



Cellen

Alla levande organismer består av celler. Mycket av det som är typiskt för levande organismer har sin grund i cellernas uppbyggnad och funktioner. Genom att studera celler kan man därför också förstå mycket av hur hela organismer fungerar. Förutom att de är uppbyggda av celler har levande organismer många andra saker gemensamt, bland annat att de

- har ämnes- och energiomsättning,
- reagerar på omgivningen,
- tillväxer och förökar sig,
- ärver egenskaper från föräldrarna,
- finns i många former.

Dessutom är alla levande organismer som finns nu ett resultat av evolutionen – det är den som gör biologin begriplig.

För att studera celler krävs mikroskop, både ljusmikroskop och elektronmikroskop. Mikroskopbilderna i den här boken är oftast färgade, för att vi ska se detaljer bättre. Det gäller bilder från både ljusmikroskop och elektronmikroskop. Vi bör alltså tänka på att det inte är de naturliga färgerna i levande vävnad som vi ser.

CENTRALT INNEHÅLL

- Cellers livscyklar och differentiering, utveckling från ägg till vuxen. Cellers kommunikation.
- Celldelars funktion. Livsprocesser och regleringen av dem, till exempel fotosyntes, metabolism och transport över membran. Evolutionärt perspektiv på molekylärbiologi.
- Cell- och molekylärbiologins användningsområden. Möjligheter, risker och etiska frågor.
- Samband mellan evolution och organismernas funktionella byggnad och livsprocesser.
- Användning av modern utrustning vid fysiologiska undersökningar och laborationer.

Celler som klär lufstrupen, dels slemhinneceller (bruna), dels epitelceller med cilier (rosa). SEM-bild, förstoring cirka 3 800 gånger.

Samma typer av biomolekyler i alla celler

Du kanske har hört uttrycket "du är vad du äter". Det ligger en hel del i detta, eftersom vi människor innehåller samma slags kemiska ämnen som den mat vi äter. Det beror förstås på att vi och de organismer vi äter är släkt, på nära eller långt håll. Det verkar alltså vara något speciellt med de ämnena i levande organismer, och det fick kemisterna klart för sig redan för flera hundra år sedan.

En slutsats som forskare drog på 1700-tal var den, att ämnen som bygger upp levande organismer för det mesta innehåller grundämnet kol. Det är därför som kolföreningar från början fick benämningen "organiska ämnen". Men bara en liten del av alla tänkbara kolföreningar har en funktion i levande organismer.

Typiskt för ämnena i organismer är att ett fåtal typer av små molekyler kan bygga upp större *makromolekyler*, eller *biomolekyler*, på mycket varierande sätt. De allra flesta biomolekyler kan delas in i fyra kategorier, nämligen

- proteiner och byggstenarna aminosyror,
- kolhydrater,
- lipider,
- nukleotider och nukleinsyror.

De här ämnesgrupperna finns i alla celler, även om exempelvis proteinmolekylernas uppbyggnad varierar stort.



Bröd innehåller mest kolhydrater och proteiner. Kolhydraterna används främst som energikälla, och proteinerna för att bygga upp organismen.

När du har läst kapitlet ska du ha kunskap om...

- vad som är typiskt för proteiner, kolhydrater, lipider och nukleotider,
- proteinernas uppgifter i organismerna,
- uppgifter för kolhydrater,
- viktiga typer av lipider och deras uppgifter i organismen,
- nukleotiders uppgifter: DNA, RNA, energiförmedlare, vätebärare.

Viktiga begrepp

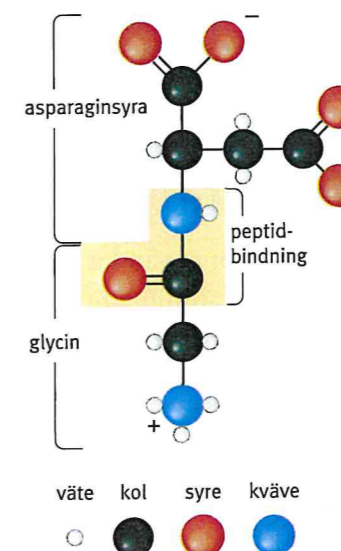
aminosyror	fleromättad fettsyra	nukleotid
ATP	fosfolipider	omättad fettsyra
biomolekyler	glykogen	polypeptider
bärrarmolekyler	karotenoider	polysackarid
cellulosa	klorofyll	prostetisk grupp
coenzym	kolesterol	proteiner
cofaktor	kolhydrater	receptorer
disackarid	laktos	sackaros
enzymer	lipider	steroid
fetter	monosackarider	stärkelse
fettsyror	mättad fettsyra	vätebärare

Aminosyror och proteiner

För oss människor är *proteiner* en nödvändig beståndsdel i maten. Vi kan få i oss proteiner genom att äta mat från djur, som kött och ägg, eller proteinrika växtdelar, som ärter och bönor. Anledningen till att vi behöver proteiner är att vår kropp byggs upp av dem. I tarmkanalen bryts proteinerna ner till sina beståndsdelar, *aminosyrorna*, som därefter förs ut till kroppens celler med blodet. I cellerna sätts aminosyrorna ihop till våra egna proteiner. Alla organismer har många olika slags proteiner i sina celler.

