

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch O9
Institut für Physik	<b>Polarisation</b>	Seite 1

## 1. Aufgabenstellung

- 1.1. Der Reflexionsgrad parallel zur Einfallsebene schwingenden Lichts an der Grenzfläche Luft-Glas ist für Einfallswinkel zwischen  $25^\circ$  und  $75^\circ$  zu messen.
- 1.2. Aus dem Verlauf des Reflexionsgrades ist der Brewsterwinkel abzulesen und hieraus die Brechzahl des verwendeten Glases zu ermitteln. Die experimentell gefundenen Daten sind mittels einer Rechnung zu überprüfen.
- 1.3. Beim Brewsterwinkel ist für den Transmissionsanteil des Lichtes der Polarisationsgrad als Funktion der Anzahl der verwendeten Glasplättchen zu bestimmen und ebenfalls durch eine Rechnung zu überprüfen.

- Literatur:
- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| Demtröder, W.                    | Experimentalphysik 2, Elektrizität und Optik<br>Springer Verlag Berlin Heidelberg New York<br>4. Ausgabe 2006, S. 194-195, 247-248     |
| Schenk, W.<br>Kremer, F. (Hrsg.) | Physikalisches Praktikum<br>Vieweg + Teubner Verlag   Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH<br>13. Auflage 2011, S. 282-283, 285, 287-288 |
| Hecht, E.                        | Optik<br>Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH<br>4. Auflage 2014, S. 25-33, 78-85, 529-537, 564-69                                      |

## 2. Grundlagen

Aus den Maxwell-Gleichungen (*James Clerk Maxwell*, 1831-1879) lassen sich Wellengleichungen für das elektrische bzw. magnetische Feld herleiten, deren einfachste Lösungen ebene, transversale, harmonische Wellen sind. Licht kann als eine solche elektromagnetische Welle aufgefasst werden. Zumindest im Vakuum stehen der elektrische Feldvektor  $\vec{E}$  und der magnetische  $\vec{B}$  senkrecht aufeinander und darüber hinaus auch senkrecht auf dem Ausbreitungsvektor  $\vec{k}$ .  $\vec{E}$  und  $\vec{B}$  schwingen in Phase und bilden mit  $\vec{k}$  ein Rechtssystem. Bleibt die Schwingungsebene, beispielsweise aufgespannt durch  $\vec{E}$  und  $\vec{k}$ , konstant, dann spricht man von *linear polarisiertem* Licht.

Mit dem Begriff *Polarisation* wird die im allgemeinen Fall räumlich und zeitlich *veränderliche Feldrichtung* beschrieben. Zu ihrer näheren Untersuchung denkt man sich die elektromagnetische Welle als Überlagerung zweier linear polarisierter harmonischer Wellen gleicher Frequenz und Ausbreitungsrichtung, deren elektrische Feldstärkevektoren orthogonal aufeinander stehen und zueinander eine relative Phasendifferenz  $\delta$  aufweisen. Wählt man in einem kartesischen Koordinatensystem die z-Achse in  $\vec{k}$ -Richtung, dann erhält man:

$$\vec{E}(z, t) = E_{0,x} \cos(\omega t - kz) \vec{e}_x + E_{0,y} \cos(\omega t - kz + \delta) \vec{e}_y. \quad (1)$$

Hierbei bedeuten  $E_{0,x}$ ,  $E_{0,y}$  - elektrische Feldstärkeamplituden in x- bzw. y-Richtung,  $\omega = 2\pi/T$  - Kreisfrequenz,  $k = 2\pi/\lambda$  - Wellenzahl,  $T$  - Periodendauer und  $\lambda$  - Wellenlänge. Zu einem beliebigen, aber

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch O9
Institut für Physik	<b>Polarisation</b>	Seite 2

festen Zeitpunkt  $t_0$  beschreibt die Spitze von  $\vec{E}$  in Abhängigkeit von  $z$  eine Spirale (vgl. Abb. 1). Man betrachtet jetzt an irgendeinem Ort  $z = z_0$  eine Ebene senkrecht zu  $\vec{k}$  bzw.  $\vec{e}_z$ .

