

P2-16/17/18 Laser und Wellenoptik Teil A

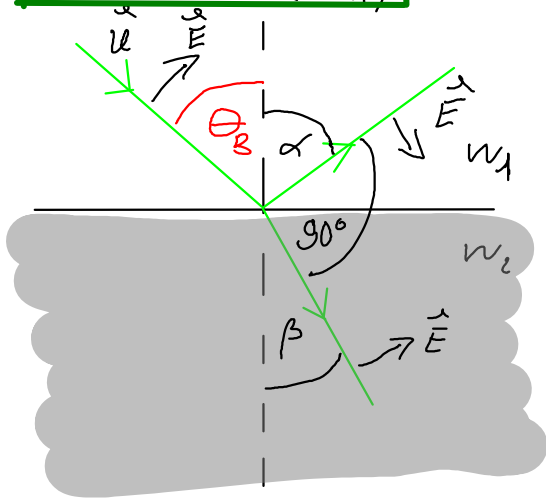
Vorbereitung

Saskia Kleipner, Anold Seiler

1. Brewsterwinkel

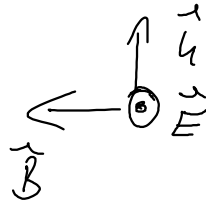
Trifft Licht in einem bestimmten Winkel θ_B auf ein anderes Medium, tritt fast keine Reflexion auf. (bei linear polarisiertem Licht)

$$\theta_B = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$



$$n_1 \sin \theta_B = n_2 \cos \theta_B \quad (\text{Snelliuss Brechungsgesetz})$$

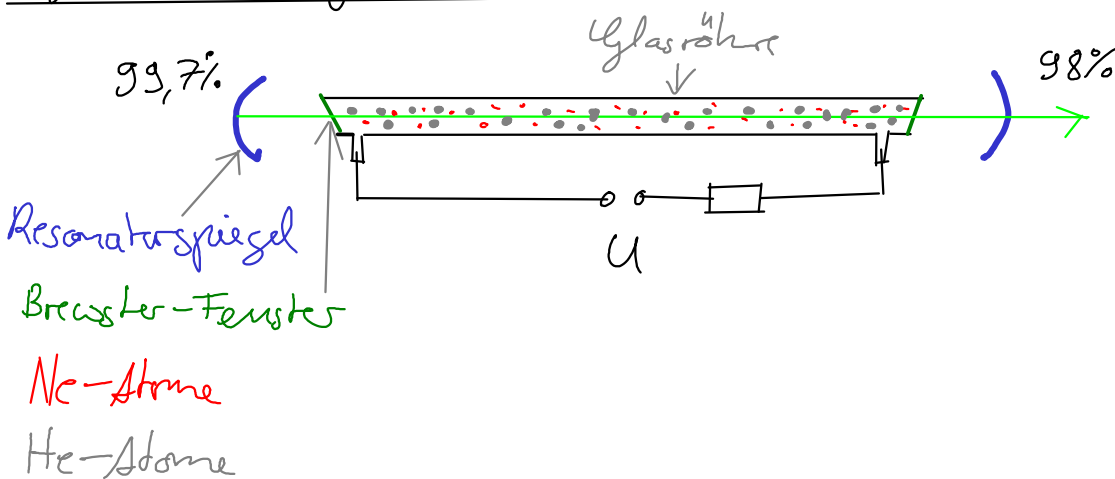
$$\theta_B = \alpha$$



Das gesamte parallel zur Einfallsebene polarisierte Licht wird gebrochen und der senkrecht zur Einfallsebene polarisierte Anteil wird teilweise reflektiert.

1.1. Brewster-Fenster (He-Ne-Laser)

Aufbau des Gaslasers:



Resonatorspiegel

Brewster-Fenster

Ne-Atome

He-Atome

Funktionsweise:

Durch Gasentladung werden die He-Atome in einen angeregten Zustand versetzt. Die He-Atome lösen eine Besetzungsinversion bei den Ne-Atomen durch inelastische Stöße aus. Der Laser wird nun aufgrund der energetischen Übergänge des Ne betrieben.

Warum braucht man die Brewster-Fenster?

Mit den Brewster-Fenstern erreicht man eine minimale Reflexion des Laserstrahls und linear polarisiertes Licht.