Aminosyror

En aminosyra är en organisk molekyl som kan fungera både som syra och som bas. Orsaken är att den har både en karboxylgrupp och en aminogrupp. Av alla teoretiskt tänkbara aminosyror förekommer 20 stycken olika i proteiner. En del andra förekommer som mellanled i ämnesomsättningen. Aminosyror kan kopplas ihop till kedjor med en *peptidbindning*. Kedjor med ganska många aminosyraenheter brukar kallas *polypeptider*, och riktigt långa polypeptidkedjor, en eller ibland flera kombinerade, blir proteiner.



Två aminosyror sammanfogade med en peptidbindning till en dipeptid.

Proteiner: molekyler, uppbyggda av kedjor av hopkopplade aminosyror.

Aminosyror: organiska molekyler som har både en aminogrupp och en karboxylgrupp. Av alla teoretiskt tänkbara aminosyror förekommer 20 olika typer i proteiner.

Peptidbindning: en bindning som bildas när en karboxylgrupp kopplas ihop med en aminogrupp, och vatten spjälkas av. Syreatomen och väteatomen är riktade åt varsitt håll.

Polypeptid: kedja av ett maximalt cirka 50 aminosyror, hopfogade med peptidbindningar.

Proteiner

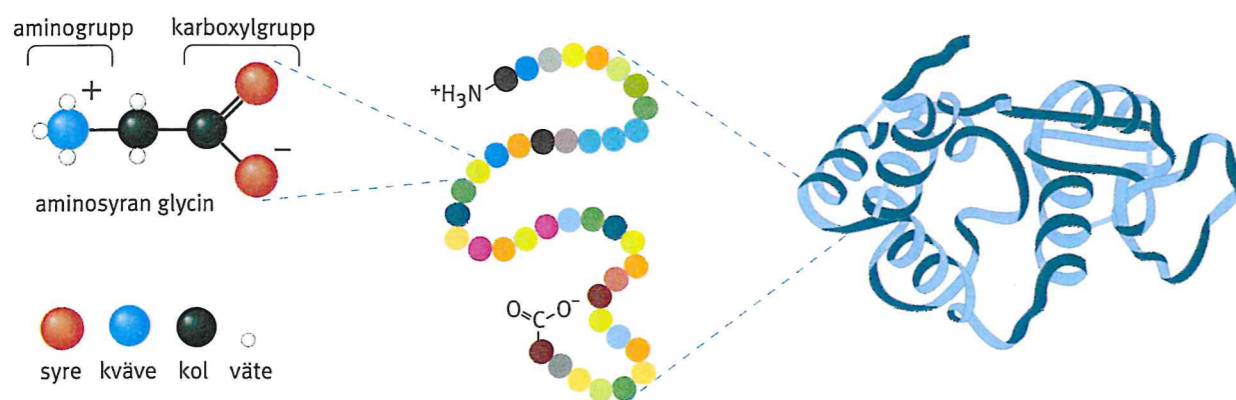
Proteiner är stora molekyler uppbyggda av långa kedjor av aminosyror. Varje protein har aminosyrorna hopfogade i en bestämd ordning. Tack vare aminosyrornas placering och deras olika kemiska egenskaper kan proteinmolekylen få en bestämd form, som gör att den kan fungera i ett visst sammanhang. Placeringen av aminosyrorna i en viss ordning kräver information, som finns lagrad i DNA – se Spira 1 s. 29 – 33.

En del proteiner används för att bygga upp organismen, medan andra slags proteiner sköter organismens olika funktioner. Några viktiga sådana är receptorer, antikroppar och *enzym*er. Väldigt viktig för deras funktion är den exakta formen på molekylen. Enzymer får du läsa mer i detalj om i kapitel 5 om cellens ämnes- och energiomsättning.

I många fall har en proteinmolekyl någon del som inte byggs upp av aminosyror. Ett exempel är hemgruppen i hemoglobin, där det finns en järnatom som är nödvändig vid syretransporten. En sådan här extra molekyl del kallas en *prostetisk grupp*. En annan ganska fast bunden molekyl eller jon, som behövs för att enzymer ska fungera, kallas *coenzym*, medan en mer löst bunden molekyl eller jon kallas *cofaktor*.

Enzymer: proteiner som fungerar som katalysatorer, dvs. skyndar på kemiska reaktioner utan att själva förbrukas.

Prostetisk grupp: en del av ett protein som inte är uppbyggd av aminosyror.



