

Versuchsprotokoll:

Polarimetrische Untersuchung von Saccharose

Zeitaufwand:

Aufbau: 5-10 Minuten
 Durchführung: 35 Minuten
 Entsorgung: 5 Minuten

Chemikalien:

Chemikalie	Menge	R-Sätze	S-Sätze	Gefahrensymbol	Schul-einsatz
Salzsäure HCl (konz.)	100 mL	34-37	26-45	 Ätzend	SI+SII
Saccharose C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	120 g	-	-	-	-

Materialien:

- Längliches Glasrohr (oder auch längliches 600 mL Becherglas)
- Glasstab
- Overheadprojektor
- Polarimeter
- evtl. Stoppuhr

Versuchsaufbau:

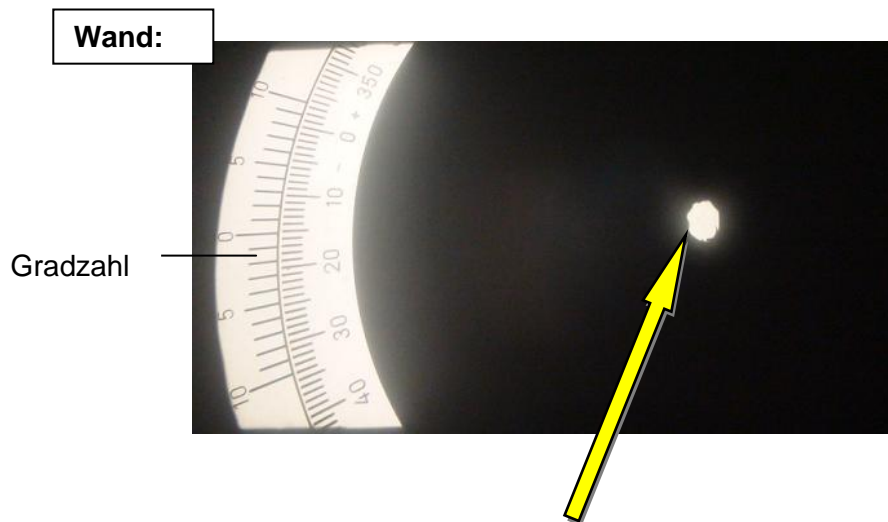
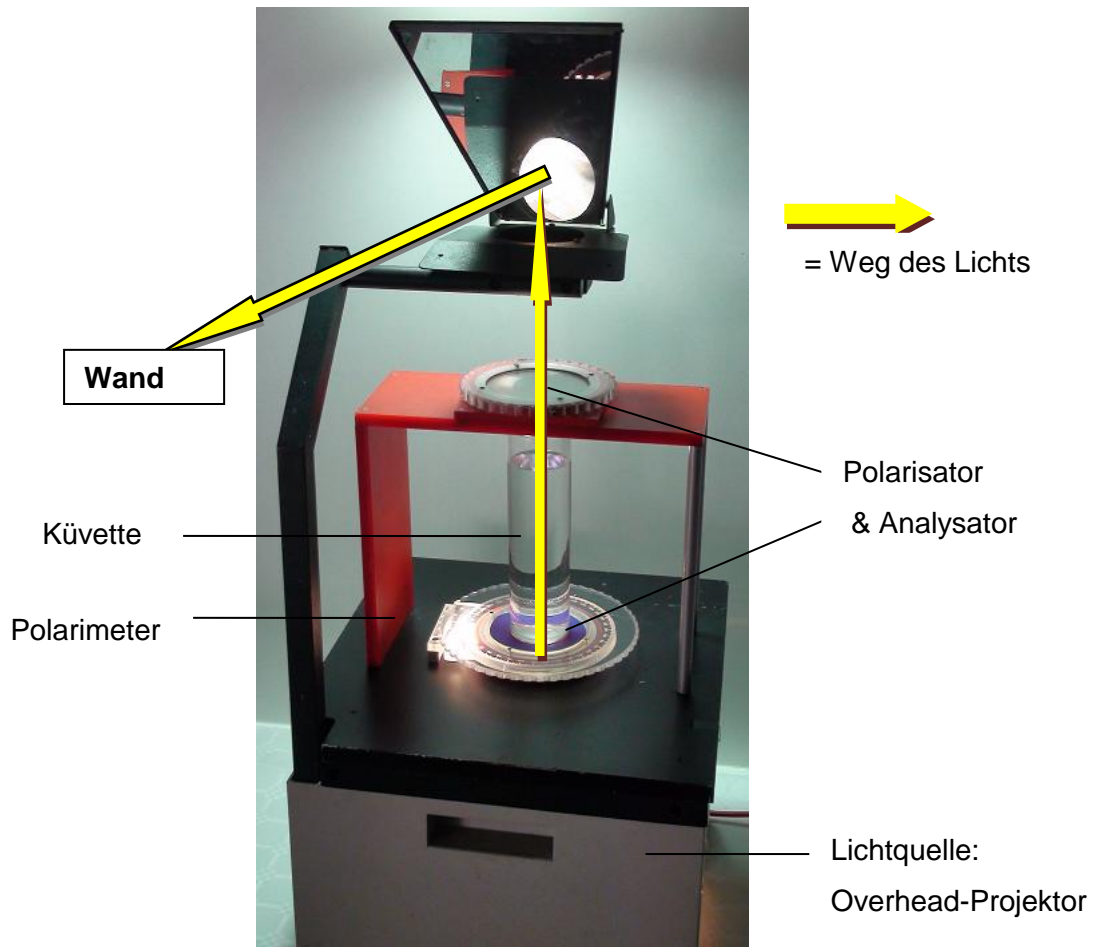


