und breitet sich (im Vakuum) mit Lichtgeschwindigkeit  $c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  aus. Diese lässt sich berechnen durch

$$c = f \cdot \lambda. \quad (1)$$

Außerdem gelten für EM-Wellen wie auch für alle anderen

$$\omega = 2\pi f \quad \text{und} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2)$$

wobei  $\omega$  die Winkelgeschwindigkeit und  $k$  die Wellenzahl ist.

EM-Wellen bestehen aus einem schwingenden Elektrischen Feld  $\vec{E}$  und einem gleichphasig schwingenden magnetischen Feld  $\vec{B}$ ; sie bedingen sich gegenseitig. Dabei breiten sie sich in die gleiche Richtung aus und ihre Amplituden stehen orthogonal polarisiert zueinander.

Auch elektromagnetische Wellen interferieren. Dazu wird wie gewohnt das Superpositionsprinzip angewandt, also die Amplituden verschiedener Einzelwellen an einem Ort zur selben Zeit addiert. So kann die Interferenz konstruktiv (vervielfachend) oder destruktiv (auslöschend) wirken.

Nach Huygens wird an jedem Punkt, an welchem eine Welle eintrifft eine neue Elementarwelle - eine Welle, welche sich radial ausbreitet - induziert; so auch bei einer Wellenfront. Die Überlagerung aller Elementarwellen, welche ja an jedem Punkt der Wellenfront entstehen, ergeben dann die neue Wellenfront.

## 1.2 Beugung

Unter Beugung versteht man die Ablenkung von Wellen an einem Hindernis; nach dem Huygens'schen Prinzip können Wellen, welche sich geradlinig ausbreiten an Orte ausbreiten, welche auf direktem Weg durch Hindernisse versperrt wären. Dazu ist die Interferenz der Elementarwellen notwendig.

### 1.2.1 Doppelspalt

Ein Doppelspalt sind zwei kleine Spalte im Abstand  $d$  zueinander. Auf diesen Doppelspalt kann Licht fallen und dort gebeugt werden. Im Experiment wird klassischerweise ein Laser als Lichtquelle verwendet, da sich diese durch eine hohe Intensität und starke Bündelung besonders gut ablesen lassen und wenig gestreut werden. Außerdem herrscht eine Kohärenz zwischen jeder einzelnen Elementarwelle, was die Kohärenz der Elementarwellen nach dem Spalt garantiert.

Wenn Laserlicht nun auf einen Doppelspalt trifft werden zwei gleichphasige Elementarwellen im Abstand  $d$  zueinander dahinter ausgesandt. Diese beiden Elementarwellen interferieren, was sich auf einem Schirm hinter dem Gitter abbilden lässt. Hier ist dann ein sogenanntes Interferenzmuster zu sehen, welches sich durch Orte mit hoher Intensität und Orte ohne auftreffendes Laserlicht auszeichnet. Diese Maxima und Minima sind im Wechsel angeordnet und nehmen nach außen hin in ihrer Intensität ab.

Erklären lässt sich das Muster, indem man die Wellen und ihre Phasen betrachtet. In einem Minimum muss der Phasenversatz  $\Delta\phi = \pi$  betragen, das heißt es herrscht ein Gangunterschied von  $\frac{\lambda}{2}$  und destruktive Interferenz. In einem Maximum dagegen  $\Delta\phi = 2\pi$  und ein Gangunterschied von  $\lambda$ , also konstruktive Interferenz. Der Gangunterschied lässt sich berechnen durch

$d_2 - d_1 = d \sin \phi$ ; so wird schnell deutlich, dass für  $\phi = 0$  (direkt hinter dem Doppelspalt) auch kein Gangunterschied besteht. Dies entspricht einem Vielfachen von  $2\pi$ , da Wellen durch Sinusfunktionen beschrieben werden.