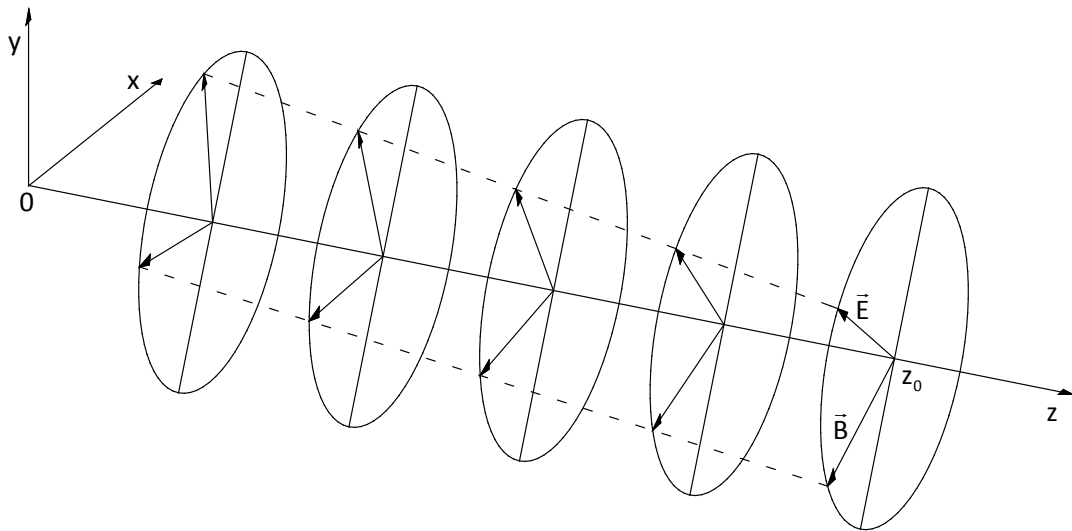


Abb. 1: Beispiel für eine rechtszirkular polarisierte, ebene elektromagnetische Welle

Mit der Abkürzung  $\omega t - kz_0 = \tau$  erhält man aus (1):

$$\vec{E}(t) = E_{0,x} \cos \tau \vec{e}_x + E_{0,y} \cos(\tau + \delta) \vec{e}_y. \quad (2)$$

Zur Eliminierung der Zeitabhängigkeit normiert man die Vektorkomponenten von (2) auf die zugehörigen Amplituden und erhält zunächst

$$\frac{E_x}{E_{0,x}} = \cos \tau \quad (3)$$

sowie

$$\frac{E_y}{E_{0,y}} = \cos(\tau + \delta) = \cos \tau \cos \delta - \sin \tau \sin \delta. \quad (4)$$

Gl. (3) wird in (4) eingesetzt und man findet nach kurzer Rechnung:

$$\left( \frac{E_x}{E_{0,x}} \right)^2 + \left( \frac{E_y}{E_{0,y}} \right)^2 - 2 \frac{E_x E_y}{E_{0,x} E_{0,y}} \cos \delta = \sin^2 \delta. \quad (5)$$

Dies ist die Gleichung einer Ellipse, deren Hauptachsen im Allgemeinen nicht mit den Koordinatenrichtungen  $x$  und  $y$  zusammenfallen. Sie ermöglicht die Bestimmung der Bahnkurve, den die Spitze des  $\vec{E}(t)$ -Vektors in der betrachteten  $xy$ -Ebene durchläuft. Abhängig von der Phasendifferenz  $\delta$  und dem Verhältnis der Amplituden  $E_{0,x}$  und  $E_{0,y}$  lassen sich aus (5) einige Spezialfälle der Polarisation ableiten:

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch O9
Institut für Physik	<b>Polarisation</b>	Seite 3

- a)  $\delta = 0$ , man erhält:

$$E_y = \frac{E_{0,y}}{E_{0,x}} E_x. \quad (6)$$

Das ist eine Gleichung einer Geraden mit der Steigung  $E_{0,y}/E_{0,x}$ , d. h. die Spitze des  $\vec{E}(t)$ -Vektors beschreibt eine Gerade. Da die Schwingungsebene konstant bleibt, ist eine derartige Welle *linear polarisiert*.

- b)  $\delta = \pi/2$ , aus (5) wird jetzt:

$$\left(\frac{E_x}{E_{0,x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0,y}}\right)^2 = 1, \quad (7)$$

was die Gleichung einer Ellipse in Mittelpunktlage ist, deren Hauptachsen mit den Koordinatenachsen in x- und y-Richtung zusammenfallen. Die Betrachtung der Umlaufrichtung mittels Gl. (2) ergibt, dass die Spitze des  $\vec{E}(t)$ -Vektors die Ellipse in Uhrzeigerrichtung durchläuft, man nennt eine solche Welle *rechtselliptisch polarisiert*. Sind darüber hinaus die Amplituden der Komponenten  $E_{0,x}$  und  $E_{0,y}$  gleich, dann ergibt sich als Bahnkurve ein Kreis, die Welle heißt *rechtszirkular polarisiert*.

