

Philipps-Universität Marburg
Fachbereich Chemie
Übungen im Experimentalvortrag für Studierende des Lehramts
Leitung: Dr. J. Butenuth, Dr. E. Gerstner, Prof. H. Perst

Skriptum zum Thema

Zucker

von Rudolf Biehler, vorgetragen am 20.1.1999

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	S. 3
2. Chemische und physikalische Eigenschaften.....	S. 6
<i>Versuch 1: Fehlingsche Probe</i>	
<i>Versuch 2: Saccharose, ein Disaccharid</i>	
3. Vorkommen.....	S. 19
4. Geschichte.....	S. 22
5. Gewinnung.....	S. 23
<i>Demonstration 1: Darstellung von Saccharose aus Zuckerrüben</i>	
<i>Versuch 3: Optische Aktivität einer Saccharoselösung</i>	
6. Sensorische Eigenschaften.....	S. 29
<i>Versuch 4: Quantitative Bestimmung der OH-Gruppen</i>	
<i>Versuch 5: Karamelisierung</i>	
<i>Demonstration 2: Färbekraft von Zuckercoleur</i>	
7. Verwendung.....	S. 39
<i>Demonstration 3: Tribolumineszenz von Saccharosekristallen</i>	
8. Literatur.....	S. 42

Einleitung

Der Chemiker versteht unter dem Begriff „Zucker“ die Kohlenhydrate, der Mann von der Strasse versteht darunter den Zucker der uns im Alltag alle Nase lang über den Weg läuft: die Saccharose. Sie ist in aller Munde, sei es in der Bratwurst, im Senf dazu oder in erlesenen Pralinen...

Saccharose ist einer der wenigen chemischen Stoffen, die man in einem hohen Reinheitsgrad (bis 99,8%) im Supermarkt beziehen kann.

Trotzdem wird über den Reinstoff Saccharose, der im Unterschied zu den meisten anderen Lebensmitteln keine schädlichen Verunreinigungen enthält, heftige Diskussionen geführt und zum Schadstoff erklärt. In der Broschüre „Lebensmittel Zucker – Genuß in der Diskussion“ der CMA (Centrale Marketing-Gesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft) wird Prof. Pudel (Göttingen) wie folgt zitiert: „Kein anderes Lebensmittel wird in der Öffentlichkeit so kritisch, so gefühlsbeladen, so ungerecht bewertet und diskutiert, aber auch so genußvoll und schuldbewußt zugleich verzehrt wie der Zucker.“ Die Zuckerindustrie hat natürlich kein Interesse an einer aus ihrer Sicht „ungerechten Bewertung“ ihres Produktes und versucht die Verbraucher von der Unschädlichkeit der Saccharose zu überzeugen, dabei beruft sie sich auf die Veröffentlichung „Evaluation of Health Aspects of Sugars Contained in Carbohydrate Sweeteners“ der obersten amerikanischen Gesundheitsbehörde (FDA). Die Hauptargumente der Zuckerindustrie:

- „Zucker ist kein eigenständiger Risikofaktor“. Eigenständige, unabhängige Risikofaktoren gibt es nicht, Theorien über die Entstehung von Krankheiten gibt es nur für wenige Krankheiten, häufig sind sie Folge eines multifaktoriellen Geschehens. Erhöhter Zuckerkonsum gilt als einer von zahlreichen Risikofaktoren.

- „Zucker verursacht nicht Übergewicht“. Bei dem komplexen Phänomen Übergewicht spielen physiologische, soziologische und psychologische Faktoren eine Rolle. Ein- und Zweifachzucker werden schnell resorbiert (Glucose noch im Mund) und führen zu einem (starken) Anstieg des Blutzuckerspiegel. Darauf folgt eine Ausschüttung des Hormons Insulin. Insulin ist für die Regulation der Glucosekonzentration im Blut verantwortlich, es bewirkt u.a. eine schnelle Umsetzung der Glucose in der Leber, im Muskel und im Fettgewebe. Eine zuckerreiche Kost begünstigt eine gesteigerte Fettsynthese. Insulin gilt auch als appetitanregend... Besteht schon Fettleibigkeit (Adipositas) ist bei einer erhöhten Insulinproduktion die Glucoseverwertung vermindert. Die verminderte Glucosetoleranz kann zahlreiche pathologische Stoffwechselfvorgänge zur Folge haben. In anderen Stoffwechselfuntersuchungen wurde allerdings gezeigt, daß eine bedeutsame Umwandlung von Kohlenhydrate in Fettsäuren (Lipacidogenese) erst bei einer Glucoseoxidationsrate von >500 g/Tag einsetzt. Eine hohe Kohlenhydratzufuhr soll auch hemmend auf die Lipolyse (Fettspaltung) wirken, gleichzeitig aber eine verstärkte Einlagerung der Nahrungsfette ins Fettgewebe bewirken.
- „Zucker ist einer der Faktoren, die Karies begünstigen“. Mundbakterien (insbesondere Streptococci) vergären u.a. Saccharose zu Fructose und Glucanen (Polymere der Glucose). Die Polymere werden auch als Plaque bezeichnet, sie verhindern das die Zahnoberfläche durch Speichel gereinigt und zur Schmelzhärtung von außen mit Mineralstoffen versorgt wird. Die Monosaccharide werden zu sauren Stoffwechselprodukten (Milchsäure u.a.) vergoren. Fällt der pH-Wert unter 5,5 ab, so wird das Calciumphosphat des Zahnschmelzes und später des Dentins herausgelöst. Es entsteht Karies. Außerdem können Zahnfleischerkrankungen (Parodontose) durch Bakterien und deren

Stoffwechselprodukten begünstigt werden Eine regelmäßige Mundpflege wirkt diesen Prozessen entgegen.

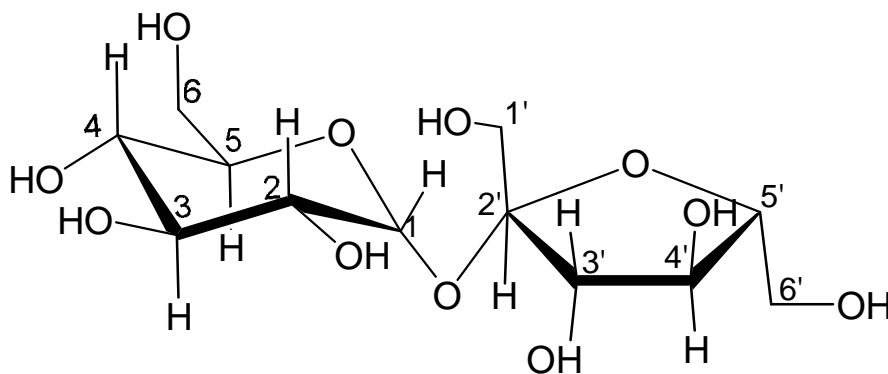
- „Zucker beeinträchtigt nicht die Wirksamkeit von Vitaminen und Mineralstoffen“. Industriezucker enthält keine die für seine Verstoffwechslung notwendigen Vitamine (insbesondere Vitamin B₁, Thiamin) und Mineralstoffe. Sie müssen mit anderen Lebensmitteln aufgenommen werden. Wird Zucker über einen längeren Zeitraum in großen Mengen genossen, so kann es zu einer Hypovitaminose kommen. Die Symptome sind Müdigkeit, depressive Stimmung, Leistungsschwäche, Appetitlosigkeit und Hautentzündungen. Eine gleichzeitige verminderte Ca-Aufnahme kann zu Degenerationserscheinungen an Knochen und Zähnen führen.
- „Zucker ist Nervennahrung“. Kohlenhydratreiche Mahlzeiten bewirken eine gesteigerte Synthese von Serotin (5-Hydroxytryptamin) aufgrund einer vermehrten Tryptophanpassage über die Blut-Hirn-Schranke. Serotin gilt als ein „glücklichmachender“ Neurotransmitter. Weiterhin wirkt es kontrahierend auf die glatte Muskulatur des Magen-Darm-Trakts und spielt bei der Schmerzempfindung eine Rolle.
- „Das Wohlgefallen an süßschmeckender Nahrung wird nicht anerzogen“. Die Muttermilch, das erste Nahrungsmittel des Menschen ist süß. Die Diskussion, ob die Vorliebe für Süßes angeboren ist, ist noch zu keinem Ende gekommen. Allerdings wird durch ständiges (Nach-) Süßen von Nahrungsmitteln die Reizschwelle für die Geschmacksrichtung „süß“ angehoben. Es kann ein Zwang zum „Süßen“ entstehen, was manchmal auch als Sucht bezeichnet werden kann.

Wer sich ein eigenes Bild über die Saccharose als Nahrungsmittel machen möchte, sei auf die Literatur [1], [2] und [3] verwiesen.

Wie auch immer, zurück zu Chemie!

Chemische und physikalische Eigenschaften

Saccharose besitzt ein Molekulargewicht von 342,30 g/mol. Die Dichte beträgt 1,588 g/ml. Der Schmelzpunkt liegt bei 185–186°C, wobei es schon vorher zu einer Zersetzung der Saccharose kommt (Karamelisierung). Die Flammpunkttemperatur liegt bei ca. 350°C. Saccharose liegt in farblosen, süß schmeckenden Prismen vor. Die Kristalle zeigen das Phänomen der Tribolumineszenz. Saccharose ist leicht löslich in Wasser (62g/100g Wasser bei 20°C), wenig löslich in Ethanol und unlöslich in Diethylether. Die spezifische Drehung $[\alpha]_D^{20-25^\circ C}$ beträgt 66,5°.



Saccharose ist ein Zweifachzucker (Disaccharid), sie besteht aus den Monosacchariden Glucose und Fructose, die über eine Etherbrücke (glykosidische Bindung) miteinander verknüpft sind. Saccharose mit der Summenformel $C_{12}H_{22}O_{12}$ wird in Übereinstimmung mit der HAWORTH-Formel und der internationalen Literatur als O- α -D-Glucopyranosyl(1-2')- β -D-fructofuranosid bezeichnet.

Die wässrige Lösung ist neutral ($pK_s \sim 10^{-14}$) und reduziert Fehlingsche Lösung nicht.

Durch Säure und das Enzym Invertase wird Saccharose in Glucose und Fructose zerlegt (Invertzucker).

Chemische Reaktionen können bevorzugt an der Etherbrücke, an der Halbacetalbindung oder auch an den alkoholischen Hydroxidgruppen stattfinden, wobei die primären Gruppen (6, 1' und 6') reaktiver (nucleophiler) als die sekundären Gruppen (2, 3, 4, 3' und 4') sind.

Acetalbildung zwischen Glucose und Fructose

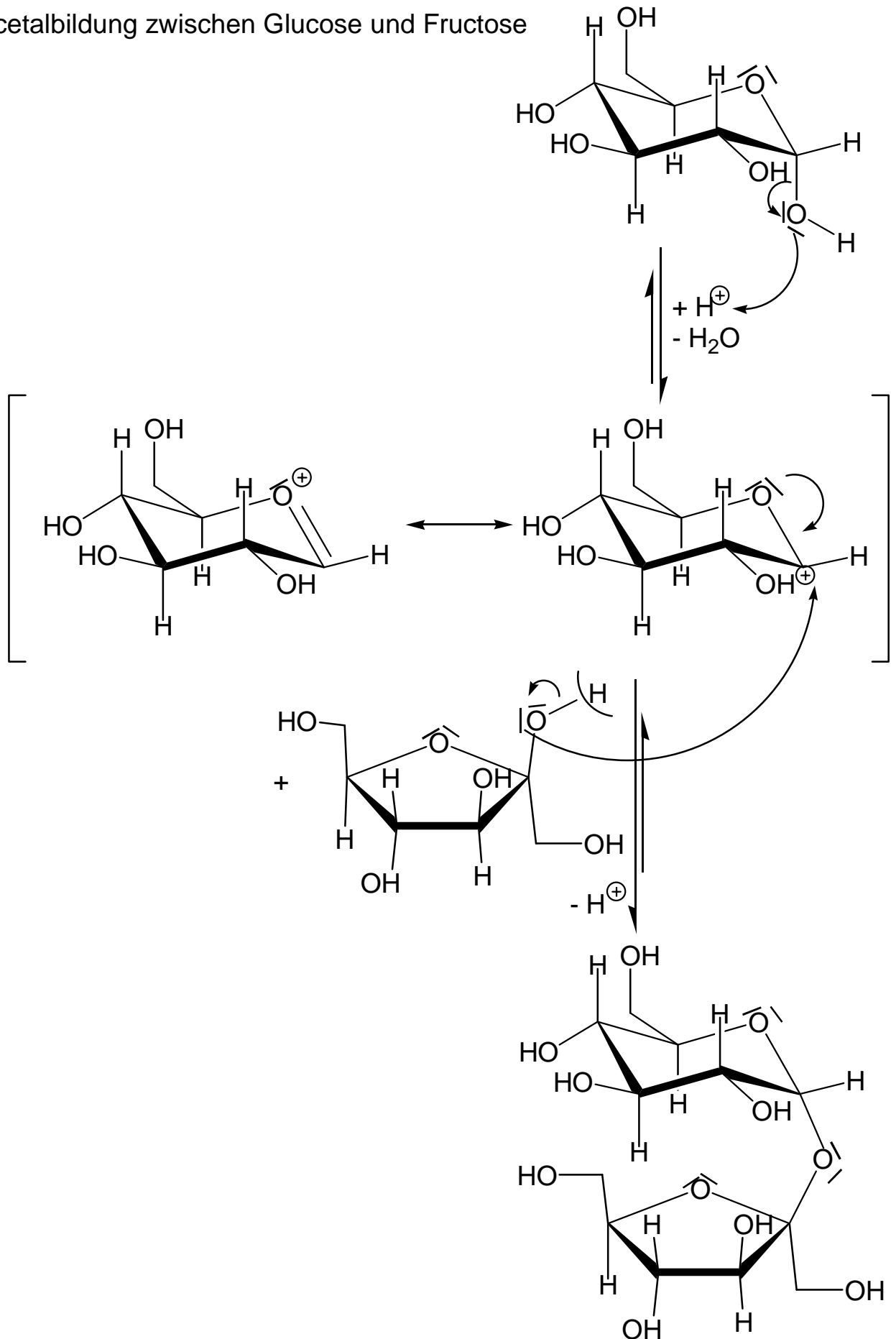


Abb. 1: Acetalbildung zwischen Glucose und Fructose

Versuch 1: Fehlingsche Probe

Geräte:

2 Demonstrationsreagenzgläser, Wasserbad mit Fisch und Magnetrührer, 2 Pipetten mit Saugbällchen

Chemikalien:

Fehling I: 1,73 g CuSO_4 in 25 mL H_2O

Fehling II: 8,5 g Na-K-Tartrat und 2,5 g NaOH in 25 mL H_2O

1%ige Saccharoselösung

1%ige Glucoselösung

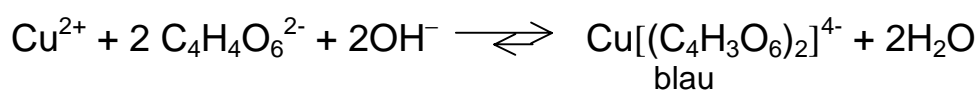
Durchführung:

Zur Herstellung der Fehlingschen Lösungen löst man die angegebenen Chemikalien in Wasser. Die Lösungen werden in dunklen Flaschen aufbewahrt.

