KEMILEKTIONER

kemilektioner.se
youtube.com/kemilektioner

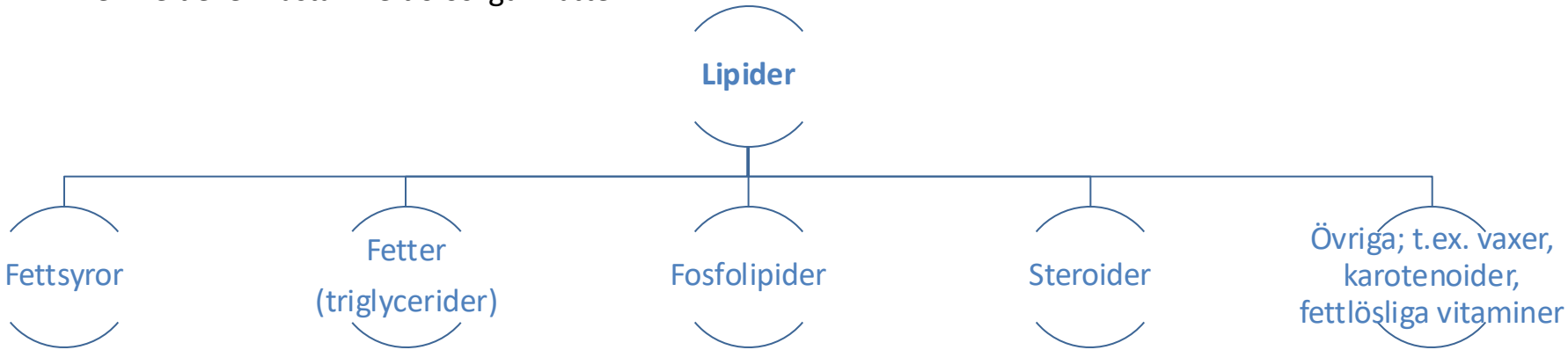
KEMI 2:
SAMMANFATTNING AV BLOCK 4

NIKLAS DAHRÉN

DET VIKTIGASTE FRÅN:
BLOCK 3, DEL 1

Fetter och fettsyror tillhör gruppen lipider

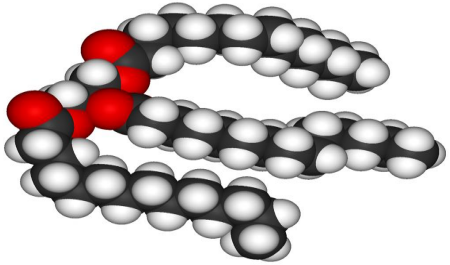
- ✓ **Vad är lipider?:** Lipider är ett samlingsnamn för ett stort antal olika ämnen med gemensamma egenskaper. Alla lipider är opolära ämnen som är lösliga i organiska lösningsmedel (t.ex. i dietyleter, aceton och kloroform) men helt eller nästan helt olösliga i vatten.



- ✓ **Lipider har viktiga funktioner:** Lipiderna har många viktiga funktioner i våra kroppar. De bygger upp cellmembranen i alla celler, de bygger upp myelinskidorna som omger nervcellerna, de fungerar som en bra energireserv i kroppen eftersom de innehåller mycket energi, de fungerar som hormoner eller ger upphov till hormoner och hormonliknande ämnen i kroppen, de fungerar värmeisolerande, de skyddar inre organ etc.

Vad är fetter?

- **Vad är fetter?** Fetter är organiska, opolära ämnen som tillhör gruppen lipider. De består främst av kol- och väteatomer, vilket gör att de har ingen eller mycket låg löslighet i vatten, men löser sig bra i organiska lösningsmedel (t.ex. dietyleter, aceton och kloroform).
- **Fetter består av triglycerider (även kallade triacylglyceroler):** Fetter är uppbyggda av fettmolekyler som kallas triglycerider. När vi äter livsmedel som innehåller fett, är det framför allt dessa triglycerider vi får i oss. Det kan dock även förekomma andra lipider i dessa livsmedel.
- **Oljor:** Oljor är också fetter som består av triglycerider, men vi använder ofta ordet olja istället för fett när ämnet är i flytande form vid rumstemperatur.
- **Fetter är energirika:** Fetter består huvudsakligen av kolatomer bundna till väteatomer med kovalenta bindningar. Dessa bindningar är energirika, vilket förklarar varför fett har ett högt energiinnehåll. Fett innehåller cirka 9 kcal per gram, medan kolhydrater och proteiner innehåller omkring 4,5 kcal per gram.



Triglycerid (triacylglycerol)

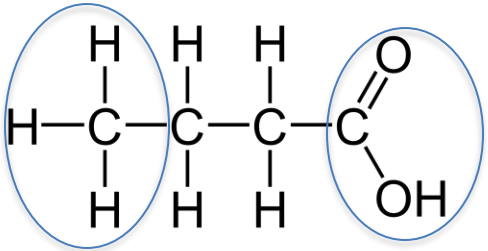
Fettsyror

- ✓ **Fettsyror är karboxylsyror:**
  - Fettsyror tillhör karboxylsyrorna och består av en kolvätekedja med minst fyra kolatomer. Kortare karboxylsyror, som metansyra, etansyra och propansyra, är mer vattenlösliga och saknar den långa opolära/hydrofoba svans som kännetecknar fettsyror. Därför räknas de inte som fettsyror.
  - Alla karboxylsyror – inklusive fettsyror – har en karboxylgrupp (-COOH) bunden till kolvätekedjan. Vid fysiologiskt pH (ca 7,4) avges dock en vätejon, H^+ (proton) från karboxylgruppen, vilket gör att den förekommer som en karboxylatgrupp ($-COO^-$).

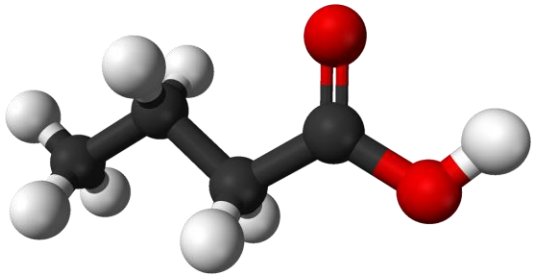
- ✓ **Fettsyror har den generella formeln:** $C_nH_{2n+1}COOH$ (vid fysiologiskt pH; $C_nH_{2n+1}COO^-$).

- ✓ **Smörsyra:** Smörsyra (butansyra) är den kortaste och enklaste fettsyran och har formeln C_3H_7COOH. Som alla fettsyror har den en metylände ($-CH_3$) och en karboxylände (-COOH eller $-COO^-$).

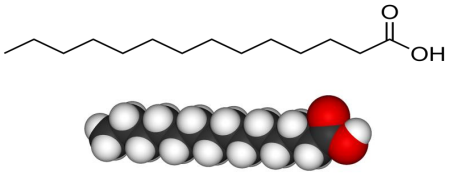
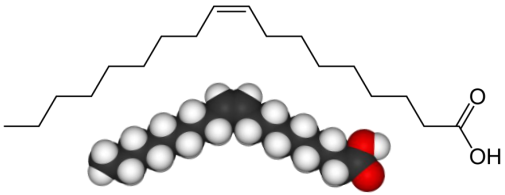
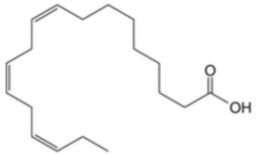
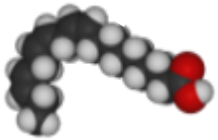
Metylgrupp (metylände)



Karboxylgrupp (karboxylände)



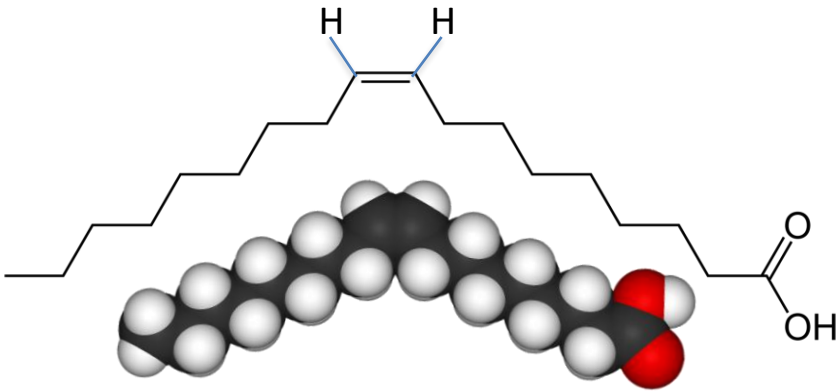
Tre huvudtyper av fettsyror

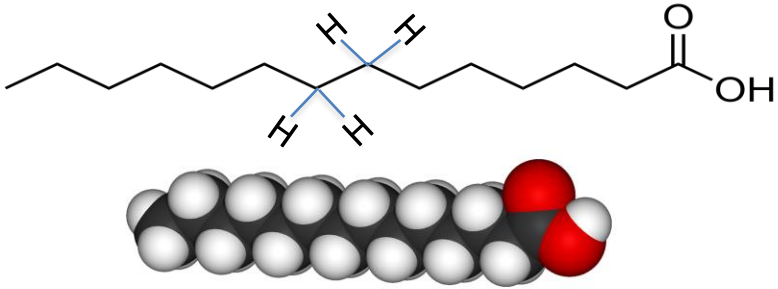
Typ av fettsyra:	Kännetecken:	Struktur/utseende:
Mättade fettsyror:	▪ Mättade med väteatomer ▪ Inga dubbelbindningar ▪ Rak struktur ▪ Högst smältpunkt	
Enkelomättade fettsyror:	▪ ”Saknar” två väteatomer ▪ En dubbelbindning ▪ Böjd struktur ▪ Medelhög smältpunkt	
Fleromättade fettsyror:	▪ ”Saknar” minst fyra väteatomer ▪ Minst två dubbelbindningar ▪ Mycket böjd struktur ▪ Lägst smältpunkt	 

Varför har omättade fettsyror en böjd struktur?

- ✓ Omättade fettsyror har en böjd struktur p.g.a. minst en dubbelbindning. Vid dubbelbindningen sitter väteatomerna vanligtvis på samma sida (cis-struktur) och det innebär att hela den omättade fettsyran får en böjd form eftersom elektronerna repellerar varandra och intar största möjliga avstånd från varandra.

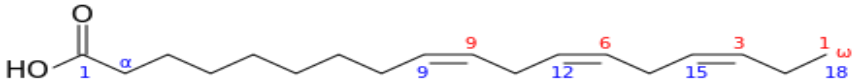
- ✓ Mättade fettsyror har en rak struktur därför att de saknar dubbelbindningar. Elektronerna repellerar varandra och intar största möjliga avstånd från varandra vilket i det här fallet resulterar i en rak kedja.



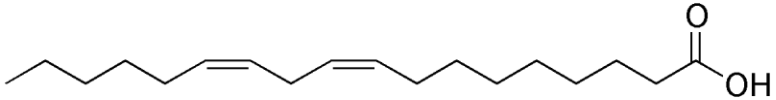


Förklaring till de vanligaste omega-begreppen

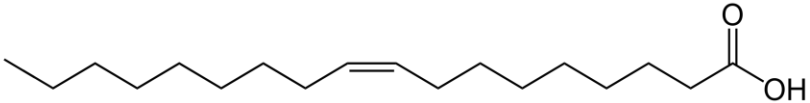
- ✓ **Omega-3:** Fleromättade fettsyror som har sin första dubbelbindning på det tredje kolet från omega-änden.
- ✓ **Omega-6:** Fleromättade fettsyror som har sin första dubbelbindning på det sjätte kolet från omega-änden.
- ✓ **Omega-9:** Enkelomättade fettsyror som har sin första och enda dubbelbindning på det nionde kolet från omega-änden.



Alfa-linolensyra; C18:3, ω-3



Linolsyra; C18:2, ω-6



Oljesyra; C18:1, ω-9

Essentiella fettsyror

- ✓ **Essentiella fettsyror:** Kroppen kan göra de flesta fettsyror från kolhydrater, proteiner eller från andra fettsyror. Men vissa fettsyror kan inte tillverkas i kroppen utan måste tillföras med födan. Dessa kallas för essentiella fettsyror.

- ✓ **2 fleromättade fettsyror är essentiella:** Det är enbart de fleromättade fettsyrorna linolsyra (omega-6) och alfa-linolensyra (omega-3) som är essentiella fettsyror för oss. Linolsyra finns i högre koncentrationer i oljor som majsolja och solrosolja, samt i produkter som innehåller dessa oljor. Alfa-linolensyra finns främst i rapsolja, samt i vissa nötter och frön, som linfrön och chiafrön.

- ✓ **Funktioner hos de essentiella fettsyrorna:**
  - Byggstenar för ännu längre fleromättade fettsyror.
  - De essentiella fettsyrorna och de fettsyror som bildas från dessa kan omvandlas till andra biologiskt aktiva ämnen, som till exempel prostaglandiner, tromboxaner och leukotriener. Dessa ämnen fungerar som signalmolekyler i kroppen och reglerar en mängd viktiga funktioner, såsom blodtryck, blodets koagulering, inflammatoriska processer, immunförsvarets aktivitet, njurarnas blodflöde samt nervsystemets utveckling och funktion.
  - De är viktiga beståndsdelar i cellmembranens fosfolipider (framförallt i hjärnans celler) och bidrar bl.a. till att cellmembranen blir mer ”flytande”, vilket underlättar transporten av ämnen in och ut ur cellerna och påverkar funktionaliteten hos receptorer och proteiner i membranet.

Transfettsyror

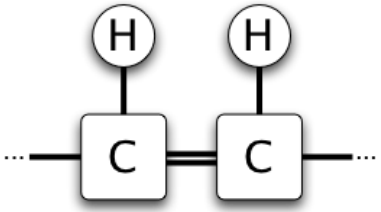
- **Vad är transfettsyror?:** Transfettsyror är omättade fettsyror där minst en dubbelbindning är i trans-form, vilket gör att väteatomerna sitter på olika sidor av dubbelbindningen och ger fettsyran en rakare form.

- **Hur uppkommer transfettsyror?:** De bildas vid industriell härdning (hydrogenering) av vegetabiliska oljor, där väte tillsätts under högt tryck och temperatur för att omvandla omättade fettsyror till mer mättade. Härdningen avbryts ofta innan alla bindningar mättas, vilket kan leda till omvandling av cis-dubbelbindningar till trans-form.

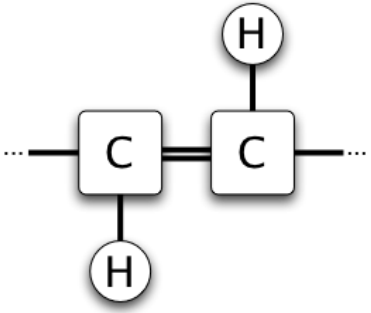
- **Varför industriell härdning?:** Syftet med industriell härdning (hydrogenering) av vegetabiliska oljor är att göra dem mer fasta, hållbara och värmestabila. Det gör oljan användbar vid fritering och i processade livsmedel som kakor, kex, pajer och frysta rätter. Den härdade oljan härsknar inte lika lätt och ger produkterna bättre konsistens och hållbarhet. En nackdel är att transfettsyror kan bildas som en oönskad bieffekt vid ofullständig härdning.

- **Negativa för hälsan:** Ej naturliga transfettsyror är negativa för vår hälsa. Bl.a. är de sammankopplade med ökad risk för hjärt- och kärlsjukdomar.

Dubbelbindning i cis-form.

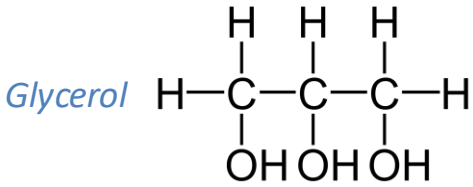


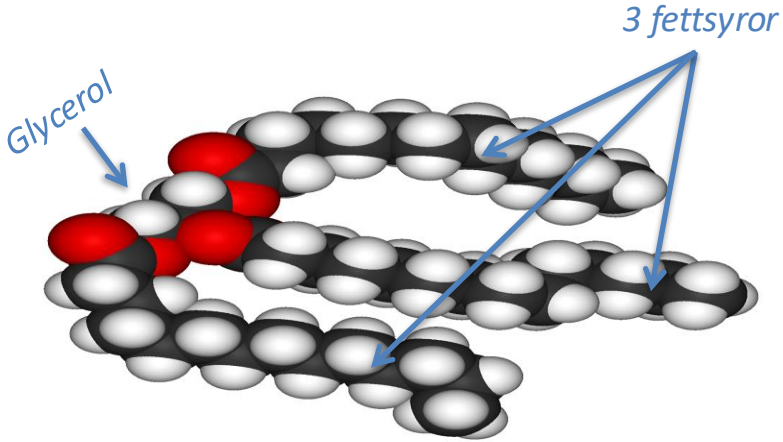
Dubbelbindning i trans-form.

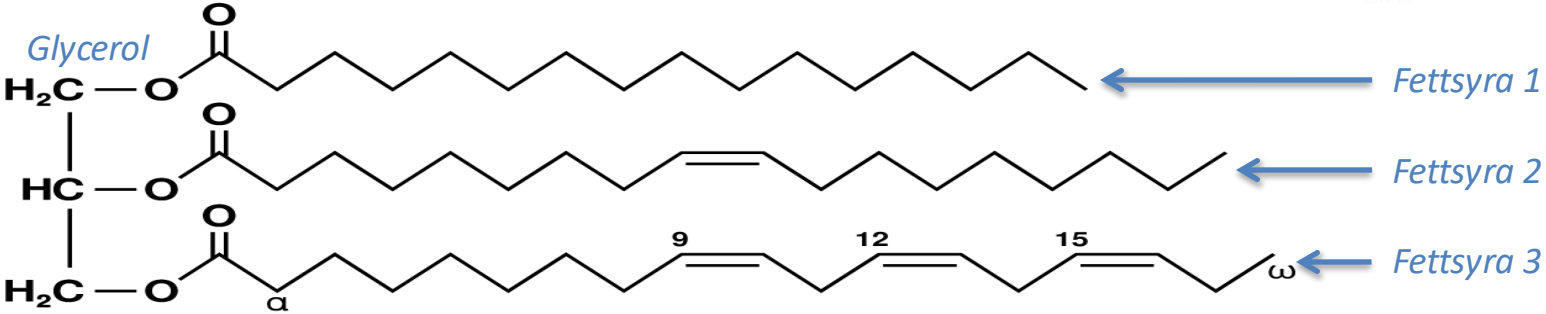


Triglycerider (triacylglyceroler)

- ✓ **Triglycerider är uppbyggda av glycerol + tre fettsyror:**
  Triglycerider (triacylglyceroler) bildas genom att alkoholen glycerol binder tre fettsyror. De fettsyror som binder till glycerolmolekylen kan vara av samma eller av olika typ.





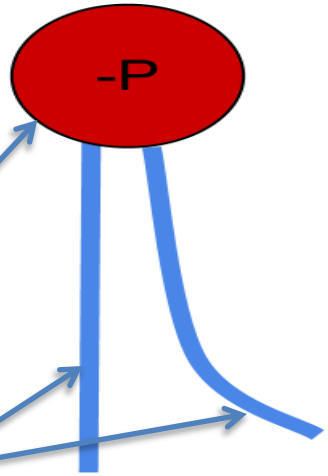


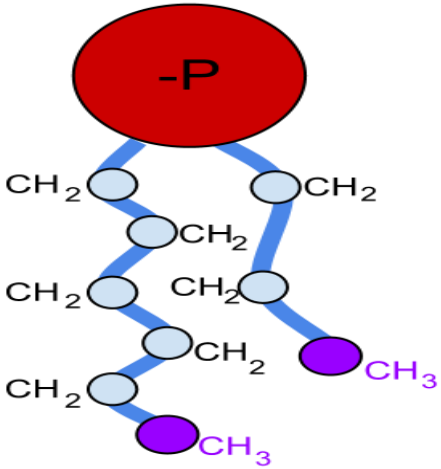
Fosfolipider

- ✓ **Fosfolipidernas uppbyggnad:** Fosfolipider påminner mycket om triglycerider, men istället för tre fettsyror består fosfolipider av två fettsyror bundna till en glycerolmolekyl (dvs. en diglycerid). Den tredje fettsyran har ersatts av en polär fosfatgrupp, och ibland kan ytterligare en molekyl (t.ex. kolin) vara bunden till fosfatgruppen.

1 polärt/hydrofilt huvud:
Glycerol + fosfat + ytterligare en molekyl (t.ex. kolin). Fosfatgruppen är negativt laddad vilket gör huvudet polärt/hydrofilt (kan binda vatten).

2 opolära/hydrofoba svansar: Varje svans utgörs av en fettsyra. Dessa svansar är opolära/hydrofoba.

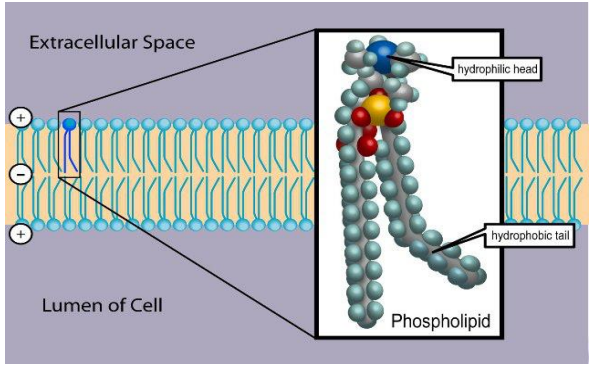




Bildkälla: "Phospholipid Chemicalmakeup" by Veggiesaur - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phospholipid_Chemicalmakeup.png#/media/File:Phospholipid_Chemicalmakeup.png

Fosfolipider bygger upp cellmembranen

- ✓ Fosfolipidernas uppgift är bygga upp alla cellmembran. Cellmembranen består av två lager med fosfolipider plus olika proteiner och kolesterolmolekyler som sitter instuckna i cellmembranet.
- ✓ Fosfolipidernas polära/hydrofila huvuden är vända utåt i båda riktningarna medan fosfolipidernas opolära/hydrofila svansar är vända inåt mot varandra. Anledningen är att de polära huvudena söker sig mot vattenmolekylerna som finns utanför och inuti cellen och skapar starka bindningar till dessa. Svansarna däremot kan ej skapa starka bindningar till vattenmolekylerna och kommer istället vända sig mot varandra och skapa bindningar.



