

Versuch 3.3:  
Polarisation und Doppelbrechung

Markus Rosenstihl  
e-Mail:rosenst@prp.physik.tu-darmstadt.de

Praktikumspartner: Shona Mackie, Wolfgang Schleifenbaum

Betreuer: Dr. Holzfuss

6. Juli 2005

# 1 Polarisiertes Licht

## 1.1 Linear polarisiertes Licht

Elektromagnetische Strahlung, deren E-Vektoren parallel zueinander liegen nennt man polarisiert. Die Schwingungsebene der E-Vektoren entspricht der Polarisationssebene. Wenn in einem isotropen Medium die Vektoren  $E, H$  und  $k$  senkrecht aufeinander stehen, nennt man diese Welle linear polarisiert. Die Polarisationssebene wird dabei von den Vektoren  $E$  und  $k$  definiert.

## 1.2 Zirkular polarisiertes Licht

Zirkular polarisiertes Licht kann man sich als eine Überlagerung zweier linear polarisierter Wellen mit gleichen Amplituden vorstellen. Bei einer Phasenverschiebung von  $\pi/2$  wird die Welle rechtszirkular polarisiert und der  $E$  Vektor beschreibt eine Linksschraube. Beträgt die Phasenverschiebung allerdings  $-\pi/2$ , so wird die Welle linkszirkular polarisiert genannt. Sind die Amplituden nicht gleich, so nennt man die entstehende Welle elliptisch polarisiert.

## 1.3 Erzeugung von polarisiertem Licht

### 1.3.1 Polarisation durch Reflexion

Man kann polarisiertes Licht durch Reflexion an einer Oberfläche erzeugen. Wenn man einen Lichtstrahl unter einem bestimmten Winkel auf die Oberfläche strahlt, wird das reflektierte Licht linear polarisiert. Der Winkel unter welchem das reflektierte Licht ganz polarisiert wird nennt man den Brewsterwinkel:

### 1.3.2 Polarisation durch Absorption

Es gibt Materialien, die verschiedene Polarisationsrichtungen verschieden stark absorbieren (Dichroismus). Man kann zum Beispiel ein Gitter aus leitenden Drähten verwenden. Bei so einem Gitter wird der zu den Gitterstäben senkrechte Strahl durchgelassen und der Strahl mit parallelem  $E$ -Vektor induziert in den Gitterstäben einen Strom und wird dadurch absorbiert. Dies kann aber nur geschehen, wenn der Abstand zwischen den einzelnen Gitterstäben kleiner als eine Wellenlänge ist. Wie der Name schon sagt haben dichroitische Kristalle den selben Effekt.

### 1.3.3 Polarisation durch Streuung

Regt eine Lichtwelle Moleküle zu Dipolschwingungen an, so ist das reemittierte Licht senkrecht zur Einfallsebene linear polarisiert

### 1.3.4 Polarisation durch Doppelbrechung

Ein doppelbrechender Kristall teilt das einfallende Licht in zwei Strahlen auf. Bei einem Strahl (ordentlicher Strahl) zeigt der Poynting Vektor in Richtung seines Wellenzahlvektors  $k$ , beim zweiten Strahl (außerordentlicher Strahl) sind der Poynting Vektor und der  $k$ -Vektor nicht mehr parallel. Man kann diese Strahlen nun unterscheiden, da sie unterschiedliche Austrittsorte haben (s.u.).