In die Demonstrationsreagenzgläser gibt man jeweils die Glucose- und Saccharoselösung, fügt wenige mL von Fehling I und II und einige Siedesteinchen zu. Die Reagenzgläser stellt man in ein siedendes Wasserbad. Klammern zum Halten der Reagenzgläser haben sich als hilfreich erwiesen.

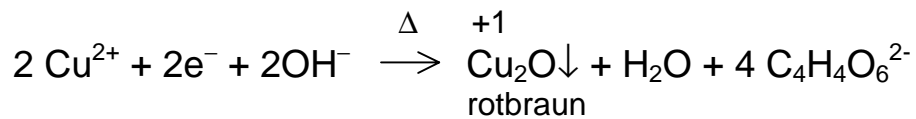
Beobachtung:

Beim Vermischen von Fehling I und II bildet sich der blaue Kupfertartratkomplex:

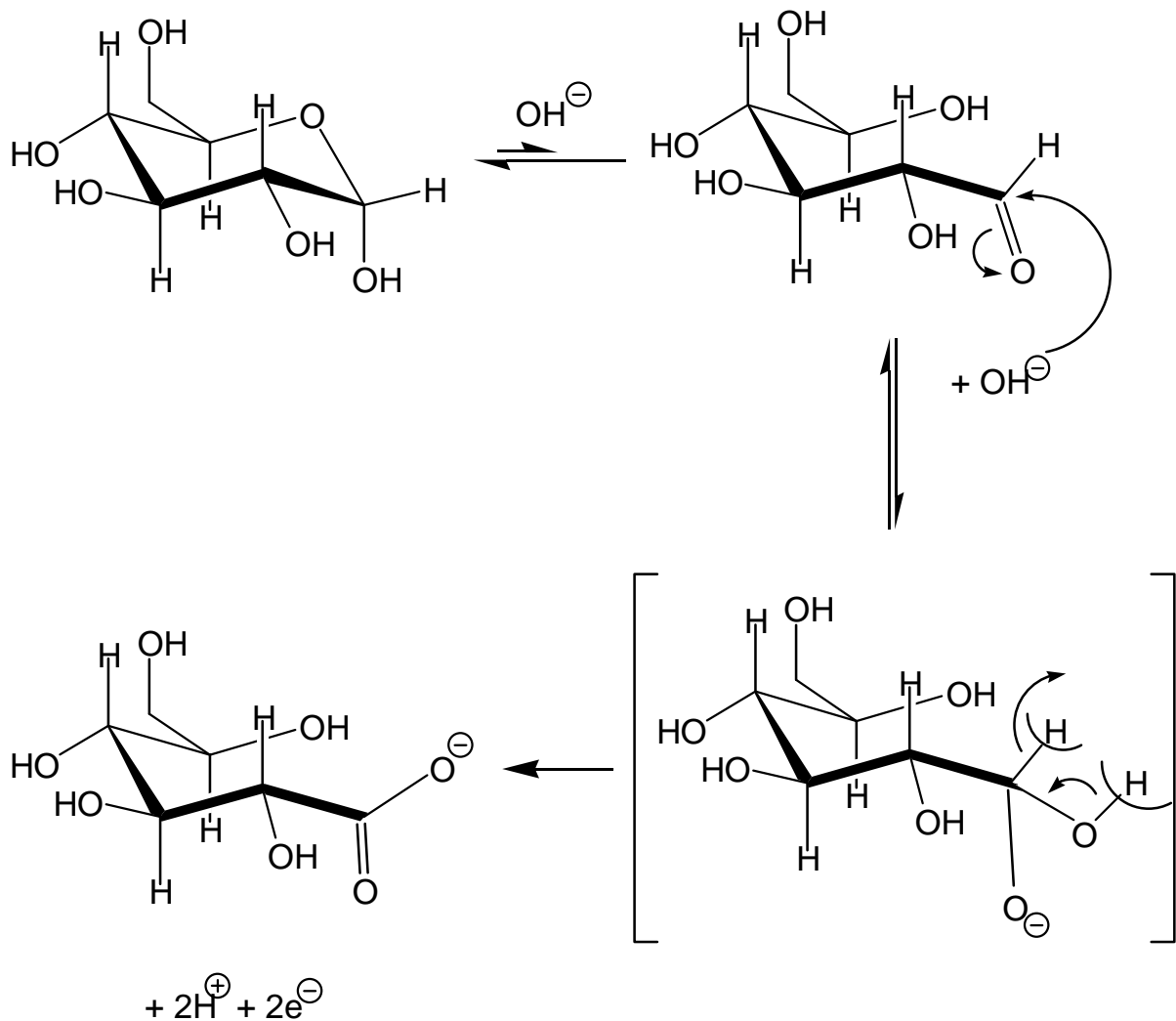


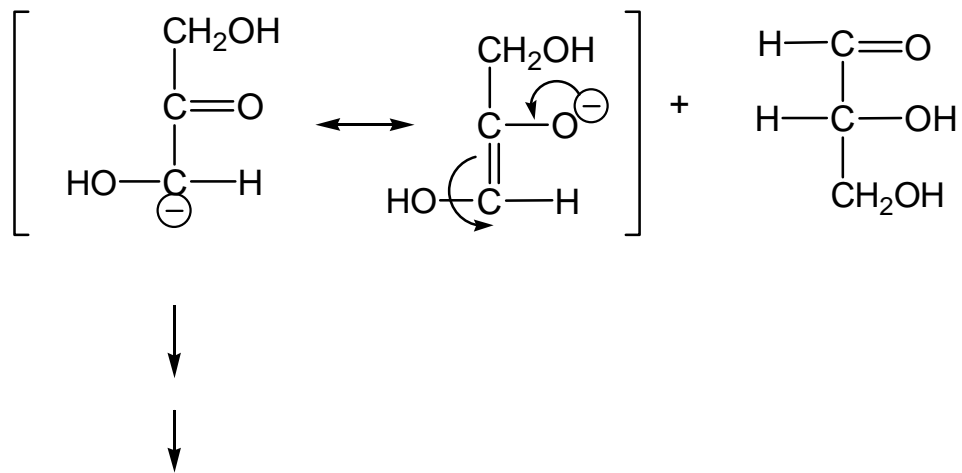
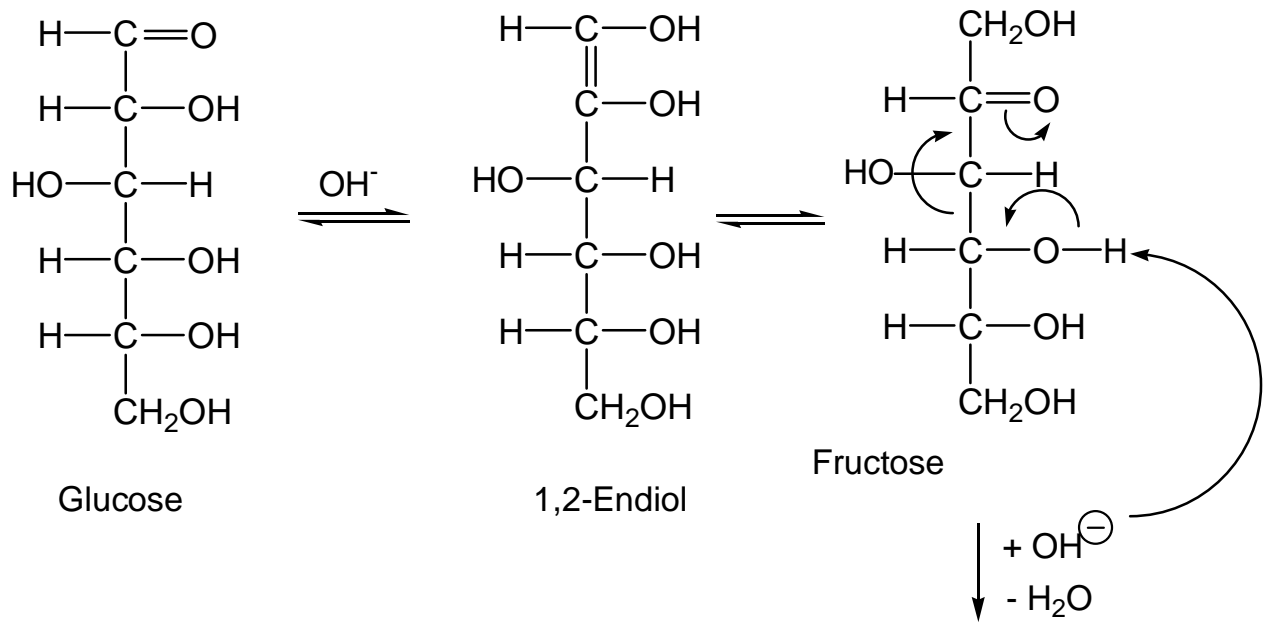
In der Hitze wird Kupfer(II) zu rotbraunen Kupfer(I)-oxid reduziert, Glucose wird oxidiert. Gängig ist die Darstellung der Oxidation der Glucose zu Gluconolacton (-säure), wahrscheinlicher ist aber die Enolisierung zu Fructose mit im alkalischen Milieu sofortiger Spaltung zu Triosen (Glycerinaldehyd und eine anionische Verbindung) mit nachfolgenden, noch wenig bekannten C-C-Spaltungen.

Reduktion:



Oxidation:





Versuch 2: Saccharose, ein Disaccharid

a) Hydrolyse der Saccharose

Geräte:

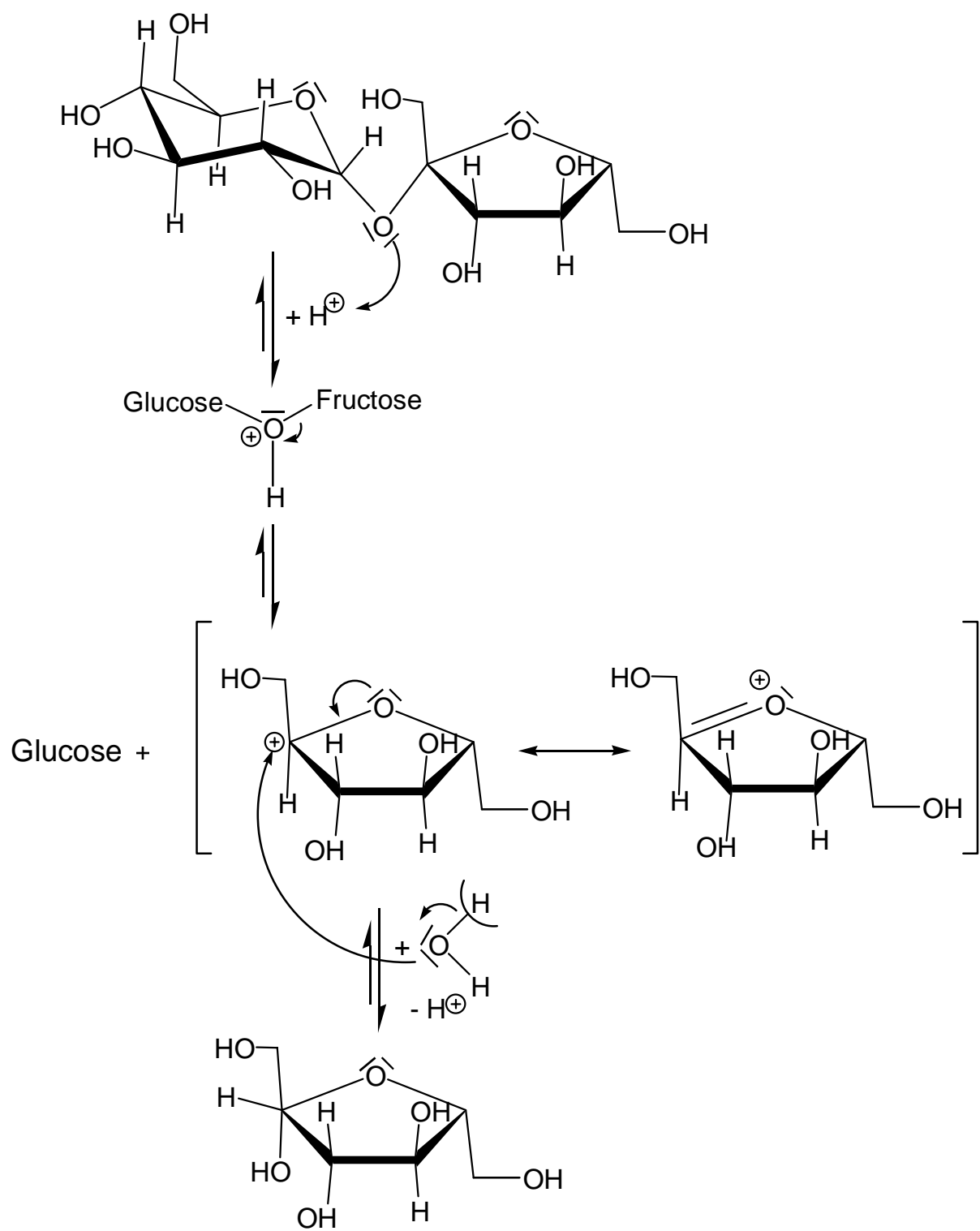
Demonstrationsreagenzglas, Wasserbad mit Magnetrührer (Versuch 1)

Chemikalien:

2%ige Saccharoselösung, HCl (2mol/L)

Durchführung:

Man gibt einige mL der Saccharoselösung in das Reagenzglas, fügt einen Tropfen HCl zu, vermischt und erwärmt im Wasserbad. Die Saccharose wird in die Monosaccharide Glucose und Fructose gespalten:



b) Nachweis der Glucose

Geräte:

Glasstäbe

Chemikalien:

NaOH (2mol/L)

1%ige Saccharoselösung

1%ige Glucoselösung

1%ige Fructoselösung

Produkt der Hydrolyse (Versuch 2a)

Glucotest-Streifen (Firma Merck, eine Anleitung zur Herstellung gibt [6])

Durchführung:

Das Hydrolyseprodukt (versuch 2a) neutralisiert man mit einem Tropfen NaOH. Von jeder Zuckerlösung gibt man mit Hilfe der Glasstäbe einen Tropfen auf die Teststreifen und wartet 1-2 min.

