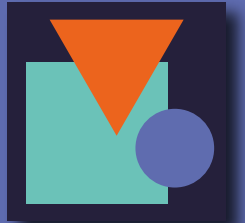


Interaktiv ebog til biologi **B**

2016

Indholdsfortegnelse



Kapitel 1:

Liv, evolution
og celler

Kapitel 2:

Lunger og
blod

Kapitel 3:

Kost, fordøjelse
og sundhed

Kapitel 4:

Nervesystemet

Kapitel 5:

Sexologi

Kapitel 6:

Muskler, træning
og doping

Kapitel 7:

DNA, gener og
nedarvning

Kapitel 8:

Bioteknologi

Kapitel 9:

Økosystemer

Kapitel 10:

Forurening

Kapitel 11:

Immunforsvaret

Kapitel 12:

Hormonsystemet

Kapitel 13:

De organiske
stoffer

Kapitel 14:

Stofskiftet

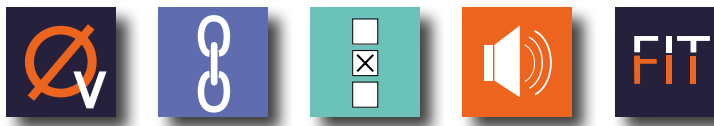
Kapitel 15:

Populationer,
jord og planter

Kapitel 13

De organiske stoffer





Indholdsfortegnelse KAPITEL 13

- 13.1 Generelt **526**
- 13.2 Kulhydrater **526**
 - 13.2.1 Monosakkarider **527**
 - 13.2.2 Disakkarider **531**
 - 13.2.3 Polysakkarider **534**
 - 13.2.4 Påvisning af kulhydrater **536**
- 13.3 Fedtstoffer **539**
 - 13.3.1 Fedt som energikilde **539**
 - 13.3.2 Fedt som byggesten **542**
- 13.4 Proteiner **543**
 - 13.4.1 Aminosyrer **544**
 - 13.4.2 Proteinstruktur **546**
- Resume **552**

Forsidebilledet er taget af C. B. Lytzen - yubio



Kapitel 13: De organiske stoffer

13.1 Generelt

I dette kapitel skal vi se nærmere på de tre vigtige grupper af organiske stoffer: kulhydrater, fedtstoffer og proteiner. Med "organiske stoffer" menes stoffer, der optræder som byggesten i levende organismer. Alle tre spiller en afgørende rolle for levende celler og dermed kroppens normale funktioner, da stofferne alle kan fungere som både energikilde og byggesten. Det vender vi tilbage til i det følgende.

I [kapitel 7](#) så vi nærmere på to andre meget vigtige organiske stoffer – nemlig DNA og RNA. De vil ikke blive behandlet yderligere i dette kapitel.

13.2 Kulhydrater

Som gennemgået i [kapitel 3.2.3](#), kaldes kulhydrater også for *sakkarider*. Selvom kulhydrat er hovedbestanddelen i de fleste menneskers føde, udgør de kun ca. 1 % af vores samlede kropsmasse. Det skyldes, at kulhydrater først og fremmest bruges som energikilde i cellernes respiration i mitokondrierne. Herved dannes ATP, som fx kan anvendes til muskelarbejde.

Kulhydrater bruges dog også i mindre grad som byggesten i vores krop. De sidder ofte sammen med proteiner i de såkaldte *glykoproteiner*, som fx kunne være receptorer i nervesystemet (se [kapitel 4.3.3](#)) eller hormonsystemet (se

[kapitel 12.3](#)) eller være antistoffer i immunforsvaret (se [kapitel 11.3.4](#)).

Kulhydrater dannes, når planter udfører fotosyntese (se [kapitel 14.6.1](#)). Her kobles kuldioxid og vand populært sagt sammen via lysenergi fra Solen. Herved dannes kulhydratet glukose.

Fotosyntesen er helt grundlæggende for alt liv på Jorden. Det skyldes for det første, at den dannede glukose er essentiel for dannelsen af alt plantemateriale – både blade, stængler/træstammer og rødder. Planterne er livsgrundlaget for planteæderne, der igen er livsgrundlaget for rovdyrene.



Figur 13.1 Kulhydrater er mange ting. De kan forekomme i fx almindeligt hvidt sukker i form af sakkarose eller i frugter som fruktose. Planterne danner kulhydrater i deres fotosyntese. Fotosyntesen foregår i de grønne dele af planterne - fortrinsvist i bladene. FOTO: C. B. Lytzen - yubio.

For det andet dannes der ilt som restprodukt i fotosyntesen. Det nyder alle Jordens iltkrævende organismer godt af. Uden planternes fotosyntese ville der altså ikke være noget højere liv på Jorden.

Man kan som nævnt i kapitel 3 opdele kulhydrater i fire overordnede grupper: Monosakkarider, disakkarider, oligosakkarider og polysakkarider. Et monosakkarid indeholder én kulhydratenhed ("mono" betyder "en"), et disakkarid består af to monosakkarider, som er koblet sammen ("di" betyder "to"), mens et oligosakkarid består af 3-10 monosakkarider koblet sammen ("oligo" betyder "få").

Er mere end 10 monosakkarider koblet sammen, kalder man det et polysakkarid ("poly" be-

tyder "mange"). Ofte slår man de sidste to grupper sammen under ét som polysakkarider.

På figur 13.2 på næste side er de fire former illustreret. På figuren er også vist, hvordan grundstofferne C, H og O kan bindes til hinanden. Alle kulhydrater indeholder nemlig kun disse tre grundstoffer.

13.2.1 Monosakkarider

Monosakkarider har *bruttoformlen* $(\text{CH}_2\text{O})_n$, hvor n er et tal fra 3 til 7. Monosakkaridet glukose har fx bruttoformlen $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (her er $n=6$). Det betyder, at molekylet består af 6 C-atomer (C_6), 12 H-atomer (H_{12}) og 6 O-atomer (O_6). Der er altid dobbelt så mange H-atomer i et monosakkarid, som der er C- og O-atomer.



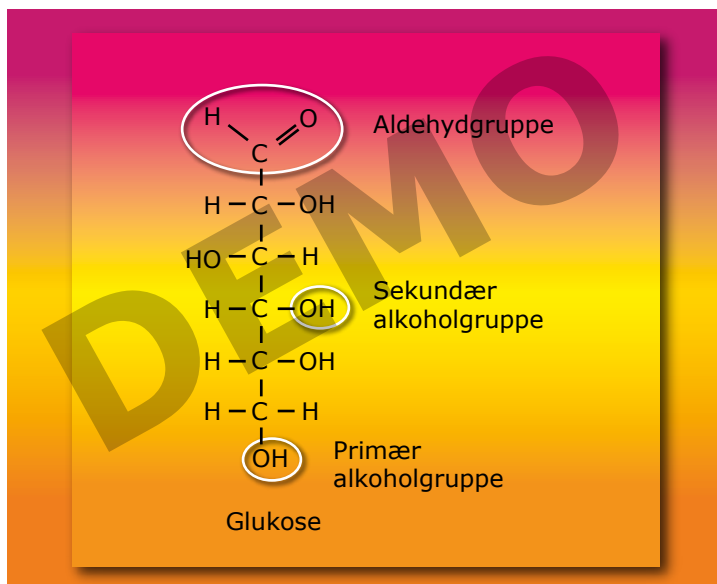
Figur 13.2 De tre hovedformer for kulhydrater: Monosakkarider, disakkarider og polysakkarider. Monosakkariderne danner ofte en ringstruktur som vist på figuren. Årsagen til det gennemgås senere i kapitlet. Disakkarider består af to monosakkarider sat sammen, mens polysakkarider består af mere end to monosakkarider sat sammen. I strukturerne er både C- og H-atomer udeladt for overskuelighedens skyld. C-atomerne sidder i alle hjørnerne og for enden af stregerne, mens H-atomerne er bundet til C-atomerne. Til højre på figuren ses i større detaljer, hvor mange bindinger de implicerede grundstoffer kan danne.

I stedet for bruttoformler bruger man ofte *strukturformler*, der viser mere om molekylets egentlige opbygning. På figur 13.3 på næste side ses strukturformlen for glukose.

Når man viser glukose på denne måde, har man øverst placeret den såkaldte *aldehydgruppe* (-CHO). Herefter kommer en række C-atomer med hver ét H-atom og én alkoholgruppe (-OH)

bundet til sig. Det sidste og nederste C-atom har 2 H-atomer bundet til sig sammen med en alkoholgruppe.

Alkoholgrupper, der sidder på C-atomer inde i



Figur 13.3 Glukose vist med en strukturformel, der beskriver molekylet meget bedre end bruttoformlen $C_6H_{12}O_6$. Øverst ses aldehydgruppen, og desuden ses fem alkoholgrupper. En enkelt er primær, mens de fire andre er sekundære.

kæden af C-atomer, kaldes for *sekundære alkoholgrupper*. Alkoholgrupper, der sidder på C-atomer i enderne af kæden, kaldes for *primære alkoholgrupper*.

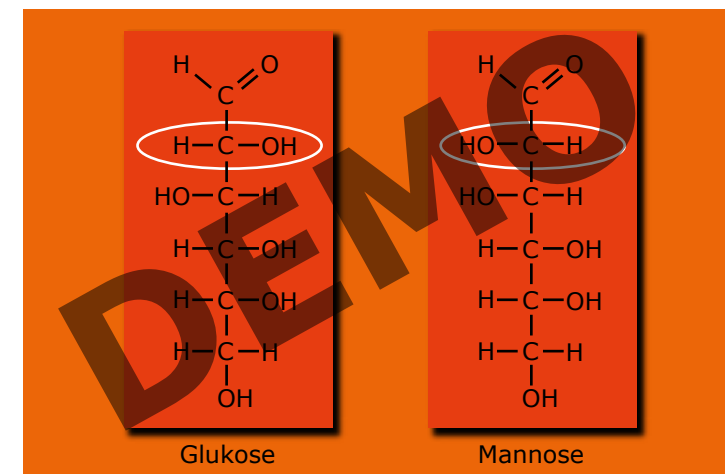
I glukose er der således én aldehydgruppe, fire sekundære alkoholgrupper og en enkelt pri-

mær. Den præcise placering af disse sidegrupper på C-atomerne afgør, at det netop er glukose, der er tale om. På figur 13.4 ses glukosemolekylet igen, men denne gang sammen med et andet monosakkarid (mannose), hvor sidegrupperne sidder lidt anderledes.

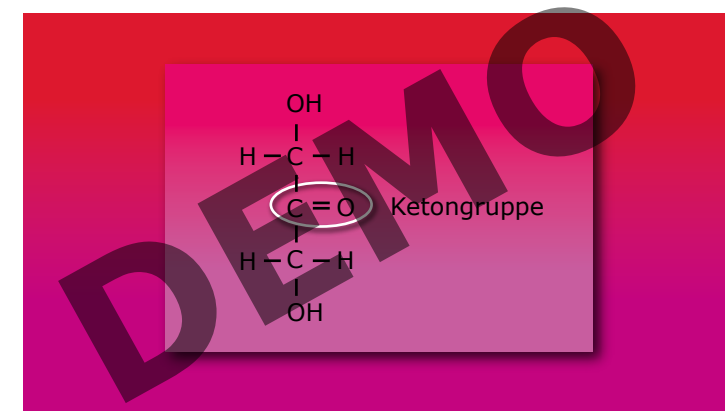
På denne måde kan man danne en lang række forskellige monosakkarider alt efter, hvordan alkoholgrupperne sidder og alt efter, hvor mange C-atomer molekylerne indeholder. Faktisk kan man alene ud fra glukoses bruttoformel danne 16 forskellige monosakkarider blot ved at variere sidegruppernes placeringer.

Der findes også monosakkarider uden aldehydgruppe. Disse monosakkarider har i stedet en såkaldt *ketongruppe*, der er placeret på C-atom nr. 2. Det gælder fx fruktose, der findes i søde frugter.

Et eksempel på et monosakkarid med en ketongruppe er vist på figur 13.5.



Figur 13.4 Glukose og mannose. Begge er monosakkarider med bruttoformlen $C_6H_{12}O_6$ - og de er næsten identiske. Eneste forskel er, at den sekundære alkoholgruppe ved C-atom nr. 2 vender mod højre i glukose og mod venstre i mannose.



Figur 13.5 Nogle monosakkarider har en ketongruppe i stedet for en aldehydgruppe.

