

Physikalisches Grundpraktikum

Praktikum für Mediziner		
02 Beugung des Lichtes		
Name:	Versuchsgruppe:	Datum:
Mitarbeiter der Versuchsgruppe:		lfd. Versuchs-Nr:

Aufgaben

Vorbereitungsaufgaben:

- V-1) Ein Mikroskop soll eine Vergrößerung von $V = 410$ erreichen. Die Objektivlinse hat die Brechkraft $D_1 = 440$ dpt, die Okularlinse hat die Brechkraft $D_2 = 10,0$ dpt. Wie lang (Abstand von Objektiv und Okular in cm) muss das Mikroskop sein?
- V-2) Die beiden Spalte eines Doppelspaltens haben den Abstand $d = 0,560$ mm voneinander. Sie werden mit Licht der Wellenlänge $\lambda = 510$ nm beleuchtet. Wie groß ist der Abstand x benachbarter Interferenzmaxima (in mm) auf einem Schirm, der sich in der Entfernung $L = 2,70$ m befindet?
- V-3) Die Oberfläche einer Linse ($n_{\text{Linse}} = 1,5$) wird mit einer dünnen Schicht überzogen, um die Durchlässigkeit von Licht der Wellenlänge $\lambda = 530$ nm zu optimieren. Welche Dicke d (in nm) muss der Film bei einem Brechungsindex $n = 1,27$ haben?
- V-4) Ein Beugungsgitter lenkt Licht der Wellenlänge $\lambda = 390$ nm um $\alpha = 23,4^\circ$ in das Maximum zweiter Ordnung ($m = 2$) ab. Wie hoch ist die Liniendichte L (in Linien pro cm) des Gitters?

Messaufgaben:

1. Aufbau eines Mikroskops und Messung der Vergrößerung des Objektivs
2. Messung der Gitterkonstante g_1 des groben Gitters G_1
3. Messung der Wellenlänge der Strahlung des Laserpointers
4. Untersuchung des Beugungsbildes bei Schrägstellen des Gitters
5. Messung der Gitterkonstante g_2 des feinen Gitters G_2

Geräteliste:

Winkelschiene, 2 Linsen (L_5, L_4), Schirm, Metermaß, Lämpchen mit Stromversorgungsgerät, 2 Strichfolien in Diarahmen bzw. rundem Halter, Prisma, 1 Blende, 2 Kabel.

Auszuleihen: Laserpointer, G_1 und G_2 als optisches Gitter in Diarahmen, Messschieber

Hinweise

! **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."

Schauen Sie niemals direkt in den Laserstrahl!

Zusammenfassung der physikalischen Grundlagen

Das Mikroskop

Mit einem Mikroskop können kleine Gegenstände vergrößert wahrgenommen werden. (Ein Teleskop oder Fernrohr dient der Vergrößerung des Bildes weit entfernter Gegenstände. Vergleichen Sie 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 (Linsenabstand minus $(f_{\text{obj}} + f_{\text{oku}})$ = 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 Strahlungsdauer eines Atoms. Zwei natürliche Lichtwellen, die von zwei getrennten Quellen ausgehen (z.B. von zwei baugleichen Lampen), haben daher ständig wechselnde Phasendifferenzen und 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 Δx 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 Δx auch von der Wellenlänge des verwendeten Lichtes ab. In 'weißem' Licht (z.B. Licht einer Glühlampe) sind sehr viele verschiedene Wellenlängen enthalten. Für jede der Wellenlängen ist die Interfe-

renzbedingung 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 ist die Beugungerscheinungen an einem optischen Gitter, also an einer periodischen Folge durchlässiger und undurchlässiger Streifen (Abb. O2-1). Der 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 α , für die der Gangunterschied Δx zwischen benachbarten Teilstrahlen ein ganzes Vielfaches der Wellenlänge λ 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 α_m , unter der das Maximum m -ter Ordnung entsteht:

