

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

LABORÜBUNGEN 2: ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS, OPTIK

Übungsnummer: 10

Übungstitel: Gitter/Prisma (TU)

Betreuer: Valentin Weis

Gruppennummer: 42

Name: Nico Eisner

Name: Philip Waldl

Mat. Nr.: 12214121

Mat. Nr.: 12214120

Datum der Übung: 13.10.2023

WS 2021/2022

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung	3
2 Voraussetzungen & Grundlagen	3
3 Versuchsanordnung	4
4 Geräteliste	6
5 Versuchsdurchführung & Messergebnisse	6
6 Auswertung und Unsicherheitsanalyse	10
7 Diskussion	11
8 Zusammenfassung	11

1 Aufgabenstellung

Das Experiment Grenzflächen / Refraktometer besteht aus zwei 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 werden mit einem Abbe-Refraktometer die Brechungsindizes zweier verschiedener Flüssigkeiten bestimmt.

Alle Informationen und Methodiken wurden uns von der Technischen Universität bereitgestellt [teachcenter2].

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

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

und die Reflexionsintensität

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

Daraus lässt sich das Reflexionsvermögen R mit Unsicherheit ΔR berechnen.

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

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.

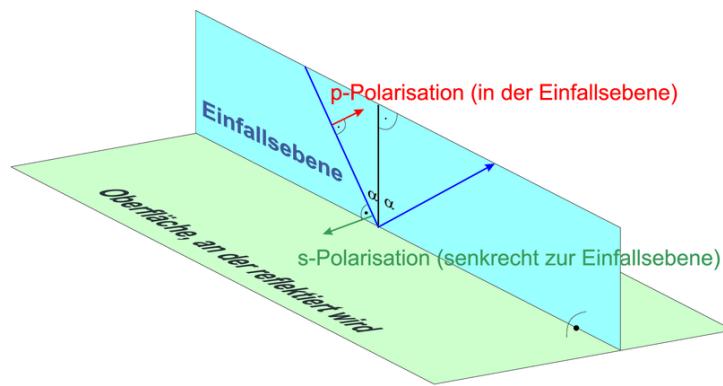


Abb. 1: Darstellung eines p-Polarisierten und s-Polarisierten Lichtstrahles. [Polarisation]

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 .

$$n_1 * \sin(\alpha) = n_2 * \sin(\beta) \quad \Delta\beta = \left| \frac{\partial\beta}{\partial\alpha} * \Delta\alpha \right| + \left| \frac{\partial\beta}{\partial n_1} * \Delta n_1 \right| + \left| \frac{\partial\beta}{\partial n_2} * \Delta n_2 \right| \quad (4)$$

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 $n_f - n_D$ bestimmt.

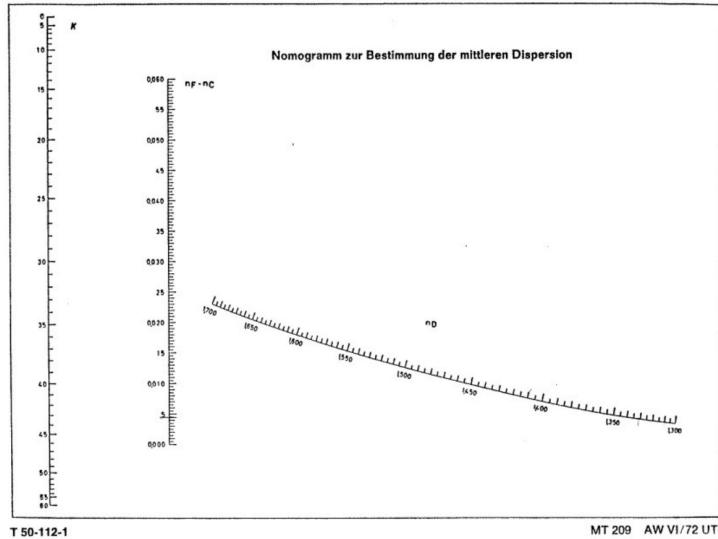


Abb. 2: Nomogramm zur bestimmung der mittleren Dispersion $n_f - n_D$. Entnommen aus Skript Fresnel Seite 14. [teachcenter2]

3 Versuchsanordnung

Der Versuch ist wie folgt aufgebaut.