Abb.1+2 Versuchsaufbau

Durchführung:

I. Kalibrierung des Polarimeters:

1. Zur Kalibrierung des Polarimeters wird die Küvette (das Glasrohr/Becherglas) mit 400 mL Wasser aufgefüllt.
2. Die Küvette wird dann auf das Polarimeter gestellt und der Projektor angeschaltet. Nun wird der Analysator auf null gestellt.
3. Anschließend dreht man den Polarisator so lange, bis kein Licht mehr durch den Analysator hinaustritt und somit auch der Lichtfleck an der Wand verschwindet.

II. Bestimmung des Drehwertes von Saccharose

1. Um den Drehwert von Saccharose zu bestimmen, werden in der Küvette 120 g Saccharose in 350 mL Wasser gelöst.
2. Diese Lösung stellt man in das Polarimeter und dreht so lange am Polarisator, bis kein Lichtpunkt mehr an der Wand zu erkennen ist.

Anmerkung: Das komplette Verschwinden des Lichtpunktes ist nicht zu erreichen. Viel eher kommt es zu dem Phänomen, dass nur noch blaues Licht durchgelassen wird (s. Auswertung).

III. Ermittlung des Drehwertes von Saccharose mit Salzsäure

1. In der Küvette werden 120 g Saccharose in 300 mL Wasser gelöst.
2. Zu dieser Lösung werden 100 mL konzentrierte Salzsäure gegeben und mit dem Glassstab umgerührt. Will man die Zeit ermitteln, so wird nach der Zugabe der Säure die Stoppuhr angeschaltet.
3. Der Drehwert dieser Lösung wird mittels Polarimeter in regelmäßigen Zeitabständen ermittelt, bis sich ein konstanter Drehwert eingestellt hat.

Beobachtung:

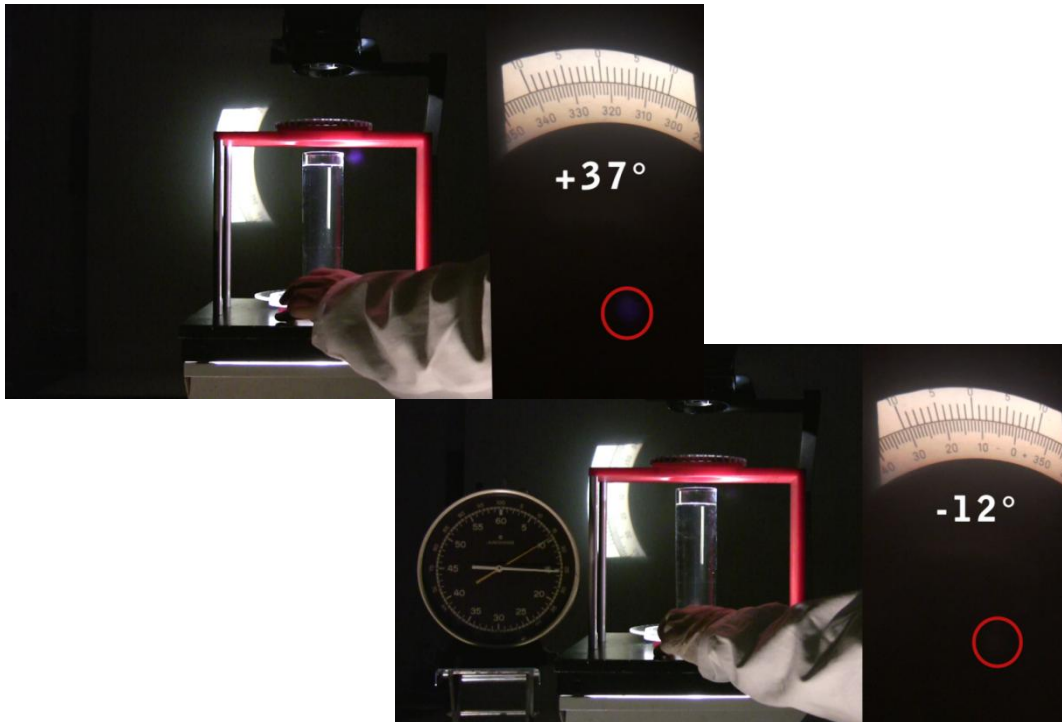


Abb. 3+4 Versuchsbeobachtung

Nach der Zugabe der Salzsäure verändert sich der Drehwert der Lösung von $+37^\circ$ auf -12° .¹