Beobachtung:

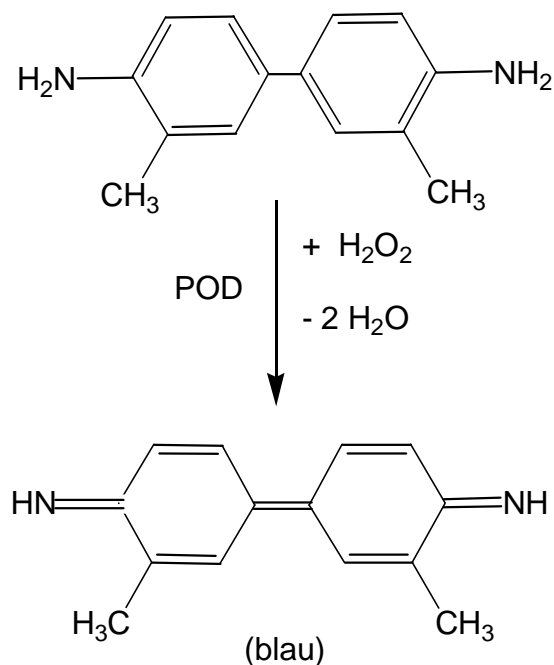
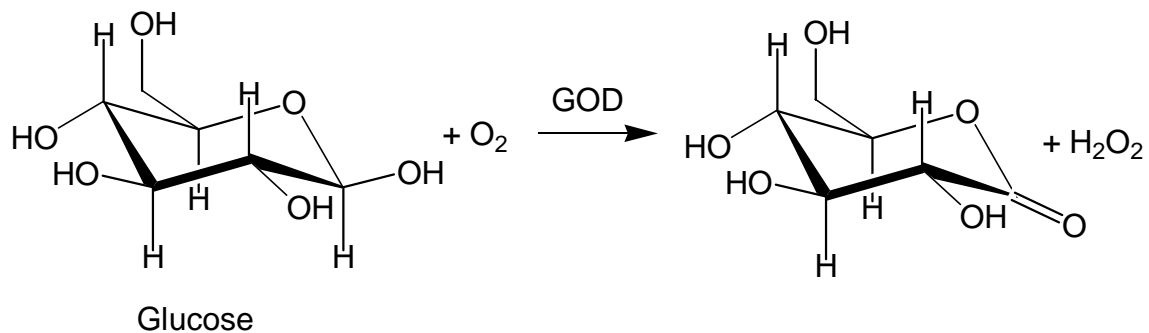
Der mit Glucoselösung behandelte Teststreifen zeigt eine blaugrüne Färbung. Im Hydrolyseprodukt läßt sich ebenfalls Glucose nachweisen. Bei Fructose und Saccharose bleibt die gelbe Färbung der Teststreifen bestehen.

Glucoseoxidase (GOD) ist ein Enzym, daß sich aus einem Teil Protein und zwei Teilen Flavinadenindinucleotid (FAD) zusammensetzt. Es dehydriert die β -Glucose, die sich in wässriger Lösung im Gleichgewicht mit der α -Glucose befindet, zum Gluconolacton. Das FAD nimmt den Wasserstoff auf und geht in die hydrierte Form $\text{FAD} \cdot \text{H}_2$ über:

FAD · H₂ reagiert mit Luftsauerstoff langsam zu H₂O₂, es wird FAD regeneriert. Der entstandene Wasserstoffperoxid oxidiert unter katalytischer Wirkung der Peroxidase (POD) das Benzidinderivat o-Tolidin (4,4'-Diamino-3,3'-dimethyl-diphenyl) zum 4,4'-Diimin-3,3'-dimethyl-dicyclohex-2,5-dien, ein blauer Farbstoff, der mit dem gelben Farbstoff eine grüne Mischfarbe ergibt.

Glucoseoxidase (GOD)

Peroxidase (POD)



c) Nachweis der Fructose

Geräte:

Meßzylinder (25 mL), Magnetrührer, Fisch, Becherglas (50 mL);
4 Demonstrationsreagenzgläser, 2 Wasserbäder mit Magnetrührer (siehe oben), Pipette mit Saugbällchen

Chemikalien:

SeO₂, NaCO₃, Universalindikatorpapier;
Zuckerlösungen wie oben

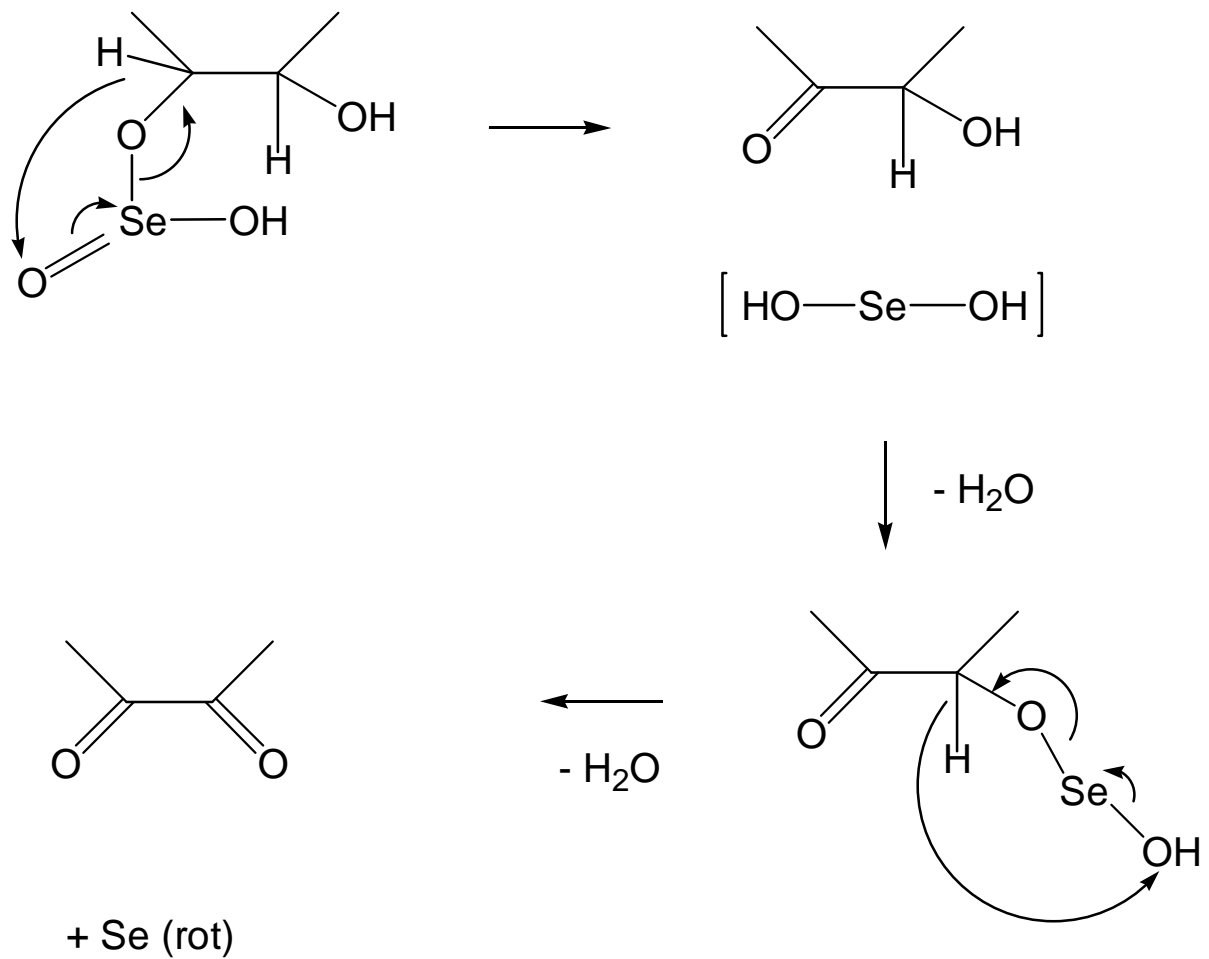
Durchführung:

5 g SeO₂ werden mit H₂O zu 20 mL gelöst. Die selenige Säure neutralisiert man unter ständigen Rühren mit Natriumcarbonat (ungefährer Verbrauch 2,5 g) bis pH = 7. Die Lösung kann in einem braunen Fläschchen aufbewahrt werden.

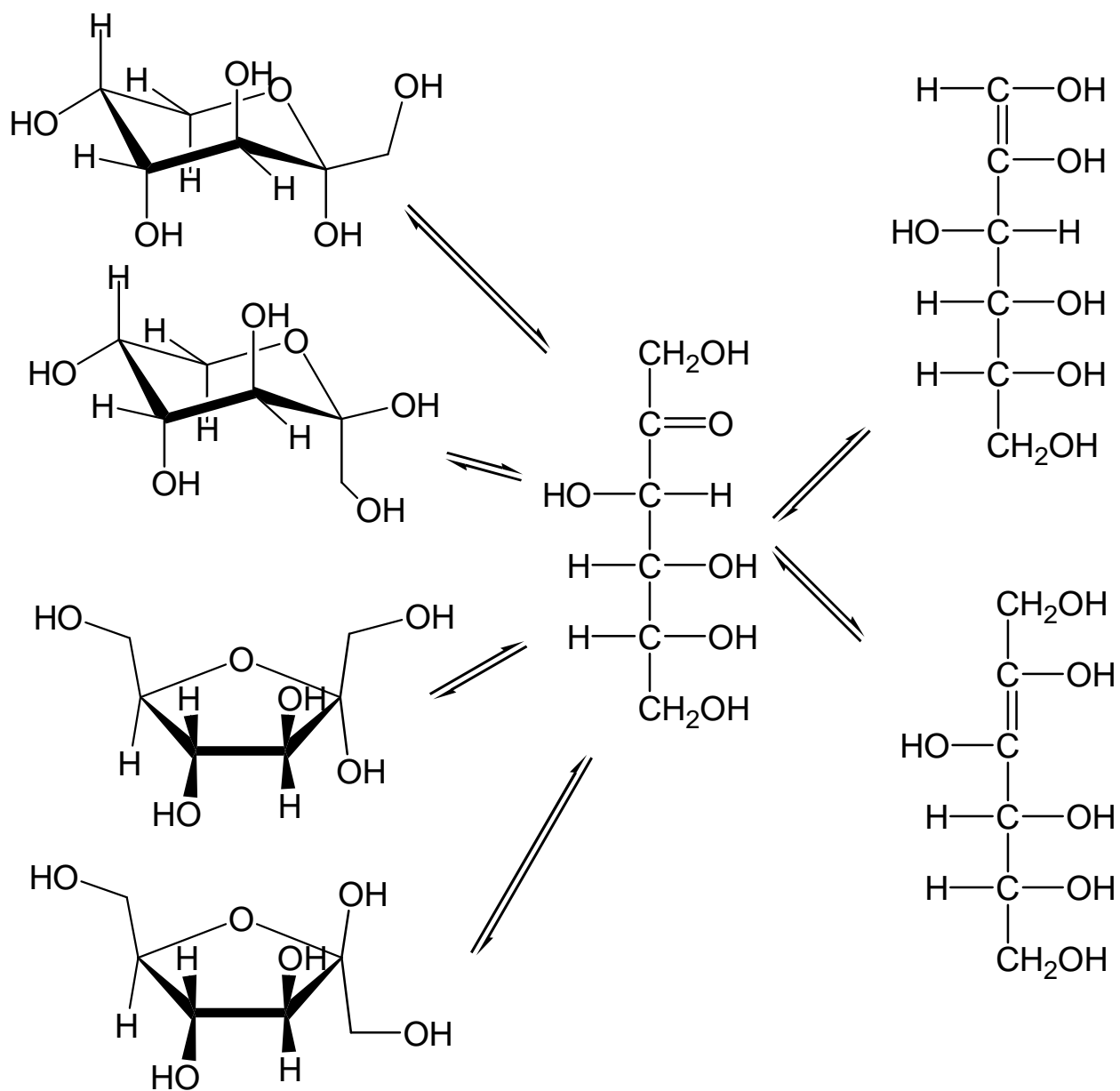
In die Reagenzgläser gibt man jeweils die Zuckerlösungen, fügt einige mL der SeO₂-Reagenzlösung zu und erhitzt im Wasserbad für 2-3 min.

