

ANFÄNGERPRAKTIKUM DER FAKULTÄT FÜR PHYSIK,  
UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

---

# Fresnelsche Formeln und und Polarisation

---

Praktikant: Felix Kurtz  
Versuchspartner: Michael Lohmann  
E-Mail: felix.kurtz@stud.uni-goettingen.de  
Betreuer: Phillip Bastian  
Versuchsdatum: 06.03.2015

Eingegangen am:
-----------------

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
2.1	Fresnelsche Formeln . . . . .	3
2.2	Brewster-Winkel . . . . .	3
2.3	Doppelbrechung . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>5</b>
4.1	Drehung der Schwingungsebene . . . . .	6
4.2	Brechungsindex aus $\gamma = 45^\circ$ . . . . .	7
4.3	Brewster-Winkel . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>8</b>
	<b>Literatur</b>	<b>8</b>

## 1 Einleitung

In diesem Versuch steht die elektromagnetische Natur des Lichts im Vordergrund. So kann man Licht *polarisieren*. Dieses Phänomen ist zum Beispiel wichtig für 3D-Filme. Außerdem soll der *Brewster-Winkel* vermessen werden. Unter diesem Winkel ist der reflektierte Anteil minimal.

Bei der Messung spielt die *Doppelbrechung* eine große Rolle.

## 2 Theorie

### 2.1 Fresnelsche Formeln

Maxwellsche Gleichungen Stetigkeit an Grenzübergängen Reflexionskoeffizienten

$$r_s = -\frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (1)$$

$$r_p = \frac{\tan(\alpha - \beta)}{\tan(\alpha + \beta)} \quad (2)$$

Dabei gilt das Snellius'sche Brechungsgesetz

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta. \quad (3)$$

Intensität Energieerhaltung Transmission

### 2.2 Brewster-Winkel

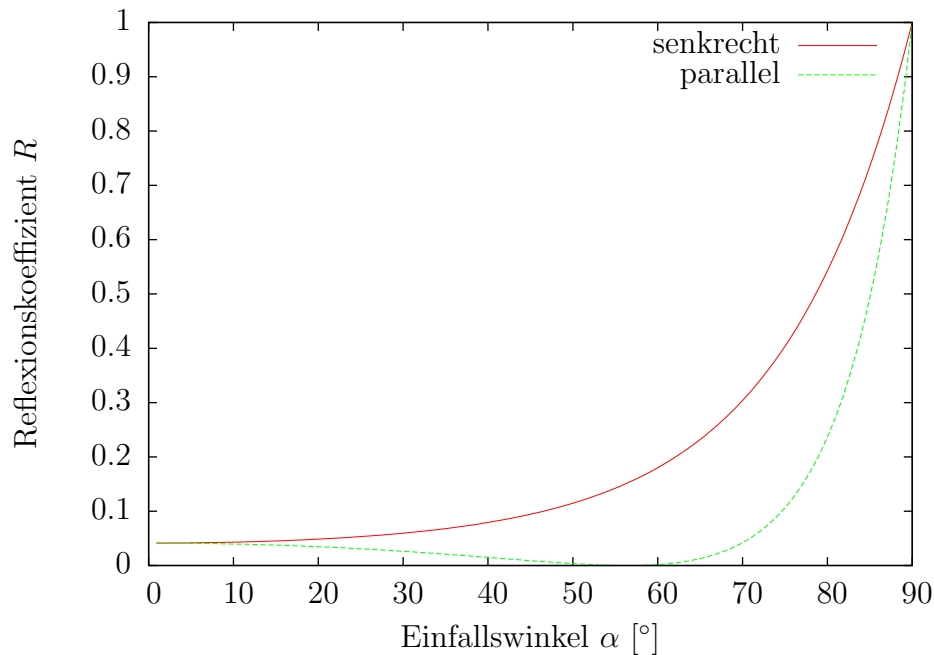
Nach (2) verschwindet der Reflexionskoeffizient  $r_p$ , wenn  $\alpha + \beta = 90^\circ$ , denn dann ist  $\tan(\alpha + \beta) = \infty$ . Setzt man nun die Beziehung (3) ein, kann man diesen Einfallswinkel  $\alpha_B$ , den sogenannten *Brewster-Winkel*, über

$$\tan \alpha_B = \frac{n_2}{n_1} \quad (4)$$

berechnen, bei dem keine Reflexion von parallelem Licht auftritt. Dies ist auch in Abbildung 1 gut zu erkennen. Diesen Effekt kann man plausibel machen, wenn man sich die Atome im zweiten Medium als Hertzsche Dipole vorstellt. Diese strahlen nämlich nicht in der Schwingungsrichtung der Dipolmomente.