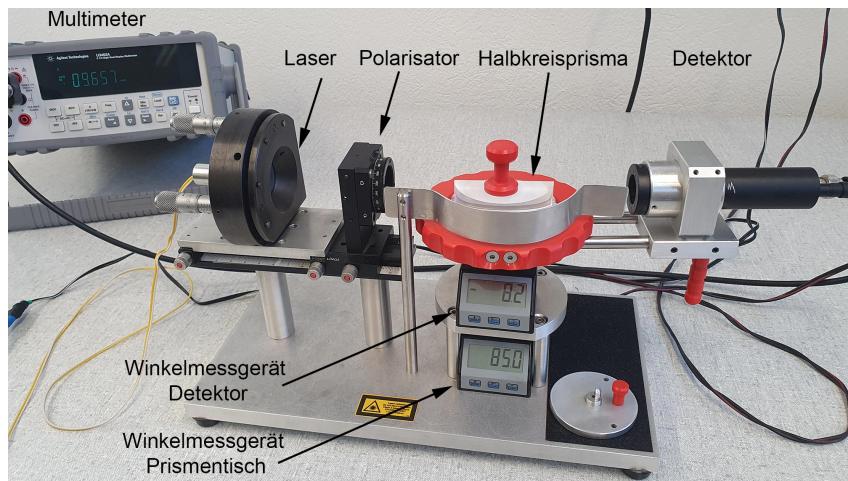


Abb. 3: Aufbau des Versuches Reflektions-Refraktometer

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.

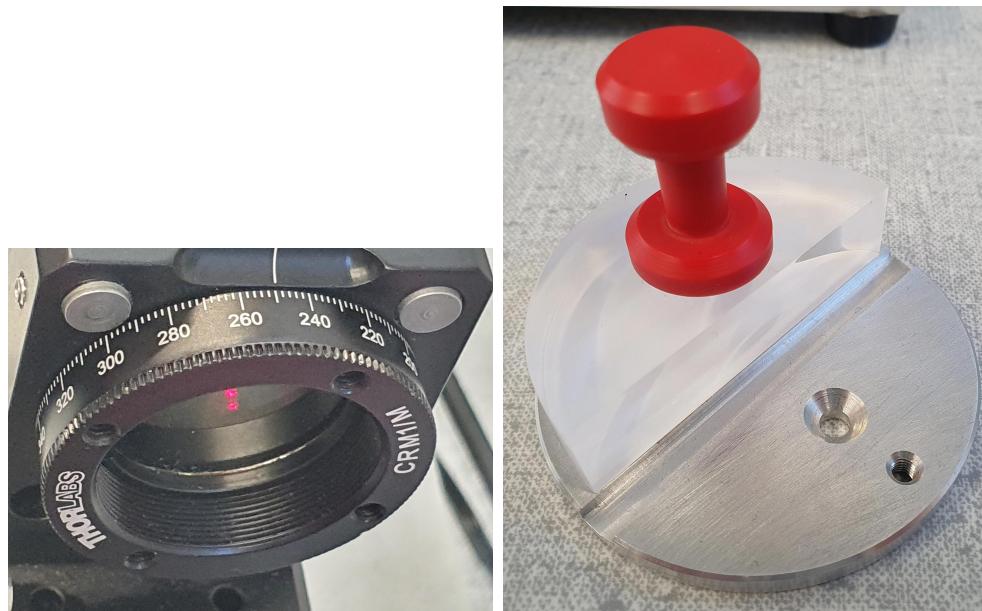


Abb. 4: Polarisator mit Winkelskala (rechts) und Halbkreisprisma (links).

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 geschlossen, 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.

