**Vorbereitung**

# Laser B
# Versuch P2-23,24,25

Iris Conradi und Melanie Hauck
Gruppe Mo-02

20. Mai 2011

# Inhaltsverzeichnis



# 1 Fouriertransformation

Im Limes der Frauenhoferbeugung wir die Intensitätsverteilung eines Beugungsbildes durch das Betragsquadrat der Fouriertransformierten der Spaltfunktion beschrieben. Die Spaltfunktion ist in lichtdurchlässigen Bereichen 1, in lichtundurchlässigen Bereichen 0. Im Falle eines Einfachspaltes ist die Spaltfunktion also eine Rechtecksfunktion.
Um aus einem Beugungsbild auf das beugende Objekt zu schließen muss also eine Fourierrücktransformation durchgeführt werden. Jedoch muss zuvor die Wurzel gezogen werden. Da quadrieren keine Äquivalenzumformung ist, geht dadurch Information verloren (Vorzeichen). Um also wirklich die Spaltfunktion zu finden, muss man zusätzliche Informationen haben. Im Versuch wird vorausgesetzt, dass es sich um einen Einfachspalt handelt. Nur die Breite muss bestimmt werden. Dies kann durch Rücktransformation gewonnen werden.

In diesem Versuch wird das Beugungsbild durch einen Phototransistor aufgenommen. Die Fouriertransformation geschieht am Computer.

# 2 Michelson-Interferometer

Der Aufbau des Michelson-Interferometers ist in Abbildung 1 zu sehen. Kohärentes Licht

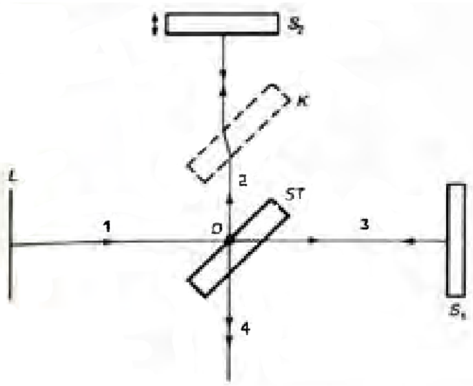


**Abbildung 1:** Michelson-Interferometer

wird am Strahlteiler in zwei Teilstrahlen zerlegt. Durch Interferenz der beiden Strahlen kann man auf Wegunterschiede schließen.
Die Kompensationsplatte wird nur benötigt, wenn weißes Licht (mehrere Frequenzen) verwendet wird, da der Strahl 3 dreimal durch den Strahlteiler läuft. Aufgrund der Dispersion entstehen auch Wegunterschiede zwischen verschiedenen Frequenzen. Mit der Kompensationsplatte durchläuft auch Strahl 2 dreimal das Medium.
Am Detektor beobachtet man destruktive Interferenz (dunkle Stellen), wenn der Gangunterschied der Teilstrahlen ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge beträgt. Eigentlich tritt bei einem Gangunterschied dieser Art konstrukive Interferenz auf. Jedoch muss man beachten, dass die Teilstrahlen unterschiedlich oft an einer Grenzschicht zum optisch dichteren Medium reflektiert werden. Bei einer solchen Reflektion entsteht eine Phasenverschiebung von $\lambda/2$.

## 2.1 Magnetostriktion

Ferromagnetische Stoffe verändern unter Einfluss eines äußeren Magnetfeldes ihre Länge. Die Größe dieses Effektes kann man durch den Magnetostriktionskoeffizienten $\xi_{mag}$ charakterisieren.

$$\xi_{mag} = \frac{\Delta l}{l \cdot H} \tag{1}$$

Hierbei bezeichnet $\Delta l$ die Längenänderung und $l$ die Ausgangslänge des Nickelstabes. Wobei $H$ durch eine Spule erzeugt wird, es gilt unter der Voraussetzung, dass die Spule

(Windungszahl N) lang ist:

$$H = \frac{N \cdot I}{l_{Sp}} \tag{2}$$

Ein Spiegel des Michelson-Interferometers wird mit dem Nickelstab verbunden. Durch Änderung des Stroms $I$ durch die Spule verändert sich die Position des Spiegels. Diese Änderung kann am Interferenzbild beobachtet werden.
Wenn man einen dunklen Punkt am Interferometer sieht und dann den Strom variiert, bis wieder ein dunkler Punkt zu sehen ist, so entspricht dies am Nickelstab einer Änderung von $\Delta l = \lambda/2$, da der Weg zweimal durchlaufen wird.

## 2.2 Wellenlänge des Lasers

Ein Wechsel im Interferenzbild von dunkel-hell-dunkel bzw. hell-dunkel-hell entspricht wie oben angesprochen einer Veränderung der Spiegelposition von $\lambda/2$. Über diese Beziehung kann durch Ausmessen der Spiegelposition auf die Wellenlänge des Lasers geschlossen werden.