Für die n-ten Maxima und Minima finden wir also folgende Bedingungen:

$$\begin{array}{ll} \text{Maxima} & d \cdot \sin \phi = n \cdot \lambda \\ \text{Minima} & d \cdot \sin \phi = (n + \frac{1}{2}) \cdot \lambda \end{array}$$

### 1.2.2 Einzelspalt

Die Beugung am Einzelspalt mit der Breite  $d$  ist ebenfalls durch Gangunterschiede bedingt. Im Winkel  $\phi = 0^\circ$  ist auch hier ein Maximum zu finden, welches die größte Intensität hat. Minima entstehen an den Stellen bzw. Winkeln, wo es zu jeder Elementarwelle eine zweite gibt, die mit einem Phasenversatz von  $\pi$  dazu läuft. Maxima dagegen sind dort zu finden, wo möglichst wenige Elementarwellen durch destruktive Interferenz ausgelöscht werden. Die Winkelabhängigkeit der n-ten Minima und Maxima wird wie folgt angegeben.

$$\begin{array}{ll} \text{Maxima} & d \cdot \sin \phi = (n + \frac{1}{2}) \cdot \lambda \\ \text{Minima} & d \cdot \sin \phi = n \cdot \lambda \quad n \neq 0 \end{array}$$

Die Intensität der Maxima nimmt mit höherer Ordnung ab. Zum Beispiel ist beim 1. Hauptmaximum im Vergleich zum 0. Hauptmaximum nur noch 5% der Intensität übrig. Die Intensitätsverteilung ist ebenfalls berechenbar mit

$$I(\phi) \propto I_0 \cdot \left( \frac{\sin u}{u} \right)^2 \quad \text{mit} \quad u = \pi \frac{d}{\lambda} \sin \phi. \quad (3)$$

Für die Minima ergibt sich der Ausdruck  $\frac{\sin u}{u}$  stets zu 0, bei den Maxima gilt  $u = \tan u$ .

### 1.2.3 Gitter

Beim Gitter werden viele einzelne Elementarwellen in einem Abstand  $g$  zueinander phasengleich ausgesandt. Dabei entstehen zwischen den Hauptmaxima auch p-2 Nebenmaxima, wobei  $p$  die Anzahl der Spalte im Gitter zählt. Auch hier orientiert man sich bei der Suche nach den Hauptmaxima an dem Winkel und den dadurch entstehenden Gangunterschieden und findet diese dann bei

$$g \cdot \sin \phi = n \cdot \lambda \quad (4)$$

Die Intensität fällt auch hier mit zunehmender Ordnung der Hauptmaxima ab, allerdings kann hier eine Hüllkurve der Intensität gelegt werden, welche selbst wie ein Interferenzmuster aussieht. Der Grund dafür ist die Tatsache, dass wir ein durch das Gitter bedingtes Interferenzmuster erhalten, jedoch auch die Beugung an den Einzelspalten nicht vergessen werden sollte. Die Intensitätsminima sind an den Stellen zu finden, an welchen Minima bei Beugung an einem Einzelspalt gleicher Breite zu finden wären. Die Intensitätsverteilung für ein Gitterspektrometer wird gegeben durch einen Term, der zusätzlich zu den Einzelspalten auch die Vielfachinterferenzen berücksichtigt.

$$I(\phi) \propto I_0 \cdot \left( \frac{\sin u}{u} \right)^2 \cdot \left( \frac{\sin p\delta}{\sin \delta} \right)^2 \quad \text{mit} \quad \delta = \pi \frac{g}{\lambda} \sin \phi. \quad (5)$$

## 2 Experimenteller Teil

### 2.1 Versuchsteil 1

#### 2.1.1 Aufgabenstellung

Im ersten Versuchsteil soll es darum gehen, die Wellenlänge  $\lambda$  des verwendeten Lasers zu bestimmen. Hierbei soll der Umgang und die Zusammenhänge des Interferenzmusters eines Gitters mit den Gitterabmessungen verdeutlicht werden, sowie eine Genauigkeitsbetrachtung der Wellenoptik mit sehr kleinen Wellenlängen und dagegen ungenauen Messmethoden gemacht werden.

#### 2.1.2 Versuchsaufbau

Ein Laser wird auf einer optischen Bank montiert, sodass dieser auf eine Projektionsfläche (hier: Wand des Raumes) ausgerichtet ist. In den Strahl des Lasers wird ein Gitter eingebracht, sodass dieses mittig ausgeleuchtet wird. Vor dem Beugungsgitter ist eine Blende zu montieren, welche Streustrahlung verhindert.

