

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Physikalische Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1	Polarisiertes Licht . . . . .	2
2.1.1	Erzeugung von polarisiertem Licht . . . . .	2
2.1.2	Polarisator und Analysator . . . . .	3
2.2	Das Glan-Thompson-Prisma . . . . .	3
2.3	Polarisationsdrehung und optische Aktivität . . . . .	4
2.4	Das Halbschattenpolarimeter . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Versuchsdurchführung und Auswertung</b>	<b>6</b>
3.1	Drehung durch Zucker . . . . .	6
3.1.1	Saccharose . . . . .	7
3.1.2	Glucose . . . . .	7
3.1.3	Saccharose . . . . .	8
3.1.4	Fehler in der Messung . . . . .	8
3.2	Reaktionskinetik der Invertase . . . . .	8
3.2.1	Durchführung . . . . .	9
3.2.2	Auswertung . . . . .	9
3.2.3	Vergleich der Ergebnisse . . . . .	11
3.3	Fehlerdiskussion . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Fragen</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Verzeichnisse</b>	<b>13</b>
5.1	Abbildungsverzeichnis . . . . .	13
5.2	Tabellenverzeichnis . . . . .	13
5.3	Literaturverzeichnis . . . . .	13

## Anhang A: Messprotokoll aus dem Praktikum

# 1 Einleitung

Die Eigenschaft chiraler Moleküle die Polarisations Ebene von Licht zu ändern kann technisch genutzt werden, um beispielsweise Konzentrationen in Lösungen zu bestimmen. Viele der in der Natur vorkommenden Zucker haben genau diese Eigenschaft, so dass eine „optische“ Konzentrationsbestimmung möglich ist.

In diesem Versuch soll die optische Aktivität verschiedener Zucker und die Reaktionsgeschwindigkeit eines zuckerspaltenden Enzyms, der Invertase, durch eine Polarisationsmessung untersucht werden.

## 2 Physikalische Grundlagen

Im Folgenden sollen die für den Versuch wichtigen physikalischen Grundlagen genannt und erklärt werden.

### 2.1 Polarisiertes Licht

Die Wellenoptik beschreibt Licht als eine elektromagnetische Welle. Dabei kann jedem Wellenzug aufgrund der Schwingungsebene des elektrischen Felds eine Polarisationsrichtung zugewiesen werden. Im Allgemeinen haben Lichtwellen aus einer thermischen Lichtquelle, beispielsweise der Sonne oder einer Glühbirne, statistisch verteilte Polarisationsrichtungen. Nur wenige technische Lichtquellen erzeugen polarisiertes Licht, also Lichtwellen deren Polarisationsrichtungen parallel sind.

Grundsätzlich gibt es verschiedene Arten von polarisiertem Licht. Bei einer linear polarisierten Lichtwelle zeigt der Amplitudenvektor des elektrischen Feldes immer in eine bestimmte Richtung und ändert seinen Betrag nicht. Als wichtiger Spezialfall ist auch die zirkuläre Polarisation von Licht zu betrachten. Dabei bleibt der Betrag des elektrischen Feldvektors konstant, verändert aber mit konstanter Winkelgeschwindigkeit beim Voranschreiten der Welle seine Richtung. Analog zum zirkulär polarisierten Licht verändert sich die Richtung des Amplitudenvektors bei elliptisch polarisierten Wellen. Zusätzlich ändert sich hier periodisch der Betrag des Amplitudenvektors. Für diesen Versuch ist allerdings nur linear polarisiertes Licht wichtig.

#### 2.1.1 Erzeugung von polarisiertem Licht

Zur Erzeugung von Polarisiertem Licht werden Polarisatoren eingesetzt. Dieser besteht entweder aus einer bestimmten Anordnung verschiedener Prismen oder aus parallelen Kristallplatten, die als Filter wirken. Ein Beispiel für ein Polarisationsprisma ist das Glan-Thompson-Prisma, dessen Funktionsweise im nächsten Abschnitt näher erläutert wird. Bei fast allen Polarisatoren wird die Polarisation durch Reflektion, Doppelbrechung oder dichroitische Kristalle erreicht.

Bei der Polarisation durch Reflektion wird unpolarisiertes Licht in einem bestimmten Winkel, dem Brewsterwinkel, auf einen teilweise reflektierenden Stoff, zum Beispiel Glas gestrahlt. Bei einer Bestrahlung mit dem Brewsterwinkel stehen die transmittierten und reflektierten Wellen in einem Winkel von  $90^\circ$  zueinander. Die reflektierte Welle enthält dann aufgrund der Abstrahlcharakteristik der schwingenden Dipole an der Grenzschicht

nur eine zur Einfallsebene senkrechte Komponente.

Dichroitische Kristalle sind anisotrope Kristallstrukturen, die richtungsabhängige Rückstellkräfte für die zu Schwingungen angeregten Elektronen besitzen. Dadurch ist der Absorptionskoeffizient bei einer bestimmten Wellenlänge von der Polarisationsrichtung des einfallenden Lichts abhängig. Bei genügend langem Weg durch die Kristalle wird so Licht einer bestimmten Polarisation nahezu vollständig absorbiert, während senkrecht polarisiertes Licht nur wenig geschwächt wird.

