



SS/WS 20<sup>11</sup>/.....

Praktikum: (P1/P2) (Mo/Di/Mi/Do) Gruppe-Nr: 34

Name: Trimborn Vorname: Barbara

Name: Piro Vorname: Lennart

Versuch: P2-11: Polarisation & Doppelbrechung (mit/ohne) Fehlerrechnung

Betreuer: Robert Schittny Durchgeführt am: 3.5.11

Abgabe am: 10.05.2011

Rückgabe am: 17.05.2011

Begründung:

- Herleitung / Motivation der Formel für  $n_y$  bei ellipt. Pol.
- Auftragsprobleme bei den Graphen

2. Abgabe am: .....

Ergebnis: (+ / 0 / -)

Fehlerrechnung: ja / nein

Datum: 27.05.2011

Handzeichen: RS

Bemerkungen:

Ein durchweg nahe zu perfektes Protokoll!  
Sehr, sehr schön! !!



**Versuch P2-11: Polarisation und Doppelbrechung**

**Raum F1-14**

Bei diesem Versuch wird verschieden polarisiertes Licht hergestellt und dann untersucht bzw. angewandt. Dabei lernen Sie Interferenzerscheinungen mit polarisiertem Licht und deren Verwendung bei der Untersuchung von Kristalleigenschaften und der Materialbeanspruchung kennen. Das Farbenspiel bei diesen Experimenten zu beobachten, ist faszinierend. Bei quantitativen Untersuchungen ersetzen Sie allerdings das Auge durch einen Halbleiter-Fototransistor. Für den Aufbau eines sinnvollen optischen Systems sind Erinnerungen an die 'Geometrische Optik' erforderlich.

**Aufgaben:**

**0. Gemeinsamer Demonstrationsversuch:** Schicken Sie Licht durch ein Wasserglas. Beobachten Sie von der Seite und von oben das Streulicht mit einem Polarisationsfilter. Welche Eigenschaften hat das Licht aus der Halogenlampe? Welche Eigenschaften hat das Streulicht?

**1. Stellen Sie Licht mit besonderen Polarisierungseigenschaften her und messen Sie dann die Intensitätsverteilungen hinter einem Analysator in Abhängigkeit von seiner Stellung:**

- **linear** polarisiertes Licht (Polarisationsfilter),
- **elliptisch** polarisiertes Licht (Ausnutzung der Doppelbrechung von Glimmerplättchen),
- **zirkular** polarisiertes Licht (passend ausgesuchtes Plättchen).

Für die Auftragung ist Polarkoordinatenpapier besonders bequem. Glimmer ist optisch zweiachsig. Es gibt zwei außerordentliche Strahlen, deren Phasengeschwindigkeiten unterschiedlich sind und deren Polarisationsrichtungen senkrecht aufeinander stehen.

Frage: Bei welcher der Teilaufgaben ist weißes Licht, bei welcher monochromatisches Licht (Interferenzfilter!) zweckmäßig? Gründe? Überlegen Sie sich ein möglichst günstiges optisches System. Die Amplituden der beiden außerordentlichen Strahlen im Glimmer müssen gleich sein.

Wie verändert sich die Ausgangsintensität, wenn ein Glimmerplättchen zwischen gekreuzten Polarisatoren gedreht wird? Überlegen Sie sich im Voraus ein Verfahren für eine solche Einstellung. Bauen Sie das optische System sorgfältig auf, d.h. die Mitten der Elemente auf einer Achse und die Elemente-Ebenen senkrecht zur Strahlachse. Erläutern Sie das Zustandekommen der elliptischen Polarisation, speziell der zirkularen. (Damit ist nicht ein atomistischer Deutungsversuch für die Materialeigenschaft Doppelbrechung gemeint.) Beachten Sie die relativ große Dicke der Glimmerplättchen, die Phasenunterschiede von mehr als  $2\pi$  bewirken kann.

**2. Bestimmen Sie die Differenz der Brechungsindizes für die beiden außerordentlichen Strahlen.**

Verwenden Sie apparative Daten sowie die gemessenen Intensitätsverteilung im Falle elliptisch polarisierten Lichts aus Aufgabe 1.

**3. Beobachten Sie die in polarisiertem Licht an Glimmerplättchen und 'Klebefilmbildern' auftretenden Farben und Farbänderungen bei der Drehung des Analysators.**

Projizieren Sie dazu das Bild des Gegenstandes auf die Wand. Erläutern Sie das Zustandekommen dieser Effekte eingehend. Stellen Sie selbst 'Klebefilmbilder' aus verschiedenen dicken Schichten von Tesafilm auf einem Diaglas her und untersuchen Sie diese. Welche Eigenschaft von Tesafilm müssen Sie zur Erklärung annehmen?

**4. Demonstrieren Sie die Spannungsdoppelbrechung an verschiedenen Plexiglasmodellen und diskutieren Sie Ihre Beobachtungen.**

Verspannen Sie die Modelle nicht zu stark, da diese recht leicht zerbrechlich sind.

**Stichworte:**

Elektromagnetische Welle, Verfahren zur Erzeugung polarisierten Lichts (Streuung, Reflexion, Dichroismus, Doppelbrechung), optische Achse(n), Hauptschnitt, Arten von Polarisatoren, Spannungsdoppelbrechung, optische Eigenschaften der Kristalle, optische Aktivität, Brechungsgesetz bei Doppelbrechung in Kalkspat und in Glimmer, Phasengeschwindigkeiten, Phasenverschiebungen, Dispersion der Doppelbrechung.

Ist Sonnenlicht polarisiert? Warum benutzen Fotografen manchmal Polfilter?

**Zubehör:**

Halogen-Glühlampe mit integriertem Kondensator und Spannungsversorgung,  
Interferenzfilter  $\lambda = 635\text{nm}$ ; am Versuchsaufbau überprüfen!),  
zwei Polarisationsfilter (Polarisationsfolien in Fassung, drehbar mit Skala),  
ein drehbarer Objekt-Halter mit Winkelskala,  
Glimmerplättchen (gerahmt) verschiedener - jeweils nicht ganz einheitlicher - Dicke,  
'Klebefilmbilder' (Parallelstreifen und Katzenkopf), Tesafilm, Diagonalgläser,  
ein Satz Plexiglasmodelle für die Spannungsdoppelbrechung,  
Linse  $f = 5\text{cm}$  oder  $10\text{cm}$ ,  
Irisblende,  
Fototransistor in Rundfassung mit 5V-Netzteil,  
Tischmultimeter (GW-Instek GDM-8245),  
Zeiss-Schiene mit Reitern,  
Taschenlampe.

