



Grundpraktikum II

O11 - Polarisation durch Reflexion

Julien Kluge

18. März 2016

Student: Julien Kluge [REDACTED]
julien@physik.hu-berlin.de

Partner: [REDACTED]
[REDACTED]

Betreuer: B.Sc. M. Schloz

Raum: 213

Messplatz: 4

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	1
2	Physikalische Grundlagen	2
3	Versuchsdurchführung	2
4	Auswertung/Fehlerberechnung	3
4.1	Bestimmung des Brewsterwinkels und den Brechungsindizes	3
4.2	Vegleich mit theoretischen Verlauf	5
5	Fehler-/Ergebniseinschätzung	6
6	Anlagen	8
6.1	Messwerte	8
7	Literaturverzeichnis	10

1 Abstract

Der Einheitsvektor der Schwingungsamplitude elektromagnetischer Wellen kann durch verschiedene Verfahren gerichtet werden. Diesen Prozess nennt man Polarisation. Unterschiedliche Polarisationsrichtungen verhalten sich, in Hinsicht auf ihre Reflexion und Absorption, unterschiedlich. In diesem Versuch wurde die Reflexion an einer halben Zylinder-Plexiglaslinse untersucht. Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

1. Brewsterwinkel: $\alpha_B = (56.19 \pm 0.13)^\circ$
2. Brechungsindex: $n_p = (1.494 \pm 0.007)$

2 Physikalische Grundlagen nicht meine Idee. Er wollte dieses Kapitel haben

Licht, in seinem Wellenverhalten, ist für gewöhnlich unpolarisiert. Das bedeutet es besteht aus einer Überlagerung verschieden gerichteten Schwingungsamplituden. Richtet man, für gewöhnlich unter Intensitätsverlust, diese Schwingungsamplituden gemeinsam in eine Schwingungsebene aus, spricht man von linear polarisiertem Licht. Schaut man sich die Grenzbedingungen der Maxwellgleichungen an dielektrischen Oberflächen an

$$\begin{aligned}\hat{n} \cdot (E_2 - E_1) &= 0 \\ \hat{n} \cdot (B_2 - B_1) &= 0 \\ \hat{n} \times (E_2 - E_1) &= 0 \\ \hat{n} \times (B_2 - B_1) &= 0\end{aligned}$$

und nimmt eingehende Wellen als Überlagerung von parallel und senkrecht, linear polarisiertem Licht zur Einfallsebene an, dann kann man damit die Fresnel'schen Gleichungen herleiten

$$\left(\frac{E_{0,r}}{E_{0,e}}\right)_s = -\frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (1)$$

$$\left(\frac{E_{0,r}}{E_{0,e}}\right)_p = \frac{\tan(\alpha - \beta)}{\tan(\alpha + \beta)} \quad (2)$$

Möchte man nun den Reflexionsgrad bestimmen, muss man sich das Verhältnis zwischen reflektierter und eingestrahler Intensität angucken. Diese ist im Allgemeinen proportional zum Betragsquadrat des elektrischen Feldes der Welle. Es folgt also

$$R_s = \left|\frac{E_{0,r}}{E_{0,e}}\right|_s^2 = \frac{\sin^2(\alpha - \beta)}{\sin^2(\alpha + \beta)} \quad (3)$$

$$R_p = \left|\frac{E_{0,r}}{E_{0,e}}\right|_p^2 = \frac{\tan^2(\alpha - \beta)}{\tan^2(\alpha + \beta)} \quad (4)$$

Führt man des weiteren noch zwei Gesetze der geometrischen Strahlenoptik ein,

$$\alpha_1 = \alpha_2 \quad (\text{Reflexionsgesetz}) \quad (5)$$

$$n_1 \cdot \sin \alpha_1 = n_2 \cdot \sin \alpha_2 \quad (\text{Brechungsgesetz}) \quad (6)$$

kann man den Winkel finden, indem die Gleichung 4 für parallel-Polarisation eine Nullstelle aufweist. Diesen Winkel nennt man Brewsterwinkel und da das Reflexionsvermögen das Verhältnis zwischen reflektierten und eingestrahlt Licht angibt, gibt dieser an wo die Reflexion komplett auf null fällt. Die Gleichung dafür ist

$$\tan \alpha_B = \frac{n_2}{n_1} \quad (7)$$

3 Versuchsdurchführung

Vor Beginn der Messung, wurde die Photodiode kalibriert. Dafür wurde als erstes die Blende zur Diode geschlossen und der Strahlengang des 650nm-Lasers unterbrochen. Nun wurde an einer Offsetschraube des Verstärkers gedreht bis eine Einstellung gefunden wurde, in der keine Spannung mehr zu messen war. Dies wurde gemacht um etwaige Hintergrundstrahlung im Raum oder Blindströme in der Diode zu kompensieren. Allerdings war

es nicht ganz möglich das bis auf null zu kalibrieren. Das wurde später als systematischer Fehler behandelt und in der Rechnung korrigiert. Daraufhin wurde der Laser ungehindert auf die Diode gestellt. Durch drehen des ersten Polarisators (der zweite war bereits auf die Zielpolarisation eingestellt; 0° : senkrechte Polarisation - 90° : parallele Polarisation) wurde die Intensität so verändert das der Laserstrahl eine Spannung in der Diode von circa 4.5V erzeugt. Damit wurde eine linearer Messbereich sichergestellt und eine Übersteuerung der Diode während der Messreihe ausgeschlossen.

