

4.2. Aufgaben zu Kohlenhydraten

Aufgabe 1: Physikalische Eigenschaften

Zeichne die Strukturformeln der folgenden Verbindungen, ordne sie nach Siedepunkten bzw. Wasserlöslichkeit und begründe :

- Ethan, Ethanol, Dimethylether, Ethanal
- Methanol, Glykol (Ethandiol), Glycerin (Propantriol), Sorbitol (Hexanhexol)
- Ethansäure, Methansäure-Methyl-Ester

Aufgabe 2: Stereoisomerie, R-S- Nomenklatur und L/D-Reihen

Zeichne alle möglichen Stereoisomere der folgenden Verbindungen, benenne nach der R-S-Nomenklatur und ordne sie jeweils der D- oder L-Reihe zu:

- 2,3-Dichlorpentan
- 1,2,3-Trichlorbutan
- 2,3,4-Trihydroxybutanal

Aufgabe 3: Polarimetrie

- Erkläre mit Hilfe einer beschrifteten Skizze den Aufbau und die Funktionsweise eines einfachen Polarimeters.
- Der spezifische Drehwert von D-Butan-2-ol ist $[\alpha]_D^{20} = +13,0 \text{ } ^\circ \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{dm}^{-1}$. Bestimme den Drehwert einer Lösung von D-Butan-2-ol in Wasser mit $c = 1 \text{ Mol/l}$ bei einer Probenrohrlänge von 140 mm und 20°C .

Aufgabe 4: Polarimetrie

- L-Weinsäure hat einen spezifischen Drehwert von $[\alpha]_D^{20} = +16,6 \text{ } ^\circ \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{dm}^{-1}$. Bei einer Länge des Messrohres von 20 cm erhielt man einen Drehwinkel $\alpha = +5^\circ$. Berechne die molare Konzentration.
- Die L-Weinsäurelösung aus a) wird 5 fach verdünnt und in ein anderes Polarimeter mit einem 15 cm langen Probenrohr gegeben. Welcher Drehwinkel ist jetzt zu erwarten?
- Ein Drittel der L-Weinsäurelösung aus a) wird durch eine D-Weinsäurelösung mit $c = 2 \text{ Mol/l}$ ersetzt. Welcher Drehwinkel ist jetzt bei einer Probenrohrlänge von 20 cm zu erwarten ?
- Der Drehwert einer 1 m D-Glucoselösung bei 20°C und einer Probenrohrlänge von 15 cm wird mit $+14,2^\circ$ gemessen. Bestimme den spezifischen Drehwert von D-Glucose aus diesen Werten.

Aufgabe 5: Polarimetrie

- Zeichne alle Stereoisomere der 2,3-Dihydroxybutandisäure (Weinsäure) in Fischer-Projektion.
- D-Weinsäure hat einen spezifischen Drehwert von $[\alpha]_D^{20} = -16,6 \text{ } ^\circ \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{dm}^{-1}$. In einem Polarimeter wurde die Küvette nur 8 cm hoch mit einer D-Weinsäurelösung gefüllt. Es wurde ein Drehwinkel $\alpha = -6^\circ$ gemessen. Berechne die Konzentration der Lösung in g/ml, g/l und mol/l.
- Die Hälfte der D-Weinsäurelösung aus b) wurde durch Wasser ersetzt, Welchen Drehwert beobachtet man jetzt?
- Die Hälfte der D-Weinsäurelösung aus b) wurde durch L-Weinsäurelösung ersetzt, Welchen Drehwert beobachtet man jetzt?

Aufgabe 6: Keto-Enol-Tautomerie

Gib die Strukturformel und den Namen der Enolform des „Acetessigesters“ (3-Oxo-Butansäure-Ethyl-Ester) an

Aufgabe 7: Nukleophile Addition an C=O-Doppelbindungen

Geben Sie die Strukturformeln der Produkte an, die durch nukleophile Addition aus den folgenden Molekülen entstehen können. Berücksichtigen Sie insbesondere die Bildung von Ringen.

- Ethanol und Ethanal
- 2-Hydroxyethanal
- 2,3,4-Trihydroxybutanal

Aufgabe 8: Tetrosen und Polarimetrie

- Welche Strukturen sind bei Monosacchariden der Zusammensetzung $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_4$ (Tetrosen) möglich? Zeichne die Projektionsformeln in der offenen Kettenform.
- Eine der Tetrosen heißt D-Erythrose. Eine einmolare Lösung dieses Zuckers ergibt in einem Polarimeter mit einem 20 cm langen Probenrohr einen Drehwinkel von $\alpha = 3,48^\circ$. Berechne den spezifischen Drehwinkel der D-Erythrose.
- Eine Hälfte der D-Erythroselösung wird durch Wasser ersetzt. Welcher Drehwinkel ist zu erwarten?
- Eine Hälfte der D-Erythroselösung wird durch L-Erythroselösung der gleichen Konzentration ersetzt. Welcher Drehwinkel ist zu erwarten?
- Eine Hälfte der D-Erythroselösung wird durch D-Threoselösung ($[\alpha]_D^{20} = +19,6 \text{ } ^\circ \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{dm}^{-1}$) der gleichen Konzentration ersetzt. Welcher Drehwinkel ist zu erwarten?

