

412 – Spezifische Drehung von Zucker

1. Aufgaben

- 1.1 Messen Sie den Drehwinkel φ der Polarisationssebene für eine Zuckerlösung in Abhängigkeit von der Küvettenlänge d sowie von der Konzentration c !
- 1.2 Stellen Sie φ als Funktion von d bzw. c grafisch dar, und berechnen Sie den Wert für die spezifische Drehung φ^* !
- 1.3 Ermitteln Sie den Zuckergehalt einer unbekanntes Lösung!
- 1.4 (Zusatzaufgabe): Untersuchen Sie die Abhängigkeit des Drehwinkels von der Wellenlänge des verwendeten Lichtes!

2. Grundlagen

Stichworte:

lineare, zirkulare und elliptische Polarisation, optische Aktivität, Konzentration einer Lösung, Dichroismus, Halbschattenpolarimeter

2.1 Polarisation des Lichtes

Licht ist eine transversale elektromagnetische Welle. Der Vektor der elektrischen Feldstärke E steht immer in einer Ebene senkrecht zur Lichtausbreitungsrichtung. Bei natürlichem (unpolarisiertem) Licht verändert der E -Vektor seine Lage in dieser Ebene statistisch. Bei einer polarisierten Welle hingegen beschreibt er eine ganz bestimmte Bahn (Kreis, Ellipse bzw. Gerade), woraus sich die verschiedenen Polarisationsarten (zirkular, elliptisch und linear) ergeben (vgl. Anhang 4.1).

Zur Herstellung von linear polarisiertem Licht existieren mehrere Möglichkeiten (vgl. Literatur bzw. Anhang). Moderne Polarisatoren bestehen aus Kunststoffolien mit darin eingebetteten, unter Zugspannung ausgerichteten speziellen (dichroitischen) Molekülen. Durchstrahlt man eine solche Folie mit unpolarisiertem Licht, so werden nur diejenigen Wellenzüge durchgelassen, deren E -Vektor in Vorzugsrichtung schwingt. Der Rest wird absorbiert. Das Licht, welches austritt, ist linear polarisiert.

2.2 Drehung der Polarisationssebene

Wenn linear polarisiertes Licht durch **optisch aktive** Substanzen hindurchgeht, wird die **Schwingungsebene des Lichtvektors gedreht**. Blickt man der Ausbreitungsrichtung entgegen, so handelt es sich bei einer Drehung im Uhrzeigersinn um eine rechtsdrehende Substanz, andernfalls entspricht man von linksdrehend. Optisch aktive Stoffe können Kristalle oder be-

stimmte Moleküle (z.B. Zucker) in Lösungen sein. Die Drehung bei optisch aktiven Lösungen ist bedingt durch eine asymmetrische Molekülstruktur.

Bei festen Stoffen ist der Drehwinkel proportional zur Schichtdicke d , bei Lösungen spielt zusätzlich die Konzentration c eine Rolle. Es ergibt sich also:

$$\varphi = \varphi^* \cdot c \cdot d \quad (1)$$

wobei der Proportionalitätsfaktor φ^* als spezifische Drehung bezeichnet wird. Die spezifische Drehung ist eine Stoffkonstante. Sie ist allerdings sowohl von der Temperatur als auch von der Wellenlänge λ des verwendeten Lichtes abhängig (näherungsweise proportional $1/\lambda^2$). Es ist üblich, für die spezifische Drehung einer Lösung die Einheit $[\text{Grad} \cdot \text{cm}^3 \text{g}^{-1} \text{dm}^{-1}]$ zu benutzen.

2.3 Messmethode

Die Messungen werden mit einem kommerziellen **Halbschattenpolarimeter** durchgeführt (Bild 1).

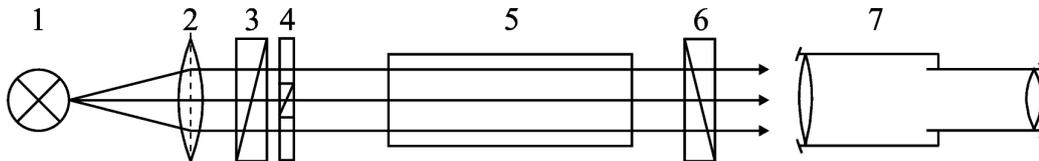


Bild 1: Aufbau des Polarimeters.

