

VERSUCHSPROTOKOLL O11
POLARISATION DURCH REFLEXION AN GLAS

JOHANN FÖRSTER 519519

VERSUCHSPARTNER MEIKEL SOBANSKI

VERSUCHSORT: NEW14'213 MESSPLATZ 1

VERSUCHSDATUM: 25.11.2008

VERSUCHSBETREUER: ATTILA NAGY

HUMBOLDT UNIVERSITÄT ZU BERLIN
INSTITUT FÜR PHYSIK

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1) Physikalische Grundlagen und Aufgabenstellung	3
2.1) Grafische Darstellung der Quadratwurzeln des Reflexionsvermögens für linear senkrecht (R_s) und parallel (R_p) zur Einfallsebene polarisiertes Licht als Funktion des Einfallswinkels	3-4
2.2) Entnahme des Brewsterwinkels α_B aus der grafischen Darstellung und Bestimmung des Brechungsindex n des Glases	4-5
3) Fehleranalyse und kritische Ergebniseinschätzung	5-6
4) Quellenangabe	6
Anhang: Messprotokoll	7

1) Physikalische Grundlagen und Aufgabenstellung

Ziel des Versuches war es, das Verhältnis der Intensität von an Glas reflektiertem Licht zur einfallenden Lichtintensität, welche vom Einfallswinkel und von der Polarisation abhängt, für linear senkrecht bzw. parallel zur Einfallsebene polarisiertes Licht zu bestimmen, mit dem theoretischen Verlauf zu vergleichen und aus dem Verlauf des Graphen für linear parallel zur Einfallsebene polarisiertes Licht den Brewsterwinkel und daraus den Brechungsindex des Glases zu bestimmen. Die physikalischen Grundlagen und die genaue Aufgabenstellung sind in Quelle [1], Seite 74-77 zu finden.

2.1) Grafische Darstellung der Quadratwurzeln des Reflexionsvermögens für linear senkrecht (R_s) und parallel (R_p) zur Einfallsebene polarisiertes Licht als Funktion des Einfallswinkels

Mit Hilfe eines Lichtsensors wurde die zur Intensität proportionale Fotospannung des reflektierten Lichtes in Abhängigkeit des Einfallswinkels und der Polarisation gemessen. Die systematische Unsicherheit der Spannungsmessungen mittels Voltmeter wurde mit $u(U) = 0,3\% \pm 1LSD$ angegeben. Vor Beginn der Messungen wurde dabei jeweils die Ausgangsspannung der Lichtsensoranordnung bei unterbrochenen Lichtstrahl auf 0V einjustiert und danach die Fotospannung des direkt einfallenden Lichtes, die mit einem Polfilter gemäß Quelle [1], Seite 77 verändert werden konnte, gemessen. Zu Beginn der Messungen wurde diese Spannung für linear parallel ($U_{0,p}$) und senkrecht ($U_{0,s}$) zur Einfallsebene polarisiertes Licht zu $U_{0,p,1} = U_{0,s,1} = 4,51V$ gemessen. Nach Abschluss der jeweiligen Messreihe wurde diese Spannung erneut gemessen, wobei für parallel polarisiertes Licht $U_{0,p,2} = 4,50V$ und senkrecht polarisiertes Licht $U_{0,s,2} = 4,70V$ gemessen wurde. Für die Fotospannung des einfallenden Lichtes wird aus beiden Werten der Mittelwert gebildet und die Unsicherheit zur halben Differenz der Messwerte $+1LSD(0,01V)$ abgeschätzt:

$U_{0,p} = (4,51 \pm 0,02)V$, $U_{0,s} = (4,61 \pm 0,11)V$. Zusammen mit der unter dem jeweiligen Einfallswinkel α_e gemessenen Spannung U_{α_e} lässt sich nun die

