

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

LABORÜBUNGEN 2: ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS, OPTIK

Übungsnummer: 2

Übungstitel: Licht an Grenzflächen / Refraktometer (KFU)

Betreuer: Prof. Nester

Gruppennummer: 42

Name: Nico Eisner

Name: Philip Waldl

Mat. Nr.: 12214121

Mat. Nr.: 12214120

Datum der Übung: 24.11.2023

WS 2023/2024

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
2	Voraussetzungen & Grundlagen	3
3	Versuchsanordnung	5
4	Geräteliste	6
5	Versuchsdurchführung & Messergebnisse	6
6	Auswertung und Unsicherheitsanalyse	10
7	Diskussion	15
8	Zusammenfassung	16
9	Anhang	19
	Literatur	20

1 Aufgabenstellung

Das Experiment Licht an Grenzflächen / Refraktometer besteht aus drei Teilversuchen. Im Ersten, wird mit einem Reflexions-Refraktometer an einer Grenzfläche zweier Medien das Reflexionsvermögen gemessen. Dabei ist die Messung von Medium 1 zu Medium 2 und umgekehrt durchzuführen.

Im zweiten Teilversuch wird das Brechungsgesetz bewiesen.

Im dritten Teilversuch werden mit einem Abbe-Refraktometer die Brechungsindizes zweier verschiedener Flüssigkeiten bestimmt, sowie die Menge an Zucker in einer Lösung.

Alle Informationen und Methodiken wurden uns von der Technischen Universität bereitgestellt [2].

2 Voraussetzungen & Grundlagen

Um mit dem Experiment zu beginnen, gilt es erst einige Grundlagen zu kennen.

Um das Reflexionsvermögen R zu bestimmen, benötigt man die Detektorspannungen bei direktem Einfall des Laserstrahles U_0 sowie bei reflektiertem Einfall des Laserstrahles durch die Medien U_R . Wenn der Laserstrahl nicht auf den Detektor trifft, ist dennoch eine Spannung zu messen. Diese Spannung U_D ist das Dunkelstromrauschen des Detektors und der Photostrom der Umgebungsbeleuchtung.

Um nun das Reflexionsvermögen R zu berechnen, benötigt man die Intensität I welche vom Detektor ausgegeben wird. Dabei ist die Referenzintensität

$$I_0 \propto U_0 - U_D \qquad \Delta I_0 = \left| \frac{\partial I_0}{\partial U_0} * \Delta U_0 \right| + \left| \frac{\partial I_0}{\partial U_D} * \Delta U_D \right| \quad (1)$$

und die Reflexionsintensität

$$I_R \propto U_R - U_D \qquad \Delta I_R = \left| \frac{\partial I_R}{\partial U_R} * \Delta U_R \right| + \left| \frac{\partial I_R}{\partial U_D} * \Delta U_D \right| \quad (2)$$

Daraus lässt sich das Reflexionsvermögen R mit Unsicherheit ΔR berechnen.

$$R = \frac{I_R}{I_0} \qquad \Delta R = \left| \frac{\partial R}{\partial I_R} * \Delta I_R \right| + \left| \frac{\partial R}{\partial I_0} * \Delta I_0 \right| \quad (3)$$

Im Ersten Teil wird das Reflexionsvermögen bei einem p-Polarisierten und einen s-Polarisierten Laserstrahl gemessen.

Ein p-Polarisierter Laserstrahl ist parallel zur Einfallsebene polarisiert und ein s-Polarisierter senkrecht zur Einfallsebene. P-Polarisation lässt sich durch den Brewsterwinkel bestimmen. Dazu dreht man den Polarisator so lange, bis der reflektierte Strahl ab einen gewissen Winkel verschwindet. Um 90° verschoben ist der Laserstrahl s-Polarisiert.

Der Brewsterwinkel ist jener Winkel, bei welchem ab einem bestimmten Einfallswinkel die Helligkeit im Minimum null ist [6]. Wird der Lichtstrahl so gebrochen, dass der Einfallswinkel einen Brechungswinkel von 90° zufolge hat, spricht man vom Grenzwinkel der Totalreflexion [1].

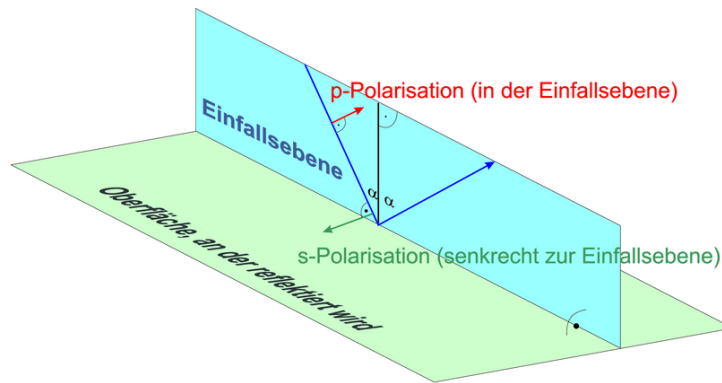


Abb. 1: Darstellung eines p-Polarisierten und s-Polarisierten Lichtstrahles. [5]

Um den Brechungswinkel β zu bestimmen, benötigt man das Brechungsgesetz von Snellius. Dafür benötigt man die Brechungsindizes n der Medien sowie den einfallenden Winkel α .

$$n_1 * \sin(\alpha) = n_2 * \sin(\beta) \quad (4)$$

Durch Umformen des Gesetzes lässt sich der Sinus von β berechnen. Um den Winkel β zu erhalten, wird der Wert nochmals in den Arcussinus eingesetzt.

$$\beta = \arcsin\left(\frac{n_1 * \sin(\alpha)}{n_2}\right) \quad \Delta\beta = \left|\frac{\partial\beta}{\partial\alpha} * \Delta\alpha\right| + \left|\frac{\partial\beta}{\partial n_1} * \Delta n_1\right| + \left|\frac{\partial\beta}{\partial n_2} * \Delta n_2\right| \quad (5)$$

Für die Bestimmung der Brechungsindizes n mit einem Abbe-Refraktometer benötigt man die im Okular abgelesene Werte des Brechungsindex n_D und Brix sowie den Kompensatorwert. Mithilfe des Nomogrammes wird die mittlere Dispersion $n_F - n_C$ bestimmt. Dabei stehen die Buchstaben D, F, C für die Fraunhofer Linien [7].

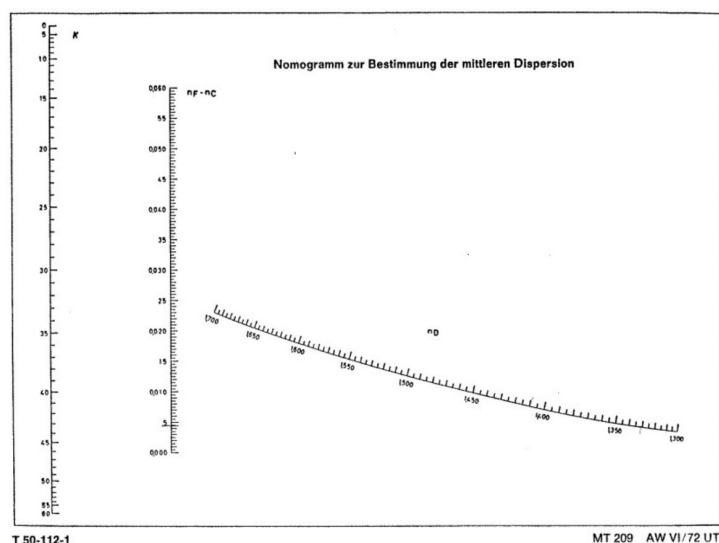


Abb. 2: Nomogramm zur bestimmung der mittleren Dispersion $n_F - n_C$. Entnommen aus Skript Fresnel Seite 14. [2]

Desweiteren wird die Menge an gelöstem Zucker benötigt. Über die Skala Brix lässt sich diese bestimmen. Ein Grad Brix, oder ein Prozent Brix, entspricht dabei 1 Gramm Saccharose in 100 Gramm Lösung [4].

