

# Versuchsauswertung P2-23: Laser und Wellenoptik B

Kathrin Ender, Michael Walz  
Gruppe 10

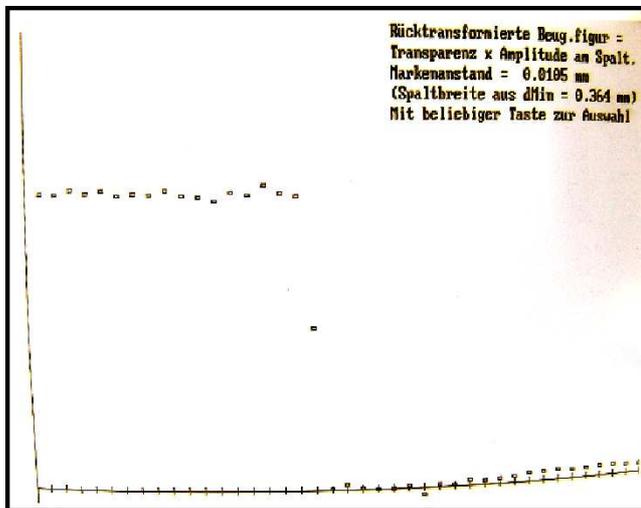
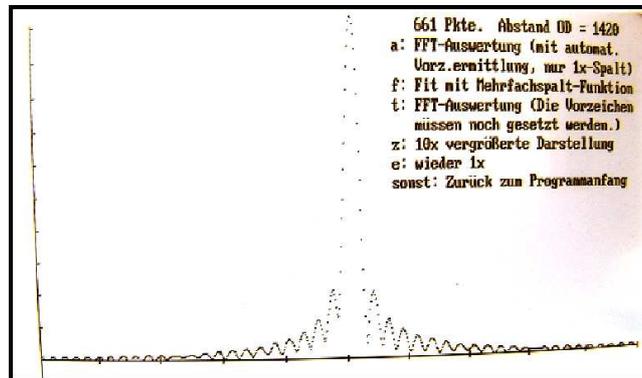
20. Juni 2008

## Inhaltsverzeichnis

<b>6</b>	<b>Spaltbild aus seiner Beugungsfigur</b>	<b>2</b>
<b>7</b>	<b>Michelson-Interferometer</b>	<b>2</b>
7.1	Magnetostriktive Längenabhängigkeit von Nickel . . . . .	2
7.2	Wellenlänge des Laserlichts . . . . .	3
7.3	Dopplereffekt mit Lichtwellen . . . . .	4
7.4	Akustisches Analogon zum Doppler-Effekt . . . . .	4
<b>8</b>	<b>Faraday-Effekt und Pockels-Effekt</b>	<b>5</b>
8.1	Faraday-Effekt . . . . .	5
8.2	Bestimmung der Verdetischen Konstante . . . . .	5
8.3	Pockels-Effekt . . . . .	6
8.4	Bestimmung der Konstante beim Pockels-Effekt . . . . .	6
<b>9</b>	<b>Optische Aktivität (Saccharimetrie)</b>	<b>6</b>

## 6 Spaltbild aus seiner Beugungsfigur

Bei diesem Versuch nahmen wir das Beugungsbild eines Spaltes mit Hilfe eines Computers auf. Das Spaltbild wurde automatisch mit einer Photodiode abgefahren und die Intensitäten an den Orten registriert. Die Intensitätsverteilung ist das Quadrat der Fouriertransformierte der Transmissionsfunktion des Spaltes.



Deshalb kann durch Fouriertransformation aus der Wurzel der Intensitätsverteilung das Spaltbild gewonnen werden. Dies ist nur möglich, da wir bereits wissen, dass wir einen Spalt ausmessen und daher die Vorzeichen kennen. Die Fouriertransformation wurde auch direkt am Computer durchgeführt. Als Spaltabstand erhielten wir  $d = 0,364\text{mm}$ . Außerdem erhielten wir die nebenstehenden Bildern. Leider war der Drucker kaputt, so dass wir nur den Bildschirm abfotografieren konnten.