Entsorgung:

Die Saccharose-Lösung aus Versuchsteil 2 kann in den Ausguss entsorgt werden.
Die salzsaure Saccharose-Lösung wird mit Natronlauge neutralisiert und in den Ausguss gegeben.

¹ Dies sind keine errechneten spezifischen Drehwerte, sondern nur die abgelesenen Werte!

Auswertung:

1. Stereoisomerie und optische Aktivität

*Stereoisomerie*²

In der Chemie unterscheidet man zwischen zwei verschiedenen Arten von Isomerie. Die **Konstitutionsisomerie** (oder auch Strukturisomerie) und die Stereoisomerie. Konstitutionsisomere sind Verbindungen mit derselben Summenformel, die jedoch eine verschiedene Atomverkettung (Atomfolge) haben. Um ein Konstitutionsisomer in ein anderes überführen zu können, müssen Bindungen gebrochen und die Atome in einer anderen Reihenfolge angeordnet werden. Ein solches Beispiel einer Konstitutionsisomerie wäre das Butan und das 2-Methylpropan (*Abb.5*).

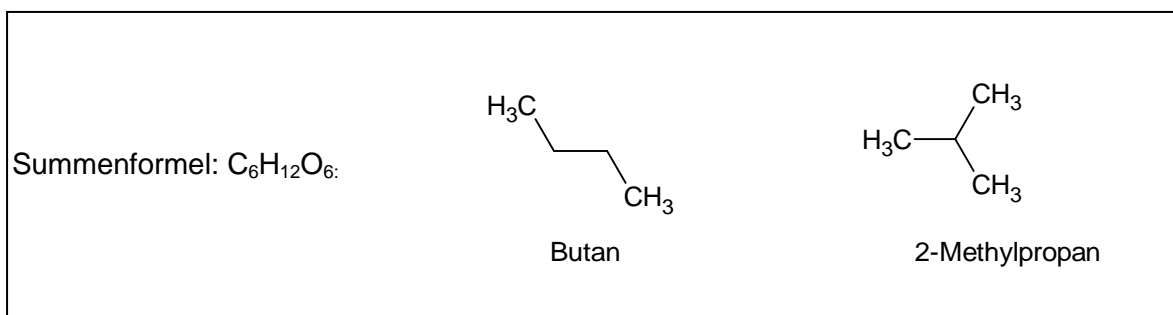


Abb.5 Konstitutionsisomerie am Beispiel Butan

Bei der **Stereoisomerie** (auch Raumisomerie) haben die Atome der Isomeren zwar immer die gleiche Konstitution, sie sind aber räumlich verschieden angeordnet. Stereoisomere weisen also bei gleicher Atomfolge verschiedene räumliche Anordnung der Atome und Bindungen auf.³

Bei den Stereoisomeren wird nochmals zwischen den Diastereomeren und den Enantiomeren unterschieden.

Bei den **Enantiomeren** handelt es sich um Isomere, die sich wie Bild und Spiegelbild verhalten. Das heißt, sie lassen sich nicht mit „ihrem Spiegelbild“ zur Deckung bringen, ohne dass dafür Atombindungen gebrochen werden müssten. Diese Isomere verhalten sich ähnlich wie unsere rechte und linke Hand, die sich auch nicht durch drehen mit der jeweils anderen Hand in Deckung bringen lassen. Aus diesem Grund spricht man auch von „Händigkeit“. Diese allgemeine Eigenschaft der „Händigkeit“ wird auch als Chiralität (gr. *cheir* = Hand oder „Händigkeit“) bezeichnet und kann auf verschiedenste Objekte zutreffen (*Abb. 6+7*).

² Vollhardt, K.P.C. & Schore, N.E. (2005) S.187ff. und Bruice, P.Y. (2007), S.238ff.