#### 2.1.3 Durchführung

Nach Inbetriebnahme des Lasers lässt sich das Beugungsbild an der Praktikumswand erkennen. Dieses wird durch Abzeichnen auf ein Blatt Papier übertragen, wodurch die Auswertung erleichtert wird. Die Abstände der Hauptmaxima gleicher Ordnung werden bestimmt und notiert, ebenso der Abstand der Minima der Einhüllenden. Aus diesem Datensatz können unter Kenntnis des Abstandes  $L$  vom Gitter zur Projektionsebene über die geometrische Beziehung des Tangens der Beugungswinkel  $\Theta$  berechnet werden.

#### 2.1.4 Beobachtung

Die experimentell bestimmten Rohdaten sind im Anhang angefügt und diesem zu entnehmen.

#### 2.1.5 Auswertung

Gemäß Gleichung IF. 7 ist der Beugungswinkel  $\Theta$  definiert als:

$$\tan \Theta = \frac{x}{L} \longrightarrow \Theta = \tan^{-1} \frac{x}{L} \quad (6)$$

Daraus ergeben sich aus den Versuchsdaten rechnerisch folgende Beugungswinkel  $\Theta_n$  in rad und deren Sinuswerte  $\sin \Theta_n$ :

Abbildung 1: Tabelle 1: Winkel der Maxima n-ter Ordnung und Abstände zum 0. Hauptmaximum

| Maximum n | Abstand zum Maximum 0.-ter Ordnung [m] | Beugungswinkel $\theta_n$ [rad] | $\sin(\theta_n)$ [rad] | Abstand L [m] |
|-----------|----------------------------------------|---------------------------------|------------------------|---------------|
| 1         | 0,0155                                 | 0,018021305                     | 0,018020329            | 0,86          |
| 2         | 0,031                                  | 0,036030911                     | 0,036023116            |               |
| 3         | 0,04625                                | 0,053727313                     | 0,053701468            |               |
| 4         | 0,062                                  | 0,071968512                     | 0,071906402            |               |
| 5         | 0,0775                                 | 0,089873518                     | 0,089752578            |               |
| 6         | 0,0925                                 | 0,107146224                     | 0,106941329            |               |

Es ergibt sich ein Diagramm  $\sin \Theta_n$  gegen Ordnung  $n$  und zeigt einen linearen Zusammenhang.

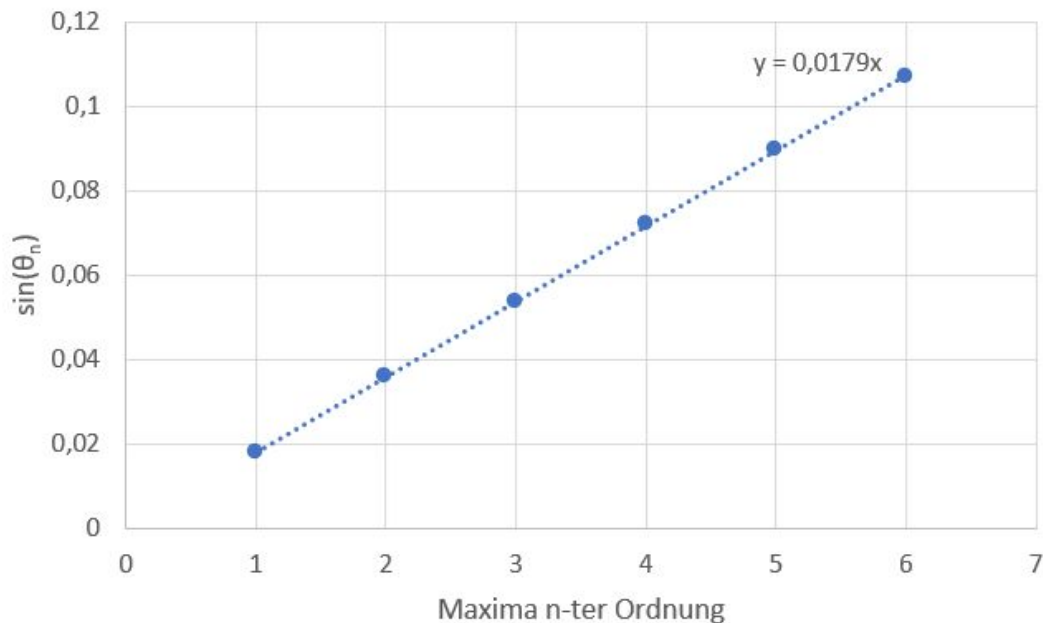


Abbildung 2: Diagramm 1: Ausgleichsgerade  $\sin \Theta_n$  auf  $n$

Die Wellenlänge  $\lambda$  hängt hierbei nur von der Geradensteigung  $m$  und der Gitterkonstanten  $g$  ab und lässt sich durch IF. 5 als