3 Versuchsanordnung

Der Versuch ist wie folgt aufgebaut.

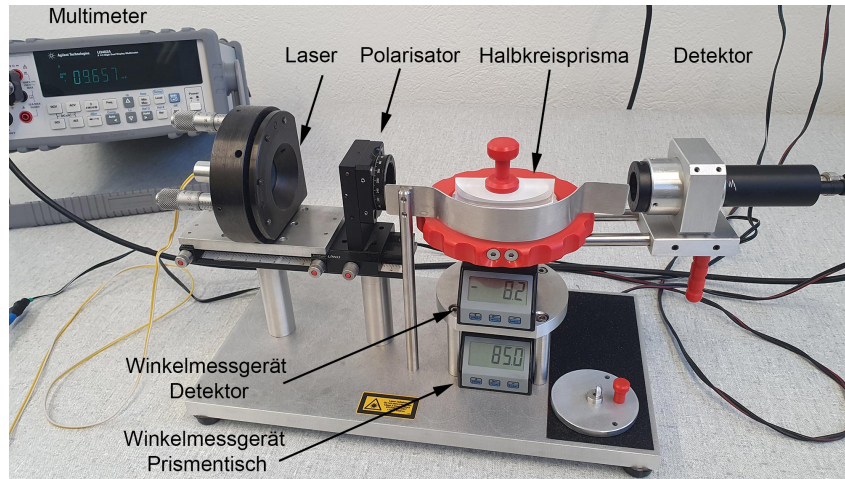


Abb. 3: Aufbau des Versuches Reflexions-Refraktometer

Ein Laser sendet Lichtstrahlen durch einen Polarisator, welche auf einen Halbkreisprisma treffen. Dort werden die Lichtstrahlen gebrochen und es entsteht ein reflektierender Strahl und ein gebrochener Strahl. Dieser Strahl wird von einem Detektor gemessen und als Spannung am Multimeter dargestellt.

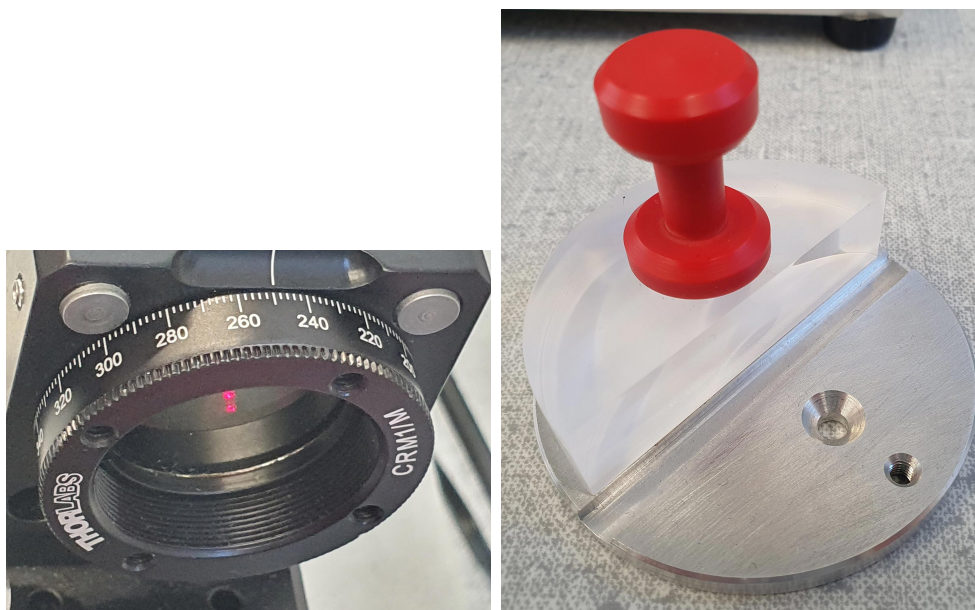


Abb. 4: Polarisator mit Winkelskala (rechts) und Halbkreisprisma (links).

Durch Drehen des Polarisators lässt sich der Lichtstrahl in p-Polarisiertes oder s-Polarisiertes Licht polarisieren. Dabei wird der Prisma gedreht und die Blende des Detektors wird ge-

schlossen, um den Detektor genau auf den reflektierenden Strahl zu lenken.

Bei dem Abbe-Refraktometer wird die zu bestimmende Flüssigkeit auf den Prisma gegeben. Durch die Beleuchtung mit weißem Licht kommt es zu einer Farbaufspaltung. Durch Ausgleichen dieser Aufspaltung mit Kompenstorprismen wird der Brechungsindex und Brix abgelesen.

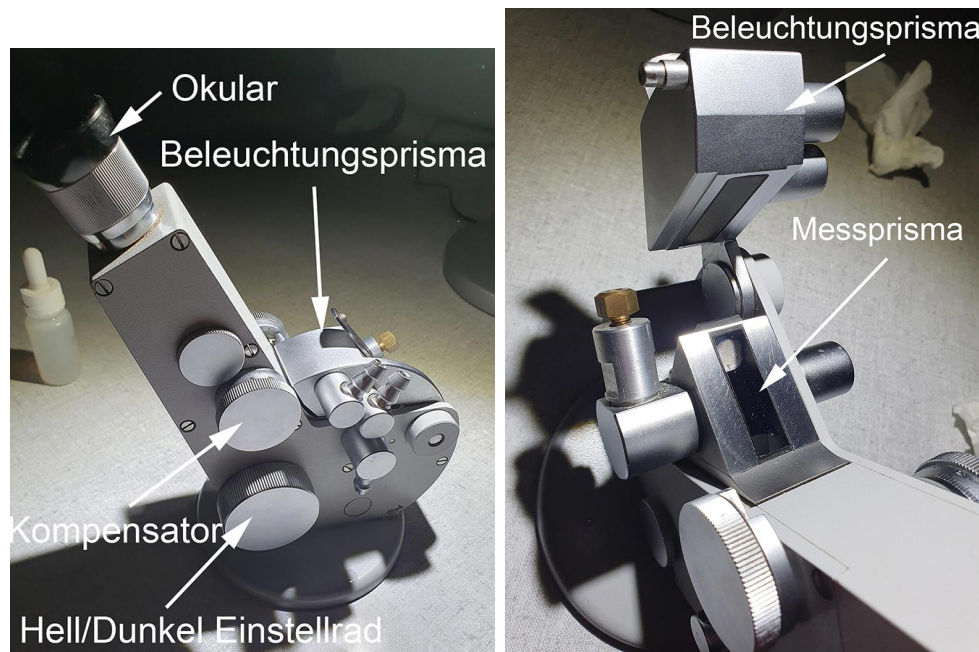


Abb. 5: Aufbau des Versuches Abbe-Refraktometer (links). Beleuchtungsprisma ohne zu messender Flüssigkeit (rechts).

4 Geräteliste

Tab. 1: Im Versuch verwendete Geräte und Utensilien.