³ Hollemann, A.F. & Wiberg, A. (1995), S.323

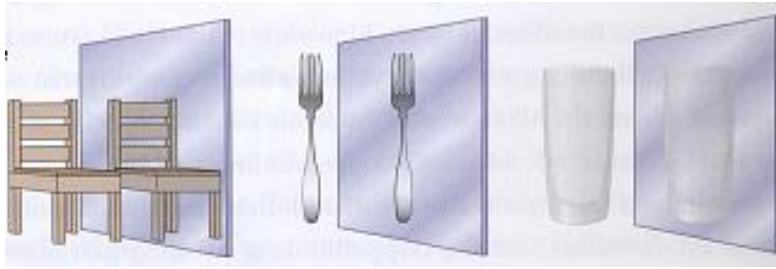


Abb.6 nicht chirale Objekte



Abb.7 chirale Objekte

Chirale Objekte (Abb.6) besitzen kein Symmetriezentrum und auch keine Symmetrieebenen. Auch bei chemischen Verbindungen gilt dieses Kriterium, um zwischen enantiomeren und nichtenantiomeren Verbindungen zu unterscheiden. In Abb.8 sind einige Verbindungen dargestellt und es wird gezeigt, ob sie chiral, oder achiral sind.

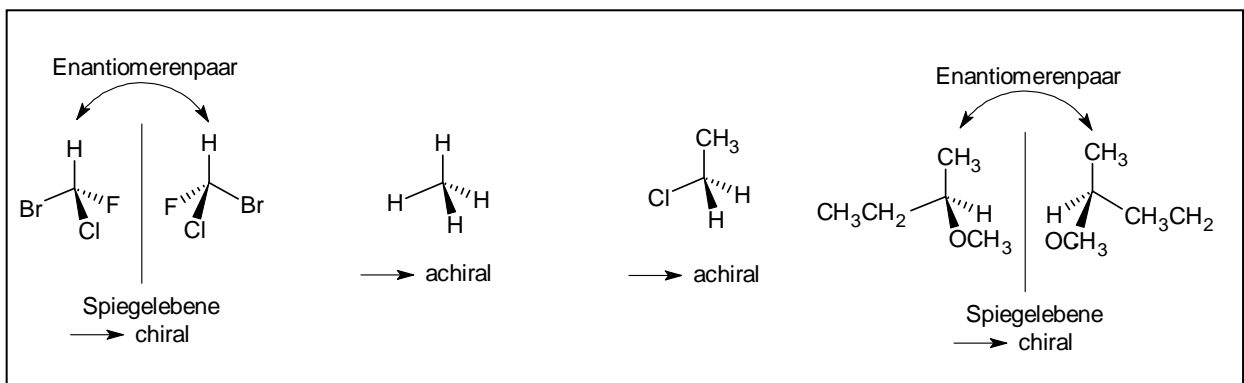


Abb.8 Beispiele für chirale und achirale Moleküle

Wie man an den Beispielen erkennen kann, besitzen alle chiralen Moleküle ein Atom, die an vier verschiedene (!) Substituenten gebunden sind. Dieses Atom wird auch als Chiralitätszentrum, Stereozentrum oder asymmetrisches Atom bezeichnet und mit „*“ markiert (Abb.9).

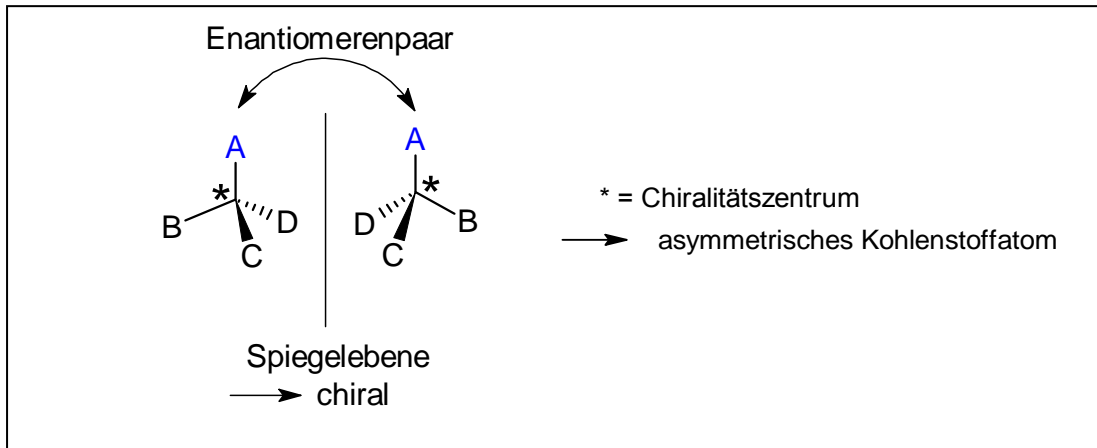


Abb.9 Darstellung eines chiralen Moleküls

Moleküle, die eine solche „Händigkeit“ zeigen, können unterschiedliche Eigenschaften besitzen, sie können beispielsweise verschieden riechen. Ein solches Beispiel ist das Monoterpen Carvon (Abb.10). So riecht das S-Enantiomer des Carvons nach Kümmel, während das R-Enantiomer nach Minze riecht.