### 2.3 Doppelbrechung

anisotrop optische Achse zwei Brechungsindizes ordentlicher und außerordentlicher Strahl Nicol-Prisma



**Abbildung 1:** Fresnelkoeffizienten für  $n_1 = 1$  und  $n_2 = 1.51$ .

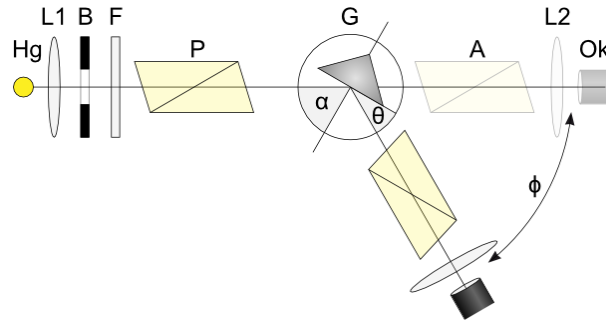
### 3 Durchführung

Zuerst muss der Strahlengang justiert werden. Dazu wird das evtl. noch im Strahlengang stehende Glasprisma entfernt und Polarisator und Analysator durchlässig gedreht. Mit den Linsen bildet man das grüne Lichtbündel scharf auf das Okular ab. Nun wird die Polarisationsrichtung justiert. Dabei wird das kleine Nicolsche Prisma auf den Drehteller gestellt. Die optische Achse des Prismas zeigt nach oben. Man entfernt den Analysator und dreht den Polarisator, so dass im Okular kein Strahl mehr zu sehen ist. Dann steht der Polarisator parallel zur Einfallsebene. Jetzt wird dieser um  $45^\circ$  gedreht. Die eine Hälfte ist nun parallel, die andere senkrecht zur Einfallsebene polarisiert. Danach wird das Glasprisma auf dem Drehteller justiert. Meist sind Markierungen schon vorhanden. Man prüft, ob man den Strahl durch das Okular beobachten kann, wenn der Schwenkarm nicht sowie um  $90^\circ$  ausgelenkt ist. Sollte dies nicht der Fall sein, muss nachjustiert werden.

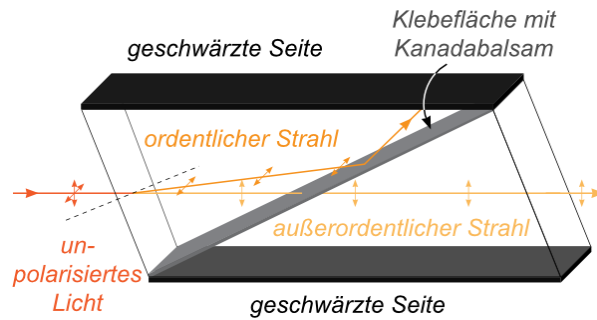
Nun kann man den Reflexionskoeffizienten messen. Dazu wird der Analysator wieder in den Strahlengang gestellt. In  $5^\circ$ -Schritten wird der Schwenkarm nun von  $0^\circ$  bis  $90^\circ$  ausgelenkt. Dabei dreht man den Analysator immer so, dass Dunkelheit im Okular herrscht. Der so eingestellte Winkel wird an der Winkelskala abgelesen und notiert.

Zuletzt wird der Brewster-Winkel gemessen. Dazu muss der Polarisator wieder um  $45^\circ$

zurück gedreht werden, damit das Licht parallel polarisiert ist. Der Analysator wird entfernt. Man bestimmt mehrmals den Auslenkwinkel des Schwenkarms, bei dem ein Intensitätsminimum des reflektierten Strahls durch das Okular beobachtet wird.