$$g \cdot \sin \Theta_n = n \cdot \lambda \implies \lambda(m, g) = g \cdot m \quad (7)$$

Der Umformung liegt zugrunde, dass  $\frac{\sin \Theta_n}{n}$  eben genau der Geradensteigung  $m$  entspricht. Nach einsetzen der Zahlenwerte  $g = 35 \cdot 10^{-6} \text{ m}$  und  $m = 0,017903378$  ist die Wellenlänge  $\lambda$  anzugeben als  $\lambda = 626,618 \text{ nm}$ .

Dieser Wert ist allerdings von Unsicherheiten behaftet:

Die Unsicherheit der Geradensteigung  $\Delta u_m$  wird mit der RGP-Funktion von Excel bestimmt und mit dem t-Faktor 2 abgeändert. Daraus ergibt sich  $\Delta u_m = 0,000061575$

Auch die Gitterkonstante unterliegt einer Unsicherheit  $\Delta u_g$ , welche zu 1 % angenommen wird.  $\Delta u_g = g \cdot 0,01 = 35 \mu\text{m} \cdot 0,01 = 0,35 \mu\text{m} = 0,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ .

Die Unsicherheit von  $\Delta u_\lambda(m, g)$  lässt sich nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz also bestimmen zu

$$\Delta u_\lambda(m, g) = \sqrt{\left(\frac{\partial \lambda(m, g)}{\partial m} \cdot \Delta u_m\right)^2 + \left(\frac{\partial \lambda(m, g)}{\partial g} \cdot \Delta u_g\right)^2} = \sqrt{(g \cdot \Delta u_m)^2 + (m \cdot \Delta u_g)^2} \quad (8)$$

Daraus ergibt sich ein Fehler  $\Delta u_\lambda(m, g) = 6,62643... \cdot 10^{-9} \text{ nm}$  und die korrekte Angabe der gemessenen Wellenlänge des Lasers ist damit  $\lambda = (627 \pm 7) \text{ nm}$ .

Die Herstellerangabe zur Wellenlänge des Lasers liegt bei  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ . Dieser Wert weicht um 1% von der experimentell bestimmten Wellenlänge ab. Unter Berücksichtigung des Fehlerintervalls kann man die angegebene Wellenlänge erreichen. Mögliche Ursachen für die kleine Abweichung könnten das Medium (Luft) zwischen Laser und Projektionsfläche sein, falls der Hersteller die Angabe auf ein Vakuum bezieht. Es könnte auch das ungenaue Abzeichnen der Maxima auf

die Markierungsfläche sein. Zudem ist das Ausmessen des Abstandes der einzelnen Maxima vom Maxima 0. Ordnung mit einem Lineal nur bedingt exakt. Durch ungünstige Kombination der Fehlerquellen kann das abweichende Ergebnis erklärt werden.

Wie den Messdaten zu entnehmen befinden sich die Minima der Einhüllenden in einem Abstand von 18,7 cm voneinander. Damit sind sie jeweils 9,35 cm vom 0. Hauptmaximum entfernt. Wie in Gleichung (6) kann der Winkel  $\Theta_{min} = 6,2048...^\circ = 0,108295574$  mit dem Arcustangens bestimmt werden. Die Breite der einzelnen Gitterspalte kann nun durch die Lage dieses Minimums ermittelt werden; Minima am Einzelspalt können mit

$$d \cdot \sin \Theta_{min} = n \cdot \lambda \quad (9)$$

berechnet werden. Da es sich um das erste Minimum handelt ist  $n=1$  und die Gleichung wird nach  $d$  umgeformt und die bekannten Werte eingesetzt.