## 7 Michelson-Interferometer

### 7.1 Magnetostriktive Längenabhängigkeit von Nickel

Mit Hilfe eines Interferometers soll die Magnetostriktive Längenabhängigkeit von Nickel gemessen werden. Dabei wird untersucht, wie sich Nickel ausdehnt oder zusammenzieht, wenn es unter dem Einfluss eines äußeren Magnetfeldes  $H$  steht. Erwartet wurde eine lineare Abhängigkeit:

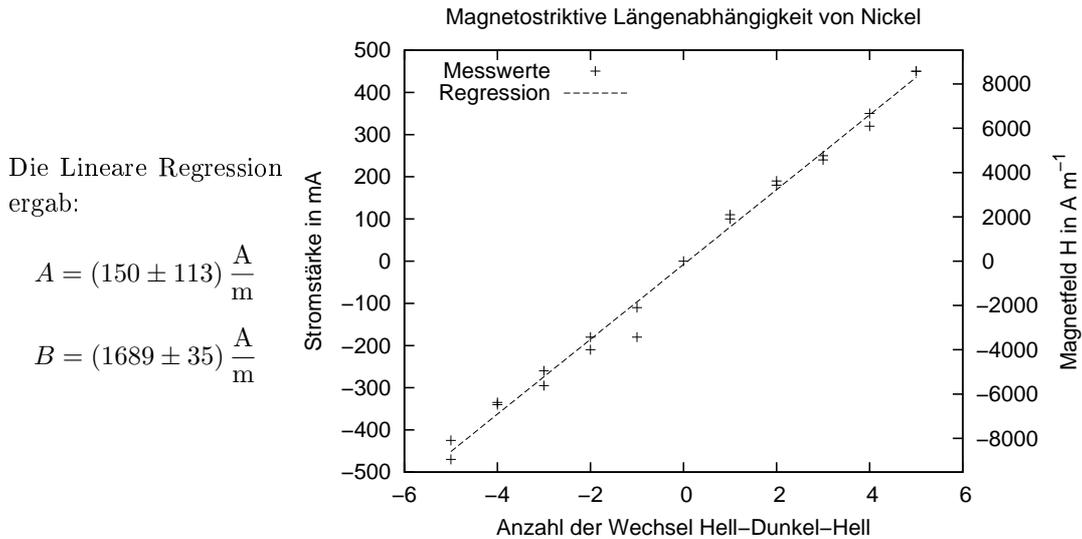
$$\Delta l = s \cdot l \cdot H$$

Dabei wird das Nickelstück der Länge  $l$  unter dem Einfluss des Magnetfeldes  $H$  um die Strecke  $\Delta l$  verlängert. Die Proportionalitätskonstante  $s$  heißt Magnetostruktionskoeffizient.

Gemessen wurde der Strom  $I$ , der durch die Spule fließt. Für das Magnetfeld sollte die Formel einer langgestreckten Spule gelten:

$$H = \frac{n \cdot I}{l} \quad l = 105 \text{ mm} \quad n = 2000$$

Mit Hilfe dieser Formel kann ein Schaubild erstellt und eine lineare Regression  $H = A + B \cdot N$  durchgeführt werden:



Die Gerade ist in guter Näherung eine Ursprungsgerade. Der Y-Achenabschnitt  $A$  ist fast innerhalb der Fehlergrenzen null. Das Wertepaar  $(0,0)$  ist von prinzipieller Natur, da man hier den Nullpunkt für die Messung gelegt hat. Negative Wechsel und Ströme ergaben sich durch Umpolen der Spule.