Gerät	Gerätenummer	Unsicherheit
Abbe-Refraktometer	n.a	n.a
Reflexions-Refraktometer	n.a	n.a
Laser	n.a	n.a
Polarisator	Thorlabs CRM1/M	$\pm 2deg.$
Halbkreisprisma	n.a	n.a
Detektor	n.a	n.a
Winkelmessgerät	n.a	$\pm 0.1deg.$
Multimeter <120 mV	U3402A	$\pm 0.012\% + 8dig$ [3]
Multimeter 120 - 1200 mV	U3402A	$\pm 0.012\% + 5dig$ [3]
Wasser/Zucker Probe	n.a	n.a

5 Versuchsdurchführung & Messergebnisse

Anmerkung. In den Tabellen ist ab ca. 120mV ein Sprung der Signifikanten Stellen zu beobachten. Dies liegt am Messgerätebereich, da dieser automatisch umschaltet, wie in

der Geräteliste ersichtlich ist.

Bevor die Messungen beginnen, gilt es die Winkelskalen einzustellen. Dazu schließt man die Blende komplett, entfernt den Halbkreisprisma und richtet den Detektor zentral auf den Laser. Das ist die null-Position. Der Prisma wird wieder eingesetzt und so eingestellt, dass der reflektierte Strahl wieder zum Laser zurückreflektiert wird. Das ist die null-Position des Prismas. Zur Überprüfung wird der Prisma auf 45.0° gedreht und der Detektor auf 90.0° . Der reflektierte Strahl sollte genau auf den Detektor fallen. Dies tut er jedoch nur bei einem Winkel von 90.7° , was bedeutet, dass die Messung eine Winkelsicherheit von $\Delta\varphi \pm 0.7\text{deg.}$ hat.

Im ersten Teil mit dem Reflexions-Refraktometer wird der reflektierte Strahl einer Luft-Glas Grenzschicht gemessen. Zuvor wird jedoch noch der Brewsterwinkel bestimmt. Bei entfernten Prisma wird einmal für p-Polarisiertes (110°) und einmal für s-Polarisiertes (200°) Licht die Referenzspannung U_0 gemessen. Der Prisma wird wieder eingesetzt und der Versuch wird wie in Abbildung 3 aufgebaut. Durch schrittweises Drehen des Prismas wird der Einfallswinkel φ_{Ein} verändert. Der Detektorwinkel φ_D wird durch Drehen des Detektors bestimmt. Um genau die Mitte des Detektors zu treffen, wird die Blende geschlossen und der reflektierte Strahl auf die Mitte der Blende gerichtet. Bei geöffneter Blende wird anschließend die reflektierte Spannung U_R für einmal p-Polarisiertes und einmal für s-Polarisiertes Licht gemessen. Durch Verdecken des Lasers wird die Detektorspannung U_D gemessen. Dies wird insgesamt 15 mal wiederholt.

Tab. 2: Messergebnisse für eine Luft-Glas Grenzfläche bei p-Polarisiertem Licht.

Nr.	$U_0 \pm 0.15$ / mV	$U_D \pm 0.009$ / mV	U_R / mV	$\varphi_{\text{Ein}} \pm 0.7$ / deg.	$\varphi_D \pm 0.7$ / deg.
1	826.32	-5.047	29.097 ± 0.012	15.0	-147.8
2	826.32	-5.184	15.378 ± 0.010	20.0	-139.2
3	826.32	-5.396	13.262 ± 0.010	25.0	-128.0
4	826.32	-5.594	10.798 ± 0.010	30.0	-119.7
5	826.32	-5.619	7.032 ± 0.009	35.0	-109.4
6	826.32	-5.863	3.184 ± 0.009	40.0	-99.2
7	826.32	-5.934	-1.239 ± 0.008	45.0	-87.9
8	826.32	-5.932	-4.141 ± 0.008	50.0	-79.1
9	826.32	-5.972	-5.824 ± 0.008	55.0	-68.5
10	826.32	-5.962	-4.574 ± 0.008	60.0	-60.2
11	826.32	-5.954	4.178 ± 0.009	65.0	-49.8
12	826.32	-5.905	26.375 ± 0.012	70.0	-39.4
13	826.32	-5.874	82.346 ± 0.018	75.0	-28.7
14	826.32	-5.874	183.75 ± 0.07	80.0	-19.2
15	826.32	-5.852	419.78 ± 0.10	85.0	-8.2

Tab. 3: Messergebnisse für eine Luft-Glas Grenzfläche bei s-Polarisiertem Licht.

Nr.	$U_0 \pm 0.12$ / mV	$U_D \pm 0.009$ / mV	U_R / mV	$\varphi_{Ein} \pm 0.7$ / deg.	$\varphi_D \pm 0.7$ / deg.
1	555.54	-5.047	14.638 ± 0.010	15.0	-147.8
2	555.54	-5.184	16.944 ± 0.011	20.0	-139.2
3	555.54	-5.396	17.215 ± 0.011	25.0	-128.0
4	555.54	-5.594	18.226 ± 0.011	30.0	-119.7
5	555.54	-5.619	22.588 ± 0.011	35.0	-109.4
6	555.54	-5.863	27.110 ± 0.012	40.0	-99.2
7	555.54	-5.934	37.612 ± 0.013	45.0	-87.9
8	555.54	-5.932	46.118 ± 0.014	50.0	-79.1
9	555.54	-5.972	58.697 ± 0.016	55.0	-68.5
10	555.54	-5.962	78.027 ± 0.018	60.0	-60.2
11	555.54	-5.954	100.634 ± 0.020	65.0	-49.8
12	555.54	-5.905	136.88 ± 0.07	70.0	-39.4
13	555.54	-5.874	208.06 ± 0.08	75.0	-28.7
14	555.54	-5.874	280.71 ± 0.09	80.0	-19.2
15	555.54	-5.852	392.42 ± 0.10	85.0	-8.2

Für eine Glas-Luft Grenzfläche wird der Versuch wiederholt. Dazu dreht man den Prismatisch auf 180° , dreht den Prisma um und somit hat man eine neue null-Position auf der Winkelskala.

Tab. 4: Messergebnisse für eine Glas-Luft Grenzfläche bei p-Polarisiertem Licht.

Nr.	$U_0 \pm 0.15$ / mV	$U_D \pm 0.009$ / mV	U_R / mV	$\varphi_{Ein} \pm 0.7$ / deg.	$\varphi_D \pm 0.7$ / deg.
1	826.32	-5.425	10.268 ± 0.010	15.0	-148.6
2	826.32	-5.359	6.894 ± 0.009	20.0	-139.1
3	826.32	-5.511	1.776 ± 0.009	25.0	-128.1
4	826.32	-5.543	-2.431 ± 0.008	30.0	-120.5
5	826.32	-5.719	-0.478 ± 0.008	35.0	-110.0
6	826.32	-5.789	36.692 ± 0.013	40.0	-99.8
7	826.32	-5.936	519.59 ± 0.12	45.0	-88.7
8	826.32	-5.908	510.97 ± 0.12	55.0	-68.4
10	826.32	-5.955	557.28 ± 0.12	60.0	-60.4
11	826.32	-5.963	589.87 ± 0.13	65.0	-50.1
12	826.32	-5.915	638.36 ± 0.13	70.0	-39.8
13	826.32	-5.832	668.14 ± 0.14	75.0	-29.1
14	826.32	-5.817	688.48 ± 0.14	80.0	-19.4
15	826.32	-5.879	700.82 ± 0.14	85.0	-8.5

Tab. 5: Messergebnisse für eine Glas-Luft Grenzfläche bei s-Polarisiertem Licht.