Beobachtung:

Aus der Fructoselösung und der Lösung der Hydrolyseprodukte wird beim Erwärmen fein verteiltes rotes Selen abgeschieden. Die anderen Zuckerlösungen bleiben farblos oder werden allenfalls gelblich gefärbt. Fructose reduziert Selen(IV) zu elementaren roten Selen. Der Angriff von SeO₂ kann an einer sekundären Hydroxylgruppe erfolgen, die Redoxreaktion erfolgt über zwei Stufen. Weder der Mechanismus noch die Oxidationsprodukte der Fructose sind in der Literatur zu finden.



Im Gegensatz zu Glucose kann Fructose in wässriger Lösung in vier Konfigurationen vorliegen: zu 57% als β -Fructopyranose (1), zu 3% als α -Fructopyranose (2), zu 31% als β -Fructofuranose (3) und zu 9% als α -Fructofuranose (4). Außerdem kann es das 1,2- und 2,3-Endiol bilden. es sind also mehr mögliche Angriffspunkte zur Reaktion gegeben.



Vorkommen

In den Chloroplasten grüner Pflanzen wird mittels der Photosynthese Glucose synthetisiert. Diese muß innerhalb der Zelle, von Zelle zu Zelle und schließlich im Ferntransport zu anderen, nichtphotosynthetisierenden Zellen (Organe) der Pflanze (zum Beispiel Wurzel) transportiert werden. Saccharose ist das wichtige Transportkohlenhydrat grüner Pflanzen.

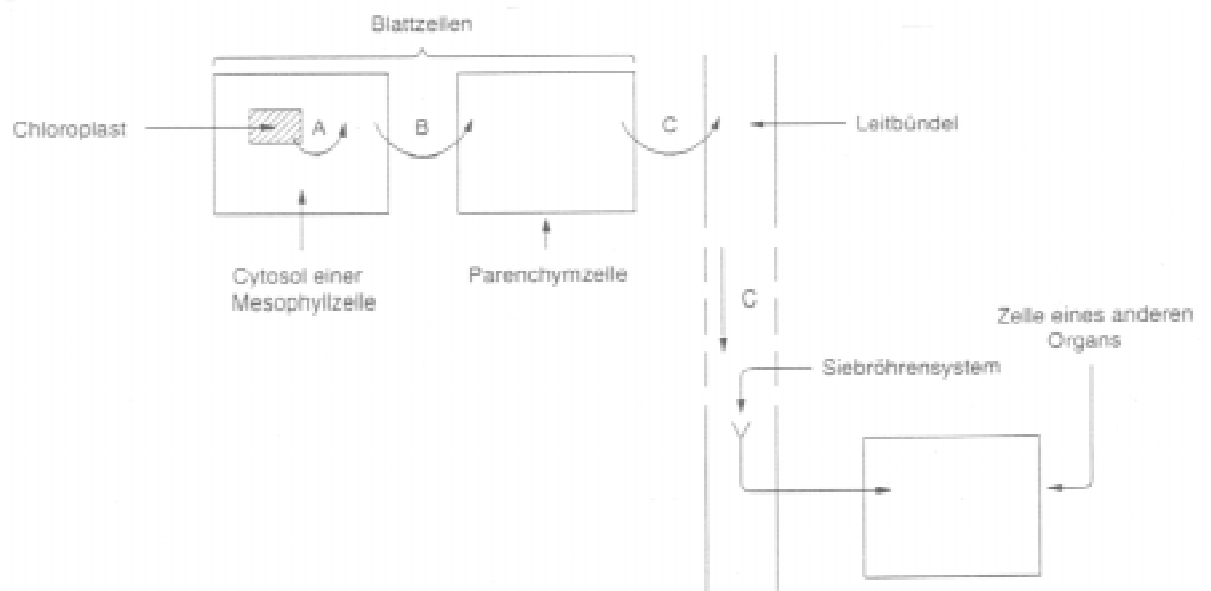
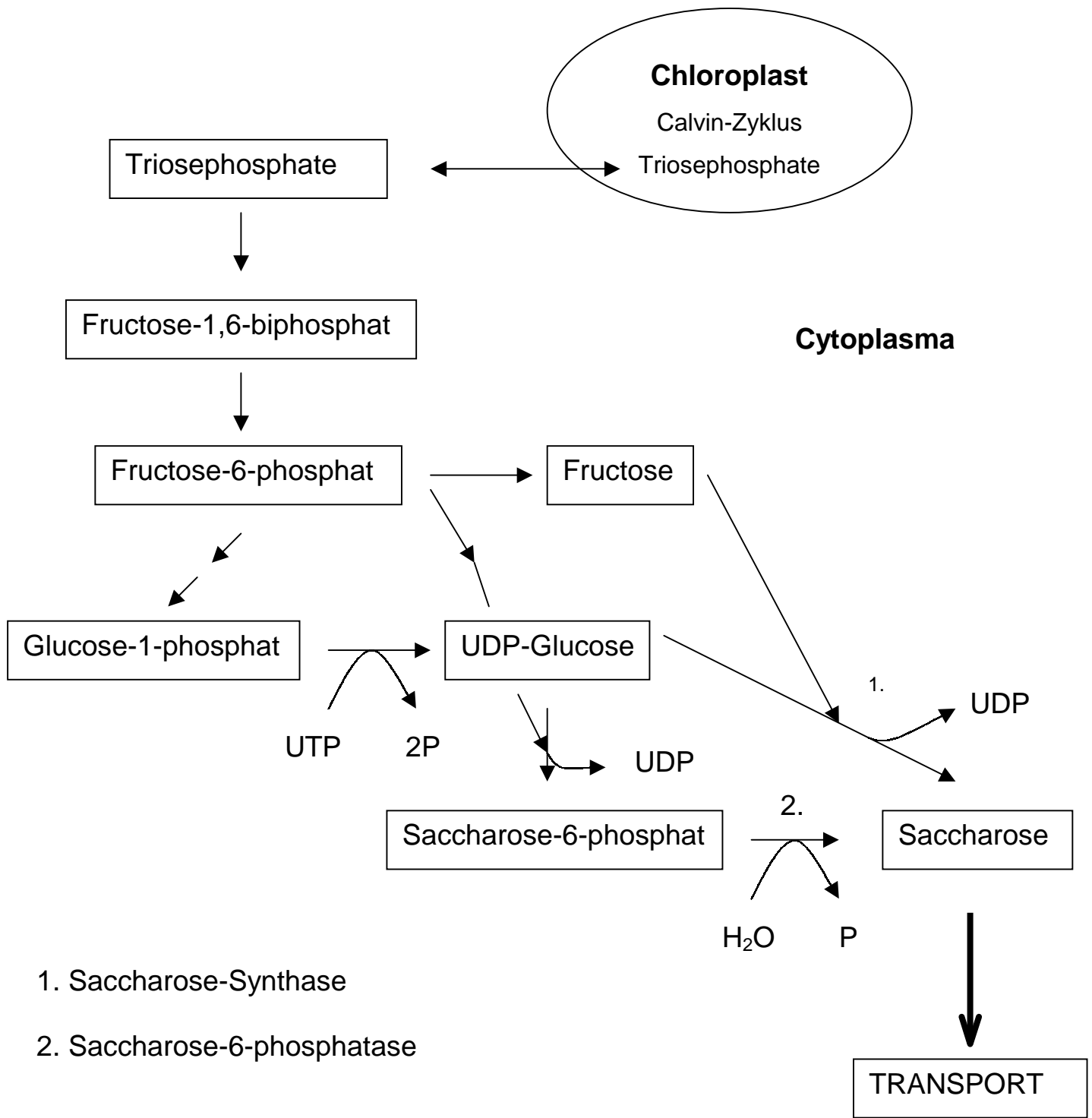


Abbildung 2: Transport von Kohlenhydraten A innerhalb der Zelle, B von Zelle zu Zelle und C von Organ zu Organ in Form des Siebröhrensaftes, aus [7]

Der Siebröhrensaft ist eine sehr konzentrierte Lösung von 50 bis 300 g Feststoffen (überwiegend Saccharose, aber auch Derivate der Saccharose, Zuckeralkohole und andere Kohlenhydrate) pro Liter. Saccharose entsteht in der unten skizzierte Reaktionssequenz.



1. Saccharose-Synthase

2. Saccharose-6-phosphatase

Es ist noch nicht endgültig geklärt, ob Saccharose erst beim Eintritt in die Siebröhren oder schon im Cytoplasma der Zelle synthetisiert wird. Saccharose ist ein nicht reduzierender Zucker und somit unempfindlich gegen oxidative Einflüsse. Die Dimerisierung senkt den osmotischen Wert des Siebröhrensaftes auf ein niedriges Niveau. Mittels dem Enzym Invertase kann Saccharose in Glucose und Fructose zerlegt werden, wobei

aus einer Verbindung sechs isomere Verbindungen entstehen, das Gleichgewicht liegt ganz auf der Produktseite (hohes Gruppenübertragungspotential der Saccharose). Weiterhin kann Saccharose zu Raffinose, Stachyose, Verbascose und Ajugose oligomerisieren.

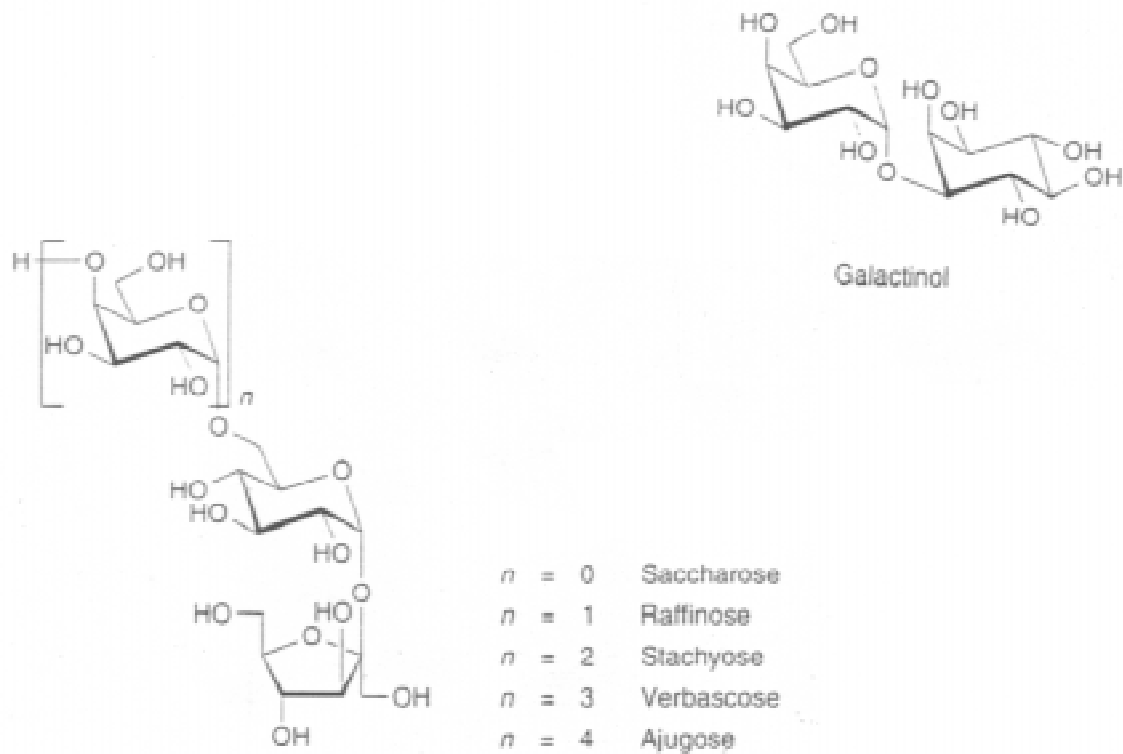


Abb. 3: Raffinosefamilie nichtreduzierender Pflanzenoligosaccharide, aus [7]

Weiterhin ist Saccharose die Kohlenhydratreserve in *Beta vulgaris saccharifera* (Zuckerrübe) und *Saccharum officinarum* (Zuckerrohr).

