

# CI\_V15 Polarisation des Lichts – Polarimetrie.

## Verwandte Begriffe

Halbschattenprinzip, optische Aktivität, optisches Drehvermögen, spezifische Drehung, Saccharimetrie, Reaktionsordnung und Reaktionsgeschwindigkeit (vgl. auch PHYWE Hochschulpraktikum Physik 5. Auflage Kap. 2.11).

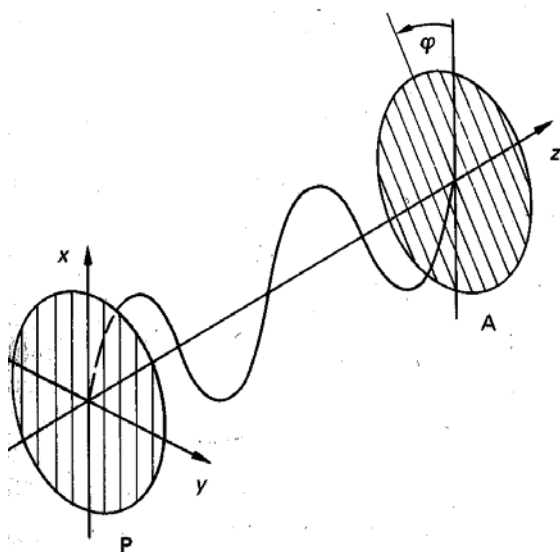
## Aufgaben

1. Mit einem Halbschattenpolarimeter wird die spezifische Drehung von Milchzucker und Rohrzucker, durch Messung der Drehung verschiedener Lösungen bekannter Konzentration bestimmt. Einweisung durch Betreuer des Praktikums.
2. Bestimmung des Rohrzuckeranteils in einem Zweistoffsystem, bestehend aus einer optisch aktiven und einer optisch inaktiven Substanz.

## 1. Polarisation

### 1.1 Allgemeine Grundlagen

Licht lässt sich als transversale, elektromagnetische Welle beschreiben. Magnetische und elektrische Feldstärke stehen senkrecht aufeinander, die Schwingungen der Feldvektoren erfolgen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung. Den Nachweis dafür liefert die Polarisierbarkeit des Lichtes. Im folgenden wird linear polarisiertes Licht betrachtet, bei dem die Schwingungen des elektrischen Feldstärkevektors nur in einer bestimmten Ebene, der Schwingungsebene, erfolgen. Die dem magnetischen Feldvektor zuzuordnende Ebene wird als Polarisationsebene bezeichnet. Natürliches Licht ist unpolarisiert, die Schwingungsebenen wechseln innerhalb sehr kurzer Zeiten völlig unregelmäßig. Um linear polarisiertes Licht zu gewinnen, kann man die Reflexion an durchsichtigen Flächen oder die Doppelbrechung nutzen.



### CI\_V15\_Abb 1 Linear polarisiertes Licht

Natürliches Licht kann mit Hilfe eines Polarisators polarisiert werden. Der elektrische Feldvektor  $\vec{E}$  schwingt in der *Schwingungsebene*, die durch den Polarisator P vorgegeben ist. Senkrecht zu dieser Ebene schwingt der magnetische Feldvektor  $\vec{B}$  (nicht gezeichnet in der Abb.) in der *Polarisationsebene*.

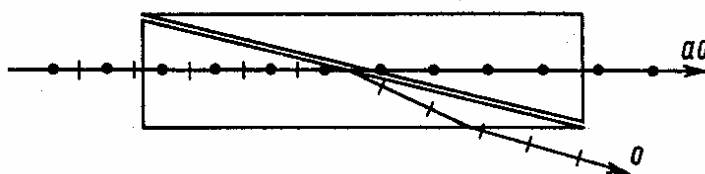
Ist der Analysator um einen Winkel  $\varphi$  gegen den Polarisator gedreht, dann wird vom Betrag  $|\vec{E}|$  des elektrischen Feldvektors nur ein Anteil  $(|\vec{E}| \cdot \cos \varphi)$  durchgelassen

## Optisch aktive Substanzen – Drehung der Polarisations Ebene

Die Fähigkeit gewisser Stoffe, die Schwingungsebene eines durch sie hindurchtretenden linear polarisierten Lichtstrahls zu drehen, heißt optische Aktivität. Sie kommt dadurch zustande, dass sich die beiden Komponenten eines linear polarisierten Lichtstrahls im asymmetrischen Medium mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten fortpflanzen und dabei eine Phasenverschiebung gegeneinander erleiden. Dies führt zu einer Drehung der Schwingungsebene.