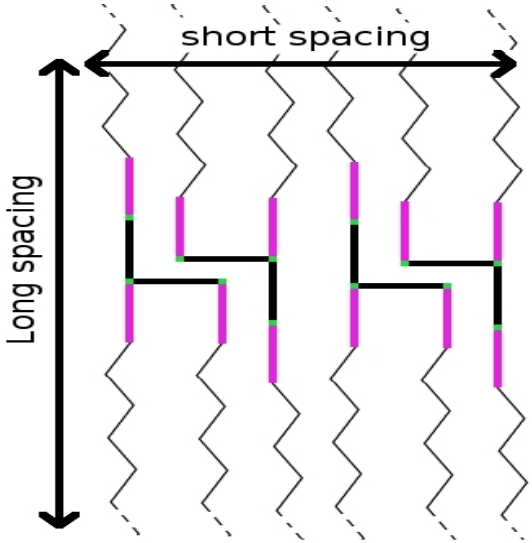
Bildkälla: Copyrighted free use, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11601719

Fettsyrornas struktur påverkar egenskaperna

- ✓ **Fetter med mycket mättade fettsyror får hård konsistens och höga smältpunkter:** Mättade fettsyror har inga dubbelbindningar och har därför en rak struktur. Triglycerider eller fosfolipider med mättade fettsyror kan packas väldigt tätt p.g.a. fettsyrornas raka struktur. Detta gör att det blir många kontaktpunkter mellan olika fettsyror och därmed många van der Waalsbindningar (London dispersionskrafter). Det leder till att fetter med stor andel mättade fettsyror får hård konsistens och hög smältpunkt (t.ex. smör).

- ✓ **Fetter med mycket omättade fettsyror får lös konsistens och låga smältpunkter:** Eftersom omättade fettsyror är krokiga går dessa inte alls att packa lika effektivt. Detta gör att det blir få kontaktpunkter mellan olika fettsyror och därmed få van der Waalsbindningar (London dispersionskrafter). Det leder till att fetter med mycket omättade fettsyror får lös konsistens och låga smältpunkter (t.ex. rapsolja).

- ✓ **Cellmembranets egenskaper:** Om ett cellmembran innehåller många mättade fettsyror så blir cellmembranet ”stelare” och mindre flexibelt jämfört med om det innehåller en hög andel omättade fettsyror.



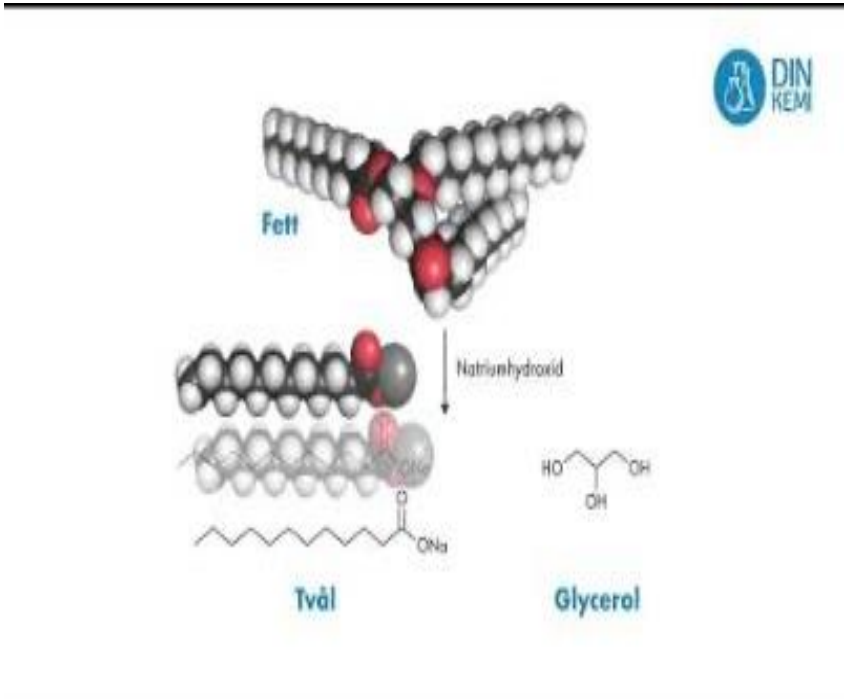
Bilden visar 4 triglycerider med mättade fettsyror. Den raka strukturen hos fettsyrorna gör att triglyceriderna får stor kontaktyta mot varandra vilket ger en hårdare konsistens.

Bildkälla: By Laghi.l (Own work) [GFDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html) or CC-BY-SA-3.0 (http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/)], via Wikimedia Commons

Förtvålningsreaktionen (saponifiering)

- ✓ **Förtvålningsreaktionen:** Förtvålningsreaktionen (eller saponifiering) är en kemisk reaktion där fett, oftast triglycerider, reagerar med en stark bas och bildar tvålmolekyler (fettsyrasalter) och glycerol.

- ✓ **Hårdtvål resp. flytande tvål:**
  - När natriumhydroxid (NaOH) används som stark bas, bildas hårdtvål eftersom fettsyrasalter med natriumjoner har låg löslighet i vatten och bildar fasta kristaller. Detta gör att tvålen får en hårdare konsistens.
  - När istället kaliumhydroxid (KOH) används som bas, bildas flytande tvål eller såpa. Fettsyrasalter med kaliumjoner bättre löslighet i vatten vilket gör att tvålen får en mjukare och mer löslig struktur.

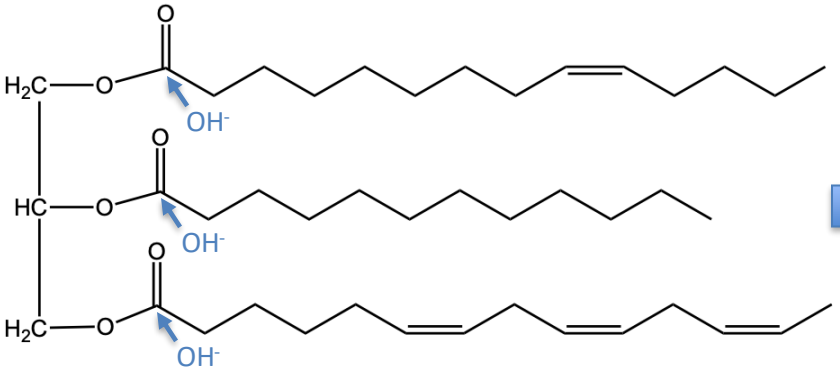


Triglycerider + Stark bas (KOH eller NaOH) → Fettsyrasalter + Glycerol

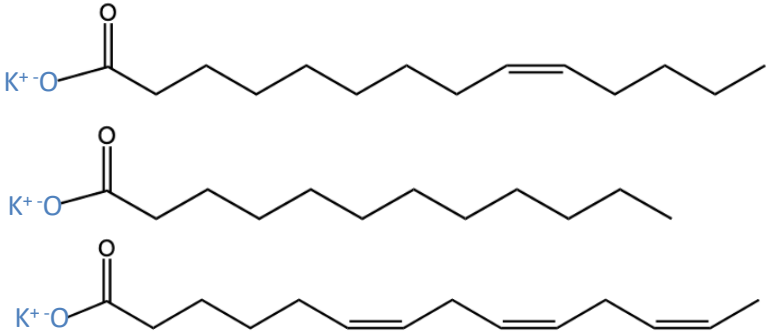
Källa: https://www.youtube.com/watch?v=FGXo4gAWpc4

Förtvålningsreaktionen i detalj

Triglycerid (triacylglycerol)

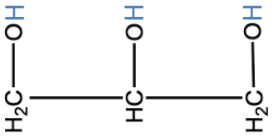


Fettsyrasalter



Reaktionen:

1. Hydroxidjonerna (OH^-) från den starka basen gör en nukleofil attack på karbonylkolet (C=O) i esterbindningarna hos triglyceriden. Detta leder till att esterbindningarna bryts, vilket frigör glycerol och fettsyror i form av karboxylatjoner.
2. De positiva jonerna (Na^+ eller K^+) från basen binder sedan med jonbindningar till det negativt laddade "huvudet" på karboxylatjonen (en av syreatomerna med ett elektronöverskott). Resultatet blir fettsyrasalter, vilket är detsamma som tvålmolekylerna.



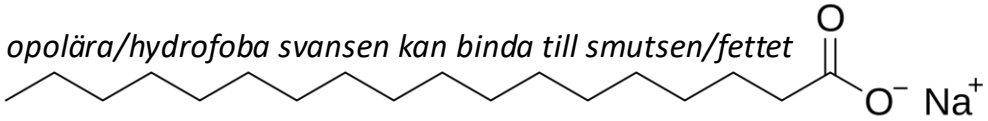
Glycerol

Triglycerider + Stark bas (KOH eller NaOH) → Fettsyrasalter + Glycerol

Tvålmolekyler är en typ av tensider

- ✓ **Vad är tensider?:** Tensider är ämnen som har en polär/hydrofil del och en opolär/hydrofob del. Denna struktur gör att de kan binda till både vatten och fett, vilket gör dem effektiva för att lösa upp fett och smuts i vatten. Tack vare dessa egenskaper används tensider i rengöringsmedel som tvål, schampo och diskmedel.
- ✓ **Hur fungerar tensider?:** Den opolära/hydrofoba delen (svansen) binder smutsen/fettet medan den polära/hydrofila delen (huvudet) binder till vatten och därmed kan smutsen sköljas bort med vatten!

Den opolära/hydrofoba svansen kan binda till smutsen/fettet



Det polära/hydrofila huvudet kan binda till vatten

Natriumstearat är den vanligaste tensiden i de flesta hårdtvålar

Vad är kolhydrater?

- ✓ **Uppbyggnad:**
  - Kolhydrater är energirika föreningar som är uppbyggda av kol (C), väte (H) och syre (O).
  - Namnet kolhydrat kommer från kol och vatten (hydro). Det visar att många kolhydrater har den allmänna molekylformeln $c_m(H_2O)_n$. Heltalen m och n kan vara lika men behöver inte vara det.
  - Kolhydrater har minst två hydroxylgrupper och påminner därför om flervärda alkoholer.
  - De enkla kolhydraterna (som också är byggstenar till de sammansatta och mer komplexa kolhydraterna) har en aldehydgrupp eller ketogrupp (när de förekommer i linjär form) och är alltså aldehyder eller ketoner.

- ✓ **Bildas i fotosyntesen:** Växterna och andra fotosyntetiserande organismer som cyanobakterier (blågröna alger) binder koldioxid och vatten och producerar kolhydrater i en process som kallas fotosyntes. Varje år binds ca 100 miljarder ton koldioxid på detta sätt. Det är den enkla kolhydraten glukos som bildas i fotosyntesen. Glukos kan sedan användas för att bygga mer komplexa kolhydrater och även andra typer av föreningar.

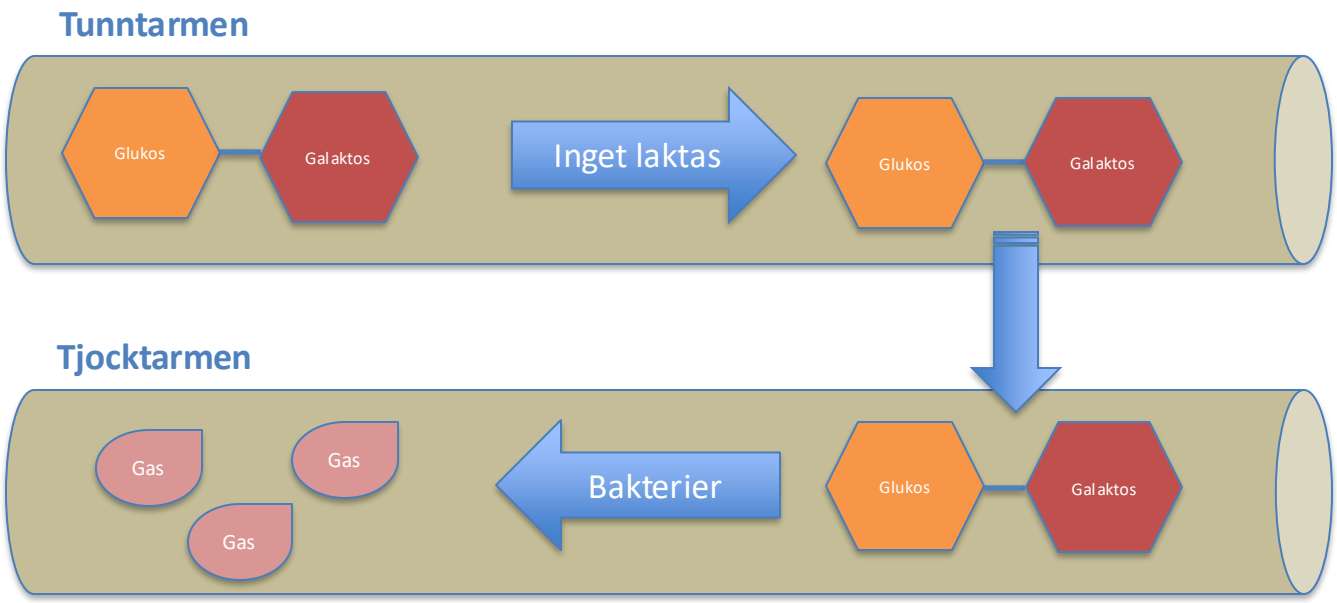
- ✓ **Användningsområden hos växterna:** Växterna använder kolhydraterna som direkt energikälla eller sparar dessa som energilager i form av stärkelse (t.ex. är potatisar lagrade kolhydrater i form av stärkelse). Växterna använder även kolhydraterna som byggnadsmaterial till cellväggarna (i form av cellulosa).

Olika typer av kolhydrater

Typ av kolhydrat:	Enkel/sammansatt:	Uppbyggnad:	Exempel:
Monosackarider:	Enkla kolhydrater	Uppbyggda av 3-7 kolatomer men 3, 5 eller 6 är vanligast. De har en aldehyd- eller ketongrupp (när de är i linjär form).	▪ Glukos ▪ Galaktos ▪ Fruktos
Disackarider:	Sammansatta kolhydrater	Två monosackarider har kopplats ihop med varandra.	▪ Maltos (glukos-glukos) ▪ Laktos (glukos-galaktos) ▪ Sackaros (glukos-fruktos)
Oligosackarider:	Sammansatta kolhydrater	3-10 monosackarider har kopplats ihop med varandra.	▪ Maltooligosackarider (MOS) ▪ Fruktooligosackarider (FOS) ▪ Galaktooligosackarider (GOS)
Polysackarider:	Sammansatta kolhydrater	Över 10 monosackarider har kopplats ihop med varandra. De vanligaste är uppbyggda av enbart monosackariden glukos.	▪ Stärkelse (amylos & amylopektin) ▪ Cellulosa ▪ Glykogen

Laktosintolerans

- ✓ Laktosintoleranta saknar enzymet laktas (eller har för lite av det). Om inte laktos kan spjälkas i tunntarmen kommer bakterier i tjocktarmen spjälka laktosen vilket leder till gasbildning, buksmärtor, diarré och andra matsmältnings-besvär. Vissa personer med laktosintolerans har en mildare form och kan hantera små mängder laktos, medan andra behöver helt undvika det.



Kolhydraternas funktioner i kroppen

- ✓ **Energikälla i cellerna**: Kolhydrater är den främsta källan till energi för kroppen. När vi äter kolhydrater bryts de ned till glukos, som används av cellerna som bränsle för att utföra sina funktioner.
- ✓ **Hjärnans favoritbränsle**: Glukos är också hjärnans primära bränsle. Hjärnceller kräver en konstant tillförsel av glukos för att fungera korrekt och kolhydrater är den främsta källan till denna glukosförsörjning. Hjärnan kan nämligen inte använda sig av fett och proteiner som direkt energikälla, vilket andra celler kan göra.
- ✓ **Energilagring**: Överskott av glukos från kolhydrater kan lagras i levern och i musklerna i form av glykogen för att användas som energireserv vid behov. Om blodsockret sjunker och hjärnan börjar få slut på glukos så kommer levern kunna utsöndra glukos i blodet så att blodsockret höjs och hjärnan åter får tillgång till glukos.
- ✓ **Cellstruktur och signalering:** Vissa kolhydrater bidrar till cellernas struktur och stabilitet. Dessutom fungerar vissa kolhydrater som signalämnen och deltar i cellulär kommunikation mellan olika celler.
- ✓ **Viktiga för immunförsvaret:** Kolhydrater är nödvändiga för att immunsystemet ska fungera korrekt. Många proteiner som är involverade i immunförsvaret, såsom antikroppar och cytokiner, innehåller kolhydratkedjor.

Kolhydrater är inte essentiella

- ✓ **Kolhydrater är inte essentiella:** Kolhydrater är inte essentiella i strikt mening, eftersom vi kan tillverka kolhydrater i kroppen från andra ämnen. Även om kolhydrater inte är "essentiella" i den meningen att de är nödvändiga för överlevnad, är de fortfarande en viktig del av en balanserad kost och kan ha flera hälsofördelar när de konsumeras i lämpliga mängder och från näringsrika källor.

- ✓ **I glukoneogenesen tillverkas glukos:** Kroppen kan faktiskt syntetisera glukos, den enklaste formen av kolhydrat, från andra källor som aminosyror (finns i proteiner) och glycerol (finns i fettmolekyler/triglycerider). Glukos kan även bildas från laktat (anjonen av mjölksyra), men eftersom laktat enbart bildas i cellerna när glukos bryts ned så behövs det glukos för att bilda laktat! Processen där glukos nyproduceras kallas glukoneogenes och sker främst i levern och i mindre utsträckning i njurarna. Glukos kan sedan användas för att bygga andra kolhydrater som kroppen behöver.

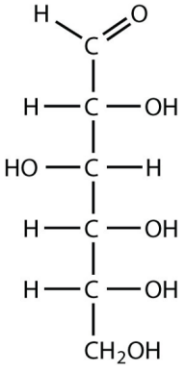
Aminosyror (alanin), glycerol, laktat

Glukoneogenesen (i levern)

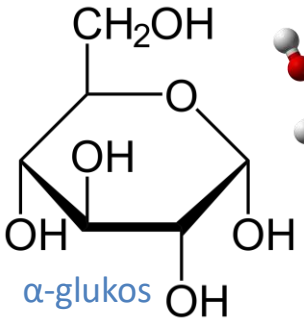
Glukos

Glukos kan förekomma i en linjär och två olika cykliska former

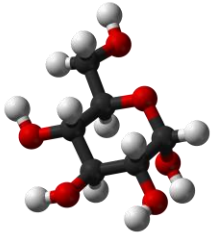
- **Linjär form (ca 0,02 % i vattenlösningar):** Den linjära formen har en aldehydgrupp (vilket de cykliska formerna inte har.
- **α-glukos (ca 36 % i vattenlösningar):** OH-gruppen på kol 1 pekar i motsatt riktning som CH_2OH-gruppen om det är α-glukos. På en tvådimensionell bild ritar man ut att OH-gruppen pekar nedåt på alfa-glukos. I 3D pekar OH-gruppen bakåt i planet.
- **β-glukos (ca 64 % i vattenlösningar):** OH-gruppen på kol 1 pekar i samma riktning som CH_2OH-gruppen om det är β-glukos. På en tvådimensionell bild ritar man ut att OH-gruppen pekar uppåt på beta-glukos. I 3D pekar OH-gruppen snett framåt i planet. β-glukos är stabilare än α-glukos och förekommer därför i lite högre grad i vattenlösningar (ca 64 % jämfört med ca 36 %).
- **Enantiomerer:** α-glukos och β-glukos är enantiomerer (spegelbildsisomerer). På kolatom nummer 1 pekar OH-gruppen åt olika håll i rymden.



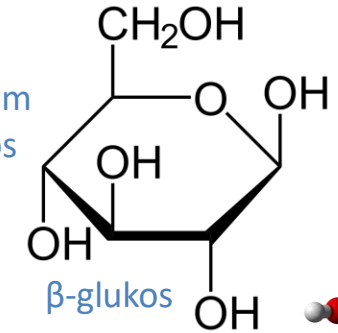
Linjär form av glukos



α-glukos

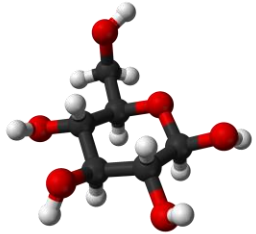


OH-gruppen pekar bakåt/ nedåt i 3D



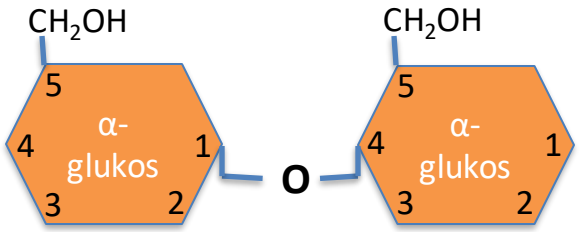
β-glukos

OH-gruppen pekar snett framåt i 3D

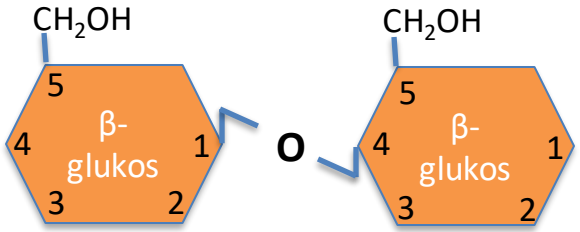


Två huvudtyper av bindningar förekommer mellan glukosmolekyler

α-glykosidbindning:
Om två α-glukos reagerar med varandra bildas en α-glykosidbindning. Om bindningen sitter mellan kol nr. 1 (på den ena glukosmolekylen) och kol nr. 4 (på den andra glukosmolekylen) kallas bindningen för en ”α-1,4-glykosidbindning”.



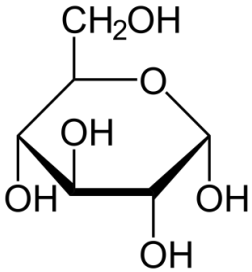
α-1,4-glykosidbindning

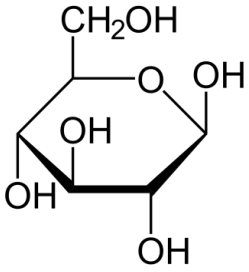


β-1,4-glykosidbindning

β-glykosidbindning:
Om två β-glukos reagerar med varandra bildas en β-glykosid-bindning. Om bindningen sitter mellan kol nr. 1 (på den ena glukosmolekylen) och kol nr. 4 (på den andra glukos-molekylen) kallas bindningen för en ”α-1,4-glykosid-bindning”.