- c)  $\delta = \pi$ , eine Rechnung analog a) führt auf:

$$E_y = -\frac{E_{0,y}}{E_{0,x}} E_x, \quad (8)$$

einer Geraden mit der negativen Steigung  $-E_{0,y}/E_{0,x}$ . Diese Welle ist ebenfalls *linear polarisiert*.

- d)  $3\pi/2$ , analog zu b) erhält man wieder

$$\left(\frac{E_x}{E_{0,x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0,y}}\right)^2 = 1 \quad (9)$$

(9) stellt wieder eine Ellipse wie in b) dar, diese wird jedoch entgegen der Uhrzeigerrichtung durchlaufen. Die Welle heißt *linkselliptisch polarisiert*, für  $E_{0,x} = E_{0,y}$  wird daraus eine *linkszirkular polarisierte* Welle.

Zirkular und linear polarisiertes Licht lässt sich mit optischen Bauteilen, die die Phase orthogonal aufeinander stehender Wellenzüge unterschiedlich verschieben, ineinander umwandeln (Beispiele:  $\lambda/4$ -Plättchen, Fresnelsches Parallelepiped).

Natürliches Licht ist gewöhnlich nicht polarisiert, da es aus einer Überlagerung regellos aufeinander folgender Wellenzüge unterschiedlicher Länge und Polarisationszustände besteht. Es existieren verschiedene Methoden, aus unpolarisiertem Licht polarisiertes zu erzeugen. Eine Möglichkeit ergibt sich aus der Reflexion an einer optischen Grenzfläche.

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch O9
Institut für Physik	<b>Polarisation</b>	Seite 4

### 2.1. Polarisation durch Reflexion, Brewsterwinkel

Trifft Licht auf eine Grenzfläche zwischen dielektrischen Materialien unterschiedlicher Brechzahlen (nachfolgend  $n_1$  und  $n_2$ ), dann wird ein Teil des Lichtes reflektiert, der andere Teil dringt ein. Man definiert einen *Reflexionsgrad*

$$R = \frac{I_r}{I_e} \quad (10)$$

als Verhältnis der Intensitäten von reflektierter ( $I_r$ ) zu einfallender ( $I_e$ ) Welle und einen *Transmissionsgrad*

$$T = \frac{I_d}{I_e} \quad (11)$$

als Verhältnis der Intensitäten von durchgehender ( $I_d$ ) zu einfallender Welle. Die auftretenden Winkel zwischen dem Lot auf die eben angenommene, absorptionsfreie Grenzfläche und den Ausbreitungsrichtungen des Lichtes vor und nach Reflexion/Durchgang lassen sich mittels *Reflexionsgesetz* und dem *Snelliusschen Brechungsgesetz* finden, außerdem gilt  $R + T = 1$ .

Die Intensität einer Welle ist der zeitliche Mittelwert der Energiestromdichte und bei einer elektromagnetischen Welle proportional dem Amplitudenquadrat der elektrischen Feldstärke. Aus Stetigkeitsbedingungen elektrischer und magnetischer Feldkomponenten an Stoffgrenzen lassen sich Gleichungen entwickeln, die die Verhältnisse der Feldstärken analog (10) und (11) wiedergeben. Es sind dies die *Fresnelschen Formeln* (Augustin Jean Fresnel, 1788-1827). Aus ihnen geht hervor, dass für unterschiedliche Polarisationsrichtungen im Allgemeinen auch verschiedene Reflexions- und Transmissionsgrade auftreten.