- Hier sollen die Fenster so ausgerichtet werden, dass keine Reflexion mehr stattfindet.
- Unter Beobachtung der Intensität des Laserstrahls maximale Intensität tritt beim Brewster Winkel auf senkrecht einfallende Strahlen werden teilweise reflektiert wegen

$$R = \frac{(n_2 - 1)^2}{(n_2 + 1)^2} \quad (\text{nach Fresnel})$$

1.2 Messung des Brewster-Winkels

- Messung mit dem SI-Photoelement:
Dieses Element misst die Intensität $I_z(\theta)$ des transmittierten Strahls. Bei θ_B ist I_z maximal.
- Man stellt den Winkel θ_B ein unter Beobachtung der Reflexion. Verschwindet diese, ist der Brewster Winkel erreicht. Diese Methode ist genauer als eine Intensitätsmessung, da man eine Größe "verschwinden" sieht.

Der Brechungsindex des Glases n_2 ist dann:

$$\frac{n_2}{n_1} = \tan \theta_B \quad \text{mit } n_1 \approx 1 \text{ dem Brechungsindex von Luft.}$$

2. Beugung an Spalt, Steg, Kreisloch, Kreisblende und Kante

2.1 Beugung am Spalt

- Bestimmung der Spaltbreite eines Spaltes ($d = 0,2$ oder $0,3 \text{ mm}$)
- Die Intensität auf dem Schirm in Abhängigkeit des Beugungswinkels θ :

$$I(\theta) = I_0 \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{\pi d}{\lambda} \cdot \sin\theta\right)}{\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin\theta\right)^2}$$

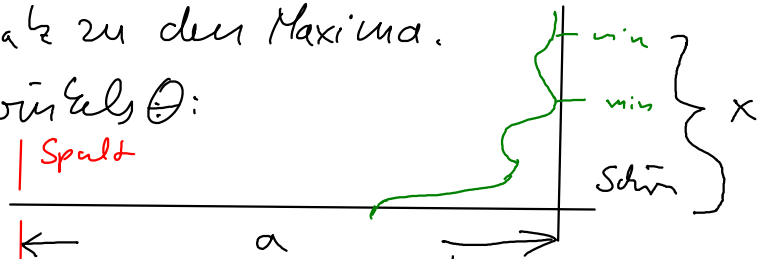
- Minima der Intensität:

$$\sin\theta = \frac{k \cdot \lambda}{d} \quad k \in \mathbb{Z} \setminus \{0\}$$

Man betrachtet auch hier keines der Minima, da diese eindeutig erkennbar sind im Gegensatz zu den Maxima.

- Bestimmung des Beugungswinkels θ :

$$\theta = \arctan \frac{x}{a}$$



x : Abstand des k -ten Minimums vom Hauptmaximum $k=0$.
 a : Abstand Schirm \leftrightarrow Spalt

- Die Spaltbreite lässt sich dann berechnen mit:

$$b = \frac{k \cdot \lambda}{\sin\theta}$$

λ : Wellenlänge des Lasers ($= 632,8 \text{ nm}$)

2.2 Babinet-Theorem

Das Babinet-Theorem besagt:

Optisch komplementäre Gegenstände erzeugen identische Beugungsbilder. Zwei Gegenstände sind optisch komplementär, wenn gerade der lichtundurchlässige Teil und der lichtdurchlässige Teil vertauscht sind.

- Man soll nun die Beugungsfigur eines gleichbreiten Steges mit der des vorherigen Spaltes vergleichen

2.3 Poissonscher Fleck

- Nach dem Babinet-Theorem haben die Kreisöffnung und die Kreisstreife gleicher Öffnung identische Beugungsbilder. Die Mitte des Beugungsbildes dieses Objekts ist stets hell. Bei einem Beugungswinkel von $\theta = 0^\circ$ haben alle Strahlen keinen Gangunterschied (Lochblende). Es ist an diesem Punkt die maximale Intensität im Beugungsbild. Dies ist der sogenannte Poisson-Fleck. Der Fleck taucht bei der Kreisstreife ebenfalls auf, da die Strahlen die am Rand der Streife gebeugt werden im Zentrum keinen Gangunterschied haben. Es findet dort konstruktive Interferenz statt.

- Hier soll das Beugungsbild einer Kreisöffnung, einer gleichgroßen Kreisstreife und einer Kante beobachtet werden

- Beugung an einer Kante:

Das Beugungsbild ist durch die aufbrechende Interferenz in dunkle und helle Streifen aufgeteilt mit dem Abstand x_k der dunklen Streifen außerhalb des geometrischen Schattens:

$$x_k = \sqrt{a \cdot n \cdot \left(k - \frac{1}{4}\right)} \quad k \in \mathbb{Z} \setminus \{0\}$$

2.4 Durchmesser eines Haars

- Nach dem Babinet-Theorem entspricht das Beugungsbild eines Haars einem Spalt, der so breit ist wie der Durchmesser des Haars. analog zu 2.1

$$d = \frac{k \cdot n}{\sin \theta}$$

: Durchmesser des Haars

Zusätzlich ist ein Schatten in der Mitte des Beugungsbildes zu sehen.