Nr.	$U_0 \pm 0.12$ / mV	$U_D \pm 0.009$ / mV	U_R / mV	$\varphi_{Ein} \pm 0.7$ / deg.	$\varphi_D \pm 0.7$ / deg.
1	555.54	-5.425	12.193 ± 0.010	15.0	-148.6
2	555.54	-5.359	16.648 ± 0.010	20.0	-139.1
3	555.54	-5.511	21.414 ± 0.011	25.0	-128.1
4	555.54	-5.543	29.556 ± 0.012	30.0	-120.5
5	555.54	-5.719	55.858 ± 0.015	35.0	-110.0
6	555.54	-5.789	119.634 ± 0.023	40.0	-99.8
7	555.54	-5.936	367.57 ± 0.10	45.0	-88.7
8	555.54	-5.908	360.52 ± 0.10	50.0	-79.5
9	555.54	-5.915	346.67 ± 0.10	55.0	-68.4
10	555.54	-5.955	378.43 ± 0.10	60.0	-60.4
11	555.54	-5.963	388.25 ± 0.10	65.0	-50.1
12	555.54	-5.915	409.67 ± 0.10	70.0	-39.8
13	555.54	-5.832	427.86 ± 0.11	75.0	-29.1
14	555.54	-5.817	447.67 ± 0.11	80.0	-19.4
15	555.54	-5.879	482.37 ± 0.11	85.0	-8.5

Im dritten Teil des Experimentes mit dem Reflexions-Refraktometer wird der brechende-Winkel einer Luft-Glas Grenzfläche bestimmt. Dazu wird der Versuch erneut wie in Abbildung 3 aufgebaut. Durch drehen des Prisma in die andere Richtung ist der gebrochene Strahl erkennbar. Der Detektor wird auf diesen ausgerichtet und die Winkel werden insgesamt 10 mal gemessen.

Tab. 6: Einfallswinkel φ_{Ein} und brechender Winkel φ_D einer Luft-Glas Grenzfläche.

Nr.	$\varphi_{Ein} \pm 0.7$ / deg.	$\varphi_D \pm 0.7$ / deg.
1	20.0	-6.8
2	25.0	-8.1
3	30.0	-10.0
4	35.0	-11.3
5	40.0	-13.7
6	45.0	-15.7
7	50.0	-19.2
8	55.0	-21.4
9	60.0	-24.2
10	65.0	-27.0

Im letzten Teil des Experimentes werden mithilfe eines Abbe-Refraktometers die Brechungsindizes von Flüssigkeiten bestimmt. Dazu Reinigt man zuvor den Beleuchtungsprisma (Abb. 5) mit destillierten Wasser, um sicher zu gehen, dass vom vorherigen Versuch keine Rückstände vorhanden sind. Man gibt einige Tropfen destilliertes Wasser auf den Messprisma und klappt den Beleuchtungsprisma zu. Durch drehen des Einstellknopfes (Abb. 5) wird die Hell-Dunkel Grenze auf das Fadenkreuz ausgerichtet. Mit dem Kompensatorknopf wird die Farbaufspaltung korrigiert. Im Okular lässt sich der Brechungsindex n_D sowie die Brix ablesen. Am Kompensatorknopf wird der Wert abgelesen. Dies wird für eine Zuckerlösung wiederholt. Die Unsicherheiten ergeben sich aus der Ableseunsicherheit.

Tab. 7: Brechungsindizes n_D , Brix und Kompensatorwert verschiedener Proben.

Typ	$n_D \pm 0.0005$ /	$Brix \pm 0.5$ / %	Kompensatorwert ± 0.5 /
Wasser	1.3335	0.5	43
Zuckerlösung	1.3755	27.0	42

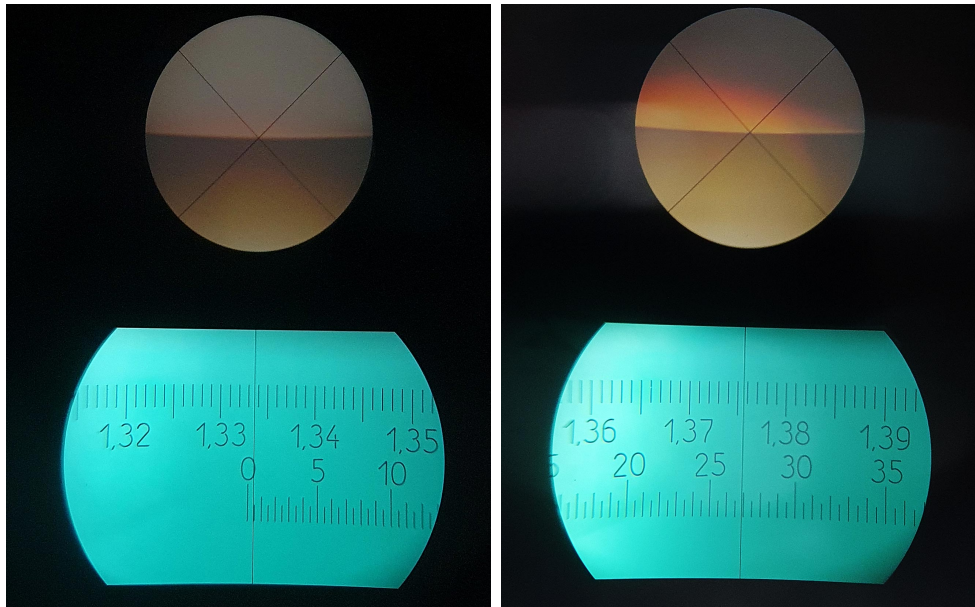


Abb. 6: Blick des Okulares. Brechungsindex des destillierten Wassers (links) und der Zuckerlösung (rechts).

6 Auswertung und Unsicherheitsanalyse

In der Auswertung werden zur erhöhten Genauigkeit durchgehend ungerundete Werte bis zu den Endergebnissen verwendet und nur zur Darstellung gerundet.
Zur Berechnung der Unsicherheiten wird, wenn nicht anders angegeben, die Größtunsicherheitsmethode verwendet.

Für die Werte aus den Tabellen 2 und 3 wird das Reflexionsvermögen R berechnet. Mit der Formel 3 für das Reflexionsvermögen R und den Intensitäten I_0 und I_R (Formeln 1, 2) kommt man auf die folgenden Werte.

Tab. 8: Reflexionsvermögen R sowie Referenzintensität I_0 und Reflexionsintensität I_R für eine Luft-Glas Grenzfläche bei p-Polarisiertem und s-Polarisierten Licht.

Nr.	$I_{0_p} \pm 9/\text{mV}$	I_{R_p} / mV	$R_p /$	$I_{0_s} \pm 6/\text{mV}$	I_{R_s} / mV	$R_s /$
1	832	34.2 ± 0.4	0.0411 ± 0.0008	561	19.7 ± 0.2	0.0352 ± 0.0007
2	832	20.6 ± 0.2	0.0248 ± 0.0005	561	22.2 ± 0.3	0.0395 ± 0.0008
3	832	18.66 ± 0.18	0.0225 ± 0.0005	561	22.7 ± 0.3	0.0404 ± 0.0008
4	832	16.40 ± 0.16	0.0198 ± 0.0004	562	23.9 ± 0.3	0.0425 ± 0.0009
5	832	12.66 ± 0.12	0.0153 ± 0.0003	562	28.3 ± 0.3	0.0503 ± 0.0010
6	833	9.05 ± 0.09	0.0109 ± 0.0003	562	33.0 ± 0.4	0.0588 ± 0.0012
7	833	4.70 ± 0.04	0.00565 ± 0.00010	562	43.6 ± 0.5	0.0776 ± 0.0016
8	833	1.791 ± 0.012	0.00216 ± 0.00004	562	52.1 ± 0.5	0.0928 ± 0.0019
9	833	0.148 ± 0.005	0.000178 ± 0.000004	562	64.7 ± 0.7	0.116 ± 0.003
10	833	1.388 ± 0.007	0.00167 ± 0.00003	562	84.0 ± 0.9	0.150 ± 0.004
11	833	10.14 ± 0.10	0.0122 ± 0.0003	562	107 ± 2	0.190 ± 0.004
12	833	32.3 ± 0.4	0.0389 ± 0.0008	562	143 ± 2	0.255 ± 0.006
13	833	88.3 ± 0.9	0.107 ± 0.003	562	215 ± 3	0.382 ± 0.009
14	833	190 ± 3	0.228 ± 0.005	562	287 ± 4	0.511 ± 0.011
15	833	426 ± 5	0.512 ± 0.011	562	399 ± 5	0.710 ± 0.015

Tab. 9: Reflexionsvermögen R sowie Referenzintensität I_0 und Reflexionsintensität I_R für eine Glas-Luft Grenzfläche bei p-Polarisiertem und s-Polarisierten Licht.