Aufgabe 9: Ringbildung

Gib die Strukturformeln aller fünf- und sechsgliedrigen Ringe an, die aus den folgenden Molekülen in verdünnter Lauge gebildet werden können:

- D-Ribose
- D-Galactose
- D-Sorbose (siehe Aufgabe 19)

Aufgabe 10: Oxidation der Alkohole und Aldehyde

Formuliere die Gleichungen für die folgenden Reaktionen mit Strukturformeln und Oxidationszahlen:

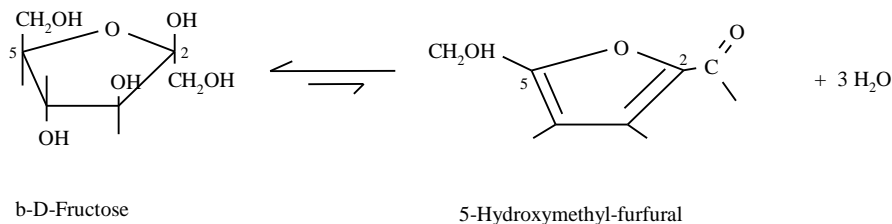
- Ethanol und heißes Kupfer-II-oxid CuO
- Ethanal und heißes Kupfer-II-oxid CuO
- Ethanal und Fehling-Lösung (Cu^{2+} und OH^- -Ionen)
- Propanal und Tollens-Lösung (Ag^+ und OH^- -Ionen)
- 2-Hydroxypropanal und Fehling-Lösung

Aufgabe 11: Oxidation zu Zuckersäuren

Durch Salpetersäure lassen sich beide endständigen C-Atome der Galactose zu Carboxylgruppen oxidieren. Als Nebenprodukt entstehen Stickstoffdioxid und Wasser. Formulieren Sie diese Reaktion mit Strukturformeln und Oxidationszahlen.

Aufgabe 12: Seliwanoff-Reaktion und Eliminierung

Die rote Farbe bei der Seliwanoff-Reaktion entsteht durch Wechselwirkung des Resorcins (1,3-Dihydroxy-Benzol) mit **5-Hydroxymethyl-furfural**, das durch Eliminierung von 3 Molekülen Wasser und Keto-Enol-Tautomerie aus D-Fructose entsteht. Formuliere diese Reaktion mit allen Zwischenschritten und Strukturformeln.



Aufgabe 13: Nukleophile Substitution mit Alkoholen

Formuliere die Gleichungen für die folgenden Reaktionen mit Strukturformeln:

- Erwärmung einer salzsauren Lösung von Ethanol
- Erwärmung einer salzsauren Lösung von Dimethylether
- Erwärmung einer salzsauren Lösung von 1,2-Propandiol (3 Produkte!)

Aufgabe 14: Keto-Enol-Tautomerie und Glycoside

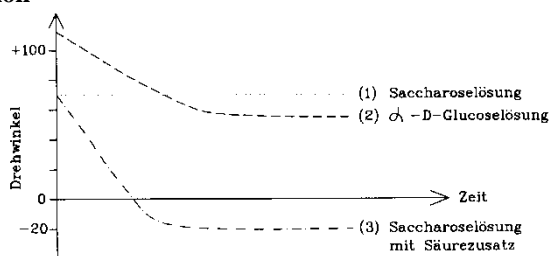
Eine salzsaure Lösung von D-Ribose und Ethanol wird erwärmt.

- Gib die Strukturformeln von mindestens 5 Molekülen an, die aus einem D-Ribosemolekül ohne Beteiligung weiterer Ethanol- oder Ribosemoleküle entstehen können und begründe.
- Gib die Strukturformeln von 3 Molekülen an, die aus zwei Molekülen α -D-Ribopyranose entstehen können. Wie viele verschiedene Verbindungen können insgesamt aus zwei Molekülen α -D-Ribopyranose gebildet werden?
- Gib die Strukturformeln aller Moleküle an, die aus einem Molekül α -D-Ribopyranose und einem Molekül Ethanol gebildet werden können.
- Gib die Struktur und den Namen der Verbindung an, die aus zwei Molekülen Ethanol gebildet werden kann.

Aufgabe 15: Rohrzuckerinversion und Mutarotation

Drei frisch bereitete Zuckerlösungen werden Polarimeter untersucht. Die Auswertung ist in nebenstehender Graphik dargestellt:

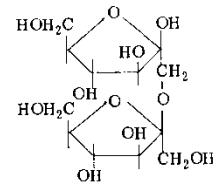
Erkläre die unterschiedlichen Versuchsergebnisse!



