



---

## Versuchsanleitung

# Fresnelformeln

Nummer:	22
Kompiliert am:	16. Mai 2025
Letzte Änderung:	16.05.2025
Beschreibung:	Die Fresnel-Formeln beschreiben, wie Licht gegebener Polarisation an einer Grenzfläche zwischen zwei optisch verschieden dichten Medien reflektiert bzw. transmittiert wird. In diesem Versuch wird für die beiden Polarisationsrichtungen $s$ und $p$ die winkelabhängige Intensitätsverteilung eines reflektierten Laserstrahls sowohl gemessen als auch berechnet.
Webseite:	<a href="https://www.uni-ulm.de/nawi/institut-fuer-quantenoptik/ag-prof-jelezko/lehre/grundpraktikum-physik-physwipphys-la-phys/">https://www.uni-ulm.de/nawi/institut-fuer-quantenoptik/ag-prof-jelezko/lehre/grundpraktikum-physik-physwipphys-la-phys/</a>

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b>	<b>2</b>
<b>2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung</b>	<b>2</b>
2.1 Theorie . . . . .	2
2.2 Beispiele aus Natur und Alltag . . . . .	3
<b>3 Versuchsdurchführung</b>	<b>3</b>
3.1 Justage des optischen Aufbaus . . . . .	4
3.2 Intensitätsmessung des Laserlichts . . . . .	4
3.3 Häufige Fehler . . . . .	5
<b>4 Versuchszubehör</b>	<b>5</b>
<b>5 Hinweise zur Ausarbeitung</b>	<b>5</b>
5.1 Versuchsspezifisch . . . . .	5
5.2 Allgemein . . . . .	5
<b>Literatur</b>	<b>7</b>

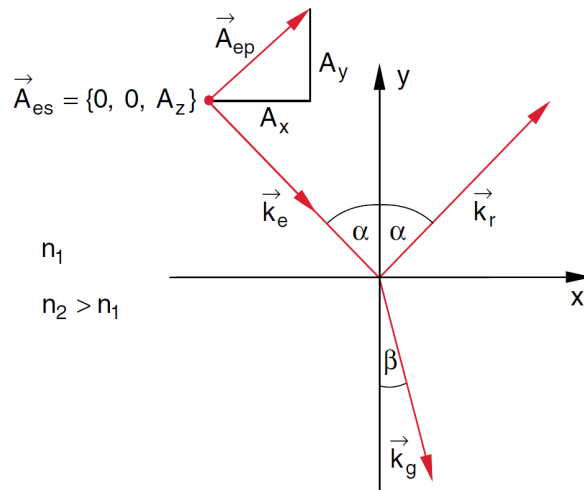


Abbildung 1: Skizze zur Herleitung der Fresnel-Formeln (nach [Dem13]).

## 1 Einführung

Trifft Licht unter einem Winkel  $\alpha$  auf die Grenzfläche zweier Medien mit verschiedenen Brechungsindizes, so wird im Allgemeinen ein Teil des Lichts reflektiert und der andere Teil dringt in das Medium ein. Dieser Sachverhalt ist jedem vertraut, man denke nur an eine sonnenbeschienene Wasseroberfläche. In Abb. 1 ist der Fall skizziert, bei dem Licht vom optisch dünneren Medium (z.B. Luft mit  $n_1 = 1$ ) auf ein optisch dichteres Medium (z.B. Glas mit  $n_2 = 1,5$ ) fällt.

Die Intensität des reflektierten und des transmittierten Lichts hängt sehr stark vom Einfallswinkel  $\alpha$  und von der Polarisation ab. Diese Abhängigkeit soll in diesem Versuch experimentell ermittelt und das Resultat mit den theoretisch zu erwartenden Zusammenhängen (Fresnel-Formeln) verglichen werden. Als Lichtquelle wird der teilpolarisierte Strahl eines grünen Halbleiter-Lasers verwendet. Die Reflexion erfolgt an der Grenzfläche zwischen Luft und der Basis eines Prismas (typ. Schwerflintglas).

## 2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung

### 2.1 Theorie

Zur Versuchsdurchführung sollten folgende Punkte vorbereitet werden:

- Maxwell-Gleichungen [BS04, LLT97]
- Herleitung der Wellengleichung aus den Maxwell-Gleichungen und deren Lösungen (Typen von Wellen) [LLT97]
- Bedingungen für die Felder an Grenzflächen [Dem13]
- Polarisiertes Licht (linear, zirkular und elliptisch polarisiertes Licht, natürliches Licht) [Dem13, LLT97]

- Energiefluss elektromagnetischer Wellen und der Poynting-Vektor [BS04, Dem13]
- Brechungsgesetz von Snellius [BS04, Dem13]
- Brewster-Winkel und dessen Herleitung [BS04, Dem13]
- Fresnel-Formeln und deren vollständige Herleitung [Dem13, LLT97] und Abb. 1 und besonders [Hec05] Kap. 4.3
- Reflexions- und Transmissionsvermögen [Dem13]
- Weitere Literatur: [BSMM16]