Für beide Zielpolarisationen wurden Messwerte im Bereich von 5° bis 85° mit einer Schrittgröße von 2.5° ausgeführt. Dabei wurde die Linse auf einer Schwenkbaren Gradmaß-Plattform um die gewünschte Weite geschwenkt wonach der Arm für Diode hinterher geführt wurde. Die linke Grenze erklärt sich leicht dadurch, dass bei noch flacheren Reflexionswinkeln die Apparatur für die Photodiode ungewollt von hinten in den Strahlengang eingetreten ist und diesen damit blockiert hat. Die rechte Grenze erklärt sich dadurch, dass bereits bei 85° parasitäre Streustrahlung in die Diode gelangt ist und der Punkt durch die Reflexion verzogen war wodurch keine Gesamtausleuchtung der Diode mehr gegeben war. Für die genaue Versuchsbeschreibung sei auf das Versuchsscript verwiesen¹.

4 Auswertung/Fehlerberechnung

Für die Winkelmessung wurde einer Ablesefehler eines halben Skalenteils von $\pm 0.5^\circ$ angenommen. Bei der Messung der Spannung des Multimeters war eine Unsicherheit über ein beiliegendes Heft angegeben mit $\pm(0.3\% \cdot U_m + 1dgt.)$ mit der jeweiligen Messung U_m . Im Anhang finden sich noch mal alle Werte aufgeschlüsselt mit Unsicherheiten nach DIN1333-Norm gerundet von beiden Messreihen (Tabelle 1, 2).

4.1 Bestimmung des Brewsterwinkels und den Brechungsindizes

Um das Reflexionsvermögen ausrechnen zu können, braucht man den Kalibrierwert U_e und den jeweiligen Messwert $U(\alpha_e)$ der Reflexion. Dann ergibt sich aus 4 und 3 die Relation

$$\sqrt{R} = \sqrt{\frac{U(\alpha_e)}{U_e}} \quad (8)$$

$$u_{\sqrt{R}} = \left| \frac{\sqrt{\frac{U}{U_e}}}{2 \cdot U} \cdot u_U \right| + \left| \frac{\sqrt{\frac{U}{U_e}}}{2 \cdot U_e} \cdot u_{U_e} \right| \quad (9)$$

Stellt man die Gleichung 6 nach $\alpha_2 = \alpha_g$ um und setzt diese Relation in 4 und 3 ein, erhält man eine Gleichung Abhängig von α_e, n_1, n_2 . Fasst man beide Brechungsindizes zu einer Variable zusammen, erhält man eine Gleichung, nach der eine Regression durchgeführt werden kann.

$$\sqrt{R_s(\alpha_e)} = \left| \frac{\sin(\alpha_e - \arcsin(n \cdot \sin \alpha_e))}{\sin(\alpha_e + \arcsin(n \cdot \sin \alpha_e))} \right| \quad (10)$$

$$\sqrt{R_p(\alpha_e)} = \left| \frac{\tan(\alpha_e - \arcsin(n \cdot \sin \alpha_e))}{\tan(\alpha_e + \arcsin(n \cdot \sin \alpha_e))} \right| \quad (11)$$

Für die senkrechte Polarisation wurden die zwei ersten und der letzte Wert als Ausreißer aus der Regression entfernt und rot hinterlegt.

Das begründet sich dadurch, dass bei beiden die oben genannten Effekte der Ungenauigkeit durch Streustrahlung und schlechter Geometrie nach Reflexion so groß waren, dass sie

sichtbaren Einfluss auf die Position der Werte hatten.
Für die senkrechte Polarisation ergibt sich damit:

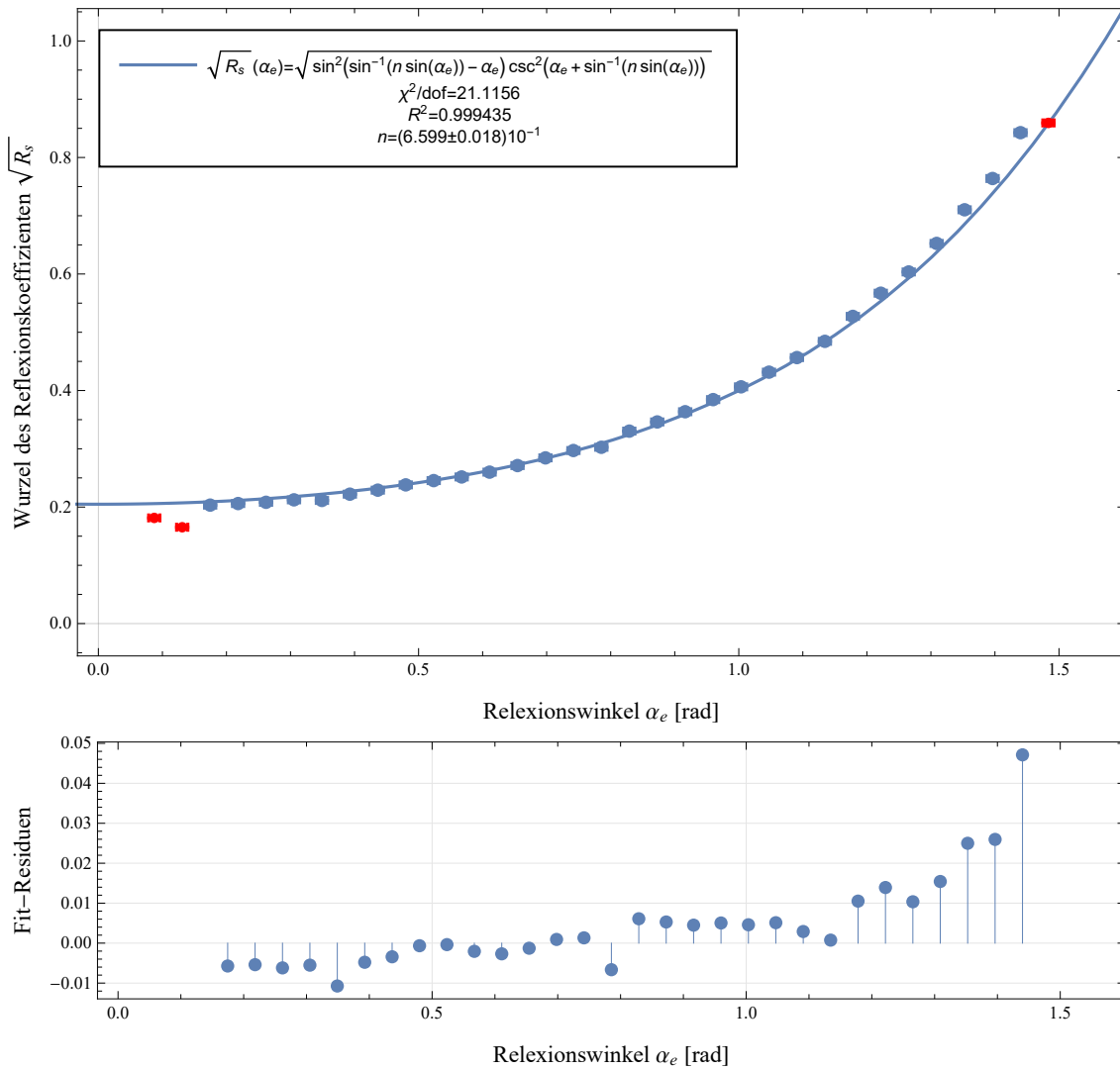


Abbildung 1: Abhängigkeit der Wurzel der Reflexionsvermögen vom Reflexionswinkel und Fit nach Gleichung 10; rote Punkte: Ausreißer ohne Regressionseinfluss

Hat man den Brechungsindex von trockener Luft⁴ kann man nach folgender Relation den Brechungsindex des Plexiglasses berechnen

$$n_{\text{Plexiglas}} = \frac{n_{\text{Luft}}}{n} \quad (12)$$

$$u_n(\text{Plexiglas}) = \left| \frac{n_{\text{Luft}}}{n^2} \cdot u_n \right| \quad (13)$$

Führt man das über das Ergebnis der Regression aus, erhält man den Brechungsindex zu

$$n_{\text{Plexiglas}} = (1.515 \pm 0.004) \quad (14)$$

Nach Gleichung 11 lässt sich die Regression auch für die parallele Polarisation ausführen. Hierbei ist besonders, dass ebenfalls der Brewsterwinkel mitbestimmt werden kann.