En proteinmolekyl utgörs av åtminstone en kedja av aminosyror. Olika aminosyror har olika egenskaper. Eftersom aminosyror av olika typ sitter i en bestämd ordning får proteinmolekylen en bestämd form i sin rätta kemiska miljö.

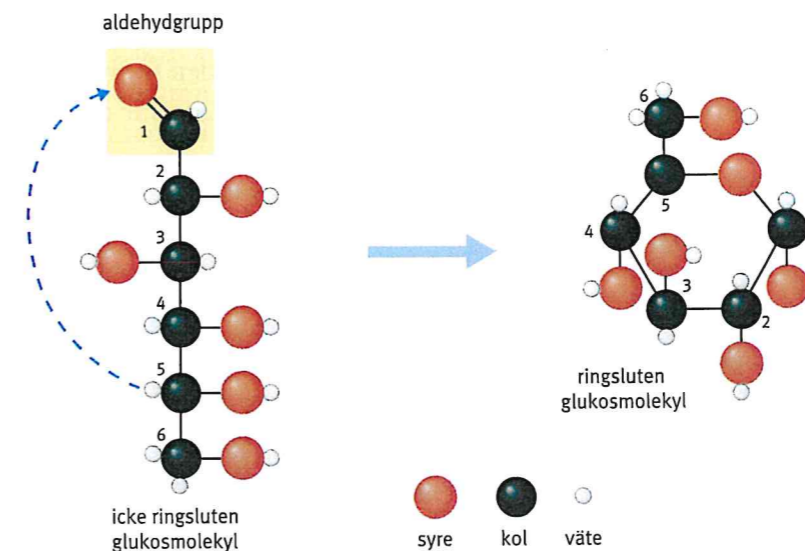
Kolhydrater

Vi människor använder *kolhydraterna* mest som energikälla, och det är också därför som maratonlöpare och utövare av andra ansträngande sporter ”kolhydratladdar” dagarna före en tävling. De fyller alltså på sina energilager. Vi får i oss energirika kolhydrater med exempelvis bröd, potatis och pasta. Men som vi ska se lite längre fram så använder cellerna också kolhydrater till mycket annat än energiutvinning.

Kolhydrater har ofta en empirisk¹ formel av typen CH_2O . Kemister på 1800-talet tolkade det som att en kolhydrat är en kemisk förening av kol och vatten. Nu vet vi att den här formeln inte alltid stämmer exakt.

De enklaste kolhydraterna är de enkla sockerarterna, *monosackariderna*, som

är molekyler med 3–7 kolatomer. Oftast har varje kolatom en syreatom bunden till sig, antingen som en hydroxylgrupp (en syreatom med ett väte bundet till sig) eller som en karbonylgrupp, alltså en dubbelbindning mellan kol och syre. Ofta sluter sig kedjan av kolatomer i en monosackarid till en ring – se bilden nedan.

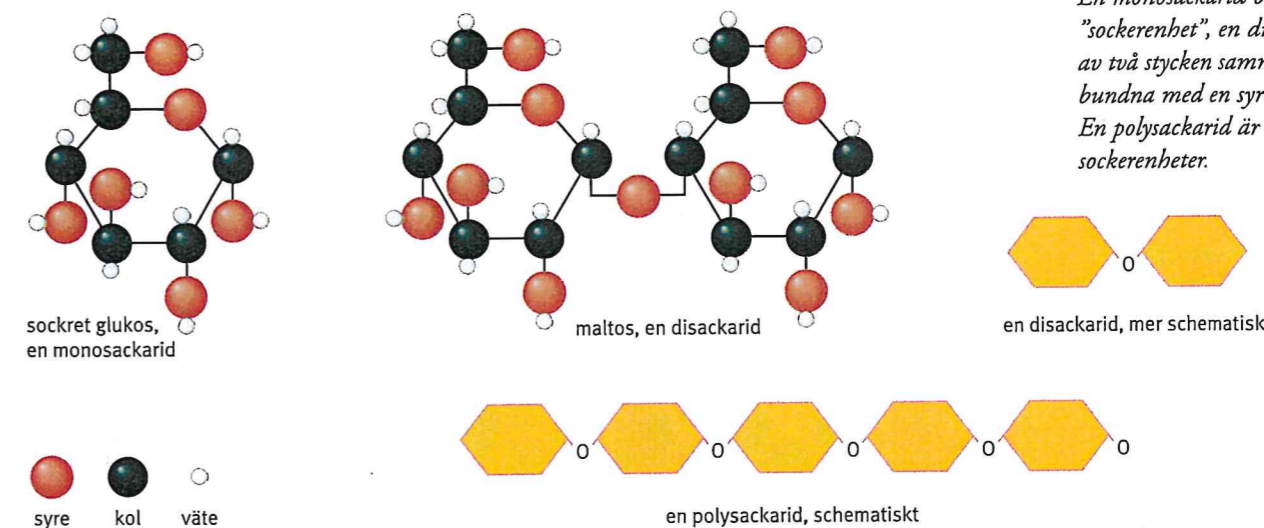


En sockermolekyl med en rak kedja av kolatomer kan ”reagera med sig själv” och få ringform.