Aufgabe 16: Tetrasaccharide

Bei der Zuckergewinnung entsteht mit Hilfe von Bakterien Laevan, ein Tetrasaccharid. In Laevan ist ein Saccharosemolekül mit einem weiteren Disaccharid folgender Strukturformel verknüpft:

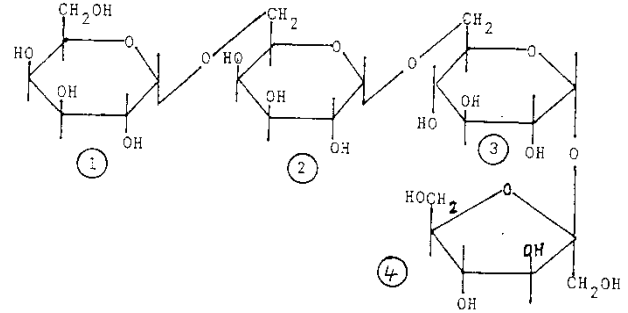
- Prüfe, ob dieses Disaccharid Fehlingsche Lösung reduziert und begründe gegebenenfalls mit einer Reaktionsgleichung.
- In dem Tetrasaccharid Laevan ist das oben abgebildete Disaccharid mit dem Fructoseteil der Saccharose 2,6- α -glycosidisch verknüpft. Zeichne die Strukturformel von Laevan!



Aufgabe 17: Tetrasaccharide

- Das Tetrasaccharid Stachyose, das in Erbsen und Sojabohnen vorkommt, kann zu verschiedenen Mono-, Di- und Trisacchariden hydrolysiert werden. Welche der folgenden Saccharide können entstehen, welche nicht? Begründe deine Aussagen anhand der Identität der Bausteine 1-4 und deren Verknüpfungen!

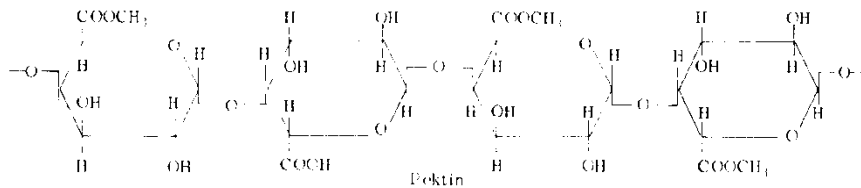
- Glucose
- Lactose
- Galactose
- Maltose
- Fructose
- Saccharose



- Durch welche Experimente lässt sich die Zusammensetzung der Stachyose überprüfen?
- Die Stachyose und alle ihre möglichen Hydrolyseprodukte werden in getrennten Ansätzen der Fehling-Probe unterzogen. Welche Versuchsergebnisse sind jeweils zu erwarten? Begründung!

Aufgabe 18: Polysaccharide

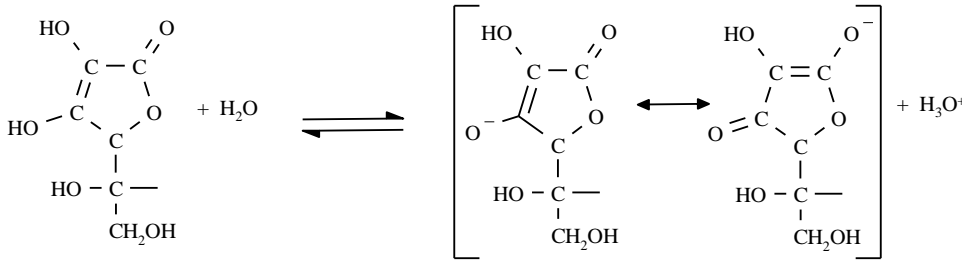
Im Folgenden ist ein Strukturausschnitt eines Pektins gezeigt.



- Pektin wird als Zusatz zu Dauerbackwaren herangezogen, damit diese länger feucht halten. Begründe diesen Zusatz mit der Struktur des Pektins!
- Die Gelierfähigkeit von Pektin wird sowohl durch Zusatz von Zitronensäure als auch durch Zusatz von Kalkwasser $\text{Ca}(\text{OH})_2$ verbessert. Begründe diese anscheinend widersprüchlichen Befunde anhand der Strukturformeln von Pektin und Zitronensäure.
- Welche der beiden Zutaten aus b) ist für die Marmeladenherstellung eher zu empfehlen?

Aufgabe 19: Ascorbinsäure

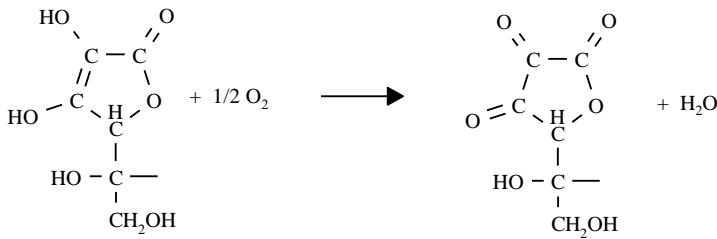
- a) Vitamin C (L-Ascorbinsäure) reagiert nach der folgenden Gleichung mit Wasser. Gib den Reaktionstyp an und benenne das dabei entstandene Kation.



Ascorbinsäure

Ascorbat

- b) Vitamin C (L-Ascorbinsäure) reagiert nach der folgenden Gleichung mit Sauerstoff. Gib den Reaktionstyp und alle Oxidationszahlen an.