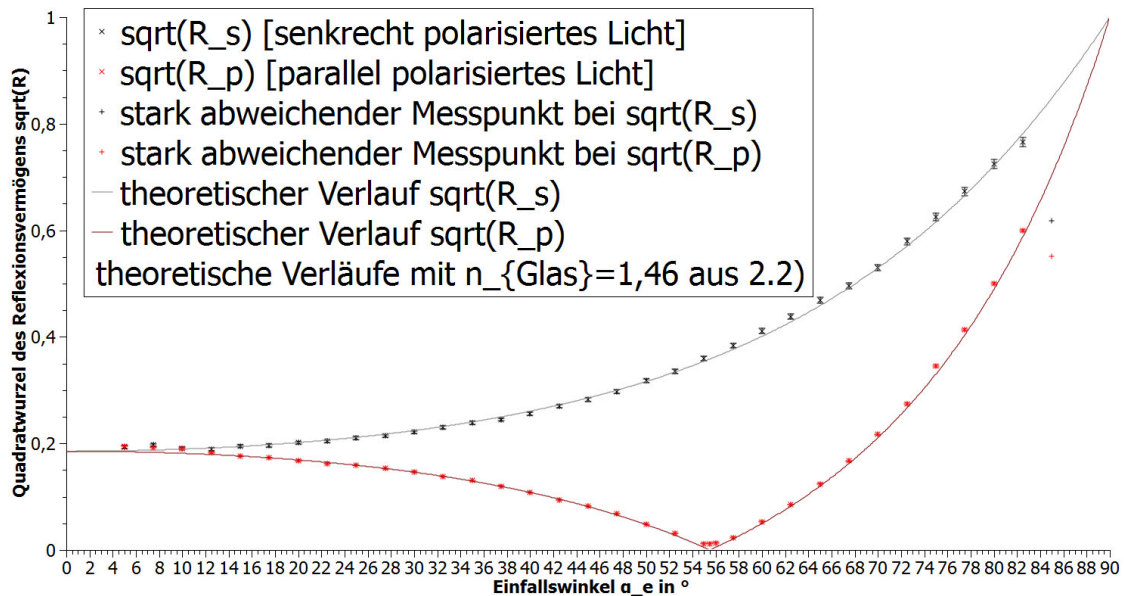
Quadratwurzel des Reflexionsvermögens berechnen zu $\sqrt{R_p} = \sqrt{\frac{U_{\alpha_e,p}}{U_{0,p}}}$ bzw.

$\sqrt{R_s} = \sqrt{\frac{U_{\alpha_e,s}}{U_{0,s}}}$. Für die jeweiligen Unsicherheiten folgt aus dem

Fehlerfortpflanzungsgesetz $u(\sqrt{R}) = \sqrt{\left(\frac{\partial\sqrt{R}}{\partial U_{\alpha_e}} u(U)\right)^2 + \left(\frac{\partial\sqrt{R}}{\partial U_0} u(U_0)\right)^2}$.

Der doppelte Einfallswinkel wurde an einer Winkelteilung (1 Skalenteil=1°) abgelesen, bei einer Abschätzung seiner Unsicherheit zu einem halben Skalenteil folgt für die Unsicherheit des doppelten Einfallswinkels $u(2\alpha_e) = \frac{1}{2}^\circ$ und für die Unsicherheit des Einfallswinkels selbst $u(\alpha_e) = \frac{1}{4}^\circ$.

Mit den Messwerten U_{α_e} ergibt sich nun mit QtiPlot folgende Darstellung:



Abhängigkeit der Quadratwurzel des Reflexionsvermögens \sqrt{R} vom Einfallswinkel α_e mit QtiPlot

Die Messpunkte bei $\alpha_e = 85^\circ$ fallen für beide Polarisationsrichtungen jeweils stark aus dem Rahmen, was damit zu erklären ist, dass der Laserstrahl für diese Messpunkte stark aufgeweitet war und nicht die gesamte Intensität in den Fotodetektor gelangte.

2.2) Entnahme des Brewsterwinkels α_B aus der grafischen Darstellung und Bestimmung des Brechungsindex n des Glases

Der Brewsterwinkel α_B (Minimum des Reflexionsvermögens $\sqrt{R_p}$) befindet sich in der grafischen Darstellung zwischen 55° und 56° , unter Annahme einer Unsicherheit von der halben Differenz beider Messwerte wird er also zu $\alpha_B = (55,5 \pm 0,5)^\circ$ bestimmt.

Nach Quelle [1], Seite 75, Gleichung 6 gilt zwischen dem Brechungsindex n_{Glas} , dem Brewsterwinkel α_B und dem Brechungsindex n_{Luft} die Beziehung $\tan \alpha_B = \frac{n_{\text{Glas}}}{n_{\text{Luft}}}$. Der Brechindex der Luft beträgt nach Quelle [2] auf Meeresebene durchschnittlich $n_{\text{Luft}} = 1,00029$ (als fehlerfrei angenommen).

