

**Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald / Institut für Physik**  
**Physikalisches Grundpraktikum**

|   |                 |                   |
|---|-----------------|-------------------|
| Praktikum für Physiker                  |                 |                   |
| Versuch <b>O2</b> : Beugung des Lichtes |                 |                   |
| Name:                                   | Versuchsgruppe: | Datum:            |
| Mitarbeiter der Versuchsgruppe:         |                 | Ifd. Versuchs-Nr: |

**Aufgabe** Bestimmen Sie die Wellenlänge des Laserlichtes und die Gitterkonstante eines unbekanntes Gitters unter Zuhilfenahme eines Mikroskops.

Physikalische Schwerpunkte des Versuches

- Mikroskop (Aufbau, Vergrößerung, Auflösungsvermögen)
- HUYGENS sches Prinzip
- Interferenz und Beugung am Spalt und Gitter, Kohärenzbedingung
- Beugungs- und Dispersionsspektrum

**Versuchsablauf**

**1. Messungen**

- 1.1. Bauen Sie das Mikroskop aus Einzelteilen auf. Betrachten Sie die Strichfolie durch das Okular. Messen Sie die Abstände auf der Strichfolie mit und ohne Objektivvergrößerung (Abb. O2-1). Messen Sie ebenfalls Bildweite  $b$  und Gegenstandsweite  $g$  der Anordnung.
- 1.2. Bestimmen Sie die Linienabstände (Gitterkonstante  $g$ ) im größten Bereich des Gitters  $G_1$  mit einer Schieblehre. Setzen Sie das Gitter  $G_1$  in die Halterung am Objektiv ein. Messen Sie mit dem Mikroskop (Abb. O2-2) die Verhältnisse der Linienabstände vom groben zum mittleren und danach vom mittleren zum feinen Bereich aus.
- 1.3. Bauen Sie die Anordnung nach Abb. O2-3 auf. Messen Sie bei einem bestimmten Abstand  $a$  zwischen Gitter und Schirm die Abstände  $b$  der Beugungsmaxima mittels feinem Bereich des Gitters  $G_1$ . Wiederholen Sie die Messungen mit drei weiteren anderen Abständen  $a$ .
- 1.4. Messen Sie die Abstände  $b$  bei ausgemessenem Abstand  $a$  für das Gitter  $G_2$ . Wiederholen Sie die Messung mit drei weiteren Abständen  $a$ .

**2. Berechnungen und Auswertungen**

- 2.1. Berechnen Sie die Objektivvergrößerung des Mikroskops durch Vergleich der Strichgitterabstände. Bestimmen Sie die Vergrößerung über die Messungen der Gegen- und Bildabstände. Stellen Sie beide Ergebnisse gegenüber.
- 2.2. Rechnen Sie unter Verwendung der mit der Schieblehre gewonnenen Gitterkonstante die Gitterkonstanten des mittleren  $g_m$  und feinen Bereiches  $g_f$  aus.
- 2.3. Bestimmen Sie den Mittelwert der Wellenlänge  $\lambda$  des Laserpointers unter Verwendung der Gitterkonstante  $g_f$ .
- 2.4. Bestimmen Sie das gewichtete Mittel der Gitterkonstante  $g_2$  des Gitters  $G_2$ .

**3. Zusatzaufgabe**

Zwei Spalte eines Doppelspaltens haben den Abstand  $g=0,560\text{mm}$  voneinander. Sie werden mit Licht der Wellenlänge  $\lambda=510\text{nm}$  beleuchtet. Wie groß ist der Abstand  $b$  benachbarter Maxima voneinander, wenn der Schirm sich in einer Entfernung  $a=2,70\text{m}$  befindet.

## Geräteliste:

Winkelschiene, 2 Linsen (L5, L4), Schirm, Metermass, Messschieber, Lämpchen mit Stromversorgungsgerät, Laserpointer, 2 Strichfolien in Diarahmen bzw. rundem Halter, 2 optische Gitter (G<sub>1</sub> und G<sub>2</sub>) in Diarahmen, Dia-Halter.