Geschichte

327 v. Chr.	erste Erwähnung des Rohrzuckers (Indien)
ab 600	Zuckerrohranbau im Mittelmeerraum
1493	Columbus bringt das Zuckerrohr in den karibischen Raum,
1747	Marggraf entdeckt den Rübenzucker
1801	Achard gründet die erste Rübenzuckerfabrik
ab 1840	Aufschwung der Rübenzuckerindustrie
um 1850	Rübenzucker allgemein verbreitet („Kalorienlücke“)
1956	Aufklärung der Formel durch Röntgenstrukturanalyse
1959	Verbrauchssteuer auf „Rüben-, Rohr-, Stärkezucker und Zucker von gleicher chemischer Zusammensetzung“
1962	28,6 kg Weißzuckerverbrauch pro Kopf
1995	33,5 kg Weißzuckerverbrauch pro Kopf
1997	Erzeugung (BRD) 4,19 Mio t (weltweit 113 Mio t) Verbrauch (BRD) 2,73 Mio t (weltweit 112,9 Mio t)

Gewinnung

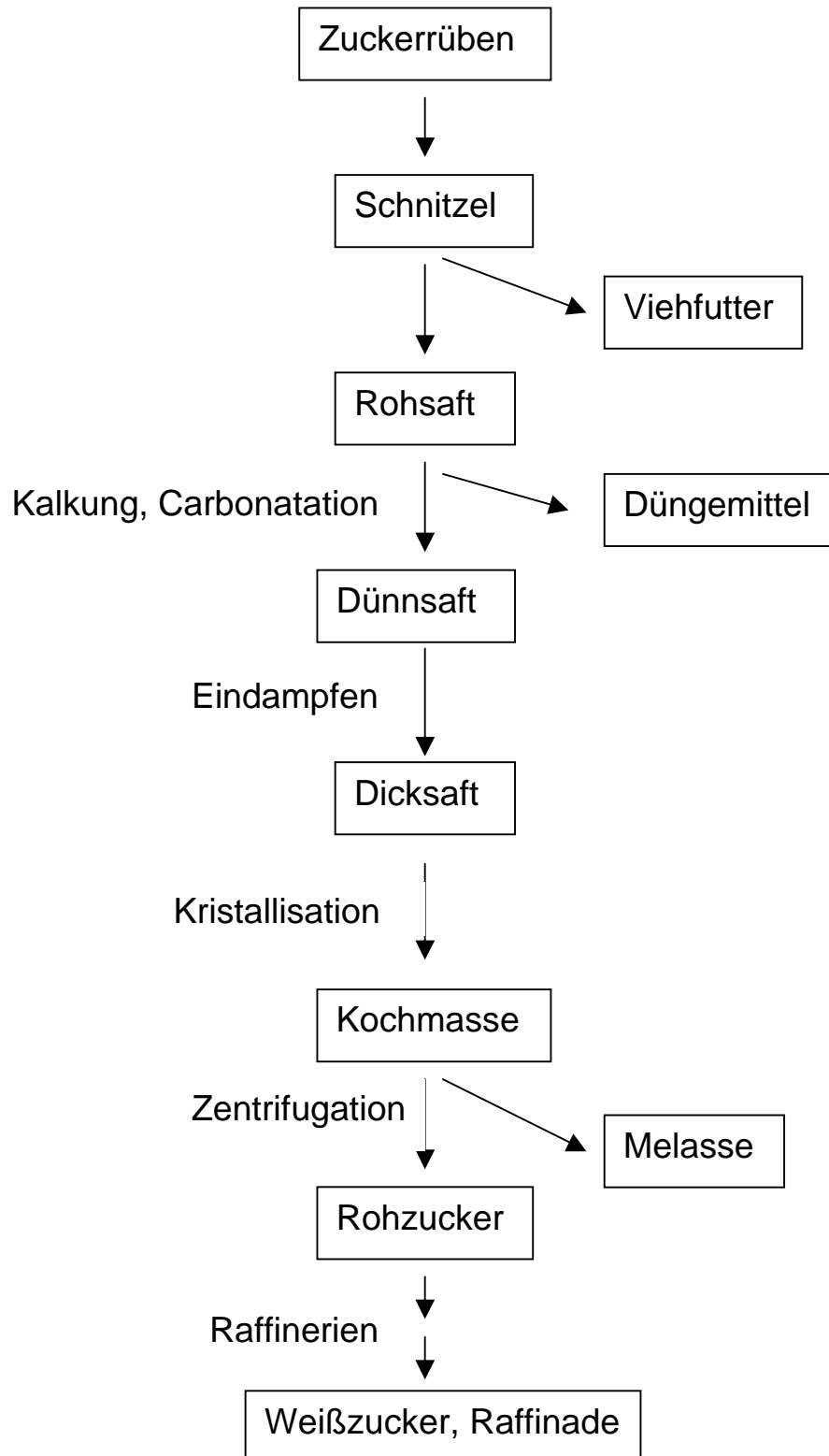


Abb. 4: Schematische Darstellung der Gewinnung von Saccharose aus Zuckerrüben

Zuckerrüben, die bis zu einem Gehalt von 20% Saccharose der Trockenmasse haben, werden noch vor dem ersten Frost im Herbst geerntet (Kampagne). In der Zuckerfabrik werden sie entblättert, gewaschen und zerkleinert. Im Gegenstromverfahren werden sie bei 70°C extrahiert. Der schwarzgraue Rohsaft enthält neben Saccharose noch anorganische Stoffe (Phosphat, Sulfat, Fe, Mg u.a) organische Stoffe (Fruchtsäuren, Proteine, Melanine u.a.). Zur Reinigung wird Kalkmilch ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) zugesetzt (Kalkung): es fallen schwerlösliche Calcium- und Hydroxidsalze aus, Proteine flocken beim Überschreiten des isoelektrischen Punktes aus. Gleichzeitig fallen Ca-Saccharate unterschiedlicher Zusammensetzung aus, die aber durch Einleiten von CO_2 (Carbonation) durch Erniedrigung des pH-Werts von 11 auf 8 wieder in Lösung gehen. Gleichzeitig werden überschüssige Ca-Ionen als CaCO_3 gefällt, das zugleich als Adsorptionsmittel für Trüb- und Schwebstoffe dient. Nach Filtration wird die Kalkung und Carbonation wiederholt, schließlich bleibt der hellgelbe Dünnsaft (Zuckergehalt ca. 14%) zurück. Bei Temperaturen unter 80°C wird im Vakuum bis zum Dicksaft eingedampft. Dieser wird bis zur Bildung erster Kristalle weiter eingeengt, erst dann wird mit Saccharosekristallen angeimpft um die Kristallisation einzuleiten. Die Saccharosekristalle werden abzentrifugiert, der zurückbleibende Zuckersirup wird einer weiteren Kristallisation unterzogen. Der Rohzucker wird in Weißzuckerfabriken und Raffinerien aufgearbeitet.

Demonstration 1: Darstellung von Saccharose aus Zuckerrüben

Geräte:

Bürste zur Reinigung der Zuckerrübe, Messer zum Zerkleinern, Waage; Bechergläser (2 L und 1 L), Messzylinder (500 mL), Dreifuß, Asbestnetz, Bunsenbrenner, Glasstab, Thermometer, Küchentuch; Erlenmeyerkolben (200 mL), Becherglas (1000 mL), Winkelrohr, Schlauchmaterial, Sicherheitswaschflasche, Büchnertrichter, Saugflasche (2 L), Filterpapier; Abdampfschale, Wasserbad

Chemikalien:

Dest. H_2O , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CO_2 aus der Bombe, Universalindikatorpapier, Aktivkohle, Saccharose, Ethanol

Durchführung und Beobachtung:

Eine Zuckerrübe wird gereingt und zerkleinert (Stückchen $\sim 1 \times 1$ mm). 500 g Rübenschnitzel gibt man mit 750 mL destilliertes Wasser in ein 2 L-Becherglas und erwärmt auf $70\text{-}75^\circ\text{C}$. Unter öfteren Umrühren werden die Schnitzel innerhalb einer Stunde ausgelaugt. Man filtriert durch das Küchentuch in ein 1 L-Becherglas und presst die Schnitzel gut aus indem man das Küchentuch zu einem Beutel formt.

Der grauschwarze Dünnsaft wird auf 75°C erwärmt. Man schlämmt 15 g $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in 70 mL H_2O im Erlenmeyerkolben auf und gibt die Suspension unter ständigem Rühren in den Dünnsaft. Es fallen Stoffe aus. Dann leitet man einen schwachen CO_2 -Strom ein. Sobald ein $\text{pH} = 11$ erreicht ist, läßt man absitzen, gißt vorsichtig ab und nutschts die Flüssigkeit ab (der Filter ist schnell verklebt, auswechseln!). Das Filtrat gibt man wieder in das 1 L Becherglas (gereinigt), erwärmt auf 75°C und leitet einen CO_2 -

Strom ein bis sich ein pH = 8-9 einstellt. Das Abnutschen wird wiederholt. In das Filtrat gibt man einen Spatellöffel Aktivkohle und nutschts nochmals ab.

Der Dünnsaft wird schonend (kleine Flamme) unter öfteren Umrühren eingeeengt. Zum weiteren Eindampfen auf ca. 40-50 mL verwende man ein Wasserbad (75°C). In den abgekühlten, zähflüssigen, dunkelbraunen Dicksaft gibt man einen Spatel kristalline Saccharose, rührt um und lässt an der Luft 4 Tage stehen. Die Zuckerkristalle werden abzentrifugiert. Zur Reinigung kristallisiert man die Saccharose mit 50%igen Alkohol um. Anschließend wird die Saccharose im Trockenschrank bei 50°C getrocknet.

Zur Demonstration kann von jedem Produktionsschritt Proben entnommen werden. In Chemikaliengläser gefüllt halten sie sich gekühlt ein bis zwei Wochen. Es empfiehlt sich feste Bestandteile mit Wasser zu überschichten um ein Verschimmeln zu vermeiden.

Industriell wird der Kristallzucker unter anderem polarimetrisch auf seine Reinheit geprüft.

Versuch 3: Optische Aktivität einer Saccharoselösung

Geräte:

Becherglas (400 mL, hohe Form), Demonstrationspolarimeter, gelbes Transparentpapier, Tageslichtprojektor

Chemikalien:

Dest. H₂O, 40%ige Saccharoselösung (evt. stabilisiert mit p-Hydroxybenzoesäuremethylester), HCl (konz.)

Durchführung und Beobachtung:

In das Becherglas wird Wasser 10 cm hoch eingefüllt. Man stellt den Analysator auf Null und dreht den Polarisator so, daß das Licht nicht mehr sichtbar ist. Das Becherglas wird geleert und 10 cm hoch mit der Saccharoselösung gefüllt. Man dreht den Analysator in die Stellung geringsten Lichtdurchgangs (maximale Auslöschung) und liest den Drehwinkel ab.

Theorie:

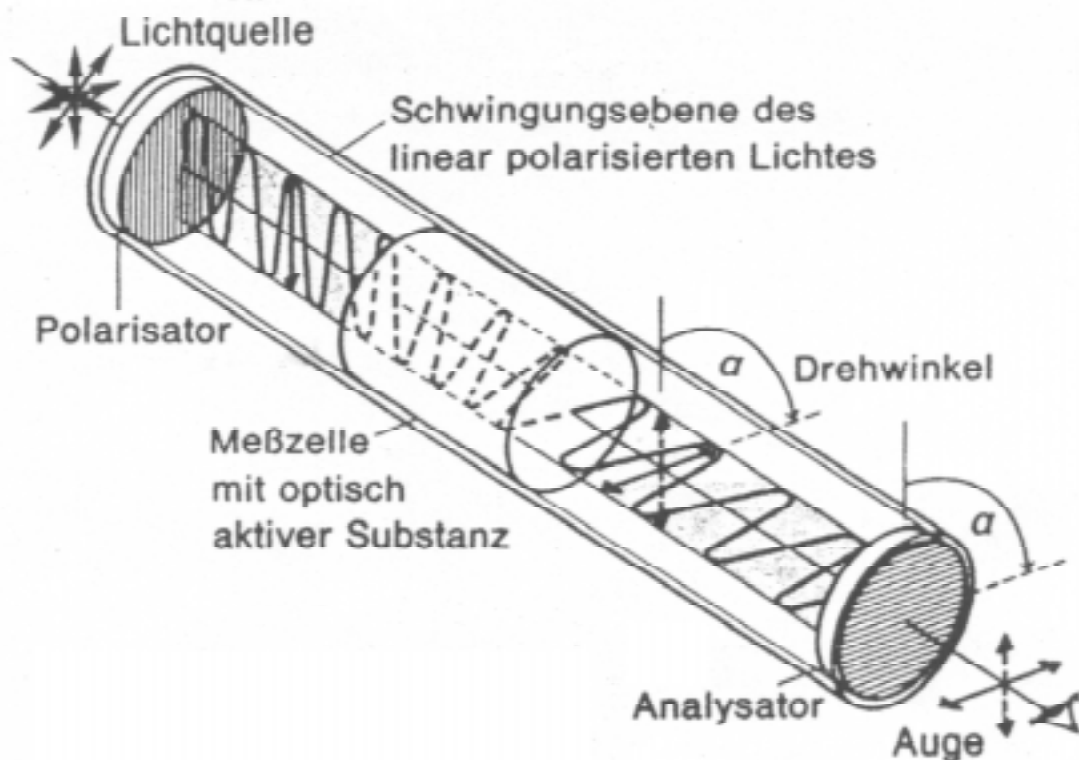


Abb. 5: Schematischer Aufbau eines Polarimeter

Bestimmung der spezifischen Drehung von Saccharose:

Der Drehwinkel α ist der Konzentration c und der Schichtdicke proportional:

$$\alpha = [\alpha]_{\lambda}^T \cdot c \cdot l$$

$[\alpha]$ spezifische Drehung in $\text{grad} \cdot \text{ml} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{dm}^{-1}$

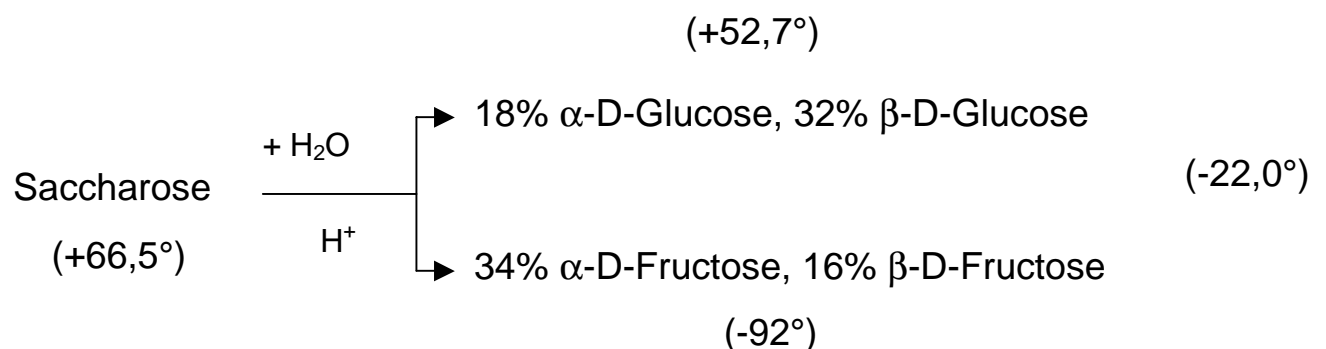
c Konzentration in $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$

l Länge der Probenzelle in dm

$$[\alpha]_D = +66,5^\circ \text{ (Literaturwert)}$$

Saccharose ist rechtsdrehend, durch eine Meßreihe mit steigenden Massenkonzentrationen kann dieses Phänomen anschaulich gemacht werden: nach der theoretischen Vorstellung muss mehr Substanz das Ausmass der Drehung erhöhen.

