

Organisk kemi och biokemi

Innehållsförteckning

ORGANISK KEMI OCH BIOKEMI.....	1
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	2
INLEDNING	3
ORGANISK KEMI	4
<i>Alkaner</i>	4
<i>Isomeri</i>	5
Kedjeisomeri och nomenklatur.....	6
<i>Alkener</i>	7
<i>Alkyner</i>	8
<i>Halogenalkaner</i>	8
<i>Cykloalkaner</i>	9
<i>Aromatiska kolväten</i>	9
<i>Alkoholer</i>	10
<i>Ställningsisomeri</i>	11
<i>Flervärda alkoholer</i>	11
<i>Aldehyder</i>	12
<i>Karboxylsyror</i>	13
<i>Ketoner</i>	17
<i>Merkaptaner</i>	17
<i>Etrar</i>	17
<i>Aminer</i>	18
<i>Amider</i>	18
<i>Fler aromatiska föreningar</i>	18
<i>Estrar</i>	19
<i>Funktionsisomeri</i>	20
<i>Stereoisomeri</i>	20
<i>Polymerer</i>	22
BIOKEMI.....	24
<i>Kolhydrater</i>	24
<i>Aminosyror</i>	27
<i>Proteiner</i>	30
Fiberproteiner	30
Globulära proteiner.....	32
<i>Lipider</i>	32
<i>Nukleinsyror</i>	35
<i>Vitaminer</i>	37
Vitamin A.....	37
B-vitaminer.....	37
Vitamin C	38
D-vitaminer	38
Övriga vitaminer.....	38
<i>Mineralämnen</i>	38
FYSIOLOGISKA PROCESSER.....	40
<i>Matspjälkning</i>	40
<i>Absorptionsfasen</i>	41
<i>Postabsorptionsfasen</i>	42
<i>Nedbrytning av alkoholer</i>	42
<i>Katabolism av spjälkade näringsämnen</i>	43
Bärarmolekyler	43
Glykolysen.....	44
Pyruvatjoner omvandlas till acetyl-CoA.....	45
Betaoxidationen	45
Citronsyracykeln.....	47
Cellandningen.....	47
AVSLUTNING.....	48
KÄLLFÖRTECKNING	49

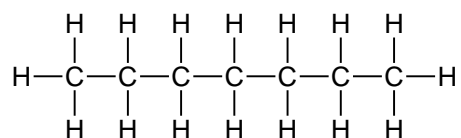
Inledning

Människan är en komplex organism som helt och fullt är uppbyggd av kemiska föreningar, varav de allra flesta är så kallade *organiska föreningar*. Organiska föreningar består vanligtvis främst av atomerna kol, väte, syre och kväve, även om också andra ämnen kan förekomma i mindre mängder. Denna uppsats är tänkt att översiktligt beskriva den organiska kemin samt de ämnen och processer som återfinns och äger rum i människokroppen. Först kommer vi att studera de organiska föreningarnas uppbyggnad och egenskaper, varefter vi kommer att studera var och hur de används i kroppen, samt hur de intages med födan. Vi kommer också att studera några av alla de organiska föreningar som används i produkter i samhället i form av *plaster*, samt användningar av organiska föreningar inom bland annat livsmedels- och läkemedelsindustrin.

Organisk kemi

Vi ska börja med att studera de enklaste organiska föreningarna, de så kallade kolvätena, som endast består av kol- och väteatomer.

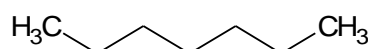
Eftersom en kolatom har fyra valenselektroner, kan den kovalent dela fyra elektronpar med upp till fyra andra atomer. Detta är grundprincipen för hur kolväten är uppbyggda. När vi talar om organiska föreningar, använder vi, förutom föreningarnas vanliga summaformler också deras strukturformler, vilka anger hur atomerna är bundna till varandra. En komplett tvådimensionell strukturformel består av samtliga atomer utritade på ett plan med streck emellan dem; varje streck symboliserar ett delat elektronpar. Eftersom organiska föreningar ofta är väldigt stora (innehåller många atomer), brukar emellertid strukturformlerna förkortas. Ofta förekommer kedjor av kolatomer och väteatomer, som till exempel i kolvätet heptan:



Denna strukturformel kan förkortas. Först kan vi skriva varje "segment" som en lokal summaformel:



Vi kan förkorta denna ytterligare genom att låta alla "standardsegment" (CH_2) vara underförstådda:




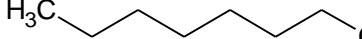
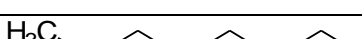

Vid varje "skarv" återfinns alltså en CH_2 -grupp.

Oerhört många organiska ämnen är kända, och väldigt många av dem återfinns i naturen och har också praktiska tillämpningar inom industrin (särskilt kemiska industrin, läkemedels- samt livsmedelsindustrin). Vi kommer därför i denna uppsats endast att nämna de allra vanligaste kemikaliernas naturliga förekomster och användningsområden.

Alkaner

Alkaner är kolväten där varje kol binder fyra atomer. I tabellen nedan anges de minsta kolvätena. Kolumnen "C" anger hur många kolatomer kolvätet innefattar och kolumnen "fas" anger vilket aggregationstillstånd (s: fast; l: flytande; g: gas) ämnet har vid NTP (normalt lufttryck vid havsytan och temperaturen 25 °C).

C	Namn	Trivialnamn	Formel	Strukturformel	Fas
1	metan	gruvgas, sumpgas	CH_4	CH_4	g
2	etan		C_2H_6	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_3$	g
3	propan		C_3H_8	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	g
4	butan		C_4H_{10}	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	g
5	pentan		C_5H_{12}	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	l
6	hexan		C_6H_{14}	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	l

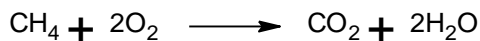
C	Namn	Trivialnamn	Formel	Strukturformel	Fas
7	heptan		C ₇ H ₁₆		l
8	oktan		C ₈ H ₁₈		l
9	nonan		C ₉ H ₂₀		l
10	dekan		C ₁₀ H ₂₂		l

Tabell 1 Alkaner

Alla alkaner till och med alkanen med 16 kol, hexadekan (C₁₆H₃₄) är flytande vid NTP. Alkanen med 17 kol, heptadekan (C₁₇H₃₆), har smältpunkten 21 °C; alla större alkaner är fasta ämnen vid NTP.

Det enklaste kolvätet, metan är en doftlös gas. Vid industriell användning av gasen tillsätter man dock ofta illaluktande gaser (ofta svavelföreningar), så att gasläckor enklare ska kunna detekteras. Metan återfinns i jordens mantel och på havsbotten och är en huvudbeståndsdel i naturgas som används som bränsle för exempelvis elproduktion och uppvärmning.

Genom reaktionen



förbränns metan fullständigt.

Även djurs matspjälkningsprocesser bildar metan. Metan återfinns även på andra himlakroppar i vårt solsystem, bland annat på Jupiters måne Titan, som är den enda kända månen i solsystemet med en tjockare atmosfär, vilken till omkring 1,6 % består av metan. Metan har också återfunnits i gasmoln i den interstellära rymden. Även flera större alkaner återfinns fritt i naturen, både på jorden och ute i rymden.

Bensin, som används som bränsle till mindre motorer (i exempelvis motorcyklar, bilar och mindre flygplan) utgörs till största delen av en lösning av alkaner med kolantal mellan sex och tio.

Isomeri

Två kemiska föreningar som har samma summaformel men olika strukturformler, sägs vara *isomera* eller *isomerer* till varandra. Det finns olika typer av isomeri, vilka sammanfattas i punktlistan nedan.

- Strukturisomeri
 - Kedjeisomeri
 - Ställningsisomeri
 - Funktionsisomeri
- Stereoisomeri
 - Cis-trans-isomeri
 - Spegelbildsisomeri

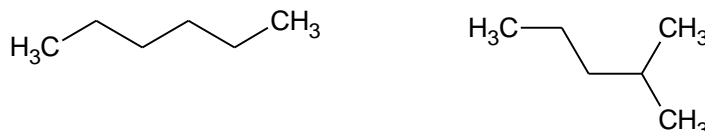
Strukturisomeri föreligger mellan två föreningar på grund av att atomerna i den ena föreningen inte är bundna till motsvarande atomer i den andra föreningen. Beträffande stereoisomeri är alla atomer bundna till motsvarande atomer, fast i *andra riktningar* i den tredimensionella rummet.

Kedjeisomeri och nomenklatur

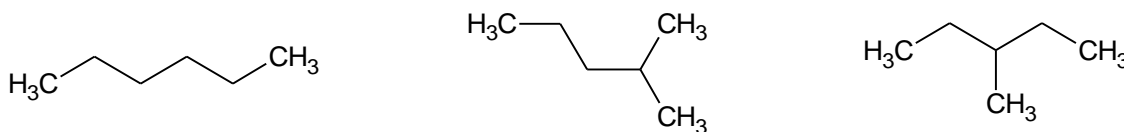
Kedjeisomeri förekommer när kedjan av kolatomer skiljer sig mellan två molekyler. Som exempel är följande molekyler varandras isomerer:



Båda har summaformeln C_5H_{12} , fast atomerna sitter bundna till varandra på olika sätt. Den första molekylerna känner vi igen som pentan. Den andra kan vi därför kalla en isomer till pentan, eller iso-pentan. Vi kan också hitta en isomer till hexan:



Den första molekylerna är hexan, och den andra kan vi kalla iso-hexan. Det finns emellertid flera möjliga kandidater till namnet iso-hexan. Nedan visas samtliga tänkbara kedjeisomerer till hexan.



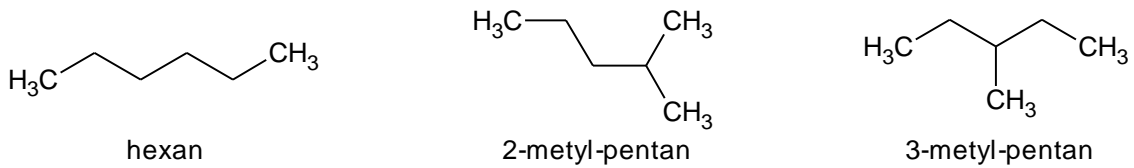
För att på ett entydigt sätt namngiva isomerer, har man kommit fram till följande regler:

1. Finn den längsta kontinuerliga kolkedjan i molekylerna; denna kallas molekylernas *stamkedja*. Den ogrenade alkanen med samma antal kol som stamkedjan blir molekylernas "efternamn". För stegen nedan krävs också att vi numrerar kolatomerna i denna kedja, så att den kolatom med förgrening som är närmast någon av huvudkedjans ändpunkter får så lågt nummer som möjligt.
2. De grupper som är påsatta på denna kedja namnges för sig, och får den nya ändelsen "-yl", vilket betyder att de är grupper. I fallet med alkaner, kommer dessa grupper att få ändelsen "-yl" istället för "-an".
3. Samtliga grupper anges framför molekylernas "efternamn". Före varje grupp sätts numret för det kol på huvudkedjan, till vilket gruppen är bunden. Mellan siffror och namn och mellan olika namn används bindestreck.
4. Om en viss grupp förekommer flera gånger, sätts ett räknetal framför gruppens namn (utan bindestreck mellan räknetal och gruppnamn), enligt tabellen till höger. Kolnumren för grupperna separeras med kommatecken.
5. Grupperna före molekylernas efternamn sorteras alfabetiskt. Räknetal undantages.

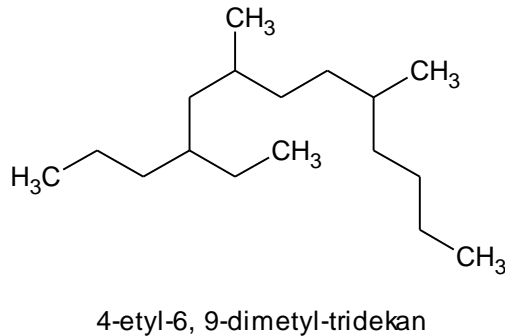
ett	(mono)
två	di
tre	tri
fyra	tetra

Tabell 2 Räkneord

Som exempel erhåller vi för de isomera formerna av hexan följande namn:



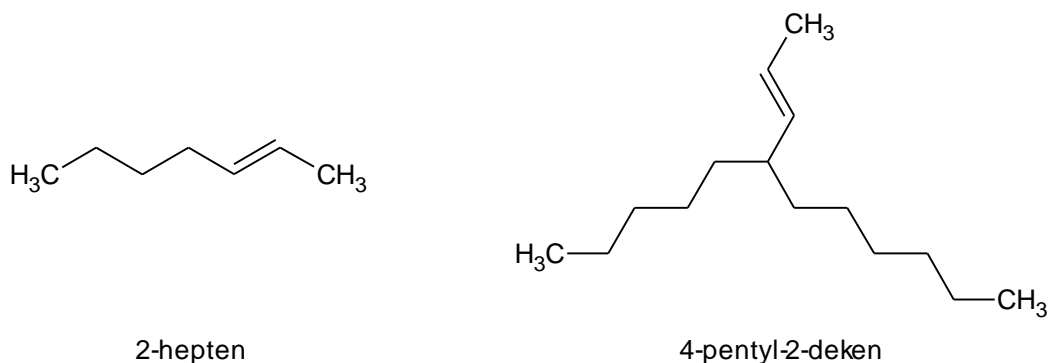
Ett mer komplicerat exempel följer nedan:



Alkener

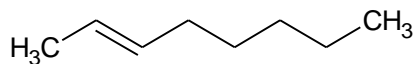
En kolatom kan ibland binda endast tre andra atomer; i sådana fall måste exakt en av dessa bindningar utgöra en dubbelbindning, d.v.s. att två elektronpar delas mellan dessa atomer. En förening med en eller flera dubbelbindningar sägas vara *omättad*, och kan *addera* (tillägga) två nya atomer vid dubbelbindningens position, varvid denna ersätts med en enkelbindning. I strukturformler ritas dubbelbindningar som två parallella streck. För att ange att en kolkedja innehåller dubbelbindningar, får dess "efternamn" ändelsen "-en" istället för "-an". Beträffande numreringen av omättade kolväten, är det viktigt att de eventuella dubbelbindningarna återfinns i stamkedjan. Detta är viktigare än att stamkedjan ska bli så lång som möjligt. Vid numreringen gäller också att dubbelbindningens position ska få så lågt nummer som möjligt. Numret för en dubbelbindning är lika med numret för den kolatom som ingår i denna och som är närmast en av stamkedjans ändpunkter. Numret skrivs strax före molekylens "efternamn".

Betrakta som exempel följande föreningar:

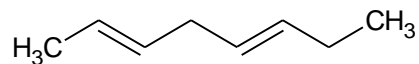


En mer teknisk namngivning av den senare molekylerna ovan skulle vara 6-[1-propen-1-yl]-dodekan.

Om två eller flera dubbelbindningar återfinns inom samma molekyl (på samma stamkedja) så sätts lämpligt räkneord strax innan "efternamnets" suffix "-en". Numren för dubbelbindningarna separeras även här med komma. Se exemplen nedan.

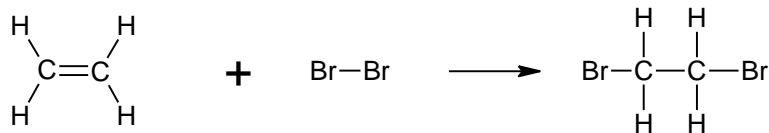


2-okten



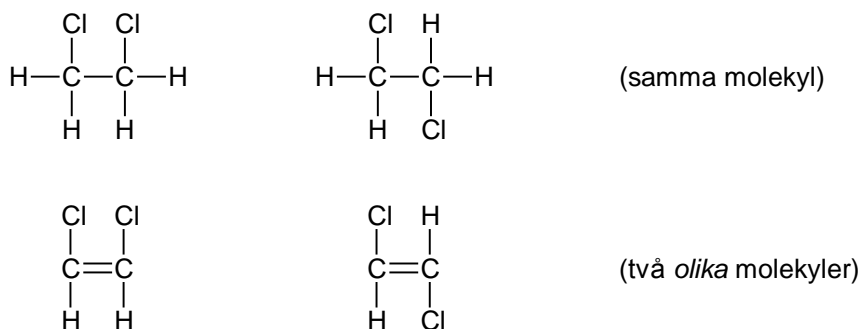
2, 5-oktadien

En omättad förening kan *mättas* genom att addera andra atomer, varvid dubbelbindningen spricker upp. Betrakta följande reaktion som exempel.



Eten (etylen) är en signalsubstans (ett hormon) i växter och är även en tekniskt mycket viktig alken. Eten används främst vid framställning av polyetenplast, en av de allra vanligaste plasterna i dagens moderna samhälle. Polyeten är en polymer av eten, d.v.s. en makromolekyl hopsatt av otaliga etenmolekyler.

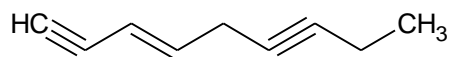
Dubbelbindningar är – till skillnad från enkelbindningar – inte fritt rörliga. Medan det för de följande enkelbundna molekylerna gäller att de är identiska, så är de två molekylerna med dubbelbindningar endast (stereo-) isomerer av varandra.



Alkyner

Trippelbindningar, där tre elektronpar delas, behandlas analogt med dubbelbindningarna, fast vi här istället lägger till suffixet ”-yn” istället för ”-en” som i fallet med dubbelbindningarna.