- ! **Wichtiger Sicherheitshinweis:** Bei diesem Versuch verwenden Sie einen kontinuierlichen Laser (Laserpointer) mit einer Leistung von <1 mW. Laser werden in die Klassen 1 (ungefährlich) bis 4 (große Gefahr für Auge und Haut) eingeteilt. Der hier verwendete Laser gehört zu der Klasse 2: "Laser dieser Klasse sind zwar nicht wirklich sicher, der Augenschutz ist jedoch durch den Lidreflex und andere Abwehrreaktionen sichergestellt. Schaut man bewußt länger in den Strahl oder wird der Reflex z.B. medikamentös unterdrückt, kann eine Schädigung eintreten."
- ! [Jürgen Eichler: Laser und Strahlenschutz, Vieweg 1992, S. 158] Also: schauen Sie niemals direkt in den Laserstrahl!

## Physikalische Grundlagen

### Das Mikroskop

Mit einem Mikroskop können kleine Gegenstände vergrößert wahrgenommen werden. (Ein Teleskop oder Fernrohr dient der Vergrößerung des Bildes weit entfernter Gegenstände. Vergleiche die Strahlengänge bei Mikroskop und Teleskop!). Dabei multiplizieren sich die Vergrößerungswirkungen zweier Linsen(systeme), die jeweils positive Brechkraft besitzen.

Das Objektiv des Mikroskops erzeugt von dem gut beleuchteten Gegenstand ein möglichst großes reelles Zwischenbild. (Im Prinzip könnte man dieses Bild beliebig groß machen, indem man den Gegenstand immer näher an die Brennebene des Objektivs rückt. Man erhält dann aber schließlich nur „leere“ Vergrößerungen, ohne entsprechenden Auflösungsgewinn, wieso?) Die Vergrößerung des Objektivs ergibt sich zu

$$V_1 = \frac{B}{G} = \frac{b}{g} = \frac{b - f_1}{f_1} = \frac{t}{f_1}$$

wobei  $t$  die "optische Tubuslänge" bedeutet ( $f_{\text{obj}} + f_{\text{oku}}$ ) = Abstand der Brennpunkte). Verwenden Sie bitte wegen der höheren Genauigkeit bei der Bestimmung der Objektivvergrößerung die Relation  $V_1 = (b - f_1) / f_1$  !

Das Zwischenbild betrachtet man mit dem Okular, welches als Lupe dient (meist mit entspanntem Auge), und erzielt dadurch eine nochmalige Vergrößerung. Das Zwischenbild muss dazu um die Brennweite  $f_2$  vor dem Okular sitzen. Die Gesamtvergrößerung des Mikroskops ergibt sich aus dem Abbildungsmaßstab  $V_1$  des Objektivs multipliziert mit der Lupenvergrößerung  $V_2 = s_0 / f_2$  des Okulars ( $s_0 = 25$  cm ist die „deutliche“ oder „konventionelle“ Sehweite).

$$V_{\text{Mikroskop}} = V_1 \cdot V_2 = \frac{t}{f_1} \frac{s_0}{f_2} \quad (\text{O2-1})$$

### Interferenz

Die Interferenz von Wellen kann zu komplizierten Wellenmustern führen. Bei Interferenzversuchen muss die Phasendifferenz der einzelnen Teilwellen zeitlich konstant sein; daher benötigt man kohärente Wellen. Diese lassen sich bei Schallwellen leicht mit Hilfe von Lautsprechern am gleichen Verstärker erzeugen.

Bei Licht ist der Sachverhalt komplizierter: Das Licht natürlicher Strahlungsquellen entsteht durch sehr viele atomare Prozesse von kurzer Dauer, die völlig unabhängig voneinander verlaufen und deren Wellen sich überlagern. Deshalb ändert sich im natürlichen Licht die Phase der gesamten Welle regellos nach einer Zeitspanne von etwa  $10^{-8}$ s, der typischen Strahlungs-

dauer eines Atoms. Zwei natürliche Lichtwellen, die von zwei getrennten Quellen ausgehen (z.B. von zwei baugleichen Lampen), haben daher ständig wechselnde Phasendifferenzen, sind also inkohärent.