Ascorbinsäure

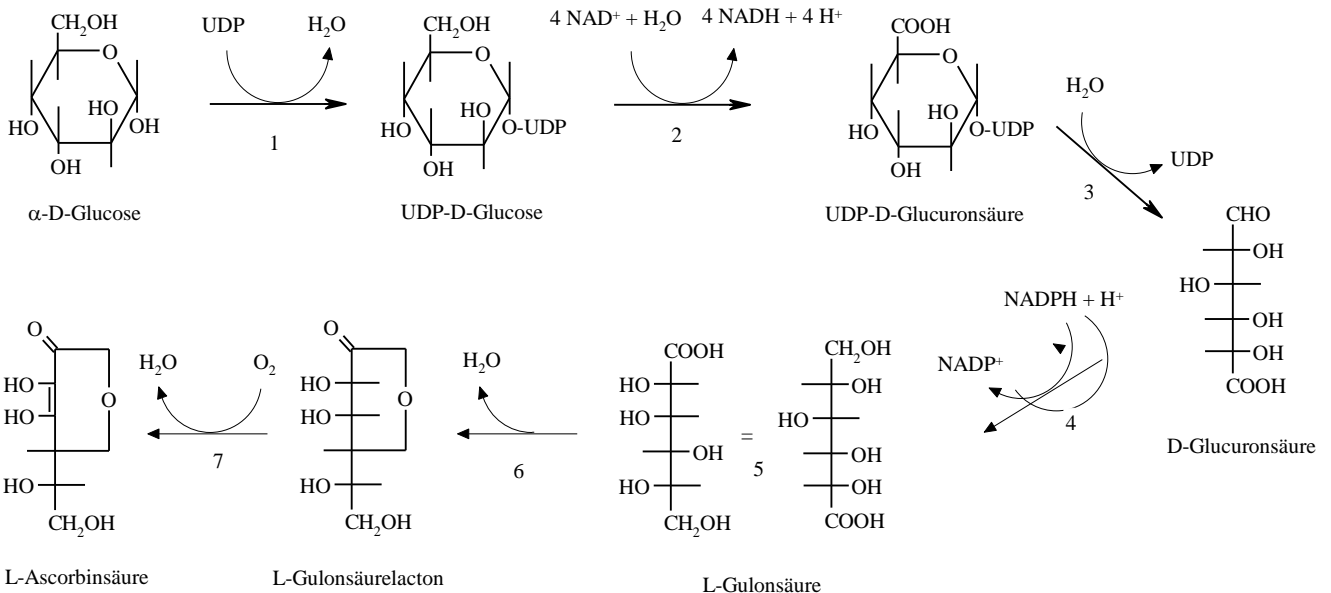
Dehydroascorbinsäure

- c) L-Ascorbinsäure wird großtechnisch aus D-Glucose hergestellt, indem man durch katalytische Hydrierung zunächst D-Sorbit herstellt und anschließend durch enzymatische Dehydrierung am fünften C-Atom L-Sorbose erhält. Gib die Reaktionsgleichungen für diese beiden Reaktionsschritte mit Strukturformeln an. Skizziere die Strukturformel der L-Sorbose so, dass ihre Zugehörigkeit zur L-Reihe deutlich wird!
- d) Die Verbindungen Ascorbinsäurepalmitat und Mononatriumascorbat werden in der Lebensmittelindustrie als Zusatzstoffe verwendet. Formuliere ausgehend von Ascorbinsäure die Reaktionsgleichungen zur Herstellung dieser beiden Verbindungen. (Palmitinsäure = Hexadekansäure)
- e) Entscheide im Hinblick auf die Wasserlöslichkeit, welche der beiden Verbindungen sich als Zusatz zu Fruchtsäften besser eignet!

Aufgabe 20: Ascorbinsäure

Alle Tiere mit Ausnahme der Primaten und der Meerschweine können Vitamin C (Ascorbinsäure) auf dem folgenden Weg in der Leber herstellen. Die Cosubstrate UDP, NAD⁺ und NADP⁺ sind aus DNA-Abfallstücken aufgebaut. Ihre Strukturen sind bei dieser Reaktion ohne Bedeutung.

- a) Beschreiben Sie die Schritte 1 - 7 mit Hilfe der beteiligten funktionellen Gruppen und Reaktionstypen.
- b) Schritt 1 wird nur ausgeführt, um Schritt 2 zu ermöglichen und wird anschließend in Schritt 3 wieder rückgängig gemacht. Was würde in Schritt 2 passieren, wenn ein freies Halbacetal vorliegen würde?