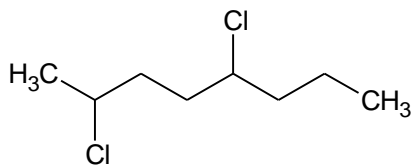
I exemplet nedan anger vi dubbel- och trippelbindningarnas positionsnummer strax före suffixen ”-en” respektive ”-yn”, för att öka entydigheten.



non-3-en-1, 6-diyne

Halogenalkaner

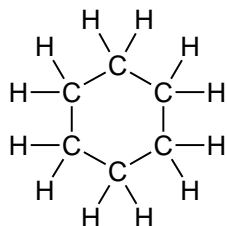
Väteatomer kan i kolväten bytas ut mot andra atomer, främst halogener. Dessa namnges genom att de substituerade halogenatomerna samt deras positioner anges före molekylens ”efternamn”. Betrakta som exempel följande föreningar:



2, 5-diklor-oktan

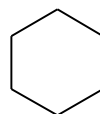
Cykloalkaner

En *cykloalkan* är en cyklisk alkan, d.v.s. en alkan vars ena ”ände” binds till dess andra ”ände”, så att den inte får någon ände alls.



cyklohexan

eller förkortat

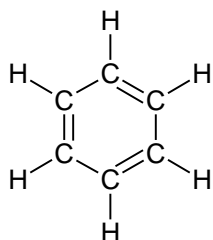


cyklohexan

Cyklohexan och cyklopentan är tämligen stabila cykloalkaner, jämfört med cyklobutan och den instabila cyklopropan.

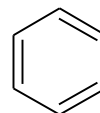
Aromatiska kolväten

Kolväten som utgår från *bensen* kallas aromatiska kolväten. Bensen är ett cykliskt kolväte där – så som man tidigare uttryckte det – varannan kol-kol-bindning utgörs av en dubbelbindning. Detta är dock inte riktigt lämpligt, eftersom bensen inte beter sig som en omättad förening.



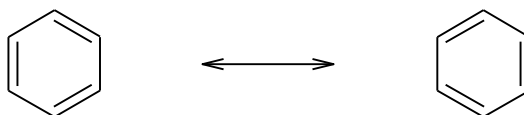
bensen

eller förkortat



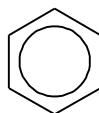
bensen

Med modern terminologi kan man konstatera att de båda nedan (*resonans*-) formlerna är tänkbara:



Istället för att ange dessa båda, så brukar man, säga att de sex¹ extra bindningselektronerna är *delokaliserade*, och *tillhör varje kolatom lika mycket*. För att rita detta, brukar man symbolisera de delokaliserade elektronerna med en cirkel:

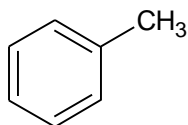
¹ Varför sex? Varje kolatom har fyra valenselektroner. Två av dessa går åt till att enkelbinda grannatomerna och en till väteatomen. Därför får varje kolatom en valenselektron över och hela molekylerna (som består av sex



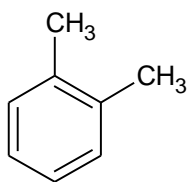
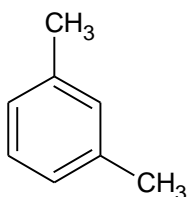
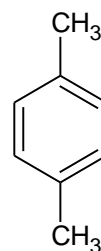
bensen

Man kan betrakta de två ”konventionella” dubbelbindningsmodellerna ovan som två extrem-lägen för elektronernas positioner i bensenmolekylen, medan bensenmolekylens modell bör beskrivas som den senare (en *resonanshybrid*), vilken är stabilare. Bensen är en färglös och väldoftande vätska vid NTP. Bensen har vidare visats vara cancerframkallande.

Två vanliga benserivat är metylbensen (*toluen*) och dimetylbensen (*xylene*), vilka fås från bensen genom en respektive två substitutioner med metylgrupper (väteatomer byts ut mot metylgrupper).

metylbensen
toluen

Det finns (givetvis) tre strukturisomerer av xylene:

1, 2-dimetylbensen
orto-xylene1, 3-dimetylbensen
meta-xylene1, 4-dimetylbensen
para-xylene

Toluen och xylene är båda liksom bensen färglösa vätskor. Toluen och xylene används bland annat i bensin, som lösningsmedel och för syntes av andra kemikalier.

Alkoholer

Vi skall nu titta på mer avancerade organiska föreningar än de rena kolvätena (och halogenkolvätena, som vi också studerat). Om en väteatom på ett kolväte byts ut mot någon annan grupp (som inte är en ren kolvätegrupp), så kan nämligen ämnet få helt nya egenskaper. En sådan grupp kallas en *funktionell grupp*. Vi skall börja med att studera alkoholer, som är organiska föreningar med den funktionella gruppen $-OH$, hydroxylgruppen (”hydroxigruppen”). Först ska vi studera alkoholer som är direkta derivat av alkanerna med endast den yttersta väteatomen substituerad mot en hydroxylgrupp. Eftersom dessa endast innehåller en hydroxylgrupp vardera, kallas de *envärda* alkoholer. Deras namn bildas genom *tillägg* av suffixet ”-ol”.

C	Namn	Trivialnamn	Formel	Strukturformel	Fas
1	metanol	träsprit	CH_3OH	H_3C-OH	l

kolatomer) får därför sex valenselektroner över. Dessa delas av samtliga kolatomer i molekylen, vilket visas av cirkeln.

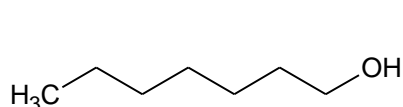
C	Namn	Trivialnamn	Formel	Strukturformel	Fas
2	etanol	sprit	C ₂ H ₅ OH		l
3	propanol		C ₃ H ₇ OH		l
4	butanol		C ₄ H ₉ OH		l
5	pentanol		C ₅ H ₁₁ OH		l
6	hexanol		C ₆ H ₁₃ OH		l
7	heptanol		C ₇ H ₁₅ OH		l
8	oktanol		C ₈ H ₁₇ OH		l
9	nonanol		C ₉ H ₁₉ OH		l
10	dekanol		C ₁₀ H ₂₁ OH		l

Tabell 3 Några envärda alkoholer

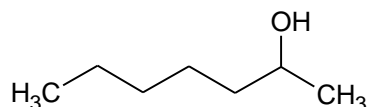
Vi ser att alkoholerna generellt har högre kokpunkter än motsvarande alkaner, vilket givetvis kommer av att hydroxylgrupperna åstadkommer vätebindningar². Dodekanol, C₁₂H₂₅OH (12 kol), är den första fasta alkoholen av denna typ. Metanol och etanol används bland annat som lösningsmedel och i viss mån som bränslen (särskilt etanol). Dessa produceras också av anaeroba bakterier. Etanol är toxiskt men används trots det i vissa kulturer som berusningsmedel. I princip samtliga alkoholer nämnda ovan har diverse praktiska applikationer inom industrin.

Ställningsisomeri

Två organiska föreningar som är lika så när som på att en funktionell grupp återfinns på två olika ställen i de två föreningarna, sägs vara ställningsisomera. För att ange specifika isomerer, måste alltså positionen för samtliga funktionella grupper markeras. Betrakta som exempel följande alkoholer.



1-heptanol



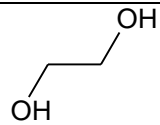
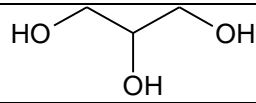
2-heptanol

För att öka entydigheten, bör vi alltså namnge alkoholerna i tabellen ovan 1-propanol, 1-butanol, 1-pentanol osv.

Flervärda alkoholer

En alkohol som innehåller fler än en (1) hydroxylgrupp sägs vara *flervärd*. Om den speciellt har n hydroxylgrupper, sägs den vara n -värd. Namnet för en flervärd alkohol består av hydroxylgruppernas positionsnummer samt lämpligt prefix till suffixet ”-ol” i föreningens ”efternamn”. Vi skall nu titta på några mycket vanliga flervärda alkoholer.

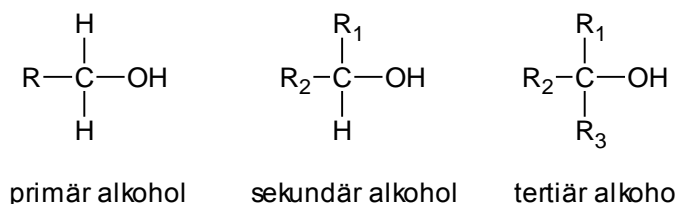
² För vidare diskussioner kring kemisk bindning, se till exempel Rejbrand, Andreas. *Kemisk bindning*. Katrineholm 2004.

C	Namn	Trivialnamn	Formel	Strukturformel	Fas
2	1,2-etandiol	glykol	C ₂ H ₄ (OH) ₂		l
3	1,2,3-propantriol	glycerol, glycerin	C ₃ H ₅ (OH) ₃		l

Tabell 4 Några flervärda alkoholer

Den mest kända applikationen av etandiol är troligen som tillsats i bilar kylarvätska. Om kylarvätskan i en bil består av omkring 50 % etandiol och 50 % vatten, så sjunker fryspunkten till $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$, vilket gör att den inte stelnar (fryser) om bilen står utomhus vid minusgradig temperatur (i $^{\circ}\text{C}$). Propantriol är en huvudbeståndsdel i alla fetter.

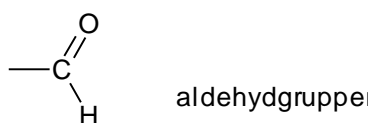
En alkohol sägs vara primär (med avseende på en viss hydroxylgrupp) om kolet som binder hydroxylgruppen max binder en annan kolatom. Om den istället binder två andra kolatomer, sägs alkoholen (med avseende på hydroxylgruppen) vara sekundär; om den binder tre andra kolatomer, sägs den vara tertiär. Alla alkoholer i Tabell 3 **Några envärda alkoholer** är primära. Glykol är primär med avseende på dess båda hydroxylgrupper. De yttre hydroxylgrupperna i glycerolmolekylen är vidare primära, medan den mellersta faktiskt är sekundär.



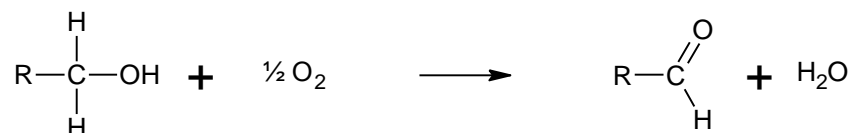
R_n står för valfri kolvätekedja. Vi ska nu titta på vad som händer när primära, sekundära och tertiära alkoholer oxideras.

Aldehyder

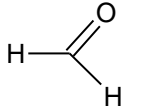
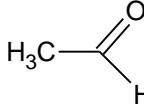
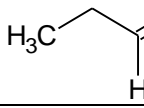
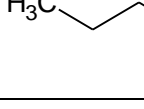
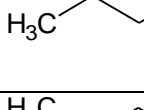
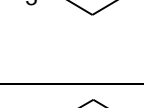
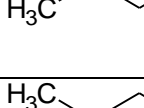
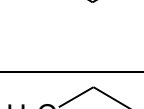
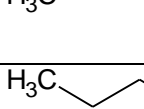
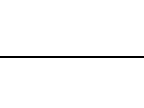
Aldehyder kallas föreningar med den funktionella gruppen $-\text{CHO}$, *aldehydgruppen*.



Aldehyder bildas bland annat vid (måttlig) oxidation av primära alkoholer. Reaktionen visas nedan:



Om vi oxiderar (de primära) alkoholerna från Tabell 3 **Några envärda alkoholer**, så erhåller vi de enklaste aldehyderna. Dessa namnges med ursprungsalkanens namn följt av suffixet ”-al”. Märk att detta är helt analogt med nomenklaturen av alkoholer, där istället suffixet ”-ol” används.

C	Namn	Trivialnamn	Formel	Strukturformel	Fas
1	metanal	formaldehyd	HCHO		g
2	etanal	acetaldehyd	CH ₃ CHO		l
3	propanal		C ₂ H ₅ CHO		l
4	butanal		C ₃ H ₇ CHO		l
5	pentanal		C ₄ H ₉ CHO		l
6	hexanal		C ₅ H ₁₁ CHO		l
7	heptanal		C ₆ H ₁₃ CHO		l
8	oktanal		C ₇ H ₁₅ CHO		l
9	nonanal		C ₈ H ₁₇ CHO		l
10	dekanal		C ₉ H ₁₉ CHO		

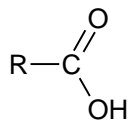
Tabell 5 Några aldehyder

Metanal uppstår i naturen bland annat i samband med skogsbränder och återfinns också i bilavgaser och tobaksrök. Eftersom metanal dödar bakterier, används metanal-vatten-lösning (*formalin*) som desinfektionsmedel och även konserveringsmedel för exempelvis djur i glasburkar i museer. Metanal används också för att torka ut hud, vid exempelvis behandling av hudvårter, samt inom plastindustrin. Främst används metanal emellertid vid syntes av andra ämnen.

Etanal produceras av växter och förekommer naturligt i mogna frukter och i bröd. Inom industrin används etanal främst vid syntes av andra ämnen. Både metanal och etanal misstänks ha cancerogena effekter. Heptanal och oktanal används till målarfärger, och åtskilliga av aldehyderna ovan används inom läkemedelsindustrin.

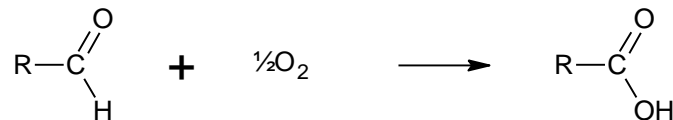
Karboxylsyror

Om vi oxiderar en aldehyd erhåller vi ett nytt ämne, som tillhör klassen *karboxylsyror*. En karboxylsyra är en molekyl som innehåller den funktionella gruppen -COOH , *karboxylgruppen*.



karboxylgrupper

Den allmänna reaktionen när en aldehyd oxideras till en karboxylsyra, framgår av formeln nedan.



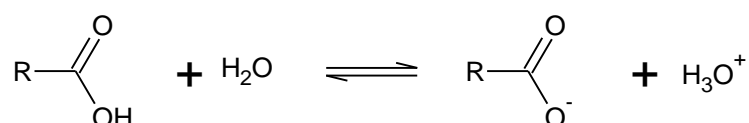
Om vi oxiderar aldehyderna i Tabell 5 **Några aldehyder** erhåller vi de enklaste karboxylsyror. En karboxylsyra namnges genom att suffixet ”-syra” läggs till alkanens ”efternamn”.

C	Namn	Trivial-namn	Formel	Strukturformel	Fas
1	metansyra	myrsyra	HCOOH		l
2	etansyra	ättiksyra	CH ₃ COOH		l
3	propansyra	propionsyra	C ₂ H ₅ COOH		l
4	butansyra	smörsyra	C ₃ H ₇ COOH		l
5	pentansyra	valeriansyra	C ₄ H ₉ COOH		l
6	hexansyra	kapronsyra	C ₅ H ₁₁ COOH		l
7	heptansyra		C ₆ H ₁₃ COOH		l
8	oktansyra	kaprylsyra	C ₇ H ₁₅ COOH		l
9	nonansyra		C ₈ H ₁₇ COOH		
10	dekansyra	kaprinsyra	C ₉ H ₁₉ COOH		s

Tabell 6 Några karboxylsyror

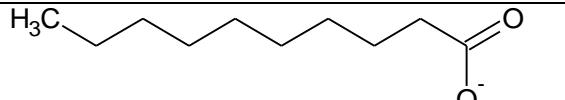
Myrsyra utsöndras bland annat från giftkörtlar hos vissa arter av bin och myror (därav namnet), och är den starkaste karboxylsyran i tabellen ovan; karboxylsyror är i regel dock tämligen svaga syror. Vattenlösningen av ättiksyra (ättika, vinäger) används tack vare dess konserverande och antiseptiska egenskaper inom mathållningen. Ättiksyra används också inom färg-, läkemedels- och plastindustrin. Propionsyra (eller dess ammoniumsalt) sköljs över djurfoder för att hämma bakterietillväxt; även bröd kan behandlas med propionsyra. Smörsyra bildas ofta i gammalt smör, vilket ger smöret en illaluktande doft (därav namnet).

Som för alla andra syror, kan karboxylsyror protolysera i vatten. Detta sker enligt reaktionen nedan.



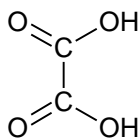
Den anjon som uppkommer kallas *karboxylatjon*. Tabellen nedan visar karboxylatjonerna som uppkommer när syror i Tabell 6 **Några karboxylsyror** protolyseras.

C	Namn	Trivialnamn	Formel	Strukturformel
1	metanoat	formiat	HCOO^-	
2	etanoat	acetat	CH_3COO^-	
3	propanoat	propionat	$\text{C}_2\text{H}_5\text{COO}^-$	
4	butanoat	butyrat	$\text{C}_3\text{H}_7\text{COO}^-$	
5	pentanoat	valerat	$\text{C}_4\text{H}_9\text{COO}^-$	
6	hexanoat	kapronat	$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COO}^-$	
7	heptanoat		$\text{C}_6\text{H}_{13}\text{COO}^-$	
8	oktanoat	kaprylat	$\text{C}_7\text{H}_{15}\text{COO}^-$	
9	nonanoat		$\text{C}_8\text{H}_{17}\text{COO}^-$	

C	Namn	Trivialnamn	Formel	Strukturformel
10	dekanoat	kaprinat	$C_9H_{19}COO^-$	

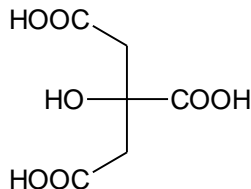
Tabell 7 Några karboxylatjoner

Det finns också flervärda karboxylsyror. Den enklaste dikarboxylsyran är *oxalsyra*, ett fast, vitt, vattenlösligt ämne. Oxalsyra återfinns i exempelvis rabarber, och ger rabarbern dess sura smak. Oxalsyra återfinns även i fanerogamen harsyra (*Oxalis acetosella*), därav namnet. Oxalsyrans anjon kallas *oxalatjon*. Saltet kalciumoxalat är svårslösligt och kan ibland fällas ut i kroppen; den vanligaste formen av njursten (60 % av alla fall) består av en blandning av salterna kalciumoxalat och kalciumfosfat, medan 20 % av alla fall består enbart av kalciumoxalat³. Just på grund av att oxalsyra binder viktiga näringsämnen – såsom kalcium – kan långvarigt (omfattande) oxalsyraintag leda till näringsbrist, åtminstone hos personer med njursjukdomar.



