

Praktikum II
PO: Doppelbrechung und elliptisch polatisiertes Licht
Betreuer: Norbert Lages

Hanno Rein
praktikum2@hanno-rein.de

Florian Jessen
florian.jessen@student.uni-tuebingen.de

26. April 2004

1 Vorwort

Im alltäglichen Leben bemerken wir keinen Unterschied zwischen polarisiertem und nicht polarisiertem Licht. Dennoch treten an vielen Stellen Effekte auf, die Licht polarisieren. Technische Anwendungen für derartige Effekte finden sich beispielsweise in der Datenübertragung via Lichtleitern. Eine Auswahl der möglichen Verfahren soll in diesem Versuch behandelt werden.

2 Physikalische Grundlagen

2.1 Polarisation

Licht besteht aus einer elektromagnetischen Welle, d.h. sich zeitlich verändernden \vec{E} und \vec{B} Feldern. Schwingen die \vec{E} und \vec{B} Vektoren in festen Ebenen (\vec{E} und \vec{B} sind stets senkrecht zueinander und zur Ausbreitungsrichtung), so bezeichnet man dies als *linear polarisiertes Licht*. Überlagert man jedoch zwei Wellen verschiedener Phase, die verschieden linear polarisiert sind, so ergibt sich als resultierende eine Welle, deren \vec{E} und \vec{B} Vektoren zwar weiterhin senkrecht zueinander und zur Ausbreitungsrichtung stehen, aber ihre räumliche Orientierung stetig ändern. Haben die ursprünglichen Wellen die gleiche Amplitude, so ergibt sich eine *zirkulare Polarisation*, im Allgemeinen die *elliptische*.

2.2 Lichtausbreitung in Medien

Tritt Licht in ein Medium ein, so werden die Elektronen ähnlich einem Hertzschen Dipol zu Schwingungen angeregt. Der Hertzsche Dipol strahlt wiederum eine elektromagnetische Welle ab. Hierbei tritt eine Phasenverschiebung zur ursprünglichen Welle auf, so dass sich in der Summe eine scheinbar geringere Ausbreitungsgeschwindigkeit ergibt. Ist c_0 die Geschwindigkeit im Vakuum, so gilt im Medium mit dem Brechungsindex n :

$$\frac{c_0}{c_{\text{medium}}} = n \quad (1)$$

2.3 Doppelbrechung

Tritt in einem Material die sogenannte Doppelbrechung auf, wenn man diese mit Licht bestrahlt, so liegt die Ursache darin, dass das Licht je nach Polarisationssebene verschiedene Ausbreitungsgeschwindigkeiten hat (optisch anisotrope Medien). In diesen Medien sind im Gegensatz zu isotropen Medien die Schwingungsrichtungen der Dipole nicht gleichmäßig verteilt. Man definiert die optische Achse so, dass die Achse aller Dipole in der Ebene senkrecht zu ihr liegen. Parallel zur Hauptachse läuft jedes Licht mit der Hauptlichtgeschwindigkeit. Licht, dessen \vec{E} Vektor senkrecht zur optischen Achse schwingt, läuft ebenfalls mit dieser Geschwindigkeit, Licht anderer Polarisationssebenen mit einer anderen. Daraus ergeben sich für verschiedene lineare Polarisierungen unterschiedliche Brechungsindizes. Wird der Effekt der Brechung überlagert, so tritt das Licht nicht wie gewohnt an einer Stelle aus dem Material wieder aus, sondern an zweien. Bekannt ist dieser Effekt besonders beim Kalkspat ($CaCO_3$). Allgemein kann man die Wellen im Medium nach Huygens durch Rotationsellipsoide darstellen. Diese Eigenschaft kann man nutzen, um verschiedene Polarisierungen voneinander zu trennen. Um so linear polarisiertes Licht zu erhalten, darf nur ein Strahl aus der Anordnung austreten. Dies wird im sogenannten Nicolschen Prisma erzielt. Typischerweise verwendet man hierbei wieder Kalkspat. Der Kristall wird so zersägt, dass einer der Strahlen durch Totalreflexion zur Seite abgelenkt und dort absorbiert wird. Übrig bleibt linear polarisiertes Licht.