### 1.2. Polarisiertes Licht erzeugt durch Doppelbrechung

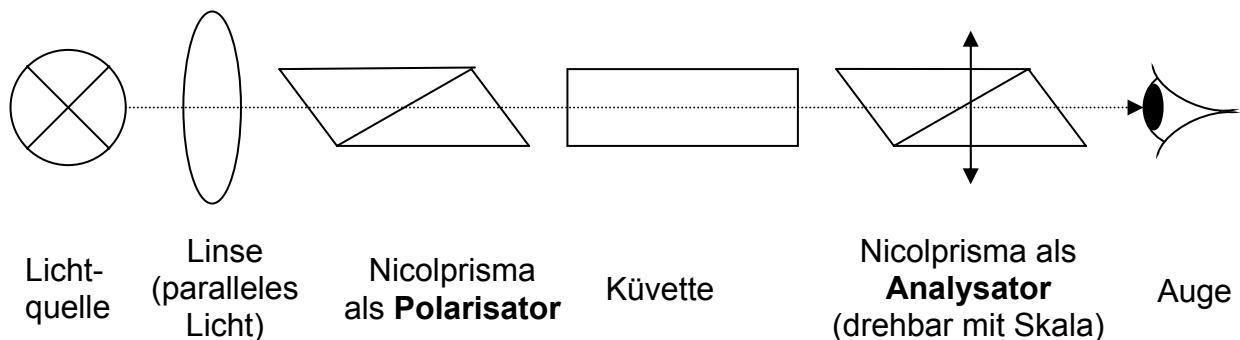
Natürliches Licht wird in einem doppelbrechenden Kristall in zwei zueinander senkrecht polarisierte Teilstrahlen zerlegt. Durch eine geeignete Anordnung trennt man ordentlichen und außerordentlichen Strahl voneinander und blendet einen der beiden Strahlen aus. Die historisch erste brauchbare Polarisationsprisma wurde von NICHOLS (1768 bis 1851) entwickelt. Am häufigsten wird als Weiterentwicklung das GLAN-THOMPSON-Prisma benutzt. Aus einem doppelbrechenden Kalkspat-Kristall werden zwei Prismen mit ihren brechenden Kanten parallel zur optischen Achse herausgeschnitten und mit Kanadabalsam gekittet (Abb. 2.) Für den ordentlichen Strahl ( $o$ ) ist der Brechungsindex des Kalkspats ( $n_o = 1.66$ ) größer als der des Kanadabalsams ( $n = 1.54$ ), er wird daher an der Kittfläche totalreflektiert und anschließend an der geschwärzten Fassung des Prismas absorbiert. Für den außerordentlichen Strahl ( $ao$ ) ist dagegen der Brechungsindex des Kalkspats in der betreffenden Richtung ( $n_{ao} = 1.49$ ) kleiner als der des Kanadabalsams, er tritt daher als linear polarisierter Strahl aus dem Prisma aus.



CI\_V15\_Abb 2.  
GLAN-THOMPSON-Prisma

### 1.3. Messung der Drehung der Polarisationsrichtung

Zur Messung der optischen Aktivität dient ein Polarimeter, in dem Licht der Wellenlänge 589,9 nm (Natrium-D-Linie) zunächst durch einen Polarisator linear polarisiert und nach Durchstrahlen der Substanzprobe mit einem zweiten Polarisator auf seine neue Schwingungsrichtung untersucht wird.

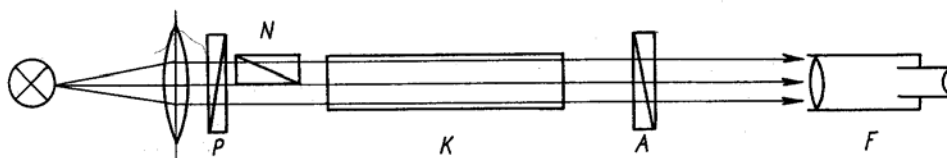


CI\_V15\_Abb. 3. Anordnung zur Messung des Drehwinkels der Polarisationsrichtung

Hauptbestandteile eines Polarisators sind zwei Polarisationsprismen oder -filter. Das erste Prisma, der Polarisator P, erzeugt linear polarisiertes Licht; mit Hilfe des zweiten Prismas, des Analysators A, lässt sich die Lage der Schwingungsebene feststellen. Stehen die Durchlassrichtungen von Polarisator und Analysator parallel, so ist das Gesichtsfeld des Fernrohres F hell; stehen sie senkrecht aufeinander (gekreuzt), so ist das Gesichtsfeld dunkel.