Als Lichtquelle (1) dient eine Spektrallampe, an die sich ein Interferenz- bzw. Farbglasfilter und eine Linse (2) anschließen. Der Polarisator (3) erzeugt linear polarisiertes Licht, welches danach die Polarimeterröhre mit der Messprobe (5) durchläuft. Mit Hilfe des Analysators (6) lässt sich die Lage der Polarisations ebene messen. Zur Beobachtung des Sehfeldes, zur Drehung des Analysators und zum Ablesen des Winkels dient eine optisch-mechanische Einrichtung (7). Stehen die Durchlassebenen von Polarisator und Analysator parallel, so ist das Gesichtsfeld des Fernrohres hell, stehen sie senkrecht aufeinander, so ist es dunkel. Da die Einstellung auf völlige Dunkelheit bzw. Helligkeit nur ungenau erfolgen kann, nutzt man ein so genanntes Halbschattengerät. Dazu wird der Polarisator mit einer Laurent-Platte (4) ausgestattet (vgl. Anhang 4.4). Diese teilt das Gesichtsfeld in drei Teile und bedeckt dabei die mittlere Fläche. Dieser Teil verhält sich im Minimum (ebenso im Maximum) der Helligkeit gegenläufig zu den beiden äußeren Teilen. Zur Messung des Drehwinkels wird der Analysator so lange gedreht, bis die Helligkeit des mittleren gegenüber den äußeren Teilen des Gesichtsfeldes umschlägt. Die Stelle gleicher Helligkeit (bzw. Dunkelheit) lässt sich sehr genau einstellen.

3. Versuchsdurchführung

3.1 Messung

Als erstes ist die Nulleinstellung zu überprüfen (Küvette mit destilliertem Wasser: $\varphi = 0$). Wird eine Abweichung festgestellt, so sind die nachfolgenden Messreihen entsprechend zu korrigieren.

Das Fernrohrbild muss vor jeder Messung am Okular scharf eingestellt werden. Die Einstellung auf gleiche Helligkeit des dreiteiligen Gesichtsfeldes geschieht durch Drehen der Triebsscheibe des Analysators. Beim Ablesen des Winkels kann das Auge am Okular bleiben. Man ändert nur die Blickrichtung und schaut durch die Lupe (links oder rechts) in der Augenmuschel auf die Gradeinteilung mit Nonius. Das Einstellen und Ablesen wird mehrmals wiederholt, und die Ergebnisse werden gemittelt.

(Bemerkung: Der Helligkeitsabgleich erfolgt wegen der höheren Einstellgenauigkeit immer in der Nähe des Minimums.)

Die Aufgabe 1.1 wird mit Küvetten der Dicke $d = 100, 150$ und 200 mm bei gleichem Zucker-gehalt sowie für drei verschiedene Lösungen (Masse-Prozente im Bereich 5...20 %) mit der Küvette $d = 200$ mm durchgeführt. Für alle Messungen wird die gelbe Na-Linie ($\lambda = 589$ nm) verwendet. Die unbekannte Zuckerlösung (Aufgabe 1.3) gibt der Assistent vor. Alle anderen Lösungen sind selber anzusetzen. Bei Aufgabe 1.4 wird für eine Küvette die Messung mit verschiedenen Wellenlängen einer Hg-Spektrallampe durchgeführt.

3.2 Hinweise zum Ansetzen der Zuckerlösungen

Unter Konzentration c (Gl.1) versteht man die Größe „Masse des Zuckers pro Volumen der Lösung“. Experimentell genauer lässt sich der Prozentgehalt p „Masse des Zuckers pro Masse der Lösung“ ermitteln (Massebestimmung ist genauer als Volumenbestimmung). Eine Umrechnung von p auf c kann mit:

$$c = \rho \cdot p \quad (2)$$

erfolgen, wobei ρ die Dichte der Lösung ist. Eine Dichtetabelle befindet sich am Versuchsplatz.

Das Ansetzen der Lösung erfolgt in einem Becherglas. Man stellt das leere Glas auf die Waage, tariert diese auf „0“, gibt die gewünschte Masse des Zuckers hinein und füllt mit Wasser bis zum Endwert (Masse der Lösung) auf.

Es wird vorgeschlagen, jeweils etwa 100 g Lösung anzusetzen. Am Ende des Versuches ist der Arbeitsplatz gründlich zu reinigen (die Reste vom Zuckerwasser kleben, wenn sie trocknen !!!).

Achtung:

- Nach dem Einfüllen der Lösung in die Küvette darf keine Luftblase verbleiben.
- Beim Zuschrauben (Gummiring gehört zwischen das Glasplättchen und den Überwurf) nicht zu fest anziehen (wegen Spannungsdoppelbrechung).