Da ein Wechsel Hell-Dunkel-Hell genau  $\frac{\lambda}{2}$  entspricht, kann der Magnetostriktionskoeffizient  $s$  berechnet werden (sofern man die Wellenlänge  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$  voraussetzt):

$$N \cdot \frac{\lambda}{2} = \Delta l = s \cdot l \cdot H$$

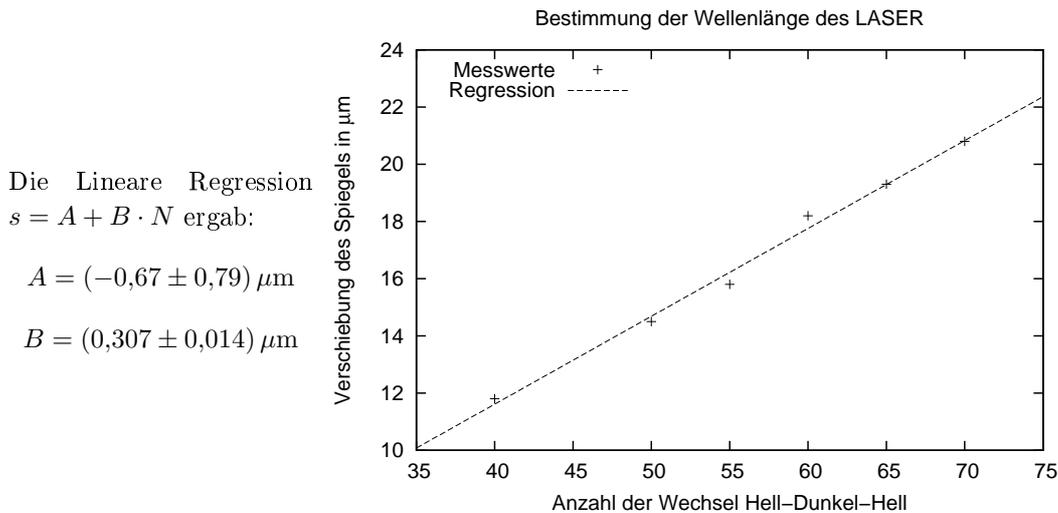
$$\Rightarrow s = \frac{\lambda}{2 \cdot l} \cdot \underbrace{\frac{N}{H}}_{B^{-1}} = 1,784 \cdot 10^{-9} \frac{\text{m}}{\text{A}}$$

## 7.2 Wellenlänge des Laserlichts

Nun soll über das Verschieben eines der Spiegel die Wellenlänge des Laserlichts bestimmt werden. Dazu wird ein anderes Interferometer als bei 7.1 benutzt. Um die Messsicherheit zu erhöhen, wurden mehrmals ca. 50 Wechsel Hell-Dunkel-Hell gezählt und dann an der Mikrometerschraube die Verschiebung des Spiegels abgelesen.

Für jeden Wechsel Hell-Dunkel-Hell wird der Spiegel um  $\frac{\lambda}{2}$  verschoben. Damit ändert sich der Lichtweg um die gesamte Wellenlänge  $\lambda$ . Der theoretische Zusammenhang zwischen Verschiebung  $s$  der Spiegel und Anzahl der Wechsel  $N$  sollte damit lauten:

$$s = \frac{\lambda}{2} \cdot N$$



Die Lineare Regression  
 $s = A + B \cdot N$  ergab:

$$A = (-0,67 \pm 0,79) \mu\text{m}$$

$$B = (0,307 \pm 0,014) \mu\text{m}$$

Man erkennt, dass es sich um eine Ursprungsgerade handelt. Der Y-Achsenabschnitt  $A$  ist innerhalb der statistischen Fehlergrenzen null. Für die Wellenlänge ergibt sich:

$$\lambda = 2 \cdot B = (614 \pm 28) \text{ nm}$$

Die deckt sich mit dem theoretischen Wert von 632,8 nm.

### 7.3 Dopplereffekt mit Lichtwellen

Nun soll einer der beiden Spiegel des Interferometers motorgetrieben gleichmäßig bewegt werden. Dazu wurde ein Motor mit Riemen an der Mikrometerschraube befestigt und die die Wechsel der Interferenzmuster gezählt.

Wir zählten jeweils 50 Wechsel und maßen die Messzeiten mit einer Stoppuhr zu 40,74 s, 41,38 s und 40,85 s. Dies ergibt einen Mittelwert von  $t = 40,99$  s.