α-glukos

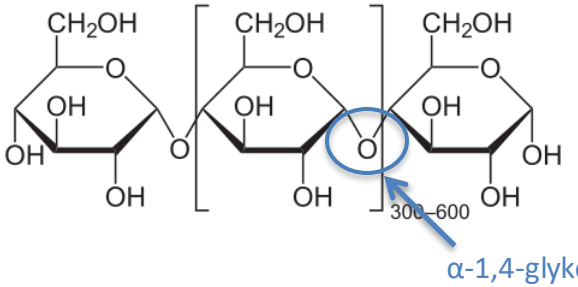




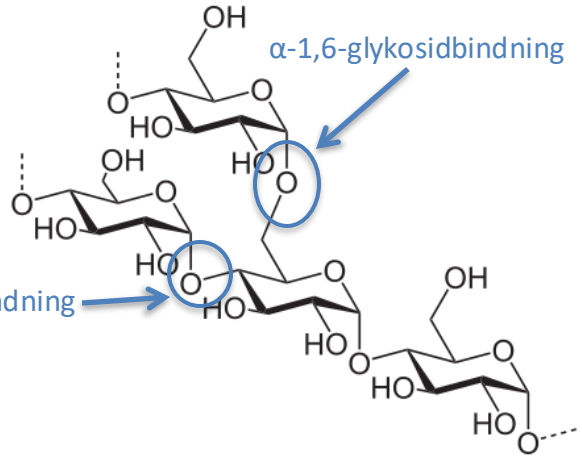
β-glukos

2 typer av polysackarider kallas för stärkelse

Amylos



Amylopektin



OBS: Båda stärkelsesorterna har en helixstruktur (spiralform) vilket inte framgår av bilderna. α-bindningarna möjliggör en sådan struktur.

- ✓ **Stärkelse:** Stärkelse består av långa kedjor av α-glukosmolekyler. Det finns två huvudsakliga former av stärkelse, amylos och amylopektin. Stärkelse är den viktigaste energireserven för växter och förekommer främst i form av små partiklar eller korn i växternas frön, rötter och stammar.

- ✓ **Amylos:** Amylos är en stärkelsesort som utgörs av en lång ogrenad kedja av α-glukos bundna via α-1,4-glykosidbindningar. Amylos ansvarar främst för de gelbildande egenskaperna hos stärkelse.

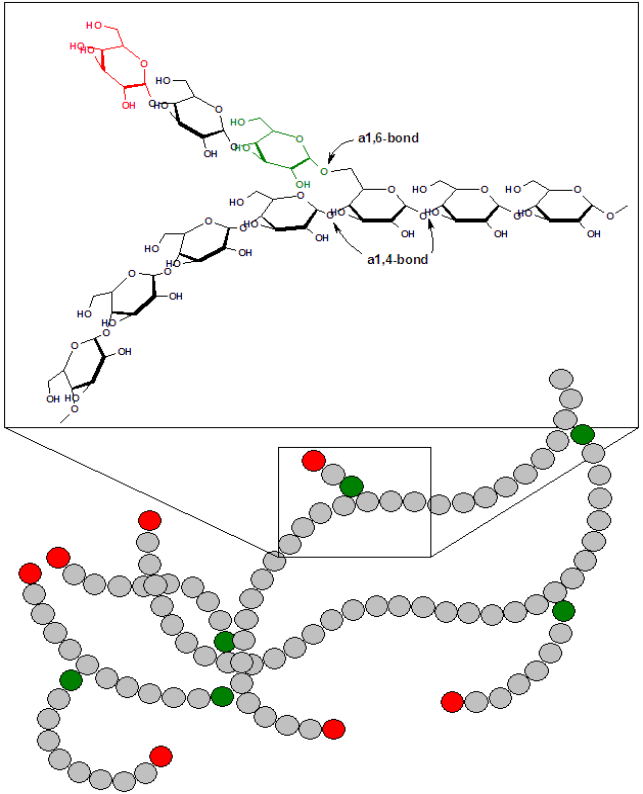
- ✓ **Amylopektin:** Amylopektin är en stärkelsesort som består av en lång förgrenad kedja med α-glukos bundna via α-1,4-glykosidbindningar och α-1,6-glykosidbindningar. α-1,6-glykosidbindningarna är vid förgreningarna (ungefär vid var 20-30:e glukos). Amylopektin utgör den största andelen stärkelse i de flesta livsmedel.

Polysackariden glykogen

- ✓ **Uppbyggnad:** Glykogen liknar de båda stärkelsesorterna amylos och amylopektin eftersom glykogen också är uppbyggd av α-glukos och har α-1,4-glykosidbindningar. Således kan även glykogen spjälkas av oss människor.

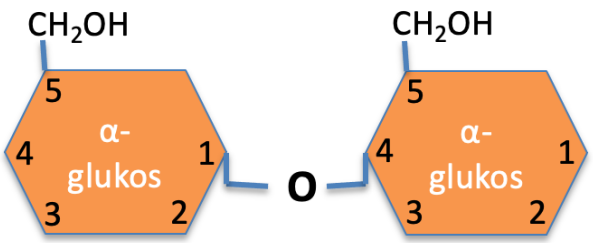
- ✓ **Kraftigt förgrenad:** Glykogen är dock mer förgrenat jämfört med de båda stärkelsesorterna. Glykogen har en förgrening vid ungefär var 8-12:e glukos (amylopektin vid ungefär var 20-30:e glukos medan amylos saknar förgreningar).

- ✓ **Funktion:** Djur lagrar kolhydrater i form av glykogen. Glykogen lagras framförallt i muskelceller och i levern. Vid behov spjälkas glykogen till glukos. Vid lågt blodsocker (hypoglykemi) spjälkar levern, under påverkan av hormonet glukagon, glykogen till α-glukos som sedan utsöndras till blodet för att höja blodsockret. Vid fysiskt arbete spjälkar musklerna lagrat glykogen till α-glukos som sedan används som energikälla i cellerna. Inför en fysisk prestation är det bra att äta mycket kolhydrater för att öka sina glykogenförråd i muskler och i levern.

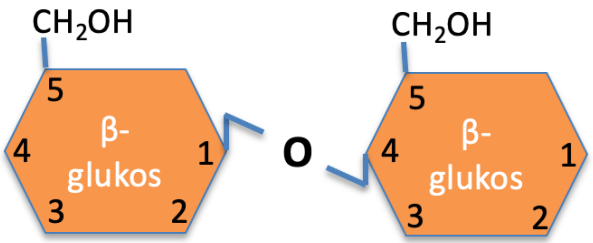


Människor kan enbart spjälka kolhydrater som har α-bindningar

- ✓ **Amylas kan enbart spjälka α-bindningar:** Det kolhydrat-spjälkande enzymet amylas som utsöndras från bukspottkörteln och från spottkörtlarna hos oss människor, kan enbart spjälka kolhydrater som innehåller α-glukos och därmed α-bindningar (obs. laktos innehållande β-glukos kan spjälkas av enzymet laktas).



α-1,4-glykosidbindning



β-1,4-glykosidbindning

- ✓ **Idisslare och termiter kan spjälka β-bindningar:** Idisslare och termiter kan däremot spjälka β-bindningar eftersom de har bakterier i mag-/tarmkanalen som producerar enzymet cellulas. Dessa djur kan därför äta cellulosa (t.ex. gräs) och använda det som en energikälla.

- ✓ **Kostfibrer:** Alla kolhydrater som innehåller β-glykosidbindningar och därför inte kan spjälkas av människor kallas för kostfibrer. Alla kostfibrer har en avlång struktur (fiberstruktur).

Vi kan ej spjälka kostfibrer p.g.a. β-bindningar

Kolhydrater

Glykogen (polysackarid)	Amylos (polysackarid)	Amylopektin (polysackarid)	Kostfibrer (oligosackarider polysackarider)
α-bindningar Spjälkas till glukos och absorberas av blodet	**α-bindningar** Spjälkas till glukos och absorberas av blodet	**α-bindningar** Spjälkas till glukos och absorberas av blodet	**β-bindningar** Kan ej spjälkas, passerar ut med avföringen*

**En del kostfibrer kan brytas ner av tarmbakterier till kortkedjiga fettsyror, som sedan absorberas och har positiva effekter i kroppen.*

Kostfibrer

- ✓ **Vad menas med kostfibrer?:** Kostfibrer är ett samlingsnamn på olika former av icke-nedbrytbara kolhydrater som finns i växter. Alla kolhydrater som innehåller β-glykosidbindningar är kostfibrer eftersom vi inte har några enzymer som kan bryta ned dessa i tunntarmen. Kostfibrerna kan inte tas upp av blodet från tunntarmen och når därför tjocktarmen utan att kunna bidra med någon energi till kroppen. De flesta kostfibrer passerar sedan ut med avföringen. En del kostfibrer kan dock brytas ner av tarmbakterier till kortkedjiga fettsyror, som sedan absorberas och har positiva effekter i kroppen.

- ✓ **Exempel på olika polysackarider som räknas som kostfibrer:**
  - Cellulosa: Cellulosa är den vanligaste formen av kostfibrer och finns i väggarna hos växtceller. Den är olöslig i vatten och bidrar till att ge struktur och stadga åt växter.
  - Pektin: Pektin är en form av löslig fiber som finns i många frukter och bär, särskilt äpplen och citrusfrukter.
  - Betaglukaner: Betaglukaner är en annan form av löslig fiber som finns i havre, korn och vissa svampar.

- ✓ **Fördelen med kostfibrer:**
  - Bättre blodsockerkontroll (kostfibrerna höjer inte vårt blodsocker och gör även att övriga kolhydrater tas upp långsammare).
  - Ger mättnadskänsla och inget energiintag vilket minskar risken för övervikt.
  - Bra för tarmarnas rörelse och därmed tarmhälsan vilket minskar risken för bl.a. tjocktarmscancer.
  - Främjar tillväxten av goda bakterier i tarmen.
  - Sänker kolesterolvärdet vilket minskar risken för hjärt-kärlsjukdomar.

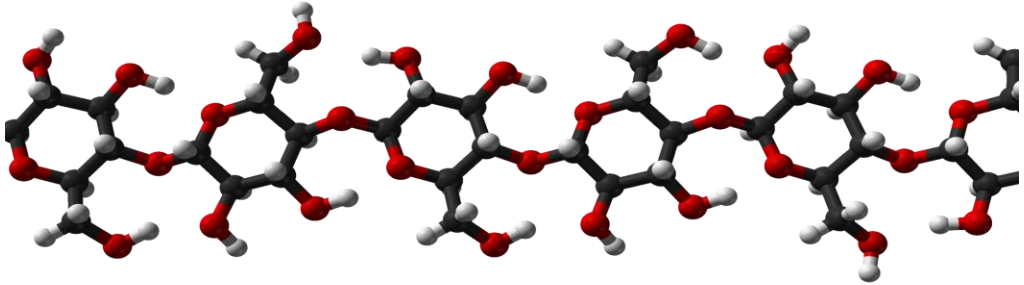
Polysackariden cellulosa är en kostfiber

- ✓ **Uppbyggnad:** Cellulosa är en lång ogrenad kedja av β-glukosmolekyler som är sammankopplade med beta-1,4-glykosidbindningar. Cellulosa har en rak och linjär struktur istället för en spiralform som hos amylos och amylopektin.

- ✓ **Räknas som en kostfiber:** Cellulosa är en kolhydrat som människokroppen inte kan bryta ned på grund av att vi saknar de nödvändiga enzymerna för att bryta β-1,4-glykosidbindningarna. Därför betraktas cellulosa som en kostfiber.

- ✓ **Funktion:** Cellulosa bygger upp växternas cellväggar. Den linjära och raka strukturen av glukosmolekylerna i cellulosa tillåter att många cellulosasträngar bildar parallella fibriller som sedan staplas sida vid sida för att skapa en stark och motståndskraftig struktur.

Cellulosa är en lång ogrenad kedja av β-glukosmolekyler sammankopplade med β-1,4-glykosidbindningar.



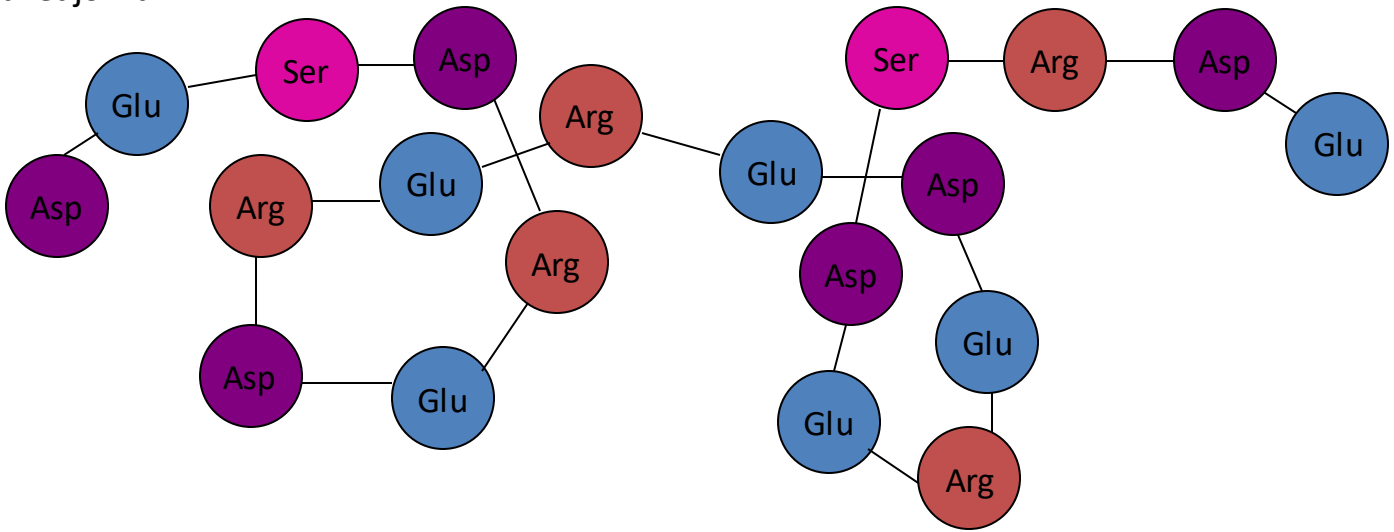
Jämförelse mellan olika polysackarider

Polysackarid:	Uppbyggd av:	Förgreningar:	Bindningar:	Funktion:	Kan spjälkas av människor?
Amylos:	α-glukos	Nej	α-1,4-glykosid-bindningar	Lagrad energi hos växter	Ja
Amylopektin:	α-glukos	Ja, vid ungefär var 20-30:e glukos	α-1,4- och α-1,6-glykosidbindningar	Lagrad energi hos växter	Ja
Glykogen:	α-glukos	Ja, vid ungefär var 8-12:e glukos	α-1,4- och α-1,6-glykosidbindningar	Lagrad energi hos djur (i framförallt muskel- och leverceller)	Ja
Cellulosa:	β-glukos	Nej	β-1,4-glykosid-bindningar	Bygger upp cellväggen hos växter	Nej

Proteiner är uppbyggda av aminosyror

- ✓ **Uppbyggda av aminosyror:** Proteiner är uppbyggda av aminosyror som är sammanlänkade i en eller flera långa kedjor. Aminosyrorna binds ihop med peptidbindningar – en särskild typ av kovalenta bindningar med unika egenskaper. Det finns 20 olika aminosyror som tillsammans bygger upp kroppens proteiner. För att ett protein ska bildas krävs minst 50 aminosyror, men de flesta proteiner består av flera hundra eller ännu fler.

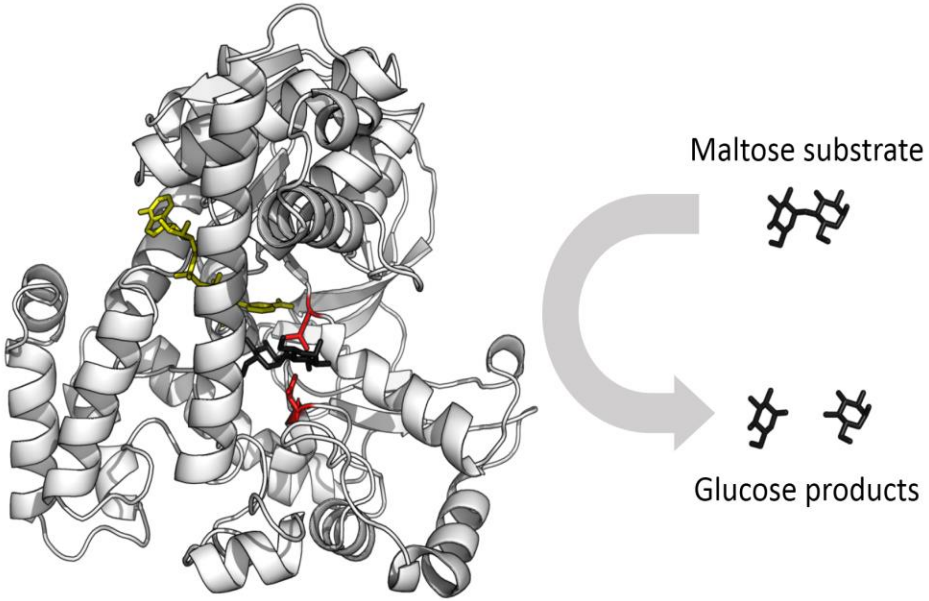
- ✓ **Består av minst en polypeptidkedja:** En längre kedja av aminosyror kallas för en polypeptidkedja och ett protein består av minst en sådan polypeptidkedja. Proteiner kan även bestå av andra ämnen som är bundna till polypeptidkedjorna.



Strukturen är helt avgörande för proteinets funktion

- ✓ **Proteinets struktur bestämmer funktionen:** Polypeptidkedjan i ett protein är veckad på ett specifikt sätt, vilket ger en unik 3D-struktur. Denna struktur avgör proteinets funktion, till exempel kräver enzymer en viss form för att binda sina substrat och katalysera reaktioner. Om strukturen förändras förlorar proteinet sin funktion.

- ✓ **Exempel:** Enzymet galaktosidas måste ha en viss 3D-struktur för att binda substratet maltos och spjälka det till två glukosmolekyler. Om strukturen förstörs, förlorar enzymet sin förmåga att binda maltos och kan inte utföra sin funktion.

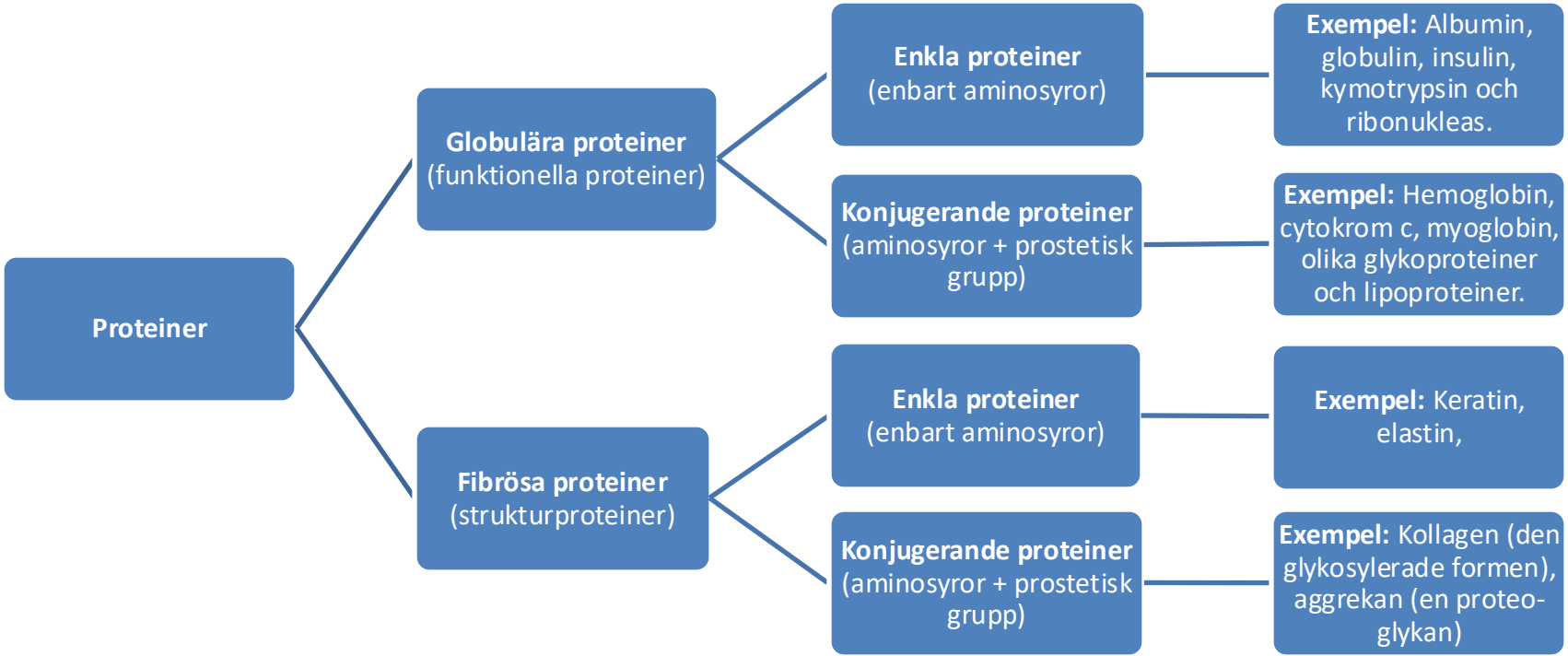


Tack vare sin 3D-struktur kan enzymet galaktosidas binda och spjälka maltosmolekyler till glukosmolekyler.

Bildkälla: "Galactosidase enzyme" by Thomas Shafee - Own work. Licensed under CC BY-SA 4.0 via Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galactosidase_enzyme.png#/media/File:Galactosidase_enzyme.png

DET VIKTIGASTE FRÅN:
BLOCK 3, DEL 2

Översikt över olika typer av proteiner



Proteiner kan delas in i 2 huvudgrupper

	Globulära proteiner (funktionella proteiner):	Fibrösa proteiner (strukturproteiner):
Struktur:	Sfäriska och kompakta	Långa och trådliknande
Löslighet:	Lösliga i vatten	Olösliga i vatten
Funktion:	Katalyserar kemiska reaktioner i kroppen (enzymer), binder och transporterar molekyler (transportproteiner), skyddar kroppen mot patogener (försvarsproteiner), medverkar i kommunikation mellan celler och vävnader (hormoner, receptorer) m.m.	Bygger upp olika vävnader. De ger styrka, hårdhet och stabilitet åt olika vävnader. De fungerar som ett skyddande lager för celler och organ. Vissa tillhandahåller elasticitet i vävnader som måste ändra form och återgå till sin ursprungliga form (t.ex. blodkärl och hud).
Exempel:	**Hemoglobin:** Transporterar syre från lungorna och koldioxid tillbaka till lungorna. **Insulin:** Reglerar blodsockernivån genom att signalera till celler att ta upp glukos från blodet. **Immunoglobulin G (IgG):** Är en antikropp som identifierar och binder till främmande ämnen (antigener).	**Kollagen:** Bygger upp och ger draghållfasthet i bindväv, senor, ligament och ben. **Keratin:** Bygger upp och ger hårdhet och styrka i hår, naglar, fjädrar och horn. **Elastin:** Möjliggör att vävnader som blodkärl och hud kan töjas och återfå sin form.