$$d = \frac{\lambda}{\sin \Theta_{min}} = \frac{632,8 \text{ nm}}{\sin \left( \arctan \frac{0,0935 \text{ m}}{0,86 \text{ m}} \right)} = 5,855 \mu\text{m} \quad (10)$$

Damit ist auf die Gitterbedingung  $b = d < g$  ebenfalls erfüllt. Führt man die gleiche Rechnung mit der experimentell bestimmten Wellenlänge durch und ergänzt ein Fehlerrechnung, wird ein Wert  $d = (5,7 \pm 0,1) \mu\text{m}$  errechnet. Diese Abweichung ist auf die gleichen Fehler und Ungenauigkeiten zurückzuführen wie auch die experimentell bestimmte Wellenlänge  $\lambda$ .

Nun soll noch die Anzahl der ausgeleuchteten Spalten am Gitter angegeben werden. Dies ergibt sich durch Addition der Anzahl der Nebenmaxima zwischen zwei Hauptmaxima zu den anliegenden Hauptmaxima, also  $2 + (\text{Anzahl Nebenmaxima zwischen zwei Hauptmaxima})$  und kann hier mit 5 Nebenmaxima als 7 angegeben werden.

## 2.2 Versuchsteil 2

### 2.2.1 Aufgabenstellung

Ziel des zweiten Versuchsteils ist die Bestimmung der Spaltbreite  $d$  eines Einzelspaltes. Dabei werden die Lage der Minima allerdings elektronisch und nicht von Hand aufgenommen. Hier werden auch Ergebnisse der Wellenoptik mit Ergebnissen der geometrischen Optik und damit die Diskrepanz zwischen den Methoden verglichen.

### 2.2.2 Versuchsaufbau

Wie auch im ersten Versuchsteil wird ein Laser auf der optischen Bank montiert. In einem Abstand ( $\geq 1 \text{ m}$ ) wird eine CCD-Zeilenkamera zur Detektion des Beugungsmusters in den Laserstrahl eingebracht. Zudem wird eine Aufweitungsoptik und ein Graufilter zwischen Laser und CCD-Kamera installiert. Nachdem der zu untersuchende Einzelspalt mit variabler Spaltbreite in den Strahl eingebracht wurde (nach der Aufweitungsoptik und ca. 70 cm vor die CCD-Kamera), kann der Praktikumsraum abgedunkelt werden und der Versuch durchgeführt werden.

### 2.2.3 Durchführung

Das Hauptmaxima wird auf das 1563. Pixel der Kamera gerichtet und die Spaltbreite so eingestellt, dass neben dem Hauptmaxima elf Minima deutlich zu erkennen sind. Diese werden über das Programm VideoComm sichtbar.

### 2.2.4 Beobachtung

Bei der Versuchsdurchführung wurde ein Diagramm, welchem folgender Datensatz teilweise direkt zu entnehmen war, aufgenommen:

Abbildung 3: Tabelle 2: Winkel der Minima n-ter Ordnung und Abstände zum Hauptmaximum

| n-tes Minima | Position [Pixel] | Abstand des n-ten Minimas zum Hauptmaxima [Pixel] | Abstand des n-ten Minimas zum Hauptmaxima [m] | Beugungswinkel $\theta_n$ des n-ten Minimums [rad] | $\sin(\theta_n)$ |
|--------------|------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------|
| 1            | 1191             | 345                                               | 0,004716797                                   | 0,004383612                                        | 0,004383598      |
| 2            | 1070             | 466                                               | 0,006371094                                   | 0,005921022                                        | 0,005920987      |
| 3            | 949              | 587                                               | 0,008025391                                   | 0,007458403                                        | 0,007458334      |
| 4            | 829              | 707                                               | 0,009666016                                   | 0,008983044                                        | 0,008982923      |
| 5            | 711              | 825                                               | 0,011279297                                   | 0,010482234                                        | 0,010482042      |
| 6            | 592              | 944                                               | 0,01290625                                    | 0,011994081                                        | 0,011993793      |
| 7            | 474              | 1062                                              | 0,014519531                                   | 0,013493169                                        | 0,01349276       |
| 8            | 358              | 1178                                              | 0,016105469                                   | 0,01496679                                         | 0,014966231      |
| 9            | 239              | 1297                                              | 0,017732422                                   | 0,016478454                                        | 0,016477709      |
| 10           | 121              | 1415                                              | 0,019345703                                   | 0,017977341                                        | 0,017976373      |