$$\sin \alpha_m = m \cdot \frac{\lambda}{g} \tag{O2-2}$$

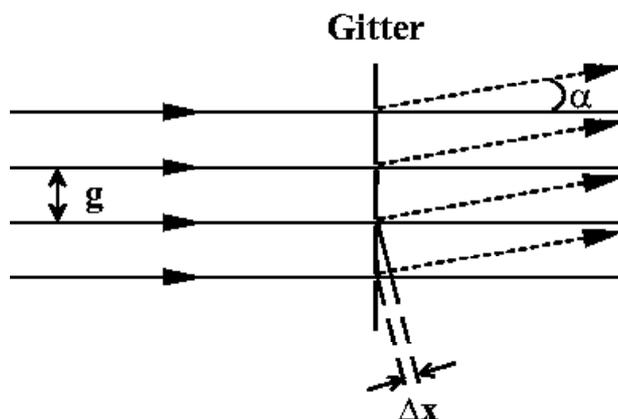


Abb. O2-1: Einfallender und am Gitter gebeugter Strahl.

Messaufgaben

M-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-Halter) und der Bildebene des Objektivs! Verschieben Sie dazu das Objektiv bis Sie ein scharfes Bild des ersten Gitters erhalten, danach verschieben Sie das zweite Gitter, bis Sie beide Gitter gleichzeitig scharf sehen. 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.

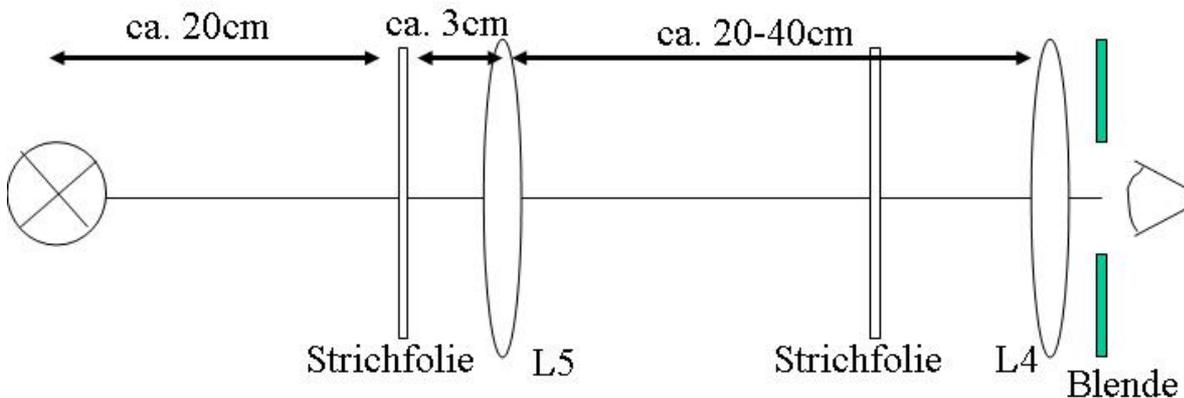


Abb.: O2-2: Mikroskop: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Vergrößerung eines Objektivs.

M-2) Messung der Gitterkonstanten g_1 des groben Gitters G_1

Hinweis: (wie für M-1) Stellen Sie die Helligkeit der Lampe zunächst sehr schwach ein, um Ihr Auge nicht zu blenden.

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 Mikroskop aus M-1! Entfernen Sie die beiden Strichfolien und setzen 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 beitesten Linien) lässt sich mit einem Messschieber absolut bestimmen. Damit kann nun der Linienabstand g_1 bestimmt werden.

