FFR — Fresnelsche Formeln der Reflexion

P3A — Praktikum

8. Februar 2021

Ziele

Zur Bestätigung der Fresnelschen Formeln soll das Reflexionsverhalten von Licht an einem Prisma in Abhängigkeit der Polarisation und des Einfallswinkels des Lichtes untersucht werden. Daraus erfolgt die Bestimmung von Brechungsindex und Reflexionsgrad R. Weiteres Ziel ist die Bestimmung des Brechungsindexes durch Untersuchung des Brewsterwinkels und der Drehung der Polarisationsebene bei der Reflexion.

Teilversuche

1. **Bestimmung des winkelabhängigen Reflexionskoeffizienten für polarisiertes Licht und des Brechungsindex'**

   a) Der Reflexionskoeffizient für Licht, welches entweder senkrecht oder parallel zur Einfallsebene polarisiert ist, soll als Funktion des Einfallswinkels bestimmt und graphisch aufgetragen werden.

   b) Der Brechungsindex des Flintglasprismas soll bestimmt werden.

   c) Der Reflexionskoeffizient soll mit den Fresnelschen Formeln berechnet werden und mit der gemessenen Kurve verglichen werden.

   d) Der Reflexionsgrad für Flintglas wird berechnet.

2. **Messung des Drehwinkels der Polarisationsebene in Abhängigkeit von Einfallswinkel und Brechungsindex**

   Die Drehung der Polarisationsebene für linear polarisiertes Licht durch Reflexion wird als Funktion des Einfallswinkels bestimmt und graphisch dargestellt. Diese wird dann mit den berechneten Werten aus der Fresnelschen Formel verglichen.

Inhaltsverzeichnis

Sicherheitshinweise:

- Der hier verwendete Laser ist in die Laserschutzklasse 2 eingestuft. Achten Sie dennoch darauf, nicht in den Laserstrahl hineinzusehen.
- Zum Schutz empfindlicher optischer Oberflächen vor Berührungen müssen Sie die ausliegenden Baumwollhandschuhe tragen!

1 Physikalischer Hintergrund

1.1 Stichworte zur Vorbereitung

- Elektromagnetische Theorie des Lichts
- Wellenwiderstand
- Poynting-Vektor
- Reflexionskoeffizient
- Reflexionsgrad
- Brechungsgesetz
- Brewstersches Gesetz
- Polarisation
- Polarisationsgrad

1.2 Experimentelle Methode

Die folgenden Indizes werden in der unten gegebenen Theorie verwendet:

$\perp, \parallel$

als hochgestellte Indizes beschreiben die Schwingungsrichtung des elektrischen und magnetischen Feldvektors, die entweder senkrecht oder parallel zur Zeichenebene gerichtet ist;

$0, r, t$

als tiefgestellte Indizes zur Beschreibung der Eingangs-, reflektierten und transmittierten (gebrochenen) Vektorkomponente.

0 input
r reflected
t transmitted

1.2.1 zu Teilversuch 1:

Bei einer ebenen Welle im Vakuum oszillieren der elektrische Feldvektor $\vec{E}$ und der magnetische Vektor $\vec{H}$ senkrecht und in Phase zueinander. Die Beziehung zwischen $\left|\vec{H}\right|$ und $\left|\vec{E}\right|$ folgt aus den Maxwell-Gleichungen:

$$\left|\vec{H}\right| = \frac{1}{z_0}\left|\vec{E}\right| \tag{1}$$

wobei z_0 der Wellenwiderstand des Vakuums ist. Dieser errechnet sich durch $z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \approx 376{,}73\,\Omega$. Gleichung (1) gilt für das Vakuum. Für viele Medien (insbesondere alle Medien im Versuch) gilt eine zu (1) analoge Gleichung. Es muss lediglich der Wellenwiderstand z_0 des Vakuums durch den des Mediums ersetzt werden. Es gilt:

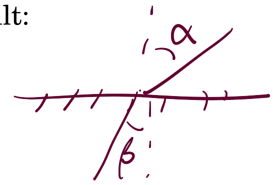
$$z = \frac{z_0}{n}$$

und damit

$$\boxed{\left|\vec{H}\right| = \frac{n}{z_0}\left|\vec{E}\right|} \tag{2}$$

wobei n der Brechungsindex des Mediums, das die Welle durchdringt,ist.