Nr.	$I_{0_p} \pm 9/\text{mV}$	I_{R_p} / mV	$R_p /$	$I_{0_s} \pm 6/\text{mV}$	I_{R_s} / mV	$R_s /$
1	832	15.70 ± 0.15	0.0189 ± 0.0004	561	17.62 ± 0.17	0.0315 ± 0.0007
2	832	12.26 ± 0.12	0.0148 ± 0.0003	561	22.1 ± 0.3	0.0393 ± 0.0008
3	832	7.29 ± 0.07	0.00877 ± 0.00017	562	27.0 ± 0.3	0.0480 ± 0.0010
4	832	3.12 ± 0.03	0.00375 ± 0.00007	562	35.1 ± 0.4	0.0626 ± 0.0013
5	833	5.25 ± 0.05	0.00630 ± 0.00012	562	61.6 ± 0.6	0.110 ± 0.003
6	833	42.5 ± 0.5	0.0511 ± 0.0010	562	126 ± 2	0.224 ± 0.005
7	833	526 ± 6	0.632 ± 0.013	562	374 ± 5	0.666 ± 0.014
8	833	517 ± 6	0.622 ± 0.013	562	367 ± 5	0.653 ± 0.014
9	833	564 ± 6	0.677 ± 0.014	562	353 ± 5	0.629 ± 0.014
10	833	596 ± 7	0.716 ± 0.015	562	385 ± 5	0.685 ± 0.015
11	833	645 ± 7	0.775 ± 0.016	562	395 ± 5	0.703 ± 0.015
12	833	674 ± 7	0.810 ± 0.017	562	416 ± 5	0.741 ± 0.016
13	833	695 ± 8	0.835 ± 0.017	562	434 ± 5	0.773 ± 0.017
14	833	707 ± 8	0.850 ± 0.017	562	454 ± 5	0.809 ± 0.017
15	833	426 ± 5	0.512 ± 0.011	562	489 ± 5	0.870 ± 0.018

Das berechnete Reflexionsvermögen R aus den Tabellen 8 und 9 lässt sich in einen Diagramm in Abhängigkeit des Einfallswinkels φ_{Ein} aus den zuvor genannten Tabellen darstellen. Zum Vergleich werden auch die theoretisch berechneten Reflexionsvermögen aus MATLAB mit einen Brechungsindex von $n = 1.488$ für das Glas dargestellt. Der Brechungsindex n sowie der MATLAB Code wurden aus dem Skript Fresnel entnommen [2]. Der MATLAB Code wurde noch etwas verändert und ist im Anhang zu finden.

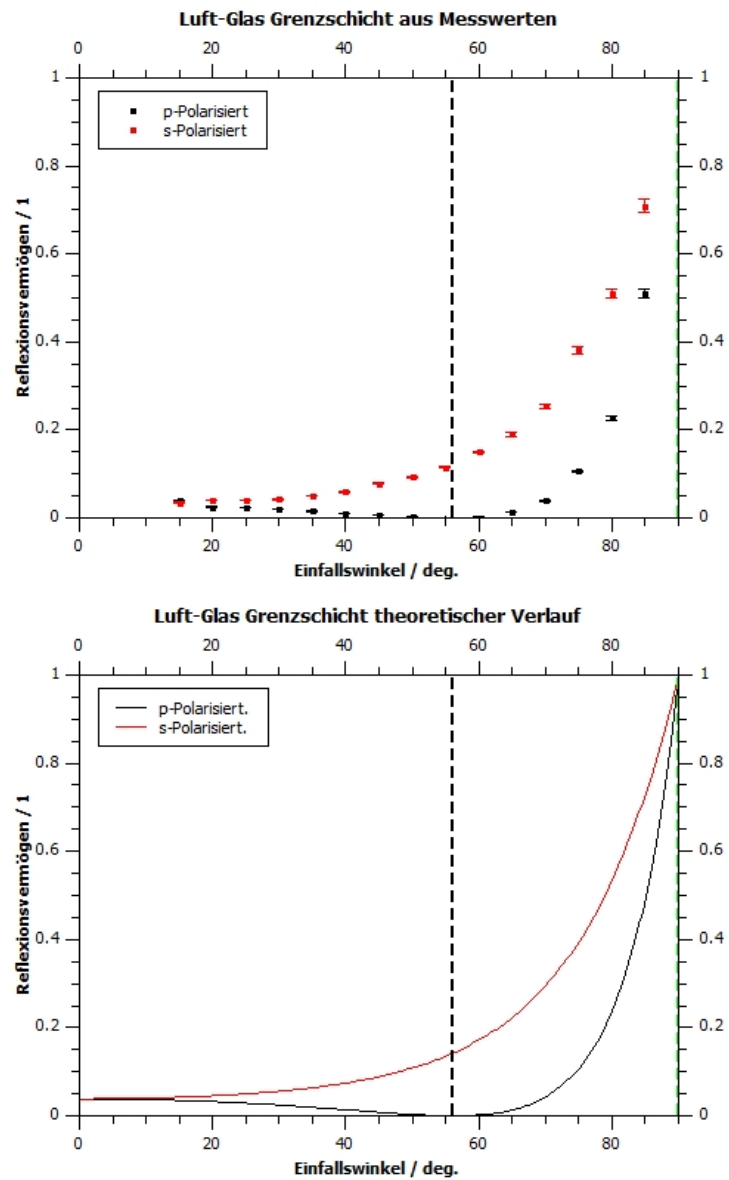


Abb. 7: Reflexionsvermögen R aus den Messwerten und theoretisch berechnetes Reflexionsvermögen R aus MATLAB für eine Luft-Glas Grenzschicht. Die Schwarz-Strichlierte Linie kennzeichnet den Brewsterwinkel bei ca. 56° , die Grün-Strichlierte Linie den Grenzwinkel der Totalreflexion bei ca. 90° .