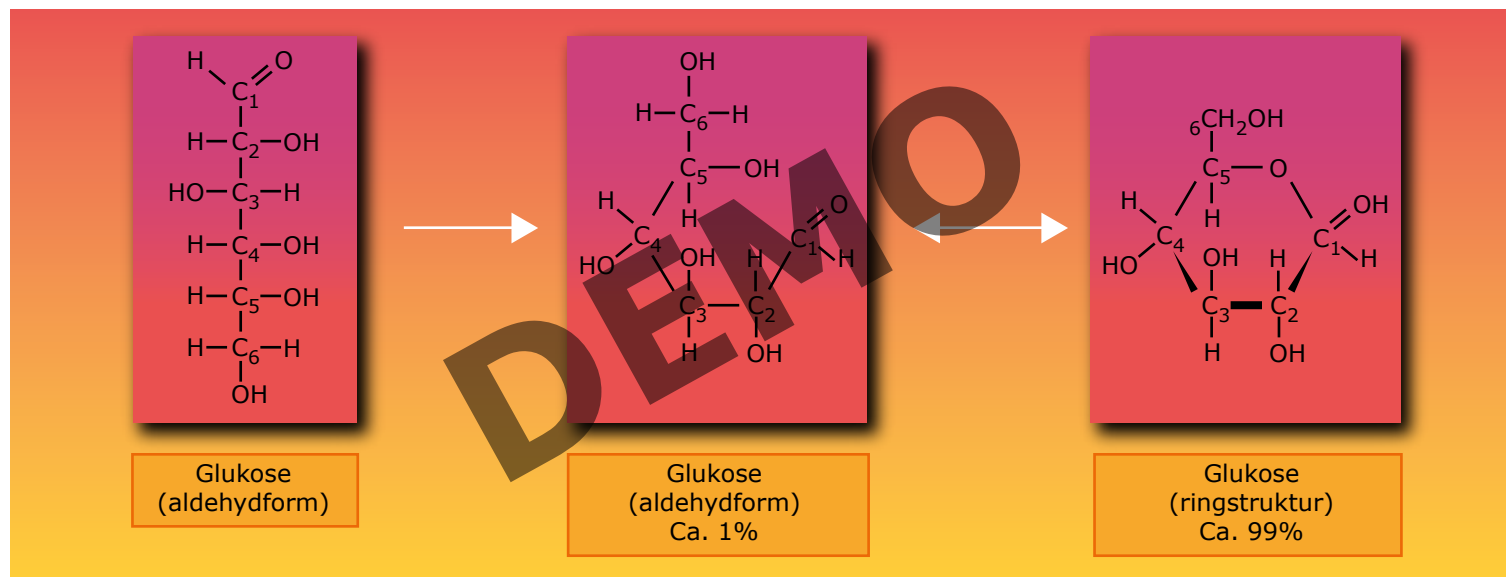


Antal C-atomer	Gruppe	Navn
3	Aldehyd	Aldo-triose
	Keton	Keto-triose
4	Aldehyd	Aldo-tetrose
	Keton	Keto-tetrose
5	Aldehyd	Aldo-pentose
	Keton	Keto-pentose
6	Aldehyd	Aldo-hexose
	Keton	Keto-hexose
7	Aldehyd	Aldo-heptose
	Keton	Keto-heptose

Figur 13.6 Inddeling af monosakkarider efter deres kemiske opbygning. Det afgørende er antallet af C-atomer, samt om det indeholder en aldehyd- eller en ketongruppe. Glukose er fx en aldo-hexose, fordi den har seks C-atomer og en aldehydgruppe.

Alt efter om monosakkaridet har en aldehydgruppe eller en ketongruppe, og alt efter hvor mange C-atomer det indeholder, kan man inddele monosakkariderne som vist på figur 13.6. Både glukose og mannose fra figur 13.4 er således eksempler på *aldohexoser*.

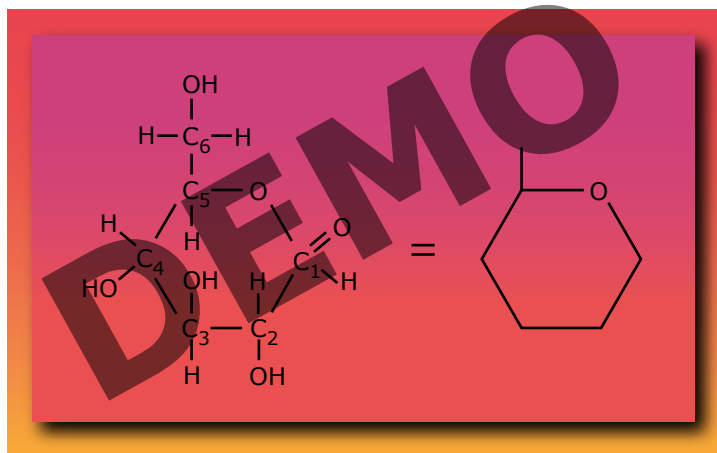
Monosakkarider med 5, 6 eller 7 C-atomer har



Figur 13.7 Monosakkarider med 5, 6 eller 7 C-atomer er ikke lineært opbyggede, men bøjer. Det betyder, at C5 kommer tæt på C1, hvorved der sker en kemisk reaktion. Herved dannes en ringstruktur, som er mere stabil end aldehydformen. Langt størstedelen findes derfor på ringstruktur (ca. 99 %).

sjældent den struktur, som strukturformlerne ellers har vist. Faktisk er kæden af C-atomer bøjet, sådan at C1 rumligt kommer tæt på C5. Herved sker der i glukoses tilfælde en reaktion mellem aldehydgruppen på C1 og alkoholgruppen på C5. Reaktionen og dens konsekvenser er vist på figur 13.7.

Denne ringslutning af glukosemolekylet er mere stabil end den udfoldede aldehydversion. Derfor vil typisk 99 % af glukosemolekylerne være ringsluttede, mens kun ca. 1 % vil være foldet ud på aldehydformen. Det er derfor, at man ofte tegner glukose som en sekskant som vist på figur 13.8 på næste side.

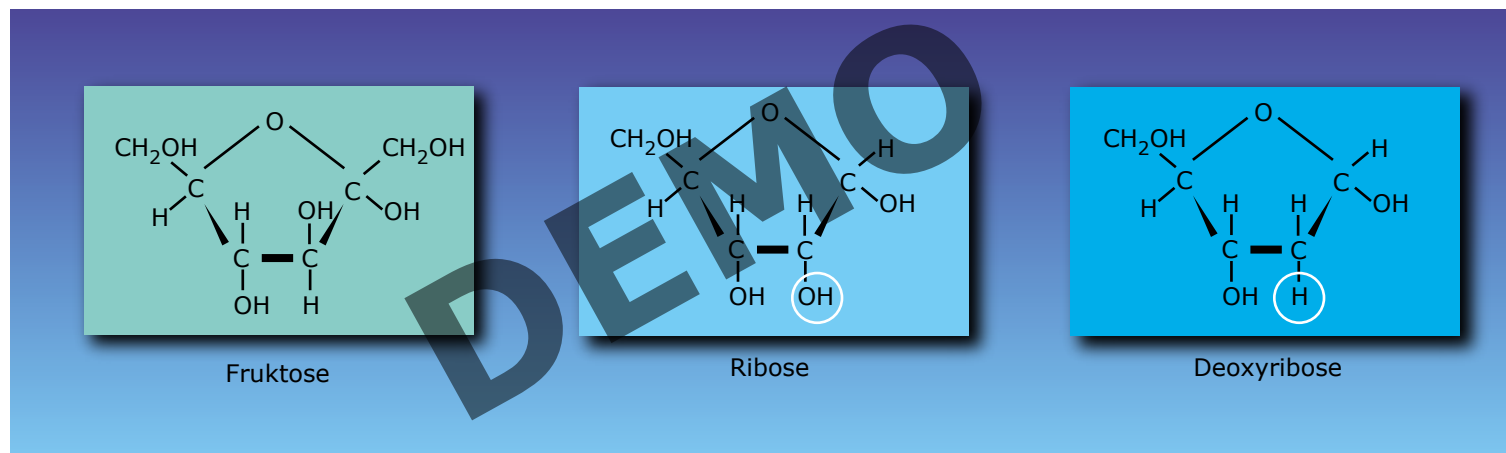


Figur 13.8 Glukoses strukturformel tegnet i detaljer til venstre og mere simpelt til højre.

Det vigtigste monosakkarid er uden tvivl glukose, der som nævnt tidligere dannes i planternes fotosyntese. Planterne bruger glukosen til flere forskellige formål. For det første bruges den i respirationen til at skaffe ATP, så planterne fx kan optage næringssalte fra jorden (se [kapitel 15.4.1](#)).

Glukosen kan for det andet omdannes til alle de stoffer, en plante har brug for. Det sker bl.a. ved hjælp af de næringssalte, som optages via

Kapitel 13: De organiske stoffer



Figur 13.9 Eksempler på biologisk vigtige monosakkarider. Til venstre fruktose, der er en keto-hexose, som findes i frugter. I midten ribose, der findes i RNA og til højre deoxyribose, som findes i DNA. Begge er keto-pentoser.

rødderne. Når planten optager kvælstofholdige forbindelser som fx nitrat, kan disse fx indgå i dannelsen af proteiner og DNA.

For det tredje kan glukosen oplagres i planterne. Det sker dog ofte i form af disakkarider eller oftere polysakkarider. Det vender vi tilbage til i [kapitel 13.2.3](#). Hos dyr er det glukose, der udgør blodsukkeret (se [kapitel 3.3.3](#)), og det er også glukose, som oftest er udgangspunktet for respirationen i mitokondrierne.

Et andet vigtigt monosakkarid er *fruktose*, der også kaldes for frugtsukker. Det findes i de fleste søde frugter og indgår derfor også naturligt i menneskets føde. I DNA og RNA indgår også monosakkarider – nemlig henholdsvis deoxyribose og ribose, som begge indeholder fem C-atomer.

13.2.2 Disakkarider

To monosakkarider kan kobles sammen til et disakkarid ved en *kondensations-reaktion*. I den-

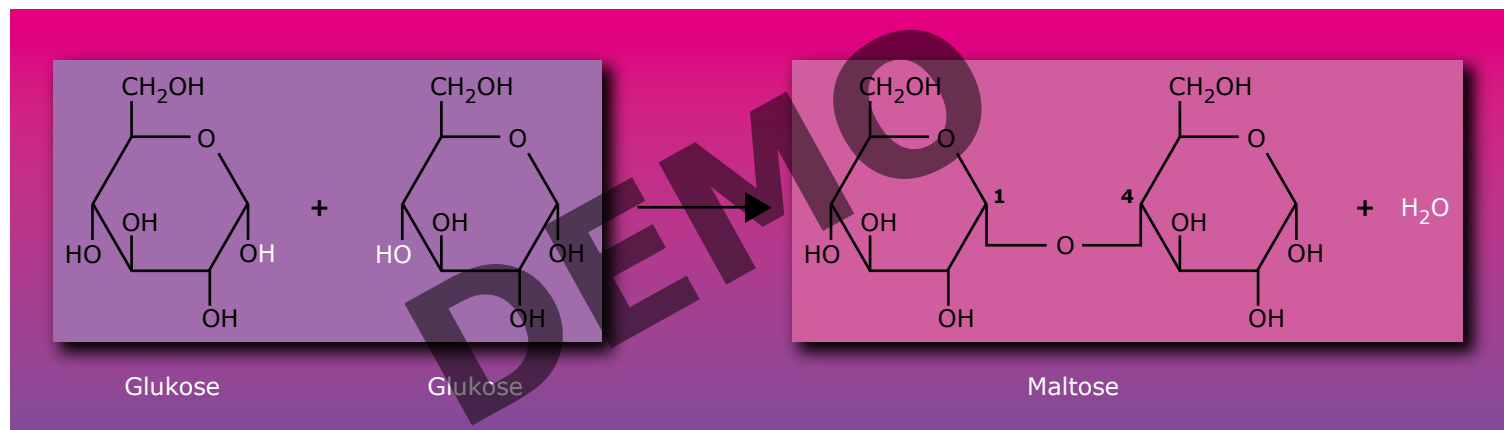


ne type reaktion fraspaltes et vandmolekyle. I den menneskelige organisme er det altid hexoser som glukose, der sættes sammen til disakkarider, og derfor vil vi fokusere på dem i dette kapitel. På figur 13.10 ses dannelsen af disakkaridet maltose ved, at to glukosemolekyler kobles sammen.

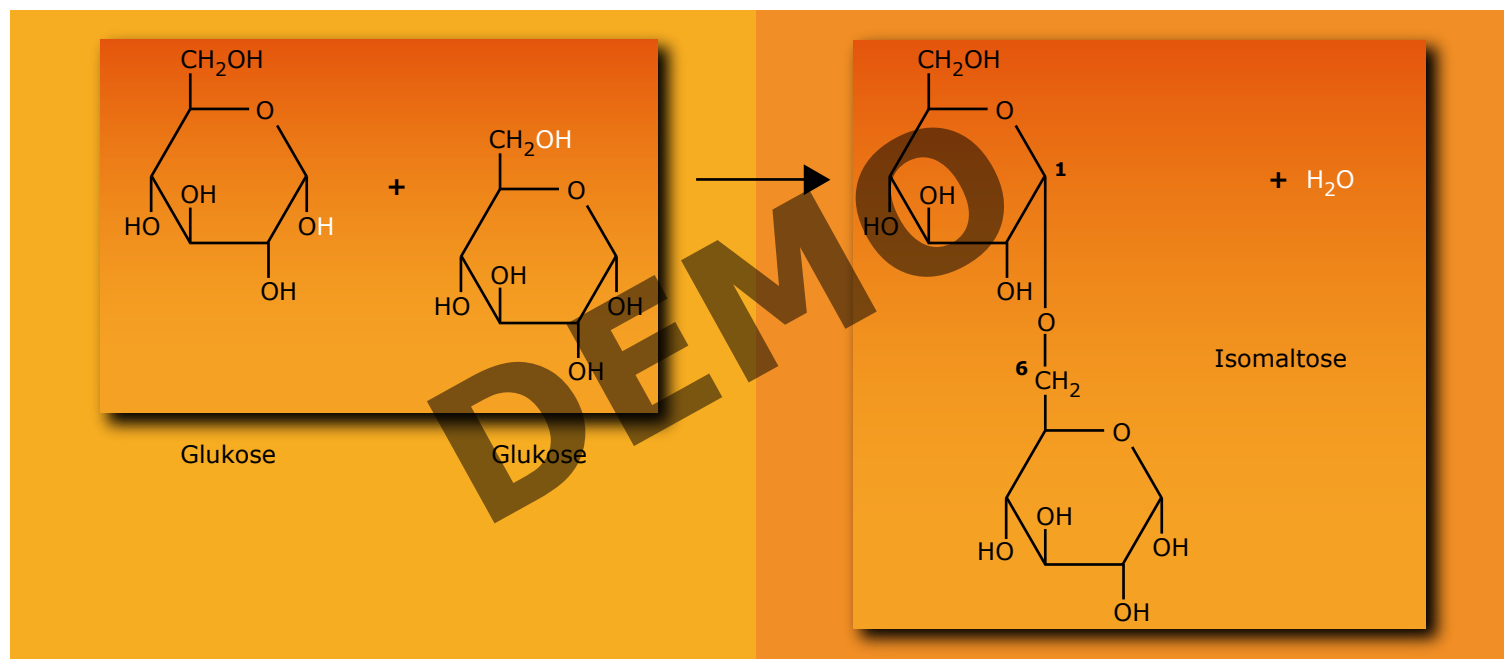
Sammenkoblingen af to glukosemolekyler kan også ske på en anden måde som vist på figur 13.11. Her dannes i stedet stoffet isomaltose. Forskellen mellem maltose og isomaltose er bindingstypen mellem de to monosakkarider. I begge tilfælde er der tale om en såkaldt *glykosidbinding*, fordi den går mellem to glukosemolekyler.