3.3 Hinweise zur Auswertung

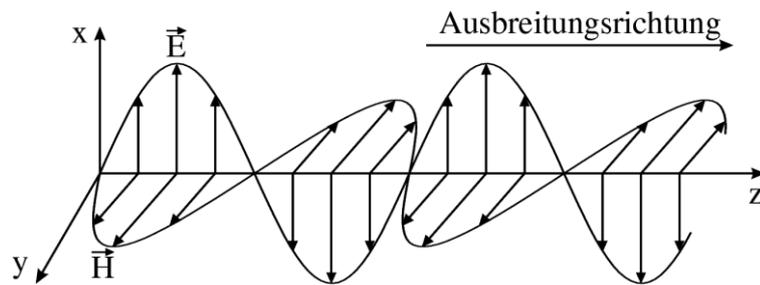
Die grafische Darstellung $\varphi(d)$ und $\varphi(c)$ müsste in beiden Fällen eine Gerade ergeben, deren Anstieg zeichnerisch bzw. durch Ausgleichsrechnung bestimmt wird (Achtung: auch $\varphi(0)$ ist ein Messpunkt). Aus dem Anstieg kann jeweils ein Wert für die spezifische Drehung berechnet werden. Beide Werte φ^* sind zu vergleichen und wenn möglich zu mitteln. Zuvor ist eine geeignete Fehlerabschätzung durchzuführen.

Mit Hilfe des experimentell bestimmten Wertes der spezifischen Drehung wird die Konzentration der unbekanntes Zuckerlösung ermittelt. Möglich ist auch eine grafische Bestimmung von c aus der Darstellung $\varphi(c)$.

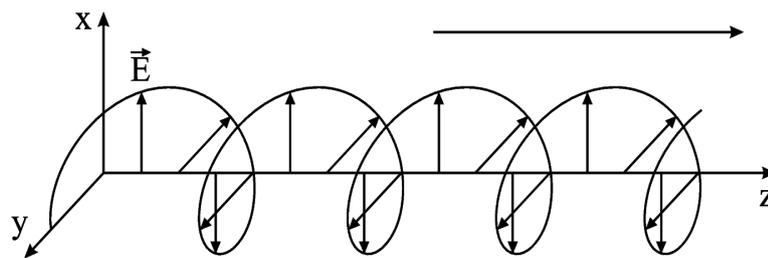
Zur Auswertung der Zusatzaufgabe trägt man φ über $1/\lambda^2$ auf und überprüft, inwieweit die Messpunkte auf einer Geraden liegen.

4. Anhang

4.1: Darstellung unterschiedlicher Polarisationsarten



linear polarisiertes Licht



zirkular polarisiertes Licht



elliptisch polarisiertes Licht

4.2. Herstellung von linear polarisiertem Licht

1) Reflexion an Glasplatten

Wenn reflektierter und gebrochener Strahl senkrecht aufeinander stehen, enthält das reflektierte Licht nur die senkrecht zur Einfallsebene schwingende Komponente der elektrischen Feldstärke. Diese Gesetzmäßigkeit bezeichnet man als Brewstersches Gesetz, den zugehörigen Winkel α_p als Brewster- bzw. Polarisationswinkel mit: $\tan \alpha_p = n_2 / n_1$.

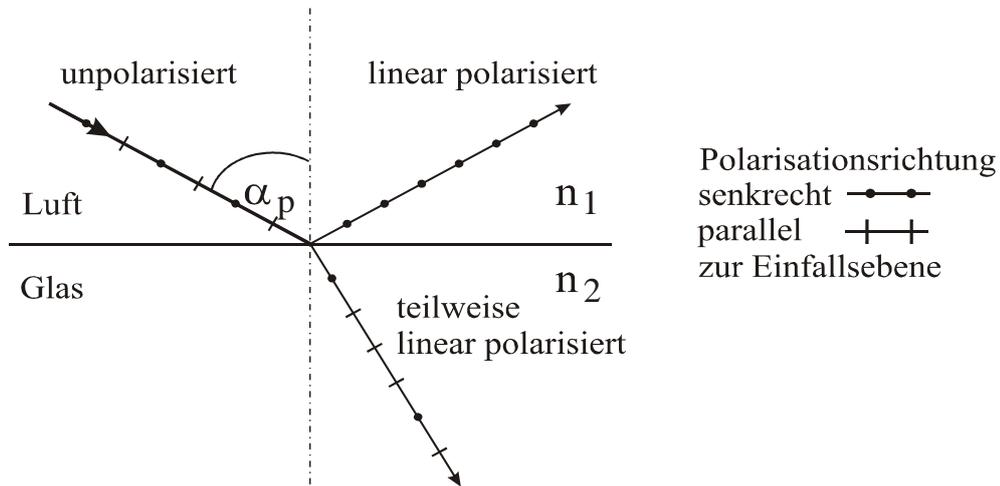
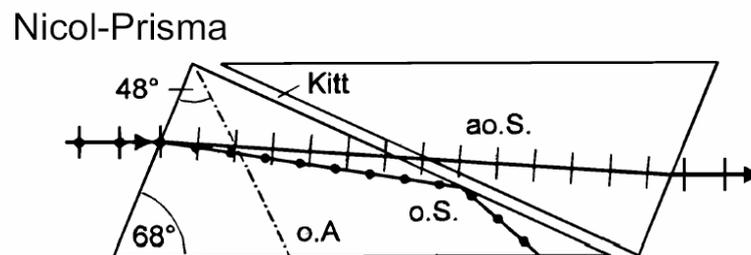


