



# IO4

Modul Optik

## **Polarisation und Saccharimetrie**

In diesem Experiment soll das Phänomen des polarisierten Lichts demonstriert werden. Dazu wird untersucht, wie sogenannte optisch aktive Substanzen - in diesem Experiment Zuckerlösungen - die Polarisations-ebene von Licht drehen.



## Versuch IO4 - Polarisation und Saccharimetrie

In diesem Experiment soll das Phänomen des polarisierten Lichts demonstriert werden. Dazu wird untersucht, wie sogenannte optisch aktive Substanzen - in diesem Experiment Zuckerlösungen - die Polarisationsebene von Licht drehen.

## 1.1 Fragen zur Vorbereitung

- Wie lautet die allgemeine, mathematische Darstellung von Lichtwellen in der Physik? Benenne alle auftretenden Grössen.
- Was versteht man unter polarisiertem Licht und welche Arten von polarisiertem Licht unterscheidet man?
- Wie können die jeweiligen Arten von polarisiertem Licht erzeugt werden?
- Licht ist elektromagnetische Strahlung. Wie schwingen elektrisches Feld  $E$  und magnetisches Feld  $B$  bzw. in welcher Beziehung zueinander stehen  $E$ - und  $B$ -Feld? Wie ändert sich dies im Falle der Polarisation?
- Hat die Polarisation von Licht Einfluss auf die Energie bzw. den Impuls, welche(r) vom Licht übertragen werden kann?
- Was versteht man unter den Begriffen transversale Welle und longitudinale Welle? Gib jeweils drei Beispiele an! Können beide Arten von Wellen polarisiert werden?

## 1.2 Theorie

### 1.2.1 Mathematische Beschreibung der elektromagnetischen Strahlung

Licht ist elektromagnetische Strahlung. Bei elektromagnetischer Strahlung handelt es sich prinzipiell immer um TRANSVERSALE WELLEN, d.h. die Schwingung erfolgt senkrecht zur Ausbreitungsrichtung. Das Gegenstück zu transversalen Wellen sind die so genannten LONGITUDINALEN WELLEN, bei welchen die Schwingung parallel zur Ausbreitungsrichtung erfolgt<sup>1</sup>.

Elektromagnetische Strahlung lässt sich beschreiben mit Hilfe des Vektors  $\vec{E}$ , welcher das elektrische Feld repräsentiert, sowie des Vektors  $\vec{B}$ , welcher die magnetische Flussdichte (oft einfach magnetisches Feld genannt, obwohl dies nicht ganz richtig ist) angibt. Beide Vektoren  $\vec{E}$  und  $\vec{B}$  stehen immer senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Strahlung. Ausserdem stehen diese beiden Vektoren senkrecht aufeinander.

Mathematisch lassen sich Lichtwellen wie folgt beschreiben:

$$\psi(\vec{r}, t, \omega) = A \cdot e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t + \Phi)} \quad (1.1)$$

Es handelt sich hierbei um die allgemeine Form einer EBENEN WELLE, welche die Lösungen der HOMOGENEN WELLENGLEICHUNG darstellt. Bei dieser Gleichung handelt es sich um eine homogene, lineare Differentialgleichung 1. Ordnung. Aus der Mathematik ist bekannt, dass beliebige Linearkombinationen von Lösungen einer linearen Gleichung, wiederum eine Lösung derselben Gleichung darstellen. Folglich sind Linearkombinationen von ebenen Wellen immer noch eine gültige Lösung dieser Gleichung. Aus dieser mathematischen Eigenschaft resultiert das SUPERPOSITIONSPRINZIP für Wellen.

