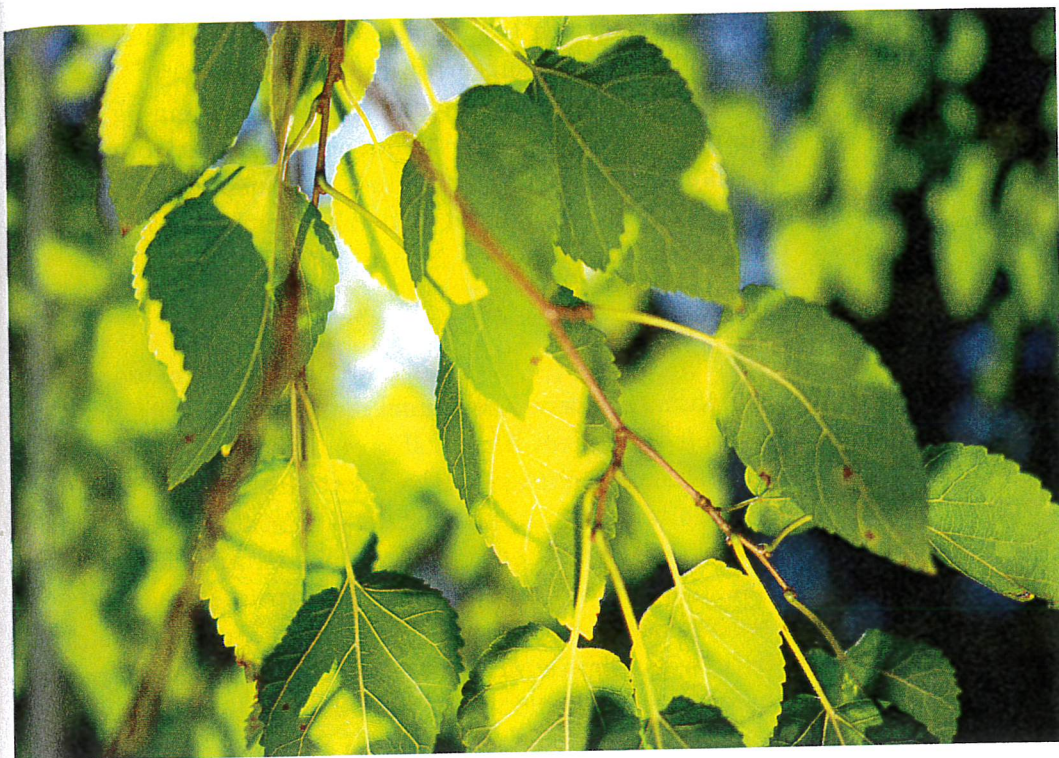
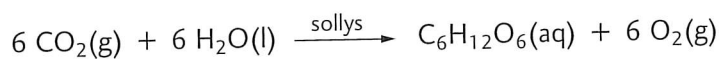




Når solen skinner på grønne blade, dannes glucose ved fotosyntese.

Carbohydrater

Carbohydrater dannes i grønne plantedele under tilførsel af energi fra sollys ved fotosyntesen



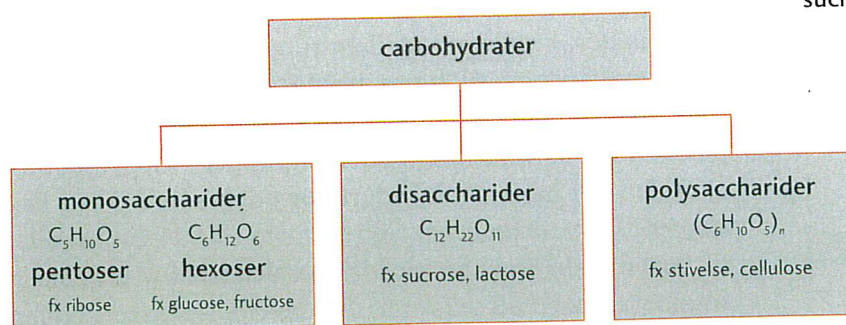
Molekylformlen for et carbohydrate passer med en af de generelle formler $(\text{CH}_2\text{O})_n$ eller $\text{C}_m(\text{H}_2\text{O})_n$, hvor m og n er hele tal.

Hvilken af de to generelle formler for et carbohydrate passer på henholdsvis glucose og sucrose?

Tænk selv 6-16

Carbohydrater inddeles i mono-, di- og polysaccharider. Det er kun mono- og disaccharider, som smager sødt. De kaldes for sukkere.