Olika typer av globulära proteiner och deras funktioner

- ✓ **Enzymer:** Många proteiner fungerar som enzymer vilket innebär att de kan katalysera en kemisk reaktion (påskynda reaktionen) utan att själva förbrukas. Laktas är ett enzym som spjälkar disackariden laktos (mjölksocker) till monosackariderna glukos och galaktos.

- ✓ **Reglerande proteiner:** Reglerande proteiner är proteiner som kan påverka och förändra en cells aktivitet, t.ex. aktivera ett specifikt protein i cellen eller öka uttrycket av en specifik gen. Ex. på reglerande proteiner är framförallt olika hormoner i blodet som binder till receptorer på eller i cellerna, men även olika typer av signalproteiner inuti cellerna. Insulin är ett hormon som t.ex. kan aktivera vesiklar som innehåller GLUT4-proteiner, vilket gör att cellen kan ta upp glukos från blodet.

- ✓ **Lagringsproteiner/förrådsproteiner:** Det finns proteiner som kan lagra ämnen och frigöra dem vid behov. Till exempel myoglobin som lagrar syre i muskelceller och gluten som lagrar kväve i vetekornet.

- ✓ **Transportproteiner:** Många proteiner fungerar som transportörer av andra ämnen. I blodet finns hemoglobin som transporterar syre, transferrin som transporter järn, albumin som transporterar fettsyror och prealbumin som transporterar hormonerna tyroxin (T4) och trijodtyronin (T3). I cellmembranen finns också ett flertal olika transportproteiner som är avgörande för att olika ämnen ska kunna transporteras in och ut ur cellerna.

Olika typer av globulära proteiner och deras funktioner

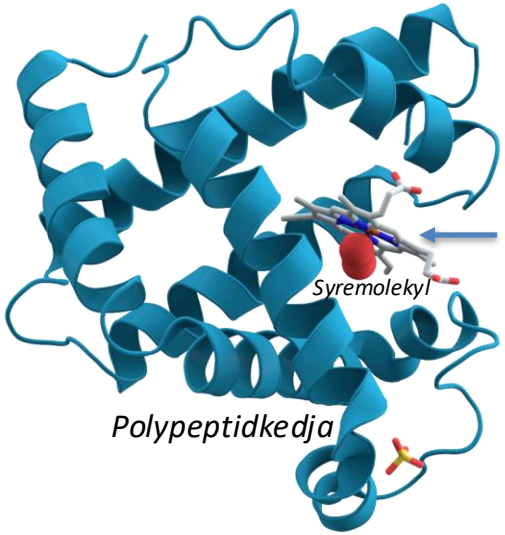
- ✓ **Försvarsproteiner:** De vita blodkropparna, leukocyterna, utsöndrar antikroppar och andra försvarsproteiner för att bekämpa virus och bakterier.
- ✓ **Receptorer:** Receptorer är proteiner som ofta sitter i eller utanpå cellmembranet och som olika hormoner kan binda till. När hormonet binder till sin receptor startar en signaltransduktion inuti cellen som leder till att cellen på olika sätt ändrar sin aktivitet. Insulinreceptorn startar en signaltransduktion i cellen när hormonet insulin binder till receptorn.
- ✓ **Motorproteiner:** Ett motorprotein är ett protein som kan röra sig över en yta och hjälper ofta till att förflytta olika saker i cellen. Motorproteinet myosin som finns i våra muskelfibrer förskjuter de s.k. aktinfilamenten vilket gör att hela muskelfibern dras samman. Motorproteinet dynein förflyttar kromosomerna under celldelningen och flyttar även cellens organeller. Många motorproteiner binder till och utnyttjar cellskelettet för att kunna förflytta olika molekyler eller organeller i cellen.

Många proteiner innehåller prostetiska grupper

- ✓ **Prostetiska grupper:** Förutom en eller flera polypeptidkedjor så innehåller många proteiner ofta en eller flera s.k. prostetiska grupper. Prostetiska grupper är inte uppbyggda av aminosyror. Prostetiska grupper är antingen metalljoner eller organiska molekyler som sitter hårt och permanent bundna till sina respektive proteiner (ofta med kovalenta bindningar). De prostetiska grupperna kan även vara en organisk molekyl som innehåller metalljoner, t.ex. hemgruppen som binder en järnjon.

- ✓ **Prostetiska grupper är nödvändiga för proteinets funktion:** De prostetiska grupperna är en integrerad del av proteinstrukturen och är nödvändiga för att proteinet ska fungera korrekt. Är proteinet ett enzym så är den prostetiska gruppen ofta avgörande för att enzymet ska kunna katalysera sin kemiska reaktion.

Myoglobin
(en polypeptidkedja + en hemgrupp)



Prostetisk grupp (hemgrupp)

Bildkälla: By →AzaToth - self made based on PDB entry, Public Domain, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=68596

Enkla och konjugerande proteiner

	Enkla proteiner:	Konjugerande proteiner:
Sammansättning:	Består av en eller flera aminosyrakedjor (polypeptidkedjor).	Består av en eller flera aminosyrakedjor (polypeptidkedjor) och en prostetisk grupp
Exempel:	Albumin, globulin, insulin, kymotrypsin och ribonukleas.	Hemoglobin, cytokrom c, myoglobin, olika glykoproteiner och olika lipoproteiner.

Aminosyrornas funktioner

1. **Behövs för proteinsyntesen**: Aminosyror är byggstenar för proteiner. I cellerna används aminosyror för att syntetisera proteiner genom att de binds samman i specifika sekvenser enligt instruktioner från cellens DNA. Denna process kallas proteinsyntesen och den sker i ribosomerna (”proteinfabriker”) i cellerna. Proteinerna har i sin tur en rad viktiga funktioner i organismerna (enzymer, receptorer, transportörer, hormoner etc.).

2. **Behövs för syntes av andra föreningar än proteiner**: Aminosyror kan även användas i kroppen för att syntetisera en rad olika föreningar som inte är proteiner, t.ex. kvävebaserna som ingår i nukleotiderna och glukos (druvsocker). Vissa aminosyror (t.ex. alanin) kan vid glukosbrist transporteras till levern och där omvandlas till glukos via en process som heter glukoneogenesen.

3. **Energi**: Aminosyror kan vid behov användas för att producera användbar energi i cellerna (ATP-molekyler).

4. **Signalering**: Aminosyror kan fungera som signalsubstanser i olika celler och i nervsystemet. T.ex. tillverkas signalsubstanserna/neurotransmittorerna glutamat, serotonin och dopamin från enskilda aminosyror. Dessa spelar en viktig roll i överföringen av signaler mellan nervceller och i regleringen av olika fysiologiska processer.

Essentiella aminosyror

- ✓ **Essentiella aminosyror:** Vissa aminosyror kan tillverkas i organismen (från t.ex. glukos) medan andra måste tillföras med födan. De aminosyror vi måste tillföra med födan kallas för essentiella (livsnödvändiga). Det finns 9 aminosyror som betraktas som essentiella. Dessa aminosyror är essentiella eftersom kroppen inte kan producera dem själv i tillräckliga mängder (från andra ämnen), så de måste erhållas genom kosten. Dessa aminosyror är grundläggande för proteinsyntesen och andra biologiska funktioner i kroppen, och det är mycket viktigt att få tillräckliga mängder av dem genom kosten.

- ✓ **Brist på essentiella aminosyror:** Brist på essentiella aminosyror kan leda till allvarliga hälsoproblem, t.ex. muskelsvaghet, svagare immunförsvar, håravfall, mentala problem och tillväxthämning hos barn. Sjukdomar som kwashiorkor och marasm kan också utvecklas och få dödlig utgång vid långvarig brist på essentiella aminosyror.

- ✓ **Här är de 9 essentiella aminosyrorna:**

1. Isoleucin
2. Leucin
3. Lysin
4. Metionin
5. Fenylalanin
6. Treonin
7. Tryptofan
8. Valin
9. Histidin*

**Histidin är essentiell för barn, men kan syntetiseras i vissa mängder hos vuxna. I vissa källor anges därför 8 aminosyror som essentiella. De flesta källor brukar dock ange histidin som essentiell eftersom den inte kan syntetiseras i tillräcklig stor mängd av kroppen och därför även måste intas genom kosten.*

Aminosyrorna har oftast en laddad struktur

- ✓ Bilden till vänster visar den neutrala, oladdade formen av en aminosyra medan bilden till höger visar den laddade formen, vilket är hur de flesta aminosyror ser ut vid fysiologiskt pH-värde (ca 7,4). Fysiologiskt pH-värde är det pH-värde som råder i vårt blod och i våra vävnader.

Oladdad struktur

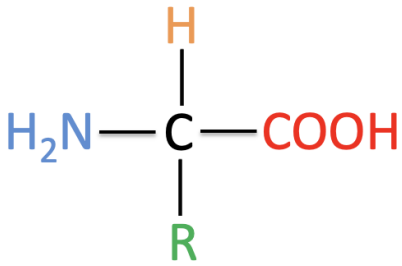
Ensam väteatom

Aminogrupp (amingrupp)

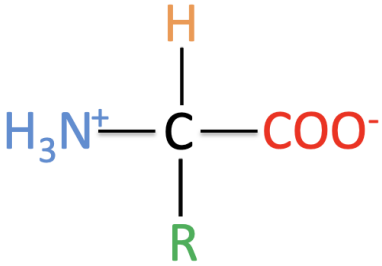
Central kolatom

Karboxylgrupp

Sidokedja (R-grupp)



Laddad struktur



Ensam väteatom

Aminogrupp (amingrupp)

Central kolatom

Karboxylatgrupp*

Sidokedja (R-grupp)

**Karboxylatgrupp är namnet på karboxylgruppen när den är i sin deprotonerade och negativt laddade form (-COO^-).*

Aminosyror är amfolyter vilket innebär att de fungerar både som syror och baser

- ✓ **Syror, baser och amfolyter:** Syror avger vätejoner/protoner (H^+) medan baser upptar vätejoner/protoner (H^+). Amfolyter är molekyler som både kan avge och uppta vätejoner/protoner (H^+) och därmed både kan fungera som en syra och en bas.

- ✓ **Karboxylgruppen avger en vätejon/proton (H^+):** Karboxylgruppen är en svag syra vilket innebär att den i en vattenlösning, vid fysiologiskt pH-värde, avger en vätejon/proton (H^+) till en vattenmolekyl och blir då en negativt laddad karboxylatgrupp; COO^-.

$$-COOH + H_2O \rightarrow -COO^- + H_3O^+$$

$$H^+$$

- ✓ **Aminogruppen upptar en vätejon/proton (H^+):** Aminogruppen är en svag bas vilket innebär att den i en vattenlösning, vid fysiologiskt pH-värde, tar upp en vätejon/proton (H^+) från en vattenmolekyl och blir då en positivt laddad aminogrupp; NH_3^+. Det är kväveatomens fria elektronpar som kan skapa en bindning till en vätejon/proton.

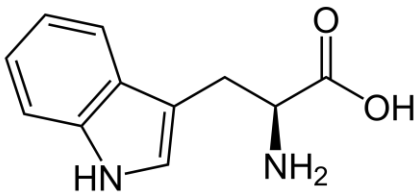
$$-NH_2 + H_2O \rightarrow -NH_3^+ + OH^-$$

$$H^+$$

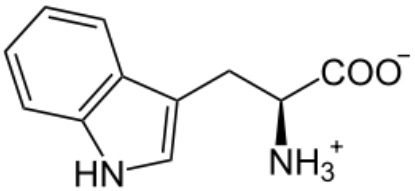
Aminosyror uppträder oftast som zwitterjoner (amfojoner)

- ✓ **Zwitterjon (amfojon):** En zwitterjon är en molekyl med två eller flera funktionella grupper där minst en funktionell grupp har en positiv laddning och minst en funktionell grupp har en negativ laddning, samtidigt som nettoladdningen för hela molekylen är noll (vid ett specifikt pH-värde).

- ✓ **Aminosyror är oftast i form av zwitterjoner (amfojoner):** Aminosyror har mycket sällan utseendet som bild 1 visar. Vid fysiologiskt pH (ca 7,4) uppträder de flesta aminosyror som zwitterjoner (amfojoner) som bild 2 visar.



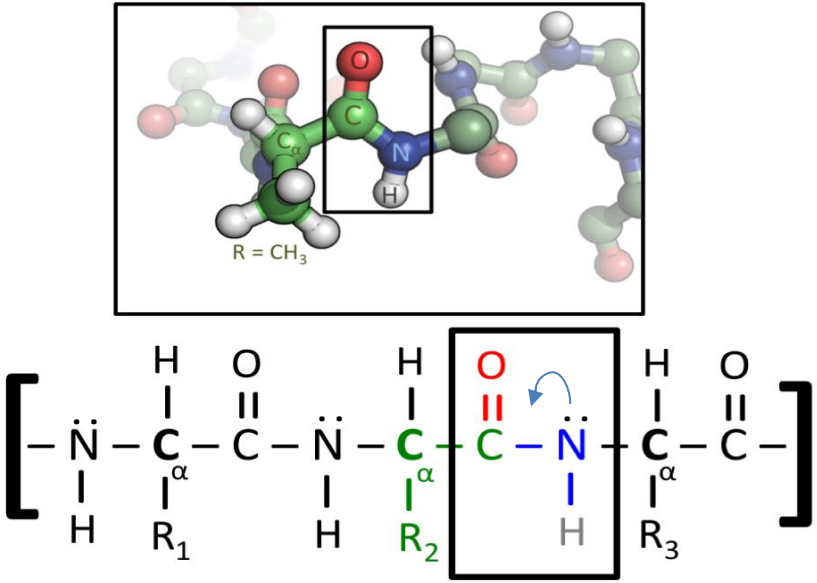
Aminosyran tryptofan i neutral form (oladdad struktur)



Aminosyran tryptofan i zwitterjonform (laddad struktur men med nettoladdningen 0)

Vilka egenskaper har peptidbindningen?

- ✓ **Peptidbindning:** Peptidbindningen involverar inte bara bindningen mellan kol och kväve, utan hela strukturen; C=O och N-H (se bilden längst ner till höger).
- ✓ **”Dubbelbindningskaraktär”:** Peptidbindningen har delokaliserade elektroner, där framför allt kvävets fria elektronpar kan röra sig mellan kväve- och kolatomen. Detta gör att bindningen mellan kol och kväve (C–N) inte är en ren enkel- eller dubbelbindning, utan har så kallad "dubbelbindningskaraktär".
- ✓ **Specifika egenskaper:** Peptidbindningen är stelare än en enkelbindning (p.g.a. att bindningen mellan C och N har dubbelbindningskaraktär) och kan därför inte rotera fritt, vilket stabiliserar polypeptidkedjan. Denna stabilitet är en förutsättning för att mer komplicerade proteinstrukturer ska kunna uppstå.



Peptidbindningen

Bildkälla: By Chemistry-grad-student - Own work, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16345656

Aminosyrorna kan delas in i 4 grupper utifrån sidokedjornas (R-gruppernas) struktur

1. **Aminosyror med polära, oladdade, sidokedjor (hydrofila):** Polära sidokedjor innehåller oftast polära hydroxylgrupper (-OH) eller tiolgrupper (-SH). Polära sidokedjor kan binda till andra polära molekyler, t.ex. vattenmolekyler, genom vätebindningar eller vanliga dipol-dipolbindningar, vilket gör att de ofta finns på ytan av proteiner och interagerar där med det omgivande vattnet.

2. **Aminosyror med opolära sidokedjor (hydrofoba):** Opolära sidokedjor innehåller en opolär grupp, oftast i form av en kolvätekedja. Sidokedjan kan därför inte skapa vätebindningar eller vanliga dipol-dipolbindningar och är därför olösliga i vatten. Dessa aminosyror tenderar därför att vara inuti proteiner där de är ”skyddade” från vattenmiljön. Ibland kan dock sidokedjan innehålla en polär grupp men är ändå opolär och olöslig eftersom den opolära delen av sidokedjan är mycket större och får mycket större betydelse för sidokedjans egenskaper.

3. **Aminosyror med sura sidokedjor (negativt laddade):** Sura sidokedjor innehåller i neutral form den sura karboxylgruppen (-COOH). Karboxylgruppen kan avge en H^+ och omvandlas då till en negativt laddad karboxylatgrupp ($-COO^-$). Sidokedjan får då en negativ laddning och kan då skapa en bindning till positivt laddade delar av andra molekyler, t.ex. till vattenmolekyler, vilket gör att de ofta finns på ytan av proteiner.

4. **Aminosyror med basiska sidokedjor (positivt laddade):** Basiska sidokedjor innehåller i neutral form den basiska aminogruppen ($-NH_2$). Aminogruppen kan uppta en H^+ och omvandlas då till en positivt laddad aminogrupp ($-NH_3^+$), en s.k. protonerad aminogrupp. Sidokedjan blir då positivt laddad och kan skapa en bindning till negativt laddade delar av andra molekyler, t.ex. till vattenmolekyler, , vilket gör att de ofta finns på ytan av proteiner.

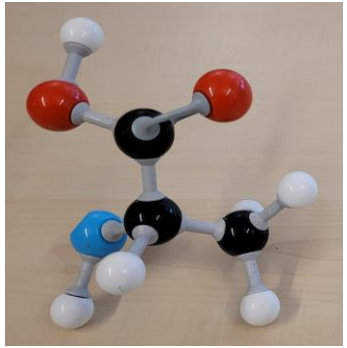
Två olika enantiomerer av aminosyror: L och D

- ✓ **Två huvudtyper av enantiomerer:** Enantiomerer är molekyler som är spegelbilder av varandra. Aminosyror finns i två huvudtyper: L och D. "L" (laevus) betyder "vänster" och "D" (dexter) betyder "höger". Om en aminosyramodell placeras med den centrala väteatomen mot observatören, ligger aminogruppen till vänster i L-formen och till höger i D-formen. De har samma atomer men spegelvända 3D-strukturer.

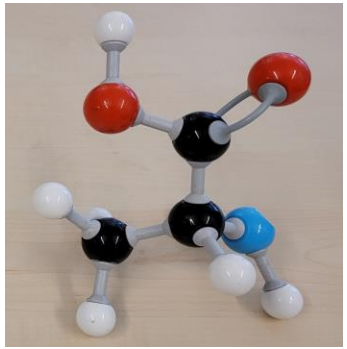
- ✓ **L-aminosyror**: Denna typ av enantiomerer är den absolut vanligaste i levande organismer och är en viktig byggsten för proteiner. De flesta organismer, inklusive människan, kan enbart använda sig av L-aminosyror i proteinsyntesen och i andra biokemiska processer.

- ✓ **D-aminosyror**: Denna typ av enantiomerer är mycket mindre vanliga i biologiska system, men förekommer i vissa organismer och miljöer. T.ex. finns det olika bakterier i marken och i sjöar och hav som producerar dessa.

- ✓ **Varför inte D-aminosyror i våra celler?:** D-aminosyror har en annan 3-dimensionell struktur jämfört med L-aminosyror, vilket gör att de inte kan binda till olika molekyler i och på våra celler, vilka är specialiserade på L-aminosyrornas struktur.



Aminosyran L-alanin (”vänster hand”)



Aminosyran D-alanin (”höger hand”)

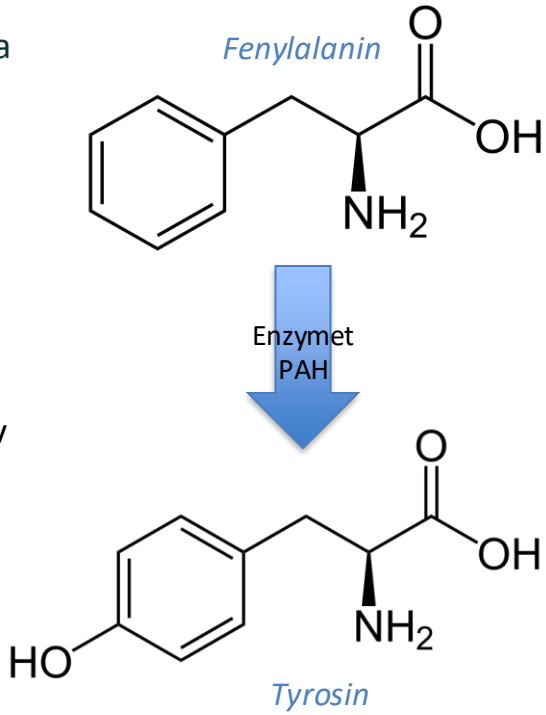
Sjukdomen fenylketonuri (PKU)

- ✓ **Vad är fenylketonuri (PKU)?:** Fenylketonuri, även kallat PKU, är en ärftlig sjukdom (autosomal recessiv monogen sjukdom) som innebär nedsatt förmåga att omvandla aminosyran fenylalanin till aminosyran tyrosin. Detta leder till höga nivåer av fenylalanin i blodet. Sjukdomen kan leda till skador på hjärnan och nervsystemet, vilket kan resultera i utvecklingsstörningar och andra symtom.