Die in Ausbreitungsrichtung transportierte Energie der Welle ist gegeben durch den Poyntingvektor, für den mit (2) folgende Beziehung gilt:



$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$
$$\left|\vec{S}\right| = \left|\vec{E}\right|^2 \frac{n}{z_0} \tag{3}$$

Trifft Licht mit einem Einfallswinkel α auf eine Grenzoberfläche eines isotropen Mediums mit dem Brechungsindex n (im Experiment realisiert durch die Fläche eines Prismas), dann wird ein Anteil der Intensität reflektiert und der Rest durchdringt das Medium unter einem Brechungswinkel β. Wir wollen nun im Versuch polarisiertes Licht untersuchen. Unabhängig von der Polarisationsrichtung und o. B. d. A. lassen sich die Feldstärken $\vec{E}$ und $\vec{H}$ zerlegen in eine zur Zeichenebene senkrechte und eine zur Zeichenebene parallele Komponente. Die beiden Komponenten werden im Folgenden genauer betrachtet. p - polarisiert

s - polarisiert

1. $\vec{E}^{\perp}$:

   In Abbildung 1 links oszilliert der elektrische Feldvektor $E_0^{\perp}$ der einfallenden Lichtwelle senkrecht zur Zeichenebene; der magnetische Vektor $H_0^{\parallel}$ schwingt parallel zu dieser.

   Aus der Elektrodynamik ist bekannt, wie sich elektromagnetische Felder an Grenzflächen verhalten. Besitzt die Grenzfläche keine Flächenladungsdichte und wird von keinem Strom durchflossen (dies ist im Versuch der Fall), so gilt, dass die Tangentialkomponenten von $\vec{E}$ und $\vec{H}$ erhalten bleiben. Tangential heißt, die Vektoren stehen parallel zur Grenzschicht. *In Abbildung 1 sind dies die Komponenten, die mit „⊥“ gekennzeichnet sind.* Mit anderen Worten, es gilt folgendes:

   $$E_0^{\perp} + E_r^{\perp} = E_t^{\perp} \tag{4}$$

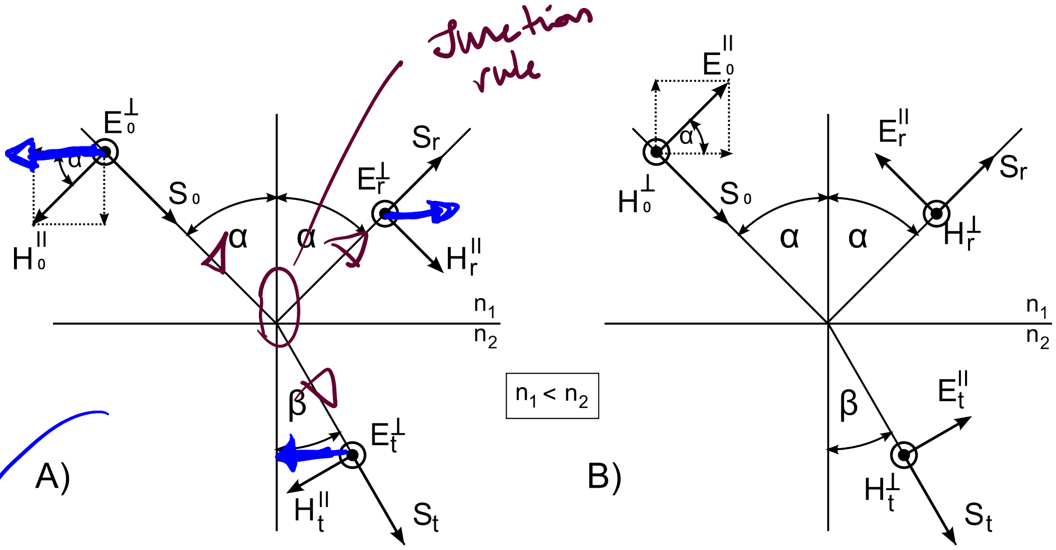


Abbildung 1: links Schwingungsrichtung des elektrischen Feldvektors senkrecht und rechts parallel zur Einfallsrichtung