Ved maltose er der tale om en 1,4-glykosidbinding, mens der ved isomaltose er tale om en 1,6-glykosidbinding. Tallene refererer til de to C-atomer i hvert sit monosakkarid, hvormellem bindingen går.

To andre vigtige disakkarider kan ses på figur



Figur 13.10 Maltose består af to glukosemolekyler, der sættes sammen med en 1,4-glykosidbinding (tallene er angivet med fed skrift på figuren). Vand fraspaltes ved processen, der kaldes en kondensationsreaktion.



Figur 13.11 Isomaltose består også af to glukosemolekyler, men her er bindingen en 1,6-glykosidbinding (tallene er angivet med fed skrift på figuren). Også her er der tale om en kondensationsreaktion.



13.12 – nemlig laktose (mælkesukker) og sakkarose (almindeligt hvidt sukker). De er bundet sammen af andre typer bindinger end ved maltose og isomaltose.

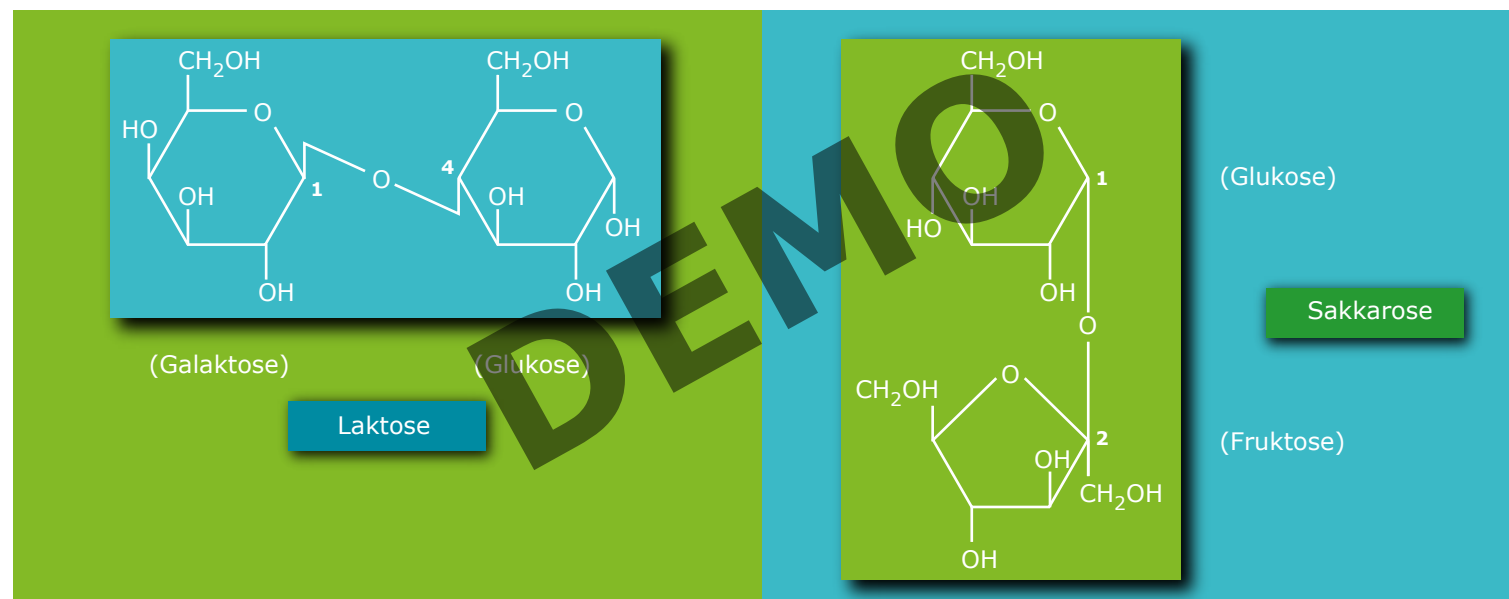
Laktose (mælkesukker) er en meget vigtig bestanddel af pattedyrs mælk. I komælk er koncentrationen ca. 4,5 %, mens den i menneskemælk er hele 7,5 %. Modernælk er altså næsten dobbelt så sødt som komælk. Evnen til at nedbryde laktose i vores fordøjelsessystem er intakt hos spædbørn og små børn, men evnen mistes hos næsten alle mennesker, når de bliver voksne. Med andre ord er de fleste mennesker i Verden *laktose-intolerante*.

Kun enkelte steder i Verden som fx i det nordlige Europa (og altså bl.a. Danmark) er evnen til at fordøje mælk bevaret hos de fleste voksne individer. Det hænger måske sammen med, at folk i Norden har været afhængige af husdyrmælk op gennem tiden, og derfor har det været en evolutionær fordel, hvis man kunne fordøje laktose. Herved har man lettere kunnet få dækket sit daglige energibehov, og mennesker med evnen til at fordøje laktose har derved haft en fordel (højere fitness) fremfor dem, der ikke kunne tåle det.

Langsomt, men sikkert har ovennævnte egenskab bredt sig i befolkningen, da dem med egenskaben har fået flere afkom end dem uden. Forklaringen er, at det er lettere at overleve med egenskaben, da man derved får dækket sit energibehov lettere. For mere om evolution og begrebet fitness henvises til [kapitel 1.5.1](#).

I mælk findes desuden D-vitamin, der er vigtigt for optagelsen af Ca^{2+} . D-vitamin kan man også danne i huden via sollys, men i det nordlige

I mælk findes desuden D-vitamin, der er vigtigt for optagelsen af Ca^{2+} . D-vitamin kan man også danne i huden via sollys, men i det nordlige



Figur 13.12 Til venstre ses disakkaridet laktose, der består af monosakkariderne galaktose og glukose sat sammen. Bindingen er en variant af 1,4-glykosidbindingen. Til højre ses sakkarose, der består af glukose og fruktose sat sammen. Bindingen er speciel og hedder en 1-glykosid-2-fruktosidbinding



Figur 13.13 Katte og pindsvin kan ikke tåle komælk, så undlad at sætte det ud til dem. Ligesom voksne mennesker mangler de det rette enzym. FOTO: C. B. Lytzen - yubio.

Europa er der relativt mørkt i vinterhalvåret, så det har været en stor fordel at få D-vitamin et andet sted fra. I Danmark er det kun 2-8 % af den voksne befolkning, der er laktoseintolerante, mens tallet ved ækvator er 75-100 %.

Af samme årsag skal man ikke sætte mælk ud til katte eller pindsvin, da de ikke kan fordøje den. Laktosen nedbrydes og optages ikke i dyrenes tarme, men bruges i stedet af mikroorganismer i tarmene. Det giver mavepine som følge af luft i maven, og desuden får dyrene diarree. Samme symptomer gælder i øvrigt hos laktoseintolerante mennesker.

Sakkarose er som nævnt det, vi i daglig tale kalder "sukker". Det stammer fra industrielt forarbejdede sukkerrør eller sukkerroer. Der findes

også brunt sukker, som blot er almindeligt hvidt sukker, der er farvet brunt af sirup-rester fra sukkerrørene. Der er grundlæggende ikke forskel på sukker, uanset om det kaldes farin, stødt melis, rørsukker eller puddersukker.

Ofte taler man om "tomme kalorier" i forbindelse med indtag af sukker. Det skal forstås på den måde, at det tilsatte sukker udelukkende bidrager med (overflødig) energi i modsætning til "naturligt forekommende sukker" fra fx frugter, der også indeholder fibre, vitaminer og mineraler.

13.2.3 Polysakkarider

Når flere monosakkarider sættes sammen, dannes som nævnt tidligere oligo- og polysak-



karider. Ved hver sammenkobling med endnu et monosakkarid, fraspaltes vand. Der er altså også her tale om kondensationsreaktioner.

Polysakkaridet *stivelse* består af en lang række glukosemolekyler, der er sat sammen med 1,4-glykosidbindinger. Det giver stivelse en spiralstruktur, fordi bindingen er en smule skævrumligt set. Desuden indeholder stivelse glukosemolekyler sat sammen med en 1,6-glykosidbinding, som bryder spiralstrukturen, før den igen fortsætter med 1,4-glykosidbindinger. Stivelsesstruktur er illustreret på figur 13.14.

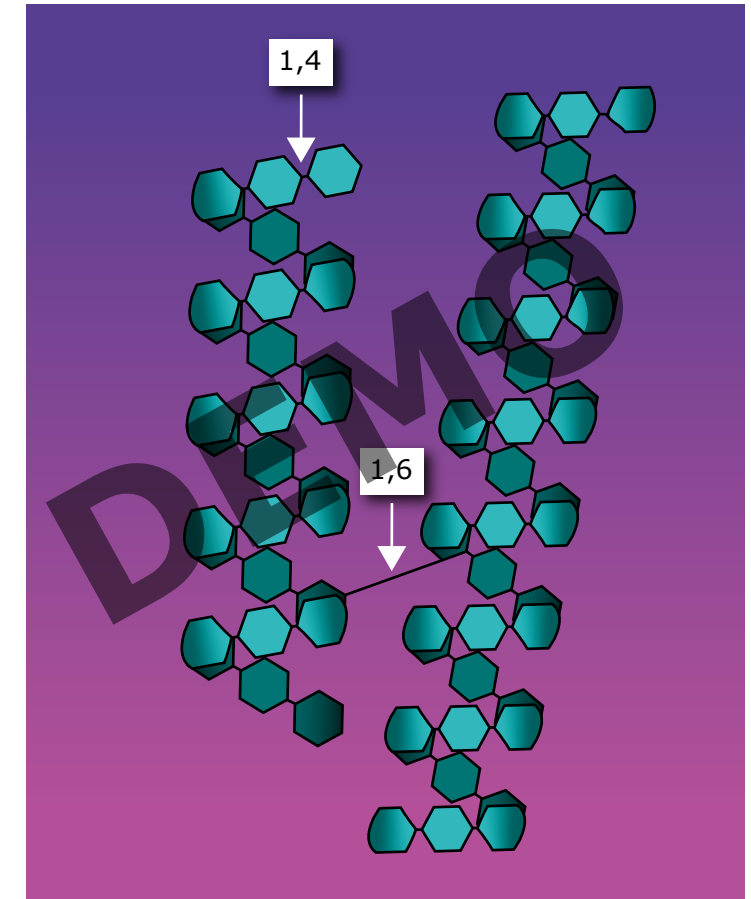
Stivelse udgør planternes primære oplagsnæring, når der er overskud af dannet glukose i fotosyntesen. Det er osmotisk smartere at oplagre via få, store polysakkarider end via mange, små mono- eller disakkarider. De sidstnævnte ville suge vand til sig ved osmose, hvorved plantecellerne ville kunne sprænges. Kartoffler, gulerødder og roer er alle eksempler på stivelsesholdige

knolde, der fungerer som energilager.

Glykogen er et andet polysakkarid, som minder meget om stivelse. Forskellen består i, at glykogen er mere forgrenet, idet det indeholder flere 1,6-glykosidbindinger end stivelse. Glykogen er dyrenes oplagsstof, hvor stivelse var planternes. I leveren findes et mindre glykogenlager på ca. 100 gram, som er med til at regulere blodsukkeret. Når dette bliver for lavt, udskilles glukose fra leverens glykogenlager. Glukosen udskilles, idet levercellerne påvirkes af hormonet glukagon, der virker modsat hormonet insulin (se [kapitel 3.4.2](#)).

I musklerne findes det største glykogenlager på typisk 400-500 gram. Når musklerne arbejder, kan de bruge glukose fra dette lager i deres respiration. Glykogenlagrene i musklerne kan øges gennem træning og indtagelse af den rette kost.

Cellulose er det tredje og sidste polysakkarid,



Figur 13.14 Stivelse har en spiralstruktur, der er opbygget af mange glukosemolekyler sat sammen med primært 1,4-glykosidbindinger. Af og til kommer en 1,6-glykosidbinding, der kortvarigt bryder spiralstrukturen. Stivelsesmolekylet er oftest meget større end angivet på denne figur. Stivelse fungerer som planternes oplagsnæring, mens ekstra energi hos dyr (og mennesker) oplagres som polysakkaridet glykogen. Det minder om stivelse, men er mere forgrenet.



vi vil gennemgå her. Cellulose indgår i planternes cellevægge og udgør hovedbestanddelen i alle træer, buske og grønne planter. Cellulose kaldes ofte for "plantefibre" eller blot "fibre". I cellulose er monosakkariderne sat sammen med en speciel variant af glykosidbindingen, som gør, at dyr ikke kan nedbryde cellulosen i særlig stor grad. Dyr mangler ganske enkelt det rette fordøjelsesenzym til det.