Bringt man zwischen die gekreuzten Polarisationsprismen eine Küvette K mit einer optisch aktiven Substanz, so wird das Gesichtsfeld aufgehellt, da die Schwingungsebene des Lichtes gedreht wurde. Der Drehwinkel  $\alpha$  lässt sich messen, indem man den Analysator so lange dreht, bis wieder Dunkelheit herrscht. Dies ist dann der Fall, wenn der Analysator entweder um  $\alpha$  oder um  $(180^\circ - \alpha)$  gedreht wird. Um zwischen diesen beiden Fällen zu unterscheiden, muss der Drehsinn der betreffenden Substanz ermittelt werden.

Da die Einstellung auf völlige Dunkelheit schwierig ist, benutzt man für genauere Messungen einen Halbschattenapparat. Bei diesem wird durch ein Hilfsprisma N - eine LAURENTSche Quarzplatte, welche die Polarisationsebene zusätzlich um einen kleinen Winkel dreht - das Gesichtsfeld in zwei Hälften geteilt. Bei parallelen Polarisationsprismen bewirkt das Hilfsprisma eine Verdunklung der einen Hälfte des Gesichtsfeldes, wenn seine Durchlassrichtung schräg zu der des Polarisators steht. Dreht man nun den Analysator, so dass der helle Teil des Gesichtsfeldes dunkler wird, so wird die vorher verdunkelte Hälfte aufgehellt, und man erreicht schließlich eine Stellung, in der beide Teile gleich hell erscheinen. Bei einer Drehung um  $180^\circ$  erscheinen die beiden Gesichtsfeldhälften in zwei Stellungen gleich hell und in zwei anderen gleich dunkel. Die dunkle Halbschattenstellung ist die empfindlichere, sie wird als Ausgangsstellung für die Messung des Drehwinkels benutzt.



**CI\_V15\_Abb. 4.** Schema eines Halbschatten-Polarimeters

P: Polarisator; A: Analysator; K: Küvette mit der zu untersuchenden Lösung;  
N: Hilfsprisma bei Halbschattenanordnung

In der Anlage findet sich die Bedienungsanleitung des Polarimeters P 1000 der Fa. Krüss, Optronic GmbH.

## 2. Bestimmung der spezifischen Drehung

Setzt man für kleine Konzentrationen voraus, dass die Drehung  $\alpha$  proportional zur Konzentration  $c$  der untersuchten Lösung ist, so lässt sich aus der Drehung  $\alpha$  bei bekannter Konzentration  $c$  und Küvettenlänge  $L$  die spezifische Drehung  $[\alpha]$  bestimmen

$$\alpha = [\alpha] \cdot c \cdot L \quad (1)$$

Der Proportionalitätsfaktor  $[\alpha]$  - die spezifische Drehung - hängt ab von

- der Lichtwellenlänge  $\lambda$  und
- der Temperatur  $\vartheta$  der Lösung.

dies wird durch Indizes gekennzeichnet, z. B. symbolisch durch  $[\alpha]_{20}^D$  für Licht der Wellenlänge der Na-D-Linie ( $\lambda = 589.3 \text{ nm}$ ) [die meisten Polarimeter arbeiten mit einer Na-Dampf Lampe] und Zimmertemperatur  $\vartheta = 20^\circ \text{C}$

Dann bestimmt sich der Drehwinkel zu

$$\alpha = [\alpha]_{20}^D \cdot c \cdot L \quad (2)$$

Man wählt üblicherweise eine standardisierte Küvettenlänge von  $L = 100 \text{ mm} = 1.00 \text{ dm}$  (oder auch  $L = 200 \text{ mm} = 2.00 \text{ dm}$ )

Trägt man also bei vorgegebenem Parameter 'Küvettenlänge  $L$ ' den gemessenen Drehwinkel  $\alpha$  gegen die Konzentration  $c$  auf, dann lässt sich aus der Steigung der sich ergebenden Gerade die spezifische Drehung  $[\alpha]_{20}^D$  bestimmen. Die Einheit der spezifischen Drehung wird i.a. angegeben als

$$[[\alpha]_{20}^D] = \frac{\text{Drehwinkel } \alpha}{\text{Massenkonzentration } c} \quad (3)$$

für eine Standardküvettenlänge von  **$L = 10 \text{ cm}$** .