De enkla sockerarterna bygger också upp större molekyler. Två enkla sockermolekyler ihop bildar en *disackarid*, molekyler med något fler enheter brukar kallas *oligosackarider*, och riktigt långa kedjor kallas *polysackarider*. Sockerermolekyler kan också ingå som delar i andra typer av molekyler. Några exempel är i nukleotider och nukleinsyror och som ”flaggor” på en del proteiner och lipider.

Disackarid: en kolhydratmolekyl som består av två hopkopplade monosackarid-molekyler.

Polysackarid: en kolhydratmolekyl som består av upp till 50 hopkopplade monosackarid-molekyler.



En monosackarid består av en ”sockerenhet”, en disackarid av två stycken sammankbundna med en syrebrygga. En polysackarid är en kedja av sockerenheter.

Några viktiga enkla sockerarter (monosackarider)

Bland sockerarterna med fem kolatomer (*pentoser*) finns ribos, som ingår i RNA, och deoxiribos, som har en -OH-grupp mindre än övriga sockerarter, och som ingår i DNA.

Bland sockerarterna med sex kolatomer (*hexoser*) finns glukos, druvsocker, galaktos och fruktos, fruktsocker.

Sackaros (rörsocker): en disackarid uppbyggd av en enhet glukos och en enhet fruktos.

Laktos (mjölksocker): en disackarid uppbyggd av en enhet glukos och en enhet galaktos.

Alla däggdjursungar får råvaror till både energi och kroppens uppbyggnad med modersmjölken. Mjölksocker, laktos, är främst en energikälla.

Stärkelse: kolhydrat vars molekyl består av långa kedjor av glukosmolekyler och som fungerar som energireserv i växter.

Glykogen: kolhydrat som påminner om stärkelse; energilagrar i levern och muskler.

¹disillare: hovdjur med flera magar; bland annat kor, får, getter, renar, älgar

Några viktiga sammansatta sockerarter

Bland de sammansatta sockerarterna finns exempelvis rörsocker, *sackaros*, som är vanligt "strösocker", alltså det vi använder till matlagning. Det består av en enhet glukos och en enhet fruktos. Att man kan få det här sockret från både sockerrör, som är ett gräs, och från sockerbeta, som är släkt med bland annat rödbetor och spenat, visar att sackaros finns på många håll i växtriket. Det är den form av kolhydrat som transporteras mellan olika delar i en växt. Ibland fungerar det även som energilagrar, som just i sockerrör och sockerbetor.

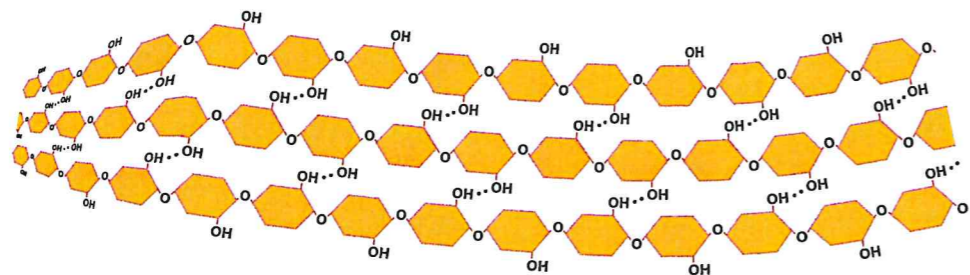
I mjölk finns i stället mjölksocker, *laktos*, som är en kombination av glukos och galaktos. Laktosen i mjölken används för att ge energi åt däggdjurens ungar.



Några viktiga polysackarider

Flera olika enkla sockerarter kan binda till varandra i kedjor. Långa kedjor av glukosmolekyler bildar *stärkelse*, som används som energilagrar i växter, och *glykogen* med samma roll i djur. *Cellulosa* är också långa kedjor av glukos, men med annan typ av bindning mellan glukosmolekylerna. Tillsammans med kedjor av andra sockerarter, ofta kallade hemicellulosa, bygger cellulosa upp växternas cellväggar och är huvudbeståndsdelen i det vi kallar "trä".

När stärkelse bryts ner bildas *maltos*, som är två sammankopplade glukosenheter. Vid nedbrytning av cellulosa bildas i stället cellobios, där två glukosmolekyler sitter ihop på ett annat sätt. Vår tarmkanal klarar inte att bryta ner cellulosa, men det gör mikroorganismer, även i bland annat idisslars¹ magar.



Tre långsträckta, schematiskt tecknade cellulosamolekyler, som binder till varandra med vätebindningar.