4.2. Lösungen zu den Aufgaben zu Kohlenhydraten

Aufgabe 1: Physikalische Eigenschaften

- Ethan: -183 °C , Dimethylether: -25 °C (Molmasse + polare C–O-Bindung), Ethanal: 20 °C (polare C=O-Bindung), Ethanol: 78 °C (stark polare O–H-Bindung)
- Methanol: 65 °C , Ethandiol: 197 °C , Propantriol: 290 °C , Sorbitol: Fp 98 °C , nicht unzersetzt verdampfbar (steigende Zahl der H-Brücken)
- Methansäure-Methyl-Ester: 32 °C , Ethansäure: 119 °C (stark polare OH-Bindung)

Aufgabe 2: Stereoisomerie, R-S-Nomenklatur und L/D-Reihen

- Dichlorpentan: 4 Stereoisomere 2S3R und 2R3R = D-Reihe sowie 2S3S und 2R3S = L-Reihe
- 1,2,3-Trichlorbutan: 4 Stereoisomere 2S3R und 2R3R = D-Reihe sowie 2S3S und 2R3S = L-Reihe
- 2,3,4-Trihydroxy-Butanal (Tetrosen): 4 Stereoisomere 2S3R und 2R3R = D-Reihe sowie 2S3S und 2R3S = L-Reihe

Aufgabe 3: Polarimetrie

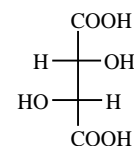
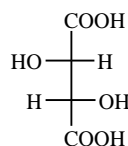
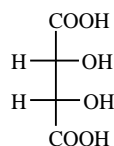
- Aufbau mit Lichtquelle, Polarisator, Probenrohr, Analysator
- D-2-Butanol = $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O} \Rightarrow c = 1\text{ mol/l} = 74\text{ g/l} = 0,074\text{ g/cm}^3 \Rightarrow \alpha = +1,35\text{ °}$

Aufgabe 4: Polarimetrie

- L-Weinsäure = $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ mit $M = 150\text{ g/mol} \Rightarrow c = 1\text{ mol/l}$
- $= +0,75\text{ °}$
- $= 0\text{ °}$, da die Konzentration der beiden Isomeren gleich ist und die Drehung der L-Weinsäuremoleküle durch die Drehung der D-Weinsäuremoleküle aufgehoben wird.
- D-Glucose = $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ mit $M = 180\text{ g/mol} \Rightarrow [\alpha]_D^{20} = 52,6\text{ ° cm}^3\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{dm}^{-1}$
- Berechnung der Probenrohlänge!

Aufgabe 5: Polarimetrie

- siehe rechts
- $c = 0,45\text{ g/ml} = 450\text{ g/l} = 3\text{ mol/l}$
- $\alpha = -3\text{ °}$
- $\alpha = 0\text{ °}$

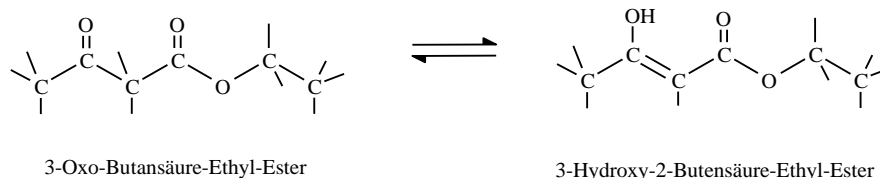


R,S-2,3-Dihydroxybutandisäure
(Meso-Weinsäure)
optisch nicht aktiv!

S,S-2,3-Dihydroxybutandisäure
(D-(-)-Weinsäure)
 $[\alpha]_D^{20} = -16,6\text{ ° cm}^3\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{dm}^{-1}$

R,R-2,3-Dihydroxybutandisäure
(D-(+)-Weinsäure)
 $[\alpha]_D^{20} = +16,6\text{ ° cm}^3\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{dm}^{-1}$

Aufgabe 6: Keto-Enol-Tautomerie



Aufgabe 7: Nukleophile Addition an C=O-Doppelbindungen

- 1-Ethoxy-1-Hydroxy-Ethan
- 2-(2-Hydroxy-Ethoxy)-2-Hydroxy-Ethanal und 2,5-Dihydroxy-1,4-Dioxacyclohexan
- α - und β -Ringform der Erythrose und Addition der drei OH-Gruppen an die C=O-Gruppe eines anderen Moleküls

Aufgabe 8: Tetrosen und Polarimetrie

- 2 Ketosen (L/D Erythrose) und 4 Aldosen (L/D-Erythrose und Threose)
- $[\alpha]_D^{20} = -14,5\text{ ° cm}^3\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{dm}^{-1}$
- $= -1,74\text{ °}$
- $= 0\text{ °}$
- $= +2,352\text{ °} - 1,74\text{ °} = +0,612\text{ °}$

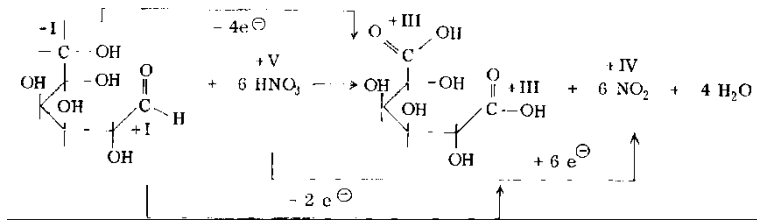
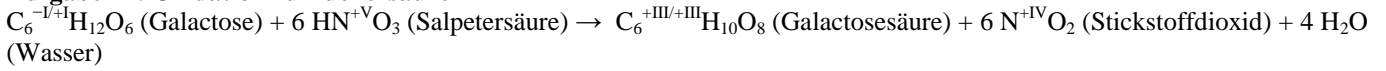
Aufgabe 9: Ringbildung