Das Prinzip der Polarisation mittels Doppelbrechung wird im Abschnitt 2.2 näher beschrieben.

### 2.1.2 Polarisator und Analysator

Nach einem Polarisationsfilter haben alle Lichtwellen eine gewisse, von der Stellung des Polarisationsfilter abhängige Polarisationsrichtung. Stellt man nun zwei Polarisationsfilter hintereinander, so kann ein vom Winkel der Polarisations Ebenen der Filter abhängige Intensitätsabschwächung beobachtet werden. Ändert man den Winkel der Polarisations Ebenen zueinander, verändert sich ebenfalls die Intensität des transmittierten Lichts bis dahin, dass bei einer Stellung von  $90^\circ$  kein Licht mehr wahrzunehmen ist. Erklären kann man dieses Phänomen dadurch, dass sich jede polarisierte Welle als lineare Überlagerung von zwei anderen linear polarisierten Wellen darstellen lässt. Wählt man nun für eine polarisierte Welle eine Linearkombination aus einer Welle parallel und einer orthogonal zur Polarisations Ebene des zweiten Polarisators, so entspricht die elektrische Feldamplitude der durch den zweiten Filter transmittierten Welle der Amplitude der parallelen Teilwelle. Da die Intensität mit dem Quadrat der Feldamplitude skaliert, führt die Verminderung der Feldamplitude zu einer Intensitätsschwächung bis hin zu einer vollständigen Absorption, wenn der Anteil des parallelen Feldamplitude null ist. Die Intensität des transmittierten Lichts wird maximal wenn die Polarisations Ebenen beider Polarisationsfilter parallel verlaufen. In einer Anordnung aus zwei Polarisationsfiltern wird der erste der Filter im Lichtweg meist als Polarisator, der letzte als Analysator bezeichnet.

## 2.2 Das Glan-Thompson-Prisma

Für die Polarisation von Licht mit großer Intensität eignet sich die Doppelbrechung am besten. Die Doppelbrechung bezeichnet ein Phänomen, bei dem ein Medium für Licht unterschiedlicher Polarisation eine unterschiedliche Brechzahl aufweist. Dabei wird ein Lichtstrahl in einen ordentlichen Strahl, dessen Polarisation dann senkrecht zur optischen Achse des Materials steht, und einen außerordentlichen Strahl, der dann parallel zur optischen Achse polarisiert ist, zerlegt.

Das Glan-Thompson-Prisma besteht aus zwei aneinandergesetzten doppelbrechenden Prismen, deren Endflächen senkrecht zur Einfallsrichtung des Lichts geschliffen wurden. Die optische Achse der Prismen ist hierbei parallel zu den Endflächen. Zwischen den Prismen befindet sich ein spezieller optischer Leiter, meist Kanadabalsam, dessen Brechzahl  $n_K$  kleiner als die Brechzahl  $n_O$  des ordentlichen, aber größer als die Brechzahl  $n_A$  des außerordentlichen Strahls ist. Beim Eintritt in das erste Prisma werden die Lichtstrahlen nicht gebrochen, da hier der Einfallswinkel  $90^\circ$  beträgt. Beim Übergang vom ersten Prisma in den Kanadabalsam wird der ordentliche Strahl totalreflektiert, während der außerordentliche Strahl nur gebrochen wird. Der ordentliche Strahl verlässt das erste Prisma durch die

Seitenfläche, während der außerordentliche Strahl nach einer Brechung an der Übergangsfläche von Kanadabalsam und zweitem Prisma das zweite Prisma ohne Versatz verlässt. Der schematische Strahlenverlauf im Prisma ist in Abbildung (1) dargestellt.

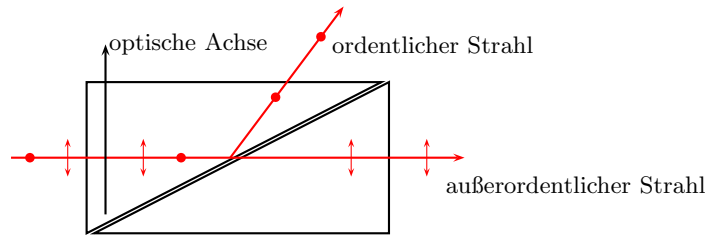


Abbildung 1: Schematischer Strahlenverlauf im Glan-Thompson-Prisma. Beim Übergang von Prisma in die Zwischenschicht wird der ordentliche Strahl totalreflektiert, während der außerordentliche Strahl transmittiert wird.

Einige Vorteile des Glan-Thompson-Prismas sind, dass fast die gesamte Eintrittsfläche genutzt werden kann, die Anordnung an Prismen kürzer als die herkömmlich eingesetzten Prismenpolarisatoren ist und der Ausgangsstrahl keinen Versatz zum Eingangsstrahl aufweist.