Der Magnetfeldvektor in Abbildung 1 A) zeigt zunächst weder parallel noch senkrecht zur Grenzschicht, er liegt lediglich parallel zur Zeichenebene. Er lässt sich aber in eine Komponente senkrecht und eine Komponente parallel zur Grenzschicht zerlegen. Da wir nur das Stetigkeitskriterium für die parallele Komponente besitzen, werten wir auch nur diese aus. Selbige hat den Betrag $H_0^\parallel \cdot \cos\alpha$. Analog hat die parallele Komponente des reflektierten Strahles den Betrag $H_r^\parallel \cdot \cos\alpha$, allerdings zeigt der Vektor in die entgegengesetzte Richtung, so dass ein Minuszeichen berücksichtigt werden muss. Die parallele Komponente des transmittierten Strahles hat den Betrag $H_t^\parallel \cdot \cos\beta$ und zeigt in die gleiche Richtung wie die parallele Komponente des einfallenden Strahles. Nach der Stetigkeit der Tangentialkomponenten folgt also:

$$H_0^\parallel \cos\alpha - H_r^\parallel \cos\alpha = H_t^\parallel \cos\beta \tag{5}$$

Benutzt man nun (2), (4) und (5) so ergibt sich ($n_{\text{Luft}} \simeq 1$):

$$\left.\begin{aligned} H_0^\parallel &= \frac{n_{\text{Luft}}}{z_0} E_0^\perp \\ H_r^\parallel &= \frac{n_{\text{Luft}}}{z_0} E_r^\perp \end{aligned}\right\}$$

$|H| = \frac{n}{z_0} |E|$

$$H_t^\parallel = \frac{n_{\text{Glas}}}{z_0} \cdot E_t^\perp = \frac{n_{\text{Glas}}}{z_0} \left(E_0^\perp + E_r^\perp\right)$$

$E_t^\perp = E_0^\perp + E_r^\perp$

$$\left(E_0^\perp - E_r^\perp\right) \cos\alpha = n_{\text{Glas}} \cdot \left(E_0^\perp + E_r^\perp\right) \cos\beta$$

Im Versuch kann der Brechungsindex von Luft ($n \approx 1{,}0003$) ohne große Fehler als 1 angenommen werden, insbesondere da n_{Glas} sich deutlich von 1 unterscheidet. Der Buchstabe n steht von nun an nur noch für den Brechungsindex des Glasprismas. Das Verhältnis der Feldstärken ist unter Berücksichtigung des Brechungsgesetzes $\sin\alpha = n \cdot \sin\beta$:

$$\zeta^\perp := \frac{E_r^\perp}{E_0^\perp} = \frac{\cos\alpha - n\cos\beta}{\cos\alpha + n\cos\beta} = -\frac{\sin(\alpha-\beta)}{\sin(\alpha+\beta)} \tag{6}$$

Reflection coeffiaent

ζ ist als Reflexionskoeffizient definiert.

2. $\vec{E}^{\parallel}$:

   Abbildung 1 B) zeigt eine einfallende Lichtwelle, deren Vektor $E_0^{\parallel}$ parallel zur Einfallsebene oszilliert. Völlig analog zu den obigen Überlegungen folgt hier:

$$H_0^{\perp} + H_r^{\perp} = H_t^{\perp}$$
$$\left(E_0^{\parallel} - E_r^{\parallel}\right) \cdot \cos\alpha = E_t^{\parallel} \cdot \cos\beta$$
$$\left(E_0^{\parallel} - E_r^{\parallel}\right) \cdot \cos\alpha = \frac{1}{n} \cdot \left(E_0^{\parallel} + E_r^{\parallel}\right) \cdot \cos\beta$$

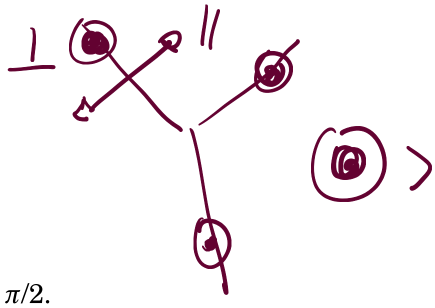
   Man gewinnt, ähnlich wie in (6), folgenden Reflexionskoeffizienten:

$$\zeta^{\parallel} := \frac{E_r^{\parallel}}{E_0^{\parallel}} = \frac{n\cos\alpha - \cos\beta}{n\cos\alpha + \cos\beta} = \frac{\tan(\alpha-\beta)}{\tan(\alpha+\beta)} \tag{7}$$

Die *Fresnelschen Formeln* (6) und (7) können noch in einer anderen Form geschrieben werden, indem der Brechungswinkel β durch den Gebrauch des *Snellius'schen Brechungsgesetzes* eliminiert wird:

$$\zeta^{\perp} = \frac{E_r^{\perp}}{E_0^{\perp}} = \frac{\left(\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} - \cos\alpha\right)^2}{1-n^2} \tag{8}$$

$$\zeta^{\parallel} = \frac{E_r^{\parallel}}{E_0^{\parallel}} = \frac{n^2\cos\alpha - \sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}}{n^2\cos\alpha + \sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} \tag{9}$$



$\zeta^{\perp} \geq \zeta^{\parallel}$ gilt für alle Einfallswinkel zwischen Null und $\pi/2$.