Weicht die Messtemperatur von Zimmertemperatur  $\vartheta = 20^\circ \text{C}$  ab, so ist die bestimmte spezifische Drehung  $[\alpha]_{20}^D$  zu korrigieren

$$\text{für Saccharose. } [\alpha]_{20}^D = [\alpha]_{\vartheta}^D \cdot \left[1 + 0.00037 \left(\frac{\vartheta - 20^\circ \text{C}}{^\circ \text{C}}\right)\right] \quad (4)$$

$$\text{für Lactose } [\alpha]_{20}^D = [\alpha]_{\vartheta}^D \cdot \left[1 - 0.0014 \cdot \left(\frac{20^\circ \text{C} - \vartheta}{^\circ \text{C}}\right)\right] \quad (5)$$

### Anmerkungen zum Begriff 'Konzentration' und dem Gehalt von Lösungen

Unter Konzentration einer Lösung versteht man den Quotienten aus der Menge des gelösten Stoffes zum Volumen der Lösung.

Die Menge kann dabei als Massenkonzentration auf die Masse  $m$  des gelösten Stoffes bezogen sein (Massenangabe  $m$  in kg) oder als molare Konzentration auf die Stoffmenge des gelösten Stoffes (Stoffmengenangabe  $n$  in mol).

In der Saccharimetrie benutzt man die Massenkonzentration; also

$$c = \frac{\text{Masse } m \text{ des gelösten Stoffes}}{\text{Volumen } V \text{ der Lösung}} \quad (6)$$

## Bestimmung des Rohrzuckeranteils in einem Zweistoffsystem

Ein Zweistoffsystem besteht aus einer optisch aktiven und einer optisch inaktiven Substanz.

Sind in einer Lösung der Dichte  $\rho = \frac{m_L}{V_L}$  neben Zucker und Wasser noch andere

inaktive Stoffe enthalten, so ist die Massenkonzentration  $c = \rho \cdot \gamma$  ( $\gamma$  =Masse des gelösten Zuckers / Masse der gesamten Lösung = Massengehalt der Lösung an Zucker). Bei bekannter Dichte  $\rho$  kann man also durch Messung des Drehwinkels  $\alpha$  von Zuckerlösungen ihren Massengehalt bestimmen. Bei dieser Saccharimetrie wird nach internationaler Übereinkunft als Normallösung eine Zucker-Lösung mit  $c = 26,00\text{g} \cdot 100\text{cm}^{-3}$  bezeichnet; es ist Standard, bei  $\vartheta = 20^\circ\text{C}$  mit Na-Licht und mit einer Probenrohrlänge  $L = 20\text{ cm}$  zu messen. Die Drehung dieser Normallösung ergibt '100 Zuckergrade' ( $100^\circ\text{S}$ ), zum normalen Winkel(grad)maß gilt die Umrechnung  $1^\circ\text{S} = 0.346\text{ Winkelgrade}$ . Man stellt sich eine Normallösung her, indem man  $m = 26,00\text{ g}$  Zucker in ein  $100\text{ ml}$ -Messkölbchen einwiegt, dieses etwa bis zur Hälfte mit Wasser füllt und schüttelt, bis der Zucker aufgelöst ist; erst dann füllt man das restliche Wasser bis zum Eichstrich auf (Lösungswärme beachten) und vorsichtig blasenfrei aufschütteln (sonst ist Totalreflexion möglich), wobei man darauf achten sollte, dass die Lösung klar durchsichtig ist (evtl. filtrieren).

### 3. Versuchsdurchführung

#### 3.1. Spezifische Drehung von Rohrzucker und Milchzucker

##### 3.1.1. D(+)-Saccharose (Rohrzucker oder Rübenzucker)

D(+)-Saccharose ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) ist gewöhnlicher Tafelzucker, gewonnen aus Zuckerrohr oder Zuckerrüben.