### 2.3 Polarisationsdrehung und optische Aktivität

Neben dem Einsatz in Prismenpolarisatoren können anisotrope Stoffe auch zur Veränderung der Polarisation bzw. der Polarisationsebene eingesetzt werden. So werden zur Erzeugung von zirkulär polarisiertem aus linear polarisiertem Licht (und auch umgekehrt)  $\lambda/4$ -Plättchen eingesetzt. Hierbei wird die optische Achse des anisotropen Stoffes im Winkel von  $45^\circ$  zur Polarisation der Welle ausgerichtet. Aufgrund der unterschiedlichen Brechungszahlen  $n_1$  bzw  $n_2$  für die unterschiedlichen Polarisationen, entsteht zwischen den senkrechten Anteilen der polarisierten Welle eine Phasenverschiebung.

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0}d(n_3 - n_1)$$

Wird die Dicke  $d$  des Plättchens so gewählt, dass der Phasenunterschied genau  $\pi/2$  beträgt, wird aus einer linear polarisierten Welle eine zirkular polarisierte und umgekehrt. Die Polarisationsebene einer linear polarisierten Wellen wird beim Durchgang durch ein doppelt so dickes  $\lambda/2$ -Plättchen genau um  $\alpha = 90^\circ$  gedreht. Durch Drehen des Plättchens um die Einfallrichtung lässt sich so jede gewünschte Drehung um  $\alpha = 2\varphi$  realisieren.

Neben den anisotropen Stoffen gibt es noch optisch aktive Stoffe. Diese drehen die Polarisationsebene von linear polarisiertem Licht. Die Drehung ist im allgemeinen nicht Richtungsabhängig. Der Winkel der Drehung skaliert linear mit dem Lichtweg durch den entsprechenden Stoff. Der Proportionalitätsfaktor zwischen Drehwinkel  $\alpha$  und Lichtweglänge  $d$  wird als Drehvermögen  $\alpha_s$  bezeichnet. Es ist:

$$\alpha = \alpha_s \cdot d \quad [\alpha_s] = \frac{1^\circ}{m}$$

Man unterscheidet in diesem Zusammenhang zwischen rechts- und linksdrehenden Stoffen. Der Drehsinn ist in Lichtausbreitungsrichtung definiert. Dabei wird eine Drehung nach rechts mit  $d$  (für „dexter“) oder  $(+)$  und eine Drehung nach links mit  $l$  (für „laevus“) oder  $(-)$  bezeichnet.

Die Ursache der optischen Aktivität ist grundlegend nur mit der Quantentheorie möglich. Eine mögliche, aber nicht korrekte Erklärung des Phänomens liefert das Modell von schwingenden atomaren Dipolen, die durch linear polarisiertes Licht zu elliptischen Schwingungen um die Ausbreitungsrichtung angeregt werden. Hierbei ist die Struktur der optisch aktiven Stoffe entscheidend. Viele der optisch aktiven Stoffe kommen in zueinander spiegelsymmetrischer Struktur vor, wobei die eine Konfiguration des Stoffes linksdrehend und die andere rechtsdrehend ist. Moleküle die eine Spiegelisometrie, also spiegelbildliche Strukturen aufweisen, werden auch als chirale Moleküle bezeichnet.

Zucker sind chirale Moleküle, die auch gelöst die Fähigkeit haben, Licht zu drehen. Hier ergibt sich nun ein von der Konzentration der Lösung abhängiges Drehvermögen. Ist  $c$  die molare Konzentration einer Lösung und  $l$  die Länge des Lichtwegs durch die Lösung, gilt für den Drehwinkel  $\alpha$ :

$$\alpha = \alpha_c \cdot l \cdot c \quad [\alpha_c] = \frac{1^\circ \cdot ml}{m \cdot g}$$

Im Allgemeinen ist das Drehvermögen noch von der Temperatur und der Wellenlänge des verwendeten Lichts abhängig. Diese Abhängigkeit soll in diesem Versuch allerdings vernachlässigt werden. Die optische Aktivität von Zuckern und der Drehsinn ist durch die Anordnung von Kohlenstoff-Gruppen bedingt. Das Drehvermögen lässt sich experimentell in Polarimetern bestimmen.

## 2.4 Das Halbschattenpolarimeter

Ein Polarimeter besteht im einfachsten Fall aus einer Anordnung von zwei Polarisatoren, zwischen die eine optisch aktive Substanz eingebracht wird. Anhand der Polarisations Ebenen der Polarisatoren und der Lichtweglänge durch das optisch aktive Medium kann auf den Drehwinkel und somit auf das Drehvermögen geschlossen werden. Dazu wird der Analysator, also der Polarisator nach der Substanz so gedreht, dass entweder ein Maximum oder Minimum der Intensität vorliegt. Beim Maximum ist die Polarisationsebene des Lichts parallel zur Polarisations Ebene des Analysators, beim Minimum der Intensität stehen beide senkrecht zueinander. Diese Messung ist allerdings im allgemeinen ziemlich ungenau, da Minima und Maxima der Intensität kaum exakt auszumachen sind.