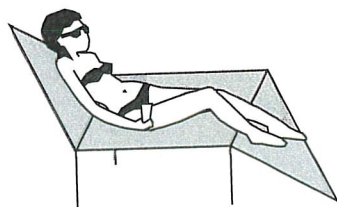
monos (gr.): en
dis (gr.): dobbelt
polys (gr.): mange
sakkharon (gr.): sukker
sucre (fr.): sukker



Figur 6-6 Inddeling af carbohydrate. For hver slags saccharid er nævnt nogle eksempler på et carbohydrate.



Sukkerroer indeholder 16-18 % sucrose.



Stolform.

Tænk selv 6-17

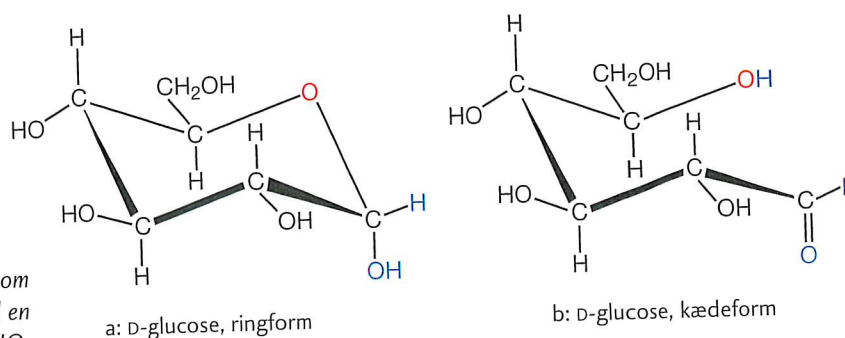
Vi kender sucrose som stødt melis, fremstillet af sukkerroer på Lolland eller af sukkerrør fra fx Sydamerika. Planterne bruger carbohydraterne til oplagring og produktion af energi. Inden vi forbrænder sucrose i organismen, spaltes det til glucose og fructose. Da glucose er det vigtigste carbohydrat, begynder vi med at gennemgå netop dette monosaccharid.

Monosaccharider

Monosacchariderne har molekylformlen $(CH_2O)_n$, hvor n er et helt tal mellem 3 og 6. Deres systematiske navne ender på -ose. Er n lig med fem, kaldes stoffet en *pentose* efter det græske talord penta for fem; og indgår der seks C-atomer i molekylet, kaldes det en *hexose* efter det græske talord hexa for seks.

Glucose er en *hexose*. Det er et hvidt krystallinsk stof, der er letopløseligt i vand. På figur 6-7 er vist en ringform af et glucosemolekyle. I den seksleddede ring er der fem carbonatomer og et oxygenatom. Det sjette carbonatom sidder i sidegruppen $-CH_2OH$. Den rumlige opbygning kaldes en stolform og skyldes, at vinklerne mellem C-C-enkelbindinger er tetraedervinkler på $109,5^\circ$.

Byg kuglepindemodeller af glucosemolekylet som vist i figur 6-7. Undersøg, om glucose som ringform og som åben kæde indeholder asymmetriske carbonatomer. I bekræftende fald, hvor mange?

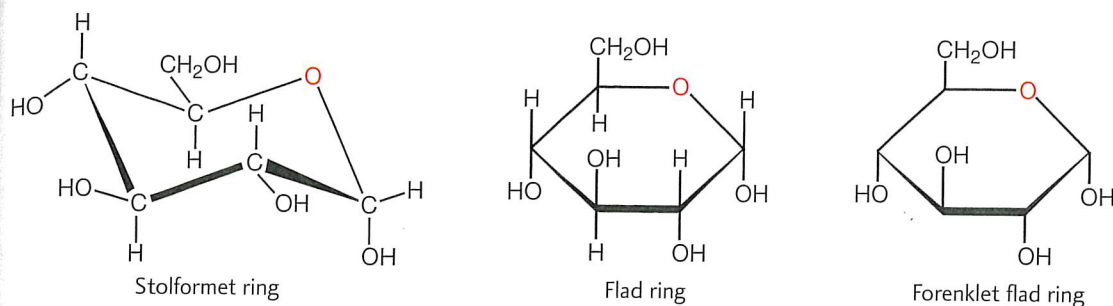


Figur 6-7 D-glucose som ringform og som aldoform, dvs. som en åben kæde med en aldehydgruppe, $-CHO$.