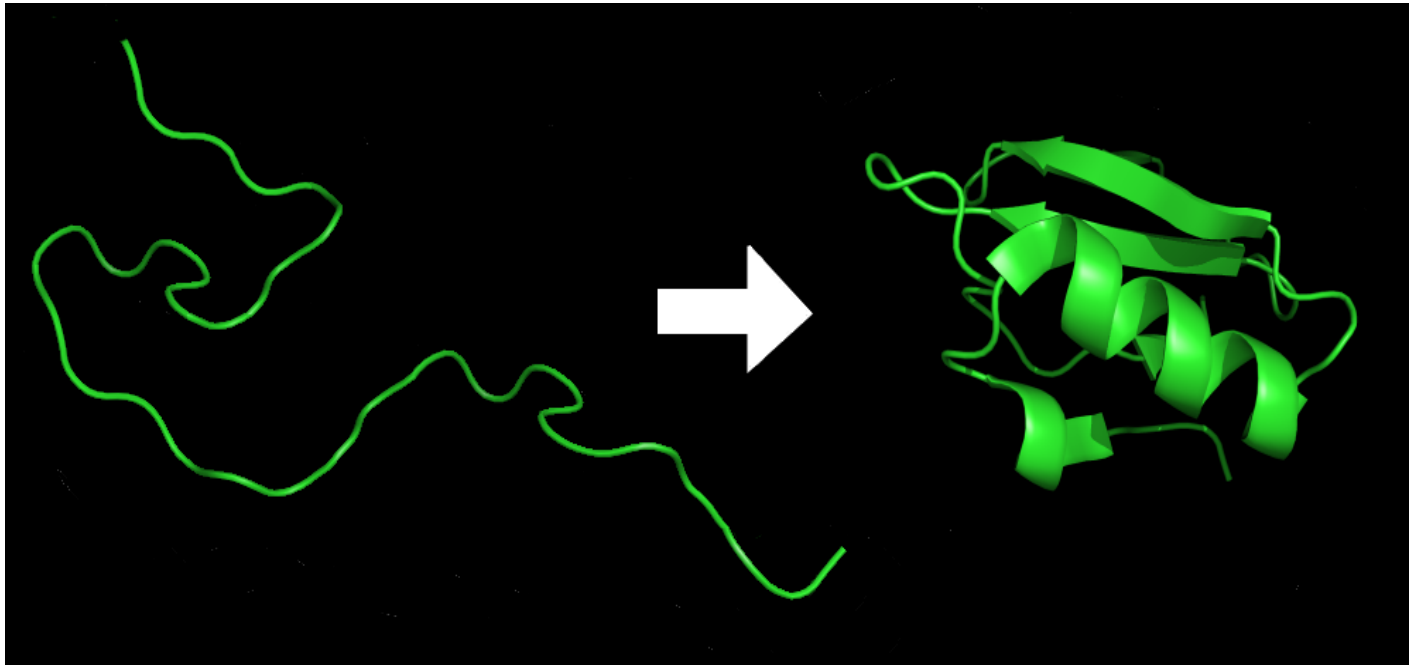
- ✓ **Vad beror PKU på?:** Sjukdomen uppkommer p.g.a. en mutation i genen som kodar för enzymet fenylalaninhydroxylas (PAH). Detta enzym bildas i levern och har till uppgift att omvandla aminosyran fenylalanin till aminosyran tyrosin. Om inte enzymet fungerar som det ska så ansamlas fenylalanin i kroppen.

- ✓ **Hur diagnosticeras PKU?:** Diagnosen ställs genom ett s.k. PKU-prov. Ett blodprov tas från den nyföddes häl eller hand och sedan analyseras fenylalaninnivån med olika metoder.

- ✓ **Hur behandlas PKU?:** Behandlingen består främst av en anpassad diet med ett lågt proteinintag (och därmed lågt fenylalaninintag). Ibland finns behov av kosttillskott med andra aminosyror. Det finns även ett par mediciner som kan öka omvandlingen av fenylalanin till tyrosin eller till andra ämnen.



Polypeptidkedjan veckas ihop (och ev. modifieras) innan vi har ett färdigt protein



Bildkälla: DrKjaergaard, Public domain, via Wikimedia Commons

Aminosyrasekvensen bestämmer proteinets veckning, 3D-struktur och därmed funktionen

Aminosyra-sekvensen (primärstrukturen) → Proteinets 3D-struktur → Proteinets funktion

Olika aminosyrasekvenser (primärstrukturer) leder till att olika proteiner veckas ihop på olika sätt och får olika tredimensionella strukturer. Därmed får de också olika funktioner.

Översikt över proteinernas 4 strukturnivåer

Strukturnivåer:

Ett proteins struktur kan beskrivas utifrån fyra olika strukturnivåer. Alla proteiner har minst de tre första strukturnivåerna, medan kvartärstruktur bara finns i proteiner som består av flera polypeptidkedjor.

1. Primärstruktur:

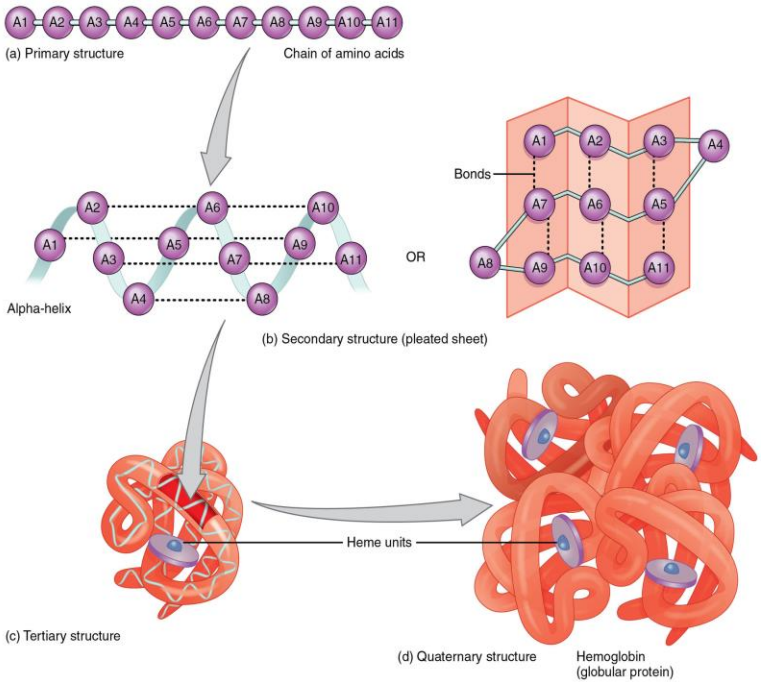
Ordningen av aminosyror i polypeptidkedjan eller polypeptidkedjorna.

2. Sekundärstruktur:

Olika typer av veckningar som uppstår lokalt längs polypeptidkedjan genom vätebindningar mellan syreatomer och väteatomer i polypeptidkedjans "ryggrad". Samma protein kan ha flera olika sekundärstrukturer.

3. Tertiärstruktur:

Veckning av hela polypeptidkedjan genom bindningar mellan aminosyrornas sidokedjor, vilket gör att olika sekundärstrukturer kommer nära varandra och binder ihop.



Strukturnivåerna uppstår efter varandra:

De olika strukturnivåerna uppstår efter varandra när ett protein bildas. Primärstrukturen uppstår när aminosyror kopplas ihop vid translationen i ribosomen, medan övriga strukturnivåer uppstår när proteinet veckas ihop efter translationen.

4. Kvartärstruktur:

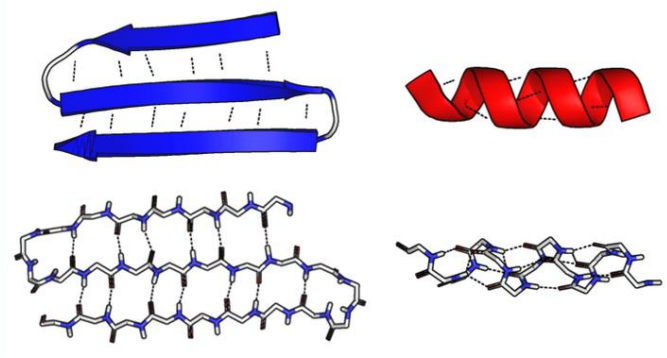
Uppstår när flera polypeptidkedjor eller subenheter binder till varandra. Här skapar aminosyrornas sidokedjor bindningar mellan de olika polypeptidkedjorna. Många proteiner har dock inte en kvartärstruktur eftersom de består av endast en polypeptidkedja.

Bildkälla: By OpenStax College - Anatomy & Physiology, Connexions Web site. http://cnx.org/content/col11496/1.6/, Jun 19, 2013., CC BY 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30131163

Sekundärstruktur

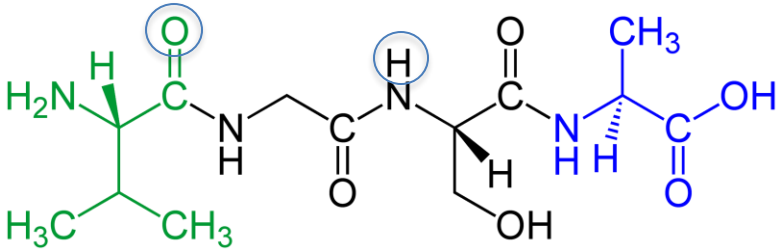
- ✓ **Sekundärstruktur:** Sekundärstrukturen är de lokala veckningar som uppstår längs polypeptidkedjan. Veckningarna beror på spontana vätebindningar mellan syreatomer i karbonylgrupper (C=O) och väteatomer bundna till kväve (N–H) i polypeptidkedjans "ryggrad" (inte mellan sidokedjor). Vanliga typer av sekundärstruktur är alfahelixar och olika former av betastrukturer (framförallt betasträngar och betaflak).

- ✓ **Exempel på olika sekundärstrukturer**: Det finns flera olika typer av sekundärstrukturer och alla dessa kan förekomma i samma protein. De två vanligaste sekundärstrukturerna är alfahelixar och olika betastrukturer. Även olika typer av svängar är vanliga sekundärstrukturer.



Betastruktur *Alfahelix*

Bildkälla: Thomas Shafee, CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>, via Wikimedia Commons (modifierad av Niklas Dahrén, kemilektioner.se)

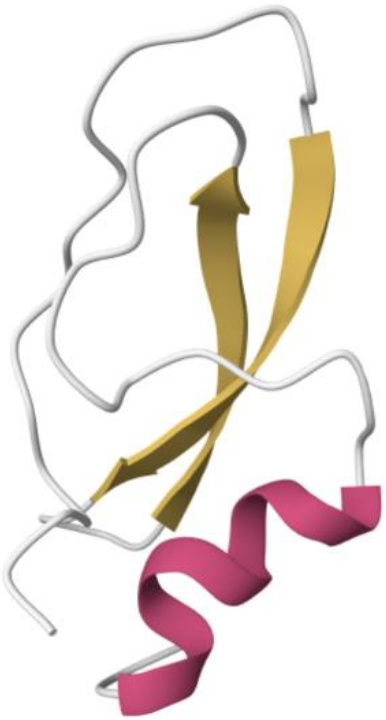


Syreatomer och väteatomer i polypeptidkedjans "ryggrad" skapar vätebindningar med varandra (obs. dock inte mellan närliggande aminosyror)

Tertiärstruktur

- ✓ **Tertiärstruktur:** Tertiärstrukturen är den tredimensionella storskaliga struktur som uppkommer när hela polypeptidkedjan veckas och rullas ihop så att olika sekundärstrukturer kommer nära och binder till varandra. Tertiärstrukturen visar alltså hur sekundärstrukturerna är placerade i förhållande till varandra.

- ✓ **Sidokedjorna ger upphov till tertiärstrukturen:** Tertiärstrukturen uppkommer p.g.a. att aminosyrornas sidokedjor (R-grupper) attraheras av och skapar bindningar mellan varandra. Det får hela polypeptidkedjan att veckas ihop.

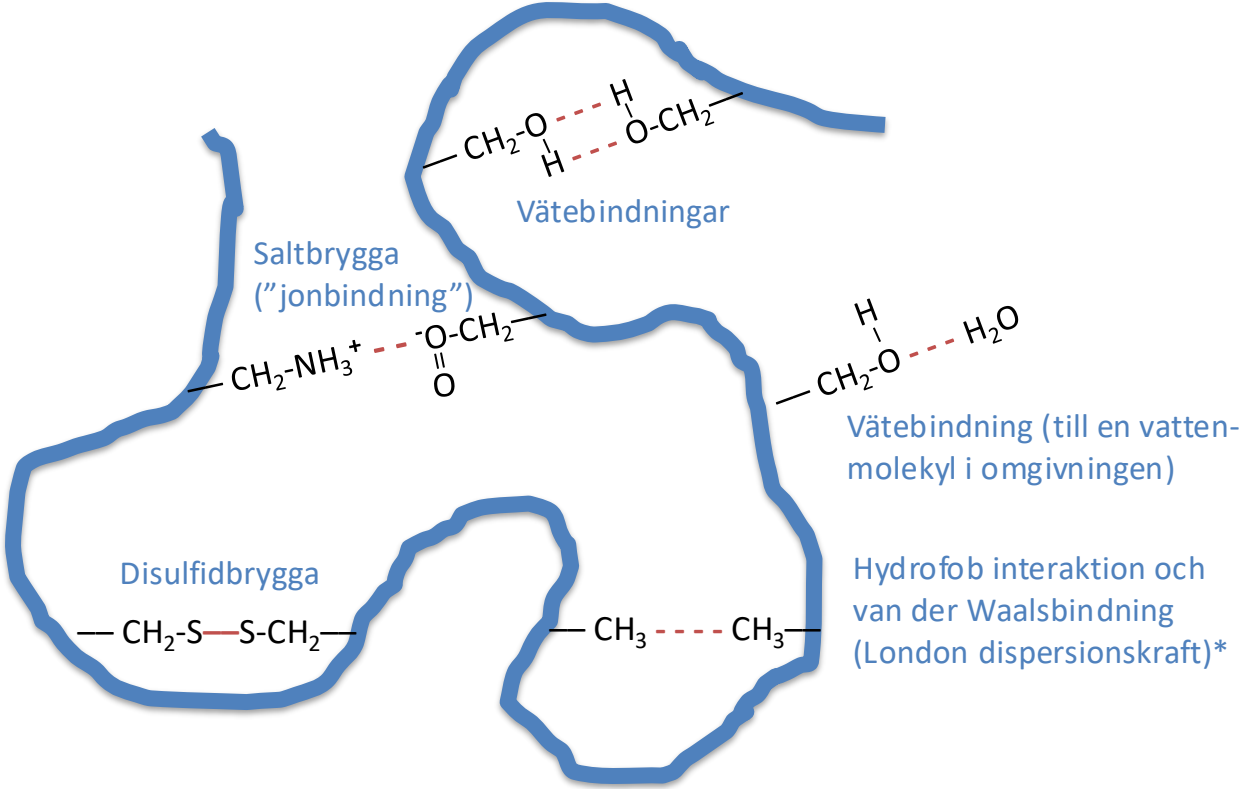


Bilden visar tertiärstrukturen hos ett protein. Proteinet innehåller bl.a. två betasträngar (som tillsammans bildar ett anti-parallellt betaflak) och en alfahelix. Tertiärstrukturen visar hur dessa sekundärstrukturer sitter i förhållande till varandra.

Bildkälla: Ruiming Zhao., Hui Dai., Su Qiu., Tian Li, Yawen He, Yibao Ma, Zongyun Chen, Yingliang Wu, Wenxin Li, Zhijian Cao, CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>, via Wikimedia Commons

Proteinets tertiärstruktur skapas av olika bindningar mellan sidokedjorna (R-grupperna)

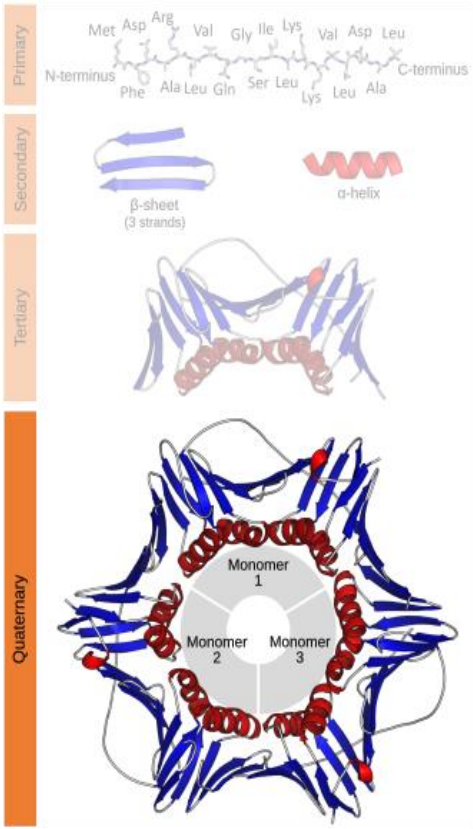
Olika typer av bindningar eller krafter uppstår mellan aminosyrornas sidokedjor (R-grupper), vilket får proteinet att veckas och anta en specifik tredimensionell struktur.



**Van der Waalsbindningar (London dispersionskrafter) förekommer mellan alla sidokedjor, men får störst betydelse här.*

Kvartärstruktur

- ✓ **Kvartärstruktur:**
  - Kvartärstruktur uppstår när flera polypeptidkedjor binder till varandra. Kedjorna kan vara identiska eller olika.
  - Kvartärstrukturen beskriver hela proteinets tredimensionella form och hur polypeptidkedjorna är organiserade i förhållande till varandra.
  - Kvartärstrukturen skapas och stabiliseras av bindningar och krafter mellan aminosyrornas sidokedjor (R-grupper) i de olika kedjorna.
  - Endast proteiner som består av flera polypeptidkedjor har en kvartärstruktur. Varje kedja kallas då en subenhet.



Bildkälla: Jmarchn, from Thomas Shafee, CC BY-SA 3.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>, via Wikimedia Commons

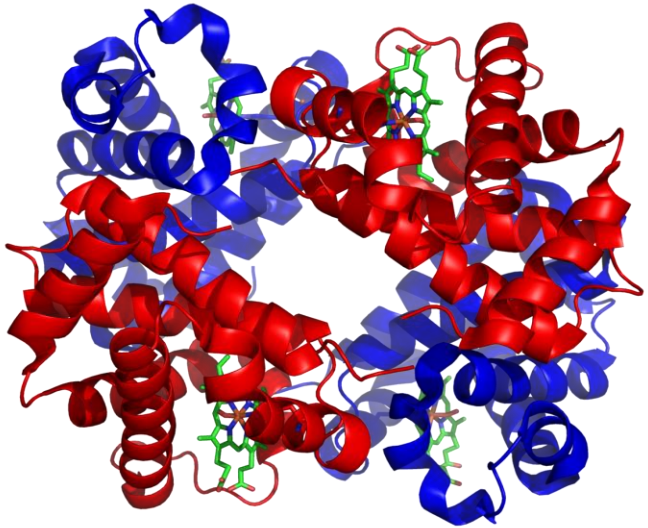
Proteinet hemoglobin har kvartärstruktur

- ✓ **Struktur:**
  - Har en globulär struktur och består av totalt av 574 aminosyror.
  - Det är ett tetramert protein, vilket betyder att det består av fyra polypeptidkedjor (fyra subenheter) – två alfa- och två beta-kedjor.
  - Varje subenhet innehåller en hemgrupp med en central järnjon (Fe^{2+}) som kan binda syre.

- ✓ **Funktion:**
  - Hemoglobin finns huvudsakligen i erytrocyterna (röda blodkropparna), där det fungerar som syretransportör.
  - Hemoglobin binder syre i lungorna och transporterar det till vävnader och organ där det frigör syret.
  - Hemoglobin binder även en del av den koldioxid (CO_2) som bildas i vävnaderna och transporterar det till lungorna, där det kan avges.
  - Hemoglobin har en lägre affinitet för syre än myoglobin, vilket gör att det effektivt släpper ifrån sig syre i vävnader med låg syrekoncentration, såsom muskler under fysisk aktivitet.

- ✓ **Övrigt:** Hemoglobin är ansvarigt för blodets röda färg, eftersom järnjonen i hemgruppen ger färgen. När syre är bundet, får blodet en ljusare röd färg.

Hemoglobin



Bildkälla: "1GZX Haemoglobin" by Zephyris at English Wikipedia - Transferred from en.wikipedia to Commons.. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1GZX_Haemoglobin.png#/media/File:1GZX_Haemoglobin.png

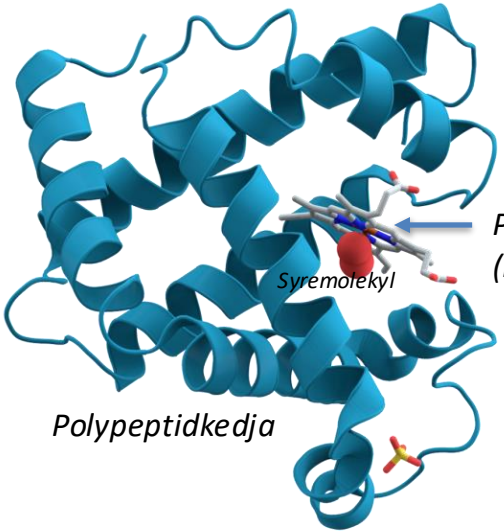
Proteinet myoglobin har enbart tertiärstruktur

- ✓ **Struktur:**
  - Har en globulär struktur och består av totalt 153 aminosyror.
  - Är ett monomert protein, vilket betyder att det består av en enda polypeptidkedja (en subenhet).
  - Har ungefär samma uppbyggnad som en subenhet av hemoglobin.
  - Innehåller en hemgrupp med en central järnjon (Fe^{2+}) som kan binda syre.

- ✓ **Funktion:**
  - Finns huvudsakligen i muskelceller, där det fungerar som en syrelagringsmolekyl. När syre behövs, särskilt vid intensiv muskelaktivitet, frigör myoglobinet syret, vilket sedan diffunderar genom cytosolen till mitokondrierna.
  - Har en högre affinitet för syre än hemoglobin, vilket gör att det kan extrahera syre från blodet till musklerna.

- ✓ **Övrigt:** Mycket av den röda färgen hos kött kommer från myoglobinet (järnet i hemgruppen) i muskelcellerna.

Myoglobin



Bildkälla: By →AzaToth - self made based on PDB entry, Public Domain, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=68596

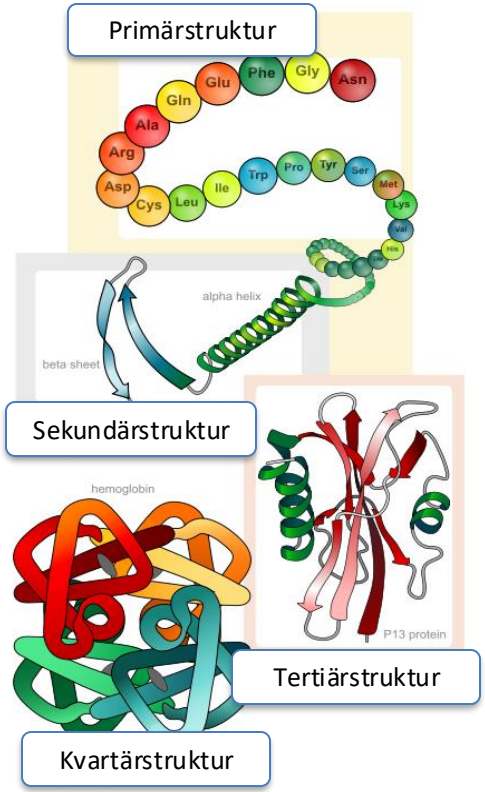
Sammanfattning: Proteinernas 4 strukturnivåer

1. **Primärstruktur:** Primärstrukturen är ordningsföljden av aminosyror i proteinet. Aminosyrorna anges från N-terminalen till C-terminalen. Om proteinet består av flera polypeptidkedjor anges sekvensen för respektive kedja. Primärstrukturen är avgörande för hur de högre strukturerna i proteinet bildas.