Trotzdem lassen sich auch mit natürlichem Licht Interferenzerscheinungen beobachten, wenn ein Wellenzug geteilt wird und die beiden Teilwellen nach Zurücklegen unterschiedlicher Wegstrecken wieder zusammengeführt werden (solange die Wegstreckendifferenz klein gegen die Länge des Wellenzuges ist). Der Gangunterschied  $\Delta x$  verursacht eine feste Phasendifferenz zwischen den beiden Teilwellen:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta x}{\lambda}$$

Ob man konstruktive oder destruktive Interferenz erhält, hängt nach dieser Gleichung außer von  $\Delta x$  auch von der Wellenlänge des verwendeten Lichtes ab. In 'weißem' Licht (z.B. Licht einer Glühwendel) sind sehr viele verschiedene Wellenlängen enthalten. Für jede der Wellenlängen ist die Interferenzbedingung anders erfüllt, man erhält eine Überlagerung vieler Interferenzmuster. Dies ist z.B. für einen dünnen Ölfilm auf Wasser der Fall: Man beobachtet farbige Interferenzerscheinungen.

Systematische Interferenzuntersuchungen lassen sich wesentlich einfacher mit Hilfe von Laserstrahlung studieren, da Laserlicht monochromatisch und außerdem kohärent ist, weil die angeregten Atome im Laser ihr Licht nicht unabhängig voneinander aussenden, sondern durch ein starkes Strahlungsfeld gekoppelt sind und somit feste Phasenbeziehungen bestehen.

### Beugung am Gitter

Nach den Gesetzen der geometrischen Optik erwartet man, dass ein scharf begrenzter Gegenstand in einem parallelen Lichtbündel einen scharf begrenzten Schatten wirft. Bei genauerer Betrachtung stellt man aber fest, dass die Schattenkanten diffus sind, die Ausbreitung des Lichtes also vom geradlinigen Verlauf abzuweichen scheint.

Dieses Phänomen bezeichnet man als Beugung. Es kann durch zwei Prinzipien verdeutlicht werden:

- a) **Huygens'sches Prinzip:** Jeder Punkt, der von einer Welle getroffen wird, ist Ausgangspunkt einer neuen Elementarwelle, die sich kugelförmig ausbreitet.
- b) **lineare Superposition:** Das Gesamtwellenmuster des gebeugten Lichts ergibt sich aus der Überlagerung all dieser Elementarwellen durch einfache Addition der Feldstärken.

Besonders übersichtlich und in der Messtechnik wichtig sind die Beugungserscheinungen an einem optischen Gitter, also an einer periodischen Folge durchlässiger und undurchlässiger Streifen (Abb. O2-1). Der homologe Abstand  $g$  zweier benachbarter durchlässiger Stellen heißt **Gitterkonstante**.

Aus der Überlagerung der einzelnen Elementarwellen ergeben sich Helligkeitsmaxima (d.h. konstruktive Überlagerung der Teilstrahlen) nur für diejenigen Richtungen  $\alpha$ , für die der Gangunterschied  $\Delta x$  zwischen benachbarten Teilstrahlen ein ganzes Vielfaches der Wellenlänge  $\lambda$  beträgt:

$$\Delta x = m \cdot \lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

Dabei gibt die Zahl  $m$  die Beugungsordnung an. Mit der geometrischen Beziehung für den Gangunterschied

$$\Delta x = g \cdot \sin \alpha$$

folgt daraus für die Richtung  $\alpha_m$ , unter der das Maximum  $m$ -ter Ordnung entsteht:

$$\sin \alpha_m = m \cdot \frac{\lambda}{g} \quad (\text{O2-2})$$

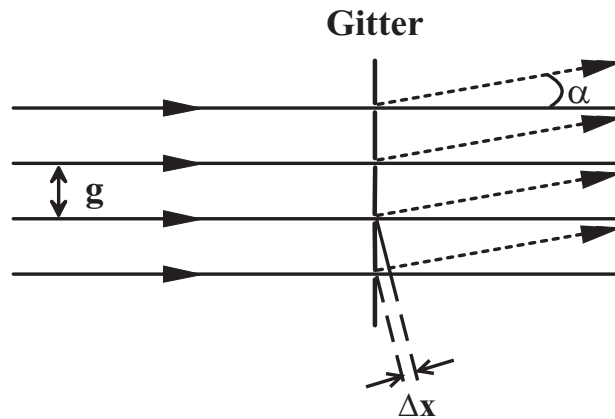


Abb. O2-1 Einfallender und am Gitter gebeugter Strahl.