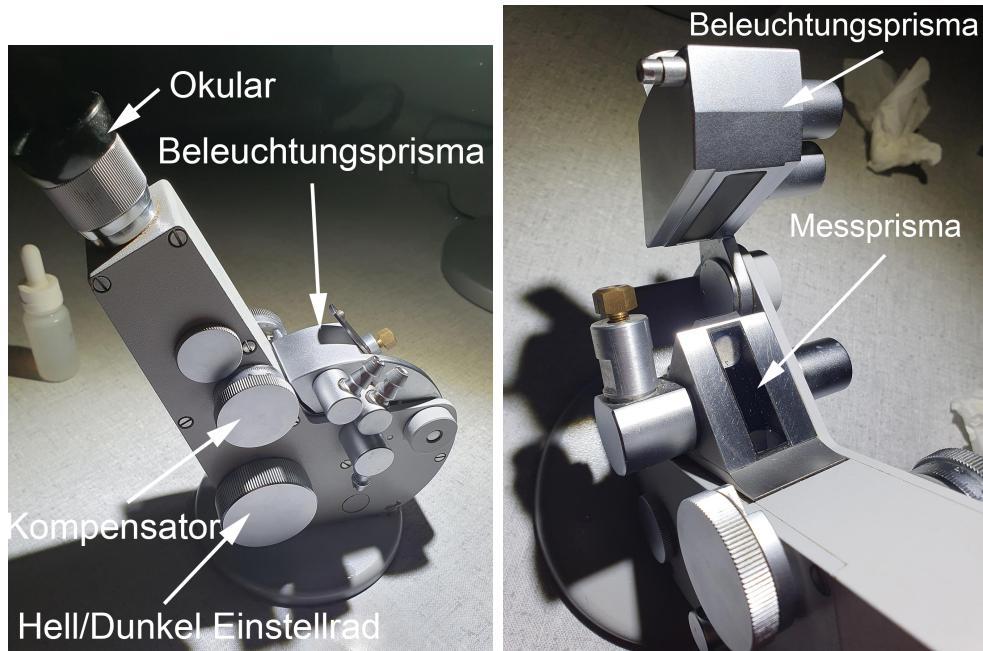


Abb. 5: Aufbau des Versuches Abbe-Refraktometer (links). Beleuchtungsprisma ohne zu messender Flüssigkeit (rechts).

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 $< 120 \text{ mV}$	U3402A	$\pm 0.012\% + 8dig$ [multimeter]
Multimeter $120 - 1200 \text{ mV}$	U3402A	$\pm 0.012\% + 5dig$ [multimeter]
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 Winkelunsicherheit 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 Prismenstiftes 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.	$U_0 \pm 0.15 / \text{mV}$	$U_D \pm 0.009 / \text{mV}$	U_R / mV	$\varphi_{Ein} \pm 0.7 / \text{deg.}$	$\varphi_D \pm 0.7 / \text{deg.}$
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 \pm 0.010	15.0	-147.8
2	555.54	-5.184	16.944 \pm 0.011	20.0	-139.2
3	555.54	-5.396	17.215 \pm 0.011	25.0	-128.0
4	555.54	-5.594	18.226 \pm 0.011	30.0	-119.7
5	555.54	-5.619	22.588 \pm 0.011	35.0	-109.4
6	555.54	-5.863	27.110 \pm 0.012	40.0	-99.2
7	555.54	-5.934	37.612 \pm 0.013	45.0	-87.9
8	555.54	-5.932	46.118 \pm 0.014	50.0	-79.1
9	555.54	-5.972	58.697 \pm 0.016	55.0	-68.5
10	555.54	-5.962	78.027 \pm 0.018	60.0	-60.2
11	555.54	-5.954	100.634 \pm 0.020	65.0	-49.8
12	555.54	-5.905	136.88 \pm 0.07	70.0	-39.4
13	555.54	-5.874	208.06 \pm 0.08	75.0	-28.7
14	555.54	-5.874	280.71 \pm 0.09	80.0	-19.2
15	555.54	-5.852	392.42 \pm 0.10	85.0	-8.2