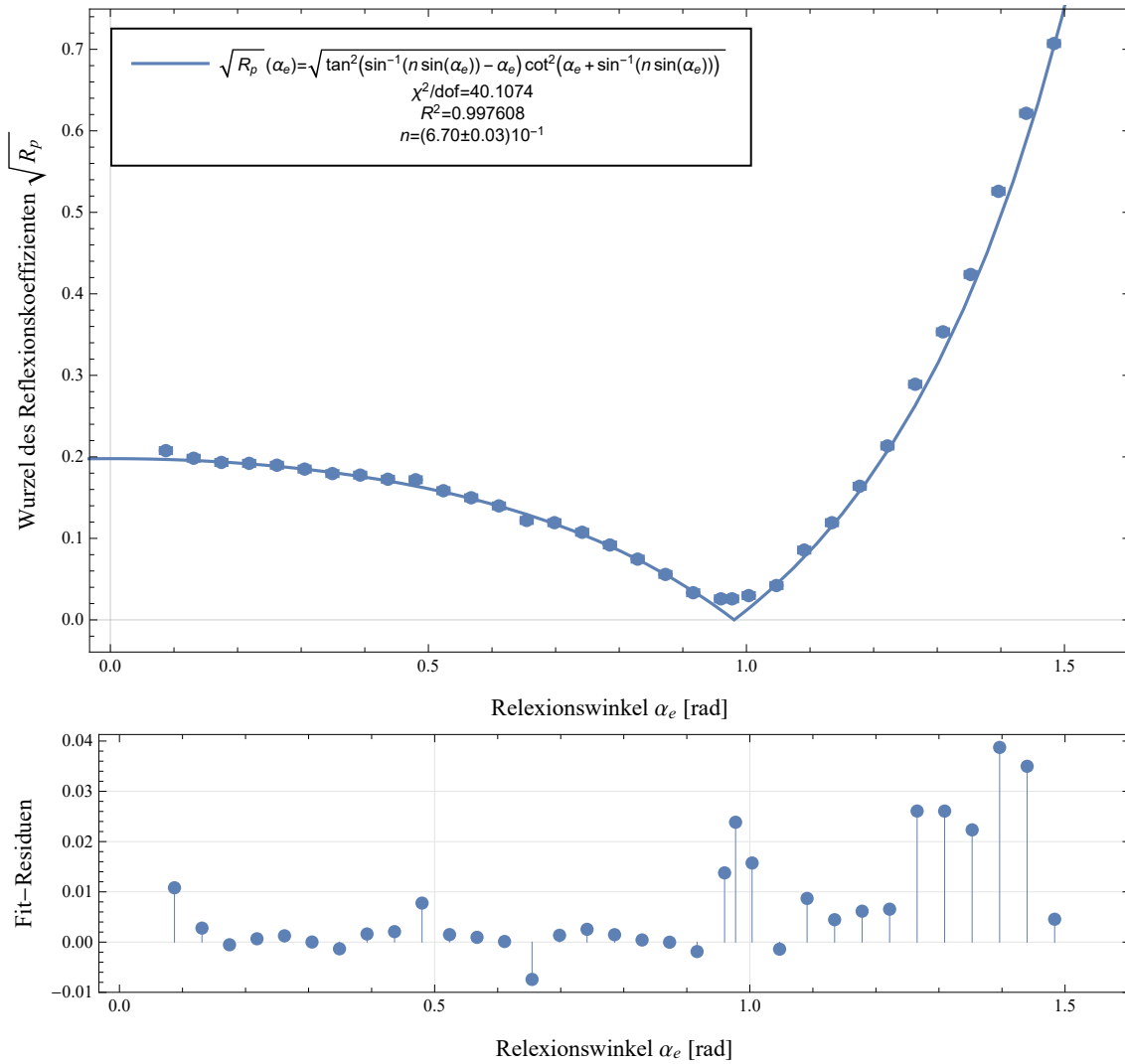


Abbildung 2: Abhängigkeit der Wurzel der Reflexionsvermögen vom Reflexionswinkel und Fit nach Gleichung 11

Für den Brechungsindex gilt ebenfalls Gleichung 12. Somit folgt sofort

$$n_{\text{Plexiglas}} = (1.494 \pm 0.007) \quad (15)$$

Für den Brewsterwinkel und dem Regressionsergebnis n gilt nach Gleichung 7 sofort

$$\alpha_B = \arctan(n^{-1}) \quad (16)$$

$$u_{\alpha(B)} = \left| \frac{u_n}{n^2 + 1} \right| \quad (17)$$

Damit folgt sofort der Brewsterwinkel zu

$$\alpha_B = (56.19 \pm 0.13)^\circ \quad (18)$$

4.2 Vergleich mit theoretischen Verlauf

Für Plexiglas lässt sich unter dem Fachnamen *PMMA* der Brechungsindex bei 650nm Wellenlänge angeben³ mit $n_{650\text{nm}} = (1.4903 \pm 0.0002)$. Wenn man damit den Brewsterwinkel

nach Gleichung 7 bestimmt, kommt man auf $\alpha_B = (56.1382 \pm 0.0036)^\circ$. Nun kann man aber nach Gleichung 11 und 10 den Parameter n einsetzen und so eine Formel für den theoretischen Verlauf der Kurve bekommen. Dieser lässt sich dann leicht mit den Messpunkten und den Regressionskurven vergleichen um etwaige Rückschlüsse zu ziehen. Es ergibt sich folgende Abbildung

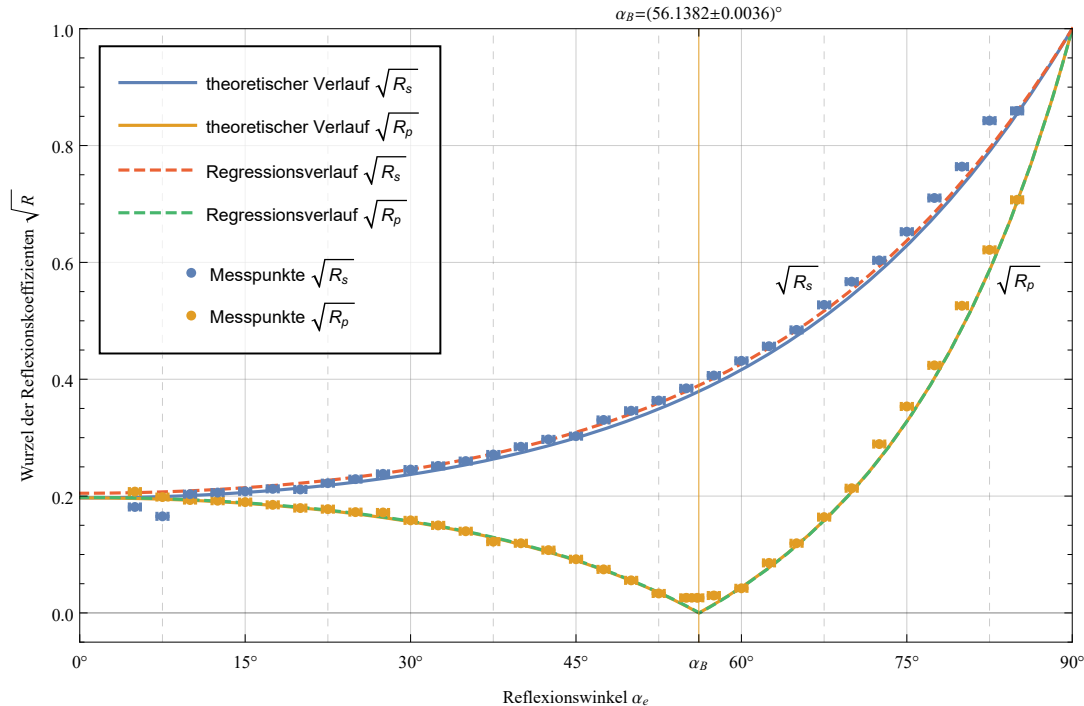


Abbildung 3: Theoretische Kurvenverläufe, Regressionsverläufe und Messwerte nach 4, 3 und 8

Auf den ersten Blick zeigt sich der Graph qualitativ sehr gut als bestätigt und die Werte und Regressionen scheinen gut übereinzustimmen. ~~Näheres zu dieser Diskussion aber gleich.~~