Im Folgenden wollen wir uns auf den Realteil von  $\vec{E}$  und  $\vec{B}$  beschränken. Ausserdem wollen wir annehmen, dass das elektrische und das magnetische Feld lediglich eine  $x$ - und eine  $y$ -Komponente haben und die Ausbreitung in  $z$ -Richtung erfolgt. Da sich  $\vec{B}$  analog zu  $\vec{E}$  verhält,

---

<sup>1</sup>Das Paradebeispiel schlechthin wären Schallwellen, bei welchen die Moleküle der Luft hin und her schwingen.

genügt es  $\vec{E}$  zu betrachten. Es gilt also:

$$\vec{E}_x(z, t) = E_{0,x} \cdot \cos(k_z z - \omega t) \cdot \hat{e}_x \quad (1.2)$$

$$\vec{E}_y(z, t) = E_{0,y} \cdot \cos(k_z z - \omega t + \Phi) \cdot \hat{e}_y \quad (1.3)$$

$$|\vec{E}_0| = \frac{1}{c} \cdot |\vec{B}_0| \quad (1.4)$$

Hier bei bezeichnet  $\vec{E}_{0,i}$  die jeweilige Komponente der Amplitude  $\vec{E}_0$ ,  $\omega$  die Kreisfrequenz,  $k_z$  die z-Komponente des Wellenvektors  $\vec{k}$  und  $\Phi$  die Phase der ebenen Welle. Der in Gleichung 1.4 wiedergegebene Zusammenhang zwischen der Amplitude des elektrischen und des magnetischen Feldes ist allgemein gültig. Kreisfrequenz und Wellenvektor stehen wie folgt im Bezug zueinander:

$$\frac{\omega}{c} = |\vec{k}| = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (1.5)$$

Dabei bezeichnet  $c$  die LICHTGESCHWINDIGKEIT und  $\lambda$  die WELLENLÄNGE des Lichts.

### 1.2.2 Polarisierte elektromagnetische Strahlung

Nachdem im vorherigen Abschnitt die Grundlagen der mathematischen Beschreibung der elektromagnetischen Strahlung gelegt wurden, kann nun das Phänomen der Polarisation behandelt werden. Dazu ist zu beachten, dass die Gleichungen 1.2 und 1.3 zwei Komponenten eines Vektors darstellen und somit zu einem resultierende Vektor addiert werden können. Nehmen wir nun an, beide Komponenten des elektrischen Feldes schwingen in Phase, d.h.

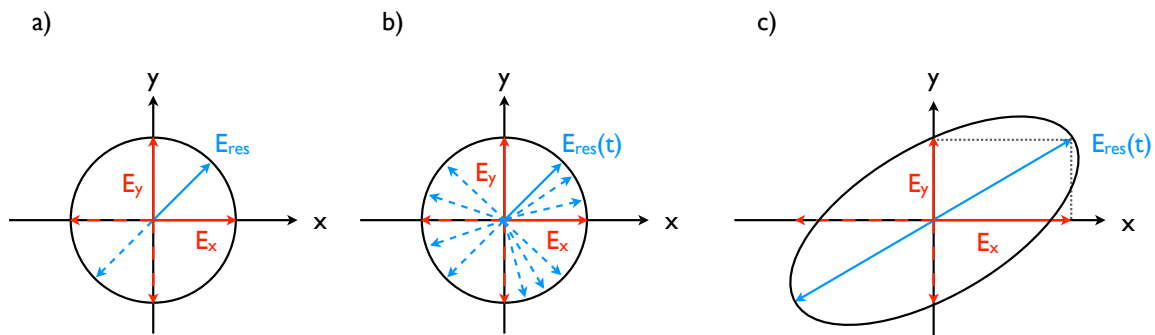


Abbildung 1.1: Dies Abbildung zeigt schematische den Fall der a) linearen Polarisation, b) zirkularen Polarisation und c) elliptischen Polarisation, wie sie im Text ausführlich besprochen werden.