- α/β -Ribofuranose
- α/β -Galactofuranose und -pyranose
- α/β -Sorbofuranose und -pyranose

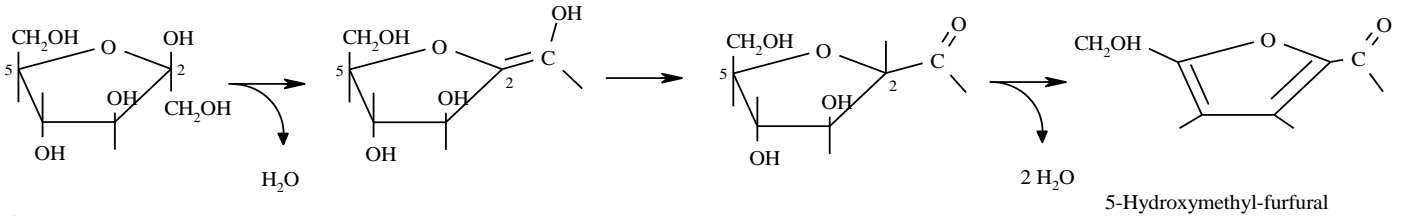
Aufgabe 10: Oxidation der Alkohole und Aldehyde

siehe Skript

Aufgabe 11: Oxidation zu Zuckersäuren



Aufgabe 12: Seliwanoff-Reaktion, Eliminierung und Keto-Enol-Tautomerie



b-D-Fructose

5-Hydroxymethyl-furfural

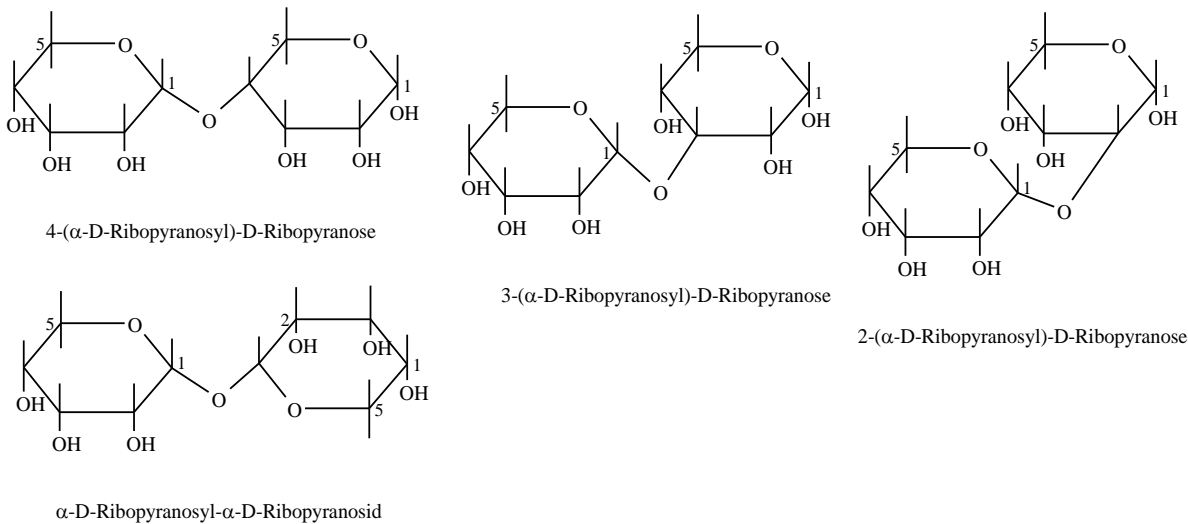
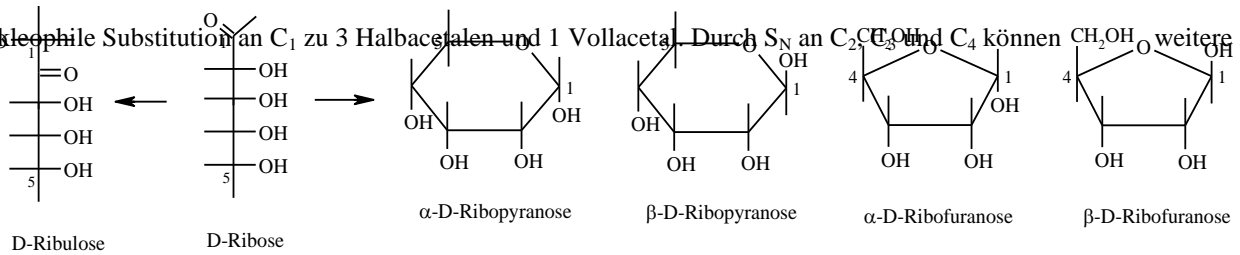
Aufgabe 13: Nukleophile Substitution mit Alkoholen