5 Fehler-/Ergebniseinschätzung

Schaut man sich die erste Regression mit der senkrechten Polarisation genau an und achtet dabei besonders auf die Residuen, erkennt man leicht dass es ab ungefähr 45° einen zunehmenden systematischen Fehler gab. Dieser wurde von der Regression aufgrund der höheren Unsicherheiten dieser Werte weniger stark gewichtet womit die unteren Werte mehr Einfluss besessen haben und kein gleichmäßiger Ausgleich stattfand. Das gleiche Phänomen lässt sich in der zweiten Regression auch ab in etwa 50° beobachten. Dieser systematische Fehler könnte eventuell von einem zunehmend nichtlinearen Verhalten der Diode stammen. Interessant sind hier ebenfalls die χ^2 -Test. Da von keiner guten, gleichmäßigen Anpassung gesprochen werden kann ist nicht ganz klar, ob der hohe Wert nun durch zu klein geschätzte Fehler, oder schlechte Anpassung herrührt. Es ist aber anzunehmen, dass beides ein gewichtigen Faktor in diesem Wert hat. Was die Bestimmung der Brechungsindizes angeht, dürfte die Regression mit paralleler Polarisation bevorzugt werden. Hier entsteht der Brewsterwinkel und damit der Zusammenhang mit der Brechzahl direkt weshalb auch bei einer schlechten Anpassung von einem guten Wert ausgegangen werden

kann. Dass bestätigt sich auch im Vergleich mit dem Literaturwert. Hier deckt sich der Wert für die p-Polarisation in den Grenzen der Unsicherheiten mit dem Literaturwert³ von $n_{650\text{nm}} = (1.4903 \pm 0.0002)$. Der Wert für die s-Polarisation zeigt eine deutliche Abweichung nach oben, dass auf die schlechte Anpassung aufgrund des systematischen Fehler zurückgeführt werden kann. Es sollte also dieses Ergebnis vernachlässigt werden. Gleiches zeigt sich auch, im Vergleich mit den theoretischen Kurvenverläufen. Während die mit der p-Polarisation fast deckungsgleich mit ihrer theoretischen Kurve verläuft, existiert bei der s-Polarisation ein deutlich sichtbares Offset nach oben.

Für den Brewsterwinkel ergibt sich, wie für den Brechungsindex, eine gute Übereinstimmung mit dem Literaturwert von $\alpha_B = (56.1382 \pm 0.0036)^\circ$.

Zufällige Abweichungen vom theoretischen für einige Messwerte, kann auch von schlechter Einstellung der Diode herrühren. Es war schwierig, den reflektierten Strahl immer passgenau und in voller Breite ins Loch der Photodiode zu bekommen. Für die Anfangs und Endwerte gab es auch noch Streulicht was zu einer, im Plot sichtbaren, Verminderung der Intensität und damit der Spannung geführt hat. Auch nicht zu vernachlässigen, vor allem für hohe Reflexionswinkel, ist die Ableseungenauigkeit. Ein halber Grad kann in großen Winkeln schon zu einer starken Abweichung der Spannung vom Sollwert ergeben.