Når glucose opløses i vand, omdannes nogle af glucoseringerne til kæder. Bindingen mellem ringens oxygenatom og carbonatomet yderst til højre brydes, hvorved ringen åbnes. Hydroxygruppen på dette carbonatom, der betegnes C-atomet, omdannes samtidig til en aldehydgruppe, $-CHO$. Monosaccharider, der har en aldehydgruppe i deres kædeform, kaldes *aldoser*.

Som regel forenkler vi strukturformlen for glucose som ringform til en flad sekskant, der ses i perspektiv idet C-atomerne i ringen er udeladt.

Animationer ▶ Carbohydrater ▶
Glucose fra kæde til ring



Når glucose er opløst i vand, indstiller der sig en ligevægt mellem ringformen og den åbne kædeform. Imidlertid er der to måder, hvorpå kædeformen omdannes til en seksleddet ring.

På figur 6-7 vender kædeformens oxogruppe nedad. Under ringslutningen kommer —OH -gruppen på C-1 også til at pege nedad. Glucose med *hydroxygruppen nedad* på C-1 kaldes α -D-glucose. Hvis oxogruppen i stedet for vender opad, når der sker en ringslutning, vil —OH -gruppen på C-1 også komme til at pege opad. Ringformen med *hydroxygruppen opad* på C-1 kaldes β -D-glucose. På figur 6-8 ser vi tre strukturformler af α -D-glucose.

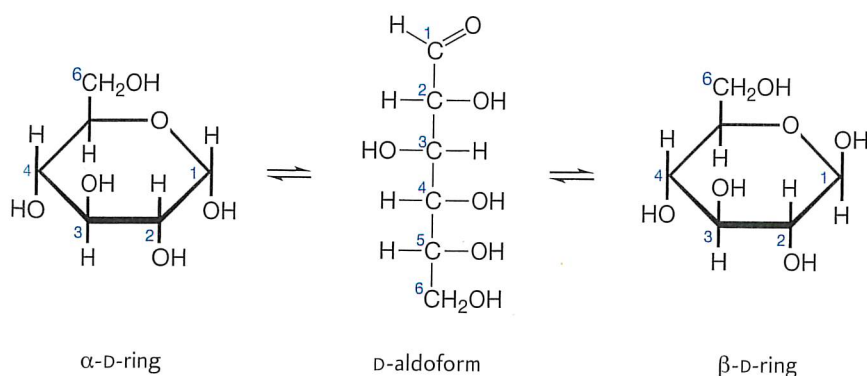
Figur 6-8 Ringformen af glucose tegnet på tre måder. I de »flade« ringe er C-atomerne i ringen udeladt.

Ombyg din model af α -D-glucose til β -D-glucose. Kan du gøre det uden at bryde en binding og derved åbne ringen?

Tænk selv 6-18

Glucose opløst i vand findes altså i tre strukturer. Omdannelsen fra den ene ringstruktur til den anden kræver åbning af ringen. Kædeformen kaldes aldoformen, da den indeholder en aldehydgruppe. Kun 0,003% af glucose opløst i vand findes som aldoform, når ligevægten har indstillet sig.

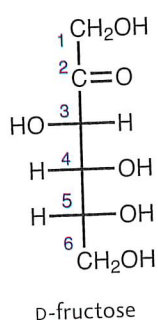
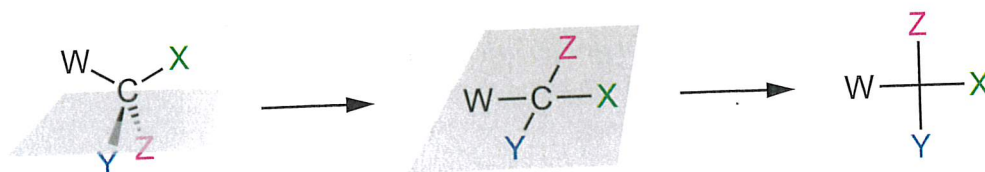
I vandig opløsning findes der næsten dobbelt så meget β -D-glucose som α -D-glucose. Ved inddampning af opløsningen fås imidlertid krystaller, der udelukkende består af α -D-glucose.



Figur 6-9 Ligevægten mellem de to ringformer og aldoformen af D-glucose opløst i vand. Hydroxygrupper, der sidder til højre i aldoformen, vender nedad i ringformen, og —OH -gruppen på C-3, der sidder til venstre i aldoformen, vender opad i ringen. Denne »oversættelse« for hydroxygrupper inde i kæden til ringformen forudsætter, at $\text{—CH}_2\text{OH}$ tegnes over ringens plan.