Fresnel Formel

Spezialfälle:

A: für senkrechten Einfallswinkel ($\alpha = \beta = 0$) gilt:

$$\zeta^{\perp} = \zeta^{\parallel} = \left|\frac{n-1}{n+1}\right| \tag{10}$$

B: für den Glanzwinkel ($\alpha = \pi/2$):

$$\zeta^{\perp} = \zeta^{\parallel} = 1$$ (all reflected)

C: wenn der reflektierte und gebrochene Strahl senkrecht zueinander stehen ($\alpha + \beta = \pi/2$), siehe Abbildung 2, dann folgt aus (7):

$$\zeta^{\parallel} = 0 \longrightarrow \text{Brewster Winkel}$$

   d. h. das reflektierte Licht ist vollständig polarisiert. In diesem Fall schwingt der elektrische Vektor nur senkrecht zur Zeichenebene. Aus dem Snellius'schen Brechungsgesetz

$$\sin\alpha = n\sin\beta = n\sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = n\cos\alpha$$

$$n_L \sin\alpha = n_G \sin\beta = n_G \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = n_G \cos\alpha$$

$$\Rightarrow \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \frac{n_G}{n_L} \Rightarrow \tan(\alpha) = \frac{n_G}{n_L}$$

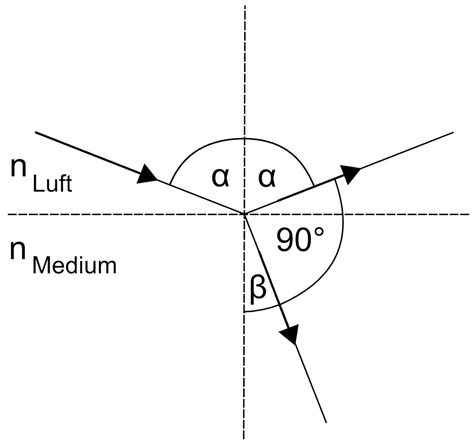


Abbildung 2: Brewstersches Gesetz

ergibt sich für diesen speziellen Fall der Einfallswinkel aus

$$\tan \alpha_p = n \qquad \tan(\alpha_B) = \frac{n_M}{n_L} \Rightarrow \alpha_B = \mathrm{atan}\left(\frac{n_M}{n_L}\right) \tag{11}$$

(α_p = Polarisations- oder Brewsterwinkel).

Den Reflexionsgrad erhält man aus den Intensitäten, nämlich mit $R = \frac{I_r}{I_0}$. Für die Intensitäten gilt nach (3) $I_r = (E_r^\perp)^2 + \left(E_r^\parallel\right)^2$. Daraus folgt:

$$R = \frac{(E_r^\perp)^2 + \left(E_r^\parallel\right)^2}{(E_0^\perp)^2 + \left(E_0^\parallel\right)^2} = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 \tag{12}$$

nur für senkrechten Fall ($\alpha = \beta = 0$)

wobei das letzte Gleichheitszeichen für senkrechten Einfall gilt.

$\zeta = \sqrt{I}$ ← gemessen

Auswertung

Im Experiment werden die Lichtintensitäten mit einer Fotozelle gemessen. Diese erzeugt eine elektrische Spannung, die proportional zur Intensität des einfallenden Lichtes ist. Um Größen proportional zur Feldstärke zu erhalten, müssen Sie gemäß (3) die Wurzel ziehen. Tragen Sie die so erhaltenen Werte für das jeweilige ζ gegen den Einfallswinkel auf und versuchen Sie, den Wert für ζ bei senkrechtem Einfall sowie das Minimum zu bestimmen. Daraus errechnen Sie den Brechungsindex. Tragen Sie nun die Fresnelschen Formeln mit Ihrem Brechungsindex auf und vergleichen Sie, wie die Kurve zu Ihren Messwerten passt. Gut geeignet hierfür ist das Programm *gnuplot* z. B. im CIP-Pool. Die folgende Tabelle 1 beinhaltet Werte, die nach den Gleichungen (8) und (9) mit dem Brechungsindex für Flintglas berechnet wurden. Die Werte dienen als Anhaltspunkte für Ihre Messwerte. Bevorzugen Sie das Auswerten mit Millimeterpapier, können Sie Tabelle 1 benutzen, um Werte gemäß (8) und (9) aufzutragen.