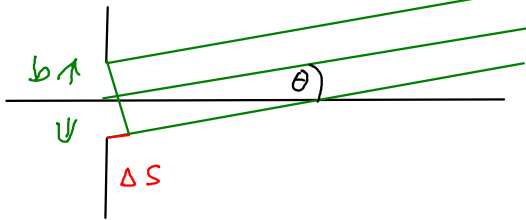
- Vergleich mit der Messung mit Hilfe der Mikrometerschraube

3. Beugung an Mehrfachspalten und Gittern

Man kann das Verhältnis vom Beugswinkel zu n und d eines Spalts auch über den Gangunterschied Δs herleiten.

$$\Delta s = d \cdot \sin \theta = k \cdot \lambda$$

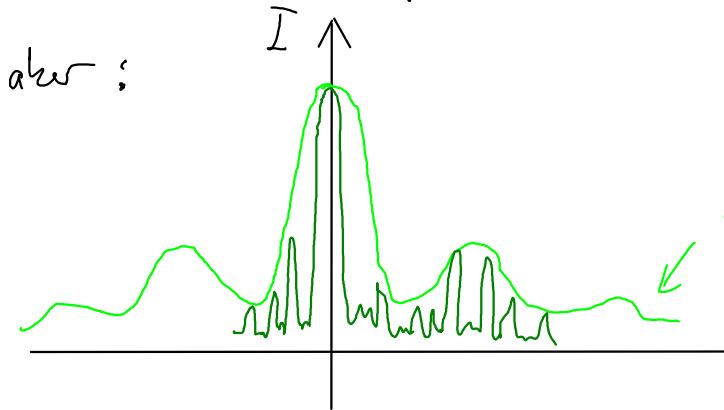
Δs : Gangunterschied der Maxima



$$\Delta s = d \cdot \sin \theta = \frac{2k+1}{2} \cdot \lambda$$

Δs der Minima

d : Abstand der Spalte (Doppelspalt, Gitter)



Hauptmaxima der
Einfallslöcher (wie Einzelspalt)

0. 1. 2. 3. 4 ... Ordnung des Gitters Nebenmaxima

3.1 Beugung am Doppelspalt

Der Doppelspalt entspricht einem Gitter mit zwei Öffnungen.

- Spaltbreite b :

Beugswinkel $\theta = \arcsin \frac{x}{a}$

x : Abstand der Minima der Einfallslöcher zum Maximum 0. Ordnung

$$b = \frac{k \cdot \lambda}{\sin \theta}$$

Man kann diese Messung, um die Minima besser zu erkennen auch mit einem abgedeckten Spalt (\Rightarrow wie Einzelspalt) machen.

• Spaltabstand d :

Hier kann man entweder den Abstand x vom Minimum oder vom Maximum zum Hauptmaxima messen und den Beugungswinkel bestimmen.

d ist dann bei Maxima: bei Minima:

$$d = \frac{k \cdot \lambda}{\sin \theta}$$

$$d = \frac{2k+1}{2} \cdot \frac{\lambda}{\sin \theta}$$

3.2 Beugung an verschieden Mehrfachspalten

- Erhöhung der Spaltanzahl bei gleicher Spaltbreite und Spaltabstand:
Die Maxima des Beugungsbildes bleiben an der selben Stelle und werden schärfer. Mit steigender Spaltanzahl treten mehr Nebenmaxima auf. (siehe Skizze bei 3.)
- Verringerung des Spaltabstandes d :
Der Abstand der Hauptmaxima wird größer
- Verringerung der Spaltbreite b :
Die Einhüllende wird breiter.
- Für $d \rightarrow 0$ ist das Interferenzmuster des Gitters zu vernachlässigen
- Für $b \rightarrow 0$ ist die Einhüllende zu vernachlässigen und es bleibt nur das Gitterinterferenzmuster.

3.3 Gitterkonstante

Die Gitterkonstante entspricht der Anzahl der Spalte pro Meter.

$$g = \frac{1}{d} \quad (\text{Bestimmung von } d \text{ siehe 3.1})$$

- Wirkung der Ausleuchtung:
Ändert die Position der Maxima nicht. Bessere Ausleuchtung führt zu einem schärferen Beugungsbild.