$\Phi = 0$  bzw.  $\Phi = 2\pi n$ ,  $n \in \mathbb{N}$ . Führen wir nun die entsprechende Vektoraddition durch, so finden wir

$$\vec{E} = \vec{E}_x(z, t) + \vec{E}_y(z, t) = (E_{0,x} \cdot \hat{e}_x + E_{0,y} \cdot \hat{e}_y) \cdot \cos(k_z z - \omega t) \quad (1.6)$$

als Endresultat. Dies ist Gegenstand der Abbildung 1.1 a). In rot sind die beiden ursprünglichen Komponenten des elektrischen Feldes zu sehen, während das resultierende Feld in blau dargestellt ist. Die Amplitude  $(E_{0,x} \cdot \hat{e}_x + E_{0,y} \cdot \hat{e}_y)$  ist fix und zeigt immer in  $\hat{e}_x + \hat{e}_y$  Richtung. Diese Amplitude wird nun lediglich mit dem Kosinus moduliert, d.h. heisst das resultierende

elektrische Feld schwingt zwischen den Maxima  $\pm (E_{0,x} \cdot \hat{e}_x + \hat{E}_{0,y} \cdot \hat{e}_y)$  hin und her. Im zeitlichen Verlauf treten alle Zwischenwerte zwischen diesen beiden Maxima auf, jedoch ist die Richtung immer die gleiche (in diesem Beispiel  $\hat{e}_x + \hat{e}_y$ ). In diesem Fall spricht man von LINEAR POLARISIERTEM LICHT.

Nehmen wir nun an, die beiden Komponenten des elektrischen Feldes würden doch eine Phasenverschiebung von z.B.  $\pm\pi$  aufweisen. Durch diese Phasenverschiebung wird der  $\vec{E}_y$  Vektor um  $180^\circ$  gedreht, zeigt also in Abb. 1.1 nun nach unten. Somit zeigt nach der Vektoraddition von  $\vec{E}_x$  und  $\vec{E}_y$  das resultierende Feld in die entgegengesetzte Richtung. Das Resultat ist also vollkommen analog zu dem soeben besprochenen Beispiel, die Polarisationsebene wurde jedoch um  $90^\circ$  gedreht. Durch ähnliche Überlegungen wird man feststellen, dass jede beliebige Polarisationsrichtung erzeugt werden kann.

Als nächstes betrachten wird den Fall in welchem beide Komponenten die gleiche Amplitude haben, d.h.  $E_{0,x} = E_{0,y} = E_0$ , jedoch eine Phasenverschiebung von exakt  $\Phi = \pm\pi/2 \pm 2\pi n$ ,  $n \in \mathbb{N}$ . In diesem Spezialfall lässt sich Gleichung 1.6 schreiben als:

$$\vec{E}(z, t) = E_0 [\cos(k_z z - \omega t) \cdot \hat{e}_x + \sin(k_z z - \omega t) \cdot \hat{e}_y] \quad (1.7)$$

Diese Situation ist auch in Abb. 1.1 b) dargestellt. Es ergibt sich nun also eine skalare Amplitude  $E_0$ , deren Richtung jedoch nicht mehr konstant ist. Vielmehr dreht sich die Polarisationsrichtung als Funktion der Zeit auf dem dargestellten Kreis, welcher die Summe aller möglichen resultierenden, elektrischen Felder darstellt. Dieser Umstand ist in der obigen Skizze durch die zusätzlichen, gestrichelten, blauen Pfeile dargestellt. In diesem Spezialfall spricht man von ZIRKULAR POLARISIERTEM LICHT.

Offensichtlich kann man sich zirkular polarisiertes Licht immer als Komposition aus zwei zueinander senkrechten, linear polarisierten Komponenten vorstellen. Dementsprechend kann man also zirkular polarisiertes Licht durch Überlagerung zweier linear polarisierte Komponenten erzeugen, sofern beide die Gleiche Amplitude (bzw. Intensität) haben und zu einander eine Phasenverschiebung von genau  $\Phi = \pm\pi/2 \pm 2\pi n$ ,  $n \in \mathbb{N}$  aufweisen. Weiterhin muss man unterscheiden zwischen rechtsdrehendem (+) - und linksdrehendem (-) zirkular polarisiertes Licht.