$\zeta^\perp = \zeta^\parallel = \left|\frac{n-1}{n+1}\right|$

Brewster winkel

how?

α	$\zeta^{\perp}$	$\zeta^{\parallel}$
0	0,240	0,240
5	0,241	0,238
10	0,244	0,235
15	0,250	0,229
20	0,258	0,221
25	0,269	0,209
30	0,284	0,195
35	0,301	0,176
40	0,323	0,152
45	0,350	0,123
50	0,382	0,086
55	0,421	0,039
60	0,468	0,019
65	0,524	0,094
70	0,591	0,189
75	0,671	0,312
80	0,764	0,476
85	0,873	0,696
90	1,000	1,000

Tabelle 1: Theoretische Werte für die Reflexionskoeffizienten bei Flintglas

1.2.2 zu Teilversuch 2:

meaning?

Im zweiten Teilversuch sollen die Fresnelschen Formeln anhand der Drehung der Polarisationsebene bei Reflexion verifiziert werden. Dieser Versuch basiert auf folgender Überlegung: Linear polarisiertes Licht mit einem elektrischen Feldvektor, der um einen festen Azimutwinkel δ gegenüber der Einfallsebene gedreht ist, trifft auf ein Glasprisma. In Abbildung 3 stellt die Zeichenebene die Reflexionsoberfläche dar. Wenn nach der Reflexion der elektrische Vektor unter einem Winkel ω schwingt, dann wird die Drehung der Polarisationsebene durch den Winkel $\Psi = \delta - \omega$ wiedergegeben. Für die Feldkomponenten parallel und senkrecht zur Einfallsebene gilt:

$$E_\mathrm{r} = \frac{E_\mathrm{r}^{\parallel}}{\cos\omega} = \frac{E_\mathrm{r}^{\perp}}{\sin\omega}$$

oder

$$\tan\omega = \frac{E_\mathrm{r}^{\perp}}{E_\mathrm{r}^{\parallel}} = \frac{E_\mathrm{r}^{\perp} E_0^{\parallel} E_0^{\perp}}{E_0^{\perp} E_\mathrm{r}^{\parallel} E_0^{\parallel}} \tag{13}$$

Mit (6) und (7) folgt aus (13):

$$\tan\omega = -\frac{\sin(\alpha-\beta)}{\sin(\alpha+\beta)} \frac{\tan(\alpha+\beta)}{\tan(\alpha-\beta)} \tan\delta \tag{14}$$

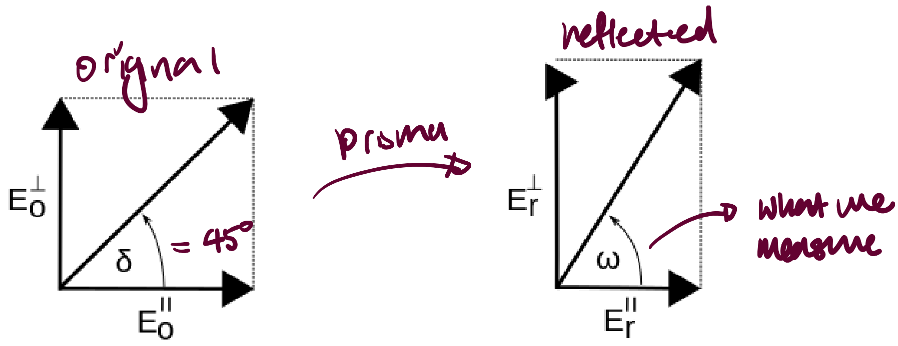


Abbildung 3: Drehung der Schwingungsrichtung durch Reflexion

Für den Spezialfall $\delta = \pi/4$ gilt für den Drehwinkel $\Psi = \frac{\pi}{4} - \omega$ und damit:

$$\tan\Psi = \tan\left(\frac{\pi}{4} - \omega\right) = \frac{1 - \tan\omega}{1 + \tan\omega} \tag{15}$$