**Literatur:**

Bergmann-Schäfer: Experimentalphysik, Bd.3, Optik  
Kleber: Einführung in die Kristallographie  
Gerthsen: Physik  
Pohl: Optik und Atomphysik  
Hecht oder Hecht, Zajac: Optics oder Optik

# Anfängerpraktikum P2-Versuch 11

## Polarisation und Doppelbrechung

Gruppe Di-34: Barbara Trimborn und Lennart Piro

Durchführung am 3.5.2011

### Teil I

## Versuchsvorbereitung

### 1 Theoretische Grundlagen

In diesem Versuch geht es darum polarisiertes Licht herzustellen und zu untersuchen. Außerdem sollen wir uns noch mit wichtigen Anwendungsgebieten, wie z.B. der Untersuchung von Kristalleigenschaften oder Materialbeanspruchung auseinandersetzen.

#### 1.1 Polarisation

Nach der Wellentheorie kann man sich Licht als eine transversale elektromagnetische Welle vorstellen. Im Vakuum steht dann der Wellenvektor  $\vec{k}$ , der die Ausbreitungsrichtung der Welle angibt, senkrecht zu dem elektrischen und dem magnetischen Feld. Auch das E- und B-Feld stehen senkrecht zueinander. Es gilt folgende Maxwellgleichung:

$$\nabla \times E + \dot{B} = 0 \Rightarrow B = \frac{1}{\omega}(k \times E) \quad (1)$$

Die Polarisation einer elektromagnetischen Welle ist über die Richtung des elektrischen Feldvektors  $\vec{E}$  definiert, d.h. sie gibt die Richtung der Schwingung der Transversalwelle an. Ändert sich diese Richtung schnell und ungeordnet, spricht man von einer unpolarisierten Welle. Ansonsten unterscheidet man zwischen drei verschiedenen Arten der Polarisation:

### 1.1.1 Lineare Polarisation

Von einer linear polarisierten Welle spricht man dann, wenn der Wellenvektor  $\vec{k}$  und der Feldvektor  $\vec{E}$  des elektrischen Felds eine fest im Raum stehende Ebene aufspannen, d.h. wenn die Richtung der Schwingung konstant ist. Die Auslenkung aus der Ruhelage ändert periodisch ihren Betrag und ihr Vorzeichen. Wenn man davon ausgeht, dass sich die Welle in  $z$ -Richtung ausbreitet muss die Phasenverschiebung  $\delta$  zwischen  $E_x$  und  $E_y$  ein Vielfaches von  $\pi$  betragen.

### 1.1.2 Zirkulare Polarisation

Bei der zirkularen Polarisation bleibt der Betrag der Auslenkung ebenfalls konstant, jedoch dreht sich der Feldvektor  $\vec{E}$  bei Voranschreiten der Welle innerhalb der senkrecht zum Wellenvektor stehenden Ebene mit konstanter Winkelgeschwindigkeit. Die Phasenverschiebung zwischen  $E_x$  und  $E_y$  muss in diesem Fall  $\frac{\pi}{2}$  betragen.

### 1.1.3 Elliptische Polarisation

Der Feldvektor  $\vec{E}$  dreht sich ebenfalls in der Ebene senkrecht zum Wellenvektor, aber in diesem Fall ändert sich der Betrag der Auslenkung periodisch. Betrachtet man dabei die Spitze des Feldvektors, so beschreibt diese eine Ellipse. Die lineare und die zirkulare Polarisation können als Grenzfälle der elliptischen Polarisation gesehen werden. Außerdem kann die Phasenverschiebung zwischen  $E_x$  und  $E_y$  alle Werte annehmen.

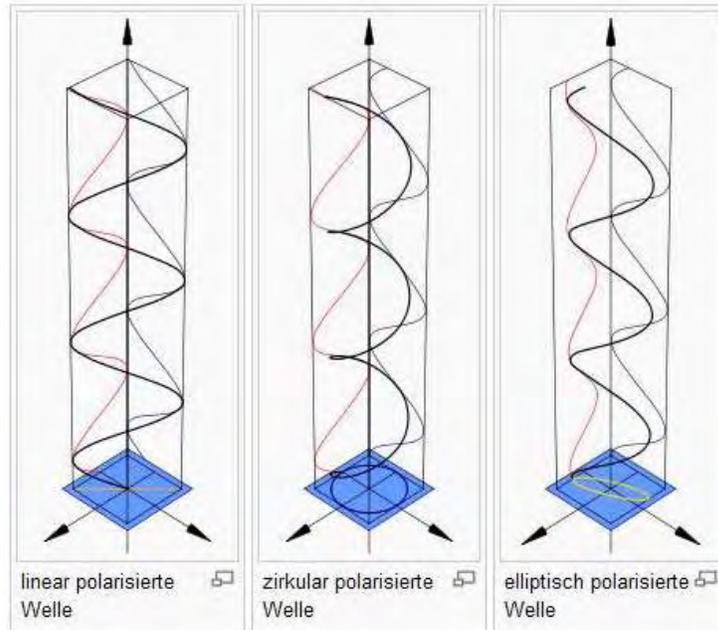


Abbildung 1: Verschiedene Polarisationsarten (Quelle: [www.stereoforum.org/viewtopic.php?f=40&t=697](http://www.stereoforum.org/viewtopic.php?f=40&t=697))

Zur Erzeugung von polarisiertem Licht gibt es verschiedene Verfahren, wie z.B. die Reflexion an dielektrischen Oberflächen oder die Streuung an kleinen Teilchen. Wenn Licht auf ein streuendes Teilchen fällt kann nur die Komponente des  $\vec{E}$ -Feldes, die senkrecht zur Streurichtung steht eine Lichtwelle anregen. Die dazu senkrechte Komponente würde eine propagierende, longitudinal polarisierte Welle erzeugen. Propagierende, longitudinale Lichtwellen stehen aber im Widerspruch zu den Maxwell'schen Gleichungen und treten deshalb nicht auf. Polarisation durch Reflexion, ist der einfachste Weg polarisiertes Licht zu erzeugen. Hierbei wird Licht unter dem Brewsterwinkel an einer dielektrischen Oberfläche reflektiert. Bei diesem Winkel ist der Reflexionskoeffizient der Parallelkomponente gleich 0, wodurch das Licht vollständig in Richtung der senkrechten Komponente polarisiert ist. Andere Methoden verwenden die selektive Absorption von Licht, den sog. Dichroismus, oder die Lichtausbreitung im Kristall um Licht zu polarisieren. In diesem Versuch sollen wir uns hauptsächlich noch mit der Methode der Doppelbrechung beschäftigen, die im folgenden genauer erklärt wird.