Schliesslich gilt es noch einen dritten Fall zu betrachten. Dieser ist de facto der allgemeinste Fall und somit kann man linear - und zirkular polarisiertes als Spezialfälle dieses allgemeinen Falls ansehen. Im Allgemeinen werden beide Komponenten des elektrischen Feldes sowohl unterschiedliche Amplituden haben, d.h.  $E_{0,x} \neq E_{0,y}$ , und sie werden eine beliebige Phasenverschiebung  $\Phi$  zu einander aufweisen. Durch einige algebraische Umformungen kann man zeigen, dass in diesem Fall das resultierende elektrische Feld als Funktion der Zeit eine Ellipse beschreibt, wie sie auch in Abb. 1.1 c) dargestellt ist.

### 1.2.3 Experimentelle Erzeugung von polarisierter elm. Strahlung

Natürliches Licht, wie es beispielsweise von der Sonne emittiert wird, entsteht, indem angeregte Atome Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung abgeben<sup>2</sup>. Jedes angeregte Atom emittiert für ca.  $10^{-8}$  s polarisiertes Licht. Die enorme Anzahl von angeregten Atomen bedingt jedoch, dass ständig ein Teil der Atome gerade damit beginnt einen polarisierten Wellenzug zu emittieren, während ein anderer Teil bereits zuvor damit begonnen hat oder eben gerade am Ende des Emissionsphase angelangt ist. Daher besteht natürliches Licht aus einer Vielzahl von verschiedenen, zufällig auftretenden Polarisationen, welche sich als Funktion der Zeit vollkommen zufällig ändern. Daher sagt man oft, natürliches Licht sei unpolarisiert.

---

<sup>2</sup>Das auf der Erde ankommende Licht stammt im Fall der Sonne aus der ca. 5000 K heißen untersten Atmosphärenschicht der Sonne, welche Photosphäre genannt wird.

Faktisch ist dies jedoch nicht vollkommen richtig, wie nach obiger Diskussion ersichtlich sein sollte. Jedoch ist es so, dass die Experimente, welche hier durchgeführt werden sollen, eine wohl definierte Polarisation voraussetzen, wie sie im vorherigen Abschnitt besprochen wurde. Natürliches Licht ist aufgrund seiner vollkommen zufälligen und willkürlich fluktuierenden Zusammensetzung verschiedenster Polarisationen jedoch nicht geeignet.

Die einfachste Methode linear polarisiertes Licht zu erzeugen, ist mit Hilfe einer sogenannten Polarisatorfolie. Dabei handelt es sich um ein Gitter aus elektrisch leitendem Material. Trifft elektromagnetische Strahlung auf dieses Gitter und ist die Wellenlänge kleiner als der Abstand der parallelen Gitterstäbe, so wird das Licht senkrecht zu den Gitterstäben polarisiert sein. Der Grund hierfür ist, dass die Komponenten des elektrischen Feldes, welche parallel zu den Gitterstäben verlaufen, dazu führen, dass sich die Elektronen in den Gitterstäben entlang dieser Stäbe bewegen - es entsteht ein Strom. Bei ihrer Bewegung durch das Material werden die Elektronen auf Atome stossen und dadurch Energie verlieren. Somit wird schliesslich Energie vom elektrischen Feld auf das Gittermaterial übertragen. Die Transmission für die Komponenten des elektrischen Feldes senkrecht zu den Gitterstäben geht also gegen Null. Analysatorfolien, wie sie im Experiment verwendet werden, funktionieren nach demselben Prinzip.

Das so erzeugte linear polarisierte Licht kann nun z.B. dazu verwendet werden, um zirkular polarisierte Licht zu erzeugen, wie es zuvor bereits angesprochen wurde.