Wenn $\tan\omega$ aus (14) in (15) eingesetzt wird, dann erhält man nach Umformung:

$$\tan\Psi = \frac{\cos(\alpha+\beta)+\cos(\alpha-\beta)}{\cos(\alpha+\beta)-\cos(\alpha-\beta)} \quad = -\frac{\cos\alpha\sqrt{1-\sin^2\beta}}{\sin\alpha\sin\beta}$$

Durch die Eliminierung des Brechungswinkels β durch das Brechungsgesetz ergibt sich schließlich:

$$\Psi = \arctan\left(-\frac{\cos\alpha\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}}{\sin^2\alpha}\right) \tag{16}$$

Wenn die Polarisationsebene um $\Psi = \pi/4$ gedreht wird, ergibt sich das Brewster-Gesetz:

$$\tan\alpha_p = n = \frac{n_m}{n} \tag{17}$$

Auswertung

Im Experiment sollen Sie den Drehwinkel Ψ aus Ihren Messungen berechnen. Tragen Sie diesen gegen den Einfallswinkel auf und legen Sie auch hier eine Kurve gemäß (16) mit Ihrem Brechungsindex durch den Plot (hinterfragen Sie dabei ggf. das Vorzeichen in Gleichung (16)). Probieren Sie aus, ob kleine Veränderungen am Brechungsindex die Fitkurve besser an die Datenpunkte anpassen. ~~Falls Sie mit Millimeterpapier auswerten, bestimmen Sie den Wert von α für $\Psi = 45°$ und berechnen Sie daraus den Brechungsindex.~~

Viel Spaß und Erfolg beim Durchführen der Versuche!

2 Durchführung

2.1 Material

Grundplatte mit Gummifüßen	08700.00	1
HeNe-Laser	08180.93	1
Justierhalterung $35 \times 35\,\mathrm{mm}$	08711.00	2
Oberflächenspiegel $30 \times 30\,\mathrm{mm}$	08711.01	2
Magnetfuß	08710.00	5
Polarisationsfilter	08730.00	2
Prismentisch mit Halter	08725.00	1
Prisma, 60°, Flintglas	08237.00	1
Drehschiene mit Winkeleinteilung und Magnetfuß	08717.00	1
Fotoelement, Silizium	08734.00	1
Messverstärker, universal	13626.93	1
Voltmeter $0{,}3 \ldots 300\,\mathrm{V}/10 \ldots 300\,\mathrm{V} \sim$	07035.00	1
Verbindungsleitung, rot, $l = 500\,\mathrm{mm}$	07361.01	2

2.2 Bestimmung des Brechungsindex aus dem Reflexionskoeffizient für polarisiertes Licht

Bitte lesen Sie diesen Abschnitt erst einmal ganz durch, ehe Sie mit dem Versuch beginnen!

- Der Versuchsaufbau erfolgt nach Abbildung 4. Die empfohlene Aufbauhöhe (Strahlenganghöhe) sollte bei 130 mm liegen. Der Laser ist schon auf die richtige Höhe eingestellt und muss im Regelfall nicht nachjustiert werden.
- *Aufbau der Dreheinheit:* Bringen Sie die Drehschiene so in den Strahlengang, dass der Laserstrahl über dem Prismentisch verläuft. Auf der Drehschiene können sowohl am Schienenende die Photozelle **LD** mit einem Magnetfuß als auch der Polarisationsfilter $\mathbf{P}_2$ mit Magnetfuß in der Schienenmitte aufgesetzt werden. Die Winkeleinteilung sollte beim Aufbau auf der optischen Platte eine vernünftige Stellung einnehmen, d. h. der 0°-Skalenstrich sollte in Richtung des einfallenden Laserstrahls zeigen.
- Das Prisma **Pr** auf dem Prismentisch sollte mit der vorderen Oberflächenkante auf dem Mittelpunkt des Tisches positioniert werden. Der Laserstrahl wird dann mit den justierbaren Spiegeln $\mathbf{M}_1$ und $\mathbf{M}_2$ auf die Mittelachse des Prismas und Prismentisches eingestellt.
- Da der Laser bereits senkrecht zur Einfallsebene polarisiert emittiert, wird ein Polarisator **P** in 45°-Stellung direkt nach dem Laser positioniert, damit senkrecht und parallel zur Einfallsebene polarisierte Anteile wieder gleichermaßen im Strahl vorhanden sind.
- In diesem Versuchsteil wird der Polarisator $\mathbf{P}_2$ nicht benötigt, entfernen Sie diesen ggf. von der Drehschiene.