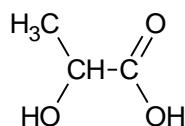
oxalsyra

Det finns också trikarboxylsyror, såsom *citronsyra*. Som namnet antyder återfinns citronsyra i citroner. Syran används också inom livsmedelsindustrin som surhetsreglerande medel. Citronsyrans anjon heter *citratjon*.



citronsyra

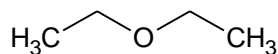
Om en annan funktionell grupp, såsom en hydroxylgrupp, också återfinns på en karboxylsyra, så anges inte hydroxylgruppens läge med vanlig numrering, utan med ”grekisk numrering”. Grekisk numrering går ut på att kolet *närmast* karboxylgruppens kol benämns α , och nästa β , γ osv. Molekylen α -hydroxi-propansyra (*mjölksyra*) är ett enkelt exempel på en hydroxysyra. Mjölksyrans anjon kallas *laktatjon*.



mjölksyra

Om en karboxylsyra upphettas (oxideras) så spricker kedjan, och till slut erhåller vi vatten och koldioxid.

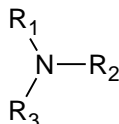
³ Källa: H. G. Tiselius, Karolinska Institutet



etoxyetan

Aminer

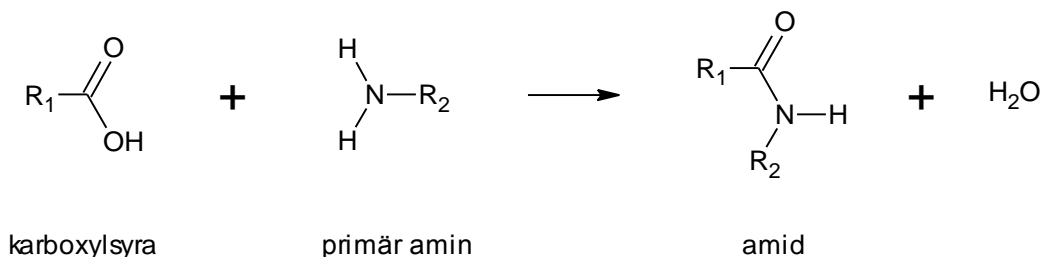
Om en eller flera av väteatomerna i ammoniak (NH_3) substitueras mot kolvätekedjor (R_1 , R_2 , R_3) erhåller vi en *amin*. Alla aminer kan alltså skrivas på formen nedan, där R_n kan vara väte eller en kolvätekedja. Om endast ett av ammoniakens väten är ersatt, talar vi om en primär amin; om två väten är ersatta är aminen sekundär, och om alla tre vätena är ersatta är aminen tertiär. Aminer är baser.



En amin

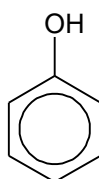
Amider

Kondensationsprodukten⁶ av en karboxylsyra och en amin benämns amid. Den allmänna reaktionen vid bildandet av en amid från en primär amin visas nedan.



Fler aromatiska föreningar

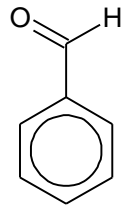
Om vi substituerar en av väteatomerna i bensen med en hydroxylgrupp erhåller vi fenol, ett fast ämne med stark doft. Fenol användes tidigare som desinfektionsmedel tack vare dess antiseptiska egenskap, men undviks idag på grund av dess toxicitet. Fenol används också vid tillverkning av plaster.



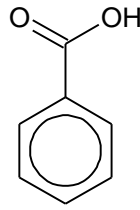
fenol

Om vi istället ersätter väteatomen med en karboxylgrupp, erhåller vi det vita fasta ämnet *bensoesyra*. Bensoesyrens anjon kallas bensoat; flera bensoater, såsom natriumbensoat, används som konserveringsmedel åt födoämnen.

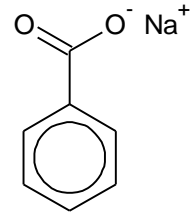
⁶ En kondensationsreaktion är en reaktion där två molekyler sätter ihop sig till en större molekyl, under avgivande av en mindre molekyl, vanligtvis vatten.



bensaldehyd

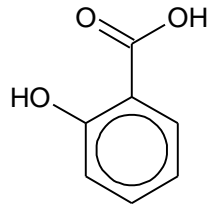


bensoesyra

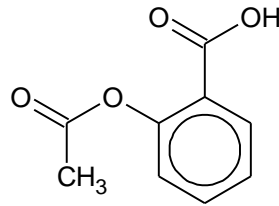


natriumbensoa

Om vi i en bensenring substituerar två väteatomer mot en hydroxylgrupp och en karboxylgrupp i ortoställning, erhåller vi *salicylsyra*. Om vi vidare substituerar hydroxylgruppens väte mot en acetylgrupp ($\text{CH}_3\text{CO}-$) erhåller vi *acetylsalicylsyra*, som ingår i många smärtstillande och febernedsättande läkemedel, såsom Aspirin, Albyl, Magnecyl och Treo.

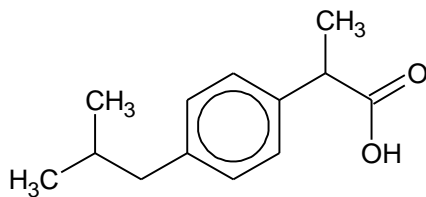


salicylsyra

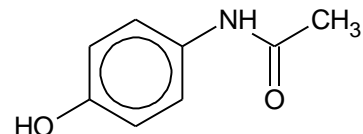


acetylsalicylsyra

En annan vanlig aktiv substans i värk- och febernedsättande läkemedel är ibuprofen, som bland annat återfinns i läkemedlen Ipren och Ibumetin. Också paracetamol är vanligt och används bl.a. i läkemedlen Alvedon och Panodil.

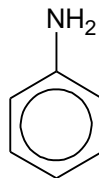


ibuprofen



paracetamol

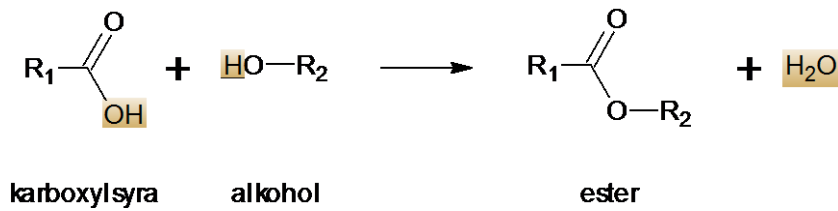
Om vi substituerar en väteatom i bensen mot en primär aminogrupp, erhåller vi molekylen *anilin*, ett flytande ämne som används flitigt inom industrin (särskilt läkemedelsindustrin).



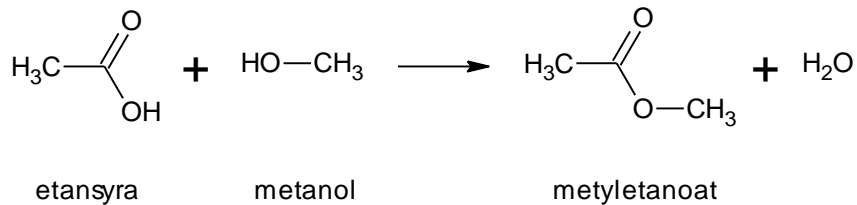
anilin

Estrar

Estrar är kondensationsprodukter av karboxylsyror och alkoholer. Nedan visas den allmänna reaktionsformeln för bildandet av en ester. Denna reaktion, esterbildning, kräver ofta tillsats av en sur katalysator, såsom svavelsyra (H_2SO_4).



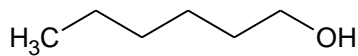
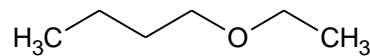
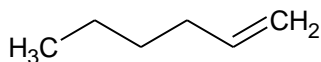
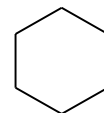
En ester namnges med karboxylsyrans anjon som "efternamn", före vilket alkoholens gruppnamn anges. Betrakta som exempel följande reaktion.



Kortare estrar är ofta väldoftande. Som exempel ger etylbutanoat doft åt ananas. Många estrar används också som tillsatser i form av artificiella smak- och doftämnen i olika livsmedelsprodukter (kanske främst godis). Bland annat luktar metylbutanoat som ananas/äpple, pentyletanoat som banan, pentylpentanoat som äpple och pentylbutanoat som päron/aprikos.

Funktionsisomeri

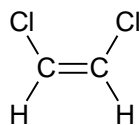
Två molekyler med samma summaformel fast med *olika* funktionella grupper sägs vara funktionsisomera. Betrakta som exempel följande funktionsisomera par av molekyler (1 par/rad).

hexanol (C₆H₁₄O)etoxybutan (C₆H₁₄O)1-hexen (C₆H₁₂)cyklohexan (C₆H₁₂)

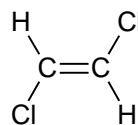
Stereoisomeri

Medan strukturisomeri beror på att atomerna är bundna till *olika* atomer i de två molekylerna, så beror stereoisomeri på att bindningarna istället endast skiljer sig åt med avseende på deras riktningar i rummet.

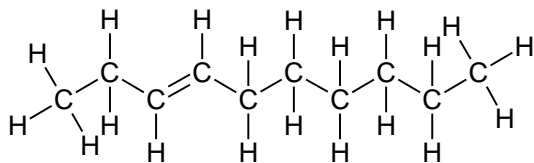
Vid en dubbel- eller trippelbindning, som (som bekant) inte är rörlig, kan atomerna arrangera sig på två olika sätt i rymden. Om två *liknande* strukturer återfinns på *samma sida*, talar vi om *cis*-isomeren. Om de två strukturerna återfinns på *olika sidor*, talar vi om *trans*-isomeren.



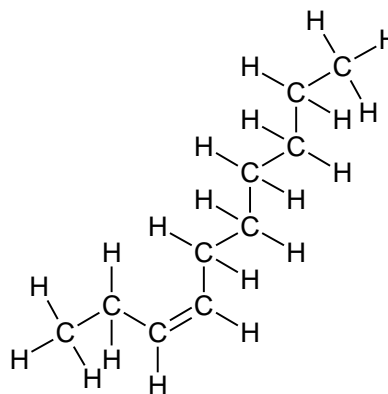
cis-1, 2-diklor-eten



trans-1, 2-diklor-eten



trans-3-decen



cis-3-decen

En annan form av stereoisomeri uppkommer när ett kol (eller någon annan atom) binder fyra *olika* atomgrupper; då är två olika isomerer aktuella. Atomen som binder de fyra olika grupperna, kallas *asymmetriskt centrum* eller kiralt kol (om atomen är en kolatom, vill säga). Denna form av stereoisomeri kallas *spegelbildsisomeri*, och två spegelbildsisomera molekyler sägs vara *enantiomerer* till varandra. Om en molekyl har n asymmetriska centra, så finns det följaktligen 2^n olika enantiomerer. De två enantiomererna som ett asymmetriskt centrum ger upphov till namnges med prefixen ”D-” respektive ”L-” från de latinska orden för höger respektive vänster⁷.

Två enantiomerer har oftast liknande kemiska och fysikaliska egenskaper, fast en viktig skillnad finns: de vrider planpolariserat ljus i olika riktningar. En lösning av endast en enantiomer av en viss förening, är således optiskt aktiv. En 1:1-blandning (en *racemisk blandning*) av de båda enantiomererna är emellertid optiskt inaktiv.

Ett exempel på spegelbildsisomeri utgör de två enantiomererna av mjölksyra. I naturen (exempelvis i människans muskler) förekommer endast den ena enantiomeren.



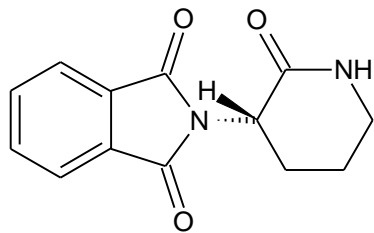
De två enantiomererna av mjölksyra

Beträffande läkemedel är det vanligt att det endast är en av flera möjliga enantiomerer som är positivt verksamt; de andra enantiomererna kan till och med vara skadliga. Under sextiotalet såldes ett lugnande läkemedel vid namn Neurosedyn i Sverige. Den aktiva substansen var thalidomid. Denna försäljning resulterade emellertid i en utbredd olycka: det var nämligen endast den ena av de två enantiomererna av thalidomid som verkade lugnande; den andra enantiomeren visade sig vara en teratogen⁸.

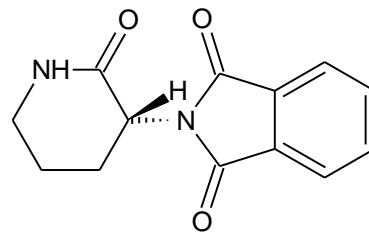
⁷ Latin: *dexter* (höger) respektive *laevus* (vänster)

⁸ *Teratogen*: ämne som orsakar fosterskador

De två enantiomererna av thalidomid



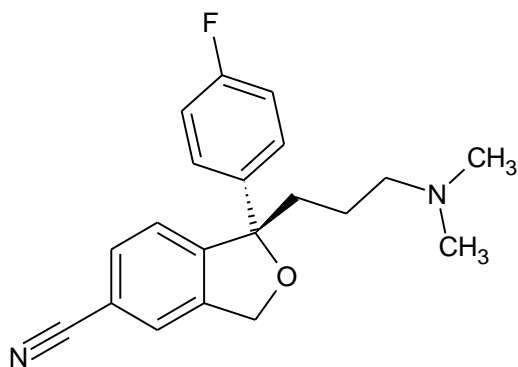
normal verkan



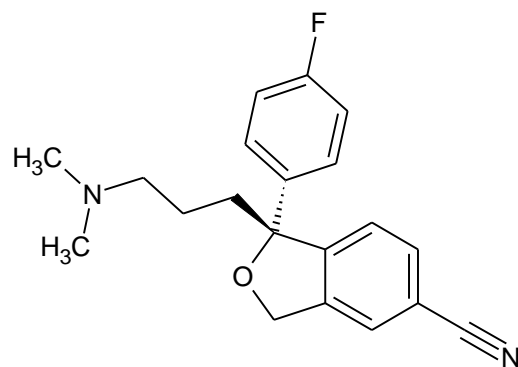
teratogen effekt

Ett annat exempel är det antidepressiva läkemedlet citalopram som har två enantiomerer, varav vilka endast en antas vara verksam. Tidigare tillgängliga läkemedel använde en blandning av dessa enantiomerer, men den senaste varianten, som i Sverige säljs under handelsnamnet Cipralox, använder sig endast av den förmodat aktiva enantiomeren. Den nya aktiva substansen namngavs escitalopram, och antas vara betydligt effektivare (om inte annat, så fördubblas åtminstone koncentrationen verkligt aktiv substans). Escitalopram förekommer i tabletter som oxalat salt.

De två enantiomererna av citalopram



escitalopram

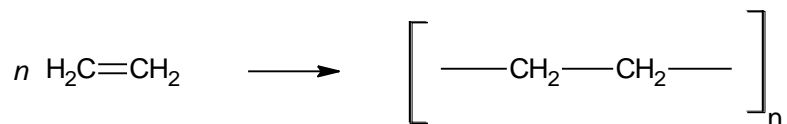


icke verksam enantiomer

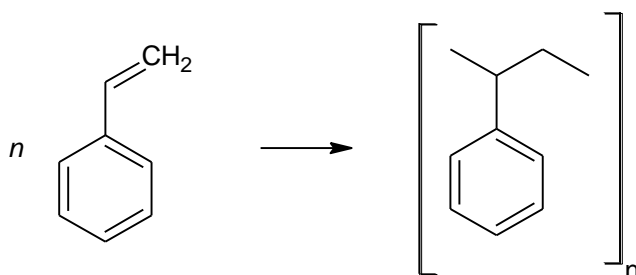
Polymerer

En *polymer* är en mycket stor molekyl (*makromolekyl*) som består av många små (ofta likadana) molekyler, *monomerer*, som bundits till varandra (oftast kovalent). Reaktionen som bildar polymerer kallas *polymerisationer*. *Plaster*, som är artificiella material med varierande egenskaper och som används oerhört flitigt i dagens samhälle, består av polymerer (och vissa tillsatser, såsom mjukgörare och färgämnen). En polymer som består av mer än en sorts monomer, kallas *sampolymer*.

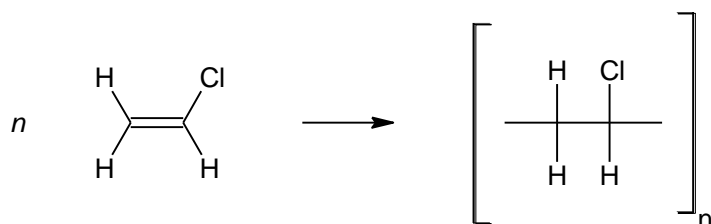
En mycket vanlig plast är polyetenplast. Polymeren *polyeten* (PE) framställs ur den enklaste alkenen, eten. Det finns flera typer av polyetenplast, bland andra högdensitetspolyeten (HDPE) och lågdensitetspolyeten (LDPE). Polyeten används mycket flitigt i dagens samhälle för produkter som exempelvis flaskor, burkar, vattenledningar, stuprör, plastfolie, plastpåsar, (isolationsplasten runt) elektriska kablar och proteser. Reaktionen när PE bildas kan skrivas som nedan.



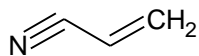
En annan mycket vanlig plast idag är *polypropenplast*; polymeren *polypropen* (PP) framställs ur propen. Polypropen används bland annat till förpackningar, bilars inredningsmaterial och isolation runt elektriska kablar. *Polystyren* är också mycket vanlig och används bland annat till "lådorna" till elektriska produkter (såsom datorer, skärmar och andra datortillbehör, TV-apparater, DVD-enheter, högtalare och andra hemmabioenheter, fjärrkontroller, kylskåp, och mikrovågsugnar), förpackningar, engångsartiklar av plast, leksaksbyggsatser, CD-fodral och kabelisolation. Polystyrens polymerisationsreaktion visas nedan.