Weiterhin entsteht linear polarisiertes Licht bei der REFLEXION von nicht polarisiertem Licht unter dem so genannten BREWSTERWINKEL (vgl. Literaturangaben). Hinzu kommt eine gewissen Anzahl von Mineralien, wie z.B. Calcit, welche eine polarisierende Wirkung haben. Teilweise werden auch solche Kristalle in Polarisatoren/Analysatoren verwendet, wo sie in einem transparenten Gel vorliegen.

Zirkular polarisiertes - oder elliptisch polarisiertes Licht entsteht z.B. bei der so genannten DOPPELBRECHUNG (vgl. Literaturangaben), sofern das einfallende Licht bereits linear polarisiert war.

#### 1.2.4 Optisch aktive Substanzen und Saccharimetrie

In diesem Versuch wird die Polarisation von Licht anhand eines ausserordentlich interessanten Effekts untersucht, die Rede ist von OPTISCHER AKTIVITÄT. Es zeigt sich nämlich, dass manche Substanzen in der Lage sind, die Polarisationsebene des Lichtes zu drehen. Von besonderem Interesse ist dieser Effekt in der Chemie bzw. Biochemie. Hier gibt es sogenannte Enantiomere, das sind Moleküle, welche in all ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften vollkommen identisch sind, ausser in ihrer optischen Aktivität. Tatsächlich unterscheiden sich diese Moleküle in ihrem räumlichen Aufbau so, dass sie sich wie Bild und Spiegelbild verhalten<sup>3</sup>.

Es zeigt sich, dass die eine Form dieser Sorte von Molekülen die Polarisationsebene des Lichts im mathematisch negativen Sinn dreht (rechts drehend), die andere Sorte dreht die Polarisationssebene entsprechend gegen den Uhrzeigersinn (bzw. mathematisch positiv oder links drehend). Man spricht dann von der (+)-Form/D-Form bzw. der (-)-Form/L-Form des Moleküls.

In diesem Versuch wirst du Zuckerlösungen untersuchen, da sämtliche Sorten von Zucker zu den optisch aktiven Substanzen zählen. Im Versuch werden die Monosaccharide (Einfachzucker) Glucose und Fructose untersucht, sowie Saccharose als Vertreter der Klasse der Disac-

---

<sup>3</sup>Man sagt oft auch sie verhalten sich wie die linke Hand zur rechten Hand.

charide<sup>4</sup> (Mehrfachzucker).

Liegt in einer Lösung ein 1:1 Gemisch aus D- und L-Form eines Moleküls vor, so werden sich die optischen Aktivität genau aufheben. Exakt dies geschieht auch bei allen anderen Stoffen, welche als nicht optisch aktiv bezeichnet werden. Tatsächlich wird auch hier die Polarisations-ebene geändert, jedoch wird diese Änderung von einem anderen Molekül wieder rückgängig gemacht, so dass effektiv keine Drehung statt findet. Von diesen Substanzen gibt es jedoch keine Enantiomere, so dass nie der Fall auftreten kann, in welchem eine effektive Drehung statt findet.

Bei Enantiomeren wie der L-Fructose und der D-Fructose verhält sich dies anders. Es ist möglich, reine D- oder L-Fructose herzustellen, so dass auch die Möglichkeit besteht, eine Lösung zu erstellen und zu untersuchen, welche ausschliesslich D-Fructose enthält. In diesem Fall wird man sehr wohl eine Drehung der Polarisationsachse registrieren, da es in der Lösung keine Moleküle gibt, welche diese Drehung wieder rückgängig machen könnten.

Um welchen Winkel die Polarisations-ebene gedreht wird, hängt von der Massenkonzentration  $C_m$  der Zuckerlösung ab, von der Länge  $l$  der Strecke, welche das Licht durch diese Lösung zurücklegt und von einer materialspezifischen Grösse, welche spezifisches Drehvermögen  $\alpha_s$  genannt wird. Es gilt:

$$\alpha = \alpha_s \cdot l \cdot C_m \quad (1.8)$$

Ist das spezifische Drehvermögen z.B der D-Fructose bekannt, so kann anhand dieser Abhängigkeit auch die Konzentration einer unbekanntes D-Fructose Lösung bestimmt werden - man spricht dann auch von Saccharimetrie. Diese Aussage lässt sich selbstverständlich auf sämtliche optisch aktiven Substanzen verallgemeinern.