Lipider

Den enklaste definitionen på ämnesgruppen *lipider* utgår från att de inte är lösliga i vatten – däremot löser de sig i bensin och andra organiska lösningsmedel. Utifrån formuleringen "lika löser lika" kan man då dra slutsatser om några typiska egenskaper hos lipider. De har ofta ganska långa kolvätekedjor och endast ett fåtal syreatomer i molekylerna. I övrigt är skillnaderna stora. Vi tar bara upp några få exempel här.



Lipider: biomolekyler som inte är lösliga i vatten, däremot i organiska lösningsmedel (opolära vätskor, bl.a. bensin).

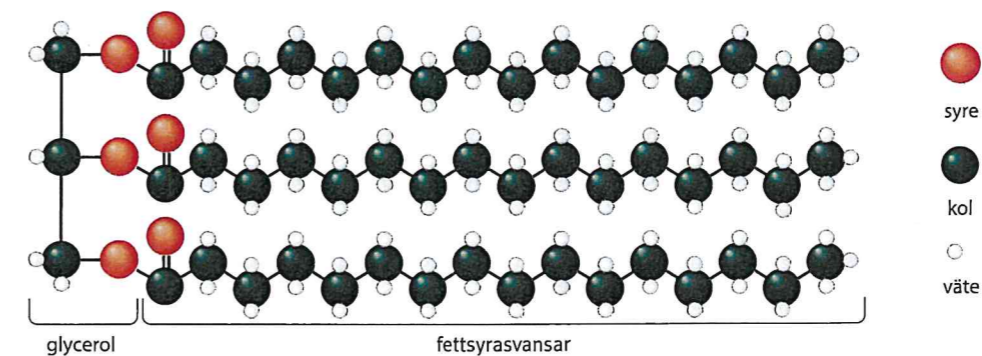
Karotenoider, som ingår i gruppen lipider, ger färg åt höstlöven.

Fettsyror och fetter

I *fetter* sitter tre enheter *fettsyror* bundna med esterbindning till alkoholen glycerol. Fettsyror är organiska syror med en lång kolvätekedja. Ibland förekommer dubbelbindningar på några ställen i kolvätekedjan – då säger man att fettsyran är *omättad*. Fettsyror med flera dubbelbindningar är *fleromättade*. En fettsyra helt utan dubbelbindningar är i stället mättad.

Fetter: ämnen vars molekyler består av alkoholen glycerol som binds till tre fettsyror med esterbindning.

Fleromättade fettsyror: har minst två dubbelbindningar mellan kolatomerna i kolvätekedjan.



En fettmolekyl är uppbyggd av en glycerolmolekyl och tre "fettsyrasvansar".

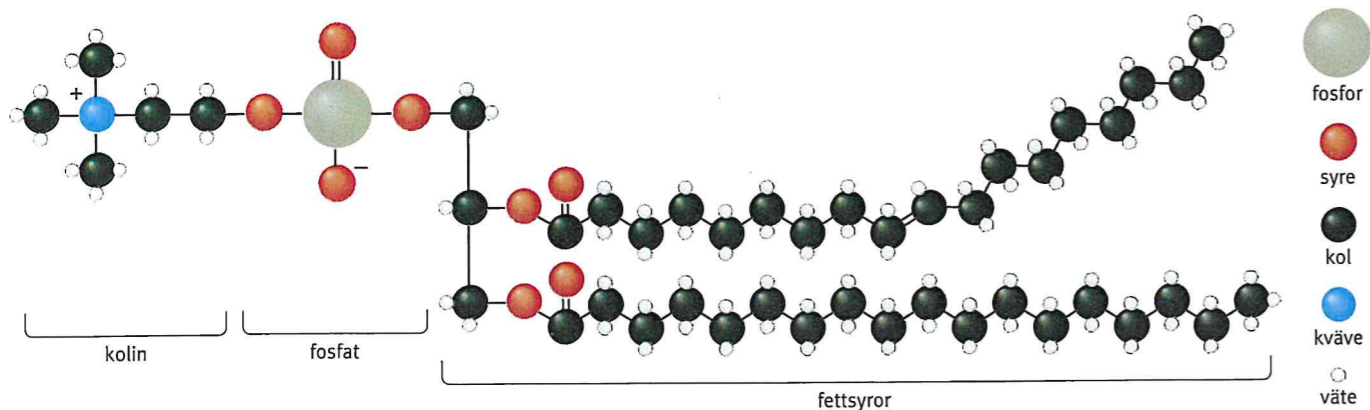
Också dubbelbindningarnas placering verkar ha betydelse för fettsyornas funktion och näringsvärde. I omega-3-syror är kol-kol-bindningen nummer tre från den bortre änden (från karboxylgruppen) en dubbelbindning, i omega-6-syror är det bindning nummer sex.

Vi behöver äta fett för att få energi och för att cellerna ska få lämpliga molekyler som byggmaterial.