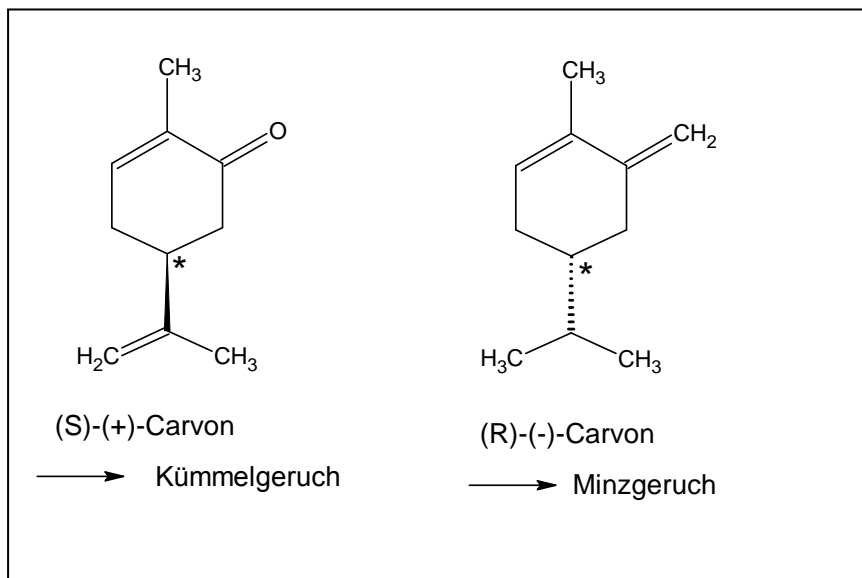


Abb.10 Enantiomerenpaar des Carvons

Diastereomere kommen nur in Molekülen mit mehreren Stereozentren (zu denen auch die meisten Zucker zählen) vor. Auf diese Diastereomere möchte ich nun nicht weiter eingehen, da zum Erläutern der optischen Aktivität das Wissen über Enantiomere ausreicht.

Optische Aktivität⁴

Enantiomere sind sich sehr ähnlich. So haben sie identische Bindungen und auch einen identischen Energiegehalt. Des Weiteren sind auch die meisten physikalischen Eigenschaften von Enantiomeren identisch. Eine Ausnahme bildet dabei die Drehung von linear polarisiertem Licht. Wird linear polarisiertes Licht durch eine Probe eines der beiden Enantiomere geleitet, so wird das Licht um einen bestimmten Betrag gedreht. Wiederholt man diesen Versuch mit dem andern Enantiomer, so wird das Licht um denselben Betrag gedreht, jedoch in die entgegengesetzte Richtung. Das Enantiomer, dass die Ebene des polarisierten Lichts im Uhrzeigersinn dreht, wird als rechtsdrehendes Enantiomer bezeichnet und per Definition als (+) - Enantiomer benannt. Das Enantiomer, dass die Ebene des polarisierten Lichts gegen den Uhrzeigersinn dreht, bezeichnet man als linksdrehendes bzw. als (-) - Enantiomer.

2. Funktionsweise eines Polarimeters⁵:

Das Gerät, mit dem man die optische Aktivität von Substanzen misst, ist ein Polarimeter. In diesem Polarimeter wird mittels einer Natriumdampfampe monochromatisches Licht (das Licht einer bestimmten Wellenlänge; im Falle der Natriumdampfampe beträgt die Wellenlänge der D-Linie genau 589 nm) durch einen Polarisationsfilter, den sogenannten Polarisator, geleitet. Als Polarisationsfilter wirkt ein Nicolsches Prisma, welches das monochromatische Licht der Natriumdampfampe linear polarisiert. Durch diese lineare Polarisation liegen alle Feldvektoren des Lichtes in einer Ebene (s. *Abb.11+12*). Nun durchquert der Lichtstrahl die Meßzelle mit der Probe (die Küvette). Befindet sich eine achirale Substanz in der Meßzelle, so tritt das Licht mit unveränderter Polarisationsrichtung wieder aus der Lösung aus (*Abb.11*). Ist die Substanz in der Meßzelle jedoch optisch aktiv, so tritt das Licht mit einer veränderten Polarisationsrichtung wieder aus der Lösung aus (*Abb.12*). Die Drehung der Schwingungsebene wird mit Hilfe eines zweiten Nicolschen Prismas, dem Analysator, ermittelt. An diesem Analysator befindet sich ein Okular, an das eine Stellschraube mit Gradeinteilung angeschlossen ist, um den Drehwinkel in Grad (°) bestimmen zu können.