Warum jedoch diese Drehung überhaupt stattfindet, ist eine ausgesprochen schwierige Frage, welche leider nur im Rahmen der Quantenmechanik beantwortet werden kann. Dies würde den Rahmen dieser Anleitung sprengen, daher muss eine exakte Erklärung dieses Phänomens an dieser Stelle leider entfallen.

### 1.3 Experiment

Der Aufbau unseres Experimentes besteht im Wesentlichen aus einer Halogenlampe, welche als Lichtquelle dient, sowie einem Polarisator und einem Analysator, zwischen denen eine mit einer Zuckerlösung gefüllte Küvette positioniert wird. Eine Linse und ein Beobachtungsschirm ermöglichen die optische Abbildung. Die ganze Apparatur befindet sich auf einer optischen Schiene.

Du wirst den Versuch eigenständig aufbauen und die optische Abbildung justieren. Positioniere zunächst die Halogenlampe am Ende der optischen Schiene und schliesse diese an das bereitstehende Netzgerät an. Setze nun den Polarisator und den Analysator auf die Schiene. Zwischen diesen beiden Apparaturen musst du nun die Küvette positionieren. Es ist darauf zu achten, dass sowohl beim Analysator als auch beim Polarisator die Skala zum Schirm hin zeigt und beide auf 90° gestellt sind. Positioniere nun die Linse und den Beobachtungsschirm. Die Brennweite der Linse ist auf der Fassung der Linse notiert, sie ist entsprechend zu positionieren (überlege dir dazu, was denn eigentlich im Brennpunkt der Linse zu stehen hat).

Nun gilt es, die Lampe mit Hilfe des Justierstabs, als auch die Linse auf der optischen Schiene so zu justieren, dass das Gesichtsfeld auf dem Schirm gleichmässig ausgeleuchtet wird.

Bevor du nun der Versuch beginnst und die Küvette mit einer Zuckerlösung befüllst, demonstriere den Aufbau und die von dir vorgenommenen Justierungen der assistierenden Person.

---

<sup>4</sup>Zu welcher u.a. auch die Cellulose, die Maltose und die Lactose gehören, welche alle eine enorme Bedeutung in der Biochemie haben.



Die Messungen sind wie folgt durchzuführen:

- Stelle den Polarisator auf  $90^\circ$  ein
- Bringe den Analysator auf  $0^\circ$
- Bereite die Zuckerlösung in einem Becherglas vor (nicht in der Küvette!) und stelle sicher, dass sich der gesamte Zucker im Wasser aufgelöst hat
- Fülle die Küvette mit der zubereiteten Lösung
- Platziere die Küvette zwischen dem Polarisator und dem Analysator, wie in Abbildung 1.2 dargestellt
- Notiere die Einstellung des Analysators, bei welcher du die minimale Intensität auf dem Schirm beobachtest und schreibe dazu, welcher Farbfilter benutzt wurde

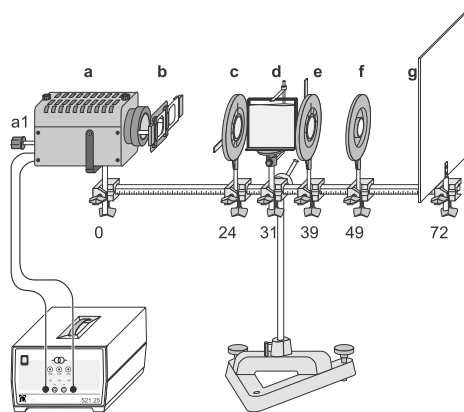


Abbildung 1.2: Der Versuchsaufbau, bestehend aus der Halogenlampe (a), Farbfiltern (b), Polarisator (c), der Küvette samt Zuckerlösung (d), Analysator (e), Linse (f) und Beobachtungsschirm (g).