Fosfolipider

Fosfolipid: skiljer sig från fetter genom att en position har bundit fosforsyra i stället för en fettsyra – dessutom har molekylens en annan alkohol på andra sidan om fosforsyran.

Fosfolipider skiljer sig från fetter genom att ena änden på glycerolmolekylen inte är bunden till en fettsyra utan till fosforsyra, som dessutom har ytterligare en alkohol bunden åt andra hållet. Genom sin uppbyggnad får fosfolipidmolekylerna olika egenskaper i de olika ändarna av molekylens – mer "vattenlik" vid fosforsyran och mer "fettlik" vid fettsyrorna. Den här egenskapen är viktig i biologiska membraner, som i stor utsträckning byggs upp av fosfolipider. I membraner förekommer ibland lipider med en annorlunda vattenlik ände.



Fosfatidylkolin, även kallat lecitin, är en typisk fosfolipid, alltså en glycerolmolekyl hopbyggd med två "fettsyruvansar" och en fosfatgrupp, med ytterligare en vattenlöslig molekyldel.

Steroider

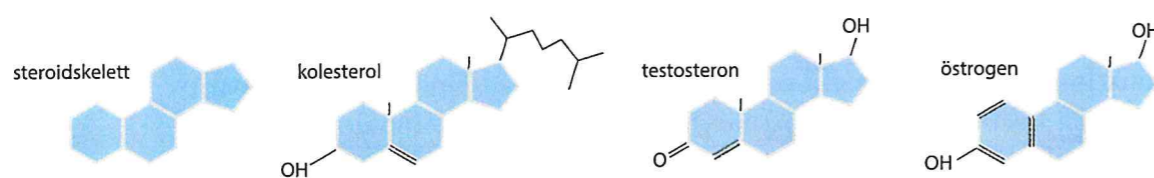
Steroid: en typ av lipidmolekyler som består av kolatomer som är kopplade till tre sexkantiga ringar och en femkantig ring.

Man kan föreställa sig skelettet till en *steroid* som att en lång kedja av kolatomer har veckat ihop sig och bildat en struktur med tre sammansatta sex-kolringar och en fem-kolring. Det är det här som ger steroiderna de typiska lipidegenskaperna när det gäller löslighet.

Kolesterol: en steroid som inte är ett hormon, utan ingår i cellmembraner och är betydelsefull för fettomsättningen i kroppen.

En steroid som du nog har hört talas om är *kolesterol*. Kolesterol är en nödvändig beståndsdel i cellmembraner, men när den transporteras runt i kroppen kan den göra så att fett fastnar i blodkärlen. Tillståndet kallas ateroskleros, eller "åderförfattning". Höga halter av "dåliga" kolesterolpartiklar i blodet ökar risken för ateroskleros och därmed bland annat hjärtinfarkt, se s. 242.

Många olika slags hormoner är också steroider, bland annat sådana som bildas i äggstockarna, testiklarna och binjurarna. De skiljer sig åt i olika molekylergrupper som har fogats till någon av kolatomerna i steroidskelettet. Hormoner kan du läsa mer om i kapitel 24.

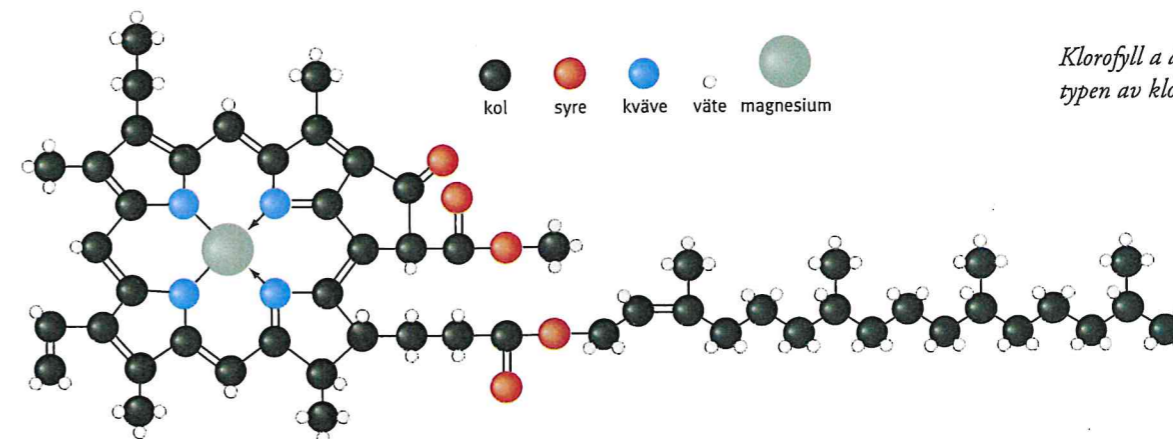


Steroidskelettet utgörs av fyra ringstrukturer. Exempel på steroider är kolesterol, testosteron och östrogen.