Den specielle binding gør, at cellulosen får en trådformet struktur i stedet for spiralstrukturen kendt fra stivelse og glykogen. På figur 13.15 er celluloses struktur illustreret.

Mange mikroorganismer har et enzym (cellulase), der kan spalte cellulose til mindre sakkarider. Det er derfor, at koen kan æde græs. Græsset indeholder cellulose, og bakterier i koens vom sørger for, at cellulosen nedbrydes, så koen får glæde af den. Der er her tale om en *symbiose* mellem bakterier og ko – altså et samarbejde. Bakterierne sikrer koen glukose, mens koen sikrer bakterierne rigeligt med cellulose. Idet begge parter drager fordel af samarbejdet, er der tale om *mutualisme*. Hvis kun den ene organisme havde en fordel, mens den anden havde en ulempe, ville der være tale om *parasitisme*.

Køer (drøvtyggere) kan pga. denne mutualisme udnytte op mod 60-70 % af cellulosen, mens det tilsvarende tal hos mennesker kun er få procent. Faktisk mener man, at en del af fedmeproblematikken hos mennesker kan forklares med cellulosenedbrydende bakterier i vores tarm. Har man meget effektive cellulosenedbrydende bakterier i tarmen, får kroppen en øget energitilførsel, mens det modsatte er tilfældet, hvis bakterierne er ineffektive. Overvægtige mennesker har dermed muligvis særligt effektive nedbrydere i fordøjelseskanalen. For mere om det henvises til [kapitel 3.4.3](#).



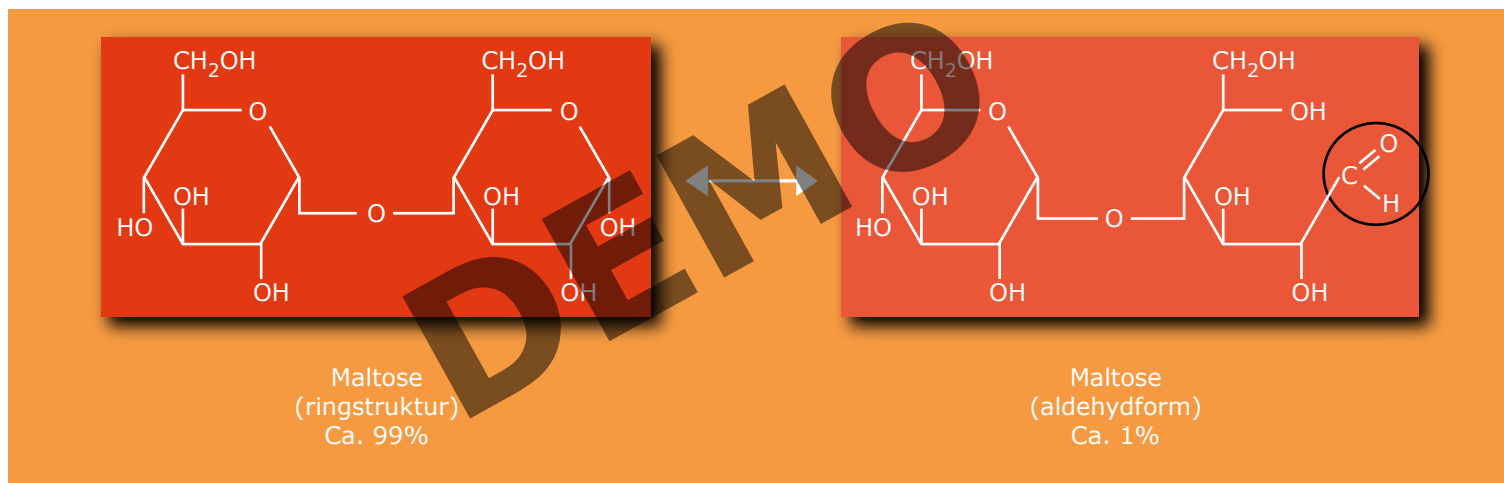
Figur 13.15 Polysakkaridet cellulose kaldes også for plantefibre, da det indgår i plantecellers cellevægge. Cellulose består af glukosemolekyler sat sammen med en variant af 1,4-glykosidbindingen. Bindingen giver cellulose en langstrakt fiberstruktur i modsætning til bindingerne i stivelse og glykogen.

13.2.4 Påvisning af kulhydrater

En del kulhydrater kan påvises, fordi de virker reducerende. Reducerende betyder, at kulhydraterne kan donere elektroner til andre stoffer. Det udnytter man, når man bruger Benedicts reagens eller Fehlings prøve. Begge reagenser er



Figur 13.16 Påvisning af monosakkarider med Benedicts reagens. Til venstre lige efter tilsætning af reagensen og til højre efter 2 minutters kogning. Den røde farve påviser tilstedeværelsen af monosakkarider. FOTO: A. Hyldal - yubio.



Figur 13.17 Disakkarider virker også oftest reducerende, da de har en potentiel aldehydgruppe, som kommer frem, når disakkaridet går fra ringstruktur til den udfoldede aldehydform (markeret med sort cirkel).

blålige som udgangspunkt, men når de modtager elektroner fra fx nogle typer kulhydrater, bliver de i stedet rødlige. Den røde farve betyder altså, at der er stoffer til stede, der donerer elektroner til reagenserne. På figur 13.16 ses en påvisning af monosakkarider med Benedicts reagens.

Alle kulhydrater, der har en fri aldehydgruppe (eller ketongruppe), kan donere elektroner. Det gælder fx alle monosakkarider, men også de

fleste disakkarider. Godt nok er aldehydgruppen væk, når sakkariderne er ringsluttede, hvilket de oftest er. Men i ca. 1 % af tilfældene er de på den udfoldede aldehydform. Det er nok til, at de kan påvises ved Benedicts reagens og Fehlings prøve. På figur 13.17 ses en illustration af disakkaridet maltose på en ringsluttet og en delvis udfoldet form, der altså har en aldehydgruppe, som virker reducerende.



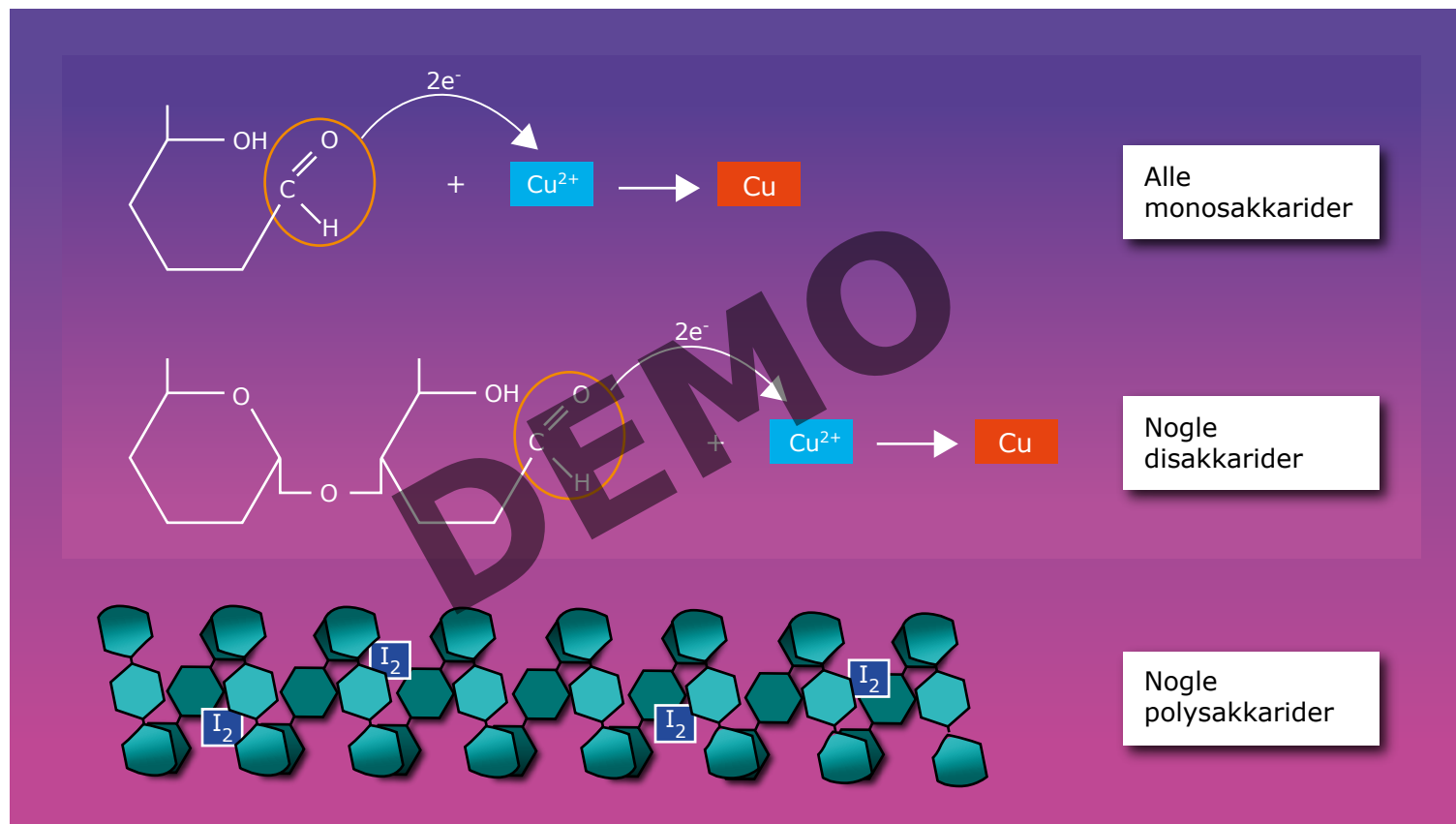
Disakkaridet sakkarose har dog en meget speciel bindingstype, som gør, at det aldrig indeholder en fri aldehydgruppe og derfor ikke kan donere elektroner. Dermed virker sakkarose ikke reducerende og kan som en undtagelse blandt disakkariderne ikke påvises med hverken Benedicts reagens eller Fehlings prøve.

Hos polysakkarider udgør den ene mulige frie aldehydgruppe kun en forsvindende lille del af det samlede molekyle, og polysakkarider kan derfor heller ikke påvises med hverken Benedicts reagens eller Fehlings prøve.

Polysakkaridet stivelse kan dog påvises med iod-iod-kalium (IIK). Diiod (I_2) lægger sig inde i stivelsens spiralstruktur og medfører en mørkeblå farve. Farvenuancer af blå forekommer afhængigt af, hvor forgrenet stivelsen er. På figur 13.18 er påvisningerne af kulhydraterne illustreret.

Påvisningen af polysakkaridet stivelse samt

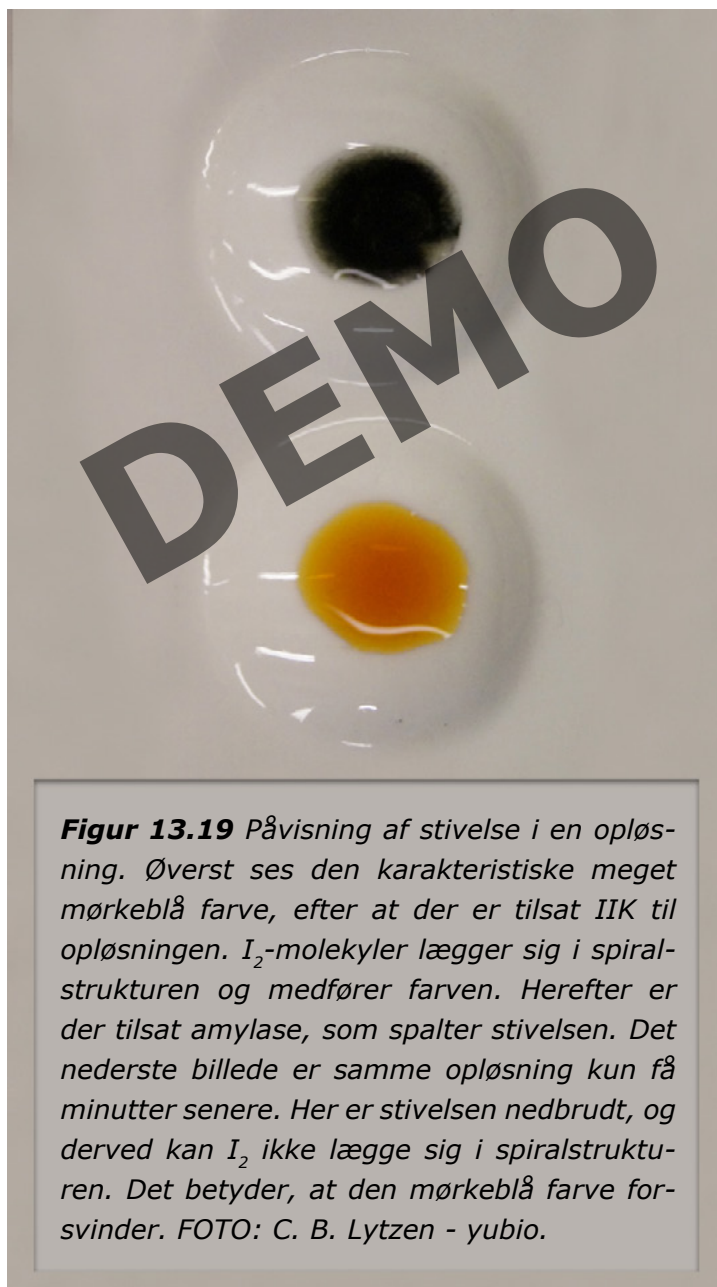
Kapitel 13: De organiske stoffer



Figur 13.18 Påvisning af sakkarider. Alle monosakkarider og de fleste disakkarider kan påvises med Benedicts reagens, der indeholder Cu^{2+} , der reduceres til rødt Cu (eller Cu_2O). Mange polysakkarider kan påvises med IIK, da I_2 lægger sig inde i spiralstrukturen og medfører en mørkeblå farve.

disakkarider og monosakkarider kan bruges, når man vil undersøge fordøjelsen af kulhydrater. Enzymet amylase findes i spyttet hos de fleste

mennesker og påbegynder fordøjelsen af stivelse allerede i mundhulen. Man kan således ved at spytte ned i en opløsning med stivelse følge



Figur 13.19 Påvisning af stivelse i en opløsning. Øverst ses den karakteristiske meget mørkeblå farve, efter at der er tilsat I_2 til opløsningen. I_2 -molekyler lægger sig i spiralstrukturen og medfører farven. Herefter er der tilsat amylase, som spalter stivelsen. Det nederste billede er samme opløsning kun få minutter senere. Her er stivelsen nedbrudt, og derved kan I_2 ikke lægge sig i spiralstrukturen. Det betyder, at den mørkeblå farve forsvinder. FOTO: C. B. Lytzen - yubio.

dens nedbrydning til disakkarider eller glukose. Langsomt, men sikkert vil stivelsen forsvinde og erstattes med mindre sakkarider.