Bild 2: Reflexion unter dem Brewsterwinkel

2) Polarisation durch Doppelbrechung

Hierbei wird die Aufspaltung eines Lichtstrahles in einen ordentlichen und einen außerordentlichen Strahl beim Durchgang durch einen optischen einachsigen Kristall (z.B. Kalkspat) ausgenutzt. Dadurch entstehen zwei Strahlen, die linear und senkrecht zueinander polarisiert sind und gleiche Intensitäten besitzen. Die Eigenschaften hinsichtlich Brechung sind bei beiden Strahlen unterschiedlich. Während der ordentliche Strahl dem Brechungsgesetz gehorcht, hängt beim außerordentlichen Strahl der Brechungsindex von der Ausbreitungsrichtung ab. Das Problem besteht nun darin, einen dieser zwei Strahlen geeignet herauszufiltern. Das kann z.B. mittels eines sogenannten **Nicol-Prismas** erfolgen (vgl. Bild).



Dazu wird ein optisch einachsiger Kalkspatkristall unter definierten Winkeln geschliffen, diagonal zerschnitten und mit Kanadabalsam wieder zusammengekittet. Aufgrund der unterschiedlichen Brechzahlen von Kalkspat ($n = 1,66$) und Kanadabalsam ($n = 1,54$) wird der ordentliche Strahl (o) entsprechend des Snelliusschen Brechungsgesetzes totalreflektiert und von der Fassung des Prismas absorbiert. Der außerordentliche Strahl (ao) breitet sich nicht nach diesem Gesetz aus. Da der Brechungsindex des Kalkspats in der entsprechenden Richtung ($n_{ao} = 1,49$) kleiner ist als der des Kanadabalsams, kann er als linear polarisierter Strahl aus dem Prisma austreten.

Glan-Thompson-Prisma

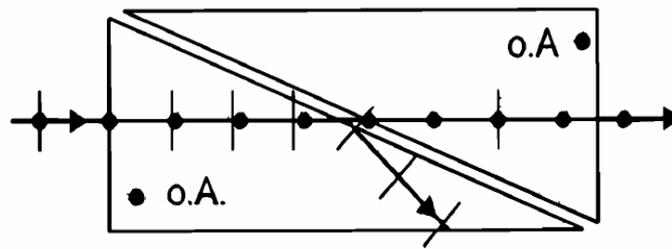


Bild 3: Polarisatoren aus doppelbrechenden Kristallen (o.A.- optische Achse)

Das sogenannte *Glan-Thompson-Prisma* arbeitet nach demselben Prinzip, wobei die Lichteintrittsfläche senkrecht zur Längsrichtung steht und dadurch ein größerer Gesichtsfeldwinkel ausgenutzt werden kann.

3) Dichroismus

Eine Reihe optisch anisotroper Medien zeigt ein als Dichroismus bezeichnetes Verhalten. Dabei hängt die Absorption des Lichts von der Polarisationsrichtung ab. Die Absorption der außerordentlichen Welle unterscheidet sich senkrecht zur optischen Achse am stärksten von der Absorption der ordentlichen Welle. Im Extremfall wird Licht, das in einer bestimmten Richtung schwingt, vollständig transmittiert, weshalb man diese Richtung auch Durchlassrichtung nennt. Der Turmalin-Kristall ist ein Beispiel für einen dichroitischen Polarisator. (Im Versuch 400 (Mikrowellen) haben Sie das Prinzip des Dichroismus bei der Untersuchung des Drahtpolarisators kennengelernt).