Zunächst wird eine Rohrzuckerlösung bekannter Konzentration  $c_0$  hergestellt.

Wählen Sie eine Konzentration im Bereich

$$0,20 \text{ gcm}^{-3} \leq c_0 \leq 0,30 \text{ gcm}^{-3}$$

Wiegen Sie dazu eine entsprechende Masse  $m$  von Rohrzucker ab, geben dies als Pulver in den 200 ml Messkolben und füllen Sie auf ein Gesamtvolumen  $V = 200 \text{ cm}^3$  mit destilliertem Wasser auf. Kolben nach dem Auffüllen gut Durchschütteln bis der Zucker vollständig gelöst ist und keine Schlieren mehr sichtbar sind.

Weitere Konzentrationen werden durch Verdünnen mit destilliertem Wasser in 50  $\text{cm}^3$  Kölbchen hergestellt. Insgesamt werden folgende Konzentrationen untersucht und zwar:

$$c_0; 0,8c_0; 0,6c_0; 0,4c_0; 0,2c_0; 0,1c_0.$$

Die Drehung dieser Lösungen wird im Halbschattenpolarimeter mit monochromatischem Licht der Na-Dampflampe durch Abgleich beider Halbfelder auf gleiche Helligkeit bestimmt. Da der Drehwinkel  $\alpha$  mit wachsender Konzentration  $c$  zunimmt, ergibt sich auch leicht der Drehsinn der Lösung.

Da die Messtemperatur normalerweise nicht  $20,0^\circ \text{ C}$  beträgt müssen die abgelesenen Drehwinkel mit einer Temperaturkorrektur versehen werden. Messen Sie dazu die Temperatur der Lösungen jeweils gleich nach dem Ablesen des Drehwinkels. Die Temperaturkorrektur wird mit Gleichung (4) durchgeführt.

#### Grafische Bestimmung des spezifischen Drehvermögens

Die temperaturkorrigierten Drehwinkel  $\alpha$  werden in einem Diagramm linear gegen die Konzentration  $c$  aufgetragen. Das Diagramm sollte auf der Abszisse den Konzentrationsbereich  $0,00 \text{ g/cm}^3$  bis  $0,35 \text{ g/cm}^3$  und auf der Ordinate den Winkelbereich  $0,00^\circ$  bis  $40,00^\circ$  umfassen. Schätzen Sie die Fehler der Konzentrations- und Winkelbestimmung ab und zeichnen Sie die Fehlerbalken in das Diagramm ein. Aus der Steigung der Regressionsgerade bestimmt sich das spezifische Drehvermögen  $[\alpha]_{20^\circ}^D$ . Schätzen Sie den Fehler aus der Geradensteigung ab.

Ist  $[\alpha]_{20^\circ}^D$  bekannt, so kann man über die Messung des Drehwinkels

Konzentrationsbestimmungen unbekannter Lösungen ausführen. s. 3.2.

##### 3.1.2. Milchzucker [D(+)-Lactose]

Bei der Messung der Drehung von Milchzucker wird analog verfahren. Wählen Sie eine Stamm-Konzentration im Bereich

$$0,02 \text{ gcm}^{-3} \leq c_0 \leq 0,05 \text{ gcm}^{-3}$$

Aufnahme der Messwerte und grafische Auswertung erfolgt analog zur Rohrzuckerlösung.

### **3.2. Bestimmung des Saccharoseanteils in Likör (Sambuca)**

Das zu untersuchende Getränk enthält neben Zucker als optisch aktiver Substanz nur noch optisch inaktive Stoffe, nämlich Wasser und Äthanol. Wir betrachten das Getränk deshalb als ein Zweistoffsystem.

Spülen Sie die Messküvette und das abgenommene Glasfenster mit Befestigung gut mit dest. Wasser. Das Glasfenster mit den Zubehörteilen werden getrocknet, die Küvette mit wenig Sambuca gründlich gespült und danach mit Sambuca aufgefüllt.

Der abgelesene Drehwinkel wird notiert. Zur Bestimmung des Zuckergehalts verwenden Sie Ihr Diagramm aus Versuch 3.1.1. als Kalibriergerade. Dort tragen Sie den gemessenen Drehwinkel ein und können dann auf der Abszisse die zugehörige Konzentration ablesen.

Diskutieren Sie die Genauigkeit der Gehaltsbestimmung.