

Fakultät für Physik

SS 14

**Physikalisches Praktikum
für das Bachelorstudium**

PROTOKOLL

Experiment (Nr., Titel):
PS05 Polarisation

Datum: 13.3.2014

Namen: Patrick Braun, Johannes Kurz

Kurstag/Gruppe: DO/4

Betreuer: Erhard Schafler

1 Grundlagen, Theorie und Versuchsaufbau

1.1 Brewster Winkel

Durch die Eigenschaft von Licht, aus vertikalen und horizontalen Komponenten zu bestehen, wird bei einer Einstrahlung von Licht auf einen Körper (z.B. von Luft auf Glas) nur ein Teil reflektiert und zwar genau jener Anteil der senkrecht auf die Einfallsebene steht.

Ist Licht nur senkrecht zur Einfallsebene polarisiert, wird immer weniger Licht reflektiert, bis nur noch Hintergrundrauschen fest zu stellen ist. Dieses Rauschen stammt jedoch von Umgebungslicht oder thermischer Strahlung.

Der Winkel des eingestrahlten Lichtes, bei dem nicht mehr reflektiert wird, heißt Brewster Winkel.

Ein einfacher geometrischer Zusammenhang beschreibt wie folgt den Winkel:

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

Gemessen werden kann die Lichtintensität. Sie kann mit Hilfe eines Fotowiderstandes gemessen werden. Die Funktionsweise ist wie folgt: "Je höher der Lichteinfall, desto kleiner wird aufgrund des inneren fotoelektrischen Effekts sein elektrischer Widerstand." [2] Dieser Umstand wird in diesem Versuch benutzt.

Der Aufbau zur Messung des Winkels besteht aus einer planparallelen Platte, einem Polarisator (Prisma, [1](p. 3)) und einer Photodiode (siehe Diskussion). Der Aufbau ist in Abbildung 1 ersichtlich. Wie oben erwähnt, wird ein Ampermeter zur Messung des hervorgerufenen Stroms genutzt.



Abbildung 1: Aufbau zur Messung des Brewster-Winkel

Für eine kontinuierliche Interpolation der Intensitätskurven, wie in der Abbildung in [1](p. 3) oben, müssen für parallel und senkrecht polarisiertes Licht einige Messungen vorgenommen werden.

Diese Messungen werden durch neue Justierung (Abb. 2) des Probekörpers und Ausrichtung der Diode auf das Intensitätsmaximum durchgeführt.



Abbildung 2: Nachjustierung zur Messung des Brewster-Winkel

1.2 Spannungsoptik

Die Doppelbrechung tritt in anisotropen Medien auf und ruft, z.B. durch Verformung oder Kompression, optische Muster hervor [1](p. 6). Verwendet man weißes Licht und normal aufeinander stehende Filter (Polarisator und Analysator, vgl. Aufbau, Abbildung 3), so ist nur durch das Testobjekt Licht sichtbar (Abb. 4). Wird

nun kein weißes Licht, sondern monochromatisches verwendet, werden dunkle Linien bei Erhöhung des Drucks sichtbar.

Diese Linien kommen zu Stande, da durch die Verformung das polarisierte Licht doppelt (*Spannungsdoppelbrechung*) gebrochen wird und in Komponenten anderer Ausrichtung aufgespalten wird. Dadurch kommt es bei diesen Komponenten zu einem Gangunterschied (Bei gleichen Amplituden [1](p. 7)). Ist die Aufspaltung unter einem Winkel von 180° so tritt beim Analysator Auslöschung auf. Dabei ist die beherrschende Größe der Druckunterschied:

$$\delta = \frac{C}{\lambda} \cdot (\sigma_1 - \sigma_2) \cdot d$$

wobei:

δ ... Ordnung der Isokline

λ ... Wellenlänge monochromatisches Licht

C ... gesuchte Materialkonstante in (m^2/N)

σ_x ... Druck

d ... Dicke der Probe

Der Druck wird in diesem Versuch nur in einer Achse auf die Probe ausgeübt, daher ist $\sigma_2 = 0$.

Da die Ordnung der Isokline nicht mit Sicherheit bekannt ist, werden die Gleichungen für je 2 benachbarte Ordnungen subtrahiert und mit dem Druckunterschied 2er Ordnungen gerechnet:

$$C = \frac{\Delta\delta \cdot \lambda}{\Delta\sigma_1 \cdot d}$$

wobei $\Delta\delta = 1$.