- a) Kondensation zu Diethylether
- b) Hydrolyse zu Methanol
- c) Kondensation zu Di-(2-Hydroxy-Propyl)-Ether, Di-(1-Methyl-2-Hydroxy-Propyl)-Ether und (1-Methyl-2-Hydroxy-Propyl)-(2-Hydroxy-Propyl)-Ether

Aufgabe 14: Keto-Enol-Tautomerie und Glycoside

- a) Keto-Enol-Tautomerie zu D-Ribulose und anderen Ketosen, Nukleophile Addition zu Pyranosen und Furanosen:

b) Nukleophile Substitution an C₁ zu 3 Halbacetalen und 1 Vollacetal. Durch S_n an C₂, C₃ und C₄ können CH₂OH weitere 3 + 2 + 1 = 6 G



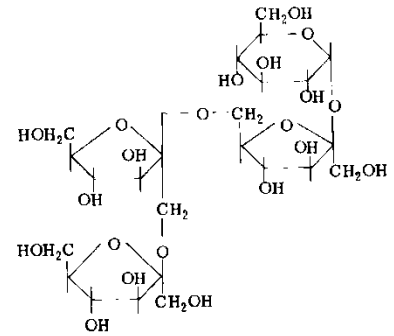
- c) Durch S_n an C₁ - C₄ lassen sich 1 Vollacetal (alpha-Ethyl-Ribopyranosid) und 3 Ether (2-,3- bzw. 4-Ethyl- Ribopyranose) bilden
- d) Diethylether

Aufgabe 15: Rohrzuckerinversion und Mutarotation

- keine Änderung, da keine halbacetalische OH-Gruppe.
- Änderung, (α -Form wandelt sich in β -Form um, Mutarotation, mit der Zeit stellt sich Gleichgewicht ein.
- Änderung, Säurezusatz bewirkt Hydrolyse. Es entstehen Glucose und Fructose. Da Fructose stärker links dreht als Glucose rechts, wird Drehwinkel negativ.

Aufgabe 16: Tetrasaccharide

Hier findet keine positive Reaktion mit Fehling statt. Begründung: Im vorliegenden Molekül existiert zwar eine freie halbacetalische OH-Gruppe, hier erfolgt auch in alkalischem Milieu Ringöffnung und Überführung der Halbacetalgruppe am C₂ in eine Carbonylgruppe, doch zwischen C₁ und C₂ kann keine Keto-Enol-Tautomerie stattfinden, daher ist eine Oxidation zur Carboxylgruppe nicht möglich.

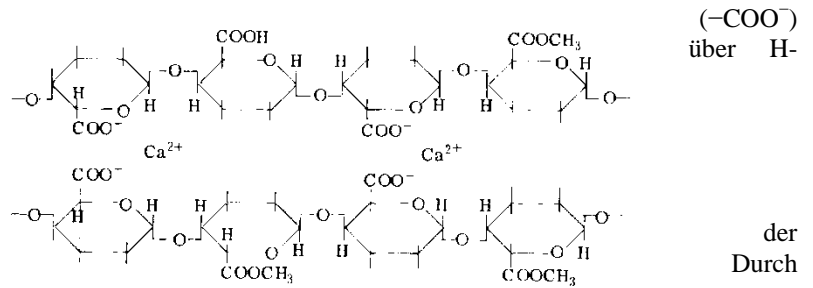


Aufgabe 17: Tetrasaccharide

- Glucose : als Baustein 3 enthalten.
Lactose : nicht enthalten; Verknüpfung zwischen 2 und 3 (α -1,6) entspricht nicht der Verknüpfung (β -1,4) bei der Lactose.
Galactose : als Baustein 1 und 2 enthalten.
Fructose : als Baustein 4 enthalten.
Saccharose : enthalten; Baustein 3 und 4 liegen in der richtigen Verknüpfung vor.
Maltose : nicht enthalten, da im Stachyose-Molekül nur ein Glucosebaustein vorkommt.
- Chromatographie: Auftragen des Hydrolysats und der wässrigen Lösungen der Stoffe a - f auf die Startlinie eines Trägermaterials. Entwicklung des Chromatogramms mit Hilfe eines geeigneten Laufmittels. Sichtbarmachen der Saccharide über eine Farbreaktion
Identifizierung der Hydrolyseprodukte durch Vergleich ihrer R_F-Werte mit den R_F-Werten der Stoffe a - f.
- Fehling-Probe positiv, wenn Aldehydgruppe vorhanden. Ringöffnung muß möglich sein. Dies ist nur der Fall, wenn das jeweilige Saccharid eine freie glykosidische (halbacetalische) Hydroxyl-Gruppe besitzt.
Stachyose : negativ, alle Verknüpfungen der Monosaccharide sind diglykosidisch.
Trisaccharid aus 1-3: positiv, bei 3 eine freie glykosidische Hydroxyl-Gruppe.
Trisaccharid aus 2-4: negativ, keine freie glykosidische Hydroxyl-Gruppe.
Disaccharid aus 1 und 2 und
Disaccharid aus 2 und 3: positiv, jeweils eine freie glykosidische Hydroxyl-Gruppe.
Disaccharid aus 3 und 4 (Saccharose): negativ, Verknüpfung diglykosidisch.
Monosaccharide: positiv, freie glykosidische Hydroxyl-Gruppe; bei der Fructose im alkalischen Milieu Tautomerie zur Glucose.