Hierbei wurde der Abstand des n-ten Minimums zum Hauptmaximum [m] über einen Dreisatz bestimmt.

$$2048 \text{ Pixel} \triangleq 2,8 \text{ cm} = 0,028 \text{ m} \iff 1 \text{ Pixel} \triangleq 13,672 \cdot 10^{-6} \text{ m} \quad (11)$$

Ebenso wurde der Beugungswinkel  $\Theta_n$  wie beim Versuchsteil 1 (vgl. Gleichung (6)) unter Kenntnis des Abstandes  $L=1,076 \text{ m}$  von Spalt zur Projektionsfläche (hier: CCD-Kamera) berechnet.

### 2.2.5 Auswertung

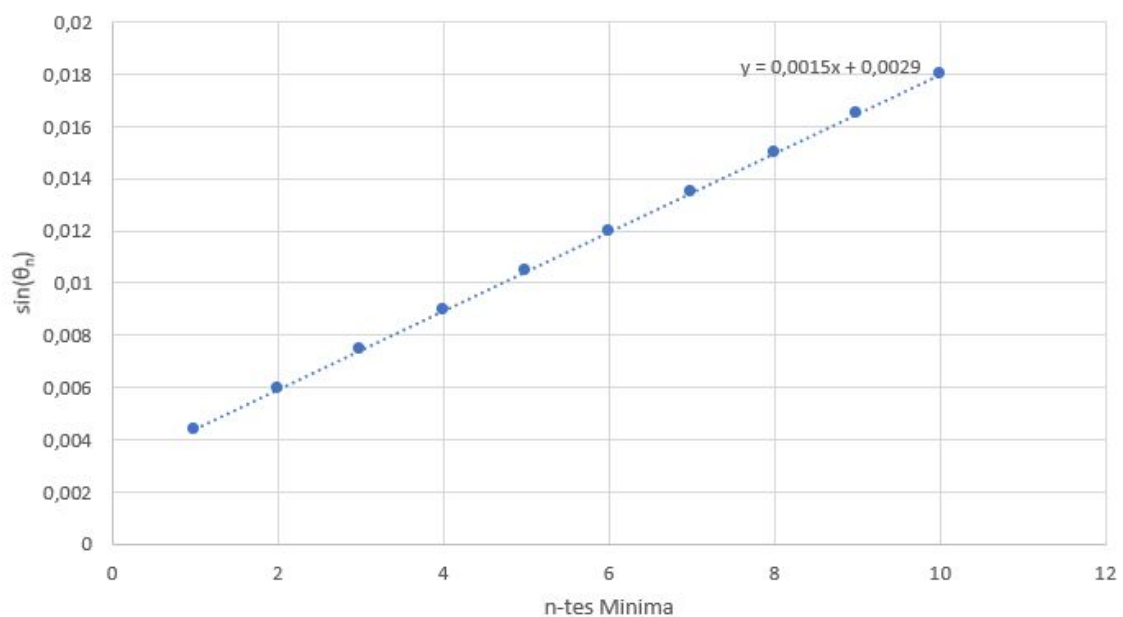


Abbildung 4: Diagramm 2: Ausgleichsgerade  $\sin\Theta_n$  auf n

Durch die Winkelabhängigkeit der Minima beim Einzelspaltversuch kann ein Zusammenhang zwischen der Steigung  $z = \frac{\sin \Theta_n}{n}$  der Ausgleichsgerade und der Spaltbreite  $d$  hergeleitet werden.

$$d \cdot \sin \Theta_n = n \cdot \lambda \quad \implies \quad d = \frac{n}{\sin \Theta_n} \cdot \lambda = \frac{1}{m} \cdot \lambda = \frac{\lambda}{m} \quad (12)$$

Nun werden die Wellenlänge sowie die Geradensteigung eingesetzt und wir erhalten für  $d$  einen Wert, der auf 3% genau bestimmbar ist.