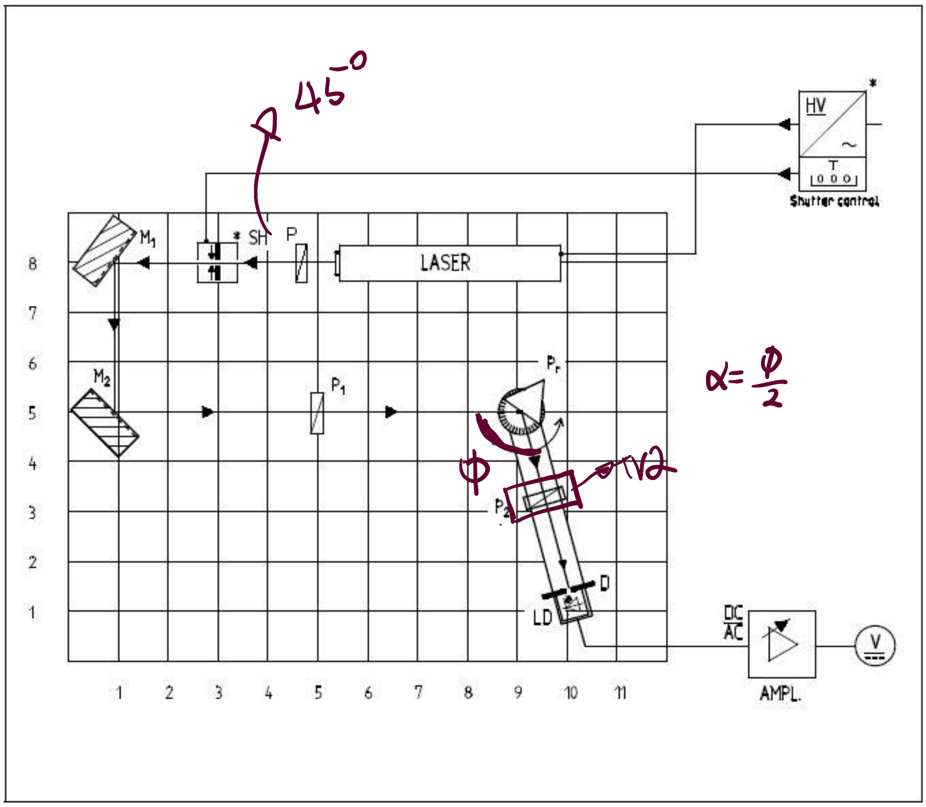


Abbildung 4: Experimenteller Aufbau zum Nachweis der Drehung der Polarisationsebene durch Reflexion (* nur beim 5 mW-Laser erforderlich)

- Bringen Sie nun den Polarisator $\mathbf{P}_1$ in 0°-Stellung, das Licht ist dann senkrecht zur Einfallsebene polarisiert. Bringen Sie die Fotozelle direkt in den Strahl, der $\mathbf{P}_1$ bereits durchquert hat und messen Sie die angezeigte Spannung am Voltmeter. Dabei müssen Sie evtl. den Verstärkungsfaktor erhöhen, der angezeigte Wert sollte im Bereich von einigen Volt liegen. Dies ist Ihre Eingangsintensität $I_0^{\perp}$, die Sie zur Normierung Ihrer folgenden Messungen benötigen!

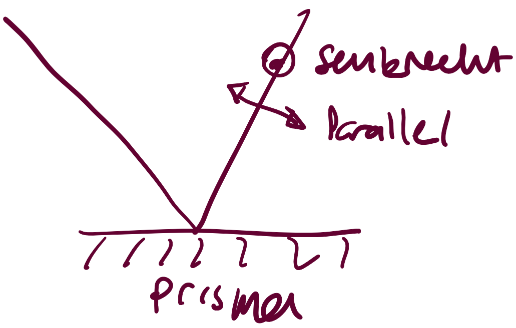
Normierung

Achtung: Bitte achten Sie darauf, dass die Ausgangsspannung nach Verstärkung einen Wert von 10 V nicht überschreitet! Dies gilt auch für alle folgenden Messungen! !