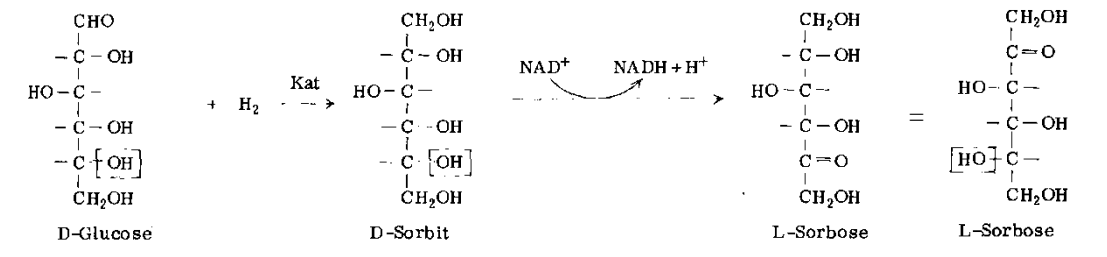
Aufgabe 18: Polysaccharide

- Die unveresterten Carboxylatgruppen und die Hydroxylgruppen (-OH) können Brücken Wassermoleküle binden.
- Gelieren** bedeutet die Ausbildung fester Strukturen durch **Vernetzung** der Pektinketten. Ohne Züätze kann diese Vernetzung nicht erfolgen, da sich die Pektinketten durch die gleichnamige Ladung Carboxylatgruppen gegenseitig abstoßen. Zusatz von **Citronensäure** werden die Carboxylreste zu neutralen Carboxylgruppen protoniert, wodurch die Abstoßung aufgehoben wird und eine teilweise Vernetzung durch **H-Brücken** möglich wird. Durch Zugabe von **Ca²⁺** erfolgt Vernetzung der Pektinketten durch **Ionenbindungen**.
- Da Ionenbindungen stärker sind als H-Brücken, führt die Zugabe von Kalkwasser zu einem festeren Gel.

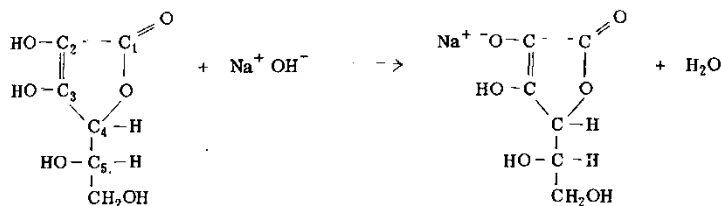


Aufgabe 19: Ascorbinsäure

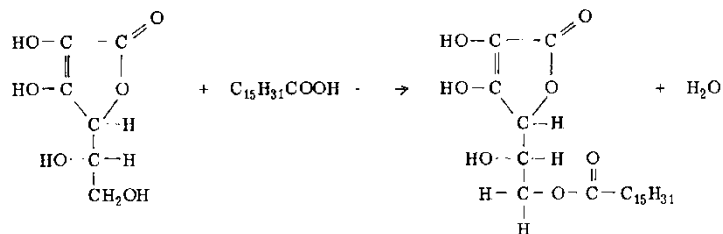
- a) Säure-Base-Reaktion, bei der Hydroxonium H_3O^+ entsteht.
 b) Redoxreaktion: OZ an C_2 und C_3 steigen von + I auf + II, OZ an Sauerstoff sinkt von ± 0 auf $-II$
 c)



d)



Ascorbinsäure + Natronlauge \rightarrow Mononatriumascorbat + H_2O
 (Protolyse an C_2 oder C_3 führt auf den gleiche mesomeriestabilisierten Säurerest)



Ascorbinsäure + Palmitinsäure + Palmitinsäure-Ascorbinsäure-Ester + H_2O
 (Veresterung an C_5 ist ebenfalls möglich)

- e) Mononatriumascorbat ist aufgrund der ionischen Struktur wasserlöslich, Palmitinsäure-Ascorbinsäure-Ester dagegen nicht.

Aufgabe 20: Ascorbinsäure

- 1: Kondensation (S_N) des Halbacetals zum Vollacetal
- 2: Oxidation an C_6 . Wäre das Halbacetal frei, würde die Oxidation an C_1 ablaufen und zur Gluconsäure führen.
- 3: Hydrolyse des Vollacetals zum Halbacetal
- 4: Reduktion der Aldehydgruppe zur Hydroxylgruppe
- 5: Umkehrung der Zählrichtung, so dass sie am höchsten oxidierte C-Atom beginnt
- 6: Bildung eines inneren Esters („Lacton“) durch Kondensation
- 7: Eliminierung von H_2 bzw. Oxidation an C_2 und C_3 .