**Abbildung 2:** Versuchsaufbau schematisch. [LP2, Datum: 23.03.2015]



**Abbildung 3:** Strahlengang im Nicolschen Prisma. [LP2, Datum: 23.03.2015]

## 4 Auswertung

Die gemessene Auslenkung des Schwenkarms  $\Phi$  muss zunächst umgerechnet werden, um den Winkel  $\alpha$  zum Lot der Prismaoberfläche zu erhalten (vgl. Abb.2):

$$\alpha = 90^\circ - \frac{1}{2}\Phi. \quad (5)$$

Außerdem ist  $n_1 = 1$  (Luft) und der Brechungsindex für das Prismenglas sollte bei  $n := n_2 = 1.510 \pm 0.005$  liegen [Sch14, S.181]. Er wird durch die beiden Messungen und verschiedene Methoden bestimmt.

## 4.1 Drehung der Schwingungsebene

Bevor der Strahl auf das Nicol-Prisma trifft, ist er zu gleichen Teilen parallel sowie senkrecht zur Einfallsebene polarisiert. Da aber beide Polarisationsrichtungen unterschiedlich stark reflektiert werden, ist der ausfallende Strahl um den Winkel  $\gamma$  gedreht. Dieser lässt sich mit

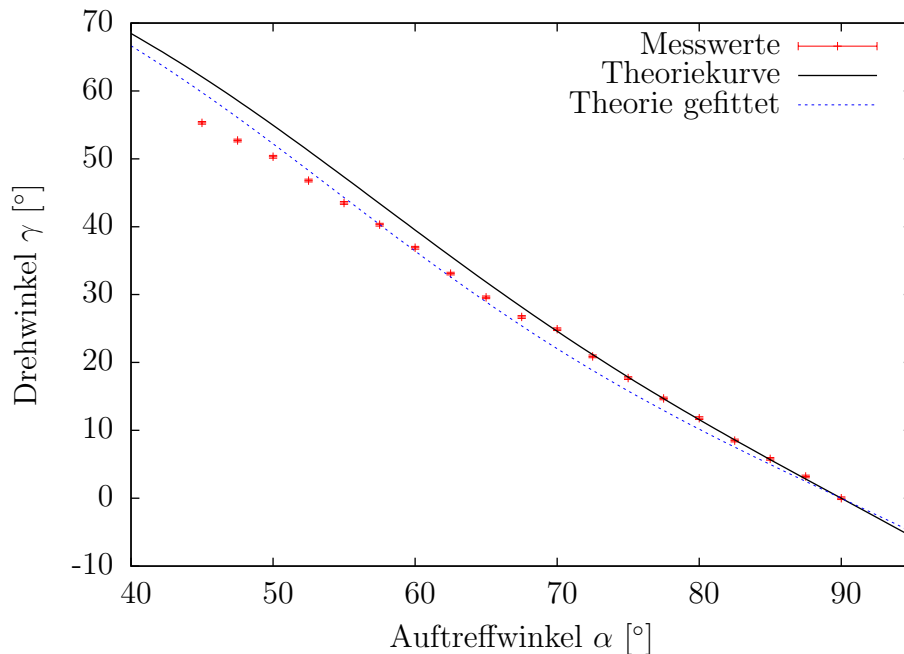
$$\tan(\gamma + 45^\circ) = \frac{r_s}{r_p} = -\frac{\cos(\alpha - \beta)}{\cos(\alpha + \beta)} \quad (6)$$

berechnen. Einziger Parameter ist dabei das Verhältnis der Brechungsindizes  $\frac{n_2}{n_1}$ , da  $\beta$  über (3) von  $\alpha$  abhängt.

Die Drehung der Schwingungsebene konnte nur relativ gemessen werden. Bei einem Einfallswinkel von  $90^\circ$  wird das Licht jedoch nicht gedreht, da in beiden Polarisationsfällen alles reflektiert wird. Also ist dort  $\gamma = 0^\circ$ . In Abbildung 4 ist der Drehwinkel  $\gamma$  gegen den Einfallswinkel  $\alpha$  aufgetragen. Der Messfehler für  $\gamma$  beträgt  $0.2^\circ$ . Außerdem ist die Theoriekurve nach (6) mit  $n = 1.51$  eingezeichnet.