## Hinweise zur Versuchsdurchführung

### 1. Aufbau eines Mikroskops und Messung der Vergrößerung des Objektivs

**Hinweis:** Stellen Sie die Helligkeit der Lampe zunächst sehr schwach ein, um Ihr Auge nicht zu blenden.

Bauen Sie ein Mikroskop nach Abb. O2-2 auf! Beginnen Sie mit dem Aufbau an einem Ende der Schiene, nicht mittendrin. (Wählen Sie dazu als Abstand zwischen Objektiv und Okular einen Wert zwischen 20 cm und 40 cm.) Bestimmen Sie die Vergrößerung des Objektivs durch Vergleich identischer Strichfolien in der Objektebene (auf Dia-Halters) und der Bildebene des Objektivs! Verschieben Sie dazu das Objektiv, bis Sie ein scharfes Bild erhalten! Vergleichen Sie den gemessenen Wert mit dem erwarteten Wert (bei Berechnung über Brennweite und Bildweite).

**Hinweis:** Verwenden Sie zur Halterung der Objekt-Strichfolie nicht die mittige Bohrung des Dia-Halters, sondern die exzentrische, um die Linse L5 genügend nahe an die Strichfolie bringen zu können.

Bemerkung: Die Benutzung einer Lochblende (am Schienenanfang) vereinfacht den Gebrauch des Mikroskops, da das Auge des Beobachters sich auf der optischen Achse des aufgebauten Mikroskops befinden muß.

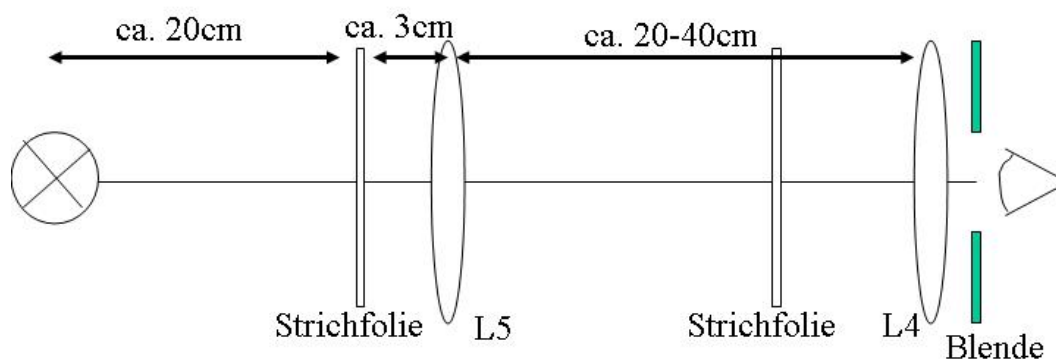


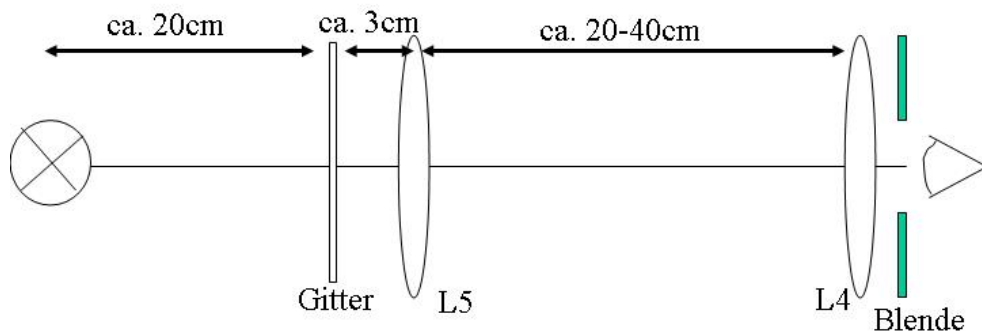
Abb. O2-2 Mikroskop: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Vergrößerung eines Objektivs.