Eine bessere Möglichkeit eine Drehung zu messen bietet das Halbschattenpolarimeter. Hierbei ist an den Polarisator ein  $\lambda/2$ -Plättchen angebracht, wodurch ein Teil des Lichts ein um einen bestimmten Winkel zur ursprünglichen Polarisations Ebene gedreht wird. Nach dem Analysator haben nun beide Lichtwellen eine gleiche Intensität, wenn sich die Analysatorebene senkrecht oder parallel zur Winkelhalbierenden der Polarisations Richtungen des ursprünglichen Lichts befinden. Dabei ist die Intensität bei paralleler Stellung größer als bei orthogonaler.

Anders als bei einem normalen Polarimeter muss hier zusätzlich noch der relative Nullpunkt ohne Substrat gemessen werden um später eine Aussage über die Drehung der Polarisation durch ein Substrat zu machen. Zudem sollte der dunklere Intensitätsabgleich gemessen werden. Grund hierfür ist die Intensitätsfunktion  $I(\varphi)$  in Abhängigkeit des Winkels  $\varphi$ . Wie oben schon angedeutet lässt sich die Amplitude des elektrischen Feldes nach

dem Analysator in Abhängigkeit des Winkels  $\varphi$  zwischen Feldvektor und Polarisations-ebene des Analysators durch

$$E(\varphi) = E_0 \cos(\varphi)$$

beschreiben. Wir wissen nun aber, dass sich die Intensität von Licht proportional zum Quadrat der Feldamplitude verhält. Ist nun die Intensität des Feldes mit der Amplitude  $E_0$  gegeben als  $I_0$  ergibt sich für die Intensität:

$$I(\varphi) = I_0(\cos \varphi)^2$$

Wir wissen dass der Cosinus für Vielfache des rechten Winkels eine Nullstelle hat und eben genau bei diesen Winkeln die höchste Steigung aufweist. Gleiches gilt auch für das Cosinusquadrat. Misst man nun eine Intensität die nahe der Null ist, verändert eine kleine Abweichung des Winkels die Intensität stärker als bei einer größeren Intensität. Eine Messung ist demnach exakter für geringere Intensitäten möglich.

Im Versuch wird ein Halbschattenpolarimeter nach Laurent zur Bestimmung der Drehung genutzt. Hierbei wird als Lichtquelle Umgebungslicht genutzt. Polarisator und Analysator sind Glen-Thompson-Prismen. Im Gesichtsfeld sorgt eine Laurentsche Quarzplatte, ein  $\lambda/2$ -Plättchen, für eine Dreiteilung des Gesichtsfeldes, wobei Licht, das in den äußeren Feldern zu sehen ist eine andere Polarisationssebene aufweist, als das Licht, welches durch das Quarzplatte transmittiert wurde. Zur Halbschattenmessung wird versucht die Helligkeit der drei Bereiche durch die Drehung des Analysators zur Deckung zu bringen. Die Lage der Prismen ist dabei unerheblich, da Winkeldifferenzen zu einer Referenzprobe mit normalem destilliertem Wasser gemessen werden.

### 3 Versuchsdurchführung und Auswertung

Im Versuch soll das Drehvermögen von drei Zuckern, Saccharose, Glucose und Fructose bestimmt werden. Anhand der unterschiedlichen Drehvermögen der Zucker soll in einem zweiten Teil die Reaktionsgeschwindigkeit des Enzyms Invertase, welches den Doppelzucker Saccharose in die Einfachzucker Glucose und Fructose aufspaltet, untersucht werden.

#### 3.1 Drehung durch Zucker

Alle Messungen erfolgen im Laurentschen Halbschattenpolarimeter. Der Lichtweg durch die Küvette beträgt bei allen Versuchen

$$l = 200mm$$

Der Wert ergibt sich aus den Angaben des Küvettenherstellers, weshalb ein Fehler nicht bekannt ist.

Wie oben bereits erwähnt muss dabei erst ein Referenzwinkel gemessen werden. Dazu wird die Versuchsküvette mit destilliertem Wasser gefüllt. Der Referenzwinkel bzw. Nullwinkel wurde somit auf

$$\alpha_0 = -7.00(5)^\circ$$

bestimmt. Der angegebene Fehler ist ein Schätzwert für den Fehler der einzelnen Winkel-messungen durch Ungenauigkeit der Intensitätsbestimmung und Ermittlung des Winkels anhand der am Polarimeter befindlichen Skala.