Polyvinylklorid (PVC) är också en mycket viktig plast-polymer. Polyvinylklorid används främst inom byggindustrin (70 % av all PVC-produktion), till fönsterkarmar, rör och golvbeläggningar. Polyvinylklorid bildas från monomeren vinylklorid enligt formeln nedan.



ABS-plast är en sampolymer av akrylnitril-, 1,3-butadien- och styrenmonomerer (därav namnet). ABS används bland annat till rör, bildelar, LEGO-klossar (sedan 1963), skal till konsumentelektronik, gatlyktor och musikinstrument.



akrylnitril

Biokemi

Vi ska nu studera de organiska föreningar som bygger upp levande organismer. Dessa kan delas in i grupperna

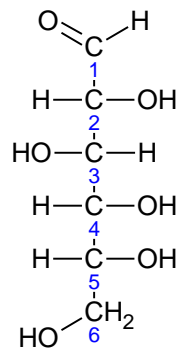
- kolhydrater,
- proteiner,
- lipider och
- nukleinsyror.

Kolhydrater

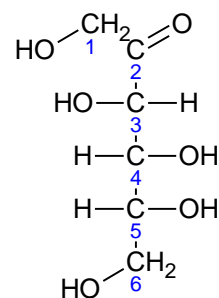
Kolhydrater är den gemensamma benämningen på *sockerarter* och polymerer av sådana. Namnet ”kolhydrat” kommer av att många kolhydrater har formeln $C_n(H_2O)_m$ där ($n \in N$ och $m \in N$).

De enklaste sockerarterna kallas *monosackarider*, vilka är flervärda alkoholer med vanligtvis fem eller sex kolatomer. Deras namn slutar på ”-os” och kan delas in i olika grupper beroende på deras kemiska formler. Monosackarider med fem kolatomer kallas pentoser, medan monosackarider med sex kolatomer kallas hexoser. Pentoserna och hexoserna kan vidare delas in i undergrupper, beroende på om sockerarterna innehåller keto- eller aldehydgrupper. Det finns alltså aldopentoser, aldohexoser, ketopentoser och ketohexoser.

Två mycket vanliga sockerarter är aldohexosen glukos (druvsocker) och ketohexosen fruktos (fruktsocker).

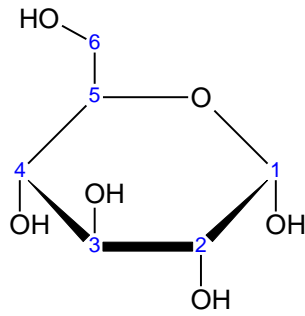
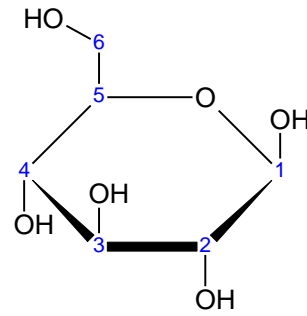


D-glukos



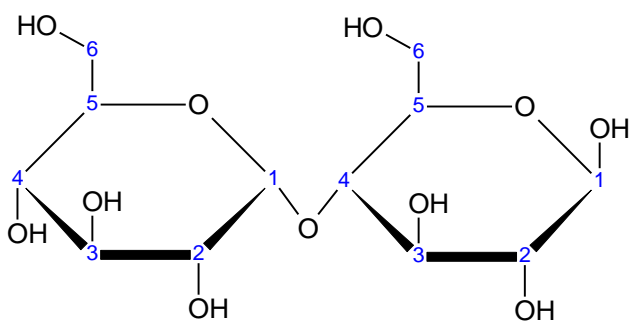
D-fruktos

Dessa förekommer dock oftast i ringform. Vi ska nu närmare studera D-glukosens två ringformer, vilka uppkommer genom att kolatom 1 och 5 binds till varandra via en eterbrygga. Syret i bryggan kommer från hydroxylgruppen bunden till kol 5. Vätet i hydroxylgruppen binds istället till syreatomen i aldehydgruppen bunden till kol 1, så att en hydroxylgrupp bildas vid kol 1. De två isomera formerna av cykliskt D-glukos kallas α -D-glukos respektive β -D-glukos.

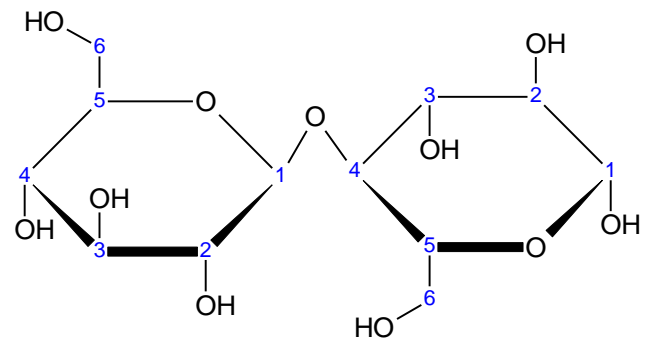
 α -D-glukos β -D-glukos

Glukos är ett vitt, fast ämne och består alltid av en av de två cykliska formerna. De tre formerna av glukos (de två cykliska och den icke-cykliska) övergår däremot naturligt mellan varandra om glukosen återfinns i en vattenlösning; en jämvikt dem emellan uppstår. I en lösning är omkring 35 % α -D-glukos, 65 % β -D-glukos och 0,003 % icke-cyklisk D-glukos. Glukos används som energikälla av djur. Både glukos och fruktos är vanliga ämnen i växter.

Kondensationsprodukten av två monosackarider är en *disackarid*. Två av disackariderna som kan bildas av två glukosmolekyler är maltos och cellobios; i båda fallen är det kolatomerna 1 och 4 från de två glukosresterna som binds ihop. I maltos är den vänstra glukosresten α -glukos och i cellobios β -glukos. Bindningarna mellan två monosackarider kallas glykosidbindningar; mer specifikt kan man också ange de bundna kolatomerna samt den vänstra glukosrestens isomer (α eller β). Bindningarna mellan glukosresterna i maltos och cellobios är följaktligen α -1,4-glykosidbindning respektive β -1,4-glykosidbindning.



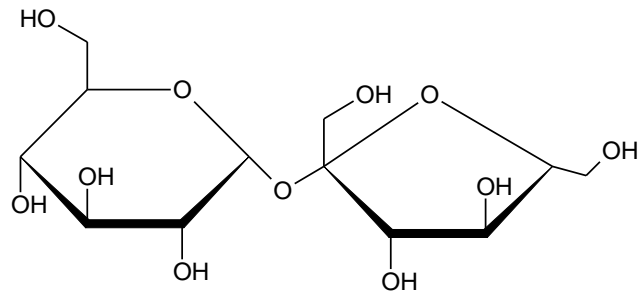
maltos



cellobios

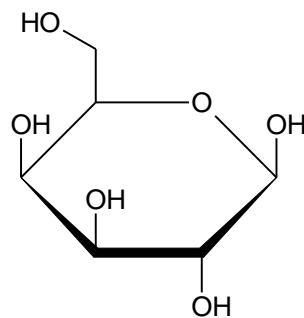
Glukos (i vattenlösning) är en reducerande sockerart, eftersom aldehydgruppen lätt kan oxideras till en karboxylgrupp. Eftersom kolatomerna 1 i de högra glukosresterna i maltos och cellobios är orörda kan dessa rester öppna sig och bilda aldehydgrupper; således är också maltos och cellobios reducerande sockerarter.

Sackaros (rörsocker; i dagligt tal ”socker”) består av en glukos- och en fruktosrest. Kolatom 1 från glukosresten binds till kolatom 2 i fruktosresten, vilket gör att ingen aldehydgrupp kan uppkomma, och att sackaros inte är en reducerande sockerart. Sackaros är ett vitt, fast ämne som används mycket flitigt inom livsmedelsindustrin och matlagning för att ge födoämnen sötare smak. Tack vare att sackarosmolekylen har flera hydroxylgrupper (som kan ge vätebindningar), är sackaros lösligt i vatten.



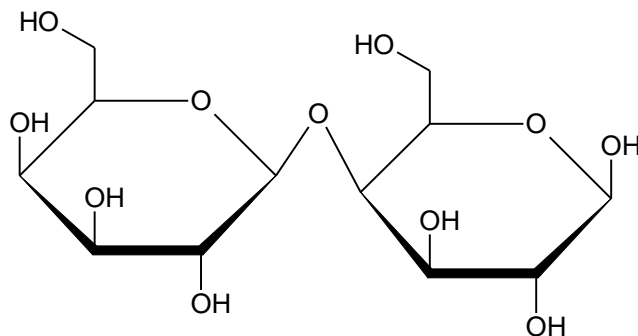
sackaros

En annan mycket viktig monosackarid är galaktos som är en aldohexos. Galaktos återfinns främst i mjölkprodukter. Av strukturformeln nedan inser vi att galaktos är en enantiomer till glukos.



galaktos

Laktos (mjölksocker) är en disackarid bestående av en glukosrest och en galaktosrest. Laktos återfinns främst i mjölk, därav namnet. Masshalten laktos är 6-7 % i människomjölk och 4-5 % i komjölk (vilket är tämligen mycket ty masshalten vatten naturligtvis dominerar). Laktos används också ofta som ”utfyllnadsmedel” i läkemedelstabletter.



laktos

Fler än två monosackarider kan bindas ihop, varvid resultatet blir en *oligosackarid*. Om åtskilliga monosackaridrester bygger upp en större kolhydrat, talar vi om en *polysackarid*. Det kan röra sig om hundratals eller tusentals rester.

Polysackariden *stärkelse* består av två polysackarider, *amylos* och *amylopektin*. Amylos är en oöppen kedja med α -1,4-glukosidbindningar av glukosrester. Detta gör att amylosmolekylen

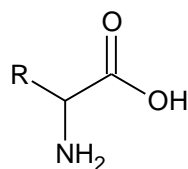
blir böjd, och att stärkelse bildar korn och inte långa fibrer. Amylopektin är en grenad kedja av glukosrester; grenkedjorna binds till huvudkedjan med α -1,6-glykosidbindningar vid knappt var 30:e glukosrest. När stärkelse bryts ner i exempelvis människans matspjälkningskanal, bildas maltos vilket sedan bryts ner till glukos. Stärkelse är den vanligaste kolhydraten i människans föda, och utgör normalt människans främsta energikälla. Stärkelse återfinns bland annat i stora mängder i bröd, potatis, pasta och ris. Stärkelse produceras också av växter när de får "överskottsenergi"; stärkelsen utgör då ett "förråd" av kemisk energi. Stärkelse löses inte i vatten. Stärkelse används också inom pappers- och textilindustrin.

Polysackariden *glykogen* (vardagligt: "djurstärkelse") är byggd som amylopektinmolekylen, fast förgreningarna kommer vid omkring var 10:e glukosrest. Glykogen utgör djurens förråd av kemisk energi. När kroppen har ett överskott av glukos kan glukosmolekyler omvandlas till glykogen, som senare vid energibehov kan spjälkas tillbaka till glukos. Glykogen återfinns hos människor i skelettmuskler och i levern (10 % av leverns massa utgörs av glykogen).

Polysackariden *cellulosa* är det vanligaste organiska ämnet i naturen, och den bygger upp växternas cellväggar. (Man kan säga att cellulosa utgör växternas grundbyggnadsmaterial.) Cellulosa består av glukosrester bundna med β -1,4-glykosidbindningar, vilket gör cellulosa fibrös. Cellulosa kallas vardagligt ofta för just "fibrer". Människans matspjälkningssystem rör emellertid inte på bindningarna i cellulosa, varför vi inte kan tillgodogöra oss någon energi från ämnet, vilket däremot exempelvis idisslare kan. Cellulosa är också huvudbeståndsdelen i papper.

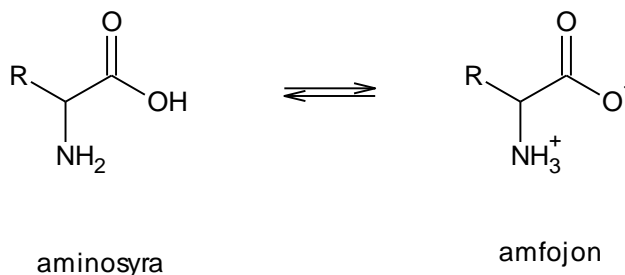
Aminosyror

En aminosyra är en organisk förening som innehåller både en karboxylgrupp och en aminogrupp. De mest biokemiskt intressanta aminosyror är α -aminosyror, vars allmänna formel illustreras nedan.



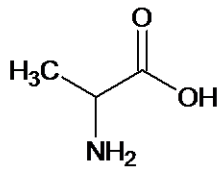
α -aminosyra

En vattenlösning av en aminosyra innehåller oftast ganska få oprotolyserade aminosyror; istället förekommer de flesta i form av *amfojoner*, som uppkommer när karboxylsyregruppen (som syra) reagerar med samma molekyls aminogrupp (som då agerar bas), enligt formeln nedan.

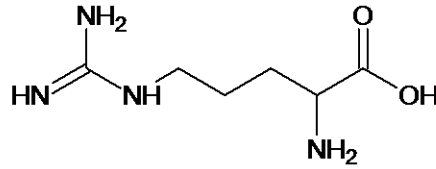


Även elektriskt laddade former med endast en av de två funktionella grupperna protolyserad förekommer; vilken som är laddad beror på lösningens pH och på vilken aminosyra det gäller.

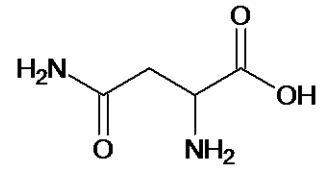
Det finns 20 aminosyror som behövs i människokroppen, vilka listas nedan. Aminosyror som är livsnödvändiga men som kroppen inte kan producera själv, utan måste finnas med i födan, kallas *essentiella aminosyror*. De essentiella aminosyrorna är skrivna med röd text i tabellen.



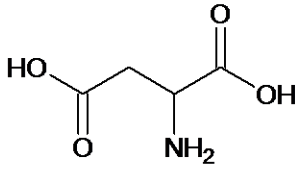
Alanin (Ala, A)



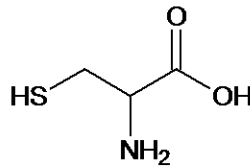
Arginin (Arg, R)



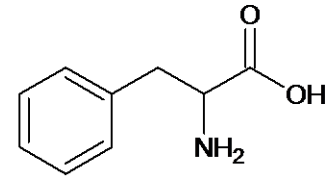
Asparagin (Asn, N)



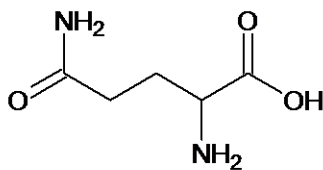
Asparaginsyra (Asp, D)



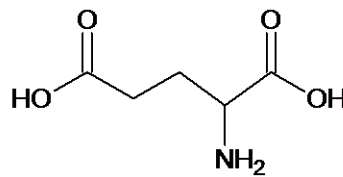
Cystein (Cys, C)



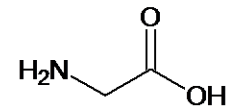
Fenylalanin (Phe, F)



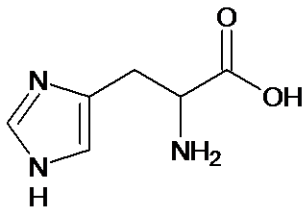
Glutamin (Gln, Q)



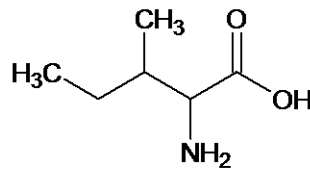
Glutaminsyra (Glu, E)



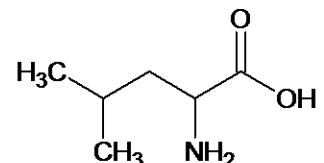
Glycin (Gly, G)



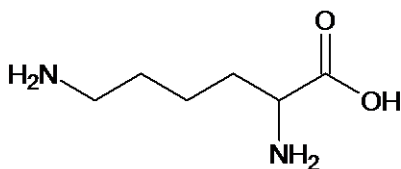
Histidin (His, H)



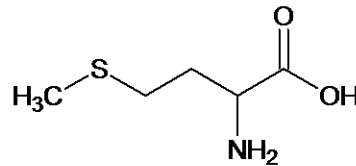
Isoleucin (Ile, I)



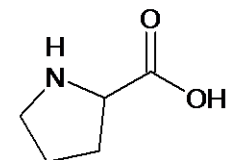
Leucin (Leu, L)



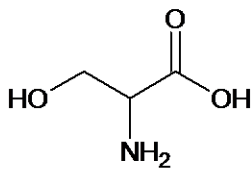
Lysin (Lys, K)



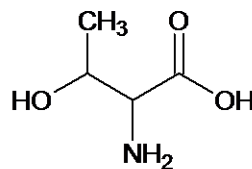
Metionin (Met, M)



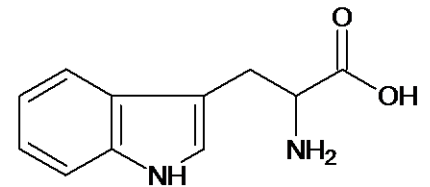
Prolin (Pro, P)



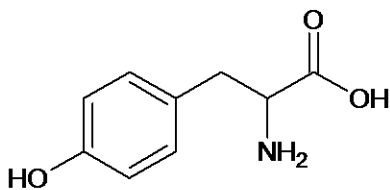
Serin (Ser, S)



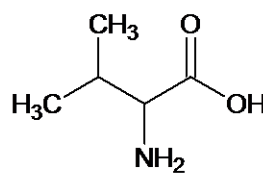
Treonin (Thr, T)



Tryptofan (Trp, W)



Tyrosin (Tyr, Y)

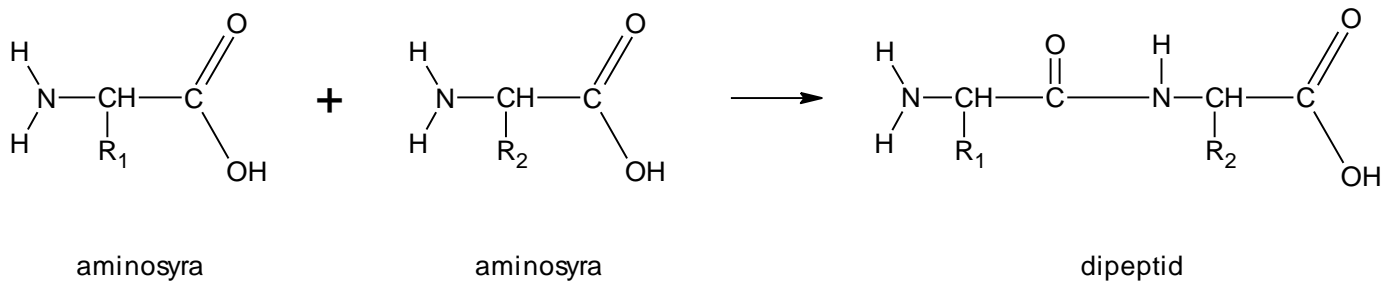


Valin (Val, V)

Människans 20 aminosyror:
strukturformler, namn och
förkortningar.