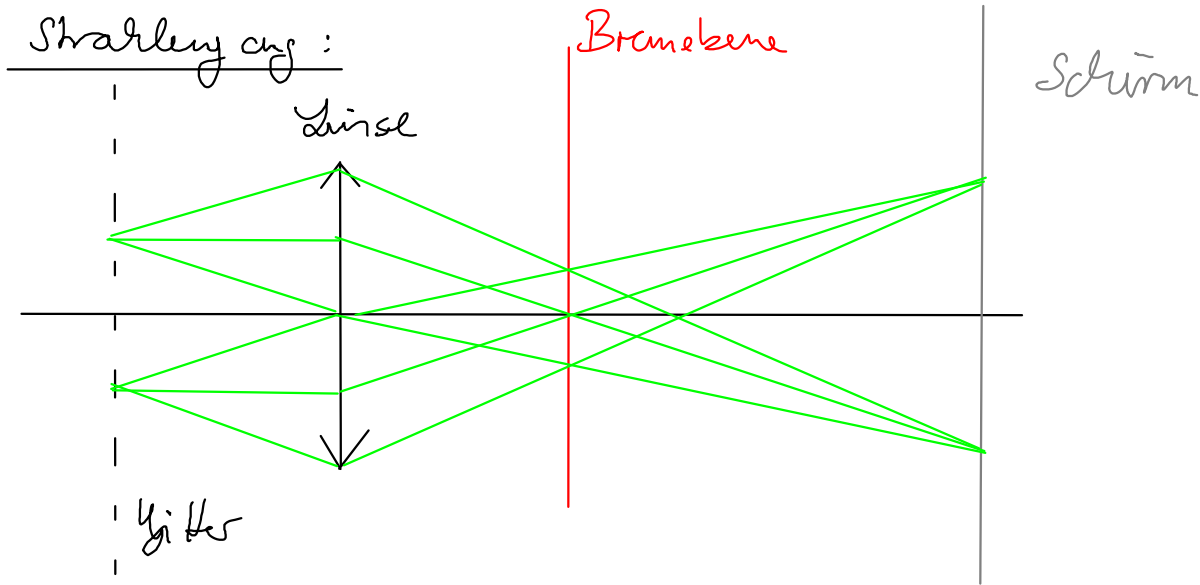
3.4 Kreuz- und Wabengitter

Diese Gitter sind prinzipiell gleich zu behandeln, wie bei 3.1... diskutiert. Zusätzlich sind für die Raumkomponenten zu beachten, also eine Überlagerung von verschiedenen Beugungsrichtungen.

4. Abbildung nichtselbstbeachtender Gegenstände

Hier soll ein Gitter mit 100 Strichen pro cm mit Hilfe einer Linse (150mm) durch den Laser auf dem Schirm abgebildet werden. Wie bei der Ablesertheorie schneiden nicht alle Strahlen einer Ordnung in einem Punkt in der Brennebene (0. Ordnung trifft im Brennpunkt). Um bestimmte Ordnungen auszuklenden, verwendet man die Beugungsordnungsblende.

- Durchlass 0. Ordnung:
Entspricht der Abbildung ohne Gitter, die gleichmäßig ausgeleuchtet ist.
- Durchlass 0. Ordnung und eine der beiden ersten Ordnungen:
Das Bild des Gitters ist auf dem Schirm zu erkennen.
- Ausklenden der 0. Ordnung und Durchlass höherer Ordnungen:
Es ist eine Gitterstruktur erkennbar mit viel größerem Spaltantrieb als das Gitter selbst hat.
Durch das Ausklenden höherer Ordnungen kann man z.B. ein digitalisiertes Bild von störenden Rastern befreien.



