

Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald / Institut für Physik
Physikalisches Grundpraktikum

Praktikum für Physiker		
Versuch O6 : Konzentrationsbestimmung mit dem ZEISS-Polarimeter		
Name:	Versuchsgruppe:	Datum:
Mitarbeiter der Versuchsgruppe:		Ifd. Versuchs-Nr:

Aufgabe Bestimmen Sie die Konzentration c einer Zuckerlösung. Bestimmen Sie dazu das spezifische Drehvermögen $[\alpha]_t^\lambda$ des Stoffes.

Physikalische Schwerpunkte des Versuches

- Begriff Polarisation, optische Aktivität
- Eigenschaften des natürlichen Lichtes
- Erzeugung von polarisiertem Licht
- Arten des polarisierten Lichtes
- Beschreibung des Polarimeters

Versuchsablauf

1. Messungen

Messen Sie fünf Mal den Drehwinkel α für die optisch aktive Substanz bei verschiedenen vorgegebenen Konzentrationen. Entsorgen Sie die verwendeten Flüssigkeiten nach dem Gebrauch.

2. Berechnungen und Auswertungen

Zeichnen Sie ein Diagramm $\alpha=f(c)$. Ermitteln Sie aus diesem Diagramm die Konzentration c_x der Lösung L_x .

3. Zusatzaufgabe

- 3.1. Wie groß ist der BREWSTERwinkel für eine reflektierende Glasplatte mit der Brechzahl $n=1,45$?
- 3.2. Linear polarisiertes Licht soll durch Reflexion an leichtem Flintglas ($n=1,6085$) erzeugt werden.
Unter welchem Einfallswinkel muss das Licht auf die Glasplatte fallen?

Physikalische Grundlagen zu polarisiertem Licht

Polarisation

Licht ist eine elektromagnetische Wellenerscheinung, die durch zeitlich schnellveränderliche Vektoren \mathbf{E} und \mathbf{H} der elektrischen und magnetischen Feldstärke gekennzeichnet ist. Für jeden Lichtwellenzug (Photon) stehen \mathbf{E} und \mathbf{H} senkrecht aufeinander und zusätzlich senkrecht auf der Ausbreitungsrichtung der Lichtwelle. Solche Wellen heißen *Transversalwellen*.

Licht, bei dem der elektrische Vektor periodisch seinen Betrag ändert, jedoch stets seine Schwingungsrichtung im Raum beibehält, wird als *linear polarisiertes Licht* bezeichnet, weil die Pfeilspitze von \mathbf{E} scheinbar auf einer Geraden schwingt, wenn man dem Lichtstrahl entgegenblickt. In diesem Fall wird die Schwingungsebene durch den elektrischen Feldstärkevektor \mathbf{E} und die Ausbreitungsrichtung aufgespannt. Ist die Lichtwelle zusätzlich noch monochromatisch und breitet sich in x-Richtung aus, lässt sie sich wie folgt darstellen:

$$\mathbf{E}(x, T) = \mathbf{E}_0 \sin(\omega t - kx) = \mathbf{E}_0 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x\right) \quad (1)$$

Andererseits nennt man Licht elliptisch bzw. zirkular polarisiert, wenn sich die Spitze des \mathbf{E} -Vektors (und ebenso des \mathbf{H} -Vektors) beim Blick entgegen der Ausbreitungsrichtung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit auf einer Ellipse bzw. einem Kreis bewegt. Linear und zirkular polarisiertes Licht sind somit Grenzfälle elliptisch polarisierten Lichtes. Beim zirkular polarisierten Licht unterscheidet man je nach Umlaufsinn zwischen rechts- und linkszirkular polarisiertem Licht.

Natürliches Licht ist nicht polarisiert, da die Photonen auf Grund der unkorrelierten Emissionsakte in den Atomen keine gemeinsame Schwingungsebene besitzen. \mathbf{E} und \mathbf{H} ändern ihre Schwingungsrichtung statistisch.