Für eine Glas-Luft Grenzfläche wird der Versuch wiederholt. Dazu dreht man den Prismentisch 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 \pm 0.010	15.0	-148.6
2	826.32	-5.359	6.894 \pm 0.009	20.0	-139.1
3	826.32	-5.511	1.776 \pm 0.009	25.0	-128.1
4	826.32	-5.543	-2.431 \pm 0.008	30.0	-120.5
5	826.32	-5.719	-0.478 \pm 0.008	35.0	-110.0
6	826.32	-5.789	36.692 \pm 0.013	40.0	-99.8
7	826.32	-5.936	519.59 \pm 0.12	45.0	-88.7
8	826.32	-5.908	510.97 \pm 0.12	55.0	-68.4
10	826.32	-5.955	557.28 \pm 0.12	60.0	-60.4
11	826.32	-5.963	589.87 \pm 0.13	65.0	-50.1
12	826.32	-5.915	638.36 \pm 0.13	70.0	-39.8
13	826.32	-5.832	668.14 \pm 0.14	75.0	-29.1
14	826.32	-5.817	688.48 \pm 0.14	80.0	-19.4
15	826.32	-5.879	700.82 \pm 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 \pm 0.010	15.0	-148.6
2	555.54	-5.359	16.648 \pm 0.010	20.0	-139.1
3	555.54	-5.511	21.414 \pm 0.011	25.0	-128.1
4	555.54	-5.543	29.556 \pm 0.012	30.0	-120.5
5	555.54	-5.719	55.858 \pm 0.015	35.0	-110.0
6	555.54	-5.789	119.634 \pm 0.023	40.0	-99.8
7	555.54	-5.936	367.57 \pm 0.10	45.0	-88.7
8	555.54	-5.908	360.52 \pm 0.10	50.0	-79.5
9	555.54	-5.915	346.67 \pm 0.10	55.0	-68.4
10	555.54	-5.955	378.43 \pm 0.10	60.0	-60.4
11	555.54	-5.963	388.25 \pm 0.10	65.0	-50.1
12	555.54	-5.915	409.67 \pm 0.10	70.0	-39.8
13	555.54	-5.832	427.86 \pm 0.11	75.0	-29.1
14	555.54	-5.817	447.67 \pm 0.11	80.0	-19.4
15	555.54	-5.879	482.37 \pm 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 Kompassknopf wird die Farbaufspaltung korrigiert. Im Okular lässt sich der Brechungsindex n_D sowie die Brix ablesen. Am Kompassknopf 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	$n_D \pm 0.0005 /$	$Brix \pm 0.25 / \%$	Kompensatorwert $\pm 0.5 /$
Wasser	1.3335	0.5	43
Zuckerlösung	1.3755	27.0	42

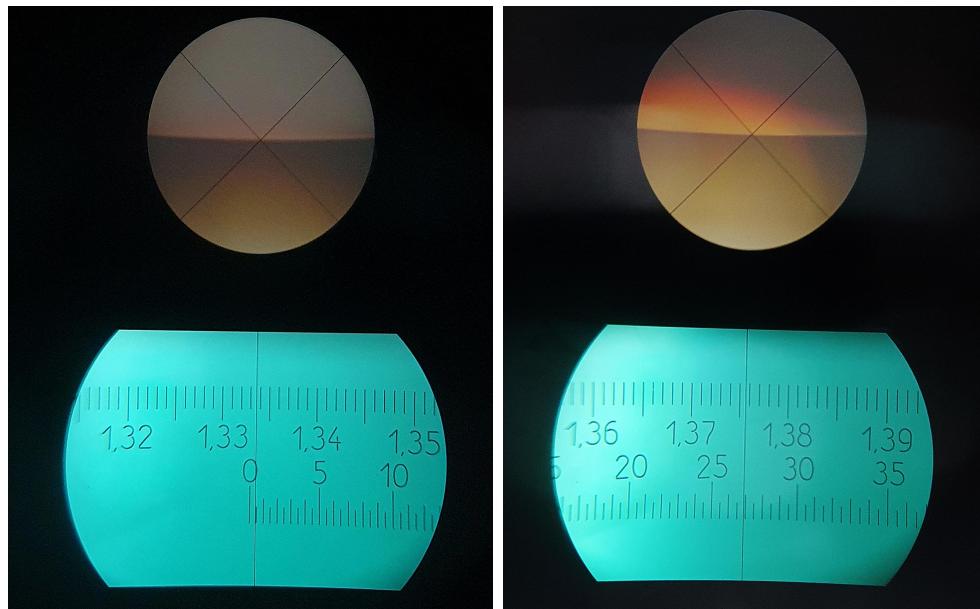


Abb. 6: Blick des Okulares. Brechungsindex des destillierten Wassers (links) und der Zuckerlösung (rechts).