Definiert man eine Einfallsebene, aufgespannt durch das Lot auf die Grenzfläche und den Ausbreitungsvektor  $\vec{k}$  der einfallenden Welle (Index e), dann gibt es zwei ausgezeichnete Schwingungsrichtungen des elektrischen Feldstärkevektors (Abb. 2):

- parallel zur Einfallsebene (Index p)
- senkrecht zur Einfallsebene (Index s)

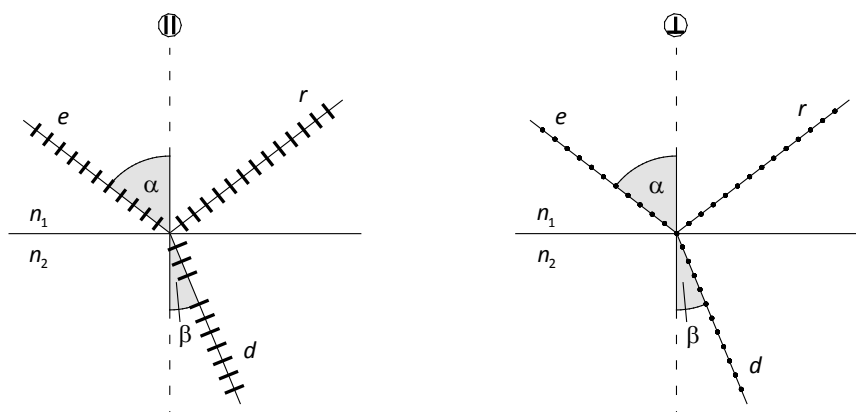


Abb. 2: Parallel (links) und senkrecht (rechts) zur Einfallsebene schwingender Feldstärkevektor

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch O9
Institut für Physik	<b>Polarisation</b>	Seite 5

Man findet für die reflektierten Anteile (Index r) folgende *Reflexionskoeffizienten*:

$$r_p = \frac{E_{r,p}}{E_{e,p}} = \frac{n_2 \cos \alpha - n_1 \cos \beta}{n_2 \cos \alpha + n_1 \cos \beta} = + \frac{\tan(\alpha - \beta)}{\tan(\alpha + \beta)} \quad (12)$$

$$r_s = \frac{E_{r,s}}{E_{e,s}} = \frac{n_1 \cos \alpha - n_2 \cos \beta}{n_1 \cos \alpha + n_2 \cos \beta} = - \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)}. \quad (13)$$

$\alpha$  ist der Einfallswinkel und, nach dem Reflexionsgesetz, gleich dem Reflexionswinkel.  $\beta$  ist der Brechungswinkel des durchgehenden Strahls, es gilt das Brechungsgesetz:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta. \quad (14)$$

Für die Intensitätsverhältnisse folgen wegen  $I \sim E_0^2$  aus (10) und (12) bzw. (13):

$$R_p = r_p^2 = \left( \frac{n_2 \cos \alpha - n_1 \cos \beta}{n_2 \cos \alpha + n_1 \cos \beta} \right)^2 = \frac{\tan^2(\alpha - \beta)}{\tan^2(\alpha + \beta)} \quad (15)$$

$$R_s = r_s^2 = \left( \frac{n_1 \cos \alpha - n_2 \cos \beta}{n_1 \cos \alpha + n_2 \cos \beta} \right)^2 = \frac{\sin^2(\alpha - \beta)}{\sin^2(\alpha + \beta)}. \quad (16)$$

Interessant ist der Spezialfall, dass reflektierter und gebrochener Strahl senkrecht aufeinander stehen, damit ergibt sich  $\alpha + \beta + 90^\circ = 180^\circ$ , d. h.  $\beta = 90^\circ - \alpha$ . Im Brechungsgesetz (14) lässt sich jetzt  $\beta$  eliminieren und man erhält  $n_1 \sin \alpha = n_2 \cos \alpha$ . Der Zähler von Gl. (12), linker Ausdruck, wird dann zu  $n_1 \sin \alpha - n_1 \cos(90^\circ - \alpha) = 0$ . Das bedeutet, dass bei diesem Einfallswinkel kein reflektierter Lichtanteil für die Polarisationsrichtung parallel zur Einfallsebene auftritt, das reflektierte Licht ist vollständig senkrecht zur Einfallsebene, also linear polarisiert. Der Einfallswinkel wird jetzt Brewsterwinkel  $\alpha_B$  genannt und es gilt das Brewstersche Gesetz  $\tan \alpha_B = n_2/n_1$  (David Brewster, 1781-1868).