Nicht mehr gebrauchte Zuckerlösungen dürfen im Waschbecken entsorgt werden. Reinige die Küvette mit destilliertem Wasser, bevor du sie für die nächste Messung benutzt. Sei dabei bitte besonders vorsichtig, da die Küvette sehr zerbrechlich ist.

### 1.3.1 Tipp

Es lohnt sich, die folgende Tabelle (ohne die Beispielzeile) ins Protokollheft zu übertragen und während dem Experimentieren auszufüllen:

Stoff	Farbfilter	Massenkonzentration $C_m$ in $[\text{g}/\text{cm}^3]$	Masse $m$ in $[\text{g}]$ an Zucker in Lösung	Volumen $V$ an Wasser in $[\text{L}]$	Drehwinkel in $[\text{°}]$
Fruktose	gelb	30	$525 \pm 20$	$25 \pm 15$	$90 \pm 15$
...	...				

### 1.3.2 Versuchszubehör

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über das verwendete Versuchszubehör.

Gegenstand	Anzahl
Halogenlampe	1
Netzgerät	1
Analysator	1
Polrisator	1
Küvette	1
Farbfilter (rot, grüne, blau)	3
Linse, $f=100$ mm	1
Schirm	1
optische Schiene	1
Muffe	6
Stativfuss	1

### 1.3.3 Versuchsdurchführung

- Miss die Länge der Küvette ab und bestimme die entsprechende Messunsicherheit.
- Gehe wie folgt vor:
  - Mische in einem Becherglas (nicht in der Küvette!) eine Saccharose-Lösung mit  $0.2 \text{ g/cm}^3$ . Notiere die dabei verwendete Masse  $m$  an Saccharose, das Volumen  $V$  des Wassers und schätze jeweils die Messfehler ab.
  - Giesse die Saccharose-Lösung in die Küvette und platziere diese im Versuchsaufbau. Leuchte anschliessend mit weissem Licht ohne die Verwendung eines Farbfilter auf die Lösung und beobachte auf dem Schirm, was passiert, wenn du den Analysator langsam von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$  drehst.  
Was beobachtest du? Was kannst du daraus schliessen? Achte dich besonders auf den resultierenden Farbgradienten kurz vor der Auslöschung und halte deine Beobachtungen fest.  
Rufe die assistierende Person und besprecht zusammen die Beobachtungen und deine daraus gezogenen Folgerungen.
  - Benutze den grünen Farbfilter und miss den Drehwinkel der  $0.2 \text{ g/cm}^3$  Saccharose-Lösung. Bestimme die Messunsicherheit.
- Wiederhole die Schritte (a) bis (c) mit den folgenden drei Saccharose Massenkonzentrationen:
  - $C_m = 0.30 \text{ g/cm}^3$
  - $C_m = 0.40 \text{ g/cm}^3$
  - $C_m = 0.50 \text{ g/cm}^3$
- Bereite eine Glucoselösung mit einer Massenkonzentration von  $C_m = 0.25 \text{ g/cm}^3$  im Becherglas zu. Notiere die Masse  $m$  an Glucose und das Volumen  $V$  des Wassers, das zur Lösung gemischt wurde und gib die Messungenauigkeiten an.
- Benutze alle drei zur Verfügung stehenden Farbfilter und bestimme jeweils den Drehwinkel der Glucoselösung. Schreibe jeweils den Messfehler auf.
- Bereite eine Fructoselösung mit einer Massenkonzentration von  $C_m = 0.25 \text{ g/cm}^3$  im Becherglas zu. Schreibe wiederum die Masse  $m$  an Glucose und das Volumen  $V$  des Wassers auf, das hier zur Lösung gemischt wurde und gib die Messungenauigkeiten an.