Da alle carbohydrater er kirale og har asymmetriske C-atomer foreslog den tyske kemiker Emil Fischer 1891 en standard for at tegne specielle »flade« strukturformler, der giver information om molekylernes rumlige opbygning.

Formlerne er baseret på projektion af et tetraederisk bundet carbonatom ind på en plan overflade. En sådan formel kaldes en *Fischer-projektion*.

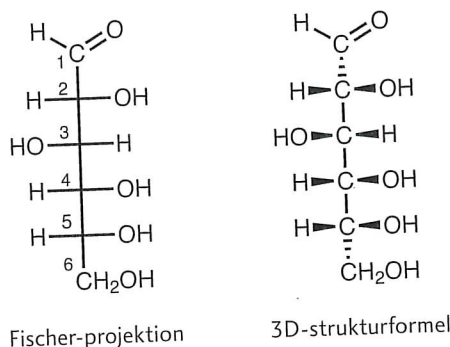


Fischer-projektioner er særligt nyttige, når molekylerne indeholder flere asymmetriske C-atomer.

Fischer-projektion må ikke forveksles med en almindelig strukturformel. I en Fischer-projektion markeres det asymmetriske C-atom som et punkt, hvor fire bindinger krydser hinanden. De lodrette bindinger markerer bindinger som peger væk fra læseren, de vandrette bindinger peger ind mod læseren. En almindelig strukturformel viser ikke den rumlige orientering af bindinger.

Fischer-projektionen og den rumlige strukturformel for α -D-glucose på aldoform er vist i figur 6-10.

Figur 6-10 D-glucose på kædeform, der også kaldes aldoform, som Fischer-projektion og 3D-strukturformlen.



Tænk selv 6-19

D-galactose er en aldohexose med en venstrestillet hydroxygruppe på C-4, ellers er molekylet det samme som D-glucose. Byg molekylmodeller af D-galactose på kædeform og som en α -ring.

Tænk selv 6-20

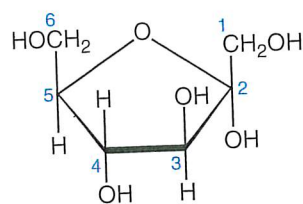
Angiv det systematiske navn for fructose.

I monosaccharidet *fructose*, der også er en hexose, sidder oxogruppen på C-2 inde i kæden. Carbonylgruppen er derfor ikke bundet til et hydrogenatom, men til to carbonatomer, så fructose er en keton. Fructose er en *ketohexose*, da molekylet indeholder seks C-atomer. Den eneste forskel på D-glucose og D-fructoses kædestruktur er altså carbonylgruppens placering.

Fructose danner også ringformede molekyler. Men da oxo-gruppen sidder på C-2, fører ringslutningen med O-atomet fra hydroxygruppen på C-5 til en femleddet ring.

Ligesom ved glucose i vand indstiller der sig en ligevægt mellem fructoses to ringstrukturer og den åbne kædeform, når stoffet opløses i vand. Den ringform, hvor hydroxygruppen på C-2 vender nedad, hedder α -D-fructose.

Brug molekylmodellerne til at bygge modeller af α -D-fructose og β -D-fructose. Hvilken form for fructose er tegnet i margen?

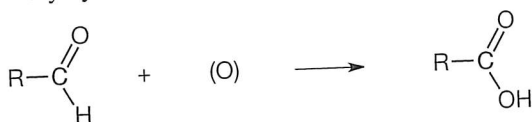


En D-fructose

Tænk selv 6-21

Reducerende sukkerarter

Alle monosaccharider, der findes som aldoform, kan oxideres til en carboxylsyre



Et oxygenatom fra et oxidationsmiddel er angivet med parentes om O.

Glucose i vand findes hovedsageligt på ringform.

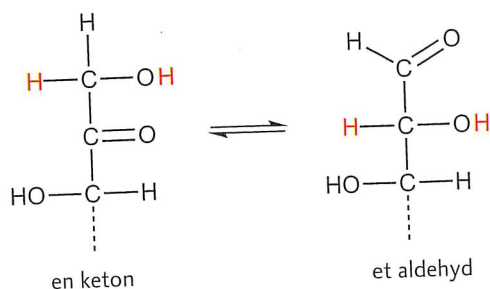
Alligevel kan stoffet oxideres til en carboxylsyre. Hvorfor mon?