Essentiella aminosyror är skrivna
med röd text.

Två aminosyror kan sättas ihop till en *dipeptid* med en *peptidbindning*⁹, enligt formeln nedan.



Vidare kan ännu fler aminosyror förlänga dipeptiden, så att vi får en *polypeptid*. Namnet på en peptid är lika med namnen (eller namnförkortningarna) för de ursprungliga aminosyrorna upp-
radade efter varandra, avgränsade med bindestreck. Två av aminosyraresterna – de yttersta – i
en peptid har exakt en av sina funktionella grupper intakt; den som har aminogruppen intakt
sågs vara *N-terminal* och ska i peptidens namn stå först (längst åt vänster).

Proteiner

En polypeptid med fler än 50 aminosyrarester benämns *protein*.

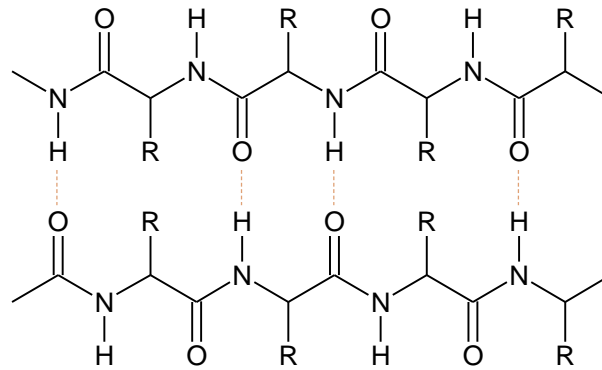
Proteiner är djurens byggstenar; förutom att bygga upp strukturer såsom hud, brosk, senor,
hår, naglar och muskler, så är det också proteiner som styr kroppens kemiska processer. En
människa antas innehålla omkring 50 000 *sorters* proteiner. Omkring 50 % av den organiska
massan i en vuxen människa utgörs av proteiner; man kan säga att en människa är en ”protein-
robot”. Man kan dela in proteinerna i två grupper: fiberproteiner och globulära proteiner.

Fiberproteiner

Fiberproteiner kallas de proteiner som har som främsta uppgift att bygga upp vävnader i krop-
pen. Fiberproteiner är ofta trådformiga biopolymerer, d.v.s. mycket stora molekyler som be-
står av många små molekyler hopsatta med varandra genom diverse bindningar; förutom de
erforderliga peptidbindningarna förekommer ofta andra typer av bindningar, såsom vätebind-
ningar och svavelbryggor.

Det finns två huvudtyper av proteinstrukturer, α -helixar och β -flak. I en α -helix är molekylen
spiralförmad vriden. Proteinets sidokedjor (aminosyrornas R-grupper) är vända utåt. Spiralen
stabiliseras av vätebindningar mellan aminosyraresternas $-\text{CO}-$ och $-\text{NH}-$ grupper; $-\text{CO}-$
gruppen från en aminosyrarest vätebinds med $-\text{NH}-$ gruppen från en aminosyra fyra steg uppåt
längs spiralen. Den andra huvudtypen, β -flak, innebär att två eller flera aminosyrakedjor lig-
ger efter varandra i ett plan, med vätebindningar mellan kedjorna. I vissa fiberproteiner binds
också dessa strukturer (α -helixar och β -flak) ihop med varandra så att större och starkare
strukturer bildas; exempelvis kan α -helixar som innehåller aminosyran cystein bindas ihop
genom svavelbryggor.

⁹ Märk att peptidbindningen är ett specialfall av amidbindningen.



β-flak

(Den fibrösa) bindväven i en människa utgörs av vatten och fiberproteiner; de viktigaste fibrerna där är *kollagen* och *elastin*. Fibrös bindväv exemplifieras av huden, tarmslemhinnorna, senorna, ledbanden samt hinnorna runt inre organ och muskler. Kollagen utgör omkring en tredjedel av proteinmassan i en människa; totalt finns omkring 25 olika typer av kollagen. Elastin gör bindväven elastisk. Broskvävnad består också till stor del av kollagen och elastin. Elastiskt brosk, som innehåller speciellt mycket elastin, återfinns i struplocket och i innerörat. Fibröst brosk innehåller däremot mer kollagen och återfinns i mellankotskivorna, käklederna och i knäledernas menisker.

Huden består av två lager, ett tunt, yttre lager (epidermis, överhud, 0,05-1 mm)¹⁰ och ett inre lager (dermis, läderhud, 0,5-3 mm). Epidermis delas vidare in i flera mindre lager (ytterst till innerst): *Stratum corneum* (hornhuden), *Stratum lucidum*, *Stratum granulosum*, *Stratum spinosum* och *Stratum germinativum/basale*. Det innersta lagret består vanligtvis av ett lager av speciella celler, *keratinocyter*, som ständigt delar sig. Dessa celler förflyttas sedan utåt och ersätter gamla celler i de yttre lagren, vilka celler lossnar av sig själva. När cellerna nått *stratum spinosum* börjar fiberproteinet keratin bildas inom cellerna. Keratinet ger stadga åt cellerna, och keratinskeletten i närliggande celler binds till varandra, så att en stabil struktur bildas genom hela lagret. I *stratum lucidum* har de flesta cellerna dött (på grund av näringsbrist; inga blodkärl återfinns i epidermis, utan näringen diffunderar från dermis). Cellernas slutmål är hornhuden, det yttersta lagret. Här är de flesta cellerna döda, och avfaller så småningom av sig själva. Cellerna innehåller keratin (nästan 50 % av massan), som gör huden hård och ser till att den inte torkar ut. Epidermis skyddar också kroppen mot patogener¹¹ och främmande kemikalier. Cellernas väg från att de bildats till att de lossnar upptar omkring en dryg månad.

Dermis består till största delen av fibrös bindväv och innehåller blodkärl, nervändar för känselsinnet, talgkörtlar, svettkörtlar och hårsäckar. Bindväven består främst av fiberproteinerna kollagen (90 %) och elastin (5 %); resten är vätska. Fibrerna produceras av cellerna som ligger som små ”öar” i bindvävens grundsubstans (matrix). Det är främst hudens innehåll av elastin (som är elastiskt) som gör att huden återställer sig efter att man dragit i eller tryckt på den.

Muskler består till stor del av fiberproteinerna *aktin* och *myosin*, vilka också svarar för muskelkontraktionen. Människans skelett består till största delen av oorganiskt kalciumfosfat, men innehåller samtidigt en viss mängd organiskt material, främst i form av kollagen. Elastis-

¹⁰ Epidermis är av varierande tjocklek på olika ställen på kroppen; epidermis är tunnast på ögonlocken och tjockast på fotsulorna. Det är främst epidermis yttre lager, hornhuden, som varierar i tjocklek.

¹¹ *Patogen*: sjukdomsframkallande mikroorganism.

ka blodkärl består vidare till stor del av det elastiska fiberproteinet elastin. Naglars hårdhet kommer till stor del från deras intracellulära innehåll av keratin, och hår består till omkring 90 % av fiberproteinet α -keratin och resten vatten.

Globulära proteiner

Globulära proteiner är ofta approximativt klotformade proteiner som styr kemiska processer i kroppen. De allra flesta kemiska reaktioner i kroppen katalyseras av *enzymer* (biokatalysatorer), som i regel är proteiner. Antikropparna som binder sig till och oskadliggör skadliga mikroorganismer är också proteiner. Neurotransmittorer och hormoner, vilka skickar information mellan olika delar av kroppen (via nervsystemet eller blodomloppet), är ofta proteiner. Alla receptorer på celler, vilka mottager information från bl.a. nerver och hormoner är vidare även de proteiner. Proteiner transporterar också andra ämnen i blodet, genom att binda sig till ämnena och erbjuda dem en hydrofil ”lastbil” i blodomloppet. Globulära proteiner är ofta veckade på så sätt, att deras insida blir övervägande hydrofob och deras utsida övervägande hydrofil; detta gör att de globulära proteinerna oftast är vattenlösliga.

Globulära proteiners struktur kan beskrivas med fyra egenskaper; man säger att de har fyra ”strukturnivåer”. Primärstrukturen anger peptidkedjans aminosyrasekvens/peptidkedjornas aminosyrasekvenser. Sekundärstrukturen beskriver hur olika delar av kedjan/kedjorna är formade i rymden, som α -helixar eller β -flak (av vätebindningar). Tertiärstrukturen anger *hela* kedjans/kedjornas veckning i rymden (av olika, främst svaga bindningar samt hydrofob effekt), och kvartärstrukturen anger hur hela proteinmolekylen (som kan bestå av flera underenheter med egna kedjor) är formad i rymden. Vi ska nu studera några välkända globulära proteiner som återfinns i människokroppen.

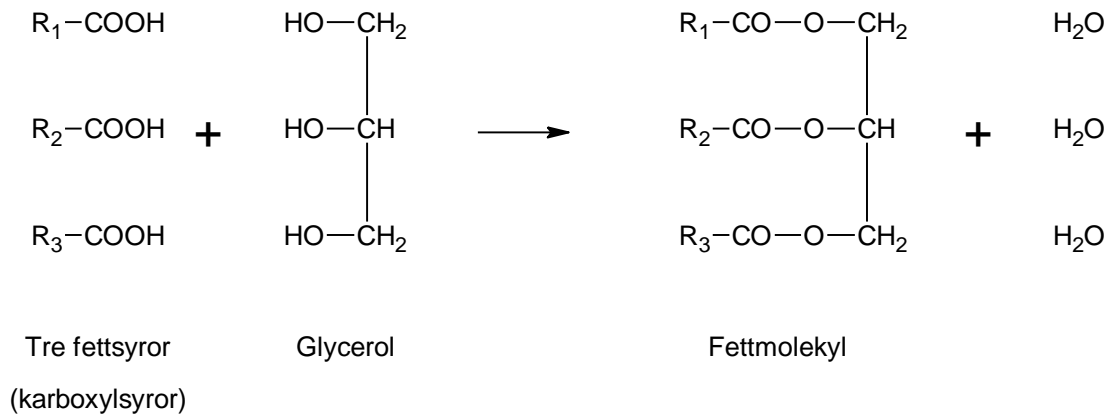
Hemoglobin (Hb) är ett globulärt protein som finns i de röda blodkropparna och transporterar syrgas i blodet, från lungorna till kroppens syreberoende vävnader (såsom musklerna). Även om den största delen av koldioxiden som bildas i kroppens celler transporteras till lungorna direkt lösta i blodet (i form av vätekarbonatjoner), så transporteras en liten del också bundet till hemoglobin. Hemoglobinmolekylen består (vanligtvis) av fyra olika grupper (*underenheter*; polypeptidkedjor) som är bundna till varandra. Underenheterna innehåller delar som är av α -struktur. Varje underenhet binder dessutom en annan, icke-protein-molekyl, *hemgruppen*. I mitten av varje hemgrupp finns en järnatom, vilken binder syret. En hemgrupp kan alltså binda högst fyra molekyler syrgas. Gasen kolmonoxid (CO) binder dock starkare till hemoglobin än vad syrgas gör, varför inandning av stora mängder kolmonoxid leder till döden genom inre kvävning. Ett annat viktigt transportprotein är *albumin* som transporterar hydrofoba ämnen, främst fettsyror och steroidhormoner i blodet.

Myoglobin är också ett globulärt protein – närmare bestämt ett förrådsprotein. Myoglobin består endast av en polypeptidkedja och denna har likt kedjorna i hemoglobin en hemgrupp. Myoglobin återfinns i muskler och används för att förvara syre där. Muskeln kan då vid behov snabbt få tillgång till syre. Det är främst myoglobin som ger kött dess röda färg.

Lipider

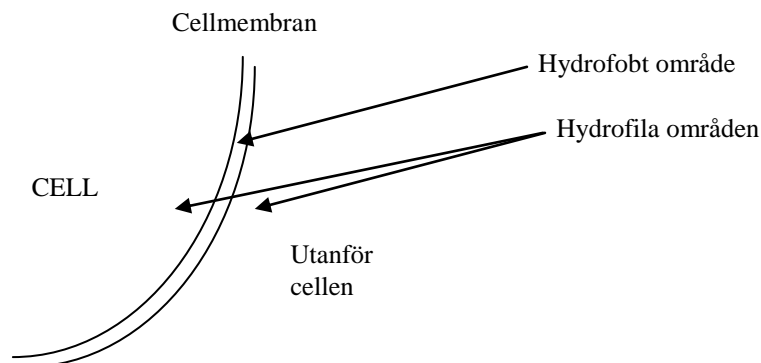
Lipider är organiska ämnen som inte är lösliga i vatten¹², p.g.a. att de är opolära. Speciellt är alla fetter lipider. En fettmolekyl är en triester av den trevärdiga alkoholen glycerol (propantriol) och tre karboxylsyror, oftast långa sådana (16-18 kolatomer), vilka då benämns *fettsyror*. Fetter är alltså *triglycerider*. Den allmänna formeln för bildning av en fettmolekyl visas nedan.

¹² Det finns inte någon riktigt entydig definition av en lipid, men den som används här är tämligen beskrivande.



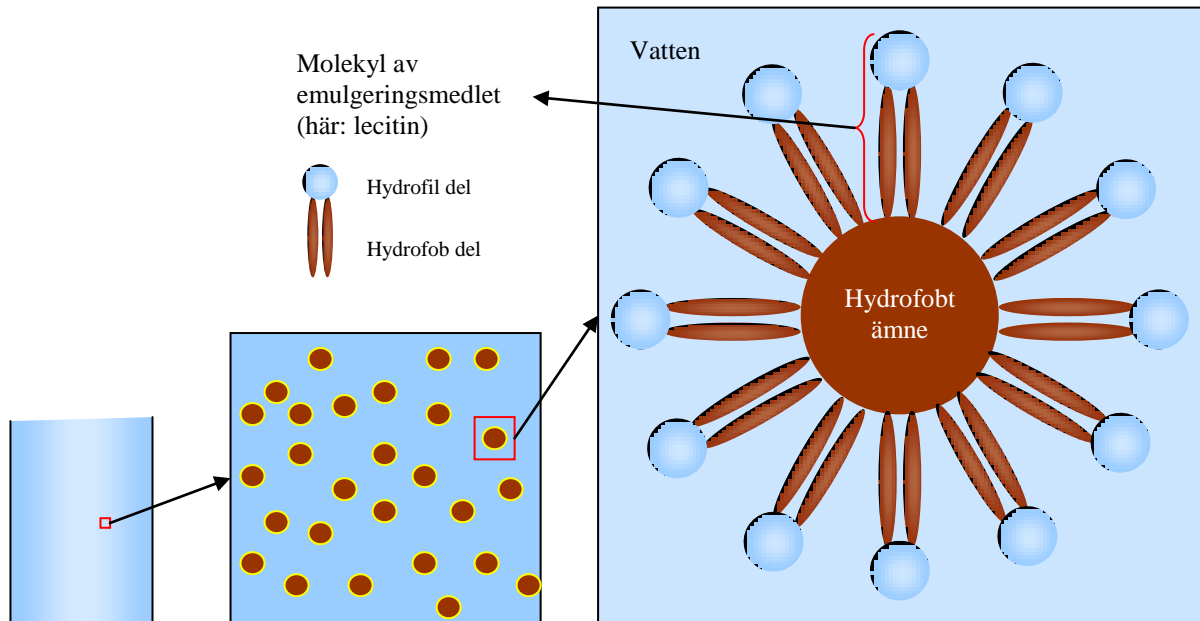
Fetter är vanligtvis fasta eller flytande ämnen, och sägs vara mättade, enkelomättade eller fleromättade beroende på hur många dubbel- och trippelbindningar fettsyrorerna har; generellt är mättade fetter fasta och omättade fetter flytande (vid rumstemperatur). Människor kan utvinna energi från fetter i födan och fetter utgör också "lagringsmedium" för kemisk energi; detta är lämpligt, ty den utvinnbara energin per massenhet är dubbelt så hög för fetter som för kolhydrater. Fetter under huden (*underhudsfett*) har även en värmeisolerande effekt. Fettvävnad i kroppen verkar också stötdämpande och skyddar på så sätt de inre organen. Vissa livsviktiga fettsyror, vilka tillhör grupperna ω -3 och ω -6, kan kroppen inte själv syntetisera; dessa benämns *essentiella fettsyror* och måste ingå i födan i form av fetter (jfr essentiella aminosyror). ω -3-fettsyror återfinns bland annat i fet fisk. Vissa vitaminer, såsom A, D, E och K är fettlösliga, och för att kunna tillgodogöra sig dessa via födan, bör man samtidigt äta fet mat (mat rik på fetter).