Die Geschwindigkeit des Motors kann nun interferometrisch bestimmt werden<sup>1</sup>:

$$v = \frac{N \cdot \lambda}{2 \cdot \Delta t} = \frac{50 \cdot 632,8 \text{ nm}}{2 \cdot 40,99 \text{ s}} = 386 \frac{\text{nm}}{\text{s}}$$

Die hier berechnete Geschwindigkeit  $v$  soll mit der direkt gemessenen Geschwindigkeit verglichen werden. Wir maßen, dass der Motor in 100s eine Verschiebung des Spiegels um 32,5  $\mu\text{m}$  bewirkte; damit ist ergibt sich eine Geschwindigkeit von:

$$v = 325 \frac{\text{nm}}{\text{s}}$$

Die Abweichung zum interferometrisch gemessenen Wert beträgt lediglich 15,8%. Es bietet sich also an, solch geringe Geschwindigkeiten interferometrisch zu messen, da das zu untersuchende Objekt meist nicht an einer Mikrometerschraube angeschlossen ist, an der man die Auslenkung ablesen könnte.

### 7.4 Akustisches Analogon zum Doppler-Effekt

Wie in der Vorbereitung beschrieben, soll nun das Prinzip aus Aufgabe 7.3 akustisch demonstriert werden. Mit etwas guten Willen gelang es auch die entstehende Schwebung zu hören.

<sup>1</sup>vgl. Vorbereitung

## 8 Faraday-Effekt und Pockels-Effekt

### 8.1 Faraday-Effekt

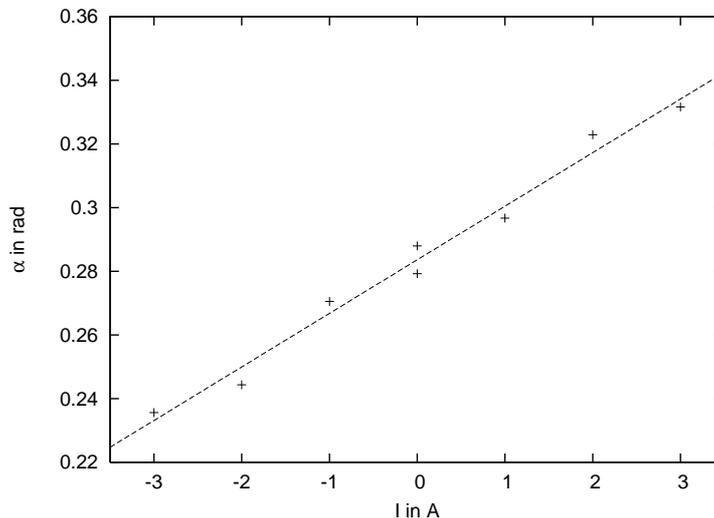
In diesem Versuch machten wir uns den Faraday-Effekt zu nutze, um die Intensität des Laserstrahls zu modulieren. Das Laserlicht läuft dabei durch einen Bleisilikatglasstab, der sich in einer longitudinalen Spule befindet. Durch das Magnetfeld der Spule wird die Polarisationsrichtung des Laserstrahls beim Durchlaufen des Bleisilikatstabs gedreht. Hinter der Spule muss das Licht einen Polarisationsfilter passieren. Je nach Stromstärke ist das Licht aber in einer andere Richtung polarisiert und es kommt damit eine andere Intensität durch den Polarisationsfilter. Durch einen NF-Verstärker machten wir diese Intensitätsmodulation hörbar. Wir modulierten die Stromstärke, die durch die Spule fließt, mit Hilfe eines Frequenzgenerators<sup>2</sup>. Die Intensität des Laserlichts fingen wir mit einem NF-Verstärker auf. Bei Variation der Frequenzen waren sehr gut verschiedene Töne zu hören. Bei hohen Frequenzen funktionierte die Übertragung allerdings nicht so gut. Dies liegt vermutlich an der Trägheit der Spule.