Das BREWSTER'sche Gesetz

BREWSTER fand, dass der an einer dielektrischen Grenzfläche reflektierte Strahl vollständig polarisiert ist, wenn der reflektierte Strahl S_r senkrecht auf dem gebrochenen Strahl S_b steht, d.h. wenn gilt:

$$\alpha + \beta = 90^\circ = \alpha' + \beta \quad (2)$$

Daraus ergibt sich für den BREWSTERwinkel α_B die einfache Beziehung:

$$\tan \alpha_B = n \quad (3)$$

Im Polarisationsapparat von NÖRRENBURG wird dieses Gesetz angewendet, um linear polarisiertes Licht zu erzeugen.

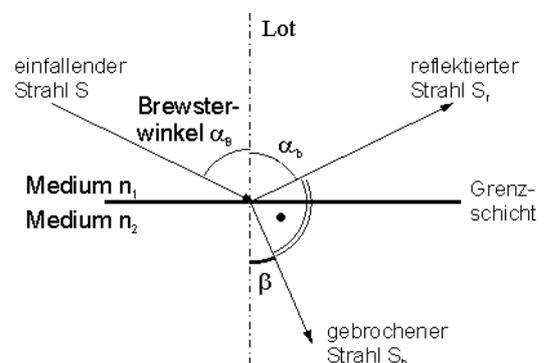


Abb. 1 BREWSTER-Winkel

Doppelbrechung - das NICOLSche Prisma

Optisch anisotrope Kristalle, die nicht dem regulären Kristallsystem angehören, zeigen die Eigenschaft der Doppelbrechung. Praktisch wichtigster Vertreter ist der optisch einachsige Kalkspat. Trifft ein Bündel natürlichen Lichtes auf eine dicke Kalkspatplatte auf, so wird eine Aufspaltung in zwei Teilbündel gleicher Intensität beobachtet. Das eine Teilbündel („ordentlicher Strahl“) wird gemäß dem SNELLIUSSchen Brechungsgesetz abgelenkt, während das zweite Teilbündel („außerordentlicher Strahl“) diesem Gesetz nicht gehorcht. Beide Teilbündel sind linear polarisiert, ihre Schwingungsebenen stehen jedoch senkrecht aufeinander. Daher gilt es, ein Teilbündel auszusondern, um im Ausgangsstrahl linear polarisiertes Licht zu erhalten.

Eine praktische Lösung dieser Aufgabe gelingt mit dem NICOLSchen Prisma. Es besteht aus zwei Kalkspatprismen, die unter Beachtung des Verlaufes der optischen Achse des Kristalls gemäß Abb. 2 geschnitten und anschließend durch Kanadabalsam verkittet werden. An der Kittfläche wird der ordentliche Strahl unter Ausnutzung der Totalreflexion seitlich herausreflektiert und an der Wand absorbiert. Der außerordentliche Strahl passiert die Kittfläche.