## 2. Messung der Gitterkonstanten $g_1$ des groben Gitters $G_1$

Betrachten Sie das Dia mit dem Gitter  $G_1$  zunächst mit bloßem Auge: Es enthält neben dem Bereich mit dem eigentlichen feinteiligen Strichgitter zwei weitere mit jeweils größeren Rasterungen. Die gesuchte Gitterkonstante  $g_1$  ergibt sich

- aus den Verhältnissen der Linienabstände der drei Gitterbereiche (s. Abb. O2-2) die unter dem Mikroskop (siehe M-1) ausgezählt werden können, und aus
- aus dem Wert der Linienabstände im größten Bereich, der mit einem Meßschieber bestimmt werden kann.

Verwenden Sie das aufgebaute Mikroskop. Entfernen Sie die beiden Strichfolien und setzen

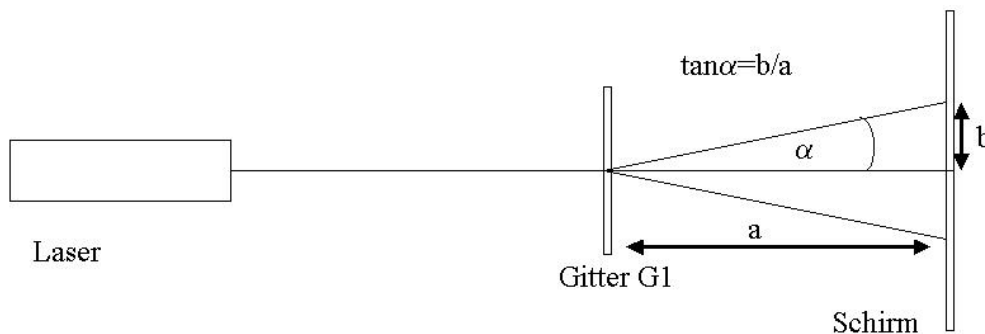


**Abb. O2-3** Versuchsaufbau zu Punkt M-2 Bestimmung der Gitterkonstante (mit MIKROSKOP).

Sie das Gitter  $G_1$  ein. (siehe Abb. O2-3. Verwenden Sie zur Halterung wieder die exzentrische, nicht die mittige Bohrung!) Um die Gitterkonstante zu erhalten, bestimmen Sie das Verhältnis der Liniendicken (oder der Linienabstände) der drei Gitterbereiche zueinander. Die größte Liniendicke (bzw. der Abstand der weitesten Linien) lässt sich mit einem Messschieber absolut bestimmen. Damit kann nun der Linienabstand  $g_1$  bestimmt werden.

## 3. Messung der Wellenlänge des Laserpointers

Bauen Sie die Versuchsanordnung nach Abb. O2-4 mit Laser, Gitter  $G_1$  und Schirm auf!



**Abb. O2-4** Versuchsaufbau Bestimmung der Gitterkonstanten (aus dem Beugungsbild)

Das Laserlicht wird nach dem Durchgang durch das Gitter  $G_1$  vom Schirm aufgefangen. Bestimmen Sie den Abstand  $b$  der Beugungsmaxima auf dem Schirm. Mit der Kenntnis der in M-2 bestimmten Gitterkonstante  $g_1$  können Sie nun unter Verwendung von Gleichung O2-2 die Wellenlänge  $\lambda$  der Laserstrahlung bestimmen.

## 4. Messung der Gitterkonstanten $g_2$ des feinen Gitters $G_2$

Ersetzen Sie nun in Abb. O2-4 das Gitter  $G_1$  durch  $G_2$  und bestimmen Sie die Gitterkonstante  $g_2$  durch Messung der Lage der Beugungsmaxima! Verwenden Sie dazu mindestens 5 unterschiedliche Abstände  $a$  zwischen Gitter und Schirm und bilden Sie den gewichteten Mittelwert  $\overline{g_2}$  !