6 Anlagen

6.1 Messwerte

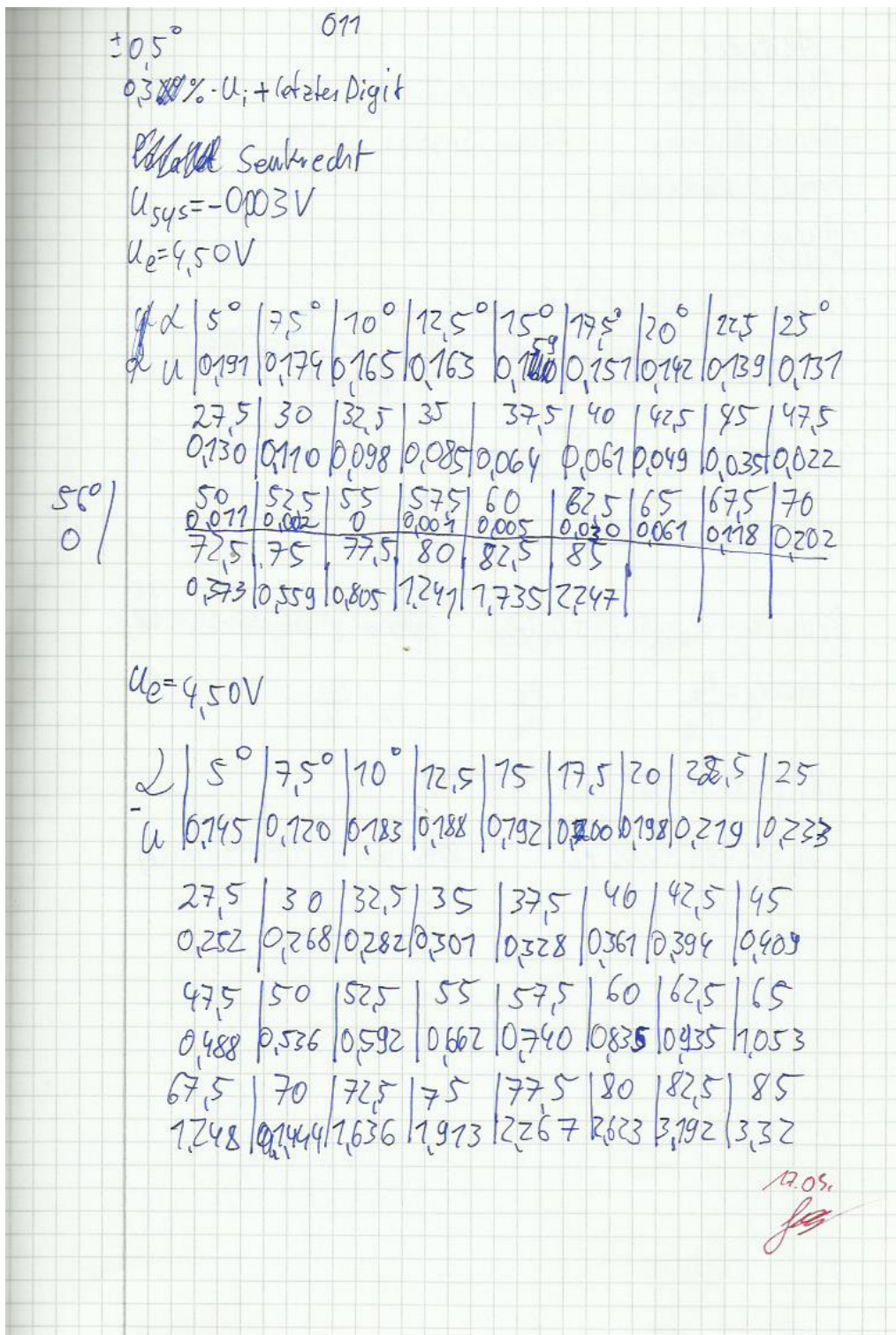


Abbildung 4: Messdatenprotokoll - Seite 1/1

auch nicht meine Idee. Auch das wollte er so haben. Ein hoch auf den TexForm Befehl von Mathematica

Tabelle 1: parallele Polarisation

Winkel α [°]	Spannung U [V]	Reflexionsvermögen R	\sqrt{R}
(5.0 ± 0.5)	$(1.940 \pm 0.016) 10^{-1}$	$(4.30 \pm 0.06) 10^{-2}$	$(2.076 \pm 0.014) 10^{-1}$
(7.5 ± 0.5)	$(1.770 \pm 0.015) 10^{-1}$	$(3.93 \pm 0.05) 10^{-2}$	$(1.983 \pm 0.014) 10^{-1}$
$(1.00 \pm 0.05) 10^1$	$(1.680 \pm 0.015) 10^{-1}$	$(3.73 \pm 0.05) 10^{-2}$	$(1.932 \pm 0.014) 10^{-1}$
$(1.25 \pm 0.05) 10^1$	$(1.660 \pm 0.015) 10^{-1}$	$(3.69 \pm 0.05) 10^{-2}$	$(1.921 \pm 0.014) 10^{-1}$
$(1.50 \pm 0.05) 10^1$	$(1.620 \pm 0.015) 10^{-1}$	$(3.60 \pm 0.05) 10^{-2}$	$(1.897 \pm 0.014) 10^{-1}$
$(1.75 \pm 0.05) 10^1$	$(1.540 \pm 0.015) 10^{-1}$	$(3.42 \pm 0.05) 10^{-2}$	$(1.850 \pm 0.014) 10^{-1}$
$(2.00 \pm 0.05) 10^1$	$(1.450 \pm 0.014) 10^{-1}$	$(3.22 \pm 0.05) 10^{-2}$	$(1.795 \pm 0.014) 10^{-1}$
$(2.25 \pm 0.05) 10^1$	$(1.420 \pm 0.014) 10^{-1}$	$(3.16 \pm 0.05) 10^{-2}$	$(1.776 \pm 0.014) 10^{-1}$
$(2.50 \pm 0.05) 10^1$	$(1.340 \pm 0.014) 10^{-1}$	$(2.98 \pm 0.05) 10^{-2}$	$(1.726 \pm 0.014) 10^{-1}$
$(2.75 \pm 0.05) 10^1$	$(1.330 \pm 0.014) 10^{-1}$	$(2.96 \pm 0.05) 10^{-2}$	$(1.719 \pm 0.014) 10^{-1}$
$(3.00 \pm 0.05) 10^1$	$(1.129 \pm 0.013) 10^{-1}$	$(2.50 \pm 0.04) 10^{-2}$	$(1.585 \pm 0.014) 10^{-1}$
$(3.25 \pm 0.05) 10^1$	$(1.010 \pm 0.013) 10^{-1}$	$(2.24 \pm 0.04) 10^{-2}$	$(1.498 \pm 0.014) 10^{-1}$
$(3.50 \pm 0.05) 10^1$	$(8.80 \pm 0.13) 10^{-2}$	$(1.96 \pm 0.04) 10^{-2}$	$(1.398 \pm 0.014) 10^{-1}$
$(3.75 \pm 0.05) 10^1$	$(6.70 \pm 0.12) 10^{-2}$	$(1.49 \pm 0.03) 10^{-2}$	$(1.220 \pm 0.014) 10^{-1}$
$(4.00 \pm 0.05) 10^1$	$(6.40 \pm 0.12) 10^{-2}$	$(1.42 \pm 0.03) 10^{-2}$	$(1.193 \pm 0.014) 10^{-1}$