## 2.2. Plattenpolarisator

Beleuchtet man eine planparallele Glasplatte mit natürlichem Licht unter dem Brewsterwinkel  $\alpha_B$ , dann gibt es für die parallel zur Einfallsebene polarisierten Lichtanteile keine Abschwächung durch Reflexionen an den Grenzflächen  $n_1 \rightarrow n_2$  und  $n_2 \rightarrow n_1$ . Die Brewsterbedingung ist auch auf der Lichtaustrittsseite gegeben (vgl. Abb. 3). Die vollständig senkrecht zur Einfallsebene schwingenden reflektierten Anteile ( $r, r'$ ) fehlen dem durchgehenden Licht ( $d, d'$ ) und dieses ist jetzt teilweise polarisiert. Sein *Polarisationsgrad*, definiert als

$$p = \frac{I_{pol}}{I_{unpol} + I_{pol}}, \quad (17)$$

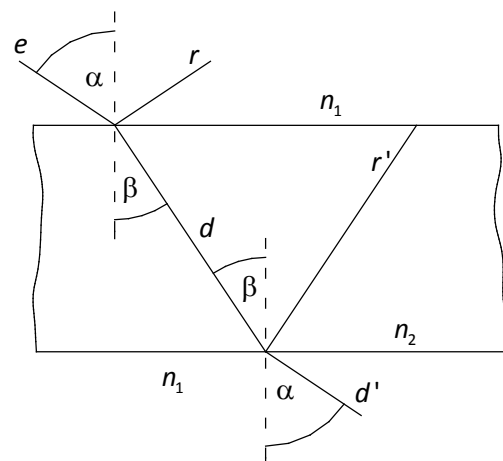


Abb. 3: Winkelverhältnisse an der Glasplatte

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch O9
Institut für Physik	<b>Polarisation</b>	Seite 6

mit  $I_{pol}$ ,  $I_{unpol}$  - Intensitäten der polarisierten bzw. unpolarisierten Lichtanteile, lässt sich vergrößern, wenn man mehrere Glasplatten hintereinander im Strahlengang anordnet. Er wird experimentell ermittelt, indem man ein drehbares Polarisationsfilter (Analysator) vor dem Lichtempfänger anordnet und die durchgelassenen Intensitäten  $I_s \sim T_s$  sowie  $I_p \sim T_p$  misst. Unter den oben genannten Voraussetzungen und unter Vernachlässigung weiterer Reflexionen erhält man:

$$\rho = \frac{T_p - T_s}{T_p + T_s} = \frac{1 - (1 - R_s)^{2N}}{1 + (1 - R_s)^{2N}} \quad \text{mit} \quad R_s = r_s^2 = \left( \frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2 + n_2^2} \right)^2. \quad (18)$$

$N$  ist hierbei die Anzahl der verwendeten Glasplatten,  $n_2$  die Brechzahl des Glases und  $n_1 \approx 1$  die Brechzahl von Luft.

### 3. Messanleitung und Auswertung

Die Messanordnung zur Bestimmung von Reflexions- bzw. Transmissionsgraden ist auf einem Goniometergrundkörper aufgebaut. Ihre wesentlichen Bestandteile sind das Beleuchtungsrohr, das Empfängerrohr, ein drehbarer Tisch zur Halterung und Positionierung der Glasplättchen und die Teilkreisplatte mit doppeltem Nonius. Während das Beleuchtungsrohr fest mit dem Stativ verbunden ist, lassen sich Teilkreisplatte, Drehtisch und Empfängerrohr unabhängig voneinander um die Goniometerachse drehen und ggf. mittels Rändelschrauben arretieren.

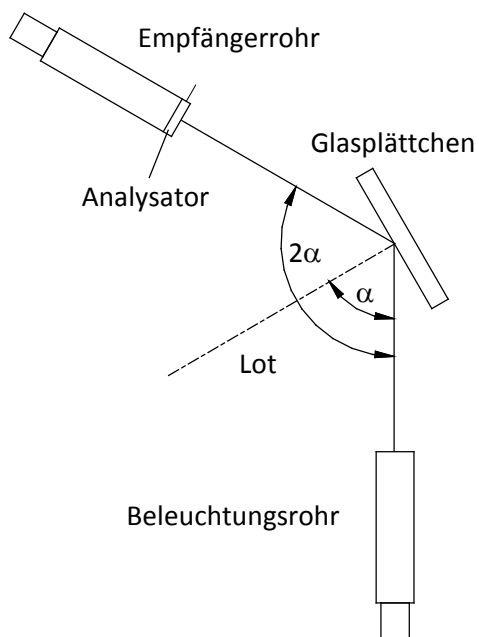


Abb. 4: Schematisierte Messanordnung

Das Beleuchtungsrohr enthält eine Lichtemitterdiode (LED) mit vorgesetzter kreisförmiger Blende. Eine mit eingebaute Linse bildet diese Blende größenangepasst auf eine Blendenöffnung im Empfängerrohr ab, hinter der sich als Fotoempfänger eine Silizium-Fotodiodeneinheit aus einem ausgedienten Laser-Leistungsmesser befindet. Die Messung und Anzeige des sehr geringen Fotostroms erfolgt mit einem so genannten DC-Milli-Pico-Meter (MV-40). Da es in den Strommessbereichen einen Kurzschluss an der Fotodiode realisiert, ist das angezeigte Signal  $I_{photo}$  proportional zur Lichtintensität.