## 1.2 Doppelbrechung

Ein doppelbrechender Kristall besitzt eine optische Achse. Parallel zu dieser Achse hat das anisotrope Material eine andere Brechzahl als senkrecht zu der Achse. Dies bedeutet, dass ein auftreffender Lichtstrahl sich in verschiedenen Richtungen mit einer unterschiedlichen Geschwindigkeit ausbreitet, weshalb sich der Strahl in einen ordinären und einen extra-

ordinären Teil aufteilt. Als ordinären Strahl bezeichnet man denjenigen Strahl, der dem Snelliusschen Brechungsgesetz gehorcht. Der Feldvektor  $\vec{E}$  dieses Strahls steht senkrecht zur optischen Achse und senkrecht zur Hauptschnittebene, die durch Strahl und optische Achse aufgespannt wird. Beim außerordentlichen Strahl liegt der Feldvektor im Hauptschnitt und hat Komponenten senkrecht und parallel zur optischen Achse. Dadurch, dass beide Strahlen unterschiedliche Wege durch das Material zurücklegen, kommt es zu einer Phasenverschiebung. Dieser Effekt kann jedoch auch bei isotropen Materialien auftreten, die durch elektrische oder magnetische Felder, oder aber auch durch mechanische Spannung ( es kommt durch Scherung, einseitiger Druck oder Zug oder inneren Spannungen zu elastischen Verformungen) beeinflusst werden.

## 2 Zu den Aufgaben

### 2.1 Demonstrationsversuch

Es soll Licht durch ein Glas Wasser geschickt werden und dabei von oben und von der Seite das Streulicht mit Hilfe eines Polarisationsfilters beobachtet werden.

### 2.2 Verschiedene Arten von Polarisation

In diesem Versuch soll zunächst das optische System aufgebaut werden. Hierbei ist es wichtig, dass die Mitten der Elemente auf einer Achse liegen und die Elementebenen alle senkrecht zur Strahlenachse stehen. Dann sollen die verschiedenen Polarisationsarten erzeugt werden um anschließend deren Intensitätsverteilung hinter einem Analysator in Abhängigkeit seiner Stellung zu messen. Zur Erzeugung der linearen polarisierten Welle verwendet man weißes Licht (die Wellenlänge spielt hier keine Rolle) und einen Polarisationsfilter. Für die zirkular bzw. elliptisch polarisierte Welle muss monochromatisches Licht verwendet werden, welches mit Hilfe des Interferenzfilters erzeugt wird, da die Phasenverschiebung beim Austritt aus einem anisotropen Medium (also hier unserem Glimmer) ja von der Wellenlänge abhängt. Die Intensität des Lichts dürfte von dem Winkel abhängen, den der Analysator und der Polarisator zueinander einnehmen.

### 2.3 Differenz der Brechungsindizes für die außerordentlichen Strahlen

Für die Bestimmung der Differenz der beiden Brechungsindizes  $\Delta n$  sollen zwei verschiedene Methoden angewendet werden. Zum einen soll die Differenz mit Hilfe der apparativen Daten bei zirkular polarisiertem Licht ( $\Delta\Phi = \frac{\pi}{2}$ ) bestimmt werden. Aus EX3 kennen wir

noch folgende Formel:

$$\Delta n = \frac{\lambda \cdot \Delta\Phi}{2\pi d} \quad (2)$$

Wobei  $d$  die Dicke des Plättchens bezeichnet. Für die zirkulare Polarisation folgt somit:  $\Delta n = \frac{\lambda}{4d}$ . Als zweite Methode soll die Differenz der Brechungsindizes mit Hilfe der elliptischen Polarisation ermittelt werden. Hierfür muss allerdings zuerst die Phasenverschiebung bestimmt werden. Sie lässt sich aus dem (in Aufgabenteil 1 erstellten) Polarogramm bestimmen. Aus den charakteristischen Werten  $T$  (Tailenweite) und  $L$  (Länge) des Graphen im Polardiagramm kann man das Verhältnis der Halbachsen bestimmen:

$$\sqrt{\frac{L}{T}} = \frac{a}{b} \quad (3)$$

Hieraus folgt dann für die Phasenverschiebung (Herleitung folgt in der Auswertung):

$$\tan\left(\frac{\Delta\Phi}{2}\right) = \frac{b}{a} \Rightarrow \Delta\Phi = 2 \arctan\left(\sqrt{\frac{T}{L}}\right) \quad (4)$$

Die Differenz der Brechungsindizes kann anschließend mit Formel (2) berechnet werden.

## 2.4 Farbänderung bei Drehung des Polarisators

Nun sollen die in polarisiertem Licht an Glimmerplättchen und an Klebefilmbildern auftretenden Farben und Farbänderungen bei Drehung des Analysators beobachtet werden. Hierfür wird ausgenutzt, dass das Glimmerplättchen und der Tesafilm doppelbrechend sind und durch sie elliptisch polarisiertes Licht entsteht. Bestrahlt man beides mit weißem Licht, das viele verschiedene Wellenlängen enthält, so verändert das doppelbrechende Material die Phasenverschiebung der austretenden Strahlen in Abhängigkeit der Wellenlänge. Je nach Ausrichtung des Analysators, werden unterschiedliche Wellenlängen verschieden stark durchgelassen, weshalb wir erwarten, dass sie beim Drehen des Polarisators die Farbe des Bildes ändert.

## 2.5 Spannungsdoppelbrechung an Plexiglasmodellen

Wie schon erwähnt lässt sich nicht nur an anisotropen Medien Doppelbrechung realisieren, sondern auch an isotropen Medien die mechanischer Spannung ausgesetzt sind. Hierbei bilden sich optische Achsen entlang der Richtung der angelegten Spannung oder des Drucks aus, was eine mehrachsige Doppelbrechung zur Folge hat. Im Allgemeinen gilt: Je höher die Belastung, desto stärker ist die Doppelbrechung ausgeprägt. In diesem Versuch soll nun Plexiglas auf diesen Effekt untersucht werden.

# Messprotokoll:

## Polarisation und Doppelbrechung

### 6. Versuch: Rayleigh-Streuung

#### Aufgabe 1:

Linear ohne FF)	Grad	Spannung [V]	Grad	Spannung
	-90	0,761	5	3,566
	-85	0,854	10	3,423
	-80	1,008	15	3,281
	-75	1,189	20	3,106
	-70	1,421	25	2,926
	-65	1,664	30	2,700
	-60	1,938	35	2,426
	-55	2,153	40	2,180
	-50	2,394	45	1,915
	-45	2,714	50	1,632
	-40	2,923	55	1,405
	-35	3,094	60	1,183
	-30	3,237	65	1,007
	-25	3,385	70	0,876
	-20	3,515	75	0,776
	-15	3,687	80	0,731
	-10	3,790	85	0,730
	-5	3,781	90	0,775
	0	3,70		

linear (mit FF)	Grad	Spannung [V] mV	Grad	Spannung [V] mV
	-90	2,64,30	5	280,24
	-85	5,28	10	272,24
	-80	12,73	15	262,10
	-75	23,42	20	248,37
	-70	38,70	25	232,91
	-65	56,82	30	212,45
	-60	79,42	35	189,5
	-55	99,86	40	168,50
	-50	125,39	45	140,7
	-45	149,63	50	118,0
	-40	174,39	55	93,3
	-35	196,78	60	69,9
	-30	218,46	65	51,1
	-25	237,53	70	34,5
	-20	255,73	75	19,4
	-15	267,65	80	10,1
	-10	277,34	85	3,9
	-5	282,15	90	2,3
	0	283,70		