2. **Sekundärstruktur:** Sekundärstrukturen är de lokala veckningar som uppstår längs polypeptidkedjan. Veckningarna beror på spontana vätebindningar mellan syreatomer i karbonylgrupper (C=O) och väteatomer bundna till kväve (N–H) i polypeptidkedjans "ryggrad" (inte mellan sidokedjor). Samma protein kan ha flera olika sekundärstrukturer, som alfahelixar och olika former av betastrukturer.

3. **Tertiärstruktur:** Tertiärstrukturen uppstår när hela polypetidkedjan veckas ihop genom att aminosyrornas sidokedjor skapar bindningar till varandra, detta gör att olika sekundärstrukturer kommer nära och binder till varandra. Tertiärstrukturen visar alltså hur sekundärstrukturerna är placerade i förhållande till varandra.

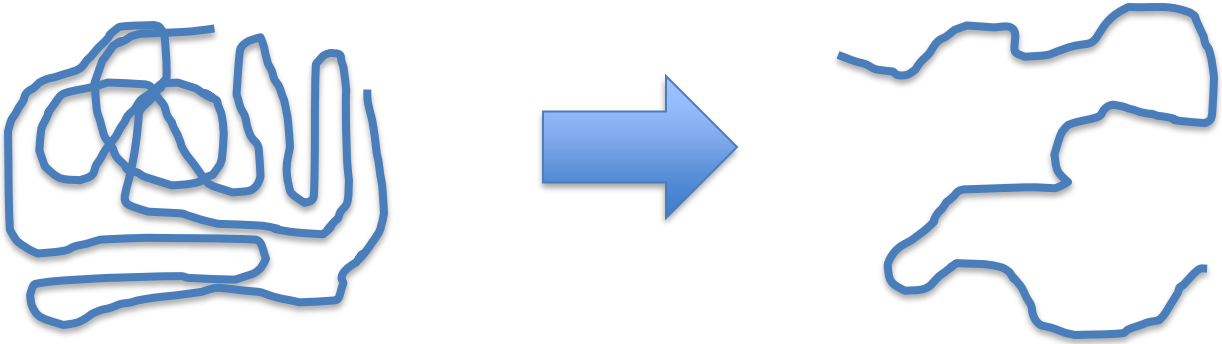
4. **Kvartärstruktur:** Vissa proteiner består av flera polypeptidkedjor och har därför en kvartärstruktur. Kvartärstrukturen är den totala tredimensionella strukturen av proteinet, inklusive hur de olika subenheterna (polypeptidkedjorna) är arrangerade i förhållande till varandra.



Denaturering av proteiner

- ✓ **Vad menas med denaturering?:**
  - Proteiner har en specifik tredimensionell struktur som hålls samman av olika typer av bindningar mellan framförallt aminosyrornas sidokedjor. Vid denaturering bryts dessa bindningar, vilket får proteinet att veckas ut och förlora både sin form och funktion.
  - Primärstrukturen, som består av peptidbindningarna mellan aminosyrorna, påverkas inte, men de andra strukturnivåerna (sekundär-, tertiär- och kvartärstruktur) förändras.

- ✓ **Exempel på denaturering:**
  - När äggvita koagulerar/stelnar vid upphettning (proteinet albumin denatureras av värmen).
  - När mjölk surnar (kaseinproteiner denatureras av det lägre pH-värdet).
  - När hår permanentas (disulfidbryggor i keratin bryts och omformas med hjälp av en kemikalie).



Exempel på olika faktorer och ämnen som orsakar denaturering av proteiner

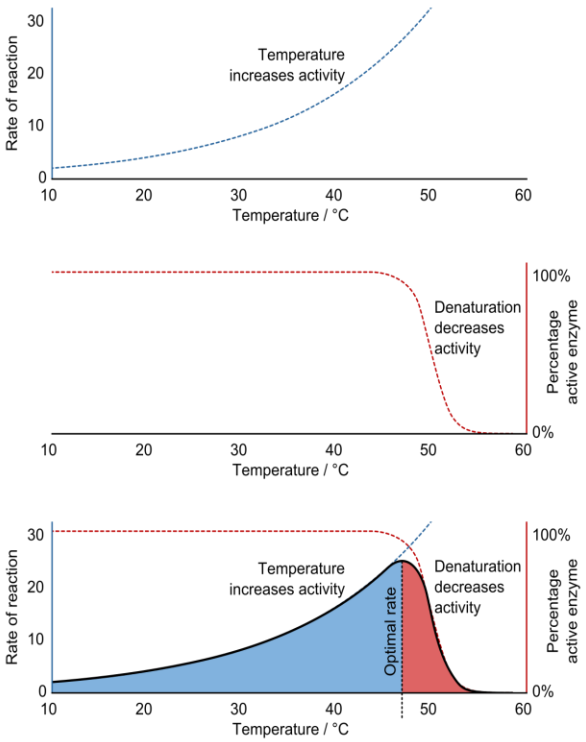
Faktorer/ämnen:	Bindningar som bryts:	Mekanism:
Värme	Alla (disulfidbryggor kräver dock mycket hög temperatur)	Atomerna i proteinet börjar vibrera så kraftigt att bindningarna mellan sidokedjorna tillslut brister.
Syror och baser (förändring i pH)	Saltbryggor (jonbindningar) och vätebindningar	Syror avger H^+ till sidokedjor och baser upptar H^+ från sidokedjor vilket innebär att sidokedjornas laddningar förändras vilket gör att både saltbryggor (jonbindningar) och vätebindningar kan upplösas.
Urea (urinämne)	Vätebindningar	Ureamolekylerna binder till polära sidokedjor i proteinet med starka vätebindningar vilket bryter existerande vätebindningar mellan olika sidokedjor.
Reducerande ämnen (t.ex. ammoniumtio-glykolat)	Disulfidbryggor (svavelbryggor)	Thiolgrupper (-SH) kan reagera med disulfidbryggor genom att väteatomer doneras till svavelatomerna i disulfidbryggan. Detta resulterar i att disulfidbryggan bryts upp. $-CH_2-S-S-CH_2- \rightarrow -CH_2-S-H + H-S-CH_2-$
Organiska lösningsmedel (t.ex. aceton)	Stör hydrofoba interaktioner (alltså att opolära sidokedjor spontant vänder sig inåt mot proteinets centrum)	Organiska lösningsmedel är, i jämförelse med vatten, mycket mer opolära och gör att miljön runt proteinet bli mer opolärt/hydrofobt vilket innebär att opolära sidokedjor inte längre ”behöver” vända sig inåt mot proteinets centrum utan kan lika gärna vända sig utåt mot lösningsmedlet.
Fysisk påverkan (t.ex. kraftiga skakningar och vibrationer)	Alla (ej disulfidbryggor)	Kraftiga skakningar och vibrationer kan i vissa fall kan leda till att bindningar mellan sidokedjor bryts och att proteiner denatureras. Effekten beror på hur starka skakningarna är och hur känsligt proteinet är.

Enzymers aktivitet beror på temperaturen

- ✓ **Vid låga temperaturer är enzymaktiviteten låg:** Vid låga temperaturer minskar enzymaktiviteten, vilket leder till en lägre reaktionshastighet. Detta beror på att molekyler rör sig långsammare och att antalet kollisioner mellan enzym och substrat blir färre.

- ✓ **Vid enzymets optimal temperatur är enzymaktiviteten högst:**
  - Varje enzym har en optimal temperatur, där det fungerar som bäst. För de flesta enzymer i människokroppen ligger denna temperatur runt 37 °C, vilket motsvarar kroppstemperaturen.
  - Vid optimal temperatur har både enzym- och substratmolekyler högre rörelseenergi, vilket leder till fler kollisioner per tidsenhet.
  - Vid optimal temperatur är enzymets tredimensionella form intakt, vilket innebär att det aktiva centret har rätt form och kan binda substratet eller substraten korrekt.

- ✓ **Hög temperatur orsakar denaturering av enzymet:** När temperaturen blir för hög bryts de svaga bindningarna mellan aminosyrornas sidokedjor, vilket leder till att enzymet denatureras och tappar sin funktion.

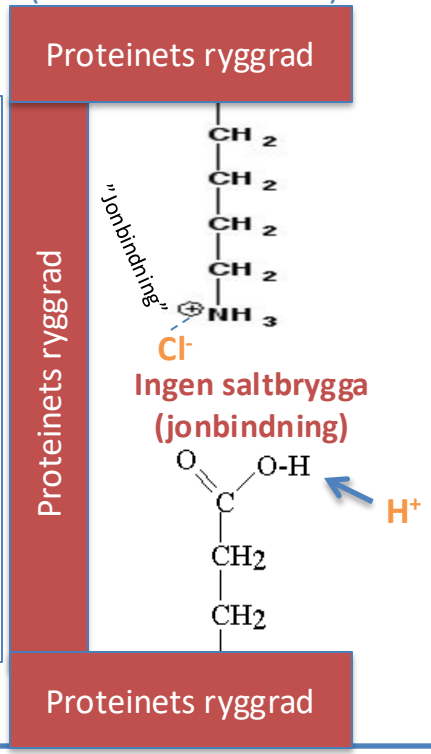


Bildkälla: By Thomas Shafee - Own work, CC BY 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=47436206

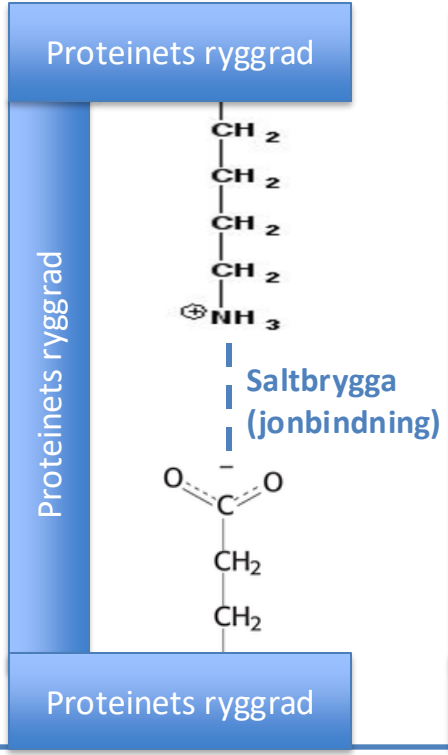
Syror och baser (lågt eller högt pH) upplöser saltbryggor (jonbindningar) i proteinet

Syran avger en H^+ till den negativa sidokedjan och en anjon till den positiva sidokedjan vilket neutraliserar deras laddningar och upplöser jonbindningen.

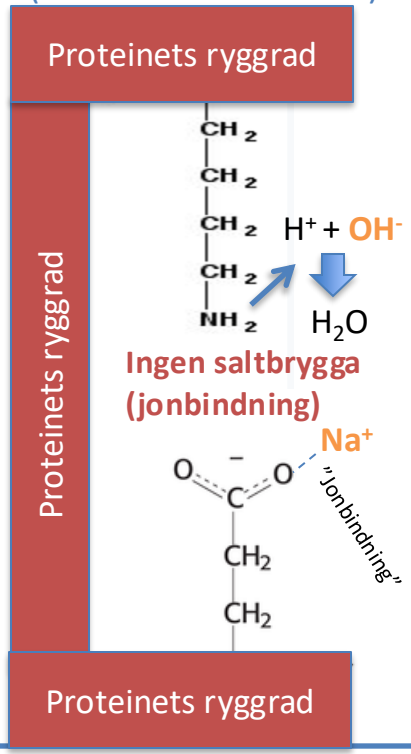
Lågt pH-värde (t.ex. tillsatts av **HCl**):



Medelhögt pH-värde:



Högt pH-värde (t.ex. tillsatts av **NaOH**):



Basen upptar en H^+ från den positiva sidokedjan och avger en katjon till den negativa sidokedjan vilket neutraliserar deras laddningar och upplöser jonbindningen.

Syror och baser (lågt eller högt pH) upplöser saltbryggor (”jonbindningar”) i proteinet

- ✓ **HCl (stark syra, ger lågt pH):** Om vi tillsätter en lösning av en stark syra, t.ex. HCl(aq), kommer syran att avge en vätejon/proton (H^+) till en negativt laddad karboxylatgrupp ($-COO^-$) på en sidokedja. Detta omvandlar karboxylatgruppen till en oladdad karboxylgrupp (-COOH) och neutraliserar därmed den negativa laddningen. Samtidigt kommer kloridjonen (Cl^-) från HCl att attraheras av den positivt laddade aminogruppen ($-NH_3^+$) på en annan sidokedja och skapa en typ av jonbindning till denna. Denna attraktion kan delvis neutralisera den positiva laddningen. Båda dessa effekter gör att saltbryggan/jonbindningen mellan sidokedjorna bryts upp, vilket ökar risken för att proteinet denatureras (särskilt om detta sker på många platser i proteinet).

- ✓ **NaOH (stark bas, ger högt pH):** Om vi tillsätter en lösning av en stark bas, t.ex. NaOH(aq), kommer hydroxidjonen (OH^-) att attraheras av den positivt laddade aminogruppen ($-NH_3^+$) och ta upp en vätejon/proton (H^+) från denna. Detta leder till att en vattenmolekyl bildas ($H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$) och att den positiva laddningen på sidokedjan försvinner. Samtidigt kan natriumjonen (Na^+) attraheras av en negativt laddad karboxylatgrupp ($-COO^-$) på en annan sidokedja, och skapa en typ av jonbindning till denna. Denna attraktion kan delvis neutralisera den negativa laddningen. Totalt leder dessa förändringar till att saltbryggan/jonbindningen mellan sidokedjorna bryts upp, vilket kan bidra till att proteinet denatureras om det sker på många ställen.

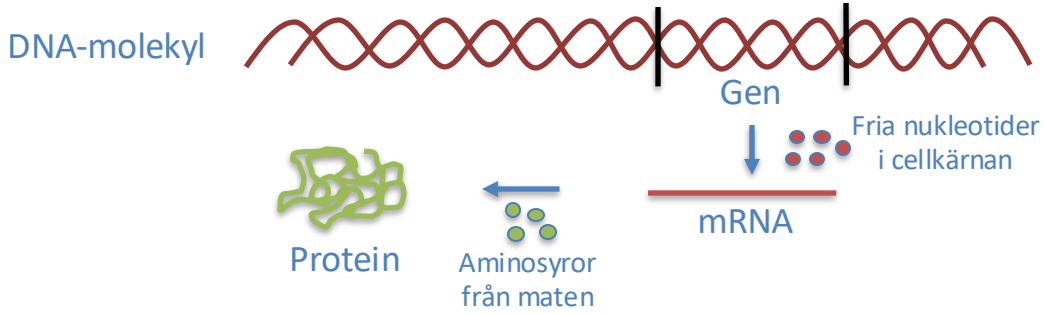
DET VIKTIGASTE FRÅN:
BLOCK 3, DEL 3

Vad menas med proteinsyntesen?

- ✓ **Proteinsyntesen:** Cellernas tillverkning av proteiner kallas för proteinsyntesen (syntetisera = tillverka).
- ✓ **Generna är proteininstruktioner:** Våra gener fungerar som proteininstruktioner (eller ritningar/recept/koder) som visar vilka aminosyror som ska ingå i proteinerna och i vilken ordning dessa ska sitta. I regel innehåller varje gen instruktionen/koden för ett specifikt protein (vissa gener kodar dock för t.ex. tRNA och rRNA).
- ✓ **3 processer är centrala vid proteinsyntesen (och ofta är det enbart dessa man avser med proteinsyntesen):**
  - Transkription: Gen → mRNA (kallas egentligen för pre-mRNA innan modifieringarna).
  - Modifiering och transport av mRNA: Modifiering av mRNA (pre-mRNA) till moget mRNA och sedan transport av mRNA ut från cellkärnan till en ribosom.
  - Translation: mRNA → polypeptidkedja.
- ✓ **Proteiner behöver dock även genomgå en eller flera av följande processer för att bli helt färdiga proteiner:**
  - Veckning: Efter translationen sker veckning av polypeptidkedjan (eller kedjorna) till rätt 3D-struktur.
  - Ev. sammanfogning: Om proteinet ska bestå av flera polypeptidkedjor (flera subenheter) så behöver dessa sammanfogas med varandra.
  - Ev. modifieringar: En del proteiner genomgår olika modifieringar innan de är helt färdiga proteiner.

Generna fungerar som proteininstruktioner

Generna kan ha olika liknelser:
Proteininstruktion, proteinritning, proteinrecept, proteinkod etc. Välj den liknelse du tycker är bäst!



DNA-molekyler → Innehåller → **Gener (proteininstruktioner)**

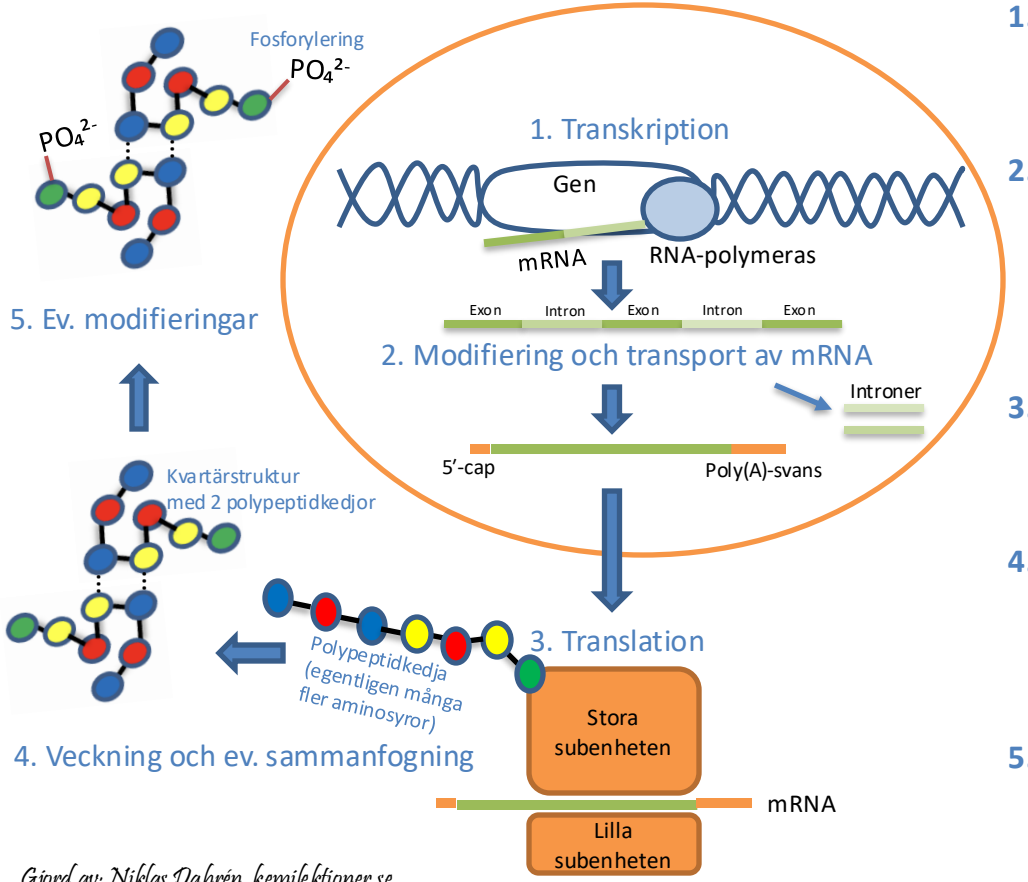
↓ Transkription — Nukleotider är byggstenar

mRNA (genkopior)

↓ Translation — Aminosyror är byggstenar

Proteiner → **Cellernas funktioner, egenskaper och utseende** → **Organismens funktioner, egenskaper och utseende**

Översikt över proteinsyntesen (alla steg)



Gjord av: Niklas Dahrén, kemiektioner.se

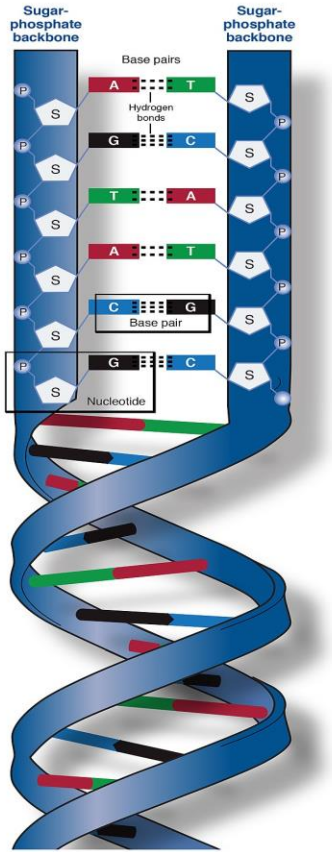
1. **Transkription:** Enzymet RNA-polymeras läser av genen som kodar för det protein som ska syntetiseras och gör en genkopia, en s.k. mRNA-molekyl.
2. **Modifiering och transport av mRNA:** mRNA modifieras och mognar genom att intronerna klipps bort, exonerna fogas samman, en 5'-cap kopplas på i ena änden och en poly(A)-svans i den andra änden. Sedan sker transport av mRNA till en ribosom där translationen tar vid.
3. **Translation:** I ribosomen kopplas aminosyror ihop till en polypeptidkedja i den ordning som mRNA-sekvensen anger.
4. **Veckning och ev. sammanfogning:** Polypeptidkedjan (eller kedjorna) veckas ihop och får en specifik 3D-struktur. Ev. sammanfogas flera polypeptidkedjor med varandra. Många proteiner är färdiga efter detta steg.
5. **Ev. modifieringar av proteinet:** En del proteiner genomgår post-translationella modifieringar i ER och/eller i Golgiapparaten (t.ex. proteolys, glykosylering eller fosforylering) innan de är helt färdiga proteiner.

Översikt över proteinsyntesen (alla steg)

	Steg 1 - Transkription:	Steg 2 - Modifiering och transport av mRNA:	Steg 3 - Translation:	Steg 4 - Veckning och ev. sammanfogning:	Steg 5 - Ev. modifieringar av proteinet:
Vart?	I cellkärnan	I cellkärnan	I en ribosom	I cytosolen eller i det endoplasmatiska nätverket (ER)	I endoplasmatiska nätverket (ER) och i Golgiapparaten
Vad?	RNA-polymeras läser av genen (som kodar för det protein som ska syntetiseras), kopplar ihop RNA-nukleotider i rätt ordning enligt instruktionerna i genen (den genetiska koden) och bildar en mRNA-molekyl (pre-mRNA).	mRNA:t (pre-mRNA) modifieras innan translationen sker. Introner klipps bort, exoner fogas samman, en 5'-cap sätts på ena änden av mRNA:t och en poly(A)-svans på den andra. Det mogna mRNA:t transporteras sedan till en ribosom, i cytosolen eller på ER, där translationen sedan tar vid.	I ribosomen kopplas aminosyror ihop till en polypeptidkedja i den ordning som mRNA-sekvensen anger. Ribosomen översätter alltså mRNA-sekvensen till en aminosyra-sekvens. Varje kodon (triplett av kväve-baser) i mRNA motsvarar en specifik aminosyra.	Polypeptidkedjan (eller kedjorna) veckas till en specifik 3D-struktur. Veckningen sker delvis spontant men även med hjälp av särskilda hjälp-proteiner som kallas chaperoner. För vissa proteiner behöver flera polypeptidkedjor sammanfogas för att bilda ett fungerande protein.	Vissa proteiner genomgår post-translationella modifieringar innan de blir fullt funktionella. Exempel på modifieringar är fosforylering, glykosylering, hydroxylering, lipidmodifieringar och proteolys (klyvning) av delar av polypeptidkedjan.