Abbildung 3: Aufbau zur optischen Messung einer Doppelbrechung



Abbildung 4: Justierung der Polarisationsfilter mit weißem Licht

Der gemessene Druck in der Presse muss, wegen Flächenunterschied zwischen Pressangriffspunkt und Probendurchmesser, im Verhältnis umgerechnet werden. Da auch die Dicke der Probe in die Rechnung eingeht, kürzt sich diese mit ihrem Anteil an der Probenquerschnittsfläche. Damit verschwindet auch die (korrelierte) Unsicherheit aus der Dicke, und es bleibt nur die Breite der Probe als Messgröße neben dem Druck.

Die in der Literatur übliche Darstellung $S = \frac{\lambda}{C}$ in N/mm ist die letztendlich gesuchte.

1.3 Drehung der Polarisationsebene

In diesem Versuch wird gezeigt, dass in Quarz-Kristall sowie auch Rohrzuckerlösung die Schwingungsebene von linear polarisiertem Licht zu drehen vermögen. Die Rotationsdispersion im Quarz ist darauf zurückzuführen, dass für einen außerordentlichen und einen ordentlichen Lichtstrahl, die sich in gleicher Richtung durch den Quarz bewegen, unterschiedliche Brechzahlen wirken. Dadurch ergibt sich eine Phasendifferenz und damit eine Drehung der Polarisationsebene.

Die Drehrichtung wird mit einem *Halbschattenpolarimeter von Lippich* gezeigt: Weißes Licht gelangt durch ein erstes Prisma und wird polarisiert. Ein Hilfsprisma, nur leicht gegen den Polarisor verdreht, sorgt dafür, dass die Hälfte des Lichtes, nach einem dritten Prisma, dem Analysator, eine leicht unterschiedliche Schwingungsebene hat. Zwischen Hilfsprisma und Analysator wird die Probe (hier der Quarz) eingebbracht und durch ein Fernrohr betrachtet (Abb. 5). Dieses ist mit dem Analysator drehbar und an einem

Goniometer angebracht (in diesem Versuch geht es jedoch nur um die Drehrichtung).

Während das Licht durch den Quarz betrachtet wird, wird nun der Analysator in beide Richtungen gedreht, bis die richtige Farbfolge *grün - blau - rot - gelb*, die den Drehsinn anzeigt, besteht aus den Komplementärfarben der ausgelöschten Wellenlängen.

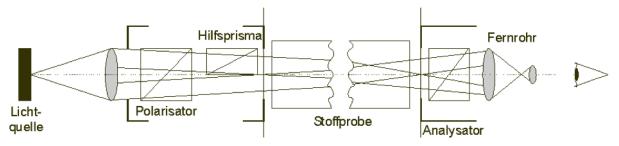


Abbildung 5: Polarimeter

Abbildung 5: Aufbau eines Polarimeters

In der Zuckerlösung wird eine eintretende Welle (linear polarisiert) in 2 entgegengesetzt rotations-polarisierte Wellen aufgespaltet. Diese gleichen sich zwar in ihrer Frequenz und Amplitude (also der halben Amplitude der eintretenden Welle), haben jedoch eine verschiedene Phasengeschwindigkeit.

Durch diese unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten, tritt wieder ein linear polarisierter Strahl aus der Zuckerlösung aus, jedoch ist die Polarisationsebene gedreht, abhängig von der Weglänge in der Lösung.

Gemessen wird mit einem *Polarimeter nach Mitscherlich*. Das Prinzip ist ähnlich dem des Halbschattenpolarimeters aus der Quarzmessung (Abb. 5). Als Lichtquelle wird eine Natriumdampflampe verwendet mit Wellenlänge $\lambda = 590$ nm. Die Küvetten mit der Zuckerlösung wird in einem geschlossenen Schacht im Strahl gehalten. Zuerst wird ohne Zuckerlösung der 0-

Punkt bestimmt, an dem sich die Polarisationsrichtung umkehrt. Danach wird, mit eingelegter Lösung, der Umkehrpunkt bestimmt und daraus der Winkel, um den die Polarisationsebene gedreht wurde. Die gesuchte *spezifische Drehung* $[\alpha]$ der Lösung ist gegeben durch

$$[\alpha] = \frac{\alpha}{C \cdot l}$$

mit gemessenem Drehwinkel α , Küvettenlänge l und Lösungskonzentration C .

2 Resultate

2.1 Brewster Winkel

Senkrecht Polarisiert

Bei 180° (nicht exakt, da Detektor nicht im Zentrum des Gehäuses) gibt es ein Maximum der Intensität mit (0.94 ± 0.005) mA.