⁴ Vollhardt, K.P.C. & Schore, N.E. (2005), S.193f. und Bruice, P.Y. (2007) S.250ff.

⁵ Vollhardt, K.P.C. & Schore, N.E. (2005), S.194ff. und Bruice, P.Y. (2007) S.253ff.

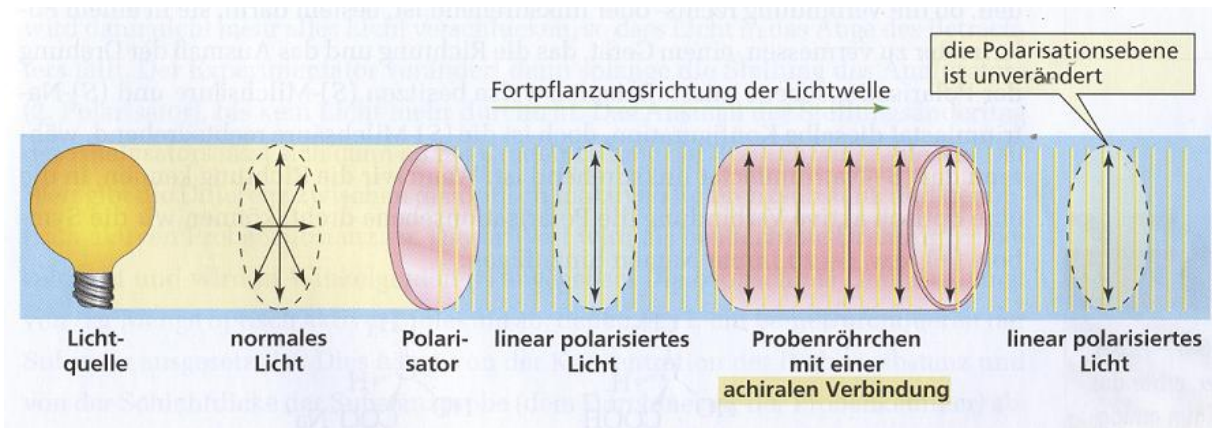


Abb.11 Polarimeter mit achiraler Probe

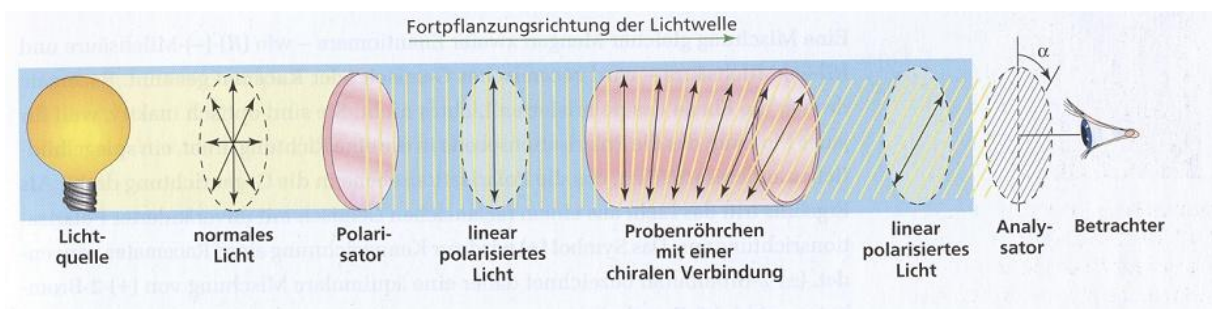


Abb.12 Polarimeter mit chiraler Probe

Stimmen die Vorzugsrichtungen von Polarisator und Analysator überein, so kann das Licht ungehindert hindurch dringen. Wird der Analysator hingegen senkrecht zum Polarisator gestellt, so kann das Licht nicht hindurch und das Blickfeld erscheint dunkel. Wenn man in dieser Stellung von Analysator und Polarisator eine optisch aktive Lösung in den Strahlengang bringt, so kann man eine Aufhellung am Analysator erkennen. Dies liegt daran, dass die Schwingungsebene des linear polarisierten Lichts durch die optisch aktive Lösung um einen bestimmten Betrag gedreht wurde. Der am Analysator gemessene Drehwinkel entspricht der beobachteten optischen Drehung α der Probe.