## 2.3 Dopplereffekt mit Lichtwellen

In diesem Versuch wird ein Spiegel des Interferometers langsam bewegt. Seine Geschwindigkeit soll bestimmt werden. Nach den Erkenntnissen aus den obigen Abschnitten wissen wir:

$$v = \frac{m \cdot \lambda}{2\Delta t} \tag{3}$$

wobei m die Anzahl der beobachteten Perioden ist.

Eine äquivalente Beschriebung erhält man mit dem Dopplereffekt. Der bewegete Spiegel ist gleichzeitig bewegter Empfänger und Sender. Die Frequenz des einen Teilstrahls wird also durch die Bewegung gegenüber dem anderen verändert. Es entsteht eine Schwebung.

$$\nu = \nu_0 \cdot \frac{1 \pm \frac{v}{c}}{1 \mp \frac{v}{c}} \tag{4}$$

Die verschiedenen Vorzeichen beschreiben den hin- und wegbewegten Fall von Sender und Empfänger.

Für die Schwebung ergibt sich damit:

$$E \propto \underbrace{\cos\left(2\pi\frac{\nu_0 - \nu}{2}t\right)}_{\text{Einhüllende}} \cdot \cos\left(2\pi\frac{\nu_0 + \nu}{2}t\right) \tag{5}$$

Nur die Einhüllende ist auf dem Schirm sichtbar, da die andere Schwingung zu hochfrequent ist. Die Differenzfrequenz ist

$$\Delta\nu = |\nu_0 - \nu| = \left|\nu_0 \frac{\pm 2\frac{v}{c}}{1 \mp \frac{v}{c}}\right| \approx 2\frac{v}{\lambda} \tag{6}$$

Die Näherung ist möglich, da die Geschwindigkeit des Spiegels im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit sehr klein ist. $\lambda$ bezeichnet die Wellenlänge des Lasers, denn die unveränderte Frequenz $\nu_0$ ist die des Lasers.

Man muss beachten, dass auf dem Schirm nicht das Elektrische Feld sondern die Intensität beobachtet wird. Für die Intensität der Einhüllenden gilt:

$$I \propto \cos^2(\pi\Delta\nu t) \propto 1 + \cos(2\pi\Delta\nu t) \tag{7}$$

Die auf dem Schirm zu sehenden Perioden $m$ in der Zeitspanne $\Delta t$ ergeben sich also aus:

$$m = \Delta\nu \cdot \Delta t \tag{8}$$

Damit ergibt sich also auch die von uns erwartete Gleichung:

$$v = \frac{m \cdot \lambda}{2\Delta t} \tag{9}$$

## 2.4 Akkustisches Analogon

Wenn keine reflektierende Wand in der Nähe ist, hört man die sich ändernde Frequenz der bewegten Stimmgabel (Sender).
Wenn jedoch eine reflektierende Wand in der Nähe ist, so überlagert sich am Ohr die veränderte Frequenz der Stimmgabel (Senderbewegung relativ zum Ohr) und die reflektierte Frequenz, die sich durch die Relativbewegung vom Sender zur Wand verändert hat zu einer Schwebung. Die eine Frequenz wurde erhöht, die andere gesenkt.

# 3 Faraday- und Pockels-Effekt

## 3.1 Intensitätsmodulation durch Faraday-Effekt

Der Faraday-Effekt bezeichnet einen Vorgang bei dem durch anlegen eines äußeren Magnetfeldes die Polarisation von Licht beeinflusst wird. Der Anteil des Lichts, der sich parallel zur Ausrichtung des Magnetfeldes durch das Medium bewegt, erfährt eine Drehung der Polaristationsebene. Die Drehrichtung hängt dabei nicht von der Ausbreitungsrichtung ab. Für den Drehwinkel $\gamma$ gilt:

$$\gamma = V \cdot B \cdot l \tag{10}$$

dabei bezeichnet $l$ die Länge des Mediums. $V$ ist die sogenannte Verdetsche Konstante.

In diesem Versuch soll der Faraday-Effekt dazu ausgenutzt werden die Intensität eines Laserstrahls zu modulieren.
Durch einen variierenden Strom erzeugen wir ein sich änderndes Magnetfeld. Somit wird das Licht unterschiedlich stark gedreht. Wenn es nun auf einen Polarisationsfilter trifft, so entsteht die Intensitätsmodulation in Abhängigkeit vom Strom. Aus dem modulierten Laserlicht kann man mit einem Photoelement das ursprüngliche Signal wieder aufnehmen.
Bei hohen Frequenzen wird sich das Magnetfeld nicht schnell genug ändern können (Selbstinduktion), sodass diese Frequenzen im modulierten Licht nicht auftreten.