- Stellen Sie nun die Drehschiene mit dem Detektor **LD** auf einen Winkel von ca. 10° ein (abzulesen an der Winkeleinteilung am Magnetfuß; wieviel Grad entspricht ein Skalenabschnitt?).

- Drehen Sie das Prisma so, dass der reflektierte Strahl auf den Detektor **LD** gerichtet ist. Um eine Verunreinigung der Glasoberfläche und auch ein Verrutschen des Prismas zu vermeiden, drehen Sie dafür bitte am Prismentisch, nicht am Prisma! Nach dem Reflexionsgesetz gilt, dass Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel ist, d. h. der Einfallswinkel α ist genau die Hälfte des von dem einfallenden Laserstrahl und der Drehschiene aufgespannten Winkels ϕ. Notieren Sie nun α und die zugehörige elektrische Spannung

$\alpha = \frac{\phi}{2}$



an Ihrem Voltmeter.

- Verändern Sie nun den Winkel der Drehschiene in Schritten von 10°. Drehen Sie jeweils das Prisma nach, so dass der Laserstrahl auf den Detektor fällt. Notieren Sie weiterhin α und die Lichtintensität $I_r^{\perp}$ (d. h. die Spannung am Voltmeter). Variieren Sie den Winkel ϕ bis zu ca. 160°.

- Achten Sie bei den Messungen darauf, dass Streulicht von außen genügend abgeschirmt wird.

- Sind Sie mit der Messung einmal durch, stellen Sie den Polarisator $\mathbf{P}_1$ auf die 90°-Stellung. Das Licht ist somit jetzt parallel zur Einfallsebene polarisiert. Normung

- Bestimmen Sie wie beim senkrecht polarisierten Licht zuerst die Eingangsintensität $I_0^{\parallel}$.

?
- Führen Sie nun die gleiche Messung durch wie oben beschrieben. Verändern Sie den Winkel der Drehscheibe im Bereich des Brewsterwinkels (etwa um 60° herum) in Schritten von 5°.

- *Achtung:* Durch die Polarisation wird der Strahl äußerst lichtschwach! Es muss ein höherer Verstärkungsfaktor geschaltet werden, um Werte ablesen zu können. Daher ist hier umso mehr darauf zu achten, dass so wenig wie nur irgend möglich Streulicht auf die Fotozelle fällt! Auf keinen Fall sollten Sie Ihre Labortischlampe angeschaltet haben! Achten Sie auf jeden Fall darauf, eine möglichst hohe Eingangsintensität zu bekommen. Selbst im günstigsten Fall ist bereits während der Messung penibel auf Plausibilität der Messwerte zu achten. Im weiteren Verlauf sollte die Spannung abfallen und schließlich wieder ansteigen. Beobachten Sie Ihre Werte. Wenn diese dem beschriebenen Verhalten nicht gehorchen, müssen Sie die Messung ggf. neu starten.

- Fahren Sie nach Beendigung der Messungen mit Teil 2 des Versuches fort.

2.3 Messung des Drehungswinkels der Polarisationsebene in Abhängigkeit vom Einfallswinkel

- Montieren Sie den Polarisationsfilter P_2 auf die Drehschiene, zwischen Prisma und Fotozelle. Der Polarisator P_1 wird auf 45°-Stellung gebracht. Ohne Prisma würde der Detektor **LD** ein Intensitätsminimum anzeigen, wenn die Polarisationsrichtungen der beiden Polarisationsfilter P_1 und P_2 gekreuzt wären (Zeigerstellung von **P2** auf −45°). Man nutzt aus, dass das Intensitätsminimum genauer bestimmbar ist als das Maximum, so dass man bei der Reflexion am Prisma durch Drehung des Polarisationsfilters P_2 das Intensitätsminimum sucht. Die zusätzliche Drehung zu den −45° ist die Drehung der Polarisationsebene Ψ durch die Reflexion am Prisma. Dies wird für verschiedene Einfallswinkel α des Laserstrahls auf die Prismenoberfläche durchgeführt. Die Variation des Einfallswinkels erfolgt wie in Teil 1.

- Notieren Sie sich den Einfallswinkel sowie die Stellung des Polarisators P_2. Das Minimum kann zwar ohne Voltmeter gut per Augenmaß bestimmt werden, zur genaueren Einstellung ist jedoch die Benutzung der Anzeige am Voltmeter erforderlich.