## 1.4 Nachweis von polarisiertem Licht

Um polarisiertes Licht nachweisen zu können verwendet man drehbare Polarisatoren. Man kann die Intensität der durchlaufenden Welle durch Drehung des Polarisators ändern und dadurch Rückschlüsse auf die Polarisationsart der Welle ziehen. Wenn z.B die Intensität bei einer bestimmten Einstellung verschwindet, so handelt es sich um linear polarisiertes Licht. Die Intensität des Lichtstrahls nach passieren zweier um den Winkel  $\Phi$  verdrehten Polarisatoren lässt sich durch das Gesetz von Malus beschreiben:

$$I(\Phi) = I_0 \cos^2(\Phi)$$

Die Phasendifferenz zweier linear polarisierten Strahlenbündel eines elliptisch polarisierten Strahles lässt sich mit Hilfe eines Soleilschen Kompensators bestimmen. Der Soleilsche Kompensator besteht aus zwei Quarzkeilen die sich gegeneinander verschieben lassen und einer Quarzplatte. Dadurch lässt sich die Dicke variieren. Die Optischen Achsen der Keile sind parallel zur Aussenfläche und senkrecht zur Optischen Achse der Quarzplatte.

## 2 Doppelbrechung

Anisotrope Kristalle haben in unterschiedliche Richtungen unterschiedliche Dielektrizitätskonstanten. Durch die Beziehung  $\sqrt{\varepsilon_i} = n_i \Rightarrow c_i = \frac{c_0}{n_i}$  hängt die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Elektromagnetischen Welle von der Dielektrizitätskonstante ab. Der Kristall zeigt in Richtung seiner Achse mit höchster Symmetrie (optische Achse) eine wichtige Eigenschaft: Die Ebene die der einfallende Strahl mit der optischen Achse bildet wird Hauptschnitt genannt. Der einfallende Strahl teilt sich auf in den ordentliche und außerordentlichen Strahl. Der ordentliche Strahl ist senkrecht zum Hauptschnitt polarisiert, der Ausserordentliche parallel. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des ordentlichen Strahls ist , im Gegensatz zur Ausbreitungsgeschwindigkeit des außerordentlichen Strahls, unabhängig der Ausbreitungsrichtung.

## 3 Optische Aktivität

Man bezeichnet ein Medium als optisch aktiv, wenn es die Polarisations Ebene eines einfallenden Strahles dreht. Dabei ist der Drehwinkel proportional zur durchlaufenen Strecke und

von der Wellenlänge abhängig. Kurzwelliges Licht wird in einem optisch aktiven Medium stärker gedreht als Langwelliges. Diesen Effekt nennt man auch Rotationsdispersion.

## 4 Interferenzfilter

Ein Interferenzfilter besteht aus zwei zueinander planparallelen, teildurchlässigen Spiegeln. Die Spiegel sind in einem Abstand von einem Vielfachen von  $\lambda/2$  angebracht. Fällt jetzt ein Lichtstrahl auf den Filter, so wird das Licht zwischen den Spiegelflächen hin und her reflektiert. Dabei löschen sich alle anderen Wellenlängen durch destruktive Interferenz aus. Übrig bleiben nur noch Wellenlängen mit der Wellenlänge  $\lambda$  und Vielfache davon.