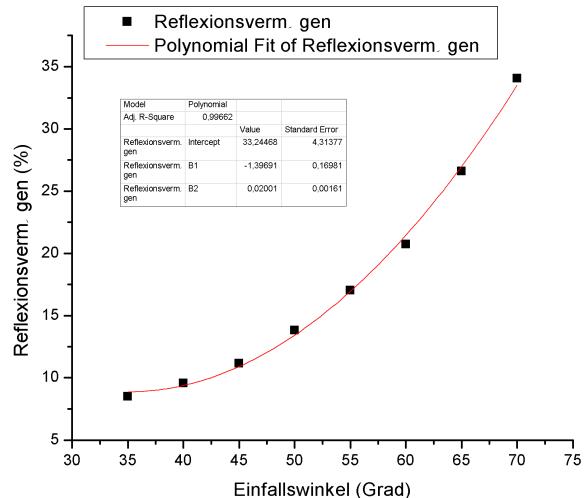


Abbildung 6: Reflexionsvermögen senkrecht polarisiertes Licht mit polynomiellem Fit

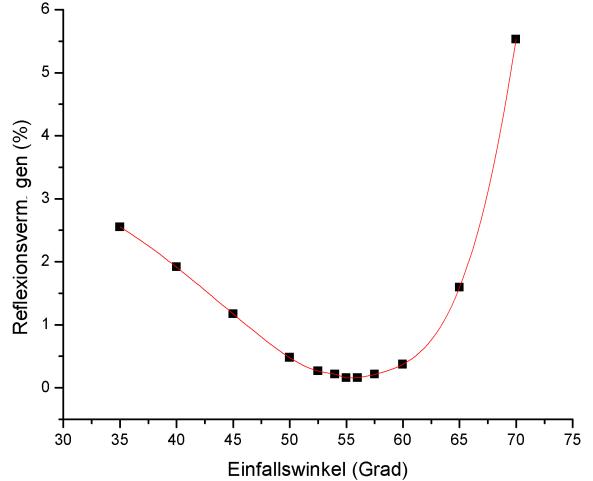


Abbildung 7: Reflexionsvermögen parallel polarisiertes Licht mit Interpolation

In Abbildung 7 ein Winkel von $(55 \pm 5)^\circ$ als Brewster-Winkel zu sehen.

2.2 Spannungsoptik

Wellenlänge der Lampe: 590 nm

Kolbendurchmesser: 7.5 cm

gemessene Drücke (± 0.5 bar):

1: 3 bar

2: 7.5 bar

3: 10.5 bar

4: 14.5 bar

Dicke der Probe:

$$d = (10.35 \pm 0.5) \text{ mm}$$

$$d_2 = (10.15 \pm 0.5) \text{ mm}$$

$$S_1 = (196 \pm 31) \text{ N/mm}$$

$$C_1 = (3.01 \pm 0.48) \mu\text{m}^2/\text{N}$$

$$S_2 = (131 \pm 31) \text{ N/mm}$$

$$C_2 = (4.5 \pm 1.1) \mu\text{m}^2/\text{N}$$

$$S_3 = (174 \pm 31) \text{ N/mm}$$

$$C_3 = (3.39 \pm 0.60) \mu\text{m}^2/\text{N}$$

Endergebnis: (Mittelwert)

$$S_1 = (167 \pm 31) \text{ N/mm}$$

$$C_1 = (3.64 \pm 0.73) \mu\text{m}^2/\text{N}$$

2.3 Drehung der Polarisationsebene

Quarz:

Die Drehrichtung des Quarzes ist *gegen den Uhrzeigersinn*.

Getestet wurden alle 3 verfügbaren Steine, die Farbfolge ist deutlich zu sehen.

Rohrzuckerlösung:

$$l = (1.909 \pm 0.001) \text{ dm}$$

$$C = (10.00 \pm 0.41)\%$$

$$\alpha = (13.3 \pm 0.2)^\circ$$

$$[\alpha] = (69.7 \pm 3.1)$$

(Literaturwert aus Bergmann-Schaefer
[4] Optik; p. 538: **66.5**)

3 Diskussion

3.1 Brewster Winkel

Da in diesem Versuch der Strom mit dem Amperemeter gemessen wurde und beim Brewster Winkel kein Strom feststellbar war, wurde wohl im Anleitungstext ein Fotowiderstand (kein Strom fließt) und eine Photodiode [3] (Strom fließt bei Einstrahlung) vertauscht.

Die Resultate zeigen eindeutig, dass bei parallel polarisiertem Licht keine Reflexion stattfindet (Abb. 7) bei senkrecht polarisiertem Licht jedoch Totalreflexion (Abb. 6).