Am Eingang des Empfängerrohrs ist ein drehbarer Polarisator/Analysator montiert, der nur die in seiner Durchlassrichtung schwingende Komponente des elektrischen Feldes passieren lässt.

#### **Achtung!**

**Die optischen Achsen aller einstellbaren Komponenten sind genau justiert. Bitte verstellen Sie keine der gekonterten Rändelschrauben und verschieben Sie nicht die LED-Einheit im Beleuchtungsrohr.**

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch O9
Institut für Physik	<b>Polarisation</b>	Seite 7

### 3.1. Messung des Reflexionsgrades $R_p$

Zuerst ist die korrekte Position des Goniometerteilkreises zu überprüfen. Hierzu richtet man Beleuchtungs- und Empfängerrohr in einer Linie aus und sucht ohne zwischengestellte Glasplättchen das Maximum des Fotostromes. Als Strommessbereich für diesen Versuchsteil werden  $10\mu\text{A}$  (Endwert) empfohlen. Ist das Maximum des Fotostromes gefunden, fixiert man den Halter für das Empfängerrohr vorläufig und überprüft an den beiden Noniusskalen die Übereinstimmung der Winkelwerte  $0^\circ$  bzw.  $180^\circ$  mit den  $0'$ -Skalenstrichen. Nach ggf. erfolgter Korrektur der Position des Teilkreises muss dieser mit der langen, horizontal angeordneten Rändelschraube arretiert werden.

Bevor die richtige Position des Analysators ermittelt wird - er soll ja nur die parallel zur Einfallsebene polarisierten Lichtanteile durchlassen - kann man sich durch Verdrehen davon überzeugen, dass der Polarisationsgrad des emittierten Lichtes praktisch null ist und der Fotoempfänger ein von der Polarisationsrichtung des auftreffenden Lichtes weitgehend unabhängiges Signal erzeugt. Dieses ist zu notieren, weil es bei der späteren Berechnung des Reflexionsgrades als Bezug ( $I_{\text{photo},e} \sim I_e$ ) dient.

Das Empfängerrohr wird jetzt auf einen Winkel  $2\alpha = 100^\circ$  eingestellt. Die zu untersuchenden Glasplättchen sind Objektträger für die Mikroskopie, und bei dieser Glassorte ist bekannt, dass der Wert von  $\alpha$  dann schon in der Nähe des Brewsterwinkels liegt. Für den ersten Versuchsteil wird das Plättchen mit der matten und geschwärzten Rückseite verwendet. Bei ihm sind Rückseiten- und damit auftretende Mehrfachreflexionen hinreichend unterdrückt, so dass Gl. (15) für die nachträgliche Berechnung der Reflexionsgrade ausreicht.

Nachdem der Halter mit dem Glasplättchen auf dem Drehtisch platziert wurde, verstellt man seinen Winkel so lange, bis das reflektierte Licht optimal in das Empfängerrohr gelangt. Das Maximum des Fotostroms muss deutlich erkennbar sein (Position der optischen Elemente ähnlich Abb. 4). In der Nähe des Brewsterwinkel ist das reflektierte Licht überwiegend senkrecht zur Einfallsebene polarisiert. Der Analysator wird daher so lange verdreht, bis diese Lichtkomponente unterdrückt ist, der Fotostrom also ein Minimum erreicht.

Bei allen nachfolgenden Messungen der reflektierten Intensitäten  $I_{r,p} \sim I_{\text{photo},p}$  ist darauf zu achten, dass möglichst wenig Fremdlicht in den Fotoempfänger gelangt. Zu jedem abgelesenen Fotostromwert gehört eine Kontrollmessung mit abgedecktem Beleuchtungsrohr im selben Messbereich. Merkliche Untergrundsignale sind vom ursprünglichen Messergebnis zu subtrahieren.