7. Benutze alle drei Farbfilter und bestimme jeweils den Drehwinkel der Fructoselösung. Notiere jeweils den Messfehler.
8. Zum Schluss bekommst du von der assistierenden Person eine Saccharoselösung mit unbekannter Konzentration. Miss den Drehwinkel dieser Lösung mit den verschiedenen Farbfiltern und gib die Messgenauigkeit an.

## 1.4 Auswertung

- Beschreibe ausführlich deine Beobachtungen auf dem Schirm bei der Bestrahlung mit weissem Licht.
- Zeichne einen Graphen  $\alpha(C_m)$  deiner Messdaten mit der Saccharoselösung mit unterschiedlicher Konzentration inklusive Fehlerbalkchen zu beiden Achsen, wobei du für den Fehler der Konzentration die Fehlerfortpflanzungsformel verwenden solltest).
- Passe eine lineare Fitkurve an die Messdaten in deinem Graphen und bestimme die spezifische Drehung anhand der Steigung. Bestimme den Fehler mit Hilfe der Fehlerfortpflanzungsformel angewendet auf Formel 1.8.

BEACHTE: Eine lineare Regression sollte nicht verwendet werden, wenn die Fehler auf der  $x$ -Achse nicht vernachlässigbar sind. Es ist anzunehmen, dass die Methode lineare Regression dennoch angewendet werden darf, um eine exaktere und sehr zeitaufwändige Analyse zu umgehen.

- Verwende die von dir bestimmten Werte für  $\alpha_s$  um die molare Konzentration der unbekanntes Saccharose-Lösung zu bestimmen<sup>5</sup>. Es wird angenommen, dass das Volumen der Lösung ursprünglich  $V = 1.0\text{L}$  betrug. Berechne daraus, wie viel Gramm Saccharose in dieser Lösung gelöst waren und mache eine vernünftige Fehlerabschätzung.
- Zeichne einen Graphen mit  $\alpha(\lambda)$  von deinen Messungen mit Fructose und Glucose<sup>6</sup>. Kannst du die funktionelle Abhängigkeit bestimmen, d.h. ist  $\alpha(\lambda)$  eine Gerade, oder proportional zu einer Parabel? Versuche, dein Ergebnis physikalisch zu interpretieren.
- Saccharose ist ein Molekül, das aus jeweils einem Glucosemolekül und einem Fructosemolekül besteht. Spiegelt sich dieser Sachverhalt in deinen Daten in irgendeiner Art und Weise wieder, oder ist dieses Experiment nicht geeignet um diesbezüglich eine Aussage zu treffen?
- Recherchiere, um den bekannten Wert von  $\alpha_s$  von Saccharose zu finden. Vergleiche deinen gemessenen Wert von  $\alpha_s$  mit dem Literaturwert von  $\alpha_s$ . Wie sehr unterscheidet sich dein Wert vom Literaturwert? Stimmt der Literaturwert mit deinem experimentell bestimmten Wert innerhalb der Fehlertoleranz überein? Falls es Abweichungen gibt, beschreibe die möglichen Gründe dafür.

BEACHTE: Wenn du Werte miteinander vergleichst, sieh zu dass beide die selben Einheiten haben.

---

<sup>5</sup>Die molare Masse von Glucose ist  $M = 180.16 \text{ g mol}^{-1}$ , die molare Masse von Saccharose ist  $M = 342.3 \text{ g mol}^{-1}$ .

<sup>6</sup>Die Wellenlängen der Farbfilter sind  $\lambda_{rot} = 720\text{nm}$ ,  $\lambda_{grn} = 530\text{nm}$ ,  $\lambda_{blau} = 450\text{nm}$ .

## Literatur

- Demtröder Band 2 - *Elektrizität und Optik*, 6. Auflage: Abschnitt 7.4 und 8.5
- E. Hecht - *Optik*, 5. Auflage: Abschnitt 8.1 bis 8.6, sowie 8.10