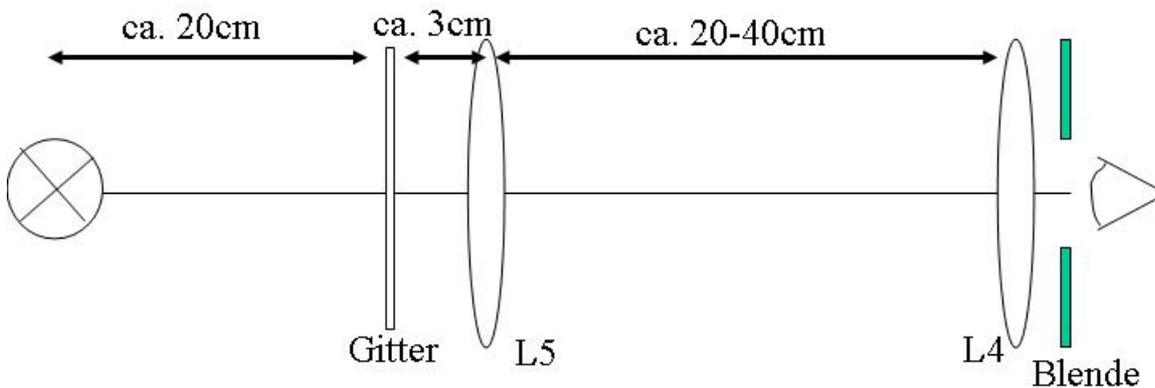


Abb.: O2-3: Versuchsaufbau zu Punkt M-2 Bestimmung der Gitterkonstante (mit MIKROSKOP).

M-3) Messung der Wellenlänge des Laserpointers

Bauen Sie die Versuchsanordnung nach Abb. O2-4 mit Laser, Gitter G_1 und Schirm auf! 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 λ der Laserstrahlung bestimmen.

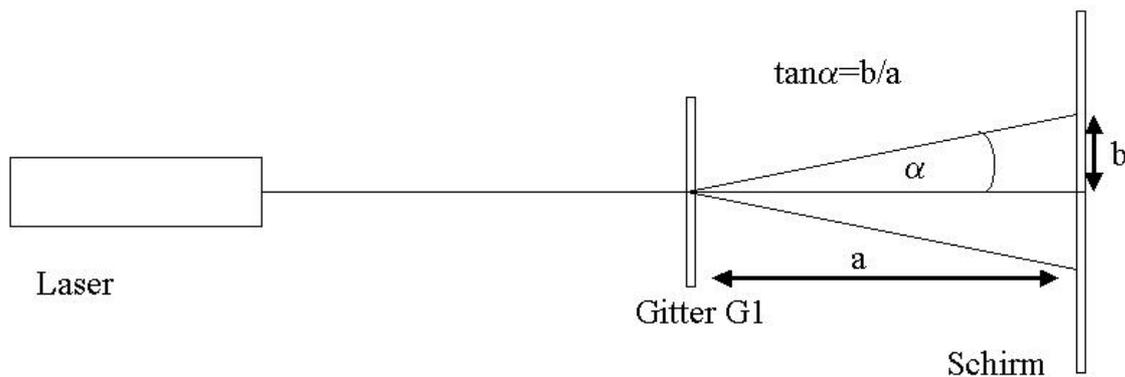


Abb.: O2-4: Versuchsaufbau Bestimmung der Gitterkonstanten (aus dem Beugungsbild)

M-4) Untersuchung des Beugungsbildes bei Schrägstellen des Gitters

Das optische Gitter kann in seiner Halterung verdreht werden. Untersuchen Sie die Veränderung des Beugungsbildes bei Schrägstellen des optischen Gitters. Unter welchem Winkel verdoppeln sich die Abstände zwischen den Maxima?

M-5) 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 Mittelwert $\overline{g_2}$!

M-6) Zusatzaufgabe:

Erzeugen Sie wie im Versuch O1 ein Bild der Wendel der Glühbirne auf dem Schirm – jetzt aber bei zusätzlicher Durchleuchtung (a) eines Prismas und (b) eines Gitters! Vergleichen Sie die Ausdehnung der dabei beobachteten Spektren. Mit welcher Konstruktion kann man eher Spektroskopie betreiben?