## 5 Versuchsdurchführung

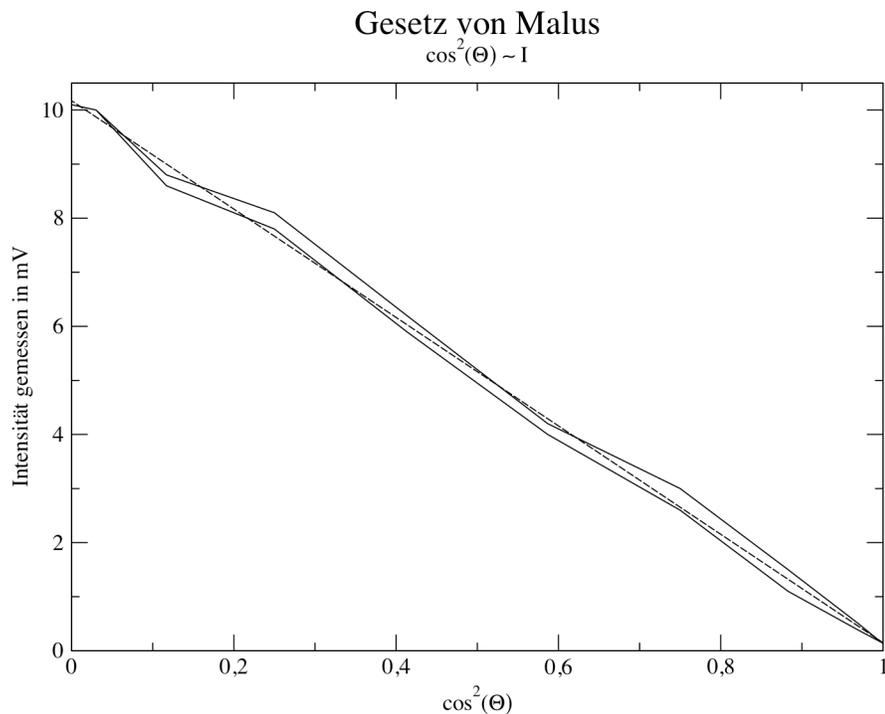
### 5.1 Malus Gesetz

Versuchsaufbau: Halogenlampe-Linse-Wasserküvette-BG18 Filter-Polarisator-Analysator-Photoelement

Wir erwarten eine Gerade, da nach Malus gilt:

$$I \sim \cos^2(\Phi)$$

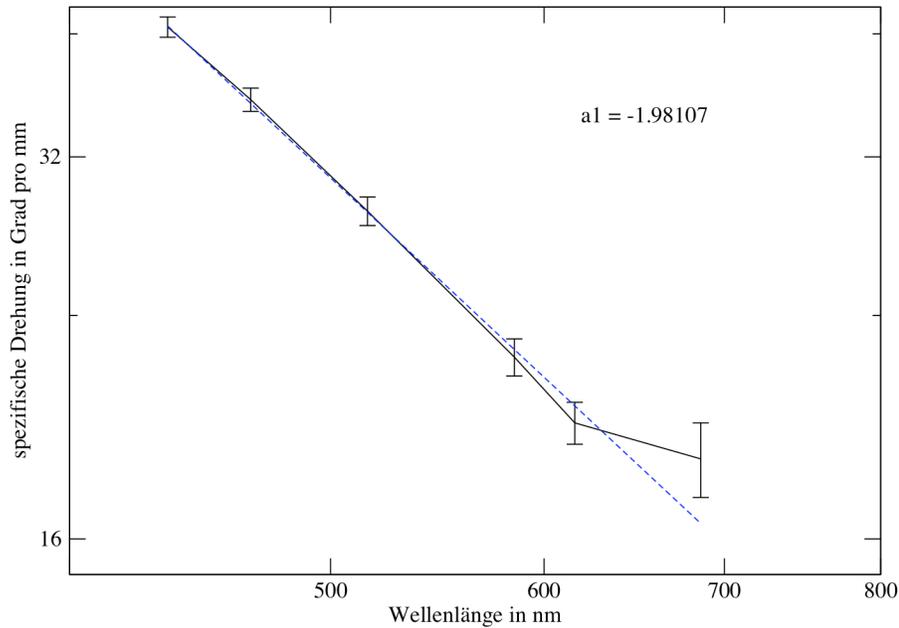
Man kann auf dem Diagramm sehr gut die Übereinstimmung mit der Regressionsgerade sehen:



## 5.2 Rotationsdispersion

Die Rotation der Polarisationssebene wurde für verschiedene Wellenlängen gemessen. Dazu wurden Interferenzfilter in den Strahlengang gebracht und der Winkel gemessen bis wieder Dunkelheit erreicht wurde. Der Vorteil der Messung auf Dunkelheit ist vor allem der, dass man Dunkelheit weitaus besser mit dem Auge "messen" kann als ein Helligkeitsmaximum. Wir erwarten bei doppeltlogarithmischer Auftragung eine Gerade wegen  $\Phi \sim \lambda^{a_1}$ . Man erhält als Wert für  $a_1 = -1,98$ . Als Fehler kann man beim einstellen auf Dunkelheit einen Ablesefehler von  $7^\circ$  annehmen was dann zu einem Relativfehler von etwa 2% führt.