Auf die beschriebene Art erfolgt in einem ersten Versuch die Bestimmung  $I_{\text{photo},p}$  in Abhängigkeit vom Einfallswinkel. Messparameter ist der am Empfängerrohr einzustellende doppelte Einfallswinkel. Man beginnt bei  $2\alpha = 50^\circ$  und erhöht nachfolgend in  $10^\circ$ -Schritten bis  $2\alpha = 150^\circ$ . Die Reflexionsgrade

$$R_p(\alpha) = \frac{I_{\text{photo},p}(\alpha)}{I_{\text{photo},e}} \quad (19)$$

sind zu berechnen und in eine erste Tabelle einzutragen. Eine vorläufige Schätzung des Brewsterwinkels ist aus dem gefundenen Minimum des Fotostroms vorzunehmen.

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch O9
Institut für Physik	<b>Polarisation</b>	Seite 8

### 3.2. Bestimmung des Brewsterwinkels

Um das in 3.1 gefundene Minimum des Reflexionsgrades herum wird eine Feinmessung des Fotostromes durchgeführt. Hierzu variiert man den einzustellenden Winkel  $2\alpha$  in mindestens fünf  $1^\circ$ -Schritten nach jeder Seite. Da die reflektierten Intensitäten hierbei sehr klein sind, ist besondere Sorgfalt bei der Bestimmung und Eliminierung des Untergrundsignals geboten.

Eine grafische Darstellung der Werte  $R_p(\alpha)$  nach Gl. (19) erlaubt die genaue Bestimmung des Brewsterwinkels  $\alpha_B$ . Bei Verwendung des Praktikumsprogramms eignet sich hierfür das Bearbeitungsfenster *Interpolation mittels kubischer Splines*.

Nach dem Brewsterschen Gesetz ist jetzt die Bestimmung der Brechzahl des untersuchten Glases möglich. Somit können die experimentell in 3.1 gefundenen Reflexionsgrade durch eine Rechnung gemäß Gl. (15) überprüft werden. Beide Ergebnisse sind gemeinsam in einem Diagramm darzustellen und Ursachen für mögliche Abweichungen zu diskutieren.

### 3.3. Polarisationsgrad eines Plattenpolarisators

Für dieses Experiment stehen mehrere planparallele Glasplättchen und entsprechende Halter zur Verfügung. Glassorte und damit auch Brechzahl sind identisch dem in 3.1 und 3.2 verwendeten Plättchen. Begonnen wird mit  $N=1$ , es ist zu beachten, dass es für die Aufnahme weiterer Glasplättchen Halter mit unterschiedlich weit aufgebogenen Federn gibt.

Der Plattenpolarisator muss unter dem Brewsterwinkel  $\alpha_B$  durchstrahlt werden. Das Empfängerrohr wird auf den Wert  $2\alpha_B$  eingestellt und der Analysator ca.  $90^\circ$  verdreht, so dass eine sichere Einstellung des Brewsterwinkels am Drehtisch möglich ist. Sodann stellt man das Empfängerrohr auf den Wert  $2\alpha = 180^\circ$  und justiert auf maximalen Fotostrom.

Zur Bestimmung des Polarisationsgrades verdreht man den Analysator über mindestens  $180^\circ$  und notiert sich Maximum  $I_{\max}$  und Minimum  $I_{\min}$  des Fotostroms. Da bei (im Mittel) unpolarisiertem Licht 50% der Intensität das Polarisationsfilter passieren und vollständig polarisiertes Licht bei korrekter Stellung jedoch zu 100% hindurchgeht, kann  $p$  auch so aufgeschrieben werden:

$$p = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (20)$$

und entspricht damit Gl. (17). Der Polarisationsgrad ist auf diese Weise als Funktion der Plättchenzahl für  $N=1 \dots 10$  zu bestimmen. Infolge des zunehmenden parallelen Strahlversatzes ist es erforderlich, das Empfängerrohr vor jeder Messung geringfügig auf maximales Fotosignal nachzujustieren.

Die experimentellen Ergebnisse sind in einer Rechnung nach (18) zu überprüfen. Hierbei ist für die Brechzahl von Luft  $n_1 = 1$  zu setzen und für  $n_2$  der in 3.2 gefundene Wert zu verwenden. Beide Ergebnisse sind wieder in einem Diagramm gemeinsam darzustellen und mögliche Abweichungen zu diskutieren.