Fehlings test kan bruges til at påvise druesukker, idet aldohexoserne kan reducere sølv(I)ioner og kobber(II)ioner. Reduktion af disse metalioner bruges bl.a. til at påvise druesukker. Når et sukkermolekyles aldoform oxideres til en carboxylsyre, virker sukkeret reducerende i Fehlings væske, så der dannes et rødt bundfald af kobber(I)oxid.

Til trods for at ketoner ikke reducerer kobber(II)ioner, giver ketohexosen fructose også rødt bundfald ved Fehlings test. Hydroxygruppen på C-1 i fructose oxideres ikke direkte, men OH⁻-ionerne i Fehling væske bevirker i nogle fructosemolekyler, at oxogruppen flytter sig fra C-2 til C-1. Derved omdannes noget fructose til glucose, og reaktionen med kobber(II)ionerne er positiv.

Carbohydrater, der kan reducere kobber(II)ioner til kobber(I)oxid, kaldes *reducerende saccharider*.

Tænk selv 6-22



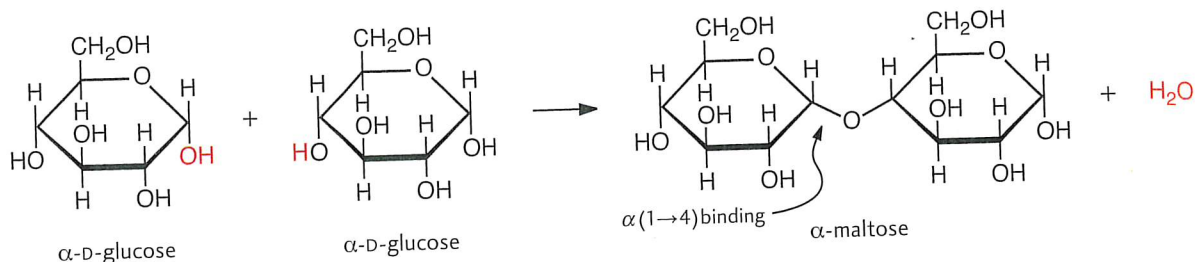
Eksperimenter K2-6

Påvisning af carbohydrater
Bestemmelse af sukker i dessertvin

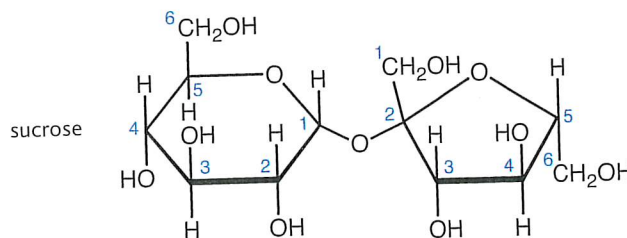
Disaccharider

I et disaccharid er stoffets molekyler sammensat af to monosaccharidringe. Maltose, også kaldet maldsukker, dannes som et mellemprodukt ved nedbrydningen af stivelse, bl.a. i spiret byg, der kaldes malt. Dette disaccharid anvendes ved

Figur 6-11 Maltose kan dannes ved en kondensationsreaktion. De to glucoseenheder er bundet sammen af en $\alpha(1 \rightarrow 4)$ binding.



Et sucrosemolekyle er opbygget af to forskellige ringe, nemlig en α -D-glucosering og en β -D-fructosering, dvs. en seksleddet og en femleddet ring.



Figur 6-12 Sucrosemolekylet er opbygget af en α -D-glucosering og en β -D-fructosering.

Tænk selv 6-23

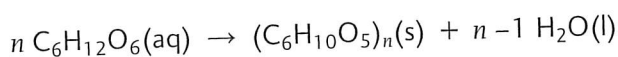
Skriv reaktionsskemaet for spaltningen af sucrose ved reaktion med vand.

Tænk selv 6-24

Når sucrose fra sukkerroer eller sukkerrør er blevet kemisk rensat og raffineret, sælges det som »melis«. Det er billigt og produceres i meget store mængder til fødevarer. Find andre handelsnavne end »stødt melis« for raffineret sucrose.

Polysaccharider

De fleste carbohydrater i naturen forekommer som polysaccharider, der består af lange kæder af hexoseringe. De dannes ved fraspaltning af et molekyle vand pr. sammenkædning



Værdien af n varierer fra nogle hundrede til få tusinde, afhængig af polysaccharid.

Stivelse er et polysaccharid med en α -D-glucosering som byggestensmolekyle.