Klorofyll och karotenoider

Klorofyll och *karotenoider* finns i växternas kloroplaster och är nödvändiga för fotosyntesen. Karotenoider förekommer också på andra håll i både växter och djur. Några exempel bland växterna är blommornas kronblad och röda och gula fruktskal, bland djuren färgen på äggulan och retinal i ögats ljuskänsliga celler. Klorofyll fungerar som en lipid bara tack vare molekylens långa "kolvätesvans".

Karotenoider har långa kolvätekedjor med växelvis enkel- och dubbelbindningar. Dessa gör att de absorberar ljus så att de för oss ser ut att ha starka färger i området gult-orange-rött. Man brukar skilja mellan karotener, som är rena kolväten, och xantofyller, som även har en del syreatomer bundna till sig.

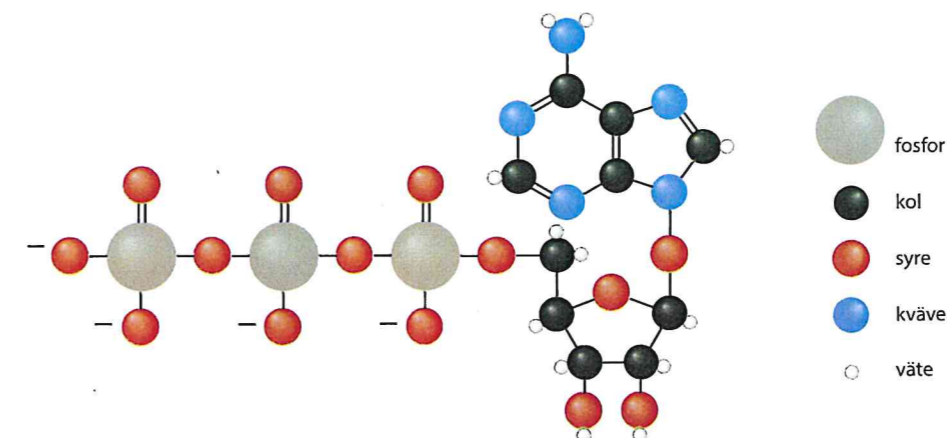


Klorofyll a är den viktigaste typen av klorofyll.

Nukleotider och nukleinsyror

I Spira 1 läste du om RNA och DNA, så du kommer förhoppningsvis ihåg att dessa livets molekyler är uppbyggda av *nukleotider*. En nukleotid är en mellanstor molekyl som byggs upp av en kvävebas, en sockermolekyl med fem kolatomer, och en eller flera fosfatjoner.

Enskilda nukleotider av olika slag är också mycket viktiga *bärarmolekyler* i cellernas energiomsättning. Allra viktigast är *ATP*, adenosintrifosfat (se bilden), och olika *vätebärare* (NAD^+ , $NADP^+$, FAD). I vätebärarna finns speciella kvävebaser som våra celler inte kan tillverka, utan vi måste få i oss dem via maten som vitaminer. Du kan läsa mer om vätebärarnas roll på s. 48, och om vårt behov av vitaminer på s. 191.