### 3.1.1 Saccharose

Zur Messung des Drehungswinkels von Saccharose wurde Saccharose ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) der Masse

$$m_S = 3.42(10)g$$

in einem Glas der Masse

$$m_{Glas} = 137.88(10)g$$

zu einer Gesamtmasse von

$$m_{Ges} = 166.76(10)g$$

mit destilliertem Wasser aufgefüllt. Mit der Dichte von Wasser bei Zimmertemperatur  $\rho_W = 1 \frac{g}{ml}$  ergibt sich die Konzentration der Lösung zu

$$c_S = \frac{m_S}{m_{Ges} - m_{Glas} - m_S} \rho_W = 0.1343(7) \frac{g}{ml}$$

Nach dem Einfüllen der Lösung in die Messküvette wurde der Drehwinkel im Halbschattenpolarimeter als

$$\alpha = +9.15(5)^\circ$$

bestimmt. Mit der Definition des Drehvermögens ergibt sich das Drehvermögen von Saccharose als

$$\alpha_S = \frac{\alpha - \alpha_0}{l \cdot c_S} = 601(4) \frac{^\circ}{m \cdot ml}$$

Dieser Wert zeigt eine sehr große Abweichung vom Literaturwert von  $\alpha_S = 665^\circ/m$ .

### 3.1.2 Glucose

Zur Messung des Drehungswinkels von Glucose wurde Glucosemonohydrat ( $C_6H_{12}O_6 \cdot H_2O$ ) der Masse

$$m_G = 1.98(10)g$$

in einem Glas der Masse

$$m_{Glas} = 137.73(10)g$$

zu einer Gesamtmasse von

$$m_{Ges} = 166.45(10)g$$

mit destilliertem Wasser aufgefüllt. Mit der Dichte von Wasser bei Zimmertemperatur  $\rho_W = 1 \frac{g}{ml}$  ergibt sich die Konzentration der Lösung zu

$$c_S = \frac{m_S}{m_{Ges} - m_{Glas} - m_S} \rho_W = 0.0740(3) \frac{g}{ml}$$

Nach dem Einfüllen der Lösung in die Messküvette wurde der Drehwinkel im Halbschattenpolarimeter als

$$\alpha = +6.52(5)^\circ$$

bestimmt. Mit der Definition des Drehvermögens ergibt sich das Drehvermögen von Saccharose als

$$\alpha_S = \frac{\alpha - \alpha_0}{l \cdot c_S} = 912(7) \frac{^\circ}{m \cdot ml}$$

Die große Abweichung zum Literaturwert von  $525^\circ/m$  von mehr als 70% lässt auf einen Fehler in der Messung schließen.

### 3.1.3 Saccharose

Zur Messung des Drehungswinkels von Fructose wurde Fructose ( $C_6H_{12}O_6$ ) der Masse

$$m_S = 1.80(10)g$$

in einem Glas der Masse

$$m_{Glas} = 137.81(10)g$$

zu einer Gesamtmasse von

$$m_{Ges} = 165.77(10)g$$

mit destilliertem Wasser aufgefüllt. Mit der Dichte von Wasser bei Zimmertemperatur  $\rho_W = 1 \frac{g}{ml}$  ergibt sich die Konzentration der Lösung zu

$$c_S = \frac{m_S}{m_{Ges} - m_{Glas} - m_S} \rho_W = 0.0688(3) \frac{g}{ml}$$

Nach dem Einfüllen der Lösung in die Messküvette wurde der Drehwinkel im Halbschattenpolarimeter als

$$\alpha = -21.60(5)^\circ$$

bestimmt. Mit der Definition des Drehvermögens ergibt sich das Drehvermögen von Saccharose als

$$\alpha_S = \frac{\alpha - \alpha_0}{l \cdot c_S} = -1060(8) \frac{^\circ}{m \cdot ml}$$

Auch dieser Wert zeigt eine große Abweichung vom Literaturwert  $\alpha_S = -920^\circ/m$ .

### 3.1.4 Fehler in der Messung

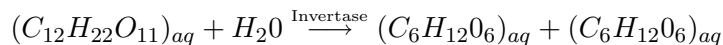
Alle drei Messungen der Drehfähigkeit der Zucker zeigen sehr große Abweichungen im Vergleich zu den Literaturwerten. Grund hierfür sind vermutlich die Winkelmessungen. Diese sind demnach nicht so exakt wie angegeben möglich. Für einen Fehler von  $\delta_\alpha = 0.5^\circ$  anstatt des vermuteten  $0.05^\circ$  ergeben sich so für die Fehler der Drehvermögen als

$$\delta_{\alpha_S} = 26^\circ \quad \delta_{\alpha_S} = 47^\circ \quad \delta_{\alpha_S} = 51^\circ$$

Allerdings liegen auch hier die Literaturwerte nicht innerhalb des Fehlers unserer Messung, der sich durch die Fehler der gemessenen Werte unter Berücksichtigung der Fehlerfortpflanzung ergibt. Die Diskussion möglicher Ursachen der Abweichung ist in der Fehlerdiskussion zu finden.