632,5 nm  
(Filter geht von 630-640 nm)

elliptisch Altimmerplättchen 50-52 µm

Grad	Spannung [mV]	Grad	Spannung
-90	86,6	5	84,2
-85	95,3	10	74,7
-80	107,5	15	65,8
-75	116,4	20	58,0
-70	125,3	25	50,1
-65	132,5	30	44,3
-60	138,7	35	39,6
-55	143,2	40	36,5
-50	146,1	45	35,0
-45	147,5	50	35,3
-40	147,2	55	37,3
-35	145,1	60	40,9
-30	141,1	65	45,6
-25	136,1	70	51,9
-20	129,7	75	60,2
-15	127,4	80	67,5
-10	113,1	85	76,6
-5	103,7	90	86,7
0	84,0		

Altimmerplättchen 35-40 µm

(Versuchsaufbau geändert)

Grad	Spannung [mV]	Grad	Spannung [mV]
-90	109,1	5	97,8
-85	112,5	10	92,3
-80	117,3	15	88,0
-75	122,1	20	83,4
-70	126,4	25	79,1
-65	130,2	30	75,6
-60	132,6	35	<del>74,4</del>
-55	135,0	40	73,2
-50	136,2	45	72,8
-45	136,6	50	73,5
-40	136,2	55	74,9
-35	134,7	60	77,4
-30	132,6	65	80,8
-25	128,9	70	85,3
-20	124,7	75	89,6
-15	120,0	80	94,6
-10	115,0	85	99,5
-5	109,0	90	105,0
0	70,5		

Zirkular

Grad	Spannung [mV]	Grad	Spannung [mV]
-90	<del>153,2</del> 155,2	5	149,3
-85	155,9	10	148,5
-80	156,5	15	147,6
-75	157,4	20	146,7
-70	158,1	25	146,3
-65	158,8	30	146,5
-60	158,3	35	147,2
-55	158,5	40	147,5
-50	158,9	45	148,8
-45	158,4	50	149,7
-40	158,1	55	150,6
-35	157,6	60	151,6
-30	156,8	65	152,3
-25	156,8	70	152,8
-20	155,1	75	153,4
-15	153,5	80	153,8
-10	152,3	85	154,0
-5	151,3	90	153,9
0	150,0		

~~3. Bild 4: Karte, 20~~

2.

08.05.11  
Q.S.

## Teil II

# Auswertung

## 0 Demonstrationsversuch

Zur Demonstration der Polarisation durch Streuung wurde die Halogenlampe auf einen Wasserbecher gerichtet. Der Lichtstrahl war im Wasser gut sichtbar. Um die Polarisation sichtbar zu machen, haben wir das Glas aus verschiedenen Winkeln durch einen Polarisationsfilter betrachtet und dessen Polarisationsrichtung jeweils geändert. Dabei konnte man erkennen, dass das vom Wasser gestreute Licht aus verschiedenen Richtungen betrachtet verschieden polarisiert war.

Schaute man genau senkrecht zum Strahl durch den Polarisationsfilter war der Effekt am stärksten, schräg zum Strahl war die Polarisation nicht so eindeutig erkennbar, hier gab es jeweils in mehrere Richtungen polarisiertes Licht.

Eine Erklärung für diese Beobachtung liefert der Ansatz, die Wassermoleküle als Oszillatoren zu betrachten, die vom Licht zum Schwingen in Richtung des E-Feld-Vektors angeregt werden. Die beschleunigte Ladung im Molekül sendet dann Photonen aus. Die Aussendung erfolgt bevorzugt senkrecht zur Dipolachse und niemals in Richtung der Dipolachse. Senkrecht zum Strahl wird deshalb in jede Richtung zum größten Teil Licht mit der gleichen Polarisationsrichtung ausgesandt, das Licht ist also nahezu vollständig polarisiert.

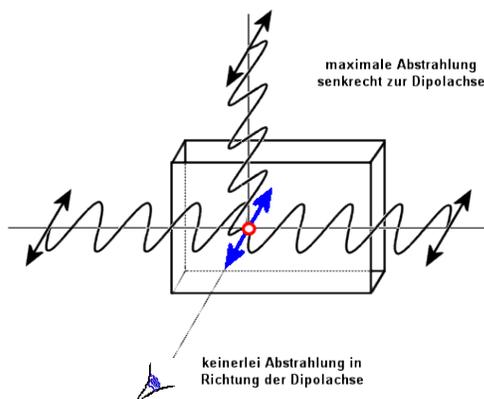


Abbildung 2: Waagrechte Komponente

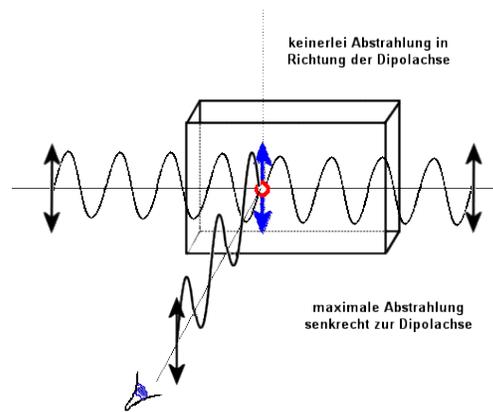


Abbildung 3: Senkrechte Komponente

(Quelle der Bilder:

[http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ph/14/ep/einfuehrung/wellenoptik/polarisation\\_a.vlu.html](http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ph/14/ep/einfuehrung/wellenoptik/polarisation_a.vlu.html)  
abgerufen am 20.05.2011)

# 1 Verschiedene Arten von Polarisation

Für jede Art von Polarisation wurde die Intensitätsverteilung am Detektor ermittelt. Dazu wurde ein Polfilter, der sich direkt am Detektor befand, in  $5^\circ$ -Schritten gedreht und die jeweilige Intensität notiert. Es wurden jeweils nur ein  $180^\circ$ -Abschnitt gemessen, die andere Hälfte wurde durch Punkt-Spiegelung am Ursprung extrapoliert. Die Auftragung erfolgt in einem polaren Koordinatensystem.