På figur 13.19 ses påvisning af stivelse i en opløsning og desuden ses samme opløsning, efter at der er tilføjet fordøjelsesenzymer, som har nedbrudt stivelsen til mindre sakkarider. Den mørkeblå farve er dermed forsvundet.

13.3 Fedtstoffer

Fedtstoffer (lipider) er en fællesbetegnelse for en gruppe af organiske stoffer, der ligesom kulhydrater tjener som energikilde i kroppens celler. I modsætning til kulhydrater fungerer fedtstoffer dog også i stor stil som byggesten i kroppen. Fedt udgør faktisk ca. 15 % af vores kropsmasse, selvom tallet kan variere en hel del fra person til person afhængigt af kropsbygningen (fedtprocenten). Uanset hvilket fedtstof, der er tale om, indeholder det grundstofferne C, H og O - ganske

som kulhydraterne. Nogle fedtstoffer indeholder dog også grundstoffet fosfor (P).

Når fedt indgår som energimolekyle eller i vores fedtdepoter, er det primært i form af *triglycerider*. Når fedt indgår som byggemateriale, er det oftest i cellemembranerne i form af *fosfolipider* og *kolesterol*. Alle tre typer fedt behandles på de følgende sider.

13.3.1 Fedt som energikilde

Triglycerider består af fire byggesten: tre fedtsyrer og et glycerol. I [kapitel 3.2.4](#) blev fedtsyrernes kemiske opbygning grundigt gennemgået, og det vil ikke blive uddybet mere her. På figur 13.20 på næste side ses dannelsen af et mono-glycerid, hvor én fedtsyre kobles sammen med glycerol.

Det ses, at der ved reaktionen fraspaltes vand. Der er altså igen tale om en kondensationsreaktion, ligesom når to monosakkarider sættes sam-

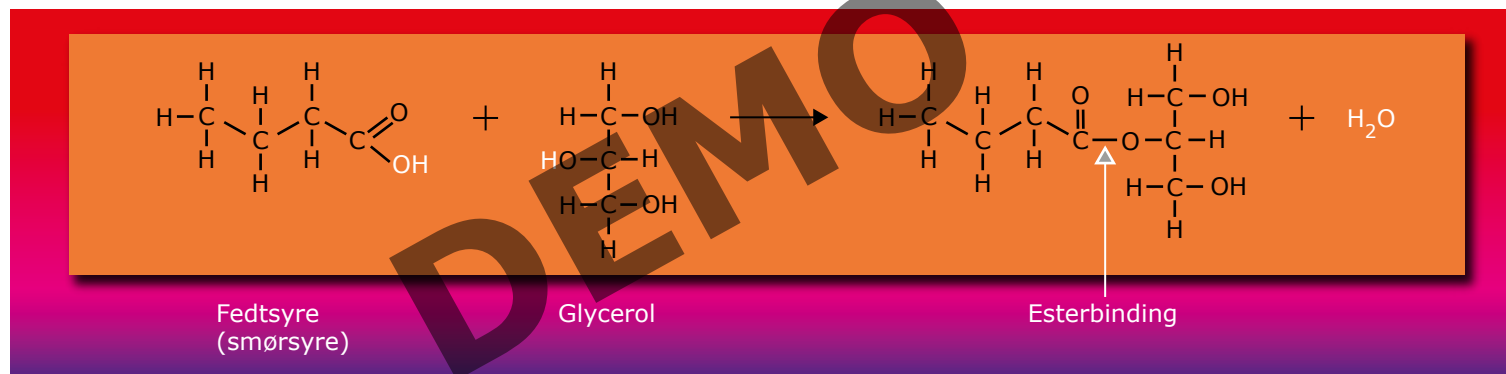


men (se [kapitel 13.2.1](#)). Bindningen mellem en fedtsyre og glycerol kaldes for en *esterbinding*. Glycerol er en trivalent alkohol, og det betyder, at glycerol indeholder tre alkoholgrupper (-OH). Til hver af disse kan der bindes én fedtsyre. På figur 13.21 ses opbygningen af et triglycerid.

Triglycerider kan antage mange forskellige former og have forskellige kemiske og fysiske egenskaber. Det hele afhænger af, hvilke fedtsyrer der er bundet sammen med glycerol. Hvis der udelukkende er bundet umættede fedtsyrer til glycerol, er der tale om et umættet triglycerid. Indeholder triglyceridet kun mættede fedtsyrer, er der tale om et mættet triglycerid.

Der kan dog også være fx to mættede og en umættet fedtsyre i et triglycerid. Så er der tale om et delvist mættet (eller umættet) triglycerid.

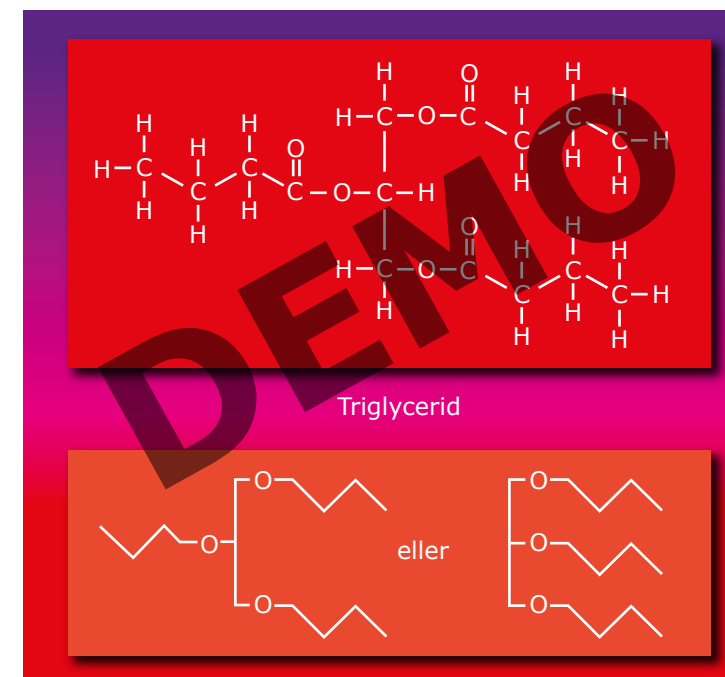
På figur 13.22 på næste side ses to triglycerider – et mættet og et delvist mættet. Det ses, at triglyceridet med umættede fedtsyrer fylder

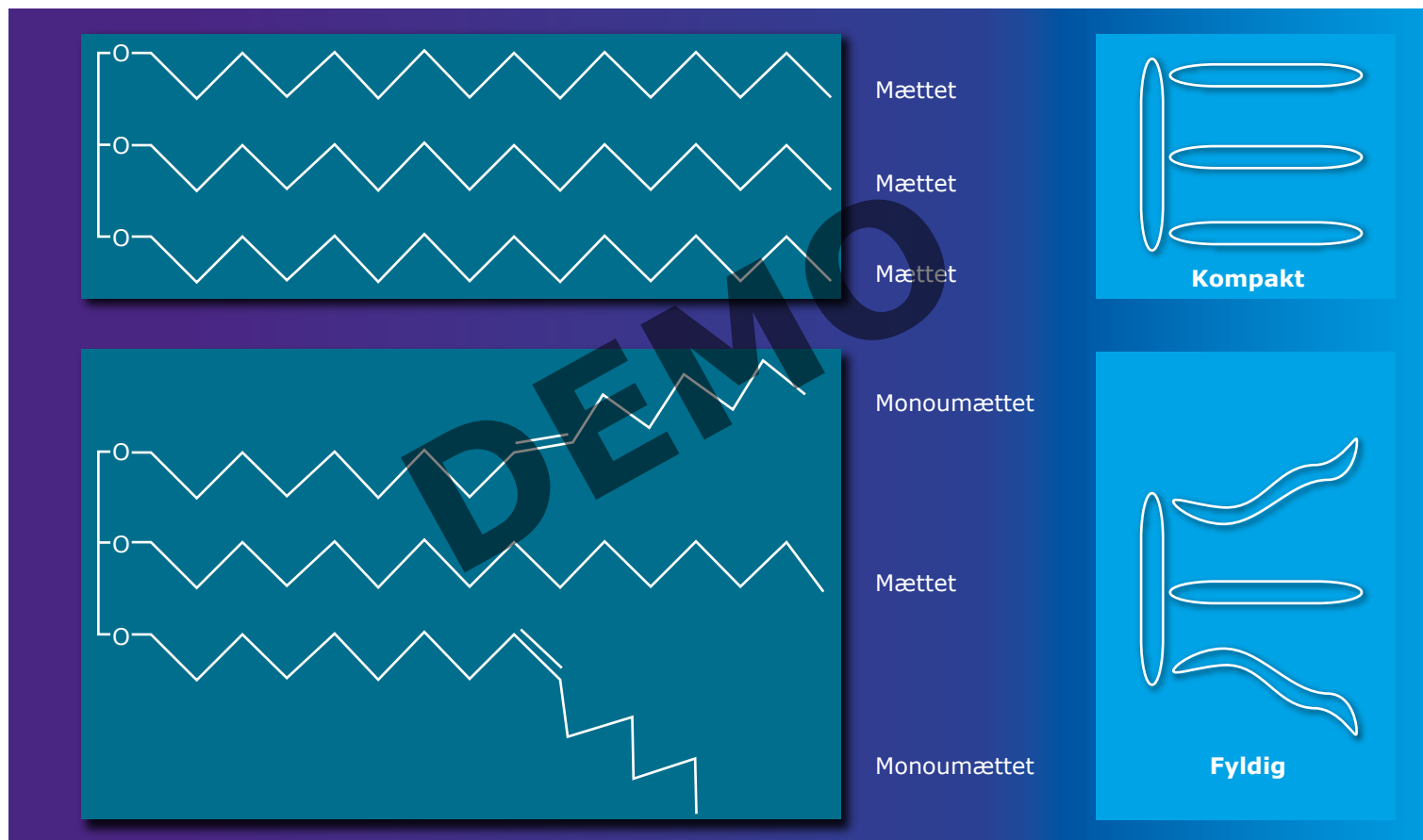


Figur 13.20 Dannelse af et monoglycerid. En fedtsyre (smørsyre) og glycerol sættes sammen med en esterbinding til et monoglycerid. Reaktionen er en kondensationsreaktion, og der fraspaltes vand. Det er samme type reaktion, som når to monosakkarider sættes sammen til et disakkarid. Også her fraspaltes vand.

Figur 13.21 Opbygningen af et triglycerid. Til glycerol er bundet tre fedtsyrer - hver med en esterbinding. Fedtsyrerne er i dette tilfælde alle umættede, og dermed er triglyceridet også umættet. Nederst er vist en simplere måde at tegne triglycerider på, hvor der i hvert hak sidder et C-atom, mens H-atomerne slet ikke angives.

mere rumligt end triglyceridet med udelukkende mættede fedtsyrer. Umættede triglycerider er dermed mindre kompakte, og de er typisk på flydende form ved stuetemperatur (olie), mens





Figur 13.22 Øverst ses et mættet triglycerid. Alle tre fedtsyrer er mættede, og derved bliver strukturen kompakt med fast form ved stuetemperatur (fx smør). Nederst et umættet triglycerid, hvor to af fedtsyrerne er umættede. Her er strukturen mindre kompakt, og triglyceridet er flydende ved stuetemperatur (fx olie).

mættede, kompakte triglycerider er på fast form ved stuetemperatur (smør).

Triglycerider er generelt hydrofobe, og de kan

derfor ikke opløses direkte i blodet. Det skyldes deres dominerende fedtsyrekæder, der er hydrofobe (vandskyende), mens det mindre glycerol-

molekyle er hydrofilt (vandelskende). Triglycerider transporteres derfor i blodet via såkaldte lipoproteiner, hvoraf de to vigtigste er *LDL-kolesterol* og *HDL-kolesterol*. HDL-kolesterol indeholder mere protein og mindre kolesterol og anses for at være sundt (det "Herlige kolesterol").

LDL indeholder mindre protein og mere kolesterol og anses for usundt ("Lorte kolesterol"). For højt indhold af LDL-kolesterol i blodet øger formentlig risikoen for hjertesygdom og blodpropper, mens HDL-kolesterol virker forebyggende.