Gibt man der Saccharose einen Tropfen konz. HCl zu, so entsteht ein Gemisch von Glucose und Fructose (siehe unten), welches linksdrehend ($[\alpha]_D = -22,5^\circ$) ist. Es wird als Invertzucker bezeichnet.



Sensorische Eigenschaften

Der Mensch kann zwischen vier verschiedenen Geschmacksqualitäten unterscheiden: süß, sauer, salzig und bitter. Für jede dieser Qualitäten existiert mindestens ein Rezeptortyp, der spezifisch für eine Geschmacksrichtung ist. Süßer Geschmack wird von vielen Stoffen hervorgerufen.

Die Theorie von Shallenberger und Acree (1967) geht davon aus, daß Hydroxylgruppen an benachbarten Kohlenstoffatomen in der gestaffelten Konformation für den süßen Geschmack von Zuckern verantwortlich sind. Es liegt ein Protonendonator/-akzeptor-System (AH/B-System) vor, daß unter bestimmten sterischen Voraussetzungen mit dem komplementären System eines Rezeptors über Ausbildung von zwei Wasserstoffbrückenbindungen in Wechselwirkung treten kann.

Eine Schwäche des Modells nach Shallenberger und Acree besteht darin, daß es die weitaus größere Süßkraft von Verbindungen wie Saccharin und Cyclamat nicht zu erklären vermag. Kier erweiterte das Modell um einen dritten Bindungsort X. Es treten hydrophobe Wechselwirkungen zwischen elektronenreichen Zentren im Süßstoffmolekül und einer Gruppe X im Süßstoffrezeptor auf.

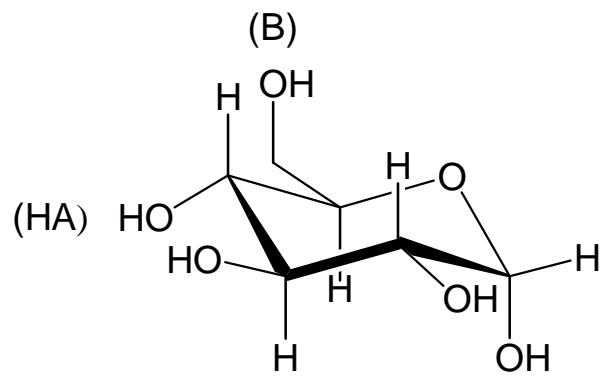
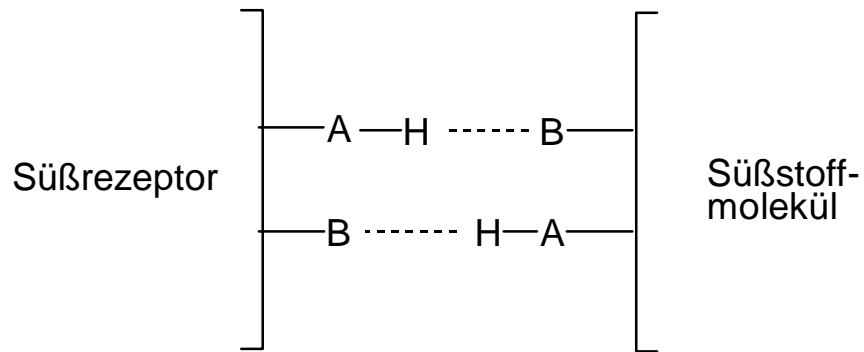


Abb. 7: Wechselwirkungen zwischen Süßstoffmolekül und Süßstoffrezeptor über Wasserstoffbrückenbindungen; mögliche Orte der Wechselwirkungen im Glucosemolekül

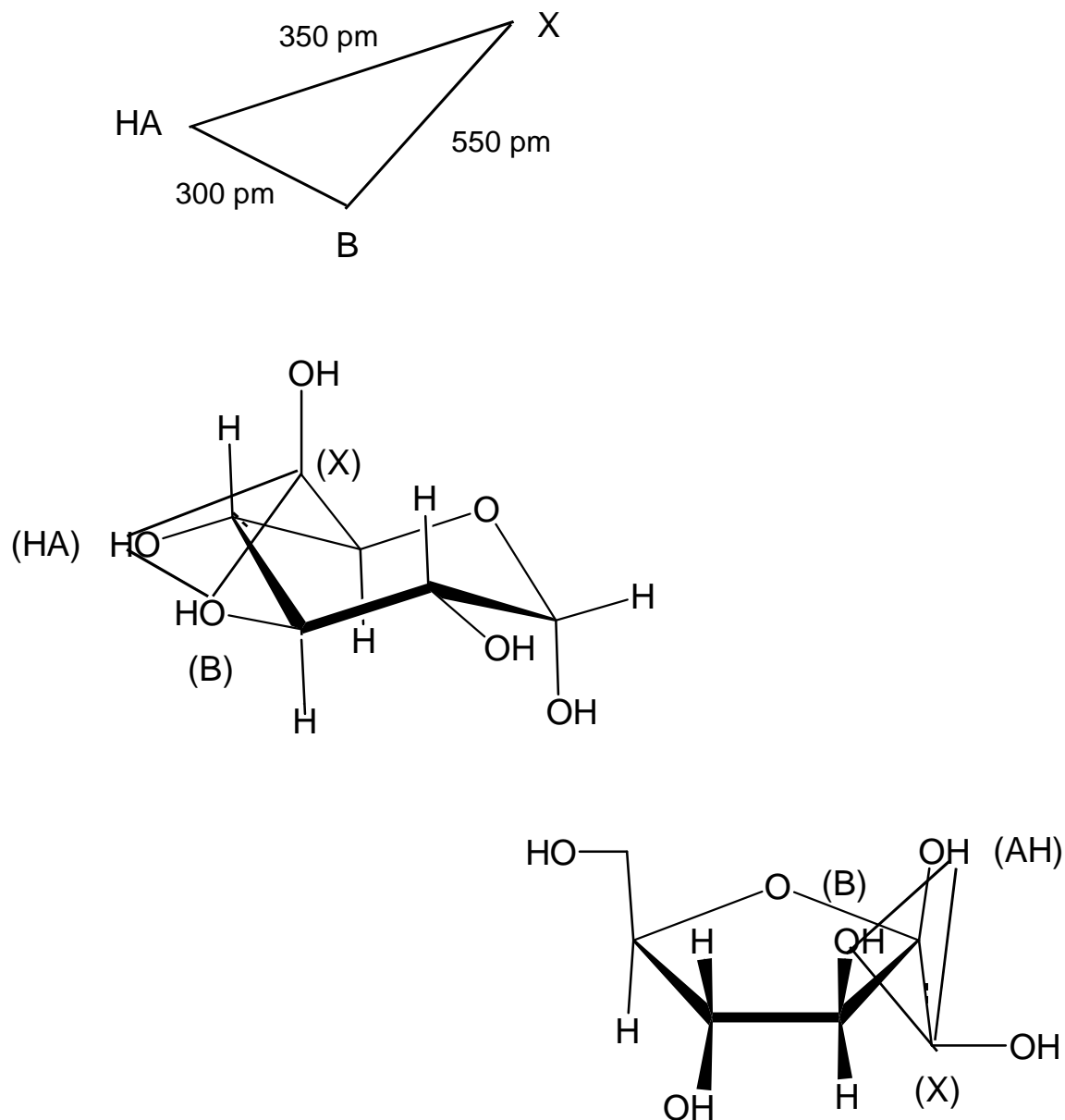


Abb. 7: Schematische Darstellung der drei Bindungsorte des Süßrezeptors (oben); mögliche Orte der Wechselwirkungen im Glucose- (mitte) und Fructosemolekül (unten)

Die Süßkraft eines Stoffes ist definiert als das Verhältnis der zur Erzielung einer gleichen Süßintensität erforderlichen Konzentration einer Saccharoselösung (Bezugsgröße) und der zu untersuchenden Substanz. In untenstehender Tabelle ist die relative Süße einiger Zucker aufgeführt, die auf eine 10%ige Lösung in Wasser bezogen sind.

Tab. 1: Relative Süße

Substanz	Saccharose	D-Fructose	D-Glucose	Invertzucker
Relative Süße	1,00	1,14	0,69	0,95

Versuch 4: Quantitative Bestimmung der OH-Gruppen

Geräte:

Erlenmeyerkolben (200 mL, breite Form), 20 mL Vollpipette, Magnetrührer, Fisch, Bürette

Chemikalien:

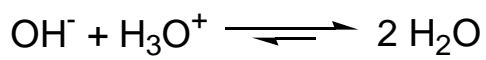
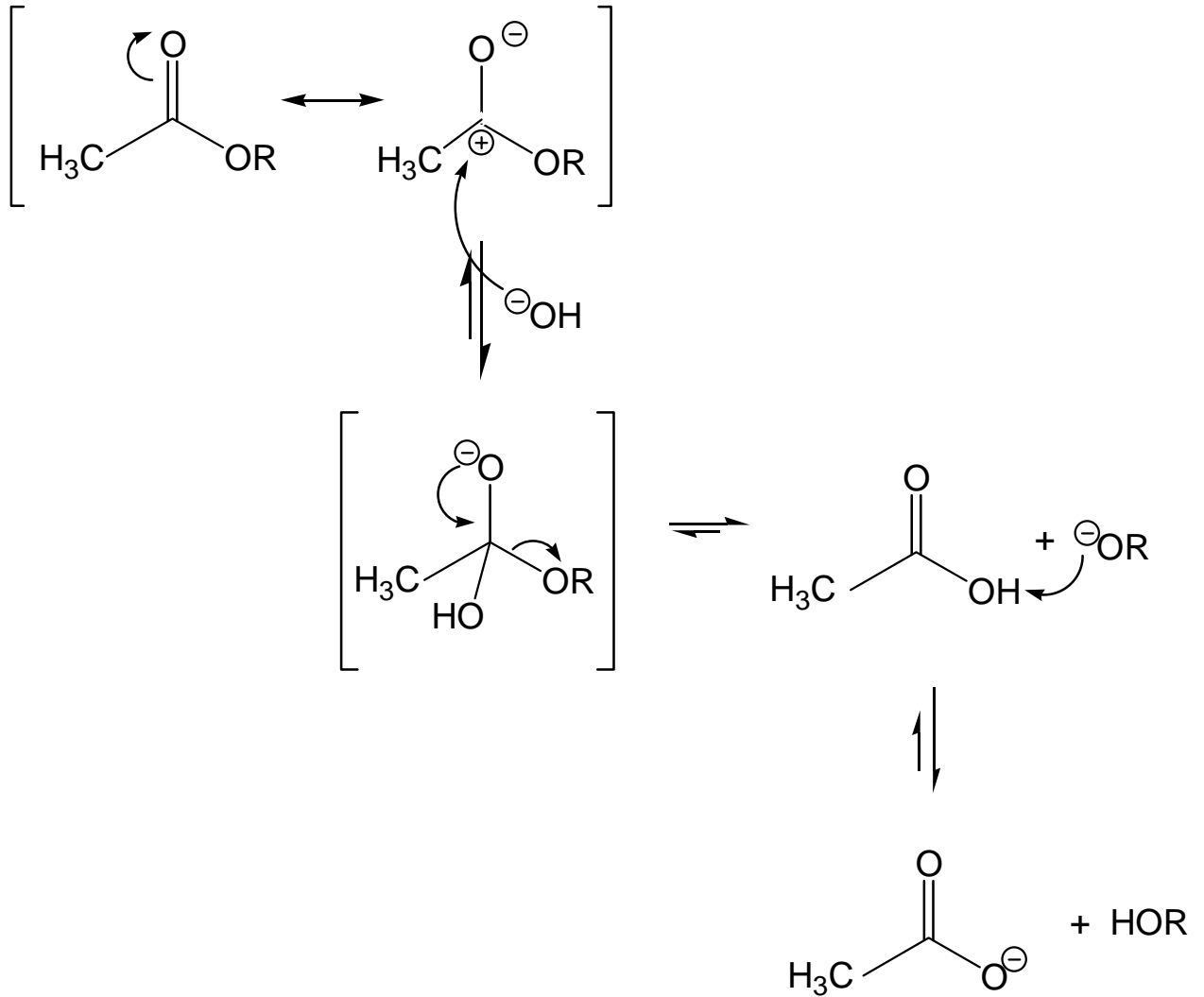
Glucoseacetat (Pentaacetylglucose), Aceton, NaOH (0,1 mol/L), HCl (0,1 mol/L), Methylorange

Durchführung:

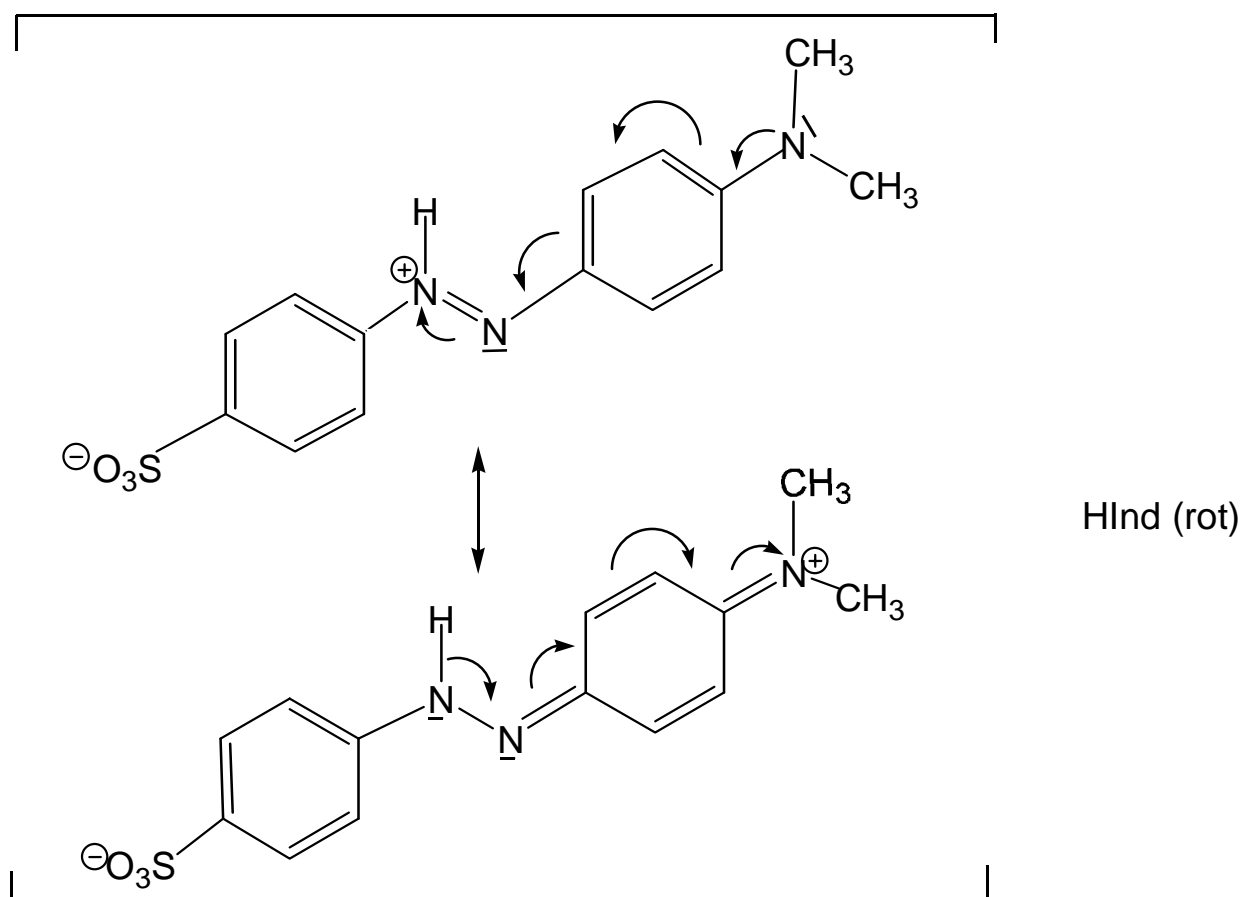
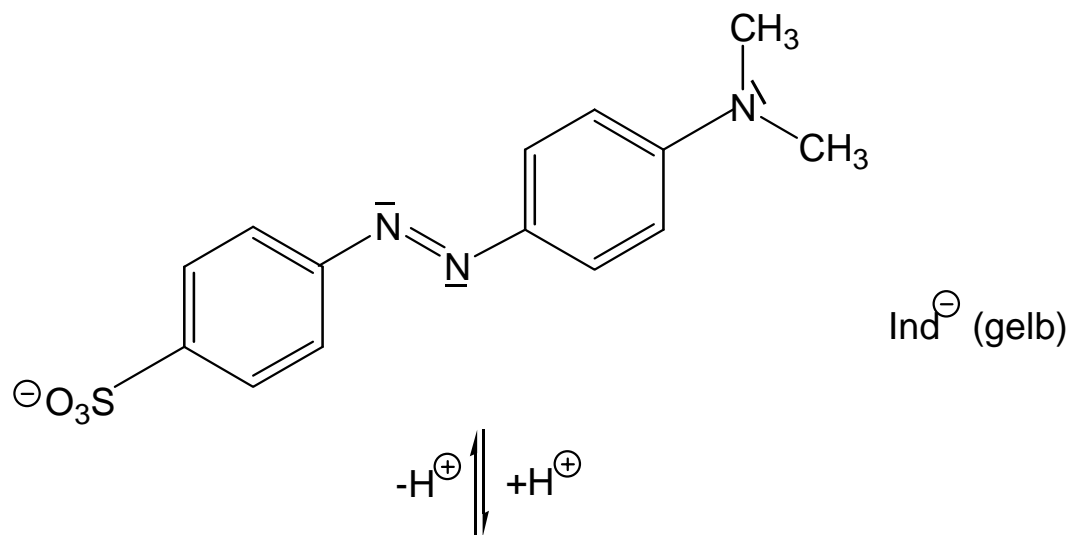
975 mg Glucoseacetat werden eingewogen und in ca. 50 mL Aceton gelöst. Man fügt 20 mL NaOH zu und rührt gut um. Man fügt wenige Tropfen Methylorange zu und titriert mit HCl. Aus der Differenz des Säureverbrauchs in einem Blindversuch (ohne Esterzusatz) und dem Säureverbrauch der mit der gleichen Menge NaOH versetzten Esterlösung ergibt sich die zur Hydrolyse des Esters verbrauchte Laugenmenge und daraus die Anzahl der Hydroxylgruppen. Eine Anleitung zur präparativen Darstellung des Glucoseacetats gibt [8].

Theorie:

Die basische Hydrolyse des Glucoseacetats erfolgt nach folgendem Mechanismus:



Indikator: Methylorange
 Die überschüssige Lauge wird titriert:



$M(\text{Glucoseacetat}) = 390 \text{ g/mol}$

975 mg Glucoseacetat entsprechen 0,25 mmol, also bei fünf Hydroxylgruppen der Glucose 1,25 mmol Estergruppen. Demnach sollte 1,25 mmol NaOH verbraucht werden.

Versuch 5: Karamelisierung

Geräte:

Demonstrationsreagenzglas, Tiegelflange mit Gummi überzogen, Bunsenbrenner

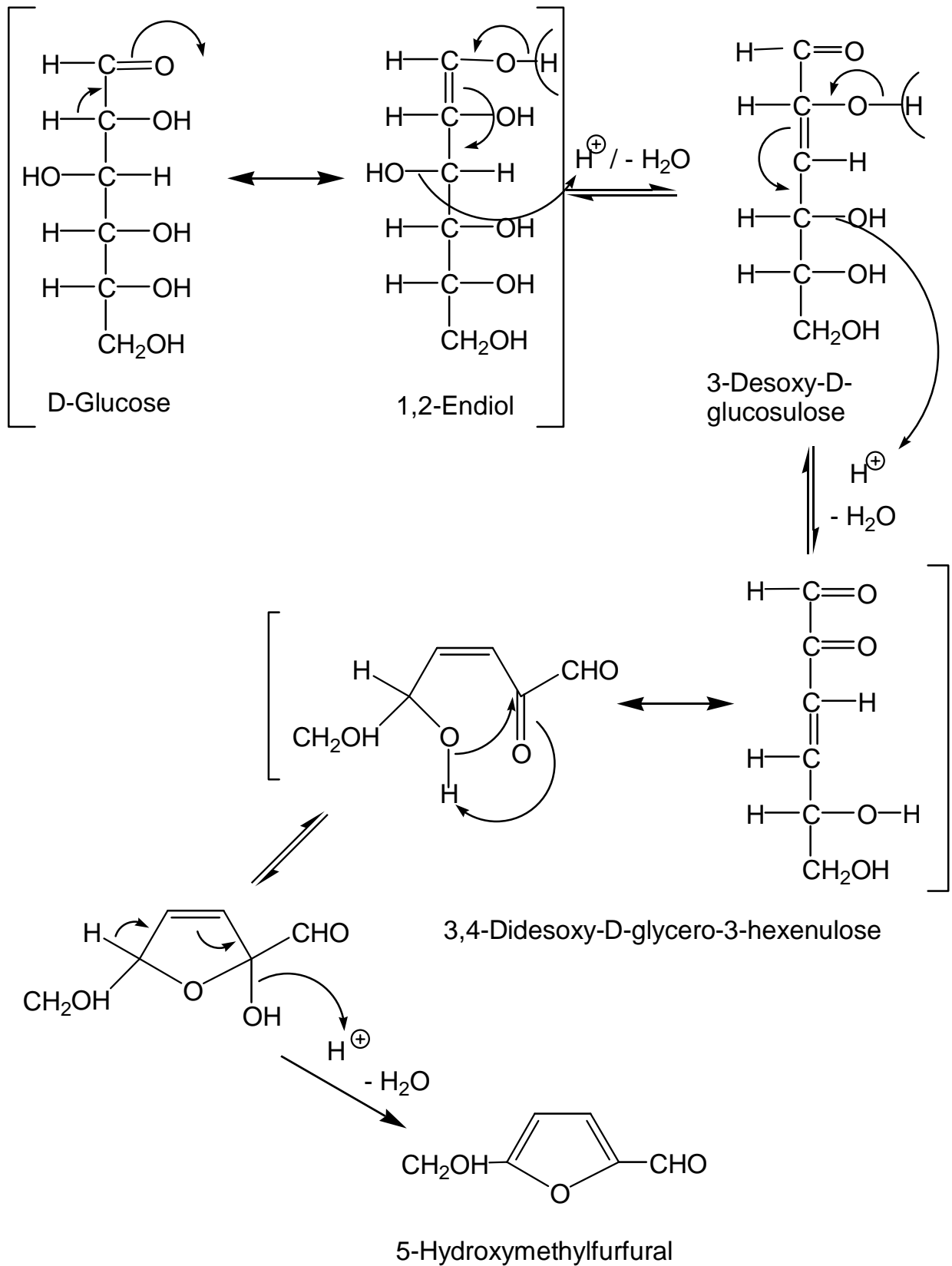
Chemikalien:

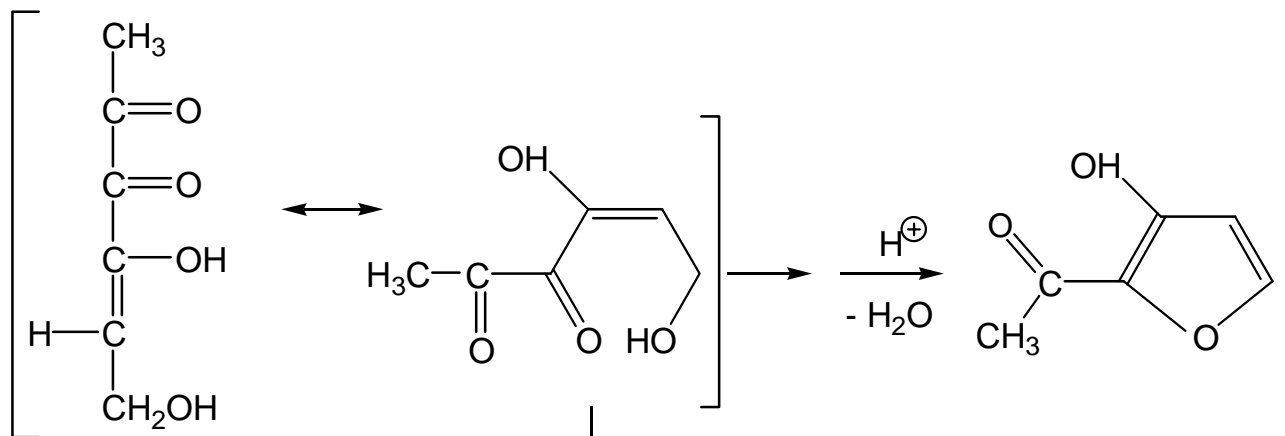
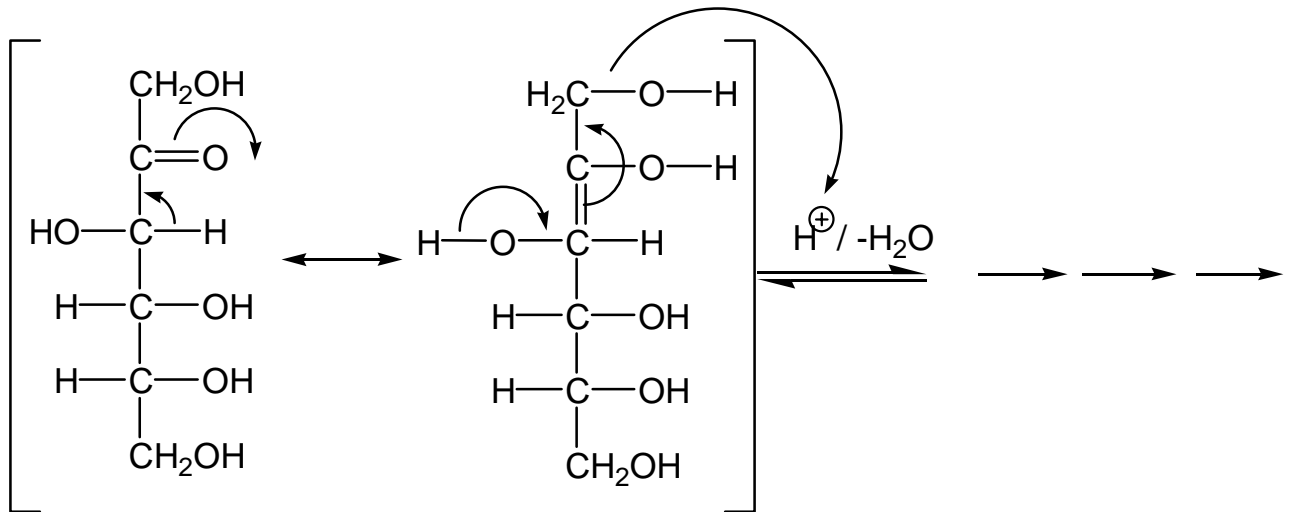
Saccharose, HCl (2mol/L)

Durchführung und Beobachtung:

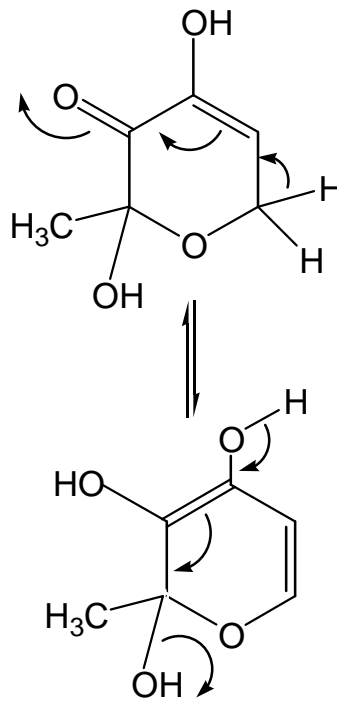
Man füllt Saccharose ca. zwei Finger hoch in das Reagenzglas und fügt 1 mL HCl zu. Unter ständigem Schütteln wird der Zucker vorsichtig in der schwach rauschenden Bunsenbrennerflamme erhitzt. Er fängt an zu Schmelzen und langsam zu bräunen. Erhitzt man ihn weiter, so wird er braun bis dunkelbraun und ein Karamelgeruch ist wahrnehmbar. Erhitzt man ihn noch weiter, so tritt Verkohlung ein.