Zusätzlich kann man den Parameter  $n$  noch an die Messwerte anpassen: Aus dem  $\chi^2$ -Fit der Theoriekurve erhält man

$$n = 1.405 \pm 0.019.$$



**Abbildung 4:** Drehwinkel  $\gamma$  gegen den Auftreffwinkel  $\alpha$  aufgetragen.

## 4.2 Brechungsindex aus $\gamma = 45^\circ$

Bei einem Drehwinkel  $\gamma = 45^\circ$  ist der Einfallswinkel gerade der Brewster-Winkel  $\alpha_B$ , da dann nach (6)  $\cos(\alpha + \beta) = 0$  und somit  $\alpha + \beta = 90^\circ$  gelten muss. Man kann ihn somit graphisch bestimmen. Legt man eine Gerade durch die 6 nächsten Werte (vgl. Abb. ??), erhält man aus der Geradensteigung  $m = -1.283 \pm 0.029$  und dem y-Achsenabschnitt  $b = 114.1^\circ \pm 1.6^\circ$  mit

$$\alpha = \frac{b - 45^\circ}{m} \quad \text{und} \quad (7)$$

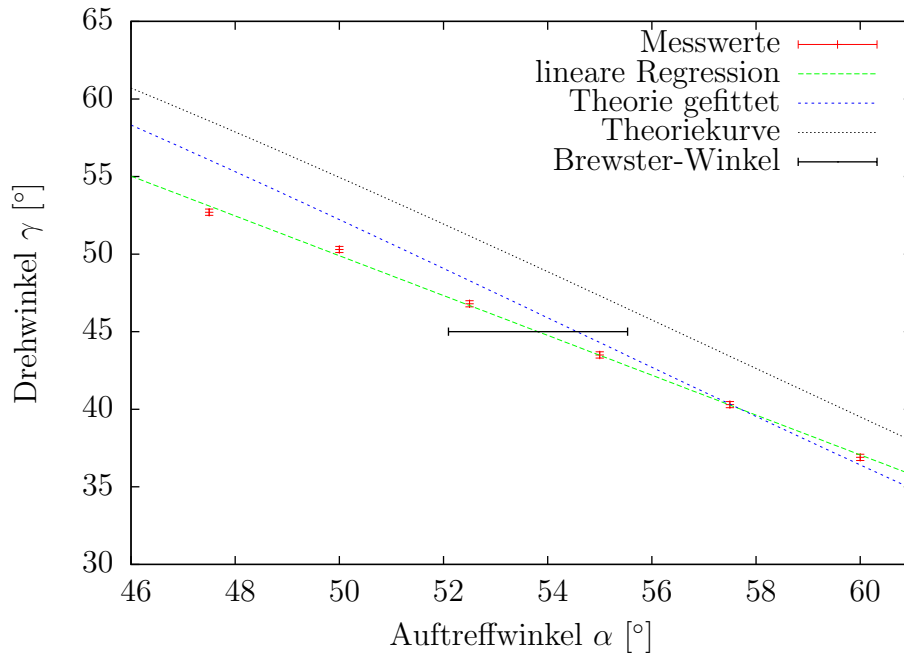
$$\sigma_\alpha = \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{m}\right)^2 + \left(\frac{b - 45^\circ}{m^2} \cdot \sigma_m\right)^2} \quad (8)$$

den passenden Winkel  $\alpha_B = 53.8^\circ \pm 1.8^\circ$ . Daraus kann man mit (4) den Brechungsindex des Prismas berechnen. Der sich dabei ergebende Fehler