Der Brewster-Winkel konnte leider nur auf einige Grad genau bestimmt werden, da im zutreffenden Bereich nur noch um 1 μA messbar war, welches aber auch vom Hintergrund (Wärme, Licht von außen etc.) verursacht werden konnte. Bei einem

solch kleinem Strom könnte sogar Induktion vom Netzteil die Ursache sein.

Diverse qualitative Tests on-Spot haben gezeigt, dass Einflüsse vorliegen, die Umstände der Versuchsdurchführung (Praktikumsräume, Kollegen von anderen Gruppen im gleichen Raum, Licht, Kabelwege etc.) lassen aber keine genaueren Aussagen über die Stärke der jeweiligen Einflüsse zu.

Es wurde daher versucht, zumindest die erkennbaren Einflüsse so konstant wie möglich zu halten (Winkel und Abschirmung der Lampe zum Ablesen der Messung, Lage der Kabel etc.)

Der gesuchte Spannungsverlauf für beide Polarisationsrichtungen ist jedoch gut zu erkennen.

3.2 Spannungsoptik

Bedingt durch die grobe Auflösung (0.5 bar bei Werten zwischen 3 und 15 bar) des Hauptmesswertes, streuen die einzelnen Ergebnisse sehr stark. Die Auflösung wirkt sich auch auf die Unsicherheit aus: Der Anteil, der durch die Dicke der Probe entsteht ist um 2 Größenordnungen kleiner, als die Unsicherheit aus der Druckmessung, und damit für alle Messungen zu vernachlässigen.

Der Mittelwert der Einzelergebnisse corrvert mit seiner Unsicherheit alle Ergebnisse (beinahe) und wirkt, wie auch die Einzelmessungen plausibel, soweit das zu beurteilen ist; Es wäre interessant, mit einem deutlich genaueren Messgerät das Experiment zu wiederholen:

Bedingt durch die Übersetzung des Drucks auf die Probe, fällt die Dicke der Probe sogar aus der Rechnung heraus und erzeugt keine Unsicherheit; die Breite wurde mit einer Schieblehre so genau gemessen, dass

die Unsicherheit vernachlässigbar ist; auch die Durchführung der Messung selbst lässt sich, dank Hebel und ein wenig Geschick, durchaus genau durchführen;
Unmittelbar in der ersten Durchführung war qualitativ zu bemerken, dass die Skala der Presse sehr grob im Vergleich zur Messgröße ist.

Angesichts dieses Befundes lässt sich kaum etwas über die Probe, Polarisationsfilter oder Lichtquelle aussagen, während das gesamte look & feel des Experimentes (die Polarisationsfilter lassen sich gut feinjustieren, die Isoklinen sind eindeutig zu sehen und die Presse gut und genau steuerbar) vermuten lässt, dass genaue Ergebnisse möglich und durchaus einfach zu erhalten wären.

3.3 Drehung der Polarisationsebene

Da die Bestimmung des Drehsinnes durch den Quartz rein qualitativ erfolgt, und die gesuchte Farbfolge deutlich sichtbar in allen betrachteten Steinen zu erkennen ist, gibt es im Rahmen des Praktikumsbeispiels keinen Grund zu einer weiteren Fehleranalyse dieses Beispiels.

Der gemessene spezifische Drehwinkel $[\alpha] = (69.7 \pm 3.1)$ der Zuckerlösung deckt sich in guter Näherung mit dem Literaturwert 66.5 aus [4].

Den mit Abstand größten Anteil an der

Unsicherheit des Ergebnisses hat der Unsicherheitsterm aus der Konzentration der Zuckerlösung. Die Länge der Küvette wirkt sich auf die Unsicherheit praktisch nicht, der gemessene Drehwinkel, im Vergleich zur Konzentration der Lösung, kaum aus.

Die Genauigkeit in der Herstellung der Lösung ist also der Schlüssel zu einem genauen Ergebnis.

Die Messung des Winkels, mit dem Polarimeter ist einfach, und, dank der Abdeckung der Küvette und bei verdunkeltem Raum, sehr genau durchführbar. Auch der gesuchte Effekt ist eindeutig zu sehen, sowohl mit als auch ohne Zuckerlösung ist die Polarisationsebene leicht zu finden.

Es bleibt also im Rahmen der Methodik wenig Platz für Verbesserungen, solange nur die die Zuckerlösung sauber hergestellt wurde.

4 Quellen

- [1] Anleitung, <http://www.univie.ac.at/anfpra/neu1/ps/ps5/PS5.pdf>
- [2] Fotowiderstand <https://de.wikipedia.org/wiki/Fotowiderstand>
- [3] Fotodiode <https://de.wikipedia.org/wiki/Fotodiode>
- [4] Bergmann-Schaefer; Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. 3: Optik; p. 538