## 2.2 Beispiele aus Natur und Alltag

- Brewster-Winkel (Polarisierung)
- Photographie (Reflexunterdrückung)

## 3 Versuchsdurchführung

**ACHTUNG:** Der verwendete Laser mit  $P < 1 \text{ mW}$  ist für das Auge zwar nicht unmittelbar gefährlich (Laserschutzverordnung, Klasse 2), ein Abschwächer (Graufilter) oder eine Schutzbrille sind daher nicht nötig. Eine unnötige Exposition des Auges sollte man dennoch vermeiden! **Gehen Sie also mit den Augen nie unter die Ebene des Laserstrahls!**

Untenstehende Abbildung 2 zeigt den Versuchsaufbau mit seinen Komponenten (noch mit HeNe-Laser).

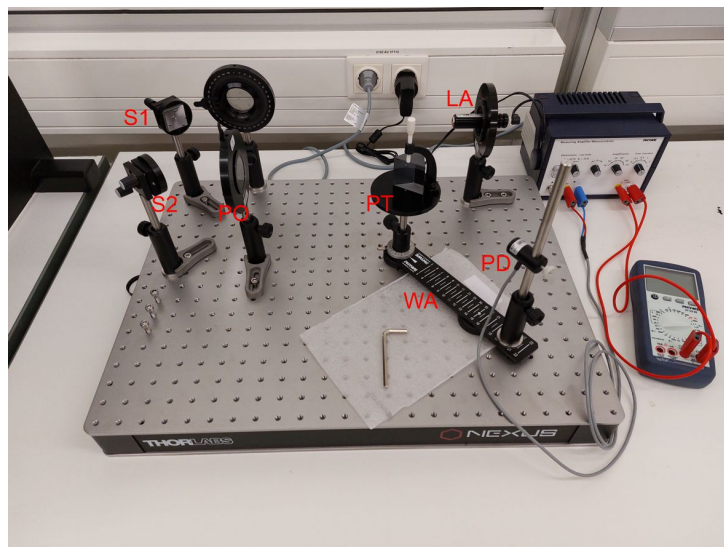


Abbildung 2: Blick auf den Versuchsaufbau mit Laser (LA), Spiegel (S1 & S2), Polarisator (PO), Prismenhalter (PT), Winkelarm (WA) und Photodetektor (PD) mit Verstärker und Multimeter.

### 3.1 Justage des optischen Aufbaus

Verwenden Sie zur Justage des Lasers den Schreiner-Anschlagwinkel (90°-Winkel mit Längenskala). Sie können auch mit einem Stück Papier die Ausrichtung des Strahls überprüfen. Lassen Sie Sorgfalt walten: der Versuch gelingt nur, wenn die Optik gut justiert ist. **Fassen Sie die optischen Komponenten (Spiegel, Linse, Strahlteiler) nie an den 'aktiven' Flächen an!**

- Richten Sie den Laser LA so aus, dass er möglichst horizontal und parallel zur Kante der Grundplatte nach links gerichtet ist. Positionieren Sie grob alle Füße mit den Halteklammern und den Schrauben. Der Polarisator PO wird noch nicht montiert. Stecken Sie erst dann das Netzteil des Lasers in die Steckdose und schalten den Laser ein.
- Richten Sie den Spiegel S1 so aus, dass der Laserstrahl möglichst horizontal und parallel zur Grundplatte nach vorne gerichtet ist.
- Richten Sie den Spiegel S2 so aus, dass der Laserstrahl möglichst horizontal und parallel zur Grundplatte nach rechts gerichtet ist.
- Setzen Sie den Winkelarm WA mit dem Prismenteller PT und der Photodiode PD so auf die Grundplatte, dass die Drehachse des PT den Laserstrahl schneidet. Das geht am besten mit aufgesetztem und am Strahl ausgerichtetem Prisma (oder die Glasplatte). Die geschwärzte Seite des Prismas zeigt nach S1 (hinten links). Der Magnetfuss unter dem PT sitzt direkt auf der Grundplatte. Der Magnetfuss unter dem PD soll auf der Töflonfolie sitzen, damit er besser gleitet. Setzen Sie nun den Polarisator PO achsial ausgerichtet zwischen S2 und PT ein.
- Entfernen Sie vorübergehend das Prisma und drehen PD in den Strahl für maximalen Ausschlag des Messgerätes ( $< 10.0 \text{ V}$ ). Bestimmen Sie die Intensität für  $s$ - und  $p$ -Polarisation. Nach dem Experiment bestimmen Sie diese erneut! Stellen Sie die Winkelskala am Fuss von PT auf Null und montieren wieder das Prisma.
- Das Prisma kann leicht durch die Glasplatte ersetzt werden. Hier ist darauf zu achten, dass die Glasplatte senkrecht steht. Der Vorteil der Glasplatte ist, dass auch in Transmission gemessen werden kann. Der transmittierte Strahl ist fast stationär (unabhängig vom Drehwinkel des PT).