Damit lässt sich der Brechungsindex des Glases bestimmen zu

$$n_{\text{Glas}} = n_{\text{Luft}} \tan(\alpha_B) = 1,00029 \tan(55,5^\circ) = 1,46.$$

Die Unsicherheit des Brechungsindex ergibt sich nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz zu $u(n_{Glas}) = \left| \frac{\partial n_{Glas}}{\partial \alpha_B} u(\alpha_B) \right| = \frac{n_{Luft} * u(\alpha_B)}{\cos^2(\alpha_B)} = 0,03$
 Ergebnis: $n_{Glas} = 1,46 \pm 0,03$

Dieser Wert schließt innerhalb seiner Unsicherheit den vom Versuchsbetreuer vorgegebenen Referenzwert für das Kronglas $n_{Glas} = 1,4878$ ein.
 Der theoretische Verlauf des Graphen $\sqrt{R_s}$ lässt sich nach Quelle [1], Seite 74, Gleichung 4a) berechnen zu $\sqrt{R_s} = \sqrt{\frac{\sin^2(\alpha_e - \alpha_g)}{\sin^2(\alpha_e + \alpha_g)}}$ und der des Graphen $\sqrt{R_p}$ nach Gleichung 4b) zu $\sqrt{R_p} = \sqrt{\frac{\tan^2(\alpha_e - \alpha_g)}{\tan^2(\alpha_e + \alpha_g)}}$. Für den Winkel α_g des gebrochenen Strahls ergibt sich nach dem Brechungsgesetz ([1], Seite 74, Gleichung 2):
 $n_{Luft} \sin(\alpha_e) = n_{Glas} \sin(\alpha_g)$ bzw. $\alpha_g = \arcsin\left(\frac{n_{Luft}}{n_{Glas}} \sin(\alpha_e)\right)$. Die sich dann mit $n_{Glas} = 1,46$ und $n_{Luft} = 1,00029$ ergebenden theoretischen Verläufe wurden in der grafischen Darstellung in 2.1) dargestellt.

3) Fehleranalyse und kritische Ergebniseinschätzung

Die experimentell erzielten Resultate erfüllen die theoretischen Erwartungen, der in 2.2) bestimmte Brechungsindex für das Kronglas stimmt innerhalb seiner Messunsicherheit mit dem Referenzwert überein und die Abweichungen der experimentellen Werte von den aus dem Brechungsindex bestimmten theoretischen Kurven für die Quadratwurzeln der Reflexionsvermögen sind gering. Dennoch haben mathematisch nicht beachtete Messabweichungen das Ergebnis beeinflusst, denn unter anderem war nicht gewährleistet, dass stets die volle Lichtintensität in den Fotodetektor gelangte, da der reflektierte Strahl zum Teil sehr aufgeweitet war (womit sich vor allem die großen Abweichungen der Messwerte bei $\alpha_e = 85^\circ$ erklären lassen). Desweiteren war auch keine perfekt eindeutige Polarisierung des einfallenden Lichtes gewährleistet, zum Verschwinden des einfallenden Lichtstrahls musste nach dem Versuchsaufbau [1], Seite 74 bei einer Stellung von PF1 von 0° der PF2 auf 268° (statt auf 270°) gestellt werden, um den Laserstrahl zum Verschwinden zu bringen. Da die Lichtintensität beim Brewsterwinkel nicht exakt 0 wurde, könnte sich unter anderem damit erklären lassen, dass noch ein kleiner Anteil senkrecht zur Einfallsebene polarisiertes Licht durch die Polfilter gelangte. Zusätzlich war auch keine gleichmäßige Lichtintensitätsabgabe des Lasers gewährleistet, was an dem Intensitäts- bzw. Spannungsunterschied von $0,19V$ (bezogen auf den Absolutwert $\frac{0,19V}{4,61V} * 100\% \approx 4\%$; siehe Seite 3) vor und nach der Messung bei der Messreihe für linear senkrecht zur Einfallsebene polarisiertem Licht erkennbar ist. Die Unsicherheit aufgrund der (leicht veränderlichen) Resthelligkeit des Raumes konnte jedoch mittels Drehknopf am Versorgergerät minimiert werden und erklärt somit nicht die Tatsache, dass die Intensität beim Brewsterwinkel nicht exakt auf 0 zurückging, außerdem war ja auch immer noch

ein sehr schwacher Lichtpunkt erkennbar. Eine zusätzliche Unsicherheit bei der Winkelmessung aufgrund der Tatsache, dass das Prisma nicht perfekt an der Kante anlag (siehe Versuchsaufbau [1], Seite 76), wurde ebenfalls minimiert, nachdem nach Beginn der Messungen bemerkt wurde, dass es nicht richtig anlag (die Messreihe wurde dann wiederholt, siehe Messprotokoll).

4) Quellenangabe (Stand: 30.11.2008)

[1] Skript "Phys. Grundpraktikum: Elektrodynamik und Optik", 2005, online verfügbar unter [http://gpr.physik.hu-berlin.de/Skripten/Elektrodynamik und Optik/PDF-Dateien/Elektrodynamik und Optik.pdf](http://gpr.physik.hu-berlin.de/Skripten/Elektrodynamik%20und%20Optik/PDF-Dateien/Elektrodynamik%20und%20Optik.pdf)

[2] <http://de.wikipedia.org/wiki/Brechzahl>