Der Drehwert α hängt neben der Struktur der optisch aktiven Substanz von der Konzentration, der Länge der Küvette, der Wellenlänge des Lichts und der Temperatur ab. Um bessere Vergleichswerte zu haben, hat man sich auf einen Standardwert von α , die **spezifische Drehung**, geeinigt. Die Definition dieser vom Lösungsmittel unabhängigen Größe ist in *Abb. 13* dargestellt.

$$[\alpha]_{\lambda}^{\delta} = \frac{\alpha}{l \times c}$$

[α] = spezifische Drehung

λ = Wellenlänge des einfallenden Lichts; für die Natriumdampfampe einfach durch „D“ gekennzeichnet

δ = Temperatur in °C

α = beobachtete optische Drehung in °

d = Länge der Küvette (Meßzelle) in dm (meist 1 dm lang)

c = Konzentration in g/mL (Lösung oder Dichte in g/mL (reine flüssige Phase) ⁶

Abb.13 Berechnung des spezifischen Drehwertes

Der Overheadprojektor dient dem im Versuch verwendete Polarimeter als Lichtquelle. Dies bedeutet, dass es sich nicht um monochromatisches, sondern um polychromatisches Licht handelt. Dieses Licht besitzt verschiedene Wellenlängen und besteht somit auch aus unterschiedlichen Farben. Aus diesem Grund lässt sich im Versuch auch keine komplette Verdunklung beim Messen der Drehwerte der verschiedenen Lösungen erreichen, da die Polarisationsfolie als Prisma fungiert und das Licht in seine verschiedenen Farben teilt. Als Ergebnis gilt somit nicht, wie im Idealfall „lässt Licht durch und lässt kein Licht durch“, sondern „es wird kein Licht durchgelassen und es wird nur blaues Licht durchgelassen“.

Des Weiteren wird nicht mit Nicolschen Prismen gearbeitet, sondern mit einfacheren Polarisationsfolien.

Aus diesen Gründen können beim Messen mit diesem provisorischen Polarimeter keine Literaturwerte erreicht werden. In den Tendenzen stimmen die Ergebnisse jedoch mit einem professionellen Polarimeter überein.

3. Erläuterung des Versuchs

Saccharose ist ein Disaccharid, das sich aus zwei Monosaccharideinheiten zusammensetzt, α -D-Glucose und β -D-Fructose (Abb. 14).

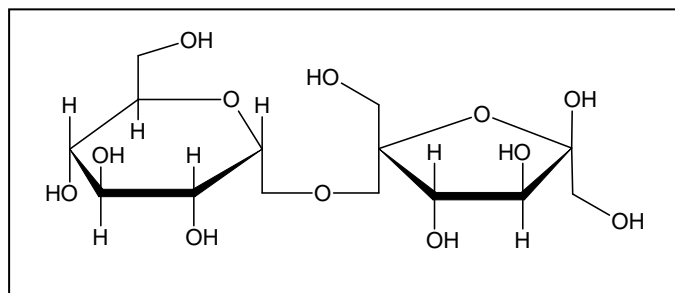


Abb14. Saccharose

⁶ Vollhardt, K.P.C. & Schore, N.E.(2005), S.195

Wird eine Saccharose-Lösung mit konzentrierter Säure behandelt, so kommt es zur Hydrolyse des Disaccharids. Die Saccharose wird in die in ihr enthaltenen Monosaccharideinheiten α -D-Glucose und β -D-Fructose gespalten (Abb.15)