Bei der Karamelisierung entstehen viele Substanzen, von denen noch viele unbekannt sind. Im folgenden wird ein möglicher Syntheseweg von 5-Hydroxymethylfurfural, ein wichtiger Aromastoff im Karamel, aus Glucose angegeben. Desweiteren wird ein Syntheseweg für Isomaltol und Maltol aus Fructose vorgestellt.





Isomaltol



Maltol

Demonstration 2: Färbekraft von Zuckercoleur

Geräte:

Magnetrührer, Fisch, Becherglas (100 mL), Pipette
Becherglas (1000 mL)

Chemikalien:

Saccharose, dest. H₂O,

Durchführung:

Zur Herstellung des Zuckercoeurs wird 30 g Saccharose in 50 ml H₂O gelöst. Man fügt einige mL zu und erhitzt vorsichtig unter ständigem Rühren. Im alkalischen Milieu bilden sich schon in der Wärme farbige Verbindungen aus.

Zur Demonstration der Färbekraft des Zuckercoeurs kann in 1 L Wasser 10 mL Zuckercoleur zugegeben werden. Es entsteht eine braunschwarze Flüssigkeit.

Verwendung

Weltweit werden jährlich weit über 100 Mio. t Saccharose dargestellt. In Deutschland geht ein Viertel der Saccharose direkt und der verbleibende größere Teil über die Saccharose verarbeitende Betriebe indirekt in die Haushalte. Der Anteil als Ausgangsmaterial im non-food-Bereich ist mit 2% bescheiden, doch rechnet man in Zukunft mit einem Anstieg. Die Saccharose wird chemisch, biochemisch und/oder mikrobiologisch derivatisiert oder in andere Folgeprodukte als Synthesebaustein einbezogen. Es folgen einige Beispiele:

- Speisezwecke
- Konservierung (Marmelade etc.)

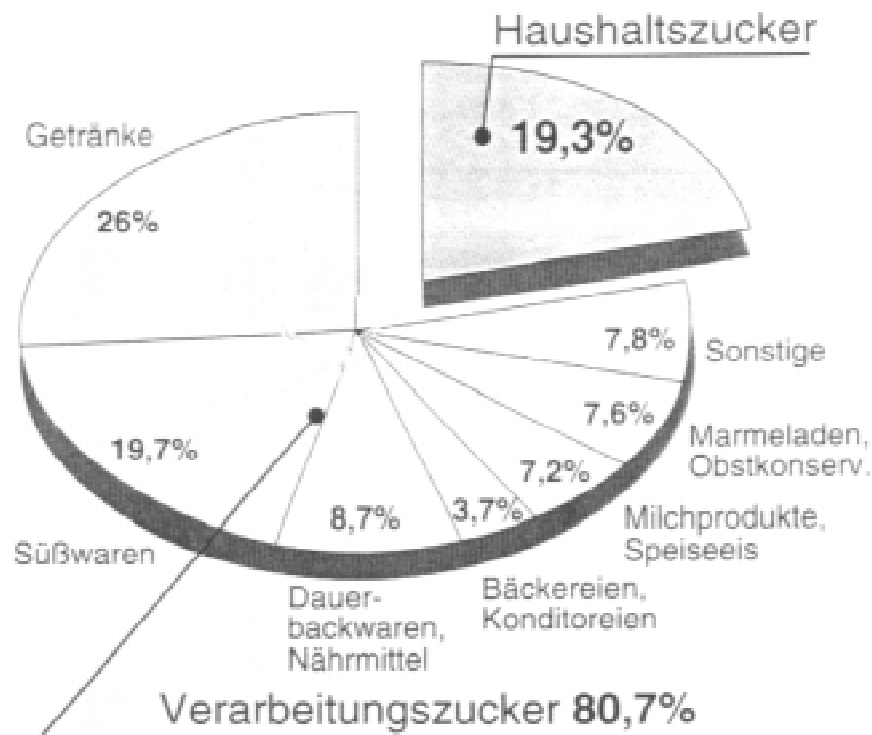
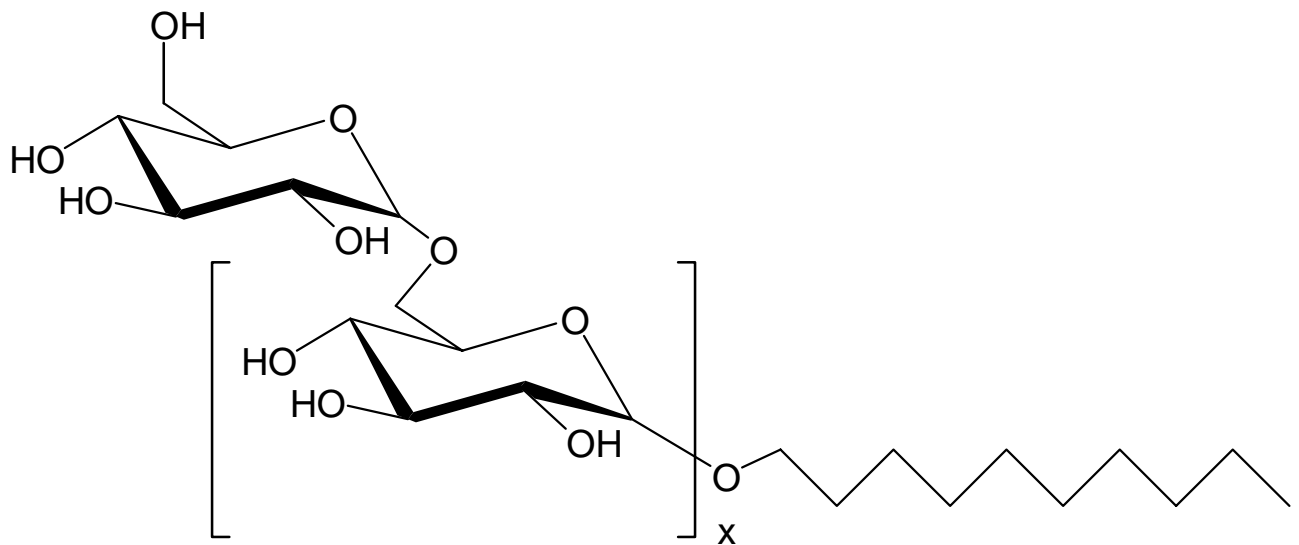


Abb. 8: Verwendung von Saccharose

- Herstellung von Kunststoffen (Polyurethane)
- Biotechnologische Produktion von organischen Verbindungen
aber: geringe Bedeutung der oft zu teuren Saccharose
- Herstellung von Saccharoseester für Tenside (Zuckerester)

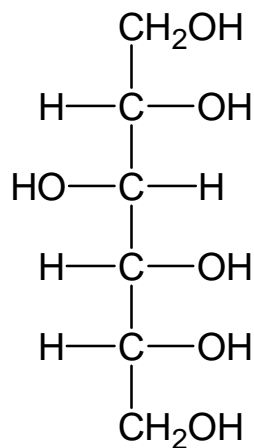
Alkylpolyglucoside (APG)



Länge des Alkylrestes:

-C₈H₁₇ bis -C₁₄H₂₉

- Enzymatische Darstellung von Isomaltulose (D-Glucopyranosyl- $\alpha(1\rightarrow6)$ -D-fructofuranose), durch Hydrierung erhält man ein Gemisch von α -D-Glucopyranosyl-1,6-mannit und -1,6-sorbit, welches als Isomalt („Palatinit“) in den Handel kommt
- Enzymatische Darstellung von Leucrose (D-Glucopyranosyl- $\alpha(1\rightarrow5)$ -D-fructofuranose)
- Enzymatische Darstellung der Polyalkohole D-Sorbit und D-Mannit



D-Sorbit

- Al-Salz der Saccharose-Sulfonsäure wird zur Behandlung gastritischer Erkrankungen verwendet (Sucralfat)

Demonstration 3: Tribolumineszenz von Saccharosekristallen

Unter Tribolumineszenz, eine Form der Lumineszenz (Emission von Licht nach Energieanregung), versteht man das Auftreten einer Lichtemission beim Zerschneiden oder Zerreiben kristalliner und elektrisch nichtleitender Feststoffe. Beim Zerschneiden von kristallinen Körpern treten an den Enden freie, einander entgegengesetzte elektrische Ladungen auf, die vor dem Zerschneiden molekular gebunden waren. Es entsteht ein elektrisches Feld, das eine ausreichend hohe Feldstärke aufweisen muß.

Die Tribolumineszenz bei Zucker dauert 10^{-4} s. Das Leuchtphänomen ist leicht zu beobachten: man reibe in einem völlig dunklen Raum nach genügender Dunkeladaptation der Augen zwei Würfelstückchen aneinander. Aus kurzer Entfernung ist eine weiß-grünliche Lichtemission erkennbar.

Literatur

- [1] R. Kluthe, H. Kasper, Kohlenhydrate in der Ernährungsmedizin unter besonderer Berücksichtigung des Zuckers, Georg Thieme Verlag Stuttgart New York 1996
- [2] U. Walter, Klarheit über Zucker?, Unterricht Biologie, 12. Jahrgang, 5/1988, S. 45,46
- [3] A. Deifel, Saccharose – ein Rohstoff für nichtkariogene und brennwertverminderte Süßungsmittel, Praxis der Naturwissenschaften Chemie, 44. Jahrgang, Heft 5, S. 9-15

- [4] C. Plaß, U. Hülsenbeck und B. Lutz, Wie schaffen es Zuckerersatzstoffe dem Gehirn Süße vorzugaukeln, *Naturwissenschaften im Unterricht* 6, Nr. 27 1995, S. 19-22
- [5] W. Göttel, Über spezifische Nachweise für Glucose und Fructose, *Praxis (Chemie)*
- [6] Christine Labahn-Lucius, Die enzymatische Bestimmung von Glucose mit Glukoseoxidase und Peroxidase – Herstellung von Teststreifen, *Mathematisch-Naturwissenschaftlicher Unterricht*, 42. Jahrgang, Heft 8 S. 496-497, Ferd. Dümmler Verlag Bonn 1989
- [7] Lehmann, *Chemie der Kohlenhydrate*, Georg Thieme Verlag Stuttgart New York 1996
- [8] Gattermann Wieland, *Die Praxis des organischen Chemikers*, 43. Auflage, Walter de Gruyter Berlin New York 1982
- [9] G. Westphal, *Chemie der Saccharose*, *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 44. Jahrgang 1995, Heft 5, S. 2-8
- [10] M. Just und A. Hradetzky, *Chemische Schulexperimente*, Volk und Wissen-Verlag Berlin 1970
- [11] G. Harsch und R. Heimann, *Schulung des analytischen Denkens*, *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 44. Jahrgang 1995, Heft 5, S. 19-23
- [12] H. Brandl, Über das Leuchten von Zucker, *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 44. Jahrgang 1995, Heft 5, S. 23-25
- [13] H. Brandl, Das Phänomen der Tribolumineszenz, *Mathematisch-Naturwissenschaftlicher Unterricht*, 45. Jahrgang, Heft 4, S. 195-202, Ferd. Dümmler Verlag Bonn 1992
- [14] H. Schmidt, B. Kordt und R. Pientka, Die Messung optischer Aktivität mit einem Schülerpolarimeter; *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 35. Jahrgang 1986, Heft 4, S. 13-17

[15] W. Walter, Süße und Macht, Naturwissenschaftliche Rundschau,
43. Jahrgang 1990, Heft 1, S. 1-7

[16] M. Büttner und G. Wagner, Zuckertenside, Naturwissenschaften im
Unterricht Chemie, 8. Jahrgang 1997, Nr.39, S. 46-50

[17] R. Herbers, Von der Zuckerrübe zum Zucker, Naturwissenschaften
im Unterricht Chemie, 5. Jahrgang 1994, Nr. 23, S. 24-26

Adressen:

Pfeifer & Langen

Postfach 450929

50884 Köln

0221/4980-0

Wirtschaftliche Vereinigung Zucker

Am Hofgarten 8

53113 Bonn

0228/2285124