## 1.1 Lineare Polarisation

### 1.1.1 Polychromatisches (weißes) Licht

Für den ersten Versuch wurde weißes Licht aus einer Halogenlampe mit einem Polfilter linear polarisiert. Es ergab sich folgende Intensitätsverteilung:

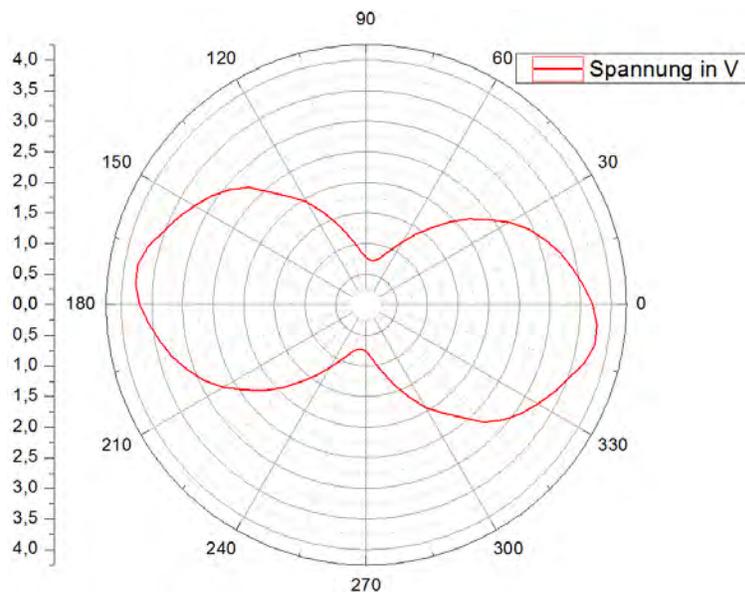


Abbildung 4: Lineare Polarisation von weißem Licht

Es fällt sofort auf, dass für jede Stellung des zweiten Polarisationsfilters noch Licht am Detektor ankam, selbst wenn dieser um  $90^\circ$  gegenüber dem Ersten gedreht war. Das macht deutlich, dass der verwendete Filter nicht alle Licht-Anteile gleich gut polarisieren kann. Höherwertige Filter können auch weißes Licht komplett polarisieren, mit einem solchen Filter würde man eine Verteilung wie im nächsten Versuch (monochromatisches Licht) erhalten.

Außerdem sieht man, dass die Verteilung nicht symmetrisch um  $0^\circ$  sondern um ca.  $10^\circ$  ist. Das lässt darauf schließen, dass die Skalenaufteilung am Filter nicht der tatsächlichen

Polarisationsrichtung entspricht. Dies hätte vor Versuchsbeginn durch einen Abgleich der beiden verwendeten Filter vermieden werden können.

### 1.1.2 Monochromatisches Licht

In diesem Versuch wurde vor den ersten Polarisationsfilter noch ein Farbfilter angebracht, der nur Licht im Wellenlängenbereich von 630 bis 640nm durchlässt. Für alle weiteren Berechnungen haben wir als Wellenlänge den Wert 632,5nm verwendet.. Vor Versuchsbeginn wurden diesmal die beiden Filter abgeglichen, deshalb ist die Verteilung diesmal symmetrisch um  $0^\circ$ :

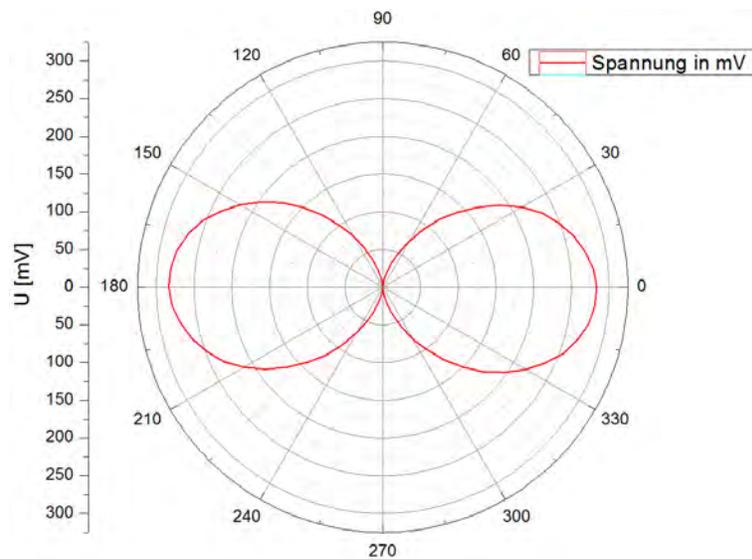


Abbildung 5: Lineare Polarisation von rotem, monochromatischem Licht

Wie man sieht geht die Intensität diesmal für einen Winkel von  $90^\circ$  auf null zurück. Daran sieht man, dass das monochromatische Licht vom Polfilter komplett polarisiert wurde und keine unpolarisierten Anteile mehr vorhanden sind. Sieht man sich noch den Maßstab der beiden Diagramme an (das eine in Volt, das andere in Millivolt) sieht man, wie sehr sich die Intensität durch den Farbfilter verringert hat. Das war zu erwarten, da ja der Großteil des Lichts vom Farbfilter absorbiert wird.

Wegen der besseren Polarisation des monochromatischen Lichts wurde der Farbfilter für die beiden kommenden Versuche (elliptische und zirkulare Polarisation) im Strahlengang belassen.

## 1.2 Elliptische Polarisation

Um elliptisch polarisiertes Licht zu erhalten wurde zwischen die beiden Polarisationsfilter ein Glimmerplättchen gebracht. Vor der Messung wurde eine Kalibrierung vorgenommen: Der zweite Filter wurde zuerst um genau  $90^\circ$  gegenüber dem ersten gedreht. Dann wurde das Glimmerplättchen eingebracht und so eingestellt, dass es das Licht ungehindert passieren lies (gleiche Intensität wie ohne Plättchen). Da das Plättchen keine Grad-Skala hatte, wurde dann der erste Filter um  $45^\circ$  gedreht um den maximalen Effekt durch das Glimmerplättchen zu erhalten.

Die Kalibrierung und die Messung der Intensitätsverteilung wurde nacheinander für zwei verschiedene Plättchen mit unterschiedlicher Dicke durchgeführt.