## Rotationsdispersion



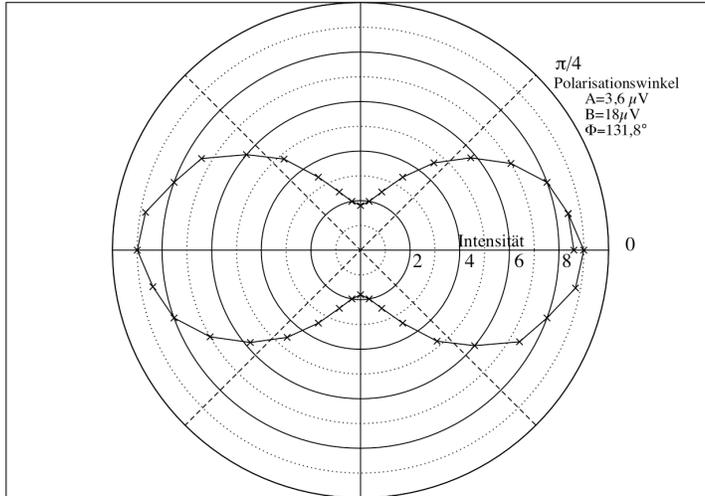
### 5.3 Phasendifferenz durch Quartzplättchen

Wie in Aufgabe 1 schon gezeigt wurde erwarten wir auch hier eine quadratische Winkelabhängigkeit der Intensität. Es wird ein Fehler von 3% angenommen. Man erhält die Phasendifferenz aus dem Verhältnis der Hauptachsen der Polardiagramme. Da die Werte der Hauptachsen der Schwingungsellipsen quadratisch sind, berechnet sich die Phasendifferenz wie folgt:

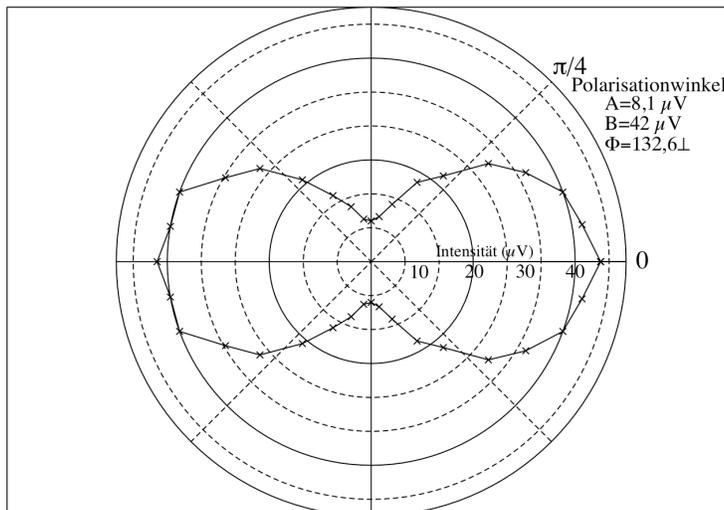
$$\Phi = 2 \cdot \arctan \sqrt{\frac{U_b}{U_a}}$$

wobei  $U_a$  und  $U_b$  der kleinen bzw der großen Halbachse entsprechen.

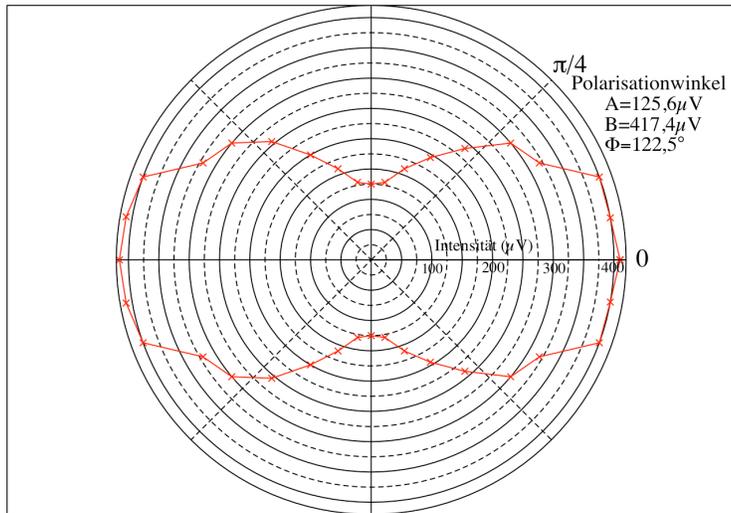
Intensität als Funktion des Polarisationswinkels  
Wellenlänge  $\lambda=435\text{nm}$