$$\sigma_n = \frac{\sigma_\alpha}{\cos^2 \alpha} \quad (9)$$

leitet sich aus der Fehlerfortpflanzung ab. Man erhält

$$n = 1.37 \pm 0.10.$$



**Abbildung 5:**  $\gamma$  gegen  $\alpha$  im Bereich  $\gamma = 45^\circ$ : lineare Regression und Brewster-Winkel

### 4.3 Brewster-Winkel

Zunächst wurden 6 Messwerte für den Brewster-Winkel  $\alpha_B$  bzw. den zugehörigen Auslenkwinkel  $\Phi_B$  des Schwenkarms aufgenommen. Dabei ließ sich das Minimum nur schwer finden und die Messwerte schwankten sehr. Dann wurde der Polaristor um etwa  $5^\circ$  gedreht und der Bereich minimaler Intensität war viel schärfer als zuvor. Es wurden 4 Messwerte aufgenommen. Wie zuvor auch wechselten sich die Versuchspartner zwischen jedem Messwert ab. Man kann nun aus allen Werten ein  $\Phi_B$  bestimmen oder einzeln für jede Messreihe oder jede Person. Der Fehler berechnet sich dabei aus der Student-t-Verteilung, da die Anzahl der Messwerte gering ist. Er halbiert sich für  $\alpha_B$ . Mit (4) und (9) kann wieder der Brechungsindex berechnet werden. Die somit berechneten Werte sind in Tabelle 1 aufgeführt.

	$\Phi_B [^\circ]$	$\alpha_B [^\circ]$	$n$
Alle Werte	$66.6 \pm 0.6$	$56.7 \pm 0.3$	$1.522 \pm 0.018$
erste Messreihe	$66.4 \pm 0.9$	$56.8 \pm 0.5$	$1.53 \pm 0.03$
zweite Messreihe	$67.0 \pm 0.5$	$56.50 \pm 0.25$	$1.511 \pm 0.015$
Michael	$67.3 \pm 0.5$	$56.35 \pm 0.25$	$1.502 \pm 0.015$
Felix	$65.9 \pm 1.0$	$57.1 \pm 0.5$	$1.55 \pm 0.03$

**Tabelle 1:** Brewster-Winkel.

## 5 Diskussion

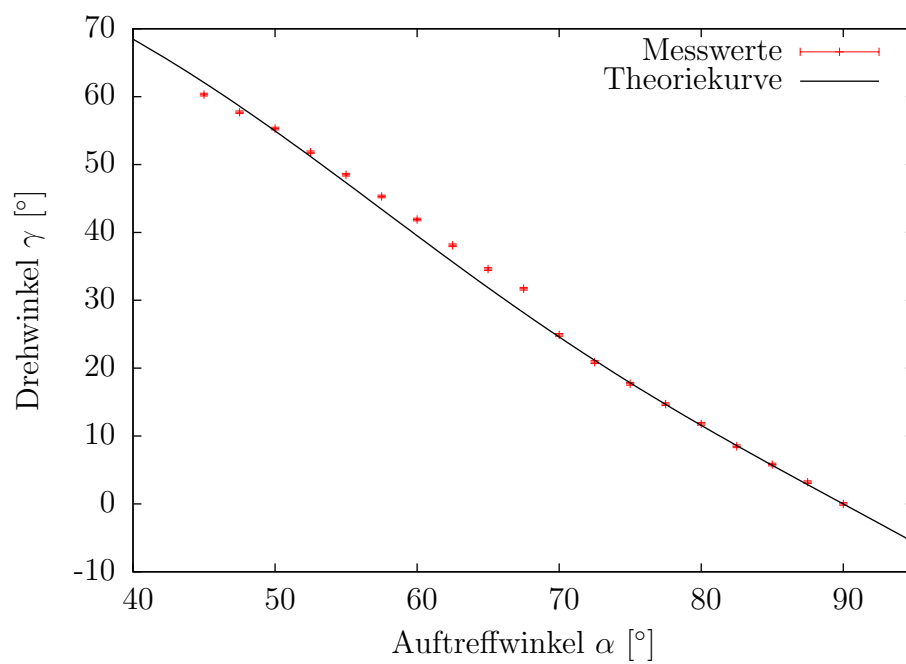
### 5.1 Drehung der Schwingungsebene

### 5.2 Brewster-Winkel

## Literatur

- [LP2] *Lehrportal der Universität Göttingen.* <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/4330>.
- [Sch14] Schaaf, Jörn Große Knetter Peter: *Das Physikalische Praktikum, Handbuch 2014 für Studentinnen und Studenten der Physik.* Universitätsdrucke Göttingen, 2014, ISBN 978-3-86395-157-3.





**Abbildung 6:**  $\gamma$  gegen  $\alpha$ :  $\gamma$  um  $5^\circ$  nach oben verschoben für  $\alpha \leq 67.5^\circ$ .