Moderne Polarisationsfolien bestehen aus durch Zugspannung ausgerichteten und in Kunststoff eingebetteten dichroitischen Molekülen. Die Vorteile solcher Flächenpolarisatoren sind ihre geringe Baulänge und damit das geringe Gewicht sowie die Möglichkeit, Polarisatoren mit großen Durchmessern herzustellen.

4.3 Rotationsdispersion

Die spezifische Drehung ist von der Wellenlänge des verwendeten Lichtes abhängig. Wie schon erwähnt, existieren zwei mögliche Drehrichtungen (Drehung um φ oder um $180^\circ - \varphi$). Verwendet man weißes Licht, werden infolge der Rotationsdispersion bei sogenannten rechtsdrehenden Stoffen die Farben in folgender Weise nach rechts gedreht: rot-grün-blau-violett. Das heißt also, dass Rot am schwächsten und Blau am stärksten in diese Richtung gedreht wird. Beim Rechtsdrehen des Analysators (zwecks Kompensation der durch die optische Substanz hervorgerufenen Drehung) werden die Farben in obiger Reihenfolge ausgelöscht, und man beobachtet die entsprechenden Komplementärfarben. Findet man daher beim Rechtsdrehen die Farbreihenfolge grün-blau-rot-gelb, so handelt es sich um eine rechtsdrehende Substanz. Analog dazu handelt es sich um einen linksdrehenden Stoff, wenn diese Farbenfolge beim Linksdrehen entsteht.

4.4 Laurent-Platte

Die Laurent-Platte ist ein dünnes, achsenparallel geschnittenes Quarzplättchen. Die optische Achse liegt in der Schnittebene und das einfallende Licht durchstrahlt das Plättchen (und damit

die Schnittebene) senkrecht. Wenn die Polarisationsrichtung (Schwingungsebene des E -Vektors) schräg unter einem Winkel ε zur optischen Achse steht (im Versuch $\varepsilon = 6^\circ$), so wird das einfallende Licht aufgrund der Doppelbrechung in zwei senkrecht zueinander polarisierte Wellen zerlegt (E -Vektor in Richtung der Achse bzw. senkrecht dazu). Beide Komponenten breiten sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit aus. Die Dicke des Plättchens kann nun so gewählt werden, dass sich für eine bestimmte Wellenlänge (589 nm) ein Gangunterschied von $\lambda/2$ oder einem ungeradzahligen Vielfachen davon ergibt. Dieser Gangunterschied bedeutet nichts anderes, als dass nach Durchlaufen des $\lambda/2$ -Plättchens die Phase einer Komponente um 180° gegenüber der anderen verschoben ist. Nach der vektoriellen Addition der Lichtfeldstärken ist dann die Polarisationssebene nicht mehr um $\varepsilon = 6^\circ$ in die eine Richtung geneigt sondern um denselben Winkel in die entgegengesetzte Richtung (bezogen auf die optische Achse). Sie wird also insgesamt durch das $\lambda/2$ -Plättchen um $2\varepsilon = 12^\circ$ gegenüber ihrer ursprünglichen Richtung gedreht. Die Stellung gleicher Helligkeit im dreigeteilten Gesichtsfeld ergibt sich dann, wenn der Analysator genau in der Mitte zwischen der durch die Laurent-Platte gedrehten (mittleres Feld) und der ursprünglichen Polarisationsrichtung (äußere Felder) steht.

Bei anderen Wellenlängen liefert dieselbe Quarzdicke im allgemeinen keinen Gangunterschied von $(2m + 1) \cdot \lambda/2$. In diesen Fällen ist das Licht nach dem Durchgang durch die Platte nicht mehr linear polarisiert sondern je nach der Wellenlänge mehr oder weniger stark elliptisch polarisiert. Die Folge davon ist, dass nicht auf völlige Dunkelheit abgeglichen werden kann.

Nützliche Links

zu Animationen für ein Verständnis der Polarisation bei elektromagnetischen Wellen:

- Lineare und zirkulare Polarisation (rechts und links-drehend):

<https://www.photophysics.com/circular-dichroism/chirascan-technology/understanding-polarization/>

- Verschiedene Arten von polarisiertem Licht und ihre Entstehung:

https://cddemo.szialab.org/index_de.html

- Interaktives Überlagern von selbstgewählten Wellentypen:

<https://emanim.szialab.org/index.html>

- Arbeitsweise von $\lambda/2$ - und $\lambda/4$ -Plättchen:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Verzögerungsplatte>