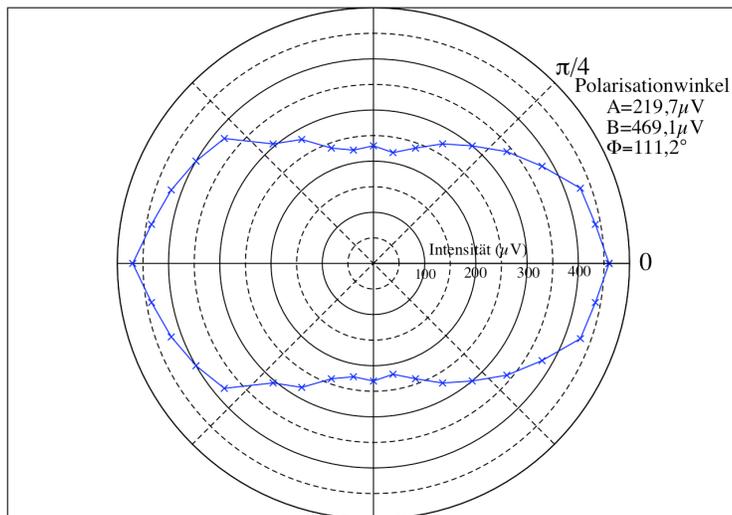
Intensität als Funktion des Polarisationswinkels  
Wellenlänge  $\lambda=467\text{nm}$



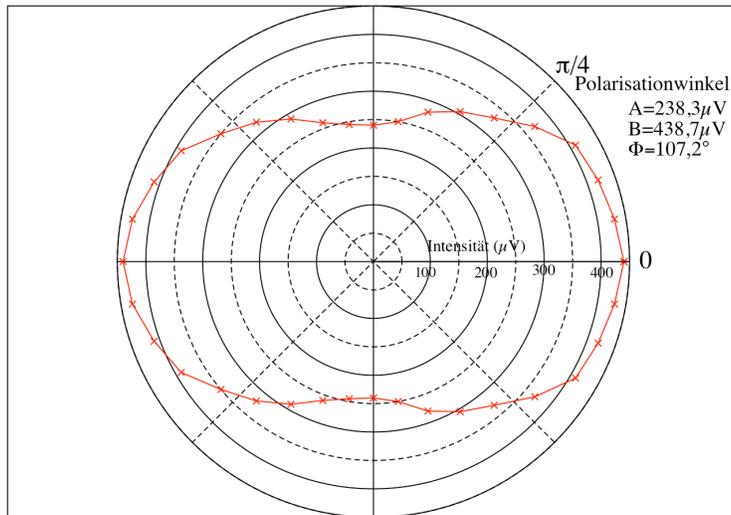
Intensität als Funktion des Polarisationswinkels  
Wellenlänge  $\lambda = 516 \text{ nm}$