Når triglyceriderne kommer ud til muskelcellerne via blodbanen, kan de forbrændes i muskelcellernes mitokondrier. For mere om fedtforbrænding henvises til [kapitel 14.5.1](#). Triglyceriderne kan også ligge som fedtdråber i muskelcellerne, hvor de fungerer som energilager. Hvor stor en fedtforbrænding er, kan afgøres via RQ-værdien, der er gennemgået i [kapitel 6.3.2](#).



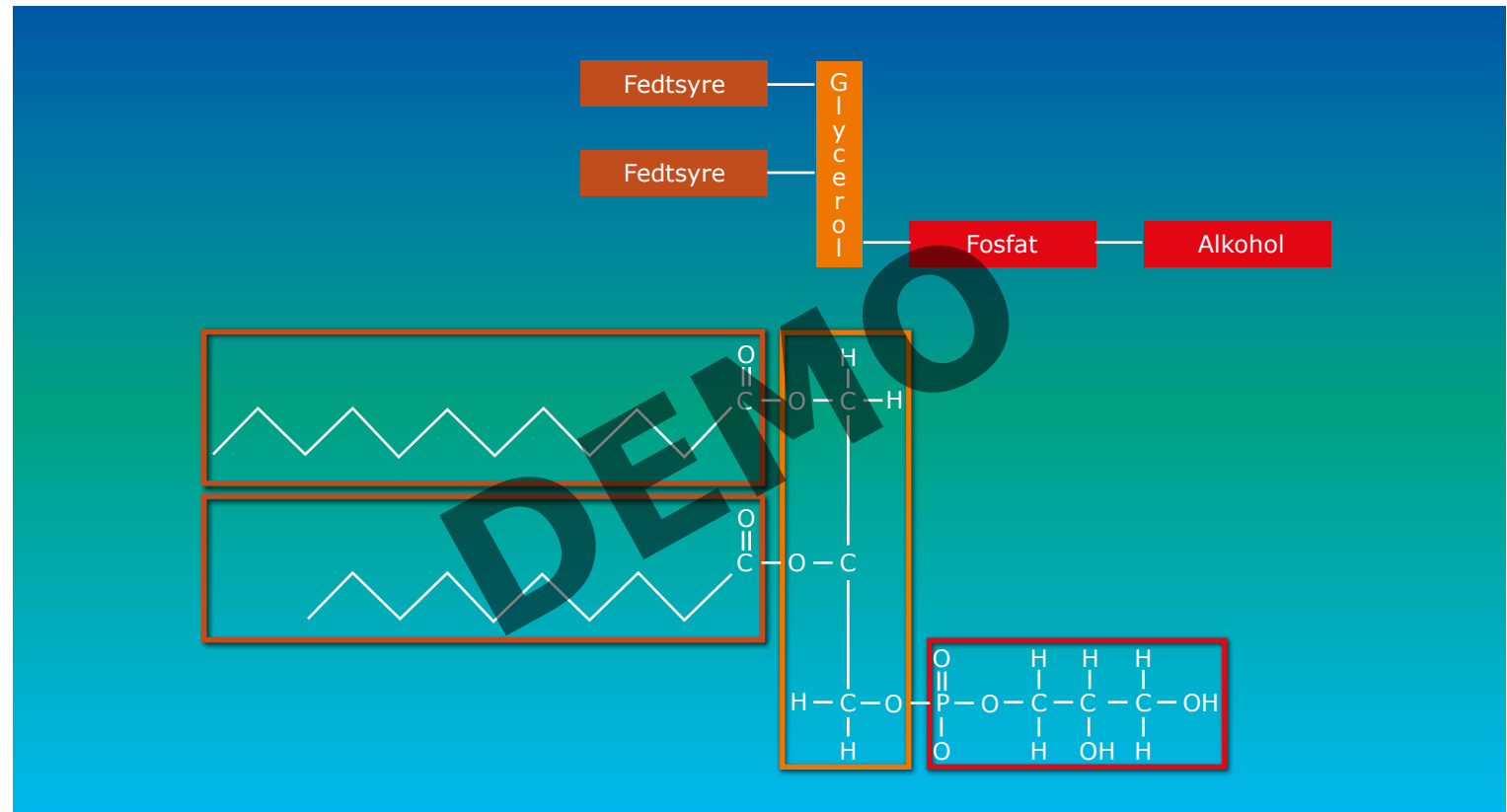
13.3.2 Fedt som byggesten

Cellemembraner er opbygget af både proteiner og fedtstoffer. De fleste cellemembraner består af cirka lige dele fedt og protein, selvom der faktisk kan være store variationer fra celletype til celletype. Det helt dominerende membranfedtstof er fosfolipider. De minder i struktur en del om triglycerider med et centralt glycerolmolekyle (se figur 13.23), hvortil der er bundet fedtsyrer.

Det ses på figuren, at der til glycerol kun er bundet to fedtsyrer samt et fosfatmolekyle. Til fosfat er der yderligere bundet et alkoholmolekyle (5 forskellige muligheder).

Som gennemgået i [kapitel 1.3.1](#) har fosfolipider et hydrofilt "hoved" bestående af glycerol, fosfatgruppen og alkoholen. Desuden har fosfolipider to hydrofobe "haler" bestående af de to fedtsyrer. Cellemembranen er dobbeltlaget, dvs. at fosfolipiderne ligger i to lag. De vender de hydrofobe haler mod hinanden og væk fra omgivelserne.

Kapitel 13: De organiske stoffer

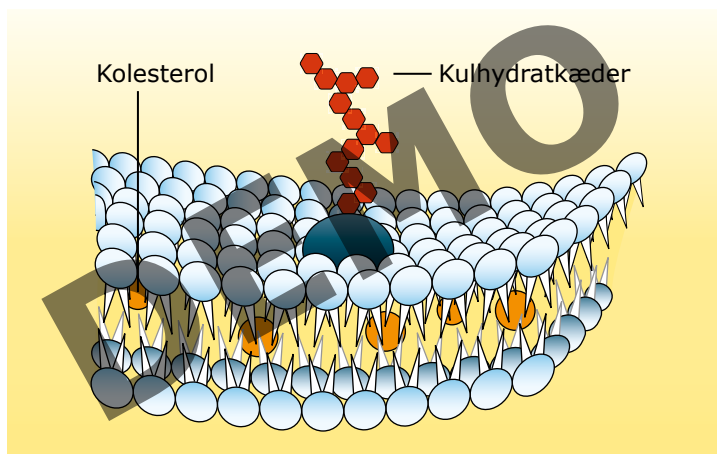


Figur 13.23 Opbygningen af et fosfolipid. Det minder meget i sin struktur om et triglycerid, men der er kun bundet to fedtsyrer til glycerol i fosfolipidet. Desuden er der bundet en fosfatgruppe med yderligere en alkohol bundet til sig. Fedtsyrerne udgør de to hydrofobe haler, mens glycerol, fosfat og alkohol er hydrofile.

velsernes væskefase og cellens indre, der også består af væske (cytoplasma). Herved er det kun hovederne, der er i kontakt med væske/cytoplasma. På den måde omkranses hele cellens indre

af fedtlaget af fosfolipider. I dette fedtlag sidder proteiner forankret, således at de kan tjene som fx transportkanaler, ion-pumper og receptorer.

Jo flere mættede fedtsyrer, der er i fosfolipi-



Figur 13.24 Kolesterol spiller en vigtig rolle i cellemembranen hos eukaryoter. Kolesterolindholdet bestemmer membranens viskositet. Der findes ikke kolesterol i de indre membraner (fx mitokondriernes) - kun i cellemembranen.

derne, desto mere fast bliver membranens struktur ved en given temperatur. Omvendt, hvis der er mange umættede fedtsyrer i fosfolipiderne, bliver membranen mere flydende ved en given temperatur. På denne måde kan prokaryoter (som bakterier) faktisk regulere cellemembranens fasthed og fleksibilitet – det kaldes samlet for dens *viskositet*.

Eukaryote celler (dyre- og planteceller) regulerer membranens viskositet via fedtstoffet kolesterol, der sidder placeret med jævne mellemrum mellem fosfolipiderne. Kolesterol bestemmer membranens viskositet. Kolesterolers placering i en cellemembran er vist på figur 13.24.

Udover sin membranfunktion hos eukaryoter er kolesterol forløber for en lang række hormoner, nemlig steroidhormonerne (se [kapitel 12.3.1](#)) som fx testosteron og østrogen.

13.4 Proteiner

Proteiner er populært sagt kroppens byggesten. Først og fremmest udgør de en af hovedbestanddelene i cellerne og dermed i vores muskler, hud og indre organer. Den samlede proteinmasse udgør typisk ca. 15 % af kropsvægten – nogenlunde samme andel som fedt. Begge kan dog variere meget afhængig af evt. overvægt og træningstilstand (muskelmasse). Resten af

kropsvægten udgøres næsten udelukkende af væske – altså 65-70 % væske!

Proteiner har også mange andre roller i vores krop udover at være byggemateriale i vævet. Antistofferne i immunforsvaret består af proteiner (se [kapitel 11.3.4](#)), og kroppens enzymer består også af protein (se [kapitel 14.2](#)). I alle cellemembraner sidder desuden proteiner, der fungerer som kanaler for fx ioner i nervesystemet (se [kapitel 4.3.1](#)).

Cellernes receptorer består også af protein, og receptorer er vigtige både i nervesystemet, immunsystemet og hormonsystemet. Faktisk er en del af vores hormoner også proteiner. Det gælder fx insulin.

Proteiner forbrændes også i mitokondrierne for at skaffe ATP – ligesom det er tilfældet med kulhydrat og fedt. Dog er proteinforbrændingen ikke særlig stor, og den udgør i hvile højst 10-15 % af den samlede forbrænding. Under arbej-



de reduceres proteinforbrændingen ofte til under 1 %, og man ser derfor som regel helt bort fra den. Hvis man indtager en ekstrem proteinholdig kost, kan man dog ikke tillade sig at se helt bort fra den.

Proteiner er ligesom kulhydrater og fedtstoffer organiske molekyler, der indeholder grundstofferne C, H og O. Alle proteiner indeholder desuden grundstoffet N (nitrogen), og de fleste indeholder også grundstoffet S (svovl).

Proteiner kaldes også for polypeptider. Et polypeptid er et molekyle bestående af et stort antal aminosyrer bundet sammen i en bestemt rækkefølge – nogle gange flere tusinde. Der findes dog også små proteiner, hvor kun få aminosyrer er bundet sammen.

13.4.1 Aminosyrer

Proteiner er opbygget af aminosyrer. Deres struktur så vi nærmere på i kapitel 3.2.5. Alle

aminosyrer har et centralt C-atom, hvortil der er bundet et H-atom, en syregruppe ($-\text{COOH}$), en aminogruppe ($-\text{NH}_2$) samt et radikal. Der findes 20 forskellige radikaler og derfor også 20 forskellige aminosyrer.

På figur 13.25 på næste side ses de 20 aminosyrer i vores krop. Faktisk findes der to ekstra aminosyrer, som ikke indgår i nogen proteiner. De spiller derimod en rolle i urinstofcyklus, når man forbrænder proteiner. For mere om proteinforbrænding henvises til [kapitel 14.5.2](#).

Alle 20 aminosyrer indgår stort set i alle kroppens proteiner. Det er blot blandingsforholdet og rækkefølgen af aminosyrerne, der varierer i de enkelte proteiner. Vi kan selv danne 11 ud af de 20 aminosyrer, mens de sidste 9 skal tilføres udefra via kosten.

Aminosyrer vi selv kan danne, kaldes for *ikke-essentielle aminosyrer*, mens de 9 vi ikke kan danne, kaldes for *essentielle aminosyrer*. På

figur 13.25 er de essentielle markeret med en stjerne. Vegetarer (og især veganere) skal være særligt opmærksomme, idet nogle af de essentielle aminosyrer stort set ikke findes i ren plantekost. Begge typer aminosyrer er lige vigtige for vores krop.

Som det ses på figur 13.25, kan den del af molekylet, som kaldes radikalet, variere meget i struktur. I sin simpleste form i aminosyren glycin, er radikalet blot et H-atom, mens det i aminosyren tryptofan er noget mere kompliceret bestående af flere komplicerede ringstrukturer. Det ses også, at kun 2 af aminosyrerne indeholder grundstoffet svovl (cystein og methionin).

De meget forskellige radikaler gør, at aminosyrerne har forskellige kemiske egenskaber. Nogle af dem er vandopløselige (hydrofile), mens andre er fedtopløselige (hydrofobe). Andre igen har en positiv eller negativ ladning under normale forhold i vores krop.