$$\begin{aligned} d &= \frac{632,8 \text{ nm}}{0,001507956} = 0,41964... \text{ mm} \\ \Delta u_d &= 3\% \cdot d = 0,012589... \text{ mm} \\ \implies d &= (0,420 \pm 0,013) \text{ mm} = (419641 \pm 1300) \text{ nm} \end{aligned} \quad (13)$$

Die Spaltbreite lässt sich auch über

$$d = B \cdot \frac{g}{b} = 4 \text{ mm} \cdot \frac{118 \text{ mm}}{1150 \text{ mm}} = 0,41043... \text{ mm} = 410434,783 \text{ nm} \quad (14)$$

berechnen. Das Ergebnis liegt recht nahe an der durch Beugung ermittelten Spaltbreite, weicht jedoch um etwa 2,2% ab. Hier können bei der Rechnung mittels Bildweite, -größe und Gegenstandsweite recht große Messungenauigkeiten entstehen, da nur auf Millimeter oder halbe Millimeter genau gemessen werden kann, das Ergebnis allerdings schon im Zehntel-Millimeter Bereich liegt. Aber auch eine nicht exakte Bestimmung der Minima-Lagen durch die das Diagramm könnte zu der Diskrepanz führen.

Da die Interferenz hinter dem Spalt sich auf einer Fläche bis  $\pm 90^\circ$  ausbreitet und diese Winkel damit die maximalen Beugungswinkel darstellen, ist auch nur eine endliche Zahl an Orten und Winkeln in diesem Bereich zu finden, an welchen die Bedingungen für destruktive Interferenz erfüllt sind. Die Grenze  $n_{max}$  für die Anzahl messbarer Maxima kann mithilfe der Gleichung für die Intensitätsminima berechnet werden.

$$d \cdot \sin \Theta_n = n \cdot \lambda \quad \implies \quad n = \frac{d \cdot \sin \Theta_n}{\lambda} \quad (15)$$

Für große Winkel  $\Theta_n \rightarrow \pm \frac{\pi}{2}$  strebt  $\sin \Theta_n \rightarrow \pm 1$  und wir schreiben deshalb  $\sin \Theta_n = \pm 1$ .

$$n = \pm \frac{d}{\lambda} = \pm \frac{419641 \text{ nm}}{632,8 \text{ nm}} = \pm 663,1494... \quad (16)$$

Das höchste erkennbare Maximum ist also das Maximum der Ordnung 663. Mit einer Fehlerrechnung  $\Delta u_n = \left| \frac{\Delta u_d}{\lambda} \right| = \frac{1300 \text{ nm}}{632,8 \text{ nm}} = 2,05...$  könnte das die höchste messbare Maximumsordnung auch um  $\pm 2$  abweichen. Verwendet man für die Rechnung den mit Bild-, Gegenstandsweite und Bildgröße errechneten Wert, so erhielte man als höchste Ordnung 648. Hier wird deutlich, dass selbst kleine Unterschiede der Spaltbreite einen großen Einfluss auf die Ordnung des letzten messbaren Maximums haben.

Abschließend soll nun noch die qualitative Änderung des Beugungsbildes angegeben werden, wenn man die Spaltbreite  $d$  vergrößert, bzw. verkleinert.

Je kleiner die Spaltbreite  $d$  eingestellt ist, desto weiter liegen die einzelnen Maxima auseinander. Eine Vergrößerung der Spaltbreite  $d$  bewirkt also eine horizontale Stauchung des Beugungsbildes, wohingegen die Verkleinerung von  $d$  in einer Streckung des Beugungsbildes zum Ausdruck kommt. Auch das Maß der Raumabdunklung oder die Ausrichtung des Lasers führen zu Fehlern und Ungenauigkeiten in den Messwerten und Ergebnisse. Die meisten Fehlerquellen konnten wir selbst nicht beeinflussen oder einschätzen, weshalb wir nur Überlegungen für Ursachen anstellen.

### 2.3 Fazit

Zusammenfassend kann formuliert werden, dass sowohl die Bestimmung der Wellenlänge  $\lambda$  des Lasers in Versuchsteil 1, sowie die Spaltbreite  $d$  in Versuchsteil 2 gut durchführbar waren. Jedoch sind die Messdaten und die daraus abgeleiteten Erkenntnisse nur bedingt vertrauenswürdig, da verschiedene Fehlerquellen diese beeinflusst haben könnten. Am markantesten dürfte hierbei das Abmessen verschiedener Längen und Abstände mit dem Meterstab sein, mit welchem Werte im Optimalfall auf einen Millimeter genau bestimmt werden können, jedoch häufig auch unpräziser. Ebenso ist das Abzeichnen eines Beugungsbildes nur bedingt präzise genug.