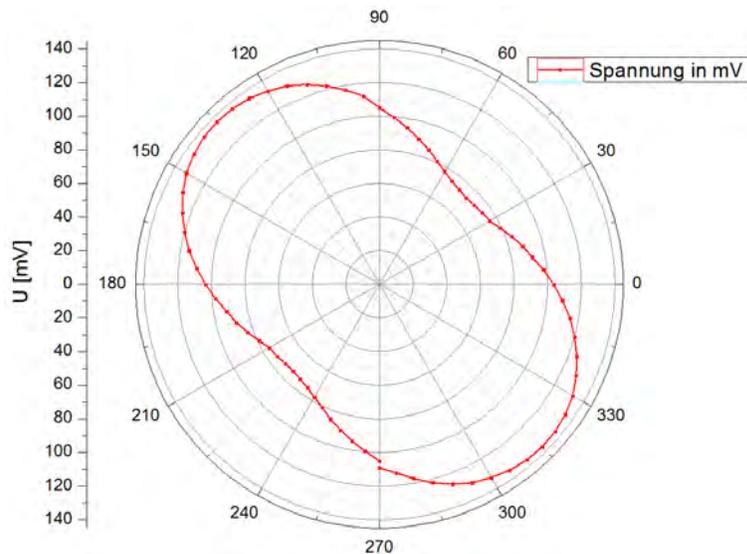


Abbildung 6: Elliptische Polarisation, Plättchen der Dicke 35 bis  $40\mu m$

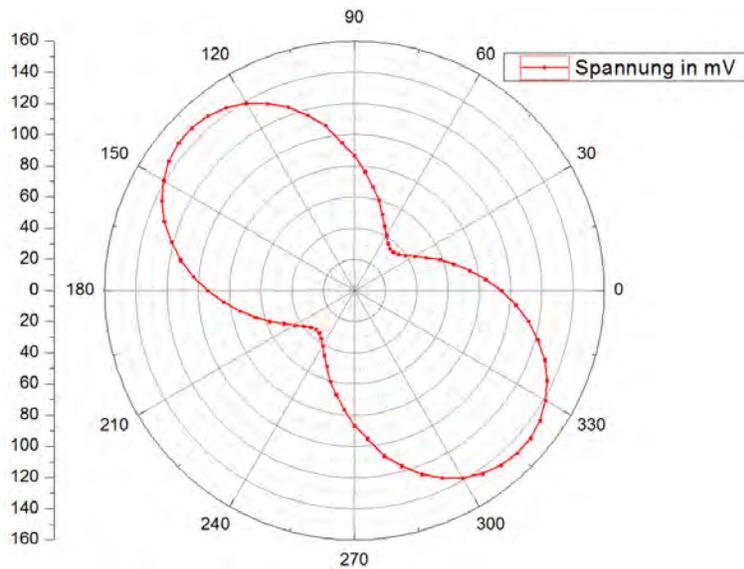


Abbildung 7: Elliptische Polarisation, Plättchen der Dicke 50 bis  $52\mu\text{m}$

Die gemessene Verteilung entspricht dem, was wir erwartet hatten und zeigt sehr gut die Charakteristika der elliptischen Polarisation: Die Anisotropie des Glimmerplättchens hat das zuvor linear polarisierte Licht elliptisch polarisiert. Die Intensität geht (trotz monochromatischem Licht) nicht mehr auf null zurück, die Symmetrie-Achse ist um  $45^\circ$  gegen die des linear polarisierten Lichts verdreht.

### 1.3 Zirkulare Polarisation

Für den letzten Versuch dieser Reihe wurde statt einem Glimmerplättchen ein spezielles  $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen verwendet, das uns zirkular polarisiertes Licht lieferte. Wie im vorigen Versuch wurde wieder eine Kalibrierung vorgenommen um die maximale Polarisation durch das Plättchen zu erreichen.

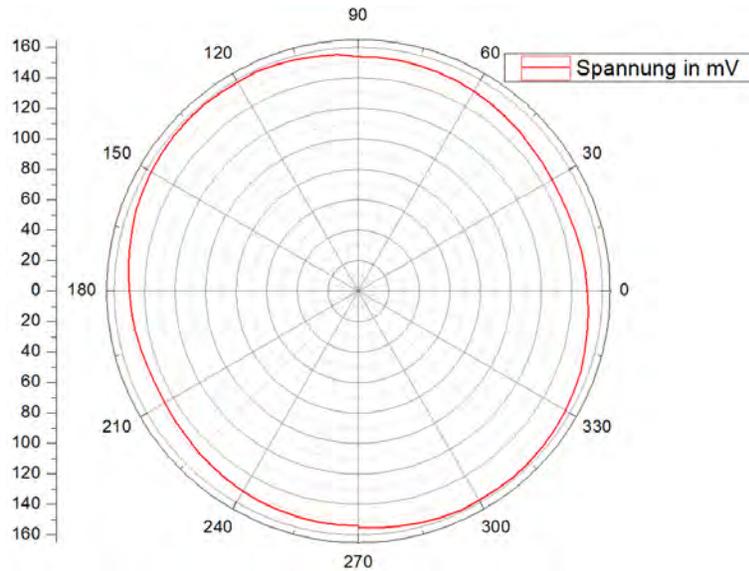


Abbildung 8: Zirkulare Polarisation mit einem  $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen

Die Intensitäts-Verteilung ist nahezu kreisförmig und zeigt so sehr schön, dass das zirkular polarisierte Licht keine bevorzugte Ausrichtung mehr besitzt und vom zweiten (linearen) Polarisator in jeder Stellung gleich gut durchgelassen wird.

Die Abweichung von der exakten Kreisform ergibt sich vermutlich aus der großen Bandbreite des Farbfilters, der Licht in einem 10nm-Bereich durchlässt. Da das  $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen nur für eine bestimmte Wellenlänge zirkular polarisieren kann, wird die Polarisation für abweichende Wellenlängen elliptisch.

## 2 Differenz der Brechungsindizes

### 2.1 Zirkulare Polarisation

Da die Dicke des  $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchens nicht bekannt ist, ist eine Berechnung der Differenz der Brechungsindizes nicht möglich. Eine solche Rechnung wäre beim verwendeten Plättchen auch nicht sinnvoll, da es aus zwei Kristallen besteht die in unterschiedliche Richtungen drehen. Der erste Teil dreht um mehr als  $2\pi$  in die eine Richtung, der zweite Teil dreht dann so weit zurück, dass am Ende genau um  $\pi/4$  gedreht wurde. Diese Bauweise erlaubt es, das Plättchen dicker (und somit stabiler) zu bauen.

## 2.2 Elliptische Polarisation

Da unsere Diagramme der elliptischen Polarisation um ziemlich genau  $45^\circ$  gegen die Achse der linearen Polarisation verdreht sind können wir die Differenz der Brechungsindizes aus der Taille und Länge der Verteilungs-Diagramme berechnen. Die Tailenweite  $T$  und Länge  $L$  wurde in grüner Farbe in die Graphen eingezeichnet.