### 8.2 Bestimmung der Verdet'schen Konstante

Der Winkel um den die Polarisation beim Pockelseffekt gedreht wird hängt linear von der Stärke des anliegenden  $B$ -Feldes und der Länge  $l$ , auf der der Effekt wirkt, ab. Die Proportionalitätskonstante ist die Verdet'sche Konstante. Für das Magnetfeld einer langen Spule gilt:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{l} \Rightarrow V = \frac{\alpha}{B \cdot l} = \frac{\alpha}{I} \cdot \frac{1}{\mu_0 \cdot N}$$

Im Versuch maßen wir den Strom in 1A-Schritten in beide Stromrichtungen bis zu jeweils 3A und lasen jeweils die Winkelstellung des Polarisators, unter der ein Minimum auftrat, ab. Da es sich um einen linearen Zusammenhang handelt, kann man  $\alpha$  über  $I$  auftragen. Aus der Steigung der Regressionsgeraden erhält man die Verdet'sche Konstante.



$$\alpha = 0,01683 \frac{1}{\text{A}} \cdot I + 0,283616$$

Der Fehler für die Steigung liegt bei 5,5%.

$$\Rightarrow V = 16,74 \frac{1}{\text{T} \cdot \text{m}} \quad \text{mit} \quad \frac{\alpha}{I} = 0,01683 \frac{1}{\text{A}} \quad \text{und} \quad N = 800$$

Es wurde im Bogenmaß gerechnet.

<sup>2</sup>wir verwendeten ein sinusförmiges Signal

### 8.3 Pockels-Effekt

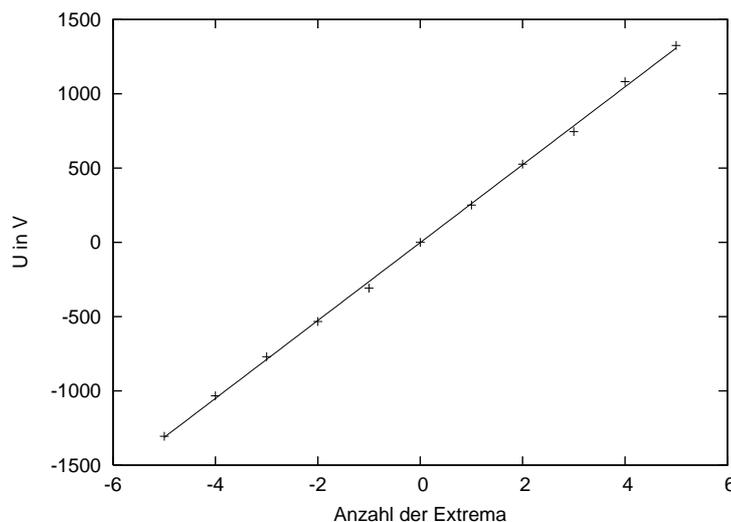
Nun verwenden wir den Pockels-Effekt um das Laserlicht zu modulieren. Auch beim Pockelseffekt wird die Polarisationsrichtung des Laserlichts gedreht. Diesmal erzeugt man die Drehung jedoch durch Anlegen eines elektrischen Feldes an einen Kristall, so dass dessen doppelbrechende Eigenschaften noch verstärkt werden. Ebenso wie beim Faraday-Effekt haben wir die Modulation akustisch mit dem Frequenzgenerator und dem NF-Verstärker verfolgt. Im Vergleich zum Faraday-Effekt waren nun jedoch die niedrigen Frequenzen nicht gut übertragbar. So war zum Beispiel 400Hz schon nicht mehr hörbar. Dies liegt vermutlich daran, dass der kapazitive Widerstand des felderzeugenden Kondensators mit  $1/\omega$  geht. Bei niedrigen Frequenzen ist der Widerstand also hoch.