<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div>H</div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div>CH₂<div>OH</div></div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div>HO—CHCH₃</div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div>CH₂<div>SH</div></div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div>CH₂<div><div><div>HCCH</div><div>HCCH</div><div>CH</div><div>OH</div></div></div></div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div>CH₂<div><div>C=O</div><div>H₂N</div></div></div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div>CH₂<div>CH₂<div><div>C=O</div><div>H₂N</div></div></div></div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div>CH₂<div>CH₂<div>CH₂<div>CH₂<div>NH</div><div><div>H₂N—C=NH</div></div></div></div></div></div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div>CH₂<div><div>C=NCH</div><div>HCN</div><div>H</div></div></div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Glycin</div><div>Gly</div><div>G</div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Serin</div><div>Ser</div><div>S</div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Threonin</div><div>Thr</div><div>T</div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Cystein</div><div>Cys</div><div>C</div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Tyrosin</div><div>Tyr</div><div>Y</div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Asparagin</div><div>Asn</div><div>N</div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Glutamin</div><div>Gln</div><div>Q</div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Lysin</div><div>Lys</div><div>K</div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Arginin</div><div>Arg</div><div>R</div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Histidin</div><div>His</div><div>H</div></div></div>	
<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div>CH₃</div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div>CHCH₃CH₃</div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div>CH₂<div>CHCH₃CH₃</div></div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div>HC—CH₃<div>CH₂<div>CH₃</div></div></div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div>CH₂<div><div>HCCH</div><div>HCCH</div><div>CH</div><div>H</div></div></div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div>CH₂<div><div>C=CHNH</div><div>CCH</div><div>HCCH</div><div>CH</div><div>H</div></div></div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div>CH₂<div>CH₂<div>SCH₃</div></div></div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>HN—C—H</div><div>CH₂CH₂<div>C</div><div>H₂</div></div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div>CH₂<div><div>C=O</div><div>HO</div></div></div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div>CH₂<div>CH₂<div><div>C=O</div><div>HO</div></div></div></div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Alanin</div><div>Ala</div><div>A</div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Valin</div><div>Val</div><div>V</div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Leucin</div><div>Leu</div><div>L</div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Isoleucin</div><div>Ile</div><div>I</div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Fenylalanin</div><div>Phe</div><div>F</div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Tryptofan</div><div>Trp</div><div>W</div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Methionin</div><div>Met</div><div>M</div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>HN—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Prolin</div><div>Pro</div><div>P</div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Asparaginsyre</div><div>Asp</div><div>D</div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>COOH</div></div><div><div>H₂N—C—H</div><div></div></div></div></div><div><div>Glutaminsyre</div><div>Glu</div><div>E</div></div></div>

Figur 13.25 De 20 aminosyrer, som indgår i proteiner. Aminosyrerne er angivet med deres kemiske struktur, navn samt de to muligheder for forkortelser. Alanin kan fx forkortes både med "Ala" og med bogstavkoden "A". Det er de varierende radikaler, der adskiller aminosyrerne fra hinanden. En stjerne angiver, at aminosyren er essentiel.



Aminosyrer med en ladet sidekæde			
Positiv ladning		Negativ ladning	
Navn	Bogstavkoder	Navn	Bogstavkoder
Arginin	(Arg - R)	Asparaginsyre (Asp - D)	
Histidin	(His - H)	Glutaminsyre (Glu - E)	
Lysin	(Lys - K)		
Aminosyrer med en upolær, hydrofob sidekæde			
Navn	Bogstavkoder	Navn	Bogstavkoder
Alanin	(Ala - A)	Prolin	(Pro - P)
Valin	(Val - V)	Methionin	(Met - M)
Leucin	(Leu - L)	Fenylalanin	(Phe - F)
Isoleucin	(Ile - I)	Tryptofan	(Trp - W)
Aminosyrer med en polær, hydrofil sidekæde			
Navn	Bogstavkoder	Navn	Bogstavkoder
Glycin	(Gly - G)	Cystein	(Cys - C)
Serin	(Ser - S)	Asparagin	(Asn - N)
Threonin	(Thr - T)	Glutamin	(Gln - Q)
Tyrosin	(Tyr - Y)		

Figur 13.26 Inddeling af aminosyrer efter deres kemiske egenskaber. Øverst ses dem med positiv og negativ ladning. I midten dem med en hydrofob sidekæde, og nederst dem med en hydrofil. De kemiske egenskaber af de enkelte aminosyrer får betydning for det samlede proteins kemiske egenskaber.

På figur 13.26 ses en inddeling af aminosyrerne efter deres kemiske egenskaber. Netop disse
Kapitel 13: De organiske stoffer

se kemiske egenskaber har stor betydning for, hvordan det samlede protein opfører sig. Hvis proteinet består af mange hydrofobe aminosyrer på ydersiden, vil proteinet være i stand til fx at sætte sig i en cellemembran, der består af meget fedt (hydrofob). Det er sådan, at proteinkanalerne kan sidde fast i cellemembranen.

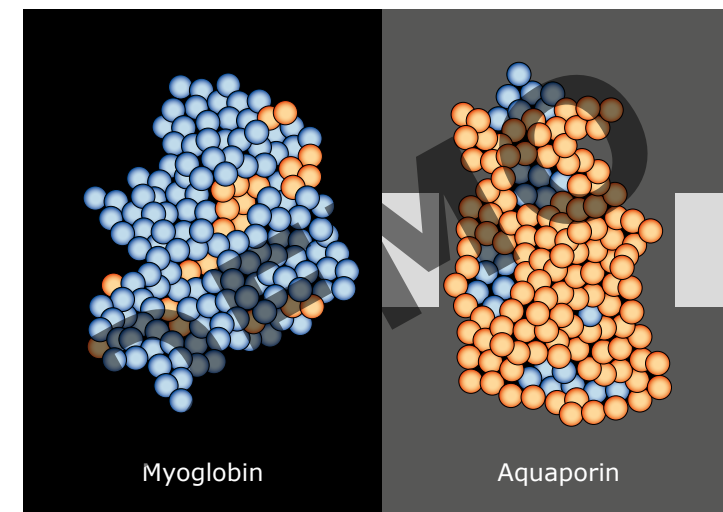
Omvendt vil et protein med mange hydrofile aminosyrer i overfladen kunne opløses i blodbanen eller cellens cytoplasma, idet begge dele indeholder store mængder vand (hydrofilt). Figur 13.27 illustrerer dette.

13.4.2 Proteinstruktur

Når to aminosyrer kobles sammen, dannes et *dipeptid*. Processen er illustreret på figur 13.28, der kan ses på næste side.

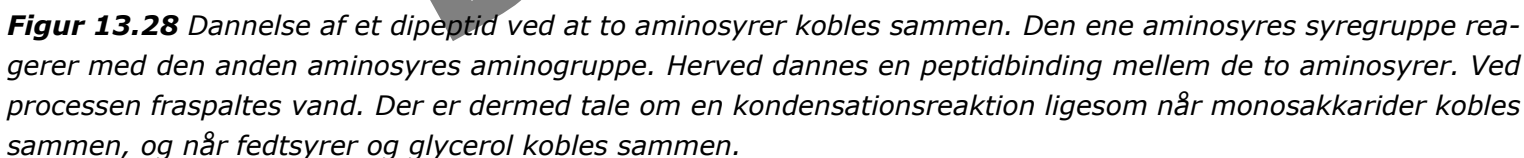
Som det kan ses, fraspaltes vand, og der er således tale om en kondensationsreaktion ligesom ved sammenkobling af monosakkarider og

DEMO - Må ikke anvendes i undervisningen



Figur 13.27 Til venstre ses proteinet myoglobin, der har mange hydrofile aminosyrer på overfladen (blå). Det gør myoglobin vandopløseligt. Til højre ses et membranprotein, der har mange hydrofobe aminosyrer på overfladen (orange). Det gør proteinet i stand til at sidde i cellemembranen.

ved sammenkobling af fedtsyrer og glycerol. Bindingen mellem de to aminosyrer kaldes en *peptidbinding* og går mellem C-atomet fra syregruppen på den ene aminosyre til N-atomet fra aminogruppen på den anden aminosyre. Der kan kobles flere aminosyrer på efter samme princip,

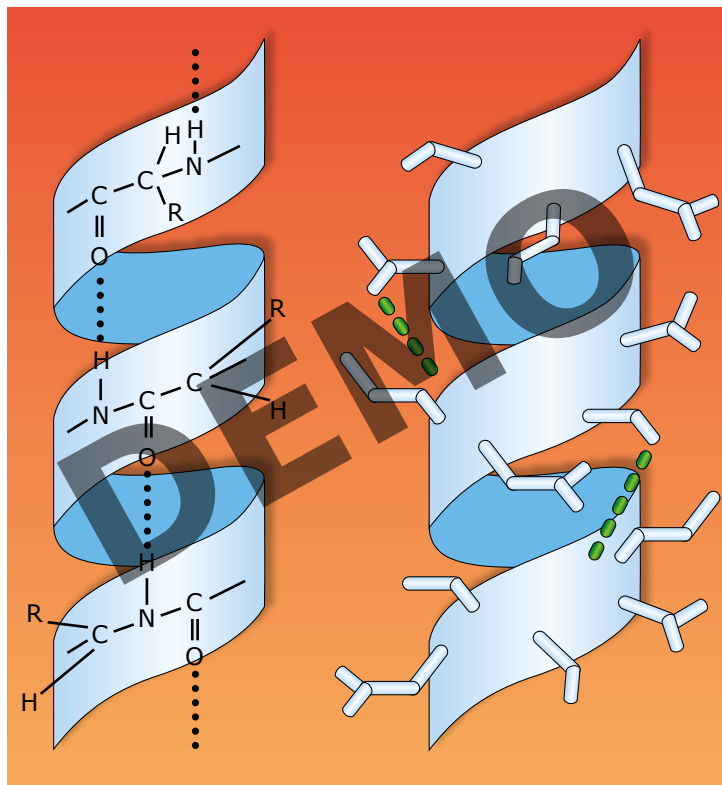


Aminosyrerækkefølgen kaldes for proteinets *primære struktur*. Denne rækkefølge – eller mere korrekt *aminosyresekvensen* – er nøje bestemt af genet for det pågældende protein, og aminosyrerne kobles sammen i proteinsyntesen (se [kapitel 7.5.4](#)). Sker der en mutation i genet, kan der også ske en ændring i aminosyrerækkefølgen i proteinet, som derved kan ændre udseende og funktion. På figur 13.29 ses et eksempel på et proteins primære struktur.

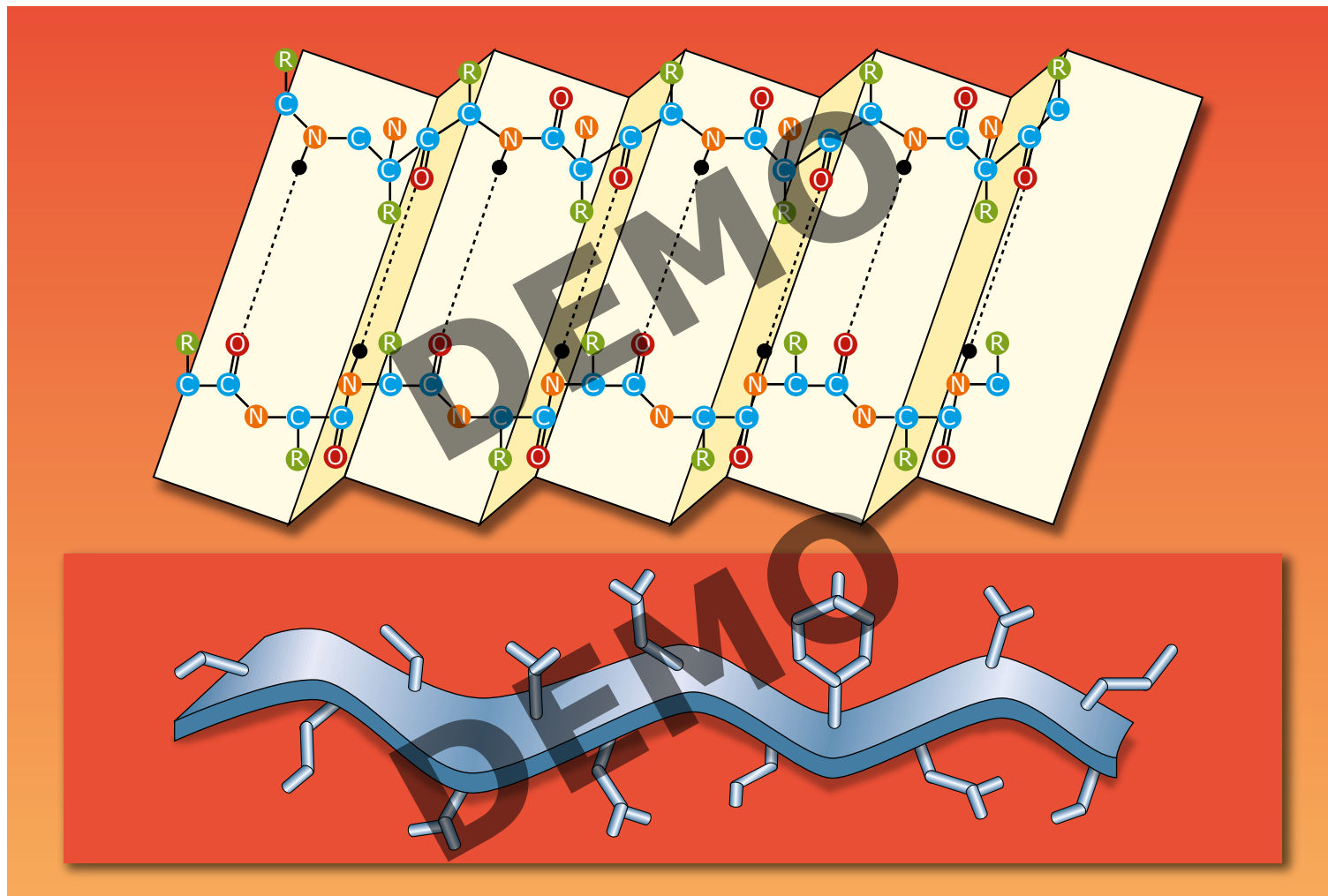
Den sekundære proteinstruktur holdes pri-

Figur 13.29 Et proteins primære struktur er dets aminosyresekvens (rækkefølge). Her består proteinet af 153 aminosyrer, som også blot kan angives ved deres bogstavkoder (fx VLSEG.....YQG).

mært på plads af hydrogenbindinger mellem tætsiddende aminosyrer. Disse sidder ikke lige efter hinanden i sekvensen, men derimod over og under hinanden i spiralstrukturen. På figur



Figur 13.30 α -helix-struktur vist til venstre med kemiske symboler og til højre mere overordnet set. De stiplede linjer er hydrogenbindinger.