En triglycerid av två fettsyror och en fosforsyra, som i sin tur är bunden till en (ofta kvävehaltig) alkohol, kallas en *fosfolipid*. En typisk grupp av fosfolipider utgör de med den kvävehaltiga alkoholen *kolin*. Ämnen tillhörande denna grupp kallas *lecitiner*, och återfinns bland annat i ägg men kan också utvinnas ur sojaolja. Fosfolipider har en hydrofil ände (vattenlöslig; kring den (ofta) kvävehaltiga alkoholen) och en hydrofob (icke vattenlöslig) ände. Fosfolipider är biologiskt mycket vanliga och viktiga ämnen, ty det är fosfolipider som bygger upp cellmembraner. Membranerna är uppbyggda som ett dubbellager av fosfolipider, med de hydrofoba ändarna inåt, mot varandra, och de hydrofila ändarna utåt och inåt cellen.

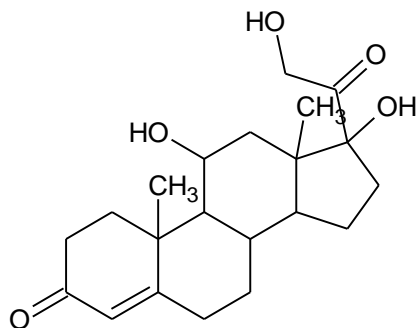


Det finns emellertid ett sätt på vilket hydrofoba ämnen faktiskt kan vara fullt blandande i vatten; en sådan blandning kallas *emulsion*, och går ut på att de hydrofoba ämnena omges av molekyler som – likt fosfolipiderna – har både en hydrofil och en hydrofob ände. De hydrofoba ändarna vänds då mot det hydrofoba ämnet medan de hydrofila ändarna är vända utåt, mot vattnet. Ämnet som omger det hydrofoba ämnet kallas *emulgeringsmedel*. Ett vanligt exempel på en emulsion är mjölk, som ju är en vattenlösning som innehåller en hel del fett. Ofta an-

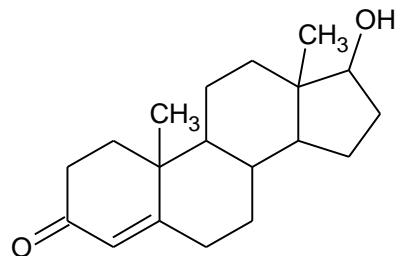
vänds just lecitiner som emulgeringsmedel inom bland annat livsmedelsindustrin. En emulsion med ett hydrofobt ämne i vatten visas i illustrationen nedan.



Steroider benämns lipider som har en grundstruktur med fyra hopbundna kolringar; idag har hundratals steroider funnits i levande växter och djur. Störst roll spelar antagligen steroiderna som är hormoner, de s.k. *steroidhormonerna*. Bland steroidhormonerna kan kortisol och övriga kortikoider från binjurebarken samt "könshormonerna" såsom det manliga testosteronet nämnas som exempel.

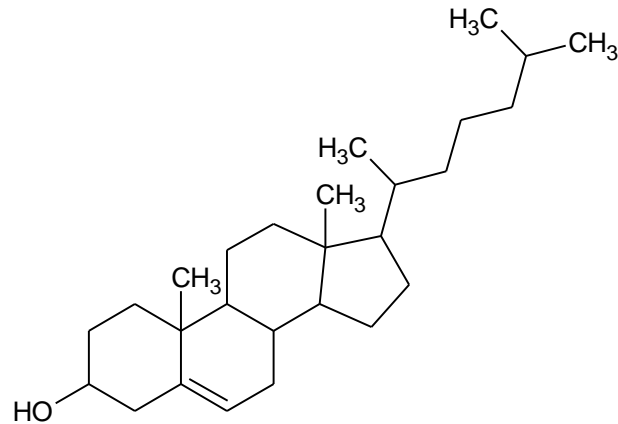


kortisol



testosteron

Kolesterol är en mycket viktig steroid då den utgör en central beståndsdel i cellmembraner, där de har en stabiliserande funktion. Kolesterol är också utgångsämnet vid kroppens egen syntes av steroidhormoner.

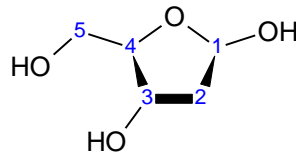


kolesterol

Nukleinsyror

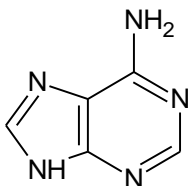
Nukleinsyror kallas de molekyler som bygger upp *arvsmassan*, d.v.s. den information som i detalj beskriver hur organismen ska se ut. Vi ska nu endast högst översiktligt studera nukleinsyror.

Det finns främst två typer av nukleinsyror, *deoxiribonukleinsyra* (DNA) samt *ribonukleinsyra* (RNA). DNA är den form av nukleinsyra som återfinns i människors alla cellkärnor. Alla cellers DNA-molekyler i en och samma individ samt enäggstvillingar är identiska, medan de skiljer sig åt mellan olika (icke-enäggstvillingar) individer. DNA-molekylen är uppbyggd som en dubbelspiral (*dubbelhelix*); man kan tänka sig DNA-molekylen som två långa kedjor (*strängar*) med pinnar emellan – och hela denna ”stege” är vriden till en dubbelspiral. Varje kedja i DNA består av varannan molekyl socker och varannan molekyl fosfatgrupp; sockerarten är alltid monosackariden deoxiribos, som är en aldopentos.

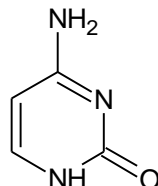


deoxiribos

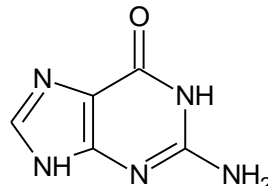
Pinnarna mellan strängarna binds från samtliga deoxiribosrester och utgörs av par av *kvävebas*er. För DNA används kvävebaserna *adenin*, *cytosin*, *guanin* och *tymin*, vilka oftast förkortas *A*, *C*, *G* respektive *T*.



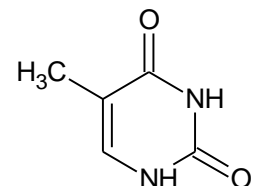
adenin



cytosin



guanin

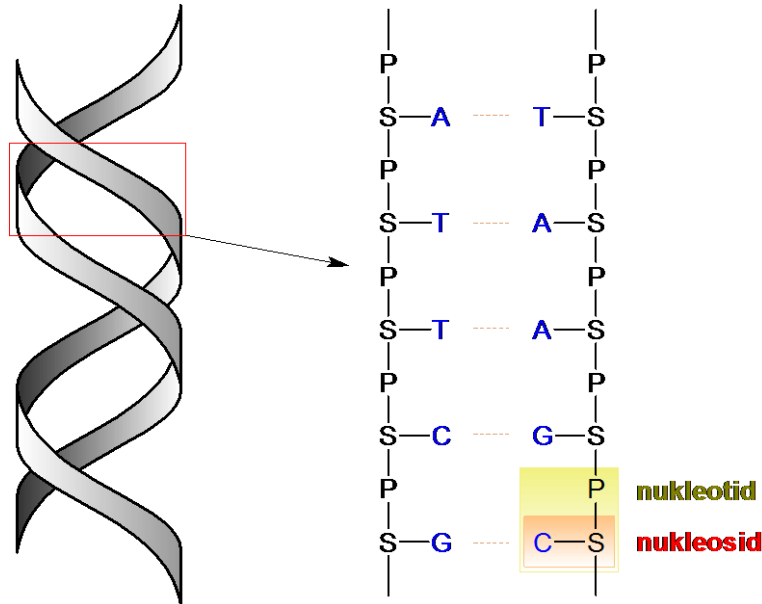


tymin

De båda närliggande fosfatgrupperna till en deoxiribosrest i en DNA-sträng är bundna till kolen 3 samt 5 i deoxiribosresten, medan kvävebasen är bunden till kolatom 1. Pinnarna mellan strängarna utgörs alltid av paret A-T eller C-G, vilket gör att pinnarna alltid blir lika långa,

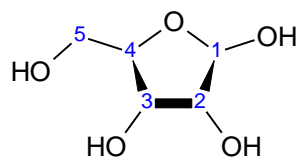
nämligen tre ringbredder. Den enda kvävebasen i ett par hör till den ena kedjan, medan den andra kvävebasen hör till den andra kedjan.

Ett typiskt segment av en DNA-molekyl visas nedan. P representerar en fosfatgrupp och S en deoxiribosrest. A, T, G och C representerar kvävebaserna.

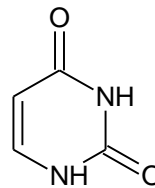


Varje socker-kvävebas-segment kallas *nukleosid* och varje fosfat-socker-kvävebas-segment kallas *nukleotid*. En nukleotid är alltså en nukleosid och en fosfatgrupp. Hela DNA-molekylen kan därför sägas vara en polynukleotid. I en nukleotid är kvävebasen, deoxiribosresten och fosforgruppen kovalent bundna till varandra. Strängarna (kvävebasparen) binds ihop med vätebindningar.

RNA liknar DNA fast består endast av en sträng, använder monosackariden *ribos* istället för deoxiribos samt använder kvävebasen *uracil* istället för tymin.



ribos



uracil

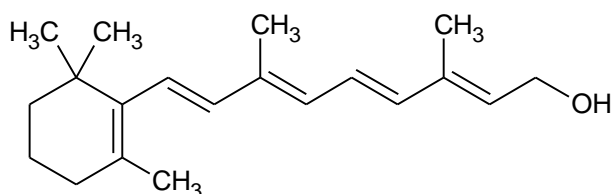
I människans celler produceras ständigt nya proteiner, och det är DNA-molekyler som utgör ”recepten” för proteinerna. En del av en DNA-molekyl, ofta med omkring tusen kvävebaser, kallas en *gen* om den innehåller information om ett visst proteins *amino-syrasekvens*. Varje följd av tre kvävebaser tolkas som en viss aminosyra, och aminosyrorna i proteiner får samma ordningsföljd som dessa batripletter i DNA:t. Varje DNA-molekyl består av tusentals sådana gener. Just därför att människan fullt styrs av proteiner och att proteinernas recept utgörs av DNA kan man säga att DNA:t innehåller information om hur hela människan ska se ut. När ett protein ska bildas, kopieras först bassekvensen i en viss gen till en viss form av RNA, vilket sedan lämnar cellkärnan för att förflytta sig till en av cellens *ribosomer* (en organell i cellen och som bildar proteiner), som då utifrån bassekvensen i RNA:t sätter ihop aminosyror till en ny proteinmolekyl.

Vitaminer

Vi ska nu titta lite på ämnesgruppen *vitaminer*. Till skillnad från de ämnesgrupper vi tidigare studerat, är vitaminerna en mycket heterogen grupp med få gemensamma likheter mellan ämnena. Vitaminer kallas sådana organiska ämnen (molekyler) som bör ingå i födan, främst för att de behövs för enskilda processer i kroppen, men inte riktigt kan grupperas in i någon av ämnesklasserna ovan¹³. Om man inte får tillräckligt med ett visst vitamin från födan, uppstår i regel en bristsjukdom specifik för just avsaknaden av det aktuella vitaminet. Vitaminämnen har – givetvis – namn i egenskap av kemiska föreningar, men även bokstavs-beteckningar i egenskap av just vitaminer. Vi ska nu studera några av de mest kända vitaminerna.

Vitamin A

Ämnet *retinol* betecknas vitamin A, och är ett fettlösligt vitamin. Retinol intages inte alltid direkt med födan; istället intages retinylestrar (i bl.a. ägg och mjölk), vilka sedan i kroppen omvandlas till retinol; morötter och spenat innehåller *karoten*, vilket också kan omvandlas till retinol. Karoten är ett organiskt pigment som ger bland annat morötter dess färg. Retinol används i kroppens syntes av ämnet *retinal* som används i ögats näthinna. Retinal är avgörande för människan mörkerseende; brist på vitamin A ger således nattblindhet. Allvarlig vitamin A-brist, vilket främst förekommer i utvecklingsländer, kan t.o.m. ge permanent (total-) blindhet.



retinol

B-vitaminer

Det finns åtta mänskliga vitaminer som kallas B-vitaminer, varav alla är vattenlösliga. Tabellen nedan anger data om dem.

Beteckning	Kemiskt namn
B ₁	Tiamin
B ₂	Riboflavin
B ₃	Niacin
B ₅	Pantotensyra
B ₆	Pyridoxin
B ₇	Biotin
B ₉	Folsyra
B ₁₂	Kobalamin

Tabell 8 B-vitaminer

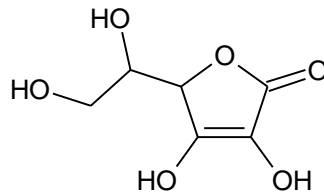
Vi ska nu endast ytligt beskriva några av B-vitaminernas funktioner i människokroppen. *Tiamin* är ett viktigt koenzym vid metabolism av kolhydrater. *Riboflavin* (som är gulgrönt och också används inom läkemedels-/livsmedelsindustrin som färgämne) används också av kroppen för metabolismprocesser. *Niacin* kan ge derivatet NAD^+ , vilket spelar en mycket viktig

¹³ Ordet ”vitamin” kommer från ”vitala aminer”; när begreppet ”vitamin” myntades år 1912 trodde man att alla vitaminer var kemiska aminer, vilket emellertid inte är fallet.

roll för metabolismen. *Pantotensyra* är en beståndsdel i koenzym A.¹⁴ *Pyridoxin* används bland annat vid bildningen av röda blodkroppar. *Folsyra* har många viktiga funktioner i kroppen, bland annat för produktion av nya celler. *Kobalamin* är en mycket komplex molekyl (för att vara ett vitamin) och krävs bl.a. för kroppens produktion av *erythrocyter* (röda blodkroppar).

Vitamin C

Vitamin C är en annan benämning för *askorbinsyra*, ett vattenlösligt vitamin och ett vanligt antioxidationsmedel. Syrans anjon kallas *askorbatjon*. De flesta djurarter – fast inte människan – kan faktiskt själva producera askorbinsyra, vilket gör att de inte är lika beroende av att få i sig vitaminet från födan. Vitamin C krävs i kroppen bland annat för produktion av kollagen i bindväv och för syntes av vissa hormoner. Brist på detta näringsämne leder till sjukdomstillståndet *skörbjugg*, vilket karaktäriseras av ytliga blödningar (hud och tandkött), försämrad sårhäkning och tandlossning. Det har vidare spekulerats i att höga doser av askorbinsyra under en förkylning kan påskynda tillfrisknandet.



askorbinsyra

D-vitaminer

D-vitaminer kallas en grupp av steroider, bland andra *ergocalciferol* (D₂) och *kolecalciferol* (D₃). Vitamin D₃, som är människans naturliga form av vitaminet, bildas faktiskt av kolesterol när huden belyses med ultraviolett strålning. D₃ är ett hormon; i sig är det inte verksamt, men det omvandlas i levern till *kalcidiol*, 25-hydroxi-kolecalciferol. Kalcidiol omvandlas senare i njurarna till *kalcitriol*, 1,25-dihydroxi-kolecalciferol. Kalcitriol ökar tarmarnas absorption och njurarnas reabsorption av kalcium och fosfat, samt stimulerar tillväxt av benvävnad. Brist på D-vitamin kan leda *rakitis* (engelska sjuken), vilken kännetecknas av instabilt skelett samt till *osteoporos* (benskörhet).

Övriga vitaminer

Vitamin E kallas ämnet *tokoferol*, ett fettlösligt vitamin som också är en antioxidant. Vitamin E antas också påskynda sårhäkning på huden, varför det används i hudkrämer. K-vitaminer krävs för blodets koagulation ("levring" vid sår).

Mineralämnen

Grundämnena (andra än kol, väte, syre och kväve) som måste ingå i födan för att kroppen ska fungera, kallas *mineraler*. Mineraler är alltså enkla, *oorganiska* ämnen. Dessa kan antingen intagas i atomär form eller i salter. Kalcium, klor, magnesium, fosfor, kalium, natrium och svavel bör intagas i relativt stora mängder, medan krom, kobolt, koppar, fluor, jod, järn, mangan, molybden, selen och zink endast behöver intagas i tämligen små mängder (< 200 mg/dygn). Det finns även teorier om att också andra ämnen, såsom kisel och nickel används i kroppen.

¹⁴ NAD⁺ och koenzym A kommer att behandlas i avsnittet om katabolismen.

Kalcium spelar en viktig roll i många organismer, bland annat för uppbyggnad av benvävnad och tänder; en överdos av kalcium kan emellertid resultera i njursten. Mjölksprodukter hör till huvudkällorna för kalcium i kosten. Fosfor ingår i DNA, ATP, fosfolipider och i skelettet (i form av kalciumfosfat). Jod ingår i tyreoideahormonerna (sköldkörtelhormonerna), och järn krävs naturligtvis för produktion av hemgrupperna i till exempel hemoglobin och myoglobin.

Fysiologiska processer

Vi ska nu studera några viktiga fysikaliska processer i människokroppen, bland annat matspjälkning och katabolism, d.v.s. hur näringsämnen i födan används i kroppen för energiomvandling och uppbyggnad.