DNA-molekylens uppbyggnad och den genetiska koden

- ✓ **2 strängar:** Varje DNA-molekyl består av två strängar (eller kedjor) som är tvinnade runt varandra och bildar en så kallad dubbelhelix.
- ✓ **4 olika DNA-nukleotider:** Varje DNA-molekyl är uppbyggd av fyra olika typer av DNA-nukleotider (deoxiribonukleotider) som var och en består av en kvävebas, en sockermolekyl (deoxiribos) och en fosfatgrupp. Kvävebaserna heter adenin (A), tymin (T), guanin (G) och cytosin (C).
- ✓ **Kvävebaserna binder till varandra:** Det är via kvävebaserna som de två kedjorna i DNA-spiralen binder till varandra. Kvävebaserna på de båda kedjorna binder till varandra med vätebindningar. A och T kan enbart binda till varandra medan G och C enbart kan binda till varandra. Det ser ut ungefär som en repstege där varje stegpinne består av antingen A och T eller G och C. När A bundit till T eller G till C kallas det ett baspar.
- ✓ **Den genetiska koden:** Det är ordningsföljden av kvävebaser i varje gen som utgör den genetiska koden. Den första tripletten av kvävebaser i genen kodar för den första aminosyran i proteinet, den andra tripletten för nästa, och så vidare.



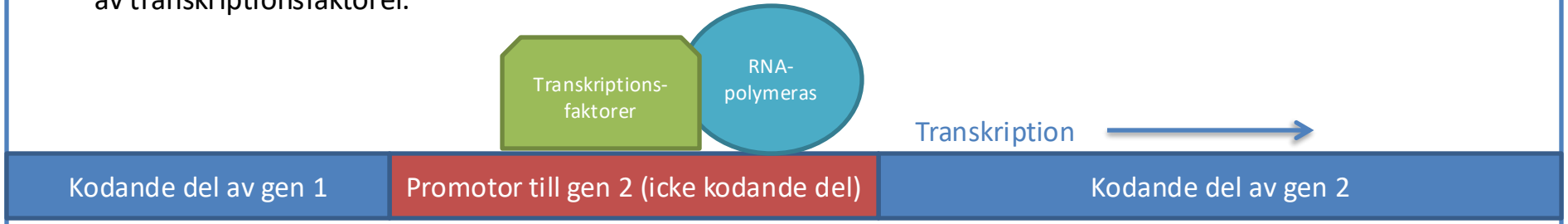
Vad behövs för att kunna utföra transkription av en gen?

- ✓ **RNA-polymeras:** RNA-polymeraset är enzymet som utför transkriptionen.
- ✓ **Transkriptionsfaktorer:** Transkriptionsfaktorer är proteiner som reglerar vilka gener som ska transkriberas. De hjälper RNA-polymeraset att hitta rätt startpunkt och binda in till DNA. Ofta krävs flera transkriptionsfaktorer för att aktivera transkriptionen av en gen.
- ✓ **RNA-nukleotider:** För att mRNA ska kunna byggas upp krävs RNA-nukleotider (ribonukleotiderna), det vill säga nukleotider som innehåller kvävebaserna adenin (A), uracil (U), cytosin (C) och guanin (G). Dessa finns fria i cellkärnan och används av RNA-polymeras för att skapa en mRNA-sträng som är komplementär till DNA-mallen. Varje gång RNA-polymeras läser av en kvävebas i DNA, väljer det ut en komplementär ribonukleotid och fogar in den i den växande mRNA-kedjan.
- ✓ **Energi i form av ATP:** Transkriptionen kräver energi, som tillhandahålls av ATP. Energin används bland annat för att RNA-polymeraset ska kunna röra sig längs DNA-strängen och för att skapa bindningar mellan nukleotiderna i mRNA.

Transkriptionsfaktorer binder till genens promotor och aktiverar genen

- ✓ **Transkriptionsfaktorer binder till promotorn:** Transkriptionsfaktorer aktiverar en gen genom att binda till dess promotor, en specifik nukleotidsekvens i början av genen. Promotorn är ett icke-kodande område som ligger precis före den kodande sekvensen. Även om promotorn inte kodar för ett protein, är den avgörande för att cellen ska kunna reglera vilka gener som transkriberas vid ett givet tillfälle och på så sätt kontrollera produktionen av specifika proteiner.

- ✓ **RNA-polymeraset ”letar” efter aktiverade gener:** RNA-polymeraset rör sig längs DNA-molekylen tills det hittar en gen vars promotor har aktiverats av transkriptionsfaktorer. Med hjälp av dessa faktorer binder RNA-polymeraset till promotorn och påbörjar transkriptionen. Promotorn tillsammans med transkriptionsfaktorerna fungerar lite som ett "startblock" för RNA-polymeraset. RNA-polymeraset transkriberar enbart gener som har blivit aktiverade av transkriptionsfaktorer.

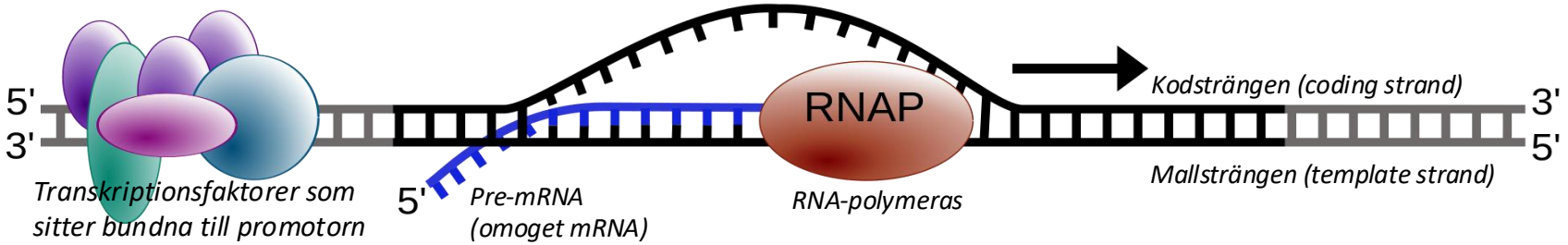


Transkriptionen består av tre steg:

- ✓ **Steg 1 - Initiering:** I detta steg sker genaktivering och inbindning av RNA-polymeraset. Genen aktiveras genom att olika transkriptionsfaktorer binder till genens promotor. RNA-polymeraset rör sig sedan längs DNA-molekylen och när den stöter på en aktiverad gen så binder den till genens promotor med hjälp av transkriptionsfaktorerna.

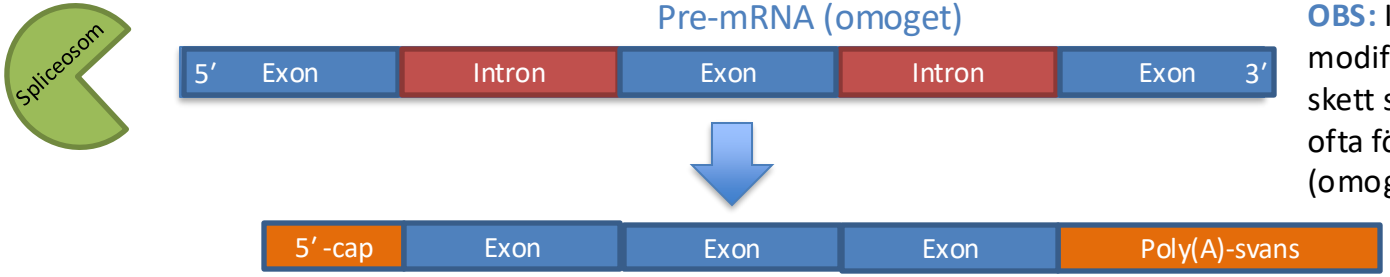
- ✓ **Steg 2 - Elongering:** Syntesen av mRNA påbörjas (initialt kallat pre-mRNA innan det modifieras). RNA-polymeraset läser av kvävebassekvensen på mallsträngen (template strand) av DNA och bygger en komplementär mRNA-sträng genom att baspara fria RNA-nukleotider med DNA-nukleotiderna på mallsträngen. Resultatet blir en kopia av den andra DNA-strängen (kodsträngen), men med uracil (U) istället för tymin (T).

- ✓ **Steg 3 - Terminering:** Transkriptionen avslutas när RNA-polymeraset når en specifik DNA-sekvens, kallad termineringssekvens (eller stoppsekvens), som signalerar att syntesen ska avslutas. RNA-polymeraset lossnar från DNA:t och det färdiga pre-mRNA:t frigörs.



Bildkälla: By Forluvoft - Own work, Public Domain, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2892073

Modifiering av pre-mRNA till moget mRNA



OBS: Innan modifieringarna har skett så kallas mRNA ofta för pre-mRNA (omoget mRNA).

- ✓ **Följande modifieringar sker:**
  1. 5’-cappning: En 5’-cap (eller 5’-huva), vanligtvis 7-metylguanosin, fästs vid 5’-änden av pre-mRNA:t
  2. 3’-polyadenylering: En poly(A)-svans, bestående av många adenin-nukleotider, läggs till vid 3’-änden.
  3. Splitsning: Introner (icke-kodande sekvenser) klipps bort av ett enzymkomplex som kallas spliceosomen (alt. splitsosom på svenska), och exonerna (de kodande sekvenserna) fogas samman till ett kontinuerligt mRNA.

- ✓ **Varför sker modifieringarna?:**
  - Cappning och polyadenylering: Detta skyddar mRNA från nedbrytning av exonukleaser, vilket gör att mRNA-molekylen överlever längre i cellen och kan användas effektivt vid proteinsyntesen. Cappningen underlättar också bindningen till ribosomen, medan poly(A)-svansen är viktig för transporten av mRNA ut ur cellkärnan.
  - Splitsning: Detta krävs eftersom endast exonerna innehåller information för att bygga proteinet. En fördel med att introner finns är att cellen kan använda alternativ splitsning, vilket innebär att exoner kan kombineras på olika sätt. Detta gör det möjligt att producera flera olika proteiner från en och samma gen.

Transport av mRNA ut från cellkärnan till en ribosom

1. **Steg 1:** mRNA transporteras via aktiv transport (kräver ATP) genom kärnporer (nukleoporer) i kärnmembranet. Speciella exportproteiner i kärnmembranet sköter uttransporten. Poly(A)-svansen spelar en viktig roll i denna process eftersom den binder till poly(A)-bindande proteiner (PABP), som i sin tur interagerar med exportproteinerna. Denna interaktion underlättar transporten av mRNA genom kärnporerna och ut från cellkärnan till cytosolen (den del av cytoplasman som är själva cellvätskan).

2. **Steg 2:** När mRNA väl är ute i cytosolen (cellvätskan) kan det genomgå en passiv diffusion (kräver inte ATP) tills det hittar en ribosom att binda till. Det är en slumpmässig process, där mRNA rör sig genom cytosolen tills det stöter på en ribosom. mRNA binder till ribosomen via 5’-cappen som fungerar som en igenkänningssignal för ribosomala proteiner och initieringsfaktorer under translationens inledning.

Vår livsstil och olika miljöfaktorer kan påverka vilka gener som uttrycks (epigenetik)

- ✓ **Epigenetik:** Epigenetik handlar om hur olika miljöfaktorer och livsstilsval påverkar genuttrycket (vilka gener som uttrycks och hur mycket de uttrycks) utan att förändra själva DNA-sekvensen (dvs. utan mutationer). Detta sker genom mekanismer som t.ex. DNA-metylering och aktivering av olika transkriptionsfaktorer, som tillsammans kan aktivera eller inaktivera gener.

- ✓ **Exempel 1 – Rökning:** Rökning kan orsaka epigenetiska förändringar, bland annat genom att påverka DNA-metylering. DNA-metylering innebär att metylgrupper ($-CH_3$) fäster vid specifika platser på DNA (framförallt på cytosinbaser), vilket kan tysta eller inaktivera vissa gener. Dessa förändringar kan inaktivera gener som normalt skyddar mot inflammation eller cancer, vilket ökar risken för sjukdomar som t.ex. lungcancer (om man röker).

- ✓ **Exempel 2 - Styrketräning:** Regelbunden styrketräning påverkar genuttrycket i muskelceller genom att öka aktiviteten hos transkriptionsfaktorer som MyoD och MEF2. Dessa transkriptionsfaktorer aktiverar gener involverade i muskeluppbyggnad.

- ✓ **Exempel 3 – Kolhydratintag:** När kolhydrater intas via födan ökar glukoshalten i blodet, vilket stimulerar aktiveringen av transkriptionsfaktorer som PDX-1 och E47 i beta-cellerna i bukspottkörteln. Dessa transkriptionsfaktorer aktiverar insulingenen, vilket leder till ökad insulinproduktion i beta-cellerna och hjälper till att reglera blodsockernivån.

Styrketräning ökar transkriptionen av olika ”muskelgener”

Styrketräning → Transkriptions-faktorer (t.ex. MyoD och MEF2)

Regelbunden styrketräning kan påverka genuttrycket i muskelceller: Regelbunden styrketräning påverkar genuttrycket i muskelceller genom att öka aktiviteten hos transkriptionsfaktorer som t.ex. MyoD och MEF2. Dessa transkriptionsfaktorer aktiverar gener involverade i muskeluppbyggnad. Detta leder till en ökad syntes av muskelproteiner och större muskler.

Transkription →

↓

”Muskelprotein-mRNA” → ”Muskelprotein” → Större muskler

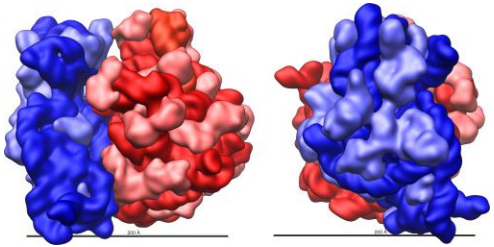
Ribosomens uppbyggnad

- ✓ **Ribosomernas uppbyggnad:** Ribosomer är uppbyggda av rRNA (ribosomalt RNA) och proteiner. Det är rRNA som utför den kemiska reaktionen där aminosyror kopplas ihop med peptidbindningar. Denna katalytiska funktion hos rRNA kallas för ribozymaktivitet. Det betyder att rRNA fungerar som ett enzym.

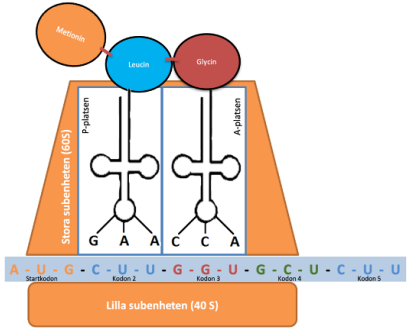
- ✓ **Ribosomen består av två subenheter (båda är uppbyggda av rRNA och proteiner):**
  - Lilla subenheten: Binder till mRNA först och hjälper till att läsa av kodonen i mRNA (tripletter med kvävebaser).
  - Stora subenheten: Innehåller platserna där tRNA binder och där aminosyrorna kopplas ihop.
  - OBS: I vilande tillstånd är subenheterna separata. De sätts ihop först när mRNA binder till lilla subenheten.

- ✓ **Ribosomen har tre platser för tRNA:**
  - A-platsen (Aminoacyl): Här anländer ett nytt tRNA med en aminosyra.
  - P-platsen (Peptidyl): Här sitter tRNA:t med den växande peptidkedjan.
  - E-platsen (Exit): Här hamnar tRNA:t en kort stund innan det lämnar ribosomen.

Ribosomerna består av två huvuddelar, en liten subenhet (blå) och en stor subenhet (röd).



Ribosomen har tre platser för tRNA men P- och A-platsen är viktigast att känna till.



Bildkälla: By Vossman - Own work, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6865434

Vad behövs för att translationen ska kunna ske?

Byggnadsmaterial:
aminosyror

Proteininstruktion:
gen

Proteinfabrik:
ribosom

Genkopia:
mRNA

Energi:
ATP

Arbetare:
olika enzymer inkl. rRNA som ingår i ribosomen

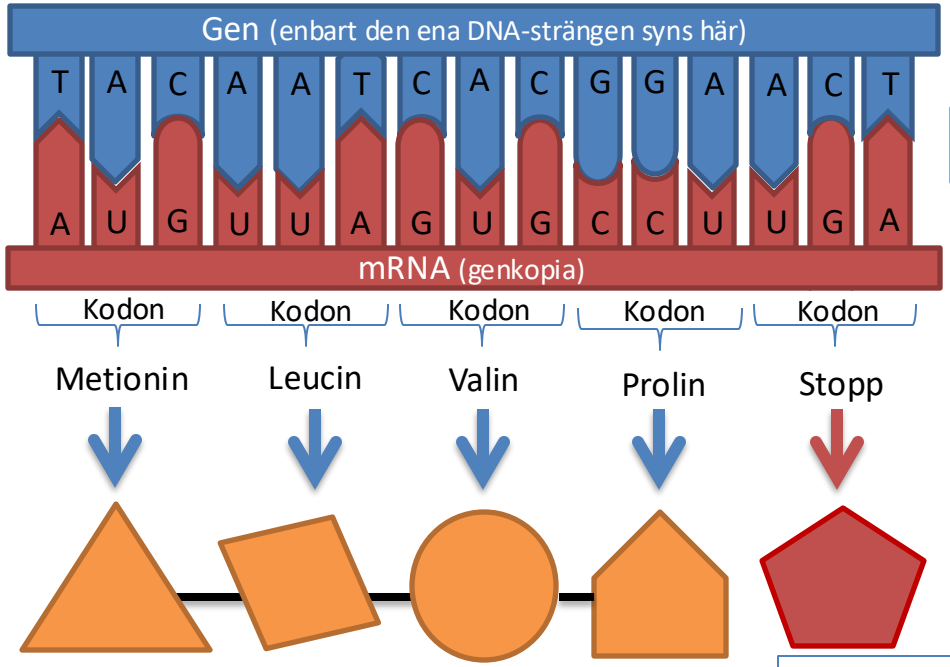
Transportbilar:
tRNA

Den genetiska koden - ord med tre bokstäver!

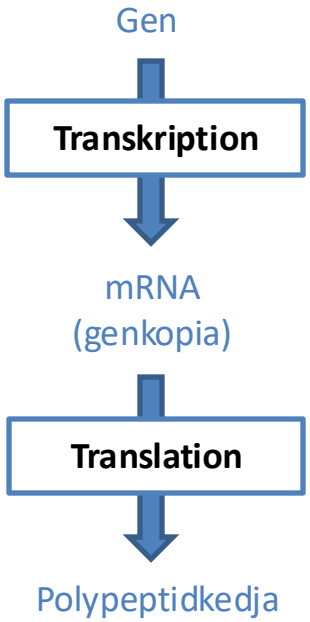
- ✓ **Den genetiska koden:** En gen är uppbyggd av ett stort antal nukleotider med fyra olika kvävebaser (A, T, G och C). Kvävebassekvensen utgör den genetiska koden och avgör vilka aminosyror som ska ingå i det protein som genen kodar för. Kvävebaserna är ordnade i tripletter, där varje triplett (kodon) kodar för en specifik aminosyra eller en stopp-signal.

- ✓ **Transkriptionen:** Under transkriptionen skrivs den genetiska koden om till en mRNA-molekyl (genkopia).

- ✓ **Translationen:** I en ribosom kopplas aminosyror ihop med varandra till en polypeptidkedja utifrån instruktionen/ koden i mRNA-molekylen.



I translationen kopplas olika aminosyror ihop med varandra till en polypeptidkedja.



Basparning när mRNA ska bildas:
Adenin (A) i DNA – Uracil (U) i mRNA
Tymin (T) i DNA – Adenin (A) i mRNA
Cytosin (C) i DNA – Guanin (G) i mRNA
Guanin (G) i DNA – Cytosin (C) i mRNA

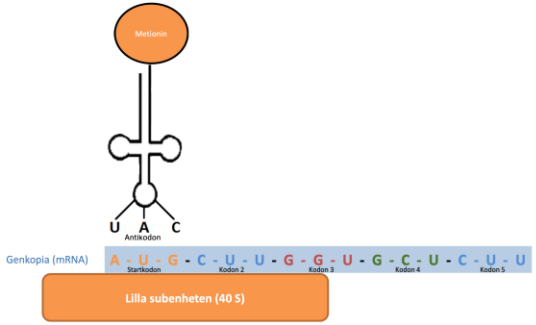
Den genetiska koden (mRNA → aminosyror)

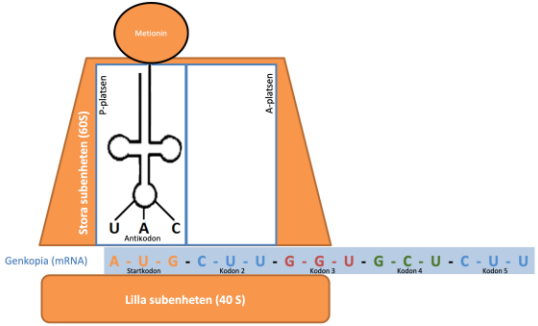
BAS 1:	BAS 2:								BAS 3:
	U		C		A		G		
U	UUU	Fenylalanin	UCU	Serin	UAU	Tyrosin	UGU	Cystein	U
	UUC	Fenylalanin	UCC	Serin	UAC	Tyrosin	UGC	Cystein	C
	UUA	Leucin	UCA	Serin	UAA	Stopp	UGA	Stopp	A
	UUG	Leucin	UCG	Serin	UAG	Stopp	UGG	Tryptofan	G
C	CUU	Leucin	CCU	Prolin	CAU	Histidin	CGU	Arginin	U
	CUC	Leucin	CCC	Prolin	CAC	Histidin	CGC	Arginin	C
	CUA	Leucin	CCA	Prolin	CAA	Glutamin	CGA	Arginin	A
	CUG	Leucin	CCG	Prolin	CAG	Glutamin	CGG	Arginin	G
A	AUU	Isoleucin	UCU	Treonin	AAU	Asparagin	AGU	Serin	U
	AUC	Isoleucin	UCC	Treonin	AAC	Asparagin	AGC	Serin	C
	AUA	Isoleucin	UCA	Treonin	AAA	Lysin	AGA	Arginin	A
	AUG	Metionin	UCG	Treonin	AAG	Lysin	AGG	Arginin	G
G	GUU	Valin	UCU	Alanin	GAU	Asparaginsyra	GGU	Glycin	U
	GUC	Valin	UCC	Alanin	GAC	Asparaginsyra	GGC	Glycin	C
	GUA	Valin	UCA	Alanin	GAA	Glutaminsyra	GGA	Glycin	A
	GUG	Valin	UCG	Alanin	GAG	Glutaminsyra	GGG	Glycin	G

OBS: Den genetiska koden är degenererad vilket innebär att flera olika kodon kodar för samma aminosyra.