## 3.2 Reaktionskinetik der Invertase

Im zweiten Teil des Versuchs soll die enzymatisch ausgelöste Spaltung von Saccharose zu Glucose und Fructose untersucht werden. Hierfür wird einer Saccharose-Essigsäure-Acetatpufferlösung das Enzym Invertase zugegeben, das die Reaktion katalytisch auslöst. Die ausgeglichene Reaktionsgleichung lautet:



Wobei sich Glucose und Fructose nur durch die Struktur, nicht aber durch die Summenformel unterscheiden. Wichtig ist, dass bei der der Reaktion das Verhältnis von Glucose



und Fructose ausgeglichen ist, also auch die Konzentrationen von Glucose und Fructose in der Lösung gleich sind. Dabei ergibt sich das Drehvermögen der gelösten Substanzen als Überlagerung der Drehvermögen der einzelnen Substanzen. Demnach ergibt sich das Drehvermögen einer Glucose/Fructose Lösung nach den Literaturwerten als

$$\alpha_{G/S} = -200 \frac{^{\circ} \cdot ml}{m \cdot g}$$

Der Essigsäure-Acetatpuffer nimmt hierbei nicht an der Reaktion teil, sondern sorgt nur für die Aufrechterhaltung des sauren Milieus ( $pH = 4.75$ ), das nahe des optimalen pH-Werts der Invertase ( $pH = 4.5$ ) liegt.

### 3.2.1 Durchführung

Zur Untersuchung der Reaktionskinetik von Invertase wurde in einer vorgefertigten Invertase-Essigsäure-Acetatpufferlösung Saccharose der Masse

$$m_S = 3.42(10)g$$

in der Pufferlösung gelöst. Das Volumen der Pufferlösung wurde auch hier durch Abwiegen bestimmt. Auch wenn die Dichte der Pufferlösung nicht der von destilliertem Wasser entspricht, kann aufgrund der geringen Konzentrationen von Essigsäure/Na-Acetat (0.1-molar) und Invertase ( $0.25 \frac{g}{l}$ ) mit einer Dichte von  $\rho = 1 \frac{g}{ml}$  ohne großen Fehler gerechnet werden. Mit der Gesamtmasse von  $m_{Ges} = 167.40(10)g$  und der Masse des Messbechers von  $m_{Glas} = 137.70(10)$  ergibt sich eine Lösungsmenge von

$$V = (m_{Ges} - m_{Glas} - m_S) / \rho = 26.30(17)ml$$

Gemessen wurde der Drehwinkel der Lösung über einen Zeitraum von  $44min$ , anfänglich minütlich, später alle 2 Minuten. Tabelle (1) stellt die absoluten Winkel (also unter Berücksichtigung des Referenzwinkels) der Messung dar.

$t/min$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\alpha/^{\circ}$	16.6	13.8	13.1	12.6	12.3	12	10.8	10.6	9.8	9.1	8.1
$t/min$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22
$\alpha/^{\circ}$	7.8	6.7	6.1	5.4	5	4.7	3.9	3.5	3.4	3.1	2.5
$t/min$	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44
$\alpha/^{\circ}$	2	0.8	0	-0.1	-0.6	-1	-1.6	-1.8	-1.9	-2	-2.3

Tabelle 1: Die absoluten Messergebnisse der reaktionskinetischen Untersuchung der Invertase-Lösung.

### 3.2.2 Auswertung

Die Messergebnisse aus Tabelle (1) sind die Grundlage für den Reaktionsgraphen aus Abbildung (2), der den gemessenen Drehwinkel in Abhängigkeit der Zeit darstellt. Die zusätzlich dargestellte Ausgleichsfunktion ergibt sich aus den folgenden Annahmen:

Die Reaktionsgeschwindigkeit der linear abhängig mit der Konzentration des Eduktes. Mit der Definition der Reaktionsgeschwindigkeit als zeitliche Änderung der Eduktkonzentration ergibt sich aus

$$v_R = \frac{d}{dt}c_S = k \cdot c_S$$

für die Konzentration des Eduktes

$$c_S = c_0 e^{-kt}$$

Nach der Reaktionsgleichung ist bekannt, dass die Umsetzung eines Saccharosemoleküls die Erzeugung jeweils eines Glucose/Fruktose-Moleküls zur Folge hat. Demnach ergibt sich für die Konzentration der Glucose/Fruktose-Mischung

$$c_{G/F} = c_0 (1 - e^{-kt})$$

Da die Drehung linear mit der Konzentration zunimmt, ergibt sich der Drehwinkel in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  als

$$\alpha(t) = \alpha_S(t) + \alpha_{G/F}(t) = \alpha_{S,0}e^{-kt} + \alpha_{G/F,0}(1 - e^{-kt})$$