## 3.2 Verdetsche Konstante

Zur Bestimmung der Verdetsche Konstante wird an eine Spule ein gewählter Strom angelegt. Somit ist das vorliegende Magnetfeld bekannt. Die durch den Faraday-Effekt resultierende Winkeländerung wird beobachtet. Mit Hilfe von Gleichung (10) kann die Verdetsche Konstante bestimmt werden.

Zur Messung der Winkeländerung kann man einen beweglichen Polarisator verwenden. Alternativ kann man einen festen Polarisator verwenden und aus der Intensitätsänderung die Winkeländerung bestimmen.

$$I = I_0 \cos^2 \gamma \tag{11}$$

## 3.3 Intensitätsmodulation durch Pockels-Effekt

Wenn an ein doppelbrechendes Material ein elektrisches Feld angelegt wird, so wird die Ausrichtung der optischen Achse beeinflusst. Somit ändert sich das Ausmaß der doppelbrechenden Eigenschaft des Kristalls. Der Brechzahlunterschied zwischen den beiden Richtungen (die über die optische Achse charakterisiert werden) ist abhängig vom angelegten elektrischen Feld. Damit ist auch der Phasenunterschied zwischen den beiden Komponenten vom elektrischen Feld abhängig. Dies führt im Allgemeinen zu einer elliptischen Polarisation.

Auch dieser Effekt kann ausgenutzt werden, um die Intensität eines Laserstrahls zu modulieren. Wenn eine elliptisch polarisierte Welle auf einen Polaristationsfilter trifft, variiert die Intensität hinter dem Filter.

Wenn man einen Schirm hinter dem Polarisationsfilter aufstellt, so ist eine Hyperbelstruktur zu erkennen. Diese entsteht, da die Strahlen durch die Linsen in verschiedenen Winkeln auf das doppelbrechnede Material auftreffen.

## 3.4 Konstante des Pockels-Effekts

Nun beobachtet man, Hell-Dunkel-Wechsel im Zentrum der Hyperbelstruktur. Die Spannung wird sukzessiv erhöht, wobei die Extrema notiert werden. Aus diesem Zusammenhang kann durch lineare Regression die Halbwellenspannung $U_{HW}$ bestimmt werden.
Bei der Halbwellenspannung verhält sich die Pockels-Zelle wie ein Halbwellenplättchen. Nach Durchlaufen der Zelle (Strecke $s$) sind die ordinäre und die extraordinäre Polarisation um $\pi$ phasenverschoben.
In der Aufgabenstellung sind folgende Gleichungen angegeben.

$$k = \frac{\Delta n}{E} = \frac{n_{eo} - n_o}{E} \qquad \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta n \cdot s \tag{12}$$

Durch Einsetzen der Beziehung $E = {}^{U}\!/_{d}$ für das Elektrische Feld im Plattenkondensator (Plattenabstand $d$) und Ausnutzen der Halbwellenbedingung $\varphi(U_{HW}) = \pi$ erhält man eine Bestimmungsgleichung für die Pockels-Konstante $k$.

$$k = \frac{\lambda \cdot d}{2 \cdot U_{HW} \cdot s} \tag{13}$$

# 4 Optische Aktivität (Sacchariemetrie)

## 4.1 Hauhaltszucker

Wenn Licht auf ein Molekül trifft, so wird die Polarisationsebene gedreht. In einer Lösung von achiralen Molekülen gibt es in der Lösung immer ein Molekül, welches vom Licht getroffen wird und spiegelbildlich zum ersten gedreht ist. Das Spiegelbild dreht die

Polarisationsebene genau entgegengesetzt um den gleichen Betrag.
Jedoch gibt es Moleküle, die mit ihrem Spiegelbild nicht durch Drehung überein gebracht werden können. Diese Moleküle unterscheiden sich durch die geometrische Anordnung ihre Atome. Somit ergibt sich immer eine resultierende Drehung der Polarisationsebene, wenn die beiden Partner nicht in gleicher Konzentration in der Lösung vorliegen.
Bei vorgegebener Temperatur, festgelegtem Lösungsmittel und gleichbleibender Wellenlänge ist der Drehwinkel $\alpha$ gegeben durch:

$$\alpha = [\alpha] \cdot c \cdot l \tag{14}$$

wobei $[\alpha]$ das optische Drehvermögen, $c$ die Konzentration der Lösung und l die Länge der vom Licht durchlaufenen Substanz bezeichnen.

Durch Vergleich mit Gleichung (10) erkennt man, dass dieser Vorgang eng mit dem Faraday-Effekt verwandt ist. Allerdings wird die Drehung hier durch Variieren der Konzentration verändert, nicht durch Anlegen eines Magnetfeldes.

## 4.2 Sorbose

Im Vergleich zum optischen Drehvermögen von Haushaltszucker soll hier das Drehvermögen von einer Sorboselösung betrachtet werden.