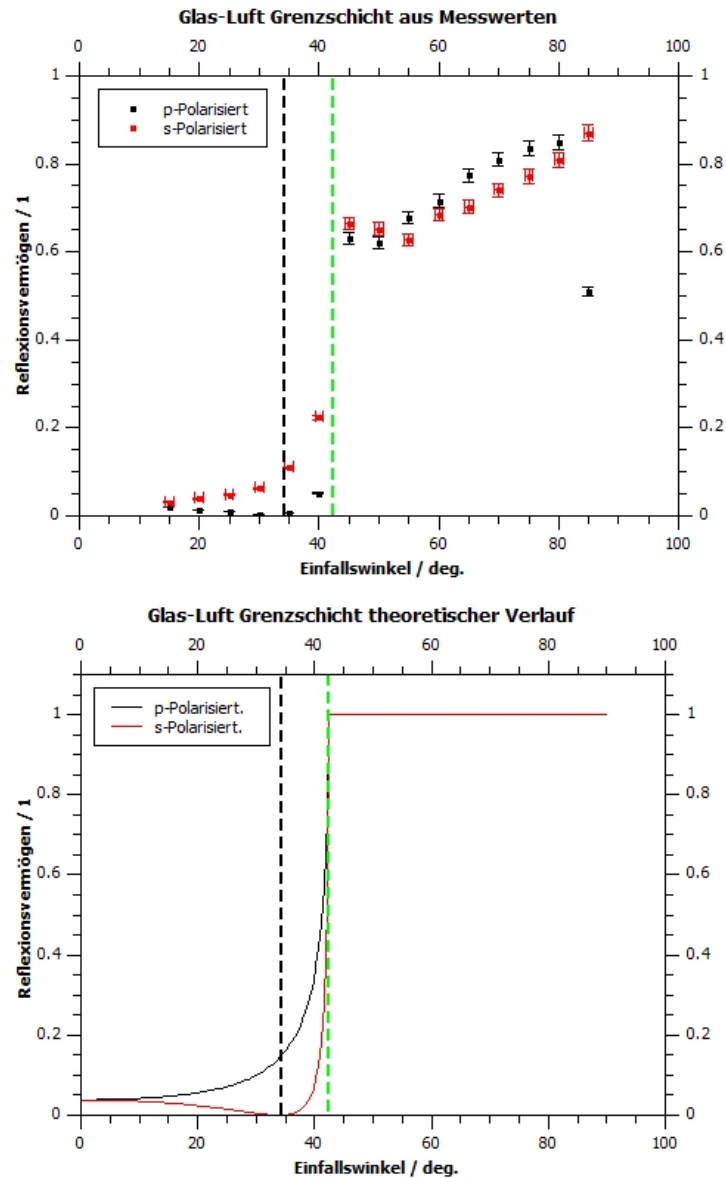


Abb. 8: Reflexionsvermögen R aus den Messwerten und theoretisch berechnetes Reflexionsvermögen R aus MATLAB für eine Glas-Luft Grenzschicht.

Die Schwarz-Strichlierte Linie kennzeichnet den Brewsterwinkel bei ca. 34° , die Grün-Strichlierte Linie den Grenzwinkel der Totalreflexion bei ca. 42° .

Anmerkung, in den Diagrammen ist die Unsicherheit des Einfallswinkels kaum sichtbar, da diese sehr klein ausfällt.

Mit den Messwerten aus der Tabelle 6 wird das Brechungsgesetz (4) bewiesen. Dazu berechnet man mit den Daten aus Tabelle 7 den Brechenden Winkel φ_{brech} . Mit bekannten Brechungsindizes n lässt sich der Brechungswinkel φ_{brech} berechnen. Der Brechungsindex von Luft beträgt dabei $n_L = 1.0$, der Brechungswinkel für Glas beträgt $n_G = 1.488$ [2]. Eingesetzt in die Formel 5 kommt man für den Brechenden Winkel auf folgende Werte.

Tab. 10: Brechender Winkel φ_{brech} berechnet aus den Brechungsindizes n für eine Luft-Glas Grenzfläche.

Nr.	$\varphi_{Ein} \pm 0.7$ / deg.	φ_{brech} / deg.
1	15.0	11 ± 2
2	20.0	14 ± 2
3	25.0	17 ± 2
4	30.0	20 ± 2
5	35.0	23 ± 2
6	40.0	26 ± 3
7	45.0	29 ± 3
8	50.0	31 ± 3
9	55.0	34 ± 3
10	60.0	36 ± 4
11	65.0	38 ± 4
12	70.0	40 ± 4
13	75.0	41 ± 4
14	80.0	42 ± 5
15	85.0	43 ± 5

Die berechneten Brechenden Winkel werden in einen Diagramm mit den gemessenen Brechenden Winkel dargestellt.

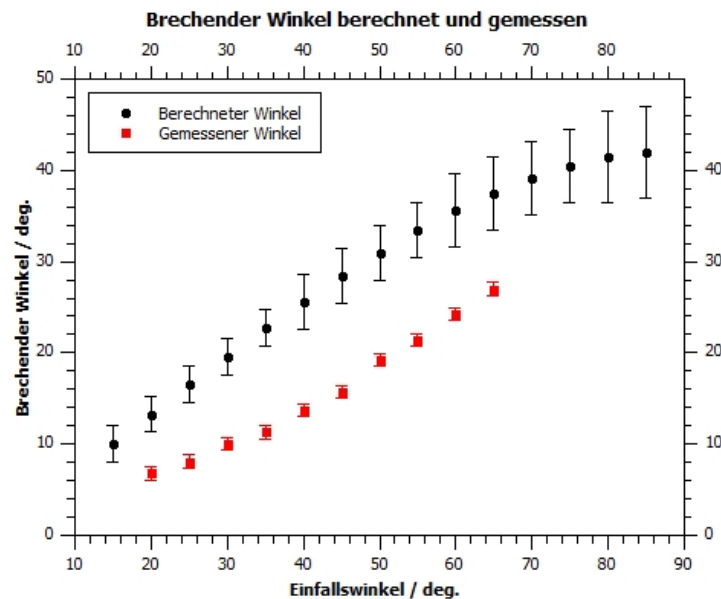


Abb. 9: Brechender Winkel in Abhängigkeit des Einfallswinkels bei einer Luft-Glas Grenzfläche.

Um nun bei dem Teilversuch Abbe-Refraktometer die Dispersion $n_F - n_C$ zu bestimmen, werden die Messdaten aus der Tabelle 7 auf die Skalen des Nomogrammes (2) aufgetragen. Der Brechungsindex n_D und der Kompensatorwert werden eingezeichnet und geradlinig Verbunden. Auf der dazwischenliegenden Skala befindet sich der Wert der Dispersion $n_F - n_C$.

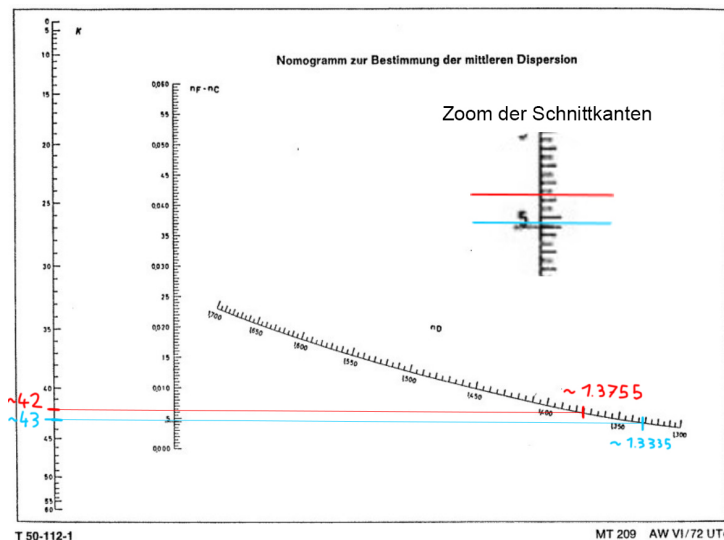


Abb. 10: Dispersion $n_F - n_C$ des Abbe-Refraktometers auf dem Nomogramm. Die rote Linie entspricht der Zuckerlösung, die blaue der des destilierten Wassers.

Wie man hier erkennen kann, beträgt der Wert der Dispersion $n_F - n_C$ für das destilierte Wasser $n_F - n_C = (0.0045 \pm 0.0005)$ sowie für die Zuckerlösung $n_F - n_C = (0.0065 \pm 0.0005)$. Die Unsicherheit ist dabei die Ablesunsicherheit des Nomogrammes.

Somit wurde die Dispersion $n_F - n_C$ bestimmt, jedoch nicht die Menge an gelöstem Zucker in der Flüssigkeit. Laut der Tabelle 7 beträgt die Brix bei der Zuckerlösung (27.0 ± 0.5) %. Mit diesen Angaben kann man sagen, dass die Messprobe zu (27.0 ± 0.5) % Zucker besteht.