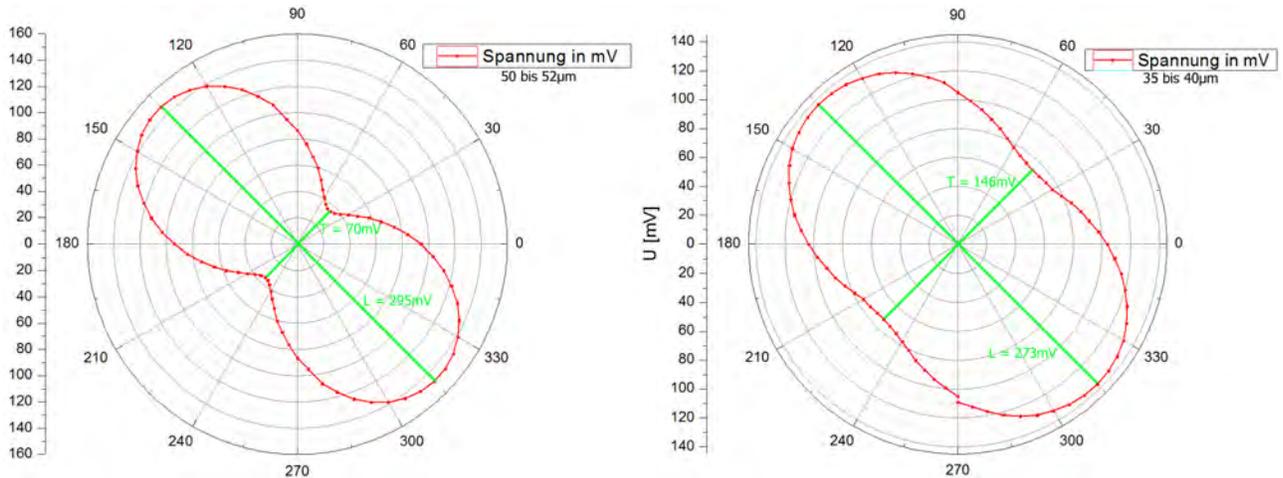


Abbildung 9: Tailenweite und Länge der elliptischen Polarisation

Die Formel zur Berechnung der Brechzahl-Differenz lautet allgemein  $\Delta n = \frac{\lambda \cdot \Delta \phi}{2\pi d}$  mit der Wellenlänge des verwendeten Lichts  $\lambda$  und der Dicke des Plättchens  $d$ . Wir müssen also nur noch die Phasendifferenz  $\Delta \phi$  bestimmen.

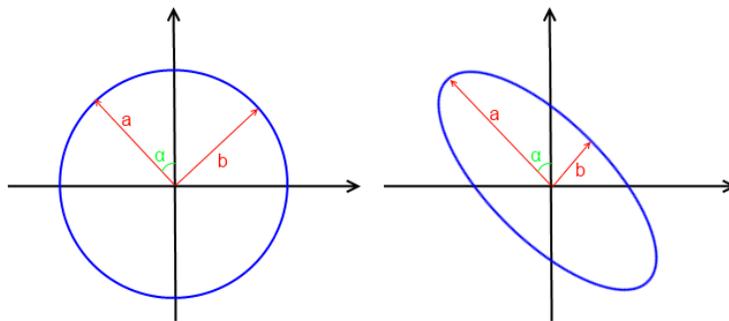


Abbildung 10: Skizze zur Herleitung der Formel für  $\Delta \phi$

Bei der Drehung um  $\alpha = 45^\circ$  (wie in unserem Fall) lässt sich eine einfache Formel mit den oben eingezeichneten Werten  $T$  und  $L$  angeben. Betrachtet man den Grenzfall eines Kreises (Ellipse mit Halbachsen  $a = b$ ) sieht man, dass die Halbachsen und der Winkel  $\alpha$

über die Relation  $\tan\alpha = \frac{b}{a}$  zusammenhängen. Es gilt also  $\Delta\phi = 90^\circ = 2 \cdot \alpha$ . Dies führt mit der Relation  $\frac{b^2}{a^2} = \frac{T}{L}$  schließlich zur allgemeinen Formel:

$$\Delta\phi = 2 \cdot \alpha = 2 \cdot \arctan\left(\frac{b}{a}\right) = 2 \cdot \arctan\left(\sqrt{\frac{T}{L}}\right) \quad (5)$$

Man geht nun davon aus, dass die für den Kreis hergeleitete Formel auch im Fall einer Ellipse mit  $a \neq b$  gilt. Es handelt es sich hier also mehr um eine Analogie als um einen streng mathematischen Beweis.<sup>1</sup>

Da die Dicke der Plättchen nicht genau bekannt ist wurde auch für die Brechzahl-Differenz ein Maximal- und ein Minimalwert berechnet, entsprechend der minimalen und maximalen angegebenen Dicke. Wir erhalten die folgenden Ergebnisse:

Dicke des Plättchens $d$	50-52 $\mu\text{m}$	35-40 $\mu\text{m}$
T in mV	70,0	145,6
L in mV	295,0	273,2
$\Delta n$	0.101 - 0.105	0.182 - 0.208

Würde es sich bei beiden Plättchen um das gleiche Material handeln, wäre zu erwarten, dass die gemessenen Brechzahldifferenzen in etwa übereinstimmen. Zumindest die Größenordnung stimmt für unsere Ergebnisse überein, der Wert des dünneren Plättchens ist jedoch nahezu doppelt so groß wie der des dickeren Plättchens. Entweder handelt es sich hierbei also um verschiedene Materialien oder die Abweichungen resultieren z.B. aus störenden Einflüssen durch Umgebungslicht oder den üblichen statistischen Fehlern, sowie Ablesefehlern an der Apparatur. Würde man diese Fehlerquellen in einer Fehlerrechnung berücksichtigen würde sich eventuell zeigen, dass beide Werte innerhalb der Fehlergrenzen übereinstimmen.

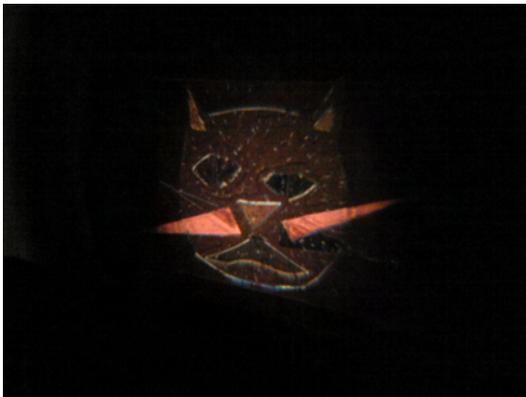
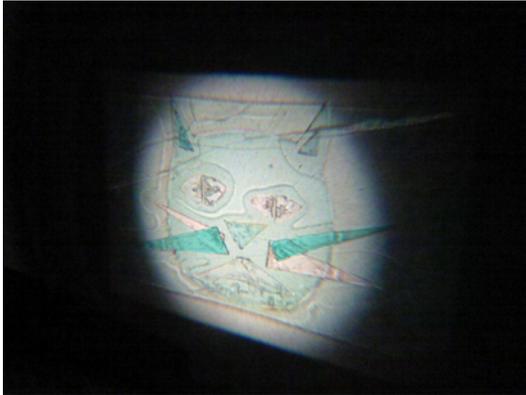
### 3 Farbänderung bei Drehung des Polarisators

In diesem Versuch haben wir die in polarisiertem Licht an Klebefilmbildern auftretenden Farbänderungen, die bei Drehung des Analysators entstehen, untersucht. Hierfür haben wir den Farbfilter natürlich aus dem Strahlengang entfernt, damit wir Licht mit verschiedenen Wellenlängen erhalten. Dieses weiße linear polarisierte Licht traf dann auf die Bilder aus Tesafilm. Da dieser doppelbrechend ist, erhält man anschließend elliptisch polarisiertes Licht. Wie in der Vorbereitung schon erwähnt, ist die Stärke der Polarisation und somit auch die Form der Schwingungsellipse abhängig von der Wellenlänge. Bei Drehung des Analysators wurden deshalb verschiedene Farben verschieden stark ausgeblendet und