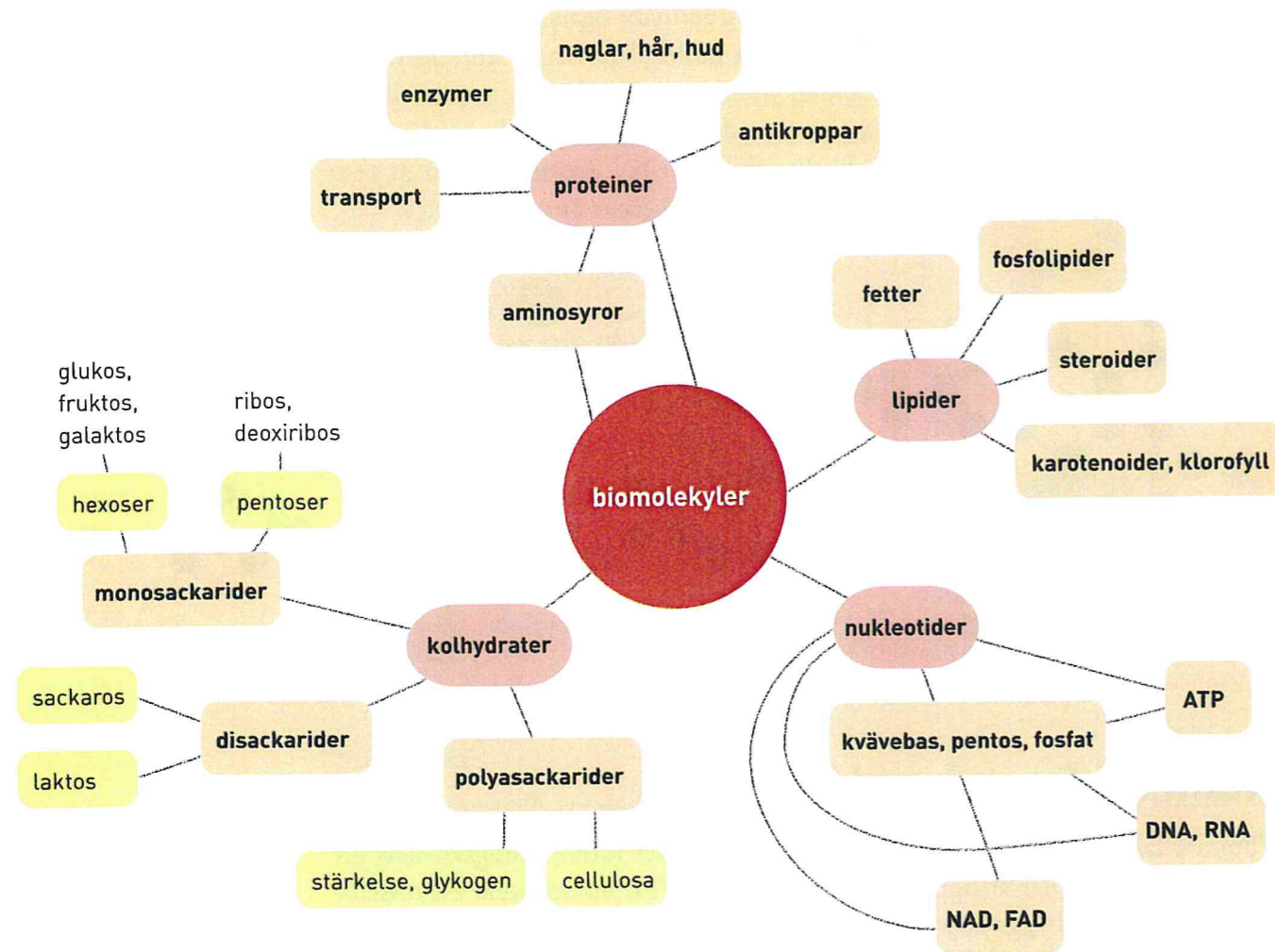
Nukleotid: en molekyl som består av en kvävebas, pentos och fosfatjon(er).

Bärarmolekyler: molekyler som samverkar med enzymer och bland annat kan överföra väteatomer och/eller elektroner mellan andra molekyler.

ATP: adenosintrifosfat – cellernas viktigaste "energiförmedlare".

Vätebärare: överför väteatomer mellan olika molekyler, bland annat i cellandningen och fotosyntesen. De viktigaste är NAD^+ , $NADP^+$ och FAD .

Uppbyggnaden av ATP, adenosintrifosfat



○○○ TRÄNA PÅ BASFAKTA

1. Vilka grundenheter bygger upp det mesta av proteinerna, och vad är speciellt med dem?
2. Många av oss äter kött, för att kroppen ska kunna bilda proteiner. Men kan kroppen bilda proteiner från annan mat vi äter?
3. Hur är stärkelse, glykogen respektive cellulosa uppbyggda, och vad används de till i levande organismer?
4. Laktos bildas av en del djur för ett speciellt ändamål. Vilket?
5. Vilka funktioner har lipider i levande celler?
6. Djur som sover vintersömn (till exempel björn, grävling, igelkott och hasselmus) äter sig först ordentligt feta på hösten. Vilken är meningen med detta?
7. Vilka mindre molekyler ingår i både RNA och energibäraren ATP?
8. En del kvävebaser till viktiga nukleotider i cellerna måste vi få i oss varje dag, i små mängder. Vilken grupp av ämnen i maten räknas de här kvävebaserna till?

○○○ KOPPLA IHOP

9. Ämnesklassen lipider kan definieras genom hur de fungerar "tekniskt". Hur då?
10. Vilka lipider i blad bryts ner respektive blir kvar, när träd får höstfärger?
11. Varför räknas steroiderna till lipiderna, trots att deras strukturformel är helt annorlunda än en fettsyra?
12. Varför äter vi människor upp potatisplantors och vetekorns energireserver?

○○● TÄNK TILL!

13. Hur kan proteiner ha så varierande egenskaper?
14. Varför kan bensin förstöra cellmembran?
15. Varför talar man om "omega-3" i reklam för smörgåsmargarin?
16. Varför finns det DNA i all mat, inte bara i mat gjord på genmodifierade växter?
17. Vårt vanliga strösocker, alltså rörsocker, utvinns bland annat från sockerrör, som är ett gräs, och från sockerbetor, som är släkt med rödbetor och spenat. Kan man av det dra slutsatser om hur vanligt detta rörsocker är i växtriket?

KAPITEL 3