Durch die Anpassung der Kurve an die Messwerte durch die Methode der kleinsten Fehlerquadrate ergeben sich die Koeffizienten der Gleichung zu:

$$\alpha_{S,0} = 15.7(2) \quad \alpha_{G/F,0} = -5.4(5) \quad k = 0.045(2)$$

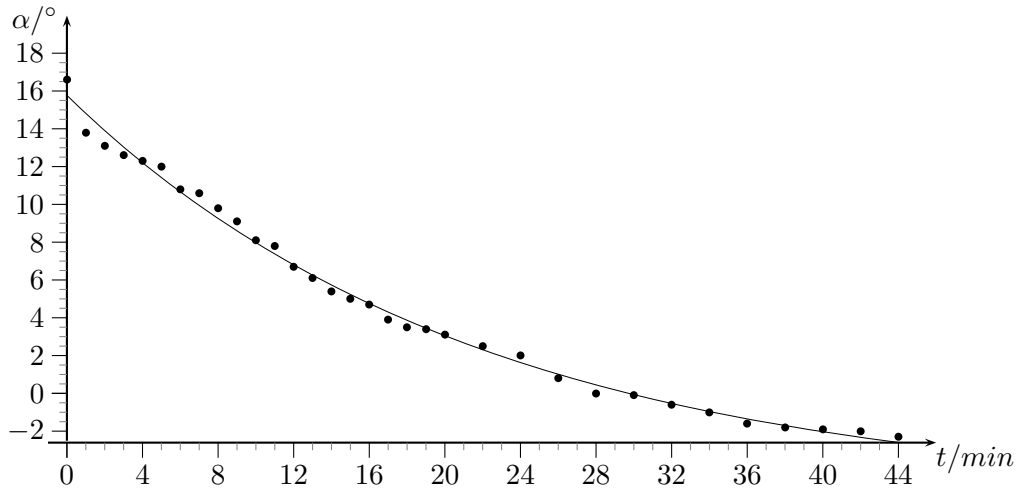


Abbildung 2: Grafische Darstellung der Messergebnisse aus Tabelle (1). Die eingezeichnete Ausgleichsfunktion ergibt sich aus der Annahme einer mit der Konzentration linear skalierenden Reaktionsgeschwindigkeit.

Die Koeffizienten der angepassten Kurve ergeben genau die gesuchten Drehungen  $\alpha(0) = 15.7(2)^\circ$  und  $\alpha(\infty) = -5.4(5)^\circ$ . Zum Vergleich mit den im ersten Teil errechneten Werten muss analog zum ersten Teil das Drehvermögen berechnet werden. Aus der Definition der Drehung ergibt sich für das Drehvermögen

$$\alpha_c = \frac{\alpha}{l \cdot c}$$

Für die Saccharose-Lösung an Anfang der Reaktion ergibt sich so

$$\alpha_S = \frac{15.7(2)^\circ \cdot 26.30(17)ml}{0.2m \cdot 3.42(10)g} = 637(21) \frac{^\circ}{m \ ml} g$$

und unter der Annahme einer vollständigen Umsetzung der Saccharose für

$$\alpha_{G/F} = \frac{-5.4(5)^\circ \cdot 26.30(17)ml}{0.2m \cdot 3.42(10)g} = -219(62) \frac{^\circ}{m \ ml} g$$

### 3.2.3 Vergleich der Ergebnisse

Im Falle des Drehvermögens der Saccharoselösung ist ein Vergleich direkt möglich. Bei der statischen Messung wurde das Drehvermögen als

$$\alpha_S = 601(4) \frac{^\circ}{m \ ml} g$$

bestimmt. Die Untersuchung der Reaktion lieferte hierfür einen Wert von

$$\alpha_S = 637(21) \frac{^\circ}{m \ ml} g$$

Ein Vergleich der Glucose/Fructose-Lösung ist nicht direkt möglich. Allerdings lässt sich das Drehvermögen einer gleichkonzentrierten Mischungslösung aus den Drehvermögen der einzelnen Stoffe berechnen. Hierbei gilt

$$\alpha_{G/S} = \frac{\alpha_G + \alpha_S}{2}$$

Hiermit ergibt sich aus den statischen Messungen ein Drehvermögen von

$$\alpha_{G/S} = \frac{\alpha_G + \alpha_S}{2} = -74(5) \frac{^\circ}{m \ ml} g$$

Verglichen mit dem Wert des Drehvermögens durch die Reaktion

$$\alpha_{G/F} - 219(62) \frac{^\circ}{m \ ml} g$$

ist der Wert aufgrund der Fehler in den statischen Messergebnissen stark abweichend.

### 3.3 Fehlerdiskussion

Als Erstes seien hier die Formeln zur Berechnung der Fehler  $\delta_c$  und  $\delta_{\alpha_c}$  im ersten Teil der Auswertung genannt. Für den Fehler der Konzentration aus den Einzelfehlern ergibt sich

$$\delta_c = \sqrt{\frac{m\delta_{m_{Ges}}}{(m_{Ges} - m_{Glas} - m)^4} + \frac{m\delta_{m_{Glas}}}{(m_{Ges} - m_{Glas} - m)^4}}$$