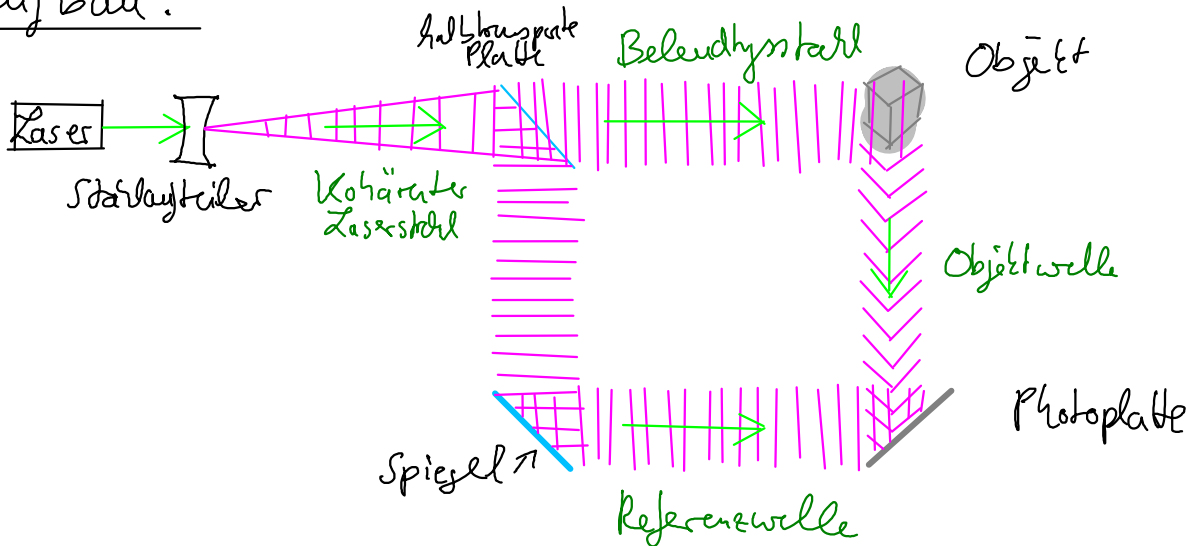
5. Holographie

Mit Hilfe von Holographie kann man ein 3D-Bild erzeugen. Dieses Bild ist visuell vom realen Objekt nicht unterscheidbar.

Herstellung einer Holographie: ("Photografieren")

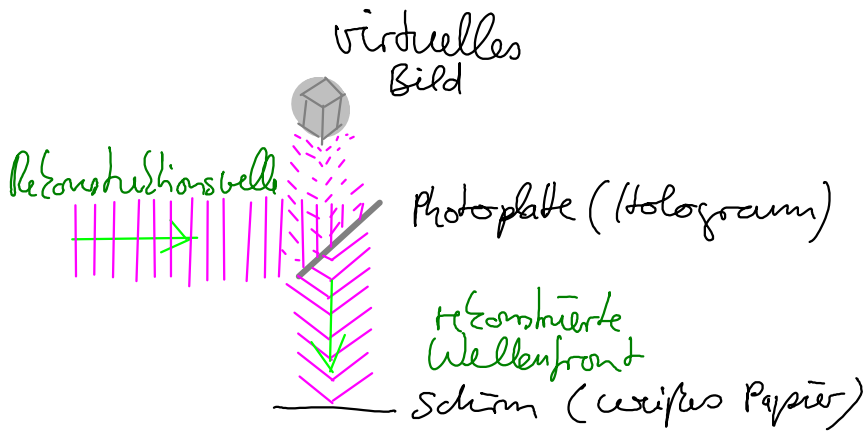
Bei der normalen Photographie wird nur die Intensität des einfallenden Lichts gespeichert. Für eine Holographie ist aber auch die Phase der Welle notwendig (räumliche Darstellung).

Aufbau:



- Ein kohärenter Laserstrahl wird aufgeweitet und mit einem Strahlteiler aufgeteilt
- Ein Teil des Laserstrahles trifft auf das Objekt, von dem aus geht dann eine Objektwelle aus
- Der andere Teil wird als Referenzwelle mit der Objektwelle interferiert.
- Auf der Photoplatte (hochauflösend) wird das entstandene Interferenzbild aufgenommen \Rightarrow Hologramm
- Das Hologramm, die Schwärzungsverteilung auf der sehr feinkörnigen Photoplatte. Dieses hat keine Ähnlichkeit mit dem Objekt.

Rekonstruktion: (um das Hologramm sichtbar zu machen)



- Die Photoplatte (mit Hologramm) wird von λ_0 Laserstrahl gleicher Frequenz wie bei der Herstellung beleuchtet. Diese Welle ist die Rekonstruktionswelle
- Durch die Beugung am Hologramm wird ein 3D-Bild des Objekts erzeugt. Es entsteht ein virtuelles Bild hinter dem Hologramm und ein seitenverkehrtes Bild vor dem Hologramm. Auf einem Schirm kann dieses sichtbar gemacht werden.

Eigenschaften des Hologramms:

- Die Information des gesamten Objekts sind schon in einem Teilstück enthalten. Wenn man einen Teil des Hologramms abdeckt, sollte immer noch das ganze Objekt zu sehen sein.
- Man kann mehrere Hologramme überlagern um ein Objekt zu mehreren Zeitpunkten abzubilden.
- Farbhologramme sind durch mehrfache Belichtung mit verschiedenen Wellenlängen bei der Herstellung möglich.