3 Auswertung

3.1 Quarzkeil

Die unterschiedliche Dicke des Quarzkeils führt zu unterschiedlichen Polarisierungen. Entsteht linear polarisiertes Licht, so beobachtet man durch den Analysator dunkle Streifen. Dunkle Streifen treten genau dann auf, wenn zwischen dem ordentlichen und außerordentlichen Strahl die Phasendifferenz ein Vielfaches der Wellenlänge λ ist. Die Phasendifferenz erhält man aus den unterschiedlichen optischen Wegen.

$$m \cdot \lambda = s \cdot n - s \cdot (n + \Delta n) \quad (2)$$

$$= s \cdot \Delta n \quad (3)$$

Der Streifenabstand zwischen zwei benachbarten dunklen Streifen ist nach unserer Messung:

$$\frac{\lambda_1 = 546 \text{ nm}}{d_1 = (3.43 \pm 0.03) \cdot 10^{-3} \text{ m}} \quad \Bigg| \quad \frac{\lambda_2 = 436 \text{ nm}}{d_2 = (2.65 \pm 0.05) \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$

Tabelle 1: Abstände benachbarter Minima

Der Unterschied der Brechungsindizes Δn ergibt sich aus folgender Gleichung

$$\Delta n = \frac{\lambda}{d \cdot \tan \alpha} \quad (4)$$

Hierbei ist $\alpha = 0.98^\circ$ der Keilwinkel des verwendeten Quarzkeils. Der Fehler von Δn ergibt sich nach der gaussischen Fehlerfortpflanzung zu

$$\sigma_{\Delta n} = \sigma_d \left| \frac{\lambda}{d^2 \cdot \tan \alpha} \right| \quad (5)$$

$$\frac{\lambda_1 = 546 \text{ nm}}{\Delta n_1 = (9.26 \pm 0.08) \cdot 10^{-3}} \quad \Bigg| \quad \frac{\lambda_2 = 436 \text{ nm}}{\Delta n_2 = (9.59 \pm 0.18) \cdot 10^{-3}}$$

Tabelle 2: Unterschiede der Brechungsindizes

Die Streifen fallen aus, wenn die Polarisationsrichtung senkrecht oder parallel zur optischen Achse des Quarzkeils steht.

3.2 Lambda-Viertel Folie

Aus unseren gemittelten Messwerten erhalten wir folgende Schaubilder, wobei die Einheiten der Intensitäten willkürlich skaliert sind:

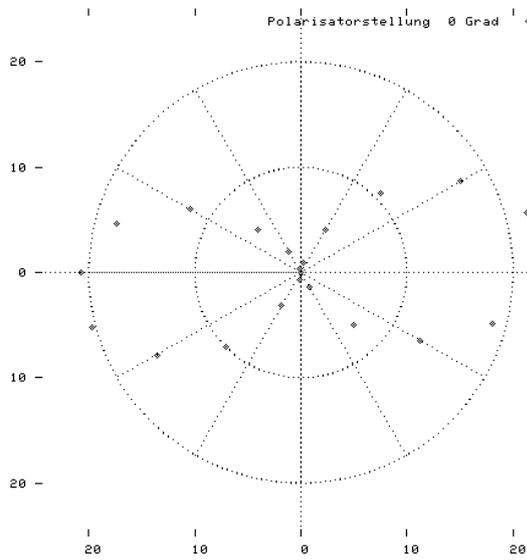


Abbildung 1: Polarisatorstellung 0 Grad

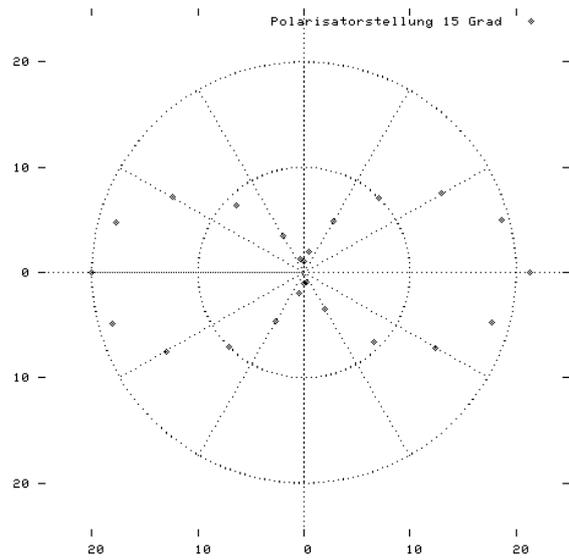


Abbildung 2: Polarisatorstellung 15 Grad

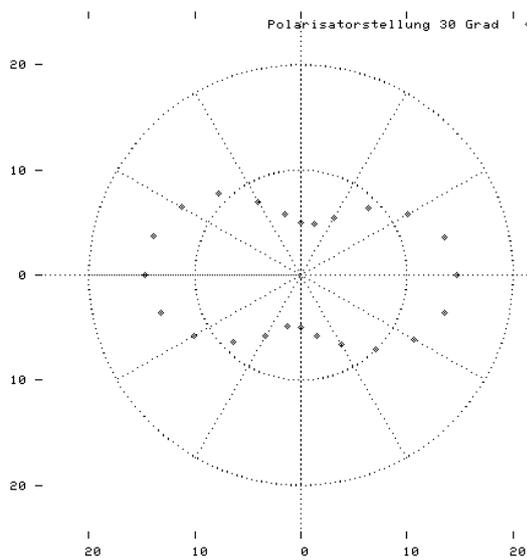


Abbildung 3: Polarisatorstellung 30 Grad

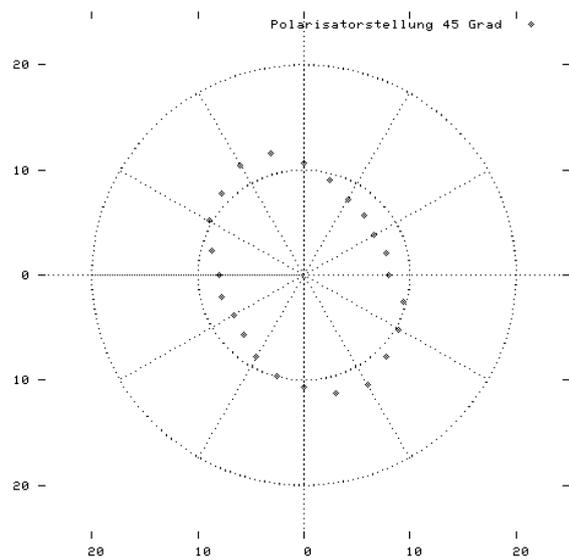


Abbildung 4: Polarisatorstellung 45 Grad

Aus den Schaubildern lassen sich folgende Werte für die Amplituden ablesen:

Polarisator- stellung	Intensität		Verhältnis	Lichtvektor Verhältnis
	1. Halbachse	2. Halbachse		
0 Grad	0	44	0	0
15 Grad	3	41	13.7	3.70
30 Grad	11	28	2.5	1.60
45 Grad	16	25	1.6	1.25