Matspjälkning

Födan vi äter består av kolhydrater, proteiner, fetter, vitaminer, mineraler, vatten samt mindre mängder andra ämnen. Födan äter vi dels för att erhålla energi, vilket vi erhåller från de tre första ämnesgrupperna – vi behöver bland annat kunna erhålla kinetisk energi i våra muskler, termisk energi i hela kroppen, elektrisk energi för nervimpulser och energi till syntesen av nya kroppsegna ämnen – och dels för att bygga upp kroppen. För att tillgodogöra oss födan måste emellertid de ämnen vi intager i regel först *spjälkas* till dess minsta molekylära beståndsdelar; proteiner ska spjälkas till aminosyror, kolhydrater till monosackarider såsom glukos samt fetter till glycerol och fettsyror. Denna process inleds redan när maten tuggas och blandas med saliv i munhålan. När spjälkningen väl är utförd tas näringsämnena upp av blod- och lymfkapillärer i tarmarna och resterna av födan utsöndras via främst urinrör och anus. Hela denna process kallas *matspjälkning*¹⁵, och sker i *matspjälkningskanalen*, som sträcker sig mellan två kroppsöppningar, munhålan och anus. Matspjälkningskanalen kan alltså betraktas som organismens *utsida*.

Vi kan skilja mellan mekanisk och kemisk spjälkning. Genom i stort sett hela matspjälkningskanalen utförs rörelser, s.k. peristaltiska vågrörelser, vilka bearbetar födan. Tuggningen av födan tillsammans med den ovan nämnda peristaltiken svarar för den mekaniska spjälkningen. De enzymer (biokatalysatorer) i kanalen som med kemiska reaktioner spjälkar födoämnen svarar för den kemiska spjälkningen. Vi ska nu studera de mekaniska och kemiska spjälkningsprocesser som äger rum i de olika delarna av matspjälkningskanalen.

Födan intages i munhålan, där den tuggas med tänderna. Saliven i munhålan, som utsöndras av sex spottkörtlar, innehåller vidare enzymet *amylas*, vilket spjälkar stärkelse till maltosmolekyler. När födan sväljs ”rinner” den ner till *magsäcken* (genom magsäckens övre öppning, *övre magmunnen*). Även om man befinner sig upp-och-ner när man sväljer, kommer födan ned till magsäcken tack vare de peristaltiska vågrörelserna som trycker födan nedåt. Amylasen från saliven fortsätter att verka i magsäcken ända tills pH sjunkit under enzymets verkningsområde. Här är pH mycket lågt (omkring 1), vilket bland annat skyddar mot patogener¹⁶. Det låga pH-värdet kommer av att *magsaft* med saltsyra produceras av cellerna i magsäcken efter insöndring av peptidhormonet *gastrin* (vilket insöndras direkt vid förtäring av föda). Magsaften innehåller också ämnet *pepsinogen*, vilket sedan omvandlas till enzymet *pepsin*. Pepsin spjälkar proteiner; för att inte magsäckens väggar – som ju själva består av proteiner – ska spjälkas är de täckta med ett vätekarbonatrikt slem, *mucin*. Pepsinet fungerar optimalt i de låga pH-värden som föreligger i magsäcken. Magsäckens nedre öppning, den *nedre magmunnen* (*pylorus*), leder till *tolvvingertarmen* (*duodenum*). Pylorus öppnas och stängs med feedbackmekanismer; den öppnas när pH i tolvvingertarmen stiger och stängs när pH sjunker. Ef-

¹⁵ Ofta benämns processen istället inkorrekt ”matsmältning”. Denna benämning är emellertid missvisande, då termen ”smältning” syftar på den fysikaliska processen när ämnen byter aggregationstillstånd från fast till flytande på grund av ökad termisk energi (temperatur). Födan vi intar smälter aldrig; istället sönderdelas, *spjälkas*, den. (Om den verkligen skulle smälta magsäcken och tarmarna behöva vara hundratals grader varma.)

¹⁶ Vissa potentiella patogener, såsom magsårsbakterien *Helicobacter pylori*, tål emellertid denna miljö, tack vare att den producerar neutraliserande ammoniak. Risken för magsår ökar också vid förtäring av bland annat acetylsalicylsyra och etanol.

tersom pH är lågt i magsäcken leder detta till att pH öppnas först när tidigare mottaget material därifrån bearbetats.

Levern (hepar) producerar *galla*, vilket släpps ut i tolvfingertarmen. Överskottsgalla lagras i *gallblåsan* strax under levern. Galla innehåller *gallsalter* (från *gallsyror* som bildats från kolesterol), vilka fungerar som emulgeringsmedel åt fett i födan, ty gallsaltsmolekylerna både har en hydrofob och en negativt laddad hydrofil del. Tarmens blandningsrörelser gör vidare att "fettöarna" i födan delas upp och blir mindre och mindre emulgerade droppar. Dessa emulgerade fett droppar slår heller inte ihop sig till större igen, delvis tack vare deras lika negativt laddade yttre ytor. Från *bukspottkörteln (pankreas)* utsöndras¹⁷ vidare *bukspott* efter insöndring av peptidhormonet *sekretin*; bukspottet innehåller vätekarbonatjoner vilka höjer pH till omkring 8. Efter insöndring av peptidhormonet *CCK (kolecystokinin)* utsöndrar pankreas också flera viktiga enzymer: *Lipas* spjälkar varje fettmolekyl (triglycerid) till en 2-monoglycerid och två fria fettsyror medan *trypsinogen* och *kymotrypsinogen* omvandlas till *trypsin* respektive *kymotrypsin* som spjälkar proteiner (polypeptider).

Tolvfingertarmen övergår snart till *tunntarmen*. Här finns enzymer såsom *maltas* (spjälkar maltos till 2×glukos), *laktas*¹⁸ (spjälkar laktos till glukos och galaktos), *sackaras* (spjälkar sackaros till glukos och fruktos) och *peptidas* (spjälkar peptider till aminosyror). Tunntarmens väggar är fyllda med *tarmlydd* (små "hårstrån"; *villi*) och på villi sittande *mikrovilli* (ännu mindre "hårstrån"), vilka gör att ytan ökar från 0,3 m² (utan veckning och villi) till ungefär 200 m². Blodkapillärer tar här upp glukos, aminosyror, mindre fettsyror och andra näringsämnen medan lymfkapillärer tar upp större fettsyror (som först ombildas till lipoproteiner, s.k. *kylomikroner*). De av blodkapillärer upptagna ämnena förs via portådern till levern för första passagemetabolism, medan lymfkapillärerna släpper ut fettsyror i vänster nyckelbensven.

Resterna av födoämnen förs vidare till *tjocktarmen (colon)*. Här absorberas det sista vattnet¹⁹ och bakterier i symbios producerar K-vitamin åt oss; omkring två kg av massan i colon utgörs av bakterier liksom omkring 1/3 av avföringens (torr-) massa. Bakterierna i tjocktarmen och de eventuellt toxiska ämnen de producerar utgör ett hot om de kommer *in i kroppen*, d.v.s. in i blodet. Bakteriernas aktivitet producerar normalt också 1-2 dm³ gas per dygn, varav det mesta tas upp av tarmen, medan lite fortsätter med födan. Till slut når födoämnen *ändtarmen (rektum)* som slutar i två ringmuskler, varav den yttre är viljestyrd, och en kroppsöppning (*anus*). Resterna som passerar anus kallas *avföring*.

Från det att födoämnen intages (måltid) till dess att ämnena absorberats i tunntarmen hinner det gå omkring fyra timmar.

Absorptionsfasen

Tiden efter ett födointag (en måltid) kallas *absorptionsfasen*, och då tas näringsämnen från födan tillvara av kroppen. I levern omvandlas all galaktos och merparten av all fruktos till glukos, så att nästan alla monosackarider sedan utgörs av glukos. Glukosen transporteras sedan via blodet till kroppens alla celler, så att de vid behov kan förbränna glukosen för att utvinna energi. Glukos kan också i fettvävnad omvandlas till glycerol, som sedan binds till fettsyror och bildar fetter (triglycerider), vilket kan betraktas som "förvaring" av energi. "Över-

¹⁷ Pankreas har också en endokrin funktion: insöndringen av viktiga hormoner såsom *insulin* och *glukagon*, vilka styr glukoskoncentrationen i blodet.

¹⁸ Människor utanför Europa bildar ofta inte laktas som vuxna, vilket gör att de inte tål mjölkprodukter i någon omfattande utsträckning (de är *laktasintoleranta*); att européer också som vuxna bildar laktas antas bero på en mutation.

¹⁹ Om denna vattenabsorption inte fungerar ordentligt kan man råka ut för *diarré*.

skottet” av glukos omvandlas också i levern och i skelettmuskler till glykogen (djurstärkelse) som ”förvaring”. Vid högt glukosintag kan glukos också i levern bilda fettsyror.

Triglyceriderna som tas upp i lymfan i form av kylomikroner transporteras efter att de släppts ut i blodet runt i kroppen och sätter sig i fettvävnaderna. Enskilda fettsyror som hamnar i fettvävnaderna förestras till triglycerider med glycerolen från glukosen. Aminosyrorna transporteras via blodet till kroppens alla celler, vilka använder aminosyrorna till sina egna proteinsynteser. Vissa av aminosyrorna används redan i levern till proteinsyntes; bland annat producerar levern drygt 10 g albumin per dygn. Aminosyror kan också ombildas till kolhydrater och fettsyror, vilket sker vid överskott av aminosyror. Vid omvandling av aminosyror till kolhydrater avspjälkas kvävet i aminogruppen under bildande av ammoniak (NH_3), vilket är ett toxiskt ämne. Skyndsamt omvandlas därför ammoniak till *urea* (*urinämne*) som utsöndras med urinen.

Postabsorptionsfasen

Den period – som ofta återkommer cykliskt med perioden ett dygn – när kroppen inte får nya födoämnen från tarmabsorptionen, används istället kroppens ”förråd” av kemisk energi till energiomvandling. I postabsorptionsfasen bildar levern glukos från glykogenet, för att hålla blodsockret (glukoskoncentrationen i blodet) någorlunda konstant trots att glukos nu inte längre absorberas från tunntarmen; detta måste ske ty hjärnan vanligtvis inte kan utnyttja någon annan energikälla än just glukos. Levern kan också nybilda glukos från bland annat glycerol. Dylig nybildning av glukos kallas *glukoneogenes*. De flesta celler i kroppen – bland annat muskelcellerna – övergår emellertid nu till fett som energikälla, bland annat för att inte tära på den numera mer svårupprätthållna blodsockernivån.

Dessa åtgärder gör att en vuxen, välnärd människa kan överleva i upp till två månader utan födoäntag (vatten krävs dock). Dödsorsaken vid svält torde vara att proteinlagren blir så små att cellernas processer inte längre kan upprätthållas.

Hormoner spelar en viktig roll för ämnesomsättningen i båda faserna. Vid god tillgång på glukos (i absorptionsfasen) insöndrar pankreas hormonet insulin, vilket bland annat ökar cellernas intag av glukos, verkar för ökad omvandling av glukos till glykogen, för uppbyggnad av fettlagren och motverkar glukoneogenes. I postabsorptionsfasen, vid sämre tillgång på glukos, insöndras istället hormonet glukagon av pankreas. Glukagon verkar bland annat för fettmetabolism, omvandling av glykogen till glukos och glukoneogenes.²⁰

Nedbrytning av alkoholer

Etanol används inom vissa kulturer (såsom den västerländska) som *berusningsmedel*, d.v.s. som ett slags avslappnande medel, trots att etanol är ett toxin (giftigt ämne) och dessutom temporärt förändrar personligheten för den som dricker det. Flytande produkter såsom *öl* och *vin* innehåller etanol för förtäring. I kroppen bryts etanol ned till etanal (acetaldehyd) via enzymet alkoholdehydrogenas²¹ i magsäcken och i levern. Alkoholdehydrogenas återfinns alltså naturligt hos människor, troligen för att bryta ner den alkohol som återfinns naturligt i födan. Etanalen omvandlas sedan till etansyra (ättiksyra) av enzymet acetaldehyddehydrogenas; slutprodukten ättiksyra är inte giftigt.

²⁰ För mer information om hur hormonerna insulin och glukagon kontrollerar ämnesomsättningen, se Rejbrand, Andreas. *Endokrinologi – en kort introduktion*. Katrineholm 2006.

²¹ Alkoholdehydrogenas förkortas ibland ADH, vilket också kan vara en förkortning för antidiuretiskt hormon, ett hormon som stimulerar njurarnas vattenresorption.

Metanol (träsprit) är för människor ett ännu giftigare ämne än etanol. Metanol bryts i kroppen ner analogt med etanol, först till metanal (formaldehyd; nedbrytningen sker också av alkoholdehydrogenas) och sedan till metansyra (myrsyra). Det är inte metanolen i sig som är särskilt giftig, utan dess metaboliter, metanal och metansyra. Redan mycket små mängder av metanol (en tesked full med metanol kan räcka) orsakar blindhet genom att synnerven bryts ner. Större mängder leder till döden (100 ml kan vara tillräckligt, vilket är tidigare än för etanol). Dödsorsaken torde vara *acidosis* (försurning av blodet) vilket orsakas av metansyran. Om en individ fått i sig metanol kan metanolens giftverkan lindras genom att individen dricker etanol, ty etanolen då konkurrerar med alkoholdehydrogenaset så att metanolens giftiga nedbrytningsprodukter bildas i en långsammare takt. (Förhoppningsvis bildas inga metaboliter alls av metanolen, som istället kan ta andra vägar ur kroppen). En metanolförgiftning kan alltså lindras till en etanolförgiftning.

Många fall av metanolförgiftning orsakas av att människor dricker metanolen som om det var etanol; både lukt och smak är identiska.

Katabolism av spjälkade näringsämnen

Vi ska nu studera vad som i kroppscellerna händer med de spjälkade kolhydraterna, proteiner och fetterna (glukosen, aminosyror respektive fettsyror), och hur kroppen tar tillvara den kemiska energin i dessa ämnen.

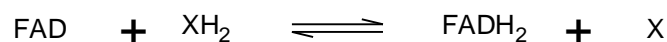
Bärarmolekyler

Ämnen (molekyler) som binder och förflyttar andra ämnen kallas *bärarmolekyler*. Vi ska nu introducera några av de viktigaste bärarmolekylerna.

NAD^+ (*Nikotinamid-Adenin-Dinukleotid*) är en *vätebärare*, vilket betyder att den bär väteatomer. NAD^+ är, som namnet antyder, en dinukleotid med kvävebaserna adenin och nikotinamid. En NAD^+ -molekyl kan bära en väteatom. Reaktionen när NAD^+ binder en väteatom från ett ämne X visas nedan.



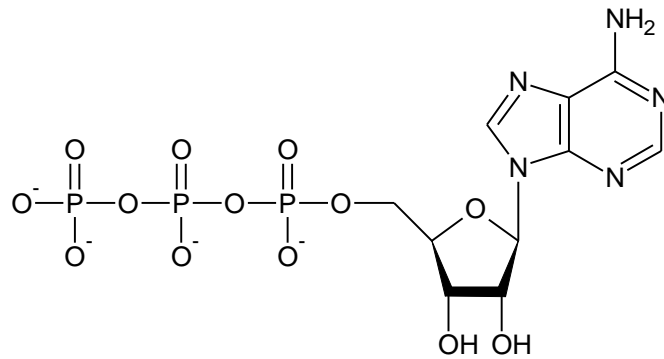
En annan viktig vätebärare är *FAD* (*Flavin-Adenin-Dinukleotid*), som kan ta upp två väteatomer från ett annat ämne, enligt formeln nedan.



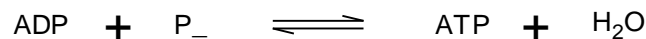
Förutom väteatomer spelar acetylgruppen CH_3CO- en viktig roll i katabolismen. Bäraren av denna grupp är *koenzym A* (CoA). Koenzym A är en merkaptan, och den bildar en "tiolernas esteranalog" (en *tioester*) med acetylgruppen när dessa binds.



Också fosfatgrupper är avgörande. Ämnena *AMP* (*adenosinmonofosfat*), *ADP* (*adenosindifosfat*) samt *ATP* (*adenosintrifosfat*) är nukleosider med ribos och kvävebasen adenin bundna till en, två respektive tre fosfatgrupper. ATP – som är den mest intressanta av dessa – kan alltså betraktas som en bärare av fosfatgrupper, och bildas ur ADP enligt följande formel.



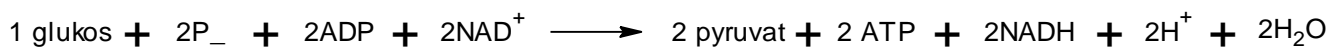
ATP



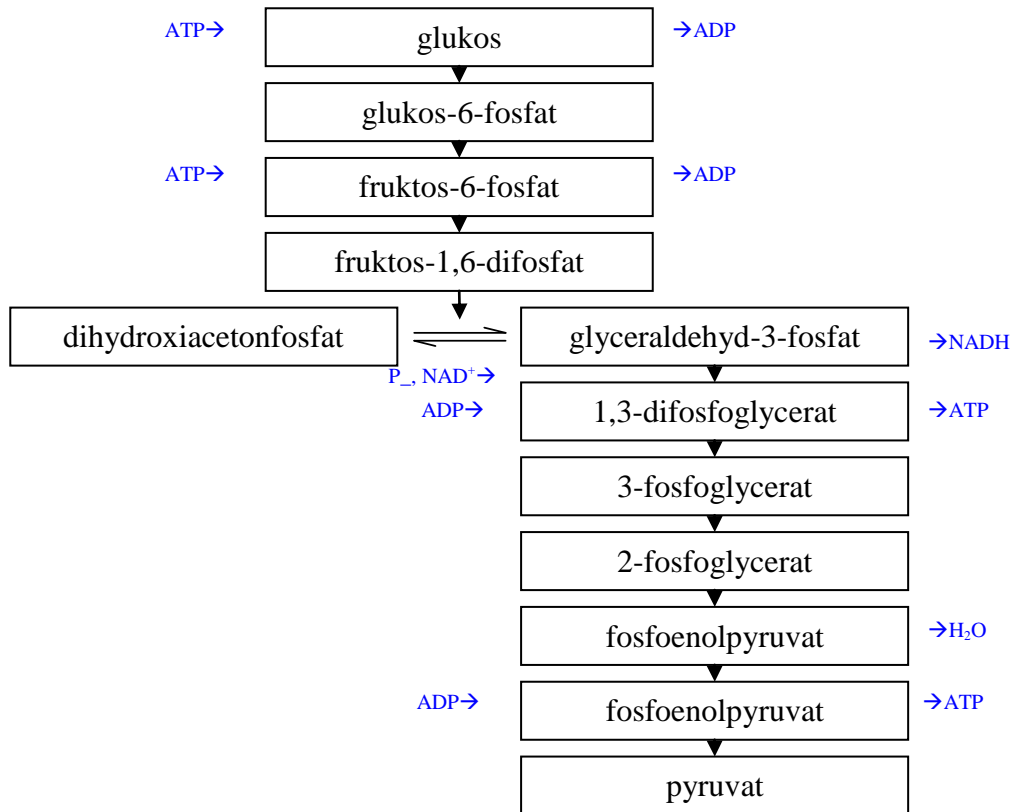
I formeln ovan representerar P_- en fosfatgrupp, d.v.s. HPO_4^{2-} eller H_2PO_4^- beroende på cellens pH. Reaktionen åt höger är kraftigt endoterm, och reaktionen åt vänster är följaktligen kraftigt exoterm. ATP är alltså inte endast en fosfatbärare, utan också en *energibärare*. ATP kan betraktas som ett laddat batteri, och ADP som ett urladdat batteri. ATP är kroppens främsta energibärare, och den molekyl som cellen vid behov använder till energikrävande processer; i vila förbrukar en människa omkring tio miljoner ATP-molekyler per sekund. ATP-molekyler förbrukas i regel tämligen snart (inom loppet av minuter) efter att de syntetiserats, varför ATP snarare är ”den sista bäraren” av energi än någon lagringsmolekyl; lagring av energi svarar som bekant fett och glykogen för. Som vi ska se, är det också ATP-molekyler som bildas vid katabolismen av glukos och fettsyror.