7 Diskussion

Ein wichtiges Element der Optik ist das Refraktometer. Sei es zum experimentellen Beweis des Brechungsgesetzes oder zur Bestimmung der Zuckermenge in einer Lösung. In diesem Versuch gilt es das Reflexionsvermögen an der Grenzfläche zweier Medien zu bestimmen. Vergleicht man die Ergebnisse mit den theoretisch berechneten Kurven aus MATLAB so sieht man, dass die Ergebnisse den Erwartungen gerecht werden. Besonders die Messdaten bei der Luft-Glas Grenzfläche sind sehr ähnlich den theoretisch berechneten Kurven. Die Ergebnisse liegen im Rahmen der Unsicherheiten, welche sich aus der Nullpunktunsicherheit der Winkelskalen für den Einfallswinkel ergeben. Die Unsicherheit des Reflexionsvermögens liegt im Rahmen der theoretisch berechneten Werte.

Bei dem Glas-Luft Übergang weichen die Ergebnisse den theoretischen Kurven etwas ab. Da hier der Laserstrahl zuerst auf eine Luft-Glas Grenzfläche, und dann wieder durch den Prisma auf die Glas-Luft Grenzfläche trifft, wird der Transmissionsgrad abgeschwächt. Hier wäre es nötig gewesen, die Referenzintensität dementsprechend zu korrigieren. Die Messdaten befinden sich nach dem Grenzwinkel der Totalreflexion nicht mehr im Rahmen der theoretischen Werte. Vor diesem Winkel liegen die Werte mit Unsicherheit im Rahmen der theoretischen Werte.

Es lässt jedoch für den ersten Teil auf eine nahezu fehlerfreie Versuchsdurchführung schließen.

Im zweiten Teil wird der Brechende Winkel einer Luft-Glas Grenzfläche bestimmt. Die gemessenen Werte weichen den berechneten jedoch um ca. 10° ab. Sie liegen auch nicht im Rahmen der Unsicherheit. Es lässt darauf schließen, dass bei einem der Werte der Nullpunkt des Lasers und des Prismas nicht richtig getroffen wurde.

Im dritten Teil wird die Dispersion mit einem Abbe-Refraktometer gemessen. Durch Ablesen des Brechungsindex und des Kompensatorwertes lässt sich die Dispersion mithilfe des Nomogrammes bestimmen. Die Menge an gelöstem Zucker wird mit der Einheit Brix bestimmt.

Bei diesem Versuch gibt es keine Vergleichswerte, da der Gehalt der Zuckerlösung nicht bekannt ist.

8 Zusammenfassung

Hier noch einmal alle Ergebnisse aus der Auswertung zusammengefasst.

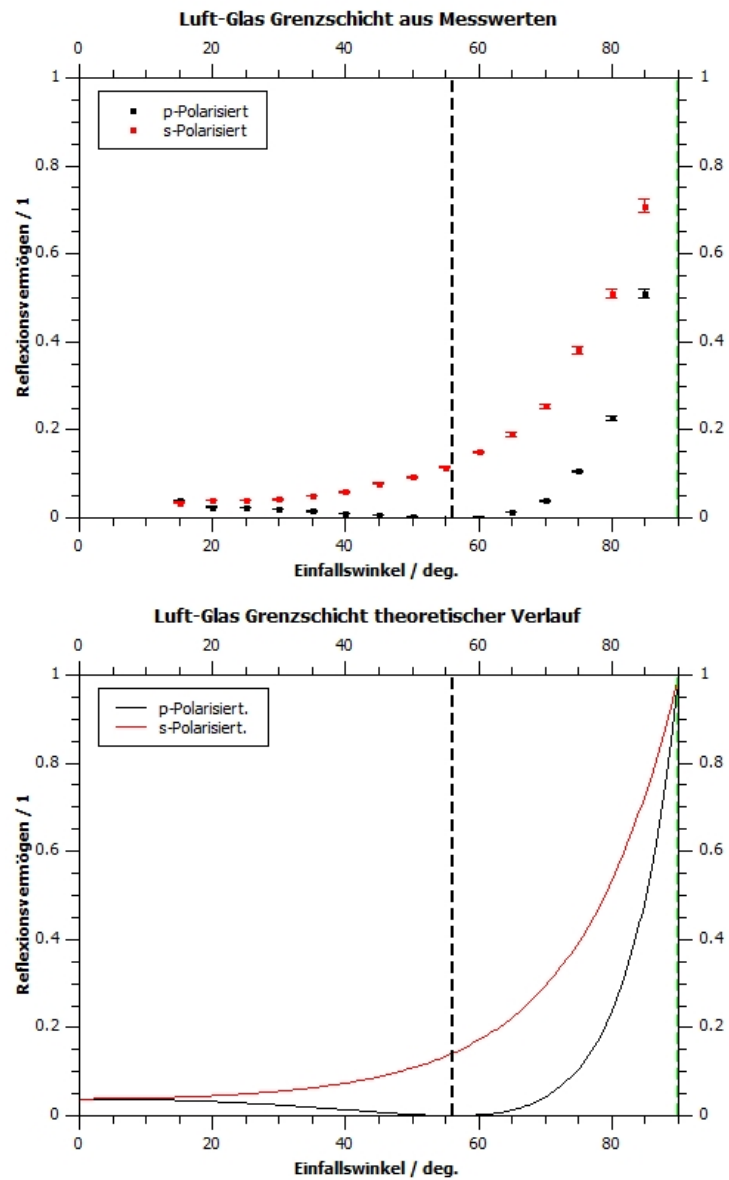


Abb. 11: Reflexionsvermögen R aus den Messwerten und theoretisch berechnetes Reflexionsvermögen R aus MATLAB für eine Luft-Glas Grenzschicht. Die Schwarz-Strichlierte Linie kennzeichnet den Brewsterwinkel bei ca. 56° , die Grün-Strichlierte Linie den Grenzwinkel der Totalreflexion bei ca. 90° .