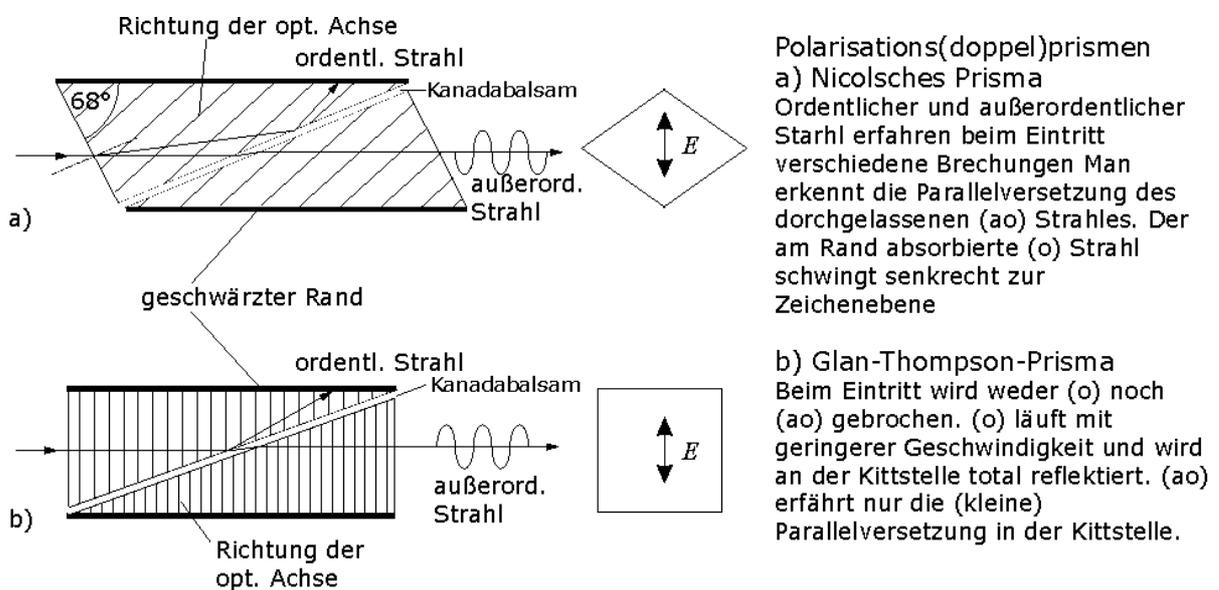


Abb. 2 Polarisationsdoppelprismen

Optisches Drehvermögen

Wird ein optisch aktiver Körper von linear polarisiertem Licht durchdrungen, so wird die Polarisations Ebene gedreht. Der Körper heißt "rechtsdrehend", wenn die Schwingungsebene des Lichtes dem beobachtenden Auge im Uhrzeigersinn gedreht erscheint, im anderen Fall "linksdrehend". Der gesamte Drehwinkel α ist abhängig von der Schichtdicke d und der Temperatur T des Stoffes sowie von der Wellenlänge λ des Lichtes (Rotationsdispersion).

Bei Kristallen (z.B. Quarz) gilt:

$$\alpha = [\alpha] d \quad (4)$$

Dabei sind $[\alpha]$ die spezifische Drehung in $^\circ/\text{mm}$ und d die Dicke in mm. Der Proportionalitätsfaktor $[\alpha]$ heißt "Drehung"; er ist gleich dem Drehwinkel bei 1 mm Schichtdicke des entsprechenden Stoffes.

Bei reinen Flüssigkeiten bzw. bei Lösungen gilt:

$$\alpha_i^\lambda = [\alpha]_i^\lambda l c \quad (5)$$

Mit $[\alpha]_t^\lambda$ als spezifisches Drehvermögen in Grad $\text{cm}^3 / \text{dm g}$, sowie c für Massenkonzentration g Substanz / cm^3 Lösung und l als Küvettenlänge in dm.

Der Proportionalitätsfaktor $[\alpha]$ heißt "spezifisches Drehvermögen" und gibt den Drehwinkel einer Schicht von 1 dm Schichtdicke bei der Massenkonzentration 1 g/cm^3 an. Will man das optische Drehvermögen zur Konzentrationsbestimmung heranziehen, so ist nach c umzustellen. Man kann auch den prozentualen Massengehalt w angeben, wenn die Dichte ρ der Lösung bekannt ist, da $w = c / \rho$ ist.

Konzentration und Gehalt von Mischphasen

Konzentration heißt der Quotient aus der Teilmenge des i -ten Bestandteiles der Mischphase zum Volumen V der Mischphase. Unter Gehalt versteht man den Quotienten der Teilmenge des i -ten Bestandteiles zur Summe der Teilmengen der Mischphase. Dies führt zu folgenden Begriffsbildungen:

<i>Massenkonzentration</i>	$c_i = m_i/V$ (in kg/m^3)
<i>Stoffmengenkonzentration</i>	$\gamma_i = v_i/V$ (in mol/l)
<i>Teilchenkonzentration</i>	$n_i = N_i/V$ (in m^{-3})
<i>Volumenkonzentration</i>	$\sigma_i = V_i/V$
<i>Massengehalt</i>	$w_i = m_i/\Sigma m_i$
<i>Stoffmengengehalt("Molenbruch")</i>	$x_i = v_i/\Sigma v_i$
<i>Teilchengehalt</i>	$f_i = N_i/\Sigma N_i$
<i>Volumengehalt</i>	$g_i = V_i/\Sigma V_i$