## 2.4 Messdaten

Abbildung 5: Messdaten zum Versuchsteil 1

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                               |        |                               |        |                               |         |                               |         |                               |         |                               |         |                             |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|-------------------------------|---------|-------------------------------|---------|-------------------------------|---------|-----------------------------|---------|
| Datum Versuchstag: <u>4. März 2021</u> , Gruppennummer: <u>3</u><br>Teilnehmer: <u>Tiether, Beck</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                               |        |                               |        |                               |         |                               |         |                               |         |                               |         |                             |         |
| <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Fläche für Markierungen</div> <div style="text-align: right;">             Markierungen<br/>Maxima<br/>↓<br/>7<br/>6<br/>5<br/>4<br/>3<br/>2<br/>1           </div> </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Daten Gitter:</div> <div style="text-align: right;">             Gitterkonstante: <u>35</u> <math>\mu\text{m}</math><br/>             Anzahl Nebenmaxima: <u>5</u> </div> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;"> <u>[Signature]</u><br/>             Unterschrift Assistent(in)           </div> </div> |                               |        |                               |        |                               |         |                               |         |                               |         |                               |         |                             |         |
| <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Messwerte:</div> <div style="text-align: right;">             Abstand Gitter-Projektionsfläche: <u>86</u> cm           </div> </div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;">Abstand von -1 zu +1 Maximum:</td> <td style="text-align: right;">3,1 cm</td> </tr> <tr> <td>Abstand von -2 zu +2 Maximum:</td> <td style="text-align: right;">6,2 cm</td> </tr> <tr> <td>Abstand von -3 zu +3 Maximum:</td> <td style="text-align: right;">9,25 cm</td> </tr> <tr> <td>Abstand von -4 zu +4 Maximum:</td> <td style="text-align: right;">12,4 cm</td> </tr> <tr> <td>Abstand von -5 zu +5 Maximum:</td> <td style="text-align: right;">15,5 cm</td> </tr> <tr> <td>Abstand von -6 zu +6 Maximum:</td> <td style="text-align: right;">18,5 cm</td> </tr> <tr> <td>Abstand Minimum zu Minimum:</td> <td style="text-align: right;">18,7 cm</td> </tr> </table> </div> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Abstand von -1 zu +1 Maximum: | 3,1 cm | Abstand von -2 zu +2 Maximum: | 6,2 cm | Abstand von -3 zu +3 Maximum: | 9,25 cm | Abstand von -4 zu +4 Maximum: | 12,4 cm | Abstand von -5 zu +5 Maximum: | 15,5 cm | Abstand von -6 zu +6 Maximum: | 18,5 cm | Abstand Minimum zu Minimum: | 18,7 cm |
| Abstand von -1 zu +1 Maximum:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 3,1 cm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                               |        |                               |        |                               |         |                               |         |                               |         |                               |         |                             |         |
| Abstand von -2 zu +2 Maximum:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 6,2 cm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                               |        |                               |        |                               |         |                               |         |                               |         |                               |         |                             |         |
| Abstand von -3 zu +3 Maximum:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 9,25 cm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                               |        |                               |        |                               |         |                               |         |                               |         |                               |         |                             |         |
| Abstand von -4 zu +4 Maximum:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 12,4 cm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                               |        |                               |        |                               |         |                               |         |                               |         |                               |         |                             |         |
| Abstand von -5 zu +5 Maximum:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 15,5 cm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                               |        |                               |        |                               |         |                               |         |                               |         |                               |         |                             |         |
| Abstand von -6 zu +6 Maximum:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 18,5 cm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                               |        |                               |        |                               |         |                               |         |                               |         |                               |         |                             |         |
| Abstand Minimum zu Minimum:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 18,7 cm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                               |        |                               |        |                               |         |                               |         |                               |         |                               |         |                             |         |

Abbildung 6: Messdaten zum Versuchsteil 2