Der Fehler des Drehvermögens errechnet sich aus den Einzelfehlern durch

$$\delta_{\alpha_c} = \sqrt{\frac{(\alpha - \alpha_0)^2}{c^4 l^2} \delta_c^2 + \frac{1}{c^2 l^2} \delta_\alpha^2 + \frac{1}{c^2 l^2} \delta_{\alpha_0}^2 + \frac{(\alpha - \alpha_0)^2}{c^2 l^4} \delta_l^2}$$

Trotz einer großzügigen Schätzung der Fehler bei den Einzelmessungen ergeben sich bei den errechneten Werten für das Drehvermögen der einzelnen Lösungen im ersten Teil nicht so große Fehlerintervalle, so dass die Literaturwerte in den Intervallen um die Messwerte liegen. Ein großer Fehler in der Messung des Referenzwinkels scheint für die Erklärung der abweichenden Messwerte nicht in Frage zu kommen, da die Abweichungen bei den Messungen nicht gleichgerichtet sind. Ein Fehler in der Konzentrationsbestimmung könnte zwar mit zu den Fehlern beitragen ist aber aufgrund der Vorgehensweise relativ unwahrscheinlich. Da für die Konzentrationsbestimmung nur Massen der Flüssigkeiten und Stoffe verwendet wurden, die von der selben Waage stammen, kann durch sie zwar ein systematischer Fehler entstehen auf den die Abweichungen der Messwerte allerdings nicht schließen lassen. Auch ein systematischer Fehler aufgrund von Fehlern der nicht beachteten Größen, wie die Lichtweglänge durch die Küvette oder der Dichte, lässt sich wahrscheinlich ausschließen.

Hauptfehlerquelle bei den Messungen ist die Bestimmung der Drehungswinkel. Die Beleuchtung des Polarimeters erfolgte mit der Umgebungsbeleuchtung. Da im Polarimeter ein Orangefilter zur Selektierung der „Normwellenlänge“ eingebaut ist, ist die resultierende Intensität der betrachteten Flächen sehr gering. Bei heller Umgebung gestaltet sich das Einstellen der gleichen Helligkeit im Polarimeter als schwierig. Zwar wurde versucht die „Mitte“ des Winkelbereichs einzustellen, in dem die Helligkeit gleich erscheint, allerdings ist dies nur eingeschränkt möglich. Zum Ermitteln der Winkel war zwar eine Gradskala mit entsprechendem Nonius vorhanden, aber schwer abzulesen, so dass ein Fehler in der Ermittlung des Winkels nicht ausgeschlossen ist.

Eine weitere wahrscheinliche Fehlerquelle könnten die verwendeten Chemikalien sein. Die Messung an der Saccharose-Lösung sowie die reaktionskinetische Untersuchung lieferten Werte mit relativ geringer Abweichung von den Literaturangaben. Die Messungen der Glucose und Fructose-Lösungen waren allerdings sehr ungenau. Ein möglicher Grund dafür ist bei einer Verunreinigung der betreffenden Substanzen zu suchen.

## 4 Fragen

Im Folgenden werden die in der Versuchsanleitung gestellten Fragen beantwortet.

1. Verfahren zur Herstellung von polarisiertem Licht:  
siehe Abschnitt (2.3)
2. Was ist ein Racemat?  
Ein Racemat ist die äquimolare Mischung zweier Enantiomere. Enantiomere sind Moleküle mit spiegelsymmetrischem Aufbau. Aufgrund ihres Aufbaus haben Enantiomere entgegengesetzte Drehvermögen, die aber vom Betrag her gleich sind. Eine äquimolare Mischung beider Arten besitzt nicht die Fähigkeit die Polarisationssebene von Licht zu drehen und ist optisch inaktiv. Ein Beispiel von einem Racemat wäre eine Mischung aus D- und L-Glucose im gleichen Verhältnis.
3. Warum ist die dunklere Stellung im Polarimeter genauer einstellbar?  
siehe Abschnitt (2.4)

## 5 Verzeichnisse

### 5.1 Abbildungsverzeichnis

1	Polarisation im Glan-Thompson-Prisma . . . . .	4
2	Diagramm zur Reaktionsgeschwindigkeit . . . . .	10

### 5.2 Tabellenverzeichnis

1	Messergebnisse . . . . .	9
---	--------------------------	---

### 5.3 Literaturverzeichnis

[WPEnz] Verschiedene *Wikipedia - Die freie Enzyklopädie*<http://de.wikipedia.org>

[Dem04] W.DEMTRÖDER *Experimentalphysik 2 - Elektrizität und Optik* Springer-Verlag

[Hal03] D.HALLIDAY, R.RESNICK, J.WALKER *Physik* WILEY-VCH GmbH&Co. KGaA  
1.Auflage 2003

[TBP99] H.KUCHLIN *Taschenbuch der Physik* Fachbuchverlag Leipzig 16.Auflage 1999

[Mor03] C.MORTIMER, U.MÜLLER *Chemie - Das Basiswissen der Chemie* Georg Thieme  
Verlag 8.Auflage 2003

[APScript] B.RUNGE *Versuchsanleitung zur Saccharimetrie*