Tabelle 3: Ellipsen

Damit erhält man folgende Ellipsen der Lichtvektoren

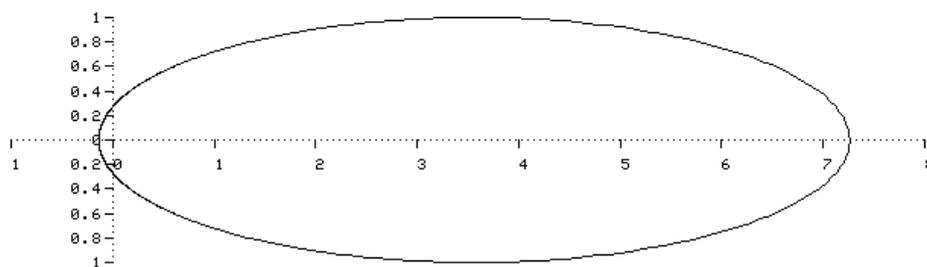


Abbildung 5: Polarisator 15°

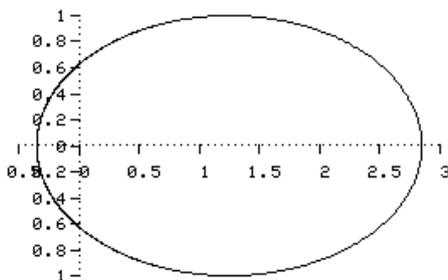


Abbildung 6: Polarisator 30°

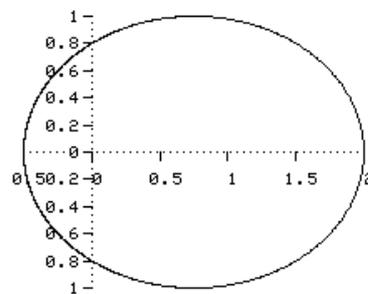


Abbildung 7: Polarisator 45°

Bei der Polarisatorstellung 0 Grad erhält man keine Ellipse, sondern eine Gerade, da eine Komponente komplett ausfällt. Auf deren Darstellung wurde verzichtet.

Anhang - Original Messdaten

3.3 Quarzkeil

blau	grün
0.003461634	0.002542373
0.003379214	0.002627119
0.003379214	0.002711864
0.003544053	0.002542373
0.003379214	0.002542373
0.003379214	0.002796610
0.003379214	0.002542373
0.003379214	0.002542373
0.003626473	0.002966102

Tabelle 4: Abstände der dunklen Linien in m

3.4 Lambda-Viertel Folie

Analysator [°]	Spannung [mV]			Analysator [°]	Spannung [mV]		
0	22	25	24	0	21	22	21
15	21	23	22	15	20	19	19
30	16	18	18	30	15	15	15
45	10	11	11	45	10	10	10
60	3	5	6	60	5	6	6
75	1	1	1	75	2	2	2
90	0	0	0	90	1	1	1
105	1	0	0	105	1	2	1
120	1	3	3	120	4	4	4
135	4	7	6	135	9	9	9
150	10	14	12	150	15	14	14
165	17	19	18	165	18	19	18
180	20	22	20	180	20	20	20
195	19	22	20	195	19	19	18
210	14	17	16	210	15	15	15
225	9	10	11	225	10	10	10
240	3	4	4	240	5	5	6
255	0	1	1	255	2	2	2
270	0	0	0	270	1	1	1
285	0	0	0	285	1	1	1
300	1	2	2	300	4	4	4
315	7	7	7	315	11	9	8
330	13	13	13	330	15	15	13
345	18	19	19	345	18	18	19

Tabelle 5: Polarisator 0 Grad

Tabelle 6: Polarisator 15 Grad

Analysator [°]	Spannung [mV]		
0	15	14	15
15	14	14	14
30	12	11	12
45	9	9	9
60	6	7	6
75	5	5	5
90	5	5	5
105	6	6	6
120	8	8	8
135	11	11	11
150	13	13	13
165	15	14	14
180	15	15	14
195	14	13	14
210	12	11	12
225	9	9	9
240	7	7	6
255	5	5	5
270	5	5	5
285	6	6	6
300	7	8	8
315	10	10	10
330	12	13	12
345	14	14	14

Tabelle 7: Polarisator 30 Grad

Analysator [°]	Spannung [mV]		
0	8	8	8
15	8	8	8
30	8	7	8
45	8	8	8
60	8	8	9
75	9	9	10
90	10	11	11
105	12	12	12
120	12	12	12
135	11	11	11
150	10	10	11
165	9	9	9
180	8	8	8
195	8	8	8
210	8	7	8
225	8	8	8
240	9	9	9
255	10	10	10
270	11	11	10
285	11	12	12
300	12	12	12
315	11	11	11
330	10	10	11
345	9	10	10

Tabelle 8: Polarisator 45 Grad