Steg 1: Initiering

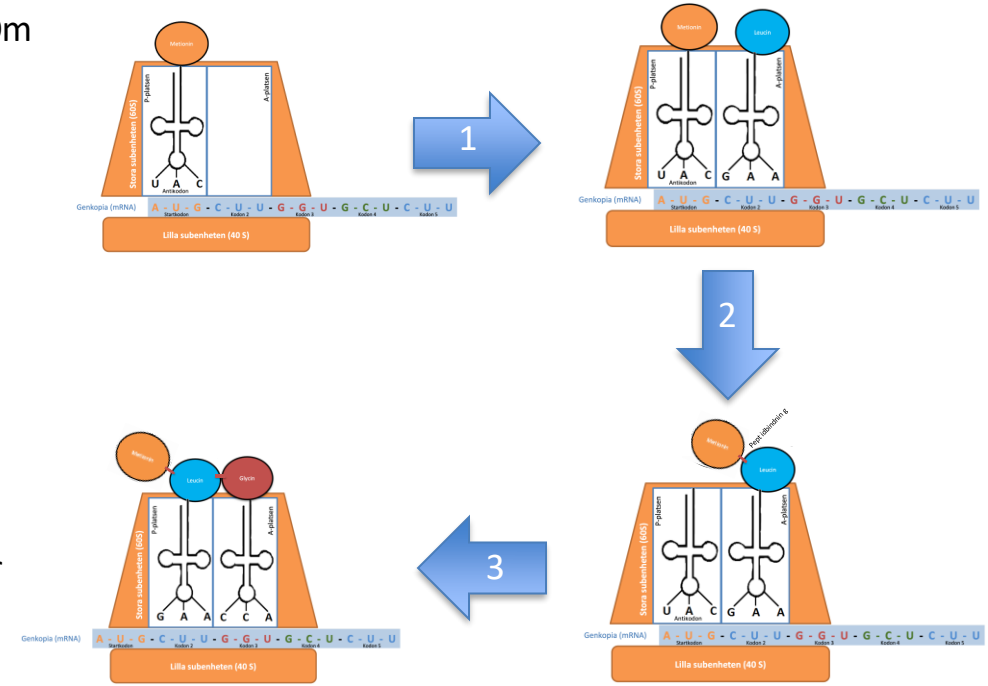
1. Den lilla subenheten av ribosomen binder till mRNA:t.
2. En tRNA-molekyl, som bär på aminosyran metionin, binder till startkodonet "AUG" på mRNA:t. Startkodonet kodar alltid för metionin, vilket innebär att alla polypeptidkedjor börjar med metionin (även om den ofta tas bort efter translationen).
3. Den stora subenheten av ribosomen ansluter och bildar ett komplett ribosomkomplex. tRNA:t med metionin hamnar på P-platsen i ribosomen.





Steg 2: Elongering

1. En tRNA-molekyl med aminosyran metionin sitter redan på P-platsen. En ny tRNA-molekyl med en aminosyra anländer till den tomma A-platsen. Om antikodonet på tRNA:t inte kan baspara med kodonet på mRNA:t, så är det fel aminosyra och tRNA:t lämnar ribosomen. Om antikodonet däremot basparar med kodonet på mRNA:t, stannar tRNA:t på A-platsen.
2. Aminosyran på P-platsen kopplas ihop med aminosyran på A-platsen genom en peptidbindning, en reaktion som katalyseras av ribosomen. ATP krävs för denna reaktion.
3. Ribosomen förflyttar sig sedan en triplett längs mRNA:t. tRNA:t på P-platsen "knuffas" ut från ribosomen (först till E-platsen och sedan lämnar det ribosomen), och A-platsen är nu redo att ta emot en ny tRNA. Denna process fortsätter tills hela polypeptidkedjan är färdig.



Steg 3: Terminering

- ✓ **Stoppkodon:** I slutet av mRNA:t finns ett stoppkodon som signalerar att translationen ska avslutas. Det finns totalt tre stycken olika kodon i mRNA som betyder ”stopp” men enbart ett stoppkodon förekommer i slutet av varje mRNA-molekyl. Ingen tRNA-molekyl kan binda till stoppkodonet så därför förlängs inte polypeptidkedjan något mer när stoppkodonet dyker upp på A-platsen i ribosomen.

- ✓ **Release-faktorn binder till stoppkodonet:** När stoppkodonet dyker upp på A-platsen i ribosomen kommer ett protein som kallas för release-faktorn (eller ”släppfaktorn”) att binda till stoppkodonet på mRNA:t vilket leder till att translationen upphör. De båda subenheterna kommer då släppa från varandra och mRNA:t och polypeptidkedjan kommer lossna.

- ✓ **Samma mRNA kan återanvändas:** När translationen har terminerats kan mRNA-molekylen återanvändas och translateras om och om igen. Den kan också brytas ner av enzymet RNas. Då kan istället nukleotiderna återanvändas för att bygga nya mRNA-molekyler.

Proteinveckningen sker till stora delar spontant men även med hjälp av chaperoner

- ✓ **Proteinveckningen sker till stora delar spontant:**
  - Mycket av ett proteins veckning sker spontant. Aminosyror med opolära (hydrofoba) sidokedjor vänder sig spontant inåt, bort från det omgivande vattnet, för att undvika att störa vattenmolekylernas vätebindningsnätverk. Denna process kallas den hydrofoba effekten och bidrar till proteinets stabilisering genom att minimera interaktionen mellan de opolära sidokedjorna och vattnet.
  - Samtidigt orienterar sig polära (hydrofila) sidokedjor utåt mot vattnet, där de kan bilda vätebindningar och andra bindningar med vattenmolekyler.
  - Även andra bindningar mellan sidokedjor – som vätebindningar, saltbryggor och disulfidbryggor – uppstår spontant och hjälper till att stabilisera proteinets tredimensionella struktur.

- ✓ **Chaperoner hjälper proteiner med en del av veckningen:** För vissa proteiner räcker inte den spontana veckningen. Då hjälper särskilda proteiner, chaperoner, till. Flera olika chaperoner kan binda till polypeptidkedjan och förhindra felveckning samtidigt som de underlättar korrekt veckning. När veckningen är klar släpper chaperonerna det färdigveckade proteinet.

Hydrofob effekt och hydrofoba interaktioner

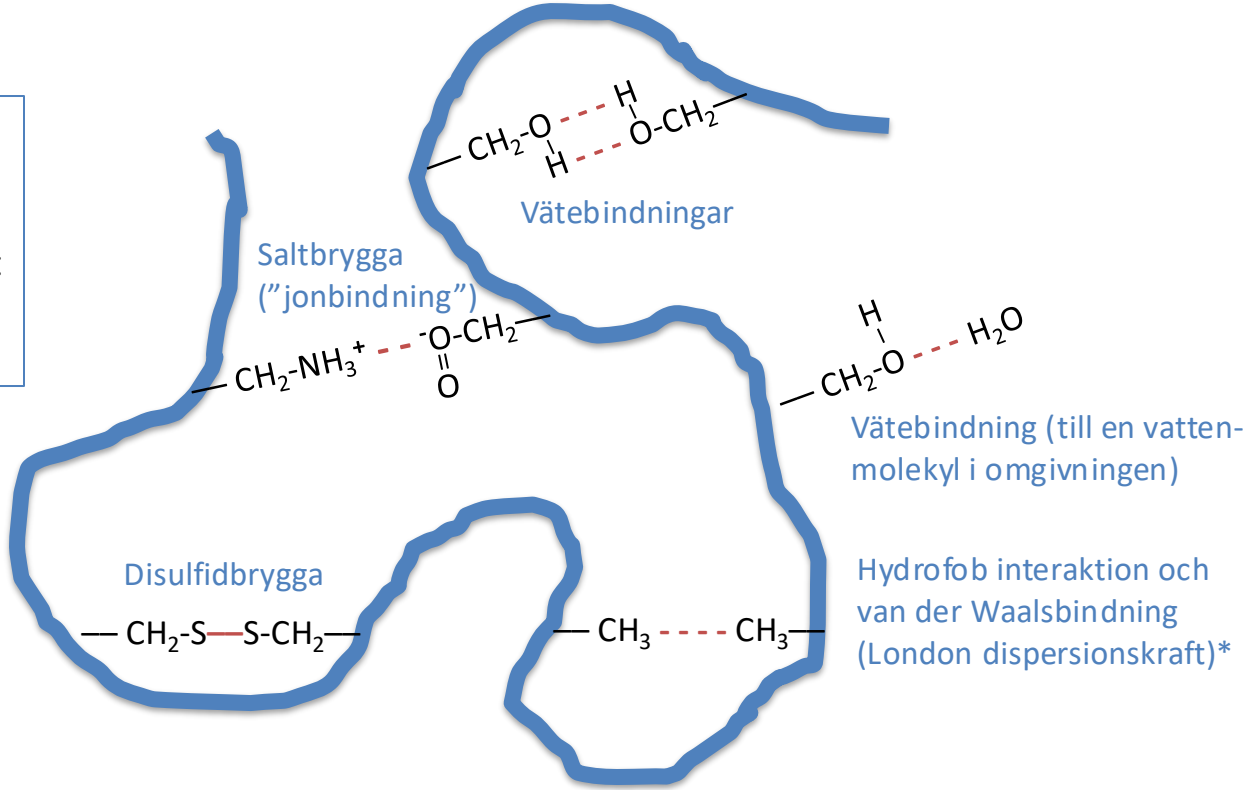
- ✓ **Vattenmolekyler skapar ett nätverk med vätebindningar:** I en vattenlösning bildar vattenmolekyler ett dynamiskt nätverk av vätebindningar med varandra. Dessa bindningar bryts och återbildas ständigt, vilket skapar en relativt hög grad av oordning (hög entropi) i systemet. Detta är termodynamiskt fördelaktigt, eftersom naturen spontant strävar mot högre entropi.

- ✓ **Hydrofoba effekten (drivkraften):** Opolära (hydrofoba) sidokedjor i proteiner stör vattnets nätverk av vätebindningar. Då måste vattenmolekylerna ordna sig runt dem, vilket innebär att antalet möjliga vätebindningar minskar och att vattnet hamnar i ett mer ordnat tillstånd – alltså med lägre entropi. Eftersom naturen ”strävar” efter hög entropi (hög oordning) är detta ogynnsamt. För att undvika detta trycks de opolära (hydrofoba) sidokedjorna istället in mot proteinets inre – bort från vattnet. Detta fenomen kallas den hydrofoba effekten och är en av de viktigaste krafterna bakom proteinveckning.

- ✓ **Hydrofoba interaktioner (resultatet):** När de opolära sidokedjorna samlas i mitten av proteinet hålls de ihop med varandra. Det beror inte på att de attraherar varandra elektriskt, utan på att vattnet undviker kontakt med dem. Detta kallas hydrofoba interaktioner – och de är alltså ett resultat av den hydrofoba effekten. Dessa interaktioner är inte kemiska bindningar i klassisk mening, utan snarare fysiska krafter som hjälper till att stabilisera proteinets tredimensionella struktur.

Proteinernas veckning och struktur skapas och stabiliseras av olika bindningar och krafter

Olika typer av bindningar eller krafter uppstår mellan aminosyrornas sidokedjor (R-grupper), vilket får proteinet att veckas och anta en specifik tredimensionell struktur.



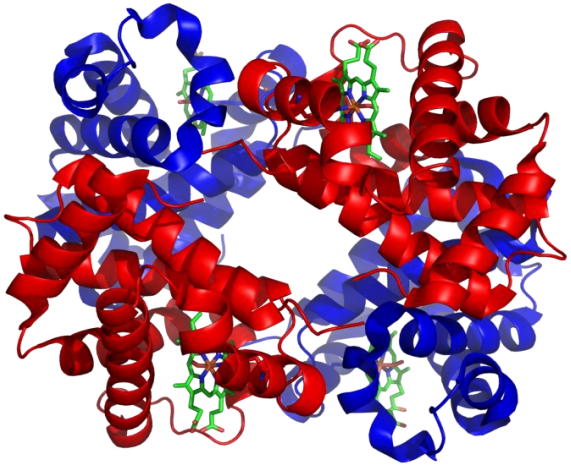
**Van der Waalsbindningar (London dispersionskrafter) förekommer mellan alla sidokedjor, men får störst betydelse här.*

Proteiner kan bestå av flera polypeptidkedjor och dessa sammanfogas då efter translationen

- ✓ **Proteiner har en eller flera polypeptidkedjor:** En del proteiner innehåller enbart en polypeptidkedja medan andra proteiner kan innehålla flera olika polypeptidkedjor. Har proteinet flera polypeptidkedjor så kallas dessa ofta för subenheter (underenheter). Exempelvis har proteinet hemoglobin 4 polypeptidkedjor, alltså 4 subenheter.

- ✓ **Polypeptidkedjorna sammanfogas med varandra i cytosolen eller i det endoplasmatiska nätverket (ER):** Polypeptidkedjor tillverkas en i taget i ribosomerna och veckas efter translationen. Om proteinet består av flera polypeptidkedjor, sätts dessa samman efter att de har veckats korrekt. Sammanfogningen sker oftast i cytosolen eller i det endoplasmatiska nätverket (ER). Denna process sker till stor del spontant genom att bindningar uppkommer mellan sidokedjorna på de olika polypeptidkedjorna. Chaperoner kan assistera genom att stabilisera dessa bindningar och säkerställa att subenheterna sätts ihop på rätt sätt.

Hemoglobin
(4 polypeptidkedjor)



Bildkälla: "1GZX Haemoglobin" by Zephyris at English Wikipedia - Transferred from en.wikipedia to Commons.. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1GZX_Haemoglobin.png#/ media/File:1GZX_Haemoglobin.png

Exempel på proteinmodifieringar

- ✓ **Vad menas med proteinmodifieringar?:** Proteinmodifieringar, även kallade posttranslationella modifieringar (PTM), innebär ofta att olika molekyler kopplas på proteinet (t.ex. olika prostetiska grupper). Dessa påverkar proteinets struktur, funktion, stabilitet, lokalisering eller interaktioner med andra molekyler.

- ✓ **Här är exempel på proteinmodifieringar och vart de sker:**
  - Fosforylering: Fosfatgrupper kopplas på serin, treonin eller tyrosin. Sker ofta i cytosolen.
  - Glykosylering: Kolhydratkedjor fästs på proteiner, oftast på asparagin, serin eller treonin. Sker i endoplasmatiska nätverket och Golgiapparaten.
  - Hydroxylering: En hydroxylgrupp kopplas till prolin eller lysin, vanligt i kollagen. Sker i endoplasmatiska nätverket (ER).
  - Lipidmodifiering: Fettsyror fästs på proteiner. Sker oftast i det endoplasmatiska nätverket (ER).
  - Proteolys: Proteiner klyvs i mindre fragment, vilket kan vara nödvändigt för aktivering eller för att ta bort onödiga delar. Proteolys kan ske på olika platser i cellen inkl. i Golgiapparaten.

Exempel på olika typer av prostetiska grupper som kan kopplas på proteinet vid modifieringen

- ✓ **Prostetiska grupper:** Prostetiska grupper är molekyler som ej innehåller aminosyror och som är permanent bundna till ett protein. De är nödvändiga för proteinets funktion och kan vara små organiska molekyler eller metalljoner. Prostetiska grupper hjälper proteinet att utföra specifika funktioner, som att delta i kemiska reaktioner eller binda till andra molekyler.

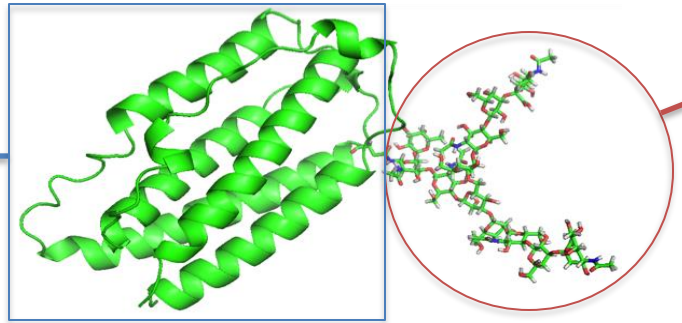
- ✓ **Konjugerande proteiner:** Konjugerande proteiner innehåller minst en prostetisk grupp.

Konjugerande proteiner:	Prostetisk grupp som kopplas till proteinet:
Glykoproteiner	Kolhydratmolekyl (liten andel)
Proteoglykaner	Kolhydratmolekyl (stor andel)
Lipoproteiner	Lipidmolekyl (fettmolekyl)
Hemoproteiner	Hemgrupp (porfyrin + järnjon)
Flavoproteiner	Flavinnukleotider (FAD och FMN)
Metalloproteiner	Olika metalljoner som binder permanent

Glykoproteiner och proteoglykaner har kolhydrater bundna till sig

- ✓ **Glykoproteiner vs. proteoglykaner:** Många proteiner genomgår en posttranslationell modifiering där kolhydrater binds kovalent till polypeptidkedjan (glykosylering). Proteiner med denna modifiering kallas glykoproteiner eller proteoglykaner. Skillnaden mellan dessa beror på andelen kolhydrater i proteinet. I proteoglykaner utgör kolhydraterna ofta 80-95 % av den totala molekylvikten, medan de i glykoproteiner ofta utgör 1-60 %.

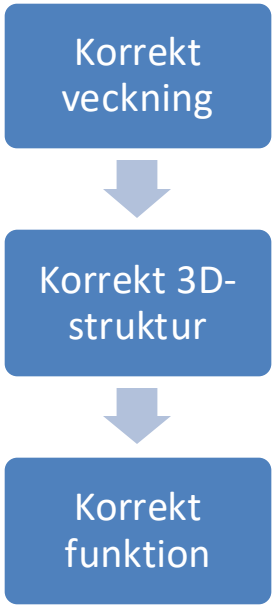
- ✓ **Funktioner:** Glykoproteiner är vanliga i cellmembran och i blodet och har en rad olika funktioner. I cellmembranet kan de t.ex. hjälpa till att stabilisera membranstrukturen genom att kolhydratdelen sticker ut från cellmembranet och skapar vätebindningar med det omgivande vattnet. Glykoproteiner kan även fungera som receptorer i cellmembranet och som hormoner i blodet. Proteoglykaner är viktiga för att bygga upp vävnader som brosk, där deras höga kolhydratinnehåll gör att de kan binda mycket vatten, vilket är avgörande för broskets stötdämpande egenskaper.

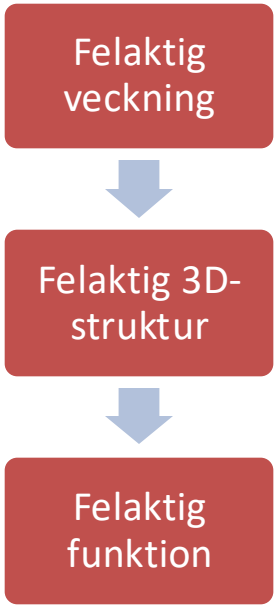


Detta är ett glykoprotein eftersom kolhydratdelen utgör en mindre andel av den totala molekylvikten.

Felveckade proteiner

- ✓ **Felveckade proteiner:** Felveckade proteiner har genomgått veckning men av någon anledning, har veckningen blivit felaktig och proteinet har därmed fått en felaktig tredimensionell struktur. Detta förändrar eller förstör proteinets funktion. En del proteiner genomgår först en korrekt veckning men sedan händer någonting som gör att den korrekta veckningen förändras och blir felaktig.





Sambandet mellan felveckade proteiner och olika sjukdomar

Felveckning av proteinet → 3D-strukturen förändras → Förändrad funktion & egenskaper t.ex. minskad vattenlöslighet → Många proteiner klumpar ihop sig och bildar s.k. amyloid-plack → Cellernas normala funktioner störs → Sjukdom

- ✓ **Felveckade proteiner bildar amyloidplack:** Amyloidplack är ansamlingar/aggregat av felveckade proteiner (amyloider) som klumpat ihop sig i eller utanför celler. Detta sker ofta för att den förändrade strukturen minskar proteinet löslighet i vatten.

- ✓ **Amyloidplacken orsakar många olika sjukdomar:** Amyloidplack är centrala i många sjukdomar, inklusive Alzheimers, Parkinsons, Skellefteåsjukan, Huntingtons sjukdom, diabetes typ 2, galna kosjukan och Creutzfeldt-Jakobs sjukdom. Minst 30 olika sjukdomar är kopplade till felveckade proteiner och amyloidplack.

Orsaker till felveckning av proteiner

1. **Genetiska mutationer**: Genetiska mutationer kan förändra aminosyrasekvensen i proteiner, vilket kan störa den korrekta veckningen och resultera i en felveckad proteinstruktur. Felveckade proteiner kan antingen bli funktionellt inaktiva eller skadliga för cellen.

2. **Fria radikaler och oxidativ stress**: Fria radikaler är instabila molekyler med oparade elektroner som kan skada celler genom att "stjäla" elektroner från andra molekyler, t.ex. proteiner, lipider och DNA. När mängden fria radikaler blir för hög uppstår oxidativ stress. Då kan fria radikaler reagera med aminosyrors sidokedjor, vilket förändrar deras kemiska egenskaper eller bryter viktiga bindningar – något som kan leda till att proteinet veckas fel. De kan också försämra chaperonernas funktion, vilket ytterligare ökar risken för felveckning. Faktorer som tobaksrök, luftföroreningar, tungmetaller, UV-strålning, alkohol, stress och inflammation kan öka bildningen av fria radikaler och därmed risken för felveckade proteiner.

3. **Åldrandeprocessen:** Med åldern försämras cellens förmåga att hantera felveckade proteiner, delvis på grund av nedsatt funktion i det endoplasmatiska nätverket (ER) och hos chaperoner. När dessa system inte fungerar optimalt ökar risken för att proteiner veckas fel och ansamlas i cellen. Långvarig exponering för fria radikaler bidrar också till detta, vilket kan leda till sjukdomar som exempelvis neurodegenerativa sjukdomar.

DET VIKTIGASTE FRÅN:
BLOCK 3, DEL 4
(UNDER UPPBYGGNAD, INGÅR EJ DETTA LÄSÅR)