Figur 13.31 β -foldebladsstruktur vist med kemiske symboler og nederst mere overordnet set. De stiplede linjer er hydrogenbindinger. Øverst er vist to kæder, mens der nederst kun er vist en enkelt.

13.30 ses et eksempel på en α -helix struktur.

Den anden dominerende sekundære prote-

instruktur kaldes for en β -foldebladsstruktur (β -sheet). Her ligger peptidkæder side om side i

en zig-zag-struktur, der også holdes sammen af hydrogenbindinger (se figur 13.31).



Langt de fleste proteiner indeholder begge typer i varierende grad. Der findes dog også proteiner, der hovedsageligt kun har den ene eller den anden type. I hud, hår og negle dominerer fx α -helix struktur, mens β -foldebladsstruktur dominerer i silke.

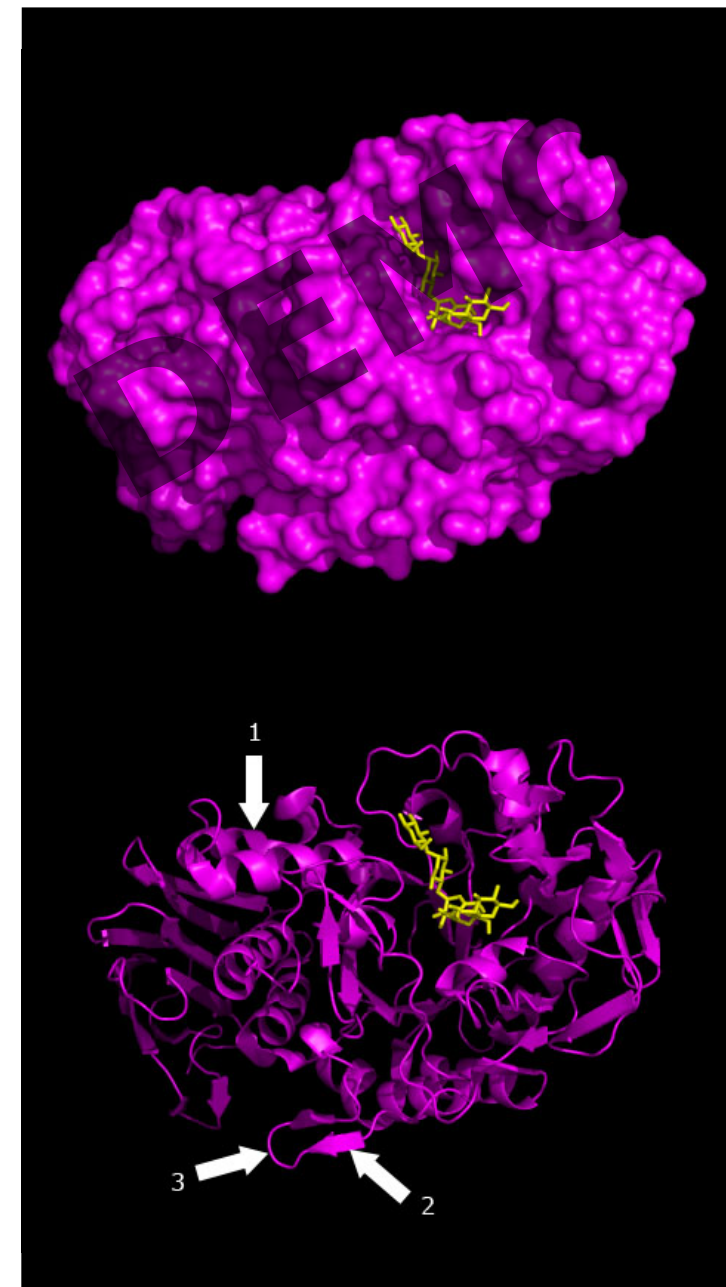
En stor del af et proteins sekundære struktur består dog hverken af α -helix'er eller β -foldeblade. Den består derimod af mange ikke-gentagende strukturer, der kaldes *loops*. Der findes mange typer loops, men β -vendinger er en af de vigtigste. De udgør som regel mindst 25 % af det færdige protein. Deres funktion er at bøje β -foldebladene, så de kan fortsætte i en ny retning. Der findes proteiner, som udelukkende består af loops. Disse proteiner kaldes for ustruk-

turerede proteiner og udgør op imod 20 % af alle proteiner i vores krop.

Proteinernes sekundære struktur kan også have en mere overordnet foldning. Dette niveau kaldes proteinets *tertiære struktur*. Her foldes fx flere α -helix'er og β -foldeblade sammen via loops til en mere kompakt kuglestruktur. Et sådant eksempel er vist på figur 13.32.

Det viste protein er amylase, der er et kulhydratspaltende enzym i fordøjelsessystemet (se [kapitel 3.3.1](#)). Amylase indeholder alle de gennemgåede strukturer, og de er også angivet på figuren. Amylases tertierstruktur holdes sammen af hydrogenbindinger, men også af de meget vigtige *disulfidbindinger* mellem aminosyrer, der indeholder svovl. Disse bindinger kaldes også for

Figur 13.32 Øverst ses overfladen af enzymet amylase, der spalter stivelse til mindre sakkarider i vores mund. Det gule molekyle er stivelse, der passer ind i enzymets aktive sted. Bemærk, at der skal mange hundrede aminosyrer til for at opbygge enzymet, så det får sin nøjagtige struktur. Nederst ses et kig indenfor i strukturen, hvor pilene peger på henholdsvis en α -helix (1), et loop (2) og et β -foldeblad (3).





Figur 13.33 Hæmoglobins kvarternære struktur. Øverst ses opbygningen med symboler, mens overfladen af proteinet ses i midten. De blå strukturer er hæm-grupper, der kan binde ilt (markeret med rødt). Nederst er der zoomet ind på en hæmgruppe med ilt. Figuren er lavet i samarbejde med Isa Kristina Kirk, DTU.

svovlbroer. Det er kun aminosyren cystein, der kan danne svovlbroer, selvom også aminosyren methionin indeholder svovl.

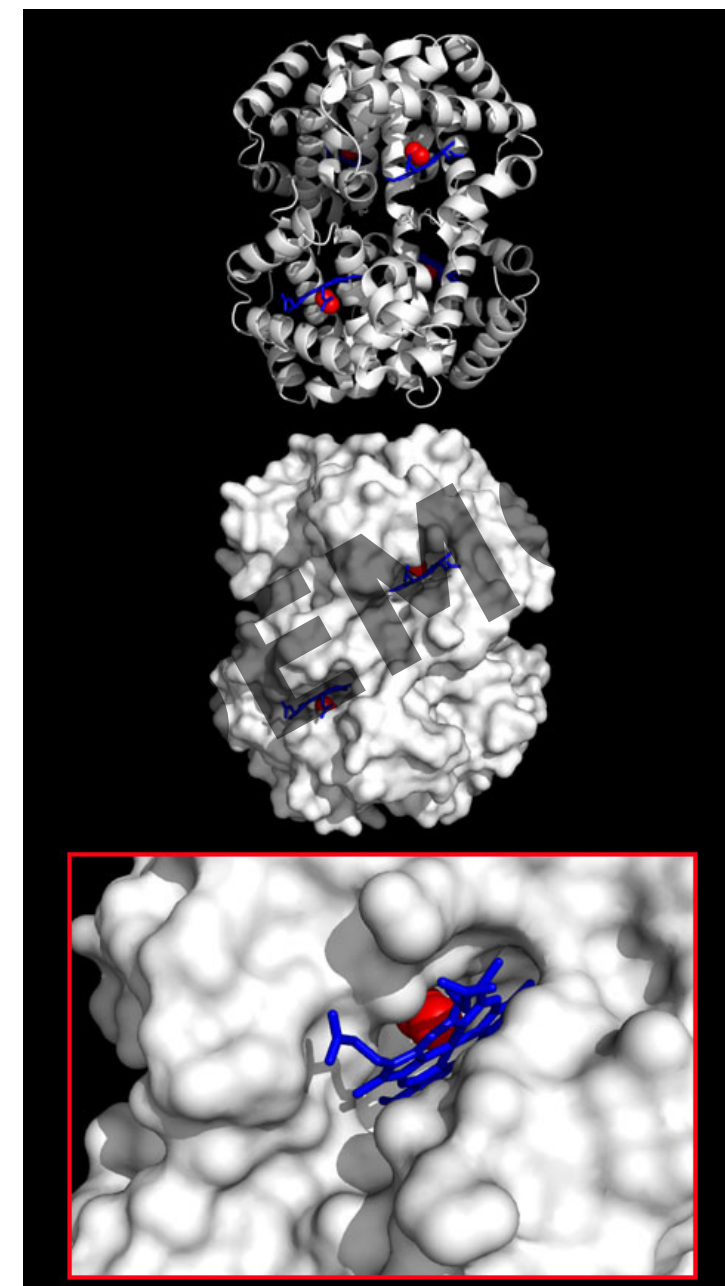
Det er meget vigtigt med den helt korrekte tertiære struktur for proteinet, da det ellers mister sin funktion. I tilfældet amylase er funktionen, at et polysakkarid skal bindes til amylasens aktive sted, hvorefter enzymet spalter polysakkaridet til mindre sakkarider som et led i kulhydratfordøjelsen. På figur 13.32 på forrige side ses, at polysakkaridet (gult) meget præcist passer ned i enzymets tredimensionelle struktur.

Selvom der kun er relativt få aminosyrer lige i enzymets aktive sted, så er placeringen af alle aminosyrer i hele proteinets struktur meget vigtig. Ændrer man blot en enkelt aminosyre i den primære struktur, er der fare for, at ændringen

får betydning for både den sekundære og den tertiære struktur, hvorved hele proteinet måske ændrer sin form. Herved vil proteinet eventuelt helt eller delvis miste sin funktion. I dette konkrete tilfælde vil polysakkaridet måske ikke mere passe ned i "lommen" i enzymets aktive sted.

Aminosyrerne, der ikke sidder i det aktive sted, men derimod er vigtige for strukturen af proteinet, kaldes undertiden for *stillads-aminosyrer*. Ligesom et byggestillads er nødvendigt for at bygge et hus, er disse aminosyrer helt nødvendige for enzymets samlede struktur og dermed altså også dets funktion.

Der findes et fjerde og sidste niveau for proteinstruktur. Det er kun relevant ved større proteinkomplekser, som er opbygget af flere proteiner, der er sat sammen (se figur 13.33). Det gælder





Figur 13.34 Et hårdkogt æg skåret midt over. Når æg koges, denatureres proteinerne i æggehviden. Herved folder de sig ud og vikler sig ind i hinanden. Det giver den velkendte faste konsistens.

fx det iltbærende protein i de røde blodlegemer, hæmoglobin, der består af fire mindre proteiner sat sammen i en overordnet *kvarternær struktur*. Denne struktur beskriver, hvordan de fire mindre proteiner – kaldet subunits – sidder i forhold til hinanden.

Hver af de fire subunits i hæmoglobin har en såkaldt hæmgruppe, der kan binde ét iltmolekyle til sig. Herved kan et hæmoglobinmolekyle i alt binde 4 iltmolekyler. Det ses i øvrigt på figur 13.33 på forrige side, at hæmoglobin faktisk slet ikke indeholder β -foldebladsstruktur, men udelukkende α -helix'er og loops.

Man kan ødelægge et proteins struktur ved fx at opvarme det. Herved vil proteinet folde sig ud fra sin kompakte struktur. Man siger, at proteinet *denaturerer*. Det er fx derfor, man slår bakterier ihjel ved kogning. Den høje temperatur denaturerer bakteriernes proteiner og dermed også deres livsvigtige enzymer. Når man koger et æg,

udnyttes denatureringsprincippet også. Æggehvide er flydende ved stuetemperatur, men ved kogning denaturerer proteinerne i æggehviden og vikler sig ind i hinanden. Herved fås den velkendte faste konsistens af et kogt æg.

I kroppen denaturerer proteiner hele tiden, også ved normal kropstemperatur. Det betyder, at kroppens celler konstant må danne nye proteiner for at erstatte de ødelagte. Der foregår derfor proteinsyntese døgnet rundt i vores celler (se [kapitel 7.5](#)).

En denaturering af et protein kan både være *reversibel* og *irreversibel*. Hvis den er reversibel, vil proteinet vende tilbage til sin oprindelige struktur, når forholdene normaliseres igen. Ved en irreversibel denaturering er ødelæggelsen af proteinet permanent. Det gælder fx ved opvarmning. Nedkøling, ændring af pH-værdi og saltkoncentrationen kan denaturere proteiner reversibelt.



Resume

Kulhydrater:

- Forskellige typer kulhydrater
- Opbygning af et monosakkarid
- Ringslutning af monosakkarider
- Biologisk vigtige monosakkarider
- Disakkarider: Maltose & isomaltose
- Disakkarider: Laktose & sakkarose
- Polysakkarid: Stivelse
- Polysakkarid: Cellulose
- Påvisning af mono- og disakkarider
- Påvisning af polysakkarider

Fedtstoffer:

- Opbygningen af triglycerider
- Mættede/umættede triglycerider
- Fosfolipider

Aminosyrer:

- De tyve aminosyrer

- Aminosyrernes kemiske egenskaber
- Vandopløseligt/fedtopløseligt protein
- Dannelsen af et dipeptid

Proteiner:

- Primær struktur
- Sekundær struktur
- Tertiær struktur
- Kvarternær struktur
- Denaturering af protein