Glykolysen

Glykolysen kallas en serie av reaktioner som sker i cellernas cytoplasma och som omvandlar varje glukosmolekyl till två pyruvatjoner (se ”Ketoner” ovan). För varje glukosmolekyl laddas också två ATP upp från ADP och två NADH från NAD^+ . Nettoresultatet kan alltså skrivas som nedan.



Nedan visas en mer detaljerad beskrivning av glykolysen. Märk att ämnet fruktos-1,6-difosfat (6 C) spjälkas i två ämnen, dihydroxiacetonfosfat (3 C) samt glyceraldehyd-3-fosfat (3 C). Mellan dessa senare ämnen råder en jämvikt när de bildats, och det är endast den senare av de två som reagerar vidare. Men när detta händer, förskjuts jämvikten åt höger, så att (optimalt) all dihydroxiacetonfosfat omvandlas till glyceraldehyd-3-fosfat och reagerar vidare. Reaktionsvägen efter glyceraldehyd-3-fosfat utförs alltså *två* gånger per glukosmolekyl.

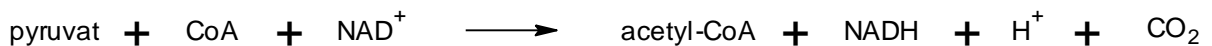


Figur 1 Glykolysen

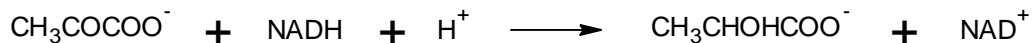
För att cellen ska kunna utvinna någon energi från pyruvatjonerna, måste dessa molekyler transporteras in i mitokondrierna. Denna transport kräver en ATP per pyruvatjon.

Pyruvatjoner omvandlas till acetyl-CoA

Pyruvatjonerna omvandlas i mitokondrierna till acetyl-CoA, under bildande av en NADH per jon, enligt följande formel.



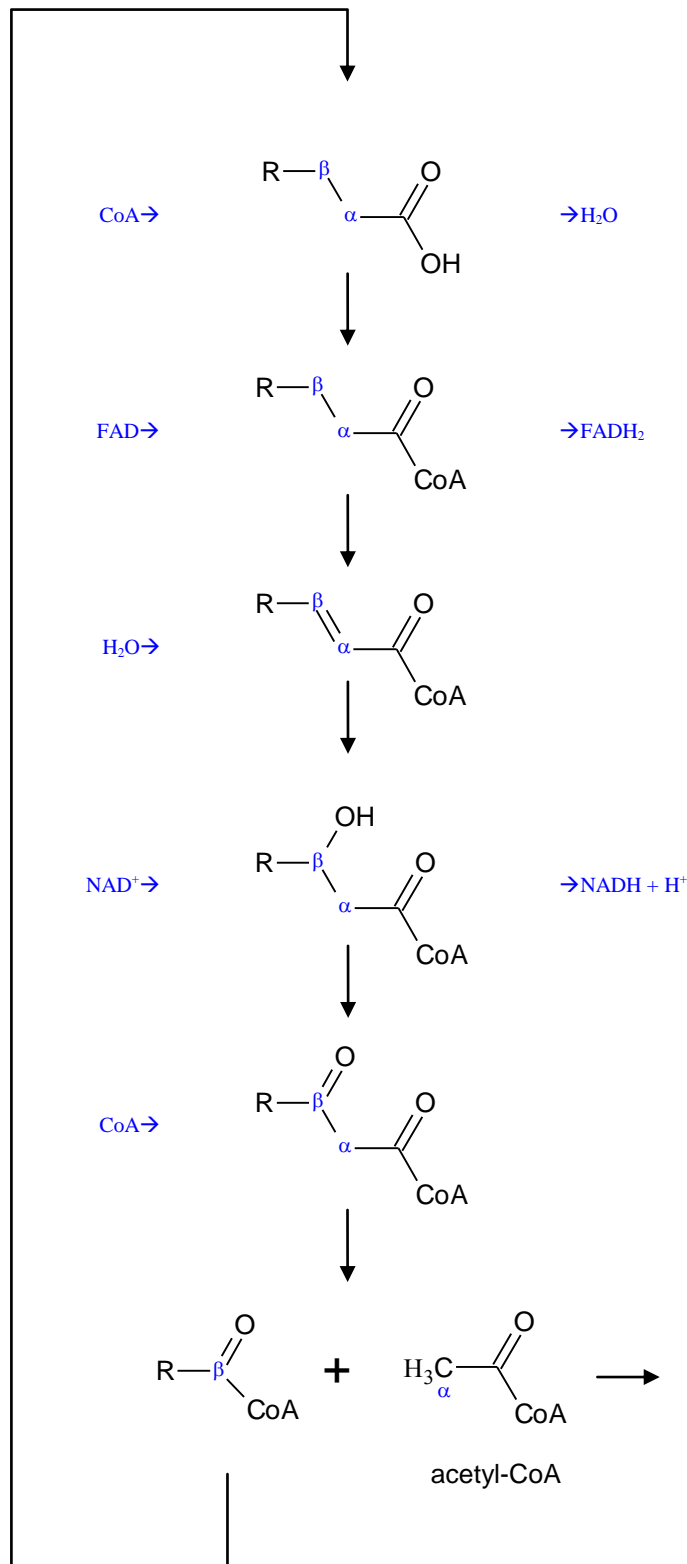
NAD⁺, som behövs för glykolysen, kan bli en bristvara i cellen; om inte processerna sker tillräckligt snabbt – exempelvis vid syrebrist i en muskelcell – kan NADH omvandlas till NAD⁺ genom att pyruvatjoner helt enkelt tar upp väteatomer och bildar laktatjoner (mjölksyrans anjoner). Detta ger upphov till en temporär värk i muskeln.



Betaoxidationen

I cellernas mitokondrier sker nedbrytning av fettsyror till acetyl-CoA. Denna process sker i flera etapper; i varje etapp spjälkas en acetyl-CoA av samtidigt som en NADH och en FADH₂ laddas upp. Denna process har fått sitt namn av att ett av huvudstegen i reaktionskedjan utgörs av en oxidation av fettsyrens β-kol. Om en mättad fettsyra med jämnt antal kol oxideras, kommer en fettsyra med n kol att ge upphov till $n/2 - 1$ cykler och därför $n/2$ acetyl-CoA, $n/2 - 1$ NADH samt $n/2 - 1$ FADH₂. Nedan visas en mer detaljerad beskrivning av betaoxida-

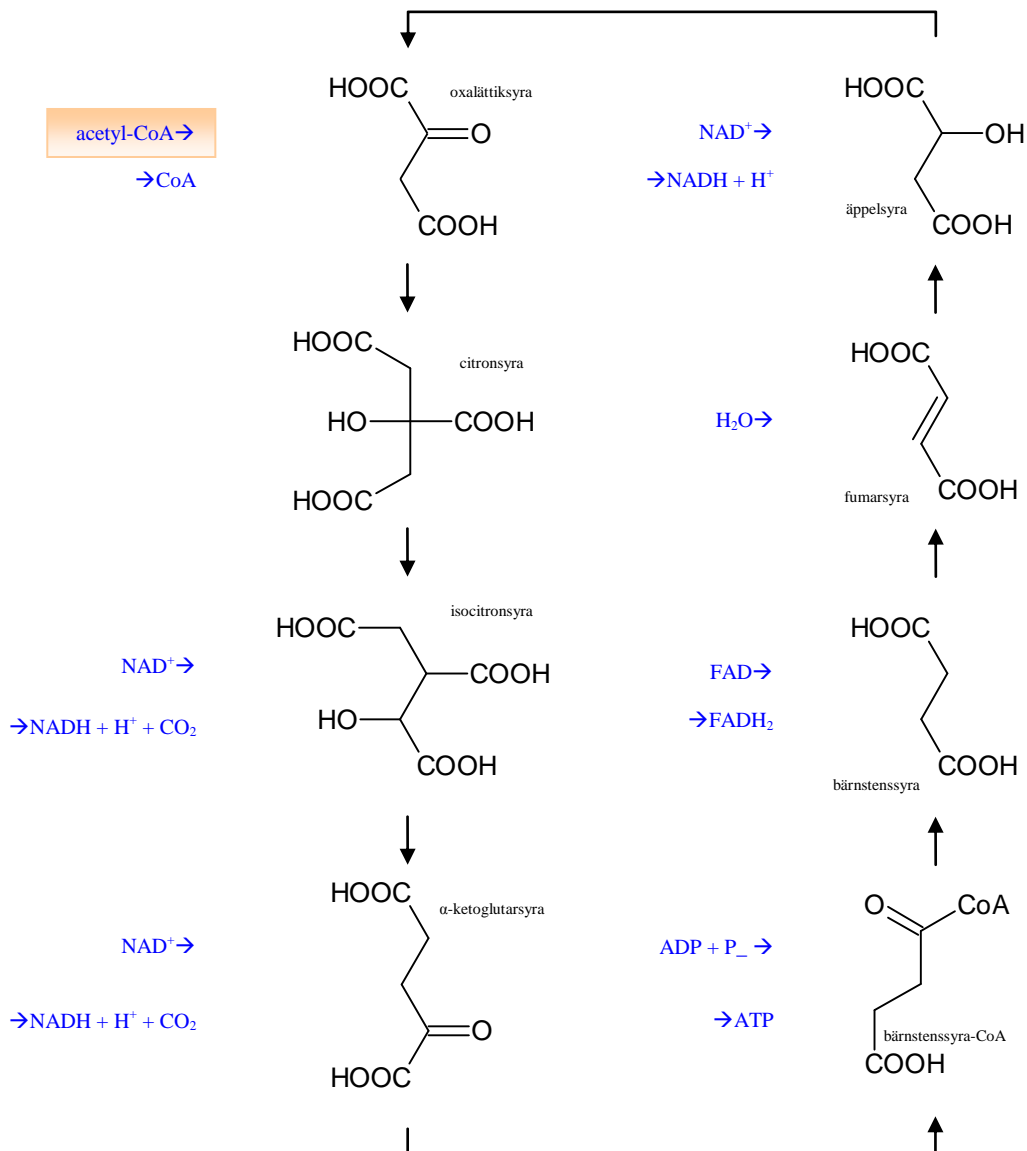
tionen. Att n kol, som ger $n/2$ acetyl-CoA, endast ger $n/2 - 1$ cykler beror på att $R = H$ efter den sista cykeln, varför vi då direkt får två stycken acetyl-CoA.



Figur 2 Betaoxidationen

Citronsyrcykeln

En av de mest centrala processerna i katabolismen är *citronsyrcykeln*, vilken inleds med att oxalättiksyra (4 C) förenas med acetyl-CoA såväl från pyruvatjoner som från fettsyror, till citronsyra (6 C). Sedan sker en rad kemiska reaktioner som gör att två kol försvinner från citronsyran under bildande av två molekyler koldioxid; den koldioxid som en människa andas ut kommer till största delen från citronsyrcykeln. Till slut är cykeln tillbaka vid oxalättiksyran, som då är redo att förena sig med en ny molekyl acetyl-CoA. Under varje varv i cykeln bildas – förutom de två molekylerna CO_2 – också tre NADH, en FADH_2 samt en ATP.



Figur 3 Citronsyrcykeln

Cellandningen

Slutsteget i katabolismen är *cellandningen*, som sker innanför mitokondriernas yttre membran (mitokondrier har två membraner). Det är här NADH och FADH_2 lämnar ifrån sig sina väteatomer; här oxideras vätet till vatten med hjälp av syre från andningen, vilket frigör en hel del energi, vilken används till att ladda upp ATP-molekyler. En NADH ger upphov till tre ATP, medan en FADH_2 ger upphov till två ATP.

Avslutning

Vi har i denna uppsats studerat de ämnen som kan byggas av grundämnet kol; vi har sett att dessa föreningar bygger upp biosfärens alla växter och djur och också att oerhört många material och föremål i dagens moderna samhälle bygger på dessa föreningar.

När det gäller hur kroppens fysiologi fungerar, har vi gett åtskilliga modeller, och dessa modeller är naturligtvis tänkta att beskriva verkligheten. Emellertid är det svårt att i vardagsmiljö studera exempelvis glykolysen, betaoxidationen, citronsyracykeln och cellandningen; dessutom är biokemiska processer ofta komplexa. I stort sett torde dock allt innehåll i denna uppsats vara korrekt, men vissa detaljer i dagens kunskap kan mycket väl komma att revideras i framtiden. Om du som läsare upptäcker något fel i denna uppsats, är du därför välkommen att skicka in dina kommentarer till författaren på andreas@rejbrand.se.

Sammanfattningsvis vill författaren deducera slutsatsen att den organiska kemin och biokemin är mycket intressanta vetenskaper som beskriver såväl människan och naturen som det moderna samhället – biokemin är biosfärens ”tekniska dokumentation”.

Källförteckning

Data om olika ämnens fysiska egenskaper (främst kok- och smältpunkt), naturliga förekomster och industriella användningsområden samt detaljerade anatomiska/fysiologiska data är hämtade ur följande källor.

- Andersson, Sonesson, Stålhandske, Tullberg, Rydén. *Gymnasiekemi B*. Liber AB. Falköping 2001. ISBN 91-47-01678-7
- Lindberg, Nordlund, Pilström, Wahlström. *Kemi för gymnasieskolan B*. Natur och Kultur. Falköping 1996. ISBN 91-27-61036-5
- Ljunggren, Söderberg, Åhlin. *Liv i utveckling B*. Natur och Kultur. Örebro 2003. ISBN 91-27-61202-3
- Sand, Sjaastad, Haug. *Människans fysiologi*. Liber AB. Finland 2004. ISBN 47-05195-7
- English Wikipedia. *1-Decanol, 1-Heptanol, 1-Hexanol, 1-Nonanol, 1-Pentanol, 1-Propanol, Acetaldehyde, Acetaldehyde dehydrogenase, Acetic acid, Acetone, Acrylonitrile butadiene styrene, Alcohol, Alcohol dehydrogenase, Alkane, B vitamins, Basal lamina, Benzene, Bone, Butanal, Butane, Butanol, Butyric acid, Calcium, Carotene, Cellulose, Cholesterol, Collagen, Cyanocobalamin, Cycloalkane, Cyclobutane, Cyclohexane, Cyclopentane, Cyclopropane, Decane, Dermis, Dietary mineral, Dodecane, Dodecanol, Elastin, Epidermis (skin), Ester, Ethane, Ethene, Ethanol, Ethylene glycol, Fat, Folic acid, Formaldehyde, Formic acid, Fructose, Galactose, Glucose, Glycerol, Heptane, Hexadecane, Hexane, Isopropyl alcohol, Keratin, Lactose, Lecithin, Lego, Methane, Methanol, Muscle, Niacin, Nonane, Octadecane, Octane, Octanol, Oxalic acid, Pantothenic acid, Pentane, Polystyrene, Phenol, Propanol, Propionaldehyde, Propionic acid, Pyridoxine, Retinol, Riboflavin, Skin, Starch, Steroid, Stratum corneum, Stratum germinativum/basale, Stratum granulosum, Stratum lucidum, Stratum spinosum, Sucrose, Thiamine, Tocopherol, Toluene, Undecane, Vitamin, Vitamin C, Vitamin K, Xylene*. <http://en.wikipedia.org>. 2006-04-08, 09-16
- Svenska Wikipedia. *Acetaldehyd, Aceton, Adenosintrifosfat, Aldehyd, Alkan, Bensen, Butan, Cellulosa, Cykloalkan, Cyklohexan, Dodekan, Ester, Etan, Etandiol, Fett, Formaldehyd, Formalin, Fruktos, Glukos, Hemoglobin, Ibuprofen, Kobalamin, Kolväte, Laktos, Muskel, Myrsyra, Oktadekan, Oxalsyra, Pentan, Polystyren, Propan, Propantriol, Stärkelse, Toluen, Tridekan, Xylen*. <http://sv.wikipedia.org>. 2006-04-08, 09-16
- Deutsche Wikipedia. *Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisat, Butanal, Heptanal, Hexanal, Milchzucker, Nonanal, Octanal, Pentanal, Polyethylen, Polypropylen, Polystyrol, Polyvinylchlorid*. <http://de.wikipedia.org>. 2006-04-09