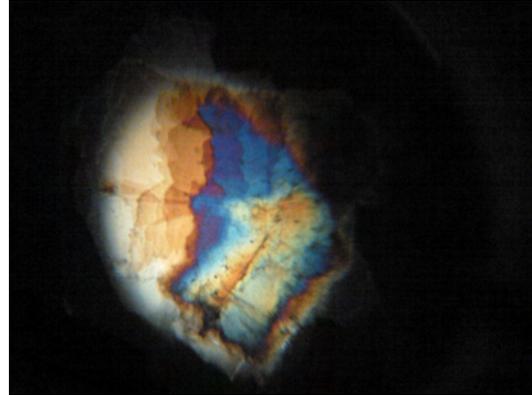
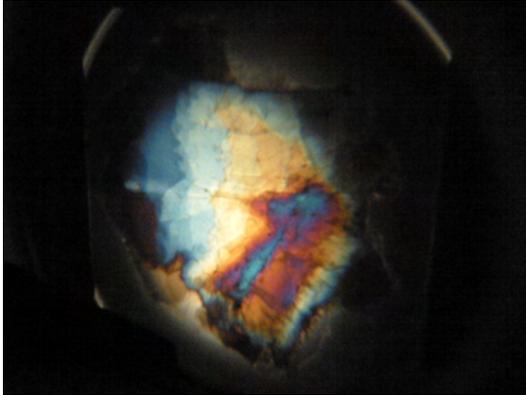
<sup>1</sup>Eine allgemeine Formel mit Herleitung für den Fall  $\alpha \neq 45^\circ$  findet sich in Pohl, "Optik und Atomphysik", 13. Aufl., Seite 126f (siehe Literaturmappe zum Versuch)

wir erhielten je nach Einstellung verschiedene Farben für unser Bild. Die folgenden Fotos, die wir während dem Versuch aufgenommen haben, zeigen ein paar Beispiele:

1. Die Katze



## 2. Der Fleck



## 3. Die Streifen

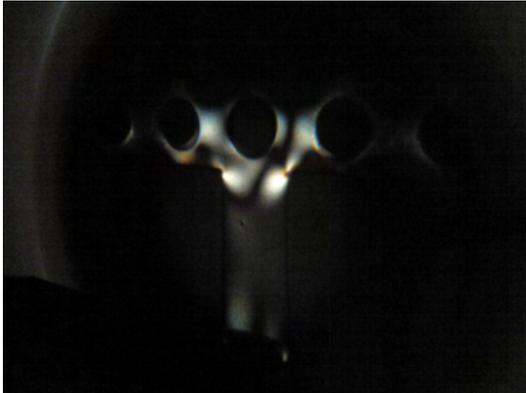


## 4 Spannungsdoppelbrechung an Plexiglasmodellen

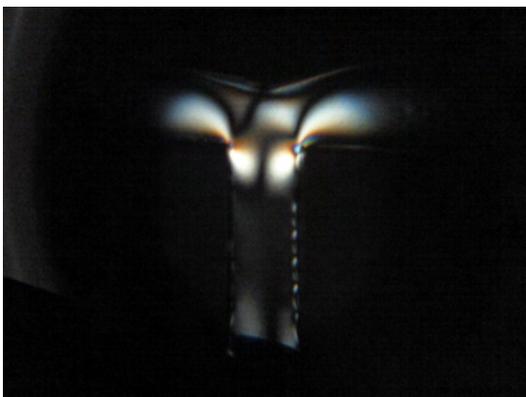
Zum Schluss sollten wir uns noch mit der Spannungsdoppelbrechung an Plexiglasmodellen beschäftigen. Hierfür haben wir bei gleichem Versuchsaufbau wie in Aufgabenteil 3 anstelle der Klebefilmbilder Plexiglasmodelle eingespannt. Stand das Modell unter sehr geringer Spannung, so blieb die Projektion auf die Wand ziemlich dunkel und man konnte so gut wie nichts erkennen. Dies zeigt, dass Plexiglas unter normalen Umständen nicht doppelbrechend ist. Übt man jedoch mit dem Gewinde ein bisschen mehr Druck aus, so konnten wir helle Stellen auf dem Schirm erkennen, die meistens weiß waren, sich jedoch bei noch höherem Druck auch teilweise bunt färbten. An diesen Stellen wird das Material also aufgrund des Drucks anisotrop, weshalb sich optische Achsen ausbilden und das Plexiglas schließlich doppelbrechend wird. Der weiße linear polarisierte Lichtstrahl wird also durch das Plexiglas elliptisch polarisiert.



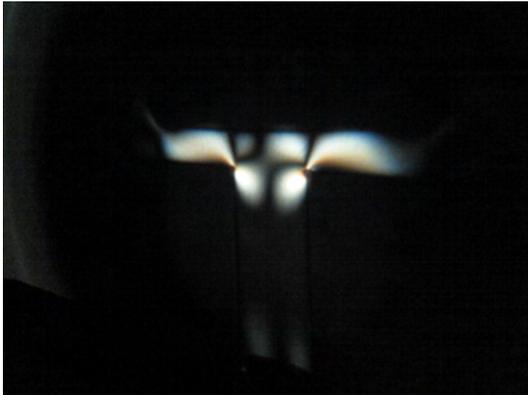
Als erstes spannten wird das pyramidenförmige Modell ein. Hier konnte man gut erkennen, dass sich besonders an den Ecken Spannungszentren ausbilden, die an dem Treffpunkt der zwei Kanten besonders stark sind und sich fast über das ganze Modell ausbreiten. Der obere Bereich bleibt jedoch komplett dunkel, was zeigt, dass sich der Druck dort am besten verteilt.



Als zweites wurde das T-förmige Modell mit den Lochaustanzungen eingespannt. Auch hier konnte man sehen, dass der Druck sich wieder besonders an den Ecken auswirkt, da diese sich sogar ein bisschen bunt färben. Auch der mittlere obere Bereich, der sich direkt unter dem Gewinde befindet ist relativ hell. Aber die Kreisausstanzungen scheinen den Druck gut umzuleiten, da sich die hellen Bereiche (vorallem auch im Vergleich zu den zwei folgenden Modellen) kaum nach links und rechts ausbreiten.



Auch bei diesem T-förmigen Modell, sieht man, das die Ecken besonders belastet werden und sich die hellen Bereich auch nach rechts und links ausbreiten.



Zum Schluss testeten wir noch das T-förmigen Modell mit einer länglichen Ausstanzung im oberen Bereich. Hier zeigte sich, dass bei dieser Form die Ausbreitung des Druckbereichs fast den ganzen oberen Bereich unter der Ausstanzung einnimmt. Also verteilt dieses Modell anscheinend den Druck am schlechtesten.