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.	$I_{0-p} \pm 9$ / mV	I_{R-p} / mV	R_p / mV	$I_{0-s} \pm 6$ / deg.	I_{R-s} / deg.	R_s /
1	832	34.2 ± 0.4	0.1 ± 0.4	561	19.7 ± 0.2	0.1 ± 0.3
2	832	20.6 ± 0.2	0.1 ± 0.2	561	22.2 ± 0.3	0.1 ± 0.3
3	832	18.66 ± 0.18	0.03 ± 0.19	561	22.7 ± 0.3	0.1 ± 0.3
4	832	16.40 ± 0.16	0.02 ± 0.17	562	23.9 ± 0.3	0.1 ± 0.3
5	832	12.66 ± 0.12	0.02 ± 0.13	562	28.3 ± 0.3	0.1 ± 0.3
6	833	9.05 ± 0.09	0.02 ± 0.09	562	33.0 ± 0.4	0.1 ± 0.4
7	833	4.70 ± 0.04	0.01 ± 0.05	562	43.6 ± 0.5	0.1 ± 0.5
8	833	1.791 ± 0.012	0.003 ± 0.018	562	52.1 ± 0.5	0.1 ± 0.6
9	833	0.148 ± 0.005	0.001 ± 0.002	562	64.7 ± 0.7	0.2 ± 0.7
10	833	1.388 ± 0.007	0.002 ± 0.014	562	84.0 ± 0.9	0.2 ± 0.9
11	833	10.14 ± 0.10	0.02 ± 0.10	562	107 ± 2	1 ± 2
12	833	32.3 ± 0.4	0.1 ± 0.4	562	143 ± 2	1 ± 2
13	833	88.3 ± 0.9	0.2 ± 0.9	562	215 ± 3	1 ± 3
14	833	190 ± 3	1 ± 2	562	287 ± 4	1 ± 4
15	833	426 ± 5	1 ± 5	562	399 ± 5	1 ± 5

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.	$I_{0-p} \pm 9$ / mV	I_{R-p} / mV	R_p / mV	$I_{0-s} \pm 6$ / deg.	I_{R-s} / deg.	R_s /
1	832	15.70 ± 0.15	0.02 ± 0.16	561	17.62 ± 0.17	0.04 ± 0.19
2	832	12.26 ± 0.12	0.02 ± 0.12	561	22.1 ± 0.3	0.04 ± 0.3
3	832	7.29 ± 0.07	0.01 ± 0.08	562	27.0 ± 0.3	0.05 ± 0.3
4	832	3.12 ± 0.03	0.01 ± 0.04	562	35.1 ± 0.4	0.07 ± 0.4
5	833	5.25 ± 0.05	0.01 ± 0.06	562	61.6 ± 0.6	0.11 ± 0.74
6	833	42.5 ± 0.5	0.1 ± 0.5	562	126 ± 2	1 ± 2
7	833	526 ± 6	1 ± 6	562	374 ± 5	1 ± 4
8	833	517 ± 6	1 ± 6	562	367 ± 5	1 ± 4
9	833	564 ± 6	1 ± 6	562	353 ± 5	1 ± 4
10	833	596 ± 7	1 ± 6	562	385 ± 5	1 ± 5
11	833	645 ± 7	1 ± 7	562	395 ± 5	1 ± 5
12	833	674 ± 7	1 ± 7	562	416 ± 5	1 ± 5
13	833	695 ± 8	1 ± 7	562	434 ± 5	1 ± 5
14	833	707 ± 8	1 ± 7	562	454 ± 5	1 ± 5
15	833	426 ± 5	1 ± 5	562	489 ± 5	1 ± 6

7 Diskussion

8 Zusammenfassung