$(4.25 \pm 0.05) 10^1$	$(5.20 \pm 0.12) 10^{-2}$	$(1.16 \pm 0.03) 10^{-2}$	$(1.075 \pm 0.015) 10^{-1}$
$(4.50 \pm 0.05) 10^1$	$(3.80 \pm 0.11) 10^{-2}$	$(8.44 \pm 0.29) 10^{-3}$	$(9.19 \pm 0.16) 10^{-2}$
$(4.75 \pm 0.05) 10^1$	$(2.50 \pm 0.11) 10^{-2}$	$(5.56 \pm 0.27) 10^{-3}$	$(7.45 \pm 0.18) 10^{-2}$
$(5.00 \pm 0.05) 10^1$	$(1.40 \pm 0.10) 10^{-2}$	$(3.11 \pm 0.25) 10^{-3}$	$(5.58 \pm 0.22) 10^{-2}$
$(5.25 \pm 0.05) 10^1$	$(5.0 \pm 1.0) 10^{-3}$	$(1.11 \pm 0.23) 10^{-3}$	$(3.3 \pm 0.3) 10^{-2}$
$(5.50 \pm 0.05) 10^1$	$(3.0 \pm 1.0) 10^{-3}$	$(6.7 \pm 2.3) 10^{-4}$	$(2.6 \pm 0.4) 10^{-2}$
$(5.60 \pm 0.05) 10^1$	$(3.0 \pm 1.0) 10^{-3}$	$(6.7 \pm 2.3) 10^{-4}$	$(2.6 \pm 0.4) 10^{-2}$
$(5.75 \pm 0.05) 10^1$	$(4.0 \pm 1.0) 10^{-3}$	$(8.9 \pm 2.3) 10^{-4}$	$(3.0 \pm 0.4) 10^{-2}$
$(6.00 \pm 0.05) 10^1$	$(8.0 \pm 1.0) 10^{-3}$	$(1.78 \pm 0.24) 10^{-3}$	$(4.22 \pm 0.28) 10^{-2}$
$(6.25 \pm 0.05) 10^1$	$(3.30 \pm 0.11) 10^{-2}$	$(7.33 \pm 0.28) 10^{-3}$	$(8.56 \pm 0.16) 10^{-2}$
$(6.50 \pm 0.05) 10^1$	$(6.40 \pm 0.12) 10^{-2}$	$(1.42 \pm 0.03) 10^{-2}$	$(1.193 \pm 0.014) 10^{-1}$
$(6.75 \pm 0.05) 10^1$	$(1.210 \pm 0.014) 10^{-1}$	$(2.69 \pm 0.04) 10^{-2}$	$(1.640 \pm 0.014) 10^{-1}$
$(7.00 \pm 0.05) 10^1$	$(2.049 \pm 0.016) 10^{-1}$	$(4.55 \pm 0.06) 10^{-2}$	$(2.134 \pm 0.014) 10^{-1}$
$(7.25 \pm 0.05) 10^1$	$(3.760 \pm 0.021) 10^{-1}$	$(8.36 \pm 0.09) 10^{-2}$	$(2.891 \pm 0.016) 10^{-1}$
$(7.50 \pm 0.05) 10^1$	$(5.620 \pm 0.027) 10^{-1}$	$(1.249 \pm 0.012) 10^{-1}$	$(3.534 \pm 0.018) 10^{-1}$
$(7.75 \pm 0.05) 10^1$	$(8.08 \pm 0.03) 10^{-1}$	$(1.796 \pm 0.017) 10^{-1}$	$(4.237 \pm 0.020) 10^{-1}$
$(8.00 \pm 0.05) 10^1$	(1.244 ± 0.005)	$(2.764 \pm 0.025) 10^{-1}$	$(5.258 \pm 0.024) 10^{-1}$
$(8.25 \pm 0.05) 10^1$	(1.738 ± 0.006)	$(3.86 \pm 0.03) 10^{-1}$	$(6.215 \pm 0.027) 10^{-1}$
$(8.50 \pm 0.05) 10^1$	(2.250 ± 0.008)	$(5.00 \pm 0.04) 10^{-1}$	$(7.07 \pm 0.03) 10^{-1}$