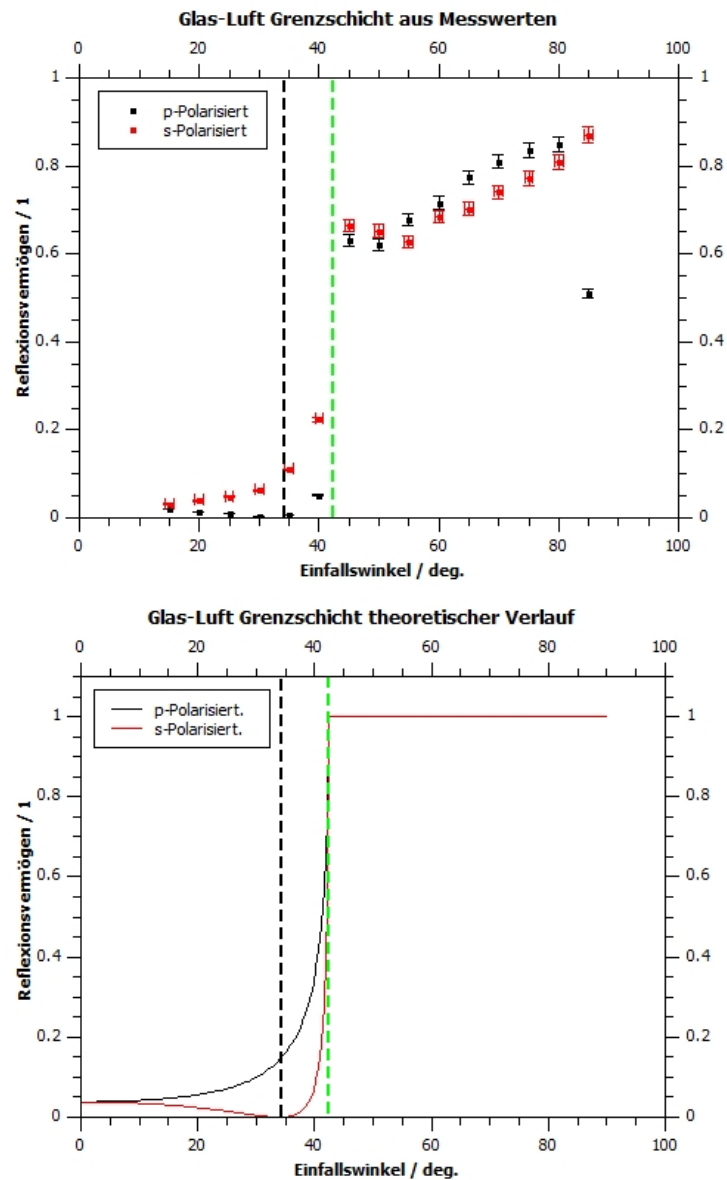


Abb. 12: Reflexionsvermögen R aus den Messwerten und theoretisch berechnetes Reflexionsvermögen R aus MATLAB für eine Glas-Luft Grenzschicht. Die Schwarz-Strichlierte Linie kennzeichnet den Brewsterwinkel bei ca. 34° , die Grün-Strichlierte Linie den Grenzwinkel der Totalreflexion bei ca. 42° .

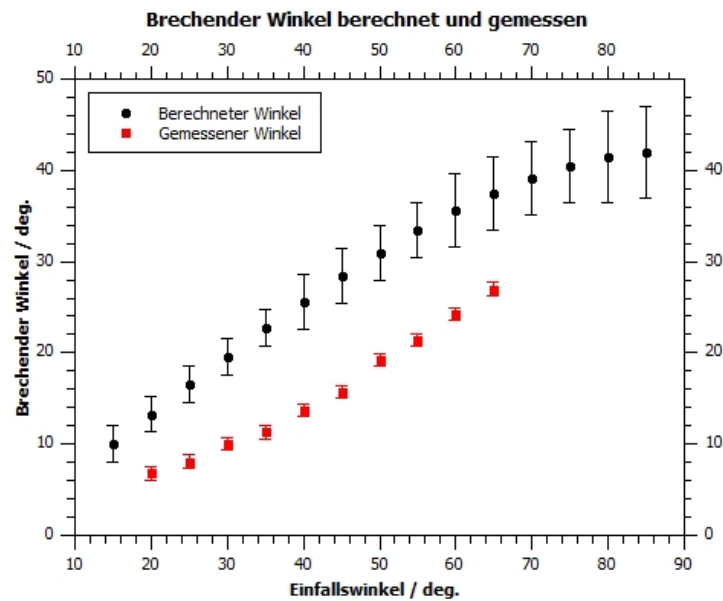


Abb. 13: Brechender Winkel in Abhängigkeit des Einfallswinkels bei einer Luft-Glas Grenzfläche.

- Dispersion destilliertes Wasser $n_F - n_C = (0.0045 \pm 0.0005)$
- Dispersion Zuckerlösung $n_F - n_C = (0.0065 \pm 0.0005)$
- Zuckergehalt in % = $(27.0 \pm 0.5)\%$

9 Anhang

% Berechnung der Reflexion an einer Grenzfläche zwischen zwei Medien mit
% Lichteinfall von Seite 1 / n1

%default für Plots

set(0,'defaultaxesfontname','arial','defaultaxesfontsize',12,'defaultline

%Brechzahlen

n1=1.488; %Glas

n2=1.0; %Luft

%Luft-Glas Grenzfläche

aein1=linspace(0,90,200).'*pi/180; % Einfallswinkel alpha_1, 200 Werte (0

b1=asin(sin(aein1)*n1/n2); % Brechungswinkel beta_1, berechnet aus dem Br

rho_p1=(n2*cos(aein1)-n1*cos(b1))./(n2*cos(aein1)+n1*cos(b1)); % Reflexio

rho_s1=(n1*cos(aein1)-n2*cos(b1))./(n1*cos(aein1)+n2*cos(b1)); % Reflexio

%Glas-Luft Grenzfläche

aein2=linspace(0,90,200).'*pi/180; % Einfallswinkel alpha_2, 200 Werte (0

b2=asin(sin(aein2)*n2/n1); % Brechungswinkel beta_2, berechnet aus dem Br

rho_p2=(n2*cos(aein2)-n1*cos(b2))./(n2*cos(aein2)+n1*cos(b2)); % Reflexio

rho_s2=(n1*cos(aein2)-n2*cos(b2))./(n1*cos(aein2)+n2*cos(b2)); % Reflexio

```
R_s1=abs(rho_s1.^2); % Reflexionsvermögen für s-Pol. für Luft-Glas Grenzfl.  
R_p1=abs(rho_p1.^2); % Reflexionsvermögen für p-Pol. für Luft-Glas Grenzfl.  
R_s2=abs(rho_s2.^2); % Reflexionsvermögen für p-Pol. für Luft-Glas Grenzfl.  
R_p2=abs(rho_p2.^2); % Reflexionsvermögen für p-Pol. für Luft-Glas Grenzfl.  
  
% Plotten der Funktion  
figure(1);  
clf();  
plot(aein1*180/pi,[R_s1, R_p1]); %Plot der Funktionen für Luft-Glas  
hold on;  
plot(aein2*180/pi,[R_s2, R_p2]); %Plot der Funktionen für Glas Luft  
title('Eisner, Waldl');  
xlabel('Einfallswinkel / °');  
ylabel('Reflexionsvermögen / 1');  
legend('s-Pol_GL','p-Pol_GL','s-Pol_LG','p-Pol_LG','location','northwest');  
ylim([0,1.05]);  
xlim([0,90]);  
hold on;  
  
%Schreiben der Daten in eine .csv für QtiPlot  
dlmwrite('Reflexionswerte-Luft-Glas.csv', [aein1*180/pi, R_s1, R_p1],'\t')  
dlmwrite('Reflexionswerte-Glas-Luft.csv', [aein2*180/pi, R_s2, R_p2],'\t')
```

Literatur

- [1] ARD-Alpha. *Totalreflexion*. (besucht am 24.11.2023). URL: <https://www.ardalpha.de/lernen/alpha-lernen/faecher/physik/totalreflexion-100.html#:~:text=Der%20Einfallswinkel%20CE%B1G%2C%20der,Kombination%20der%20beiden%20Medien%20bezeichnet..>
- [2] TU Graz TeachCenter. *"Laborübungen 2: Elektrizität, Magnetismus, Optik". Kurs: PHYD30UF*. (besucht am 24.11.2023). URL: <https://tc.tugraz.at/main/course/view.php?id=796>.
- [3] TME. *U3402A Digital Multimeter*. (besucht am 24.11.2023). URL: <https://www.tme.eu/Document/faa91173d78d7b0bc94b3b58ec8311e8/U3402-90001.pdf>.
- [4] Mettler Toledo. *Brix Messung*. (besucht am 24.11.2023). URL: <https://www.mt.com/at/de/home/perm-lp/product-organizations/ana/brix-meters.html#:~:text=Brix%20ist%20eine%20Masseinheit%20f%C3%BCr,Saccharose%20in%20100%20Gramm%20L%C3%B6sung..>
- [5] Uni Ulm. *Fresnelsche Formeln*. (besucht am 24.11.2023). URL: <http://wwwex.physik.uni-ulm.de/lehre/el-2016/el-2016se40.html>.
- [6] Wikipedia. *Brewster-Winkel*. (besucht am 24.11.2023). URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Brewster-Winkel>.

- [7] Wikipedia. *Fraunhoferlinie*. (besucht am 24.11.2023). URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Fraunhoferlinie>.