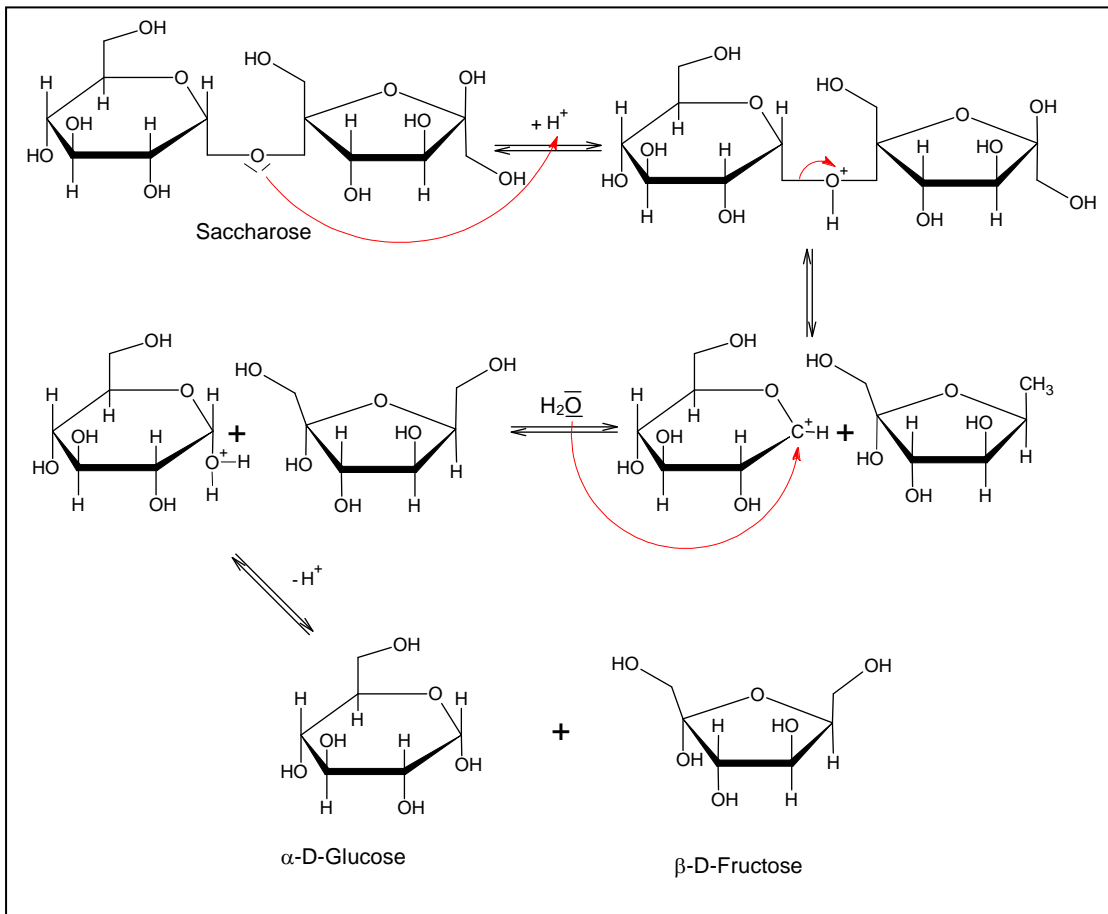


Abb.15 Spaltung von Saccharose

Saccharose hat eine spezifische Drehung von $+66,5^\circ$. Durch das Behandeln der Saccharoselösung mit konzentrierter Salzsäure ändert sich die Drehung kontinuierlich bis zu einem Drehwert von -20° . Aufgrund der Umkehrung (Inversion) des Vorzeichens der Lösung spricht man auch von Rohrzuckerinversion. Das Produkt wird als Invertzucker bezeichnet.

Erklären lässt sich dieses Phänomen dadurch, dass bei der Hydrolyse ein äquimolares Gemisch aus α -D-Glucose und β -D-Fructose entsteht. Der Drehwert der Fructose beträgt -92° , während Glucose einen Drehwert von $+52,7^\circ$ besitzt. Aufgrund des äquimolaren Verhältnisses und des höheren Betrages der Drehung bei der Fructose, ist die Gesamtdrehung der Invertzuckerlösung negativ.

Didaktische Auswertung:

Einordnung in den Lehrplan:

Im Lehrplan ist dieser Versuch in der Qualifikationsphase im Bereich „Kohlenstoffchemie II: Technisch und biologisch wichtige Kohlenstoffverbindungen“ einzuordnen. In diesem Bereich ist das Thema Kohlenhydrate ein genannter Schwerpunkt. Unter anderem soll auch auf Nachweisreaktionen der Kohlenhydrate eingegangen werden.

Einordnung des Versuchs

Zur Durchführung dieses Versuchs muss ein Polarimeter an der Schule vorhanden sein. Ansonsten ist der Aufbau des Versuchs relativ einfach. Die verwendeten Chemikalien (Saccharose und Salzsäure) sollten an der Schule vorhanden sein. Laut „HessGiss“-Datenbank dürfen alle verwendeten Chemikalien uneingeschränkt von Schülern verwendet werden, weshalb sich dieser Versuch auch als Schülerversuch eignet. Aufgrund der relativ lange Durchführungszeit ist dieser Versuch nur in einer Doppelstunde durchführbar. Durch diesen Versuch können die Schüler die Funktionsweise eines Polarimeters und gleichzeitig die Hydrolyse-Reaktionen der Kohlenhydrate erlernen. Die Schüler können dabei einen Zusammenhang zwischen den Drehwerten der Lösung und der ablaufenden Chemischen Reaktion bzw. den Produkten und Edukten herstellen.

Literaturangaben:

Bruice, P.Y. (2007). Organische Chemie (5. Auflage). München: Pearson Education Deutschland GmbH.

Vollhardt, K.P.C. & Schore, N.E. (2005). Organische Chemie (4. Auflage). Weinheim: Wiley-VCH GmbH & Co KGaA.

Holleman A.F. & Wiberg E. (1995). Lehrbuch der Anorganischen Chemie (101. Auflage). Berlin: Walter de Gruyter & Co.

Bilderverzeichnis:

Abb.6+7: Bruice (2007), S.240

Abb.11 : Bruice (2007), S.251

Abb.12 : Bruice (2007), S.253

Alle anderen Abbildungen wurden selbst angefertigt.