Tabelle 2: senkrechte Polarisation

Winkel α [°]	Spannung U [V]	Reflexionsvermögen R	\sqrt{R}
(5.0 ± 0.5)	(1.480 ± 0.014) 10 ⁻¹	(3.29 ± 0.05) 10 ⁻²	(1.814 ± 0.014) 10 ⁻¹
(7.5 ± 0.5)	(1.230 ± 0.014) 10 ⁻¹	(2.73 ± 0.04) 10 ⁻²	(1.653 ± 0.014) 10 ⁻¹
(1.00 ± 0.05) 10 ¹	(1.860 ± 0.016) 10 ⁻¹	(4.13 ± 0.06) 10 ⁻²	(2.033 ± 0.014) 10 ⁻¹
(1.25 ± 0.05) 10 ¹	(1.910 ± 0.016) 10 ⁻¹	(4.24 ± 0.06) 10 ⁻²	(2.060 ± 0.014) 10 ⁻¹
(1.50 ± 0.05) 10 ¹	(1.950 ± 0.016) 10 ⁻¹	(4.33 ± 0.06) 10 ⁻²	(2.082 ± 0.014) 10 ⁻¹
(1.75 ± 0.05) 10 ¹	(2.029 ± 0.016) 10 ⁻¹	(4.51 ± 0.06) 10 ⁻²	(2.124 ± 0.014) 10 ⁻¹
(2.00 ± 0.05) 10 ¹	(2.009 ± 0.016) 10 ⁻¹	(4.47 ± 0.06) 10 ⁻²	(2.113 ± 0.014) 10 ⁻¹
(2.25 ± 0.05) 10 ¹	(2.220 ± 0.017) 10 ⁻¹	(4.93 ± 0.06) 10 ⁻²	(2.221 ± 0.014) 10 ⁻¹
(2.50 ± 0.05) 10 ¹	(2.360 ± 0.017) 10 ⁻¹	(5.24 ± 0.07) 10 ⁻²	(2.290 ± 0.014) 10 ⁻¹
(2.75 ± 0.05) 10 ¹	(2.550 ± 0.018) 10 ⁻¹	(5.67 ± 0.07) 10 ⁻²	(2.380 ± 0.014) 10 ⁻¹
(3.00 ± 0.05) 10 ¹	(2.710 ± 0.018) 10 ⁻¹	(6.02 ± 0.07) 10 ⁻²	(2.454 ± 0.015) 10 ⁻¹
(3.25 ± 0.05) 10 ¹	(2.850 ± 0.019) 10 ⁻¹	(6.33 ± 0.07) 10 ⁻²	(2.517 ± 0.015) 10 ⁻¹
(3.50 ± 0.05) 10 ¹	(3.040 ± 0.019) 10 ⁻¹	(6.76 ± 0.08) 10 ⁻²	(2.599 ± 0.015) 10 ⁻¹
(3.75 ± 0.05) 10 ¹	(3.310 ± 0.020) 10 ⁻¹	(7.36 ± 0.08) 10 ⁻²	(2.712 ± 0.015) 10 ⁻¹
(4.00 ± 0.05) 10 ¹	(3.640 ± 0.021) 10 ⁻¹	(8.09 ± 0.09) 10 ⁻²	(2.844 ± 0.016) 10 ⁻¹
(4.25 ± 0.05) 10 ¹	(3.970 ± 0.022) 10 ⁻¹	(8.82 ± 0.09) 10 ⁻²	(2.970 ± 0.016) 10 ⁻¹
(4.50 ± 0.05) 10 ¹	(4.120 ± 0.022) 10 ⁻¹	(9.16 ± 0.10) 10 ⁻²	(3.026 ± 0.016) 10 ⁻¹
(4.75 ± 0.05) 10 ¹	(4.910 ± 0.025) 10 ⁻¹	(1.091 ± 0.011) 10 ⁻¹	(3.303 ± 0.017) 10 ⁻¹
(5.00 ± 0.05) 10 ¹	(5.390 ± 0.026) 10 ⁻¹	(1.198 ± 0.012) 10 ⁻¹	(3.461 ± 0.017) 10 ⁻¹
(5.25 ± 0.05) 10 ¹	(5.950 ± 0.028) 10 ⁻¹	(1.322 ± 0.013) 10 ⁻¹	(3.636 ± 0.018) 10 ⁻¹
(5.50 ± 0.05) 10 ¹	(6.650 ± 0.030) 10 ⁻¹	(1.478 ± 0.014) 10 ⁻¹	(3.844 ± 0.019) 10 ⁻¹
(5.75 ± 0.05) 10 ¹	(7.43 ± 0.03) 10 ⁻¹	(1.651 ± 0.016) 10 ⁻¹	(4.063 ± 0.019) 10 ⁻¹
(6.00 ± 0.05) 10 ¹	(8.38 ± 0.04) 10 ⁻¹	(1.862 ± 0.018) 10 ⁻¹	(4.315 ± 0.020) 10 ⁻¹
(6.25 ± 0.05) 10 ¹	(9.38 ± 0.04) 10 ⁻¹	(2.084 ± 0.019) 10 ⁻¹	(4.566 ± 0.021) 10 ⁻¹
(6.50 ± 0.05) 10 ¹	(1.056 ± 0.004)	(2.347 ± 0.022) 10 ⁻¹	(4.844 ± 0.022) 10 ⁻¹
(6.75 ± 0.05) 10 ¹	(1.250 ± 0.005)	(2.780 ± 0.025) 10 ⁻¹	(5.273 ± 0.024) 10 ⁻¹
(7.00 ± 0.05) 10 ¹	(1.447 ± 0.005)	(3.216 ± 0.029) 10 ⁻¹	(5.671 ± 0.025) 10 ⁻¹
(7.25 ± 0.05) 10 ¹	(1.639 ± 0.006)	(3.64 ± 0.03) 10 ⁻¹	(6.035 ± 0.027) 10 ⁻¹
(7.50 ± 0.05) 10 ¹	(1.916 ± 0.007)	(4.26 ± 0.04) 10 ⁻¹	(6.525 ± 0.029) 10 ⁻¹
(7.75 ± 0.05) 10 ¹	(2.270 ± 0.008)	(5.04 ± 0.04) 10 ⁻¹	(7.10 ± 0.03) 10 ⁻¹
(8.00 ± 0.05) 10 ¹	(2.626 ± 0.009)	(5.84 ± 0.05) 10 ⁻¹	(7.64 ± 0.03) 10 ⁻¹
(8.25 ± 0.05) 10 ¹	(3.195 ± 0.011)	(7.10 ± 0.06) 10 ⁻¹	(8.43 ± 0.04) 10 ⁻¹
(8.50 ± 0.05) 10 ¹	(3.323 ± 0.020)	(7.38 ± 0.08) 10 ⁻¹	(8.59 ± 0.05) 10 ⁻¹

7 Literaturverzeichnis

- [1] Dr. Uwe Müller: *Physikalisches Grundpraktikum: Elektrodynamik und Optik*, 2010
- [2] Dr. Uwe Müller: *Physikalisches Grundpraktikum: Einführung in die Messung, Auswertung und Darstellung experimenteller Ergebnisse in der Physik*, 2007
(mit Korrekturen *Einführungsscript 2007* von P. Schäfer, 2016)
- [3] [http://refractiveindex.info/?shelf=organic&book=poly\(methyl_methacrylate\)&page=Beadie](http://refractiveindex.info/?shelf=organic&book=poly(methyl_methacrylate)&page=Beadie)
(Brechzahl von Plexiglas; aufgerufen am 17. März 2016 um 19:10)
- [4] <http://www.spektrum.de/lexikon/physik/brechzahl/1958>
(Brechzahl von Luft; aufgerufen am 17. März 2016 um 19:30)