Entstehung der Drehung in optisch aktiven Medien

Die Drehung der Polarisationssebene in Kristallen und Flüssigkeiten erklärt sich nach van't HOFF dadurch, dass in optisch aktiven Körpern zwei zirkular polarisierte Wellen von entgegengesetztem Umlaufsinn entstehen, die aber mit ungleicher Geschwindigkeit fortschreiten. Beide Wellen haben also verschiedene Brechungsindizes n_1 und n_2 . Dies führt zu einer Differenz der optischen Weglängen für die links- bzw. rechtszirkuläre Teilwelle.

Beim Verlassen des optisch aktiven Körpers setzen sich die beiden zirkular polarisierten Wellen wieder zu einer linear polarisierten Welle zusammen, deren Schwingungsebene gegenüber der ursprünglichen eindringenden Welle je nach durchlaufener Schichtdicke um einen Winkel α gedreht ist.

Zuckerlösungen sind optisch aktive Substanzen. Im Versuch benutzen wir rechtsdrehende Saccharose. Die optische Aktivität beruht bei Zuckerlösungen auf dem asymmetrischen Molekülaufbau der Zuckermoleküle, bei kristallinem Quarz auf der Gitterstruktur.

Versuchsdurchführung

Der Polarisationsapparat

Der Aufbau des ZEISS'schen Kreispolariometers wird in der Abb. 3 verdeutlicht. Die Lichtquelle sendet monochromatisches Licht aus, welches in den **Polarisator** (NICOL) eindringt. Der nunmehr linear polarisiert austretende Lichtbündel durchdringt die zu messende Substanz und fällt auf den **Analysator** (NICOL), der mittels eines Schraubentriebes um die Strahlachse drehbar ist. Eine **Winkelteilung mit Noniusskala** ermöglicht die genaue Ermittlung des Drehwinkels.

Fällt ein bereits linear polarisiertes Lichtbündel auf ein Polarisationsprisma, wird in Abhängigkeit von der relativen Stellung der beiden Polarisationsprismen zueinander dieses Licht mehr oder weniger geschwächt hindurch gelassen. Bei gekreuzter Stellung der beiden Durchlassrichtungen wird Dunkelheit beobachtet.

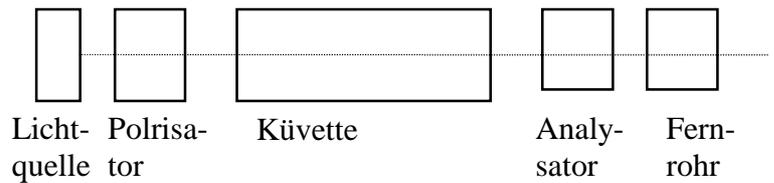


Abb. 3 Prinzipaufbau eines Polariometers

Praktische Anweisung zur Bestimmung des Drehwinkels

Zur Beleuchtung dient eine monochromatische Lichtquelle (Na-Lampe). Bei herausgenommener Messküvette stellt man den Analysator auf "Dunkelheit" ein und ermittelt so die Nullstellung (Messung mehrmals wiederholen). Bringt man nun die mit der zu untersuchenden optisch aktiven Substanz gefüllte Küvette zwischen Polarisator und Analysator, so findet Aufhellung statt. Durch Drehen des Analysators stellt man wieder auf "Dunkelheit" ein und liest dessen Winkelstellung ab (wiederum mehrmals messen). Aus der Differenz beider Ablesungen ergibt sich der gesuchte Drehwinkel α .

"Dunkelheit" = Das dreigeteilte Gesichtsfeld erscheint möglichst dunkel und hat in sich keine Helligkeitskontraste. Hierbei kann das Auge am empfindlichsten Helligkeitsunterschiede beurteilen.