### 8.4 Bestimmung der Konstante beim Pockels-Effekt

Beim Pockels-Effekt ist die Differenz zwischen den Brechungsindizes parallel und senkrecht zur optischen Achse proportional zum anliegenden E-Feld. Die Proportionalitätskonstante  $k$  soll bestimmt werden.

$$\Delta n = k \cdot E$$

Dafür bestimmen wir zunächst aus der linearen Regression durch die Auftragung der Spannung über der Nummer  $N$  der Helligkeitsextrema die Halbwellenspannung  $U_{HW}$ . Diese entspricht der Steigung.



$$U = \underbrace{262,11\text{V}}_{=U_{HW}} \cdot N - 1,81818\text{V}$$

Da wir nicht tatsächlich von  $-2000\text{V}$  bis  $2000\text{V}$  messen konnten, sondern von  $0$  bis  $2000\text{V}$  maßen, dann umpolten und wieder maßen, haben wir die Extrema in eine Richtung negativ nummeriert.

Der Fehler in  $U_{HW}$  beträgt nur  $0,9\%$ . Wie in der Vorbereitung erläutert errechnet sich  $k$  aus:

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

$\lambda = 632,8\text{nm}$ ,  $d = 2\text{mm}$  ist der Abstand der Kondensatorplatten und  $s = 20\text{mm}$  ist die Länge der Pockelszelle.

$$\Rightarrow k = 1,207 \cdot 10^{-10} \frac{\text{m}}{\text{V}}$$

## 9 Optische Aktivität (Saccharimetrie)

Es soll das spezifische Drehvermögen  $[\alpha]$  von einer Haushaltszuckerlösung und einer L-Sorbose-Lösung gemessen werden und der theoretische Zusammenhang bestätigt werden.

$$\alpha = [\alpha] \cdot l \cdot k$$

Dabei bezeichnet  $\alpha$  den Drehwinkel,  $l$  die Länge des Lichtweges in der Lösung und  $k$  die Konzentration des Zuckers. Für die Messung wurde ein Polarisator zwischen Küvette und Schirm gestellt und immer der Winkel abgelesen, bei dem ein Minimum auf dem Schirm entstand. Ansonsten erfolgte die Messung wie in der Vorbereitung beschrieben. Es ergaben sich folgenden Werte:

Küvettenstellung	$l$ in mm	Konzentration	Winkel $\alpha$	$[\alpha]$ in $\frac{\circ}{\text{g/cm}^3 \cdot \text{m}}$	
längs	198	0,30 g/cm <sup>3</sup>	30,0°	505	Haushaltszucker
quer	58	0,30 g/cm <sup>3</sup>	9,5°	546	
längs	198	0,15 g/cm <sup>3</sup>	16,5°	556	
quer	58	0,15 g/cm <sup>3</sup>	5,0°	575	
längs	198	0,33 g/cm <sup>3</sup>	-22,0°	-337	L-Sorbose
quer	58	0,33 g/cm <sup>3</sup>	-6,5°	-340	

Die Schwankung der Werte für  $[\alpha]$  ist bei Haushaltszucker mit bis zu 12,8% etwas groß, da wir allerdings die Werte für Weglänge durch die Lösung und die Konzentration deutlich stärker veränderten, kann man davon ausgehen, dass prinzipiell der oben beschriebene Zusammenhang gilt. Wie in der Vorbereitung beschrieben, wurde die Drehung des Lichts gegen den Uhrzeigersinn<sup>3</sup> durch einem positiven Drehwinkel  $\alpha$  dargestellt. Damit ist die Haushaltszuckerlösung rechtsdrehend<sup>4</sup> und die L-Sorbose-Lösung linksdrehend.

Mittelt man die Werte, so erhält man:

$$[\alpha]_{\text{Haushaltszucker}} = \frac{545^{\circ}}{\text{g/cm}^3 \cdot \text{m}} \quad [\alpha]_{\text{L-Sorbose}} = \frac{-338^{\circ}}{\text{g/cm}^3 \cdot \text{m}}$$

Beim Beobachten des Laserstrahls beim Ändern der Konzentration konnten wir zwar keine 'krummen Wege', dafür aber eine sehr starke Auffächerung des Strahls beobachten.

<sup>3</sup>bezogen auf die Ausbreitungsrichtung des Lichts

<sup>4</sup>Nun bezogen auf die Blickrichtung entgegen der Ausbreitungsrichtung des Lichts.