### 3.2 Intensitätsmessung des Laserlichts

- Stellen Sie sicher, dass der Laser den Detektor mittig trifft. Dann setzen Sie den Spalt auf.
- Messen Sie die Intensität des  $p$ - und  $s$ -polarisierten Laserlichts (Polarisator auf 270° bzw. 0°), indem Sie den Detektor in 5°-Schritten bis ca. 160° erhöhen (für den Einfallswinkel heißt das  $\Delta\alpha \approx 2.5^\circ$  und  $\alpha \approx 87.5 - 10^\circ$ ). Dabei stellen Sie immer zuerst den Winkel des Detektor(arme)s ein, dann den des Probestellers. Da der Probesteller nicht feinjustiert werden kann, machen Sie das mit dem Detektorarm. Stellen Sie sicher, dass der Laser die Photodiode vollständig trifft.
- Im Minimum der Reflexion justieren Sie mit  $p$ -Polarisation. Hier können Sie die Empfindlichkeit des Multimeters bzw. die Verstärkung des Messverstärkers anpassen.
- Überprüfen Sie die Intensität des Laser wie oben für  $s$ - und  $p$ -Polarisation.

- Mit der Glasplatte kann auch in Transmission gemessen werden. Der Drehwinkel des PT wird dabei am besten mithilfe des reflektierten Strahls bestimmt.

### 3.3 Häufige Fehler

- Übersteuerung → Nichtlinearität des Photodetektors

## 4 Versuchszubehör

- Optische Grundplatte
- Grüner Laser (Nd:YAG frequenzverdoppelt, 532 nm), Leistung 0.8 mW (teilpolarisiert) mit Steckernetzteil
- 60°-Prisma (Schwerflintglas SF10, Brechungsindex  $n \approx 1,737 @ 532 \text{ nm}$ )
- 2x Folienpolarisatoren, 2x einstellbare Spiegel
- Winkelarm mit Prismenteller
- Photodiode, Universalverstärker und Digital-Multimeter, Spaltblende für Diode
- Glasplatte, Dicke 4 mm, planparallel geschliffen und poliert (Glas BK7, Brechungsindex  $n \approx 1,515 @ 532 \text{ nm}$ )

## 5 Hinweise zur Ausarbeitung

### 5.1 Versuchsspezifisch

- Versuchsaufbau beschreiben und erste Arbeitsschritte erklären.
- Messergebnisse für Reflexion, s- und p-Polarisation graphisch darstellen. [Entsprechendes für Transmission.] Übereinstimmung mit Theorie?
- Berechnen Sie aus den erhaltenen Werten das Reflexions- und Transmissionsvermögen für beide Polarisationsrichtungen und vergleichen Sie die erhaltenen Werte jeweils grafisch mit den zusätzlich berechneten Theoriekurven (insgesamt 4 Schaubilder).
- $y$ -Fehlerbalken der Intensität ergibt sich aus Dunkelspannung und Gesamtintensität.
- Fehler des Messgeräts 0,8% + letzte Stelle.

### 5.2 Allgemein

- Kopie des Laborbuchs anhängen
- Fehlerbalken in den Schaubildern
- Fehler des Mittelwerts richtig berechnen und Ergebnisse richtig runden (siehe Anleitung Limmer und/oder Folien zu unserem Statistik-Workshop)

- Gute Skizzen und Abbildungen verwendet (z.B. deutsche Beschriftung, Skizzen entsprechen den Erläuterungen, ...); Skizzen dürfen gerne selbst angefertigt werden
- Vergleich mit Literaturwerten
- Diskussion und/oder Wertung der Ergebnisse

## Literatur

- [BS04] BERGMANN, Ludwig ; SCHAEFER, Clemens: *Lehrbuch der Experimentalphysik*. Bd. 3: *Optik: Wellen- und Teilchenoptik*. 10. Auflage. Berlin, New York : Walter de Gruyter Verlag, 2004
- [BSMM16] BRONSTEIN, Ilja N. ; SEMENDJAJEW, Konstantin A. ; MUSIOL, Gerhard ; MÜHLIG, Heiner: *Taschenbuch der Mathematik*. 10. Auflage. Haan-Gruiten : Europa Lehrmittel Verlag, 2016
- [Dem13] DEMTRÖDER, Wolfgang: *Experimentalphysik 2: Elektrizität und Optik*. 5. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2013
- [Hec05] HECHT, Eugene: *Optik*. 4. Auflage. München, Wien : Oldenbourg Verlag, 2005
- [LLT97] LIPSON, Stephen G. ; LIPSON, Henry S. ; TANNHAUSER, David S.: *Optik*. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 1997