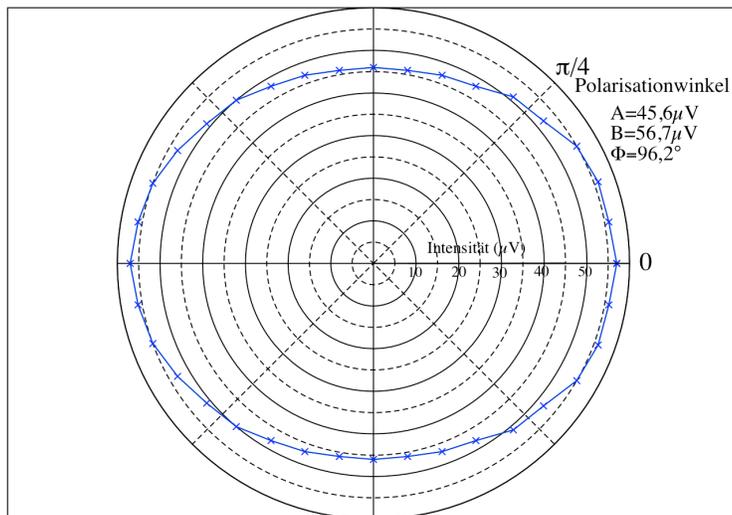
Intensität als Funktion des Polarisationswinkels  
Wellenlänge  $\lambda = 585 \text{ nm}$



Intensität als Funktion des Polarisationswinkels  
Wellenlänge  $\lambda = 616 \text{ nm}$



Intensität als Funktion des Polarisationswinkels  
Wellenlänge  $\lambda = 686 \text{ nm}$



## 5.4 Phasendifferenzen mit Kompensator

### 5.4.1 Eichung

Zunächst muss die Skala des Kompensators geeicht werden um später die Winkeldifferenzen bestimmen zu können. Hierzu werden Polarisator und Analysator ohne Kompensator auf ein Minimum gestellt. Wenn man nun den Kompensator einfügt so erhält man für weißes Licht (d.h für alle Farben) ein einziges Minimum. Nun verwendet man die verschiedenen Interferenzfilter und sucht mit dem Kompensator die Minima 1. Ordnung bei verschiedenen Frequenzen. Damit erhalten wir die Phasendifferenz pro Skalenteil bei entsprechendem Filter.

$\lambda$ in mm	-1. Ord	0. Ord	1. Ordn	$\frac{\varphi}{Skt.}$ in $^{\circ}$
435	21,67	31,93	42	35,42
467	20,72		43,88	31,09
516	20,48		44,71	29,72
585	17,93		45,43	26,18
616	17,33		46,30	24,85
686	11,28		47,57	19,84

Als Fehler wird 0,2 Skalenteile angenommen. Man erhält als gemittelter Relativfehler pro Messung 2%. Der Größtfehler bei 2 Messungen ist  $\sqrt{2^2 + 2^2}\% = 2,83\%$ .

### 5.4.2 Bestimmung der Dispersion

Um die Dispersion des Glimmerplättchens zu bestimmen wird es in den Strahlengang eingefügt. Die entstehende Phasendifferenz wird mit dem Kompensator ausgeglichen. Mit der in der vorherigen Aufgabe ermittelten Werten für die Phasendifferenz pro Skalenteil erhält man:

nm	Minima mit Glimmerplättchen			Minima ohne Glimmerplättchen		
	-1	0	1	-1	0	1
435	25,73	35,79	45,76	21,67	31,93	42
467	24,82	35,79	46,05	20,72	31,93	43,88
516	24,85	35,79	47,91	20,48	31,93	44,71
585	22,06	35,8	49,75	17,93	31,93	45,43
616	21,69	35,8	50,48	17,33	31,93	46,3
686	20,07	35,89	51,78	11,28	31,93	47,57

$\lambda$ in nm	$\frac{\varphi}{Skt.}$	Differenzen der Minima in Skt.			Mittelwert	$\varphi$ in Grad
		-1	0	1		
435	35,42	4,06	3,86	3,76	3,89	137,90

467	31,09	4,1	3,86	2,17	3,38	104,98
516	29,72	4,37	3,86	3,2	3,81	113,23
585	26,18	4,13	3,87	4,32	4,11	107,51
616	24,85	4,36	3,87	4,18	4,14	102,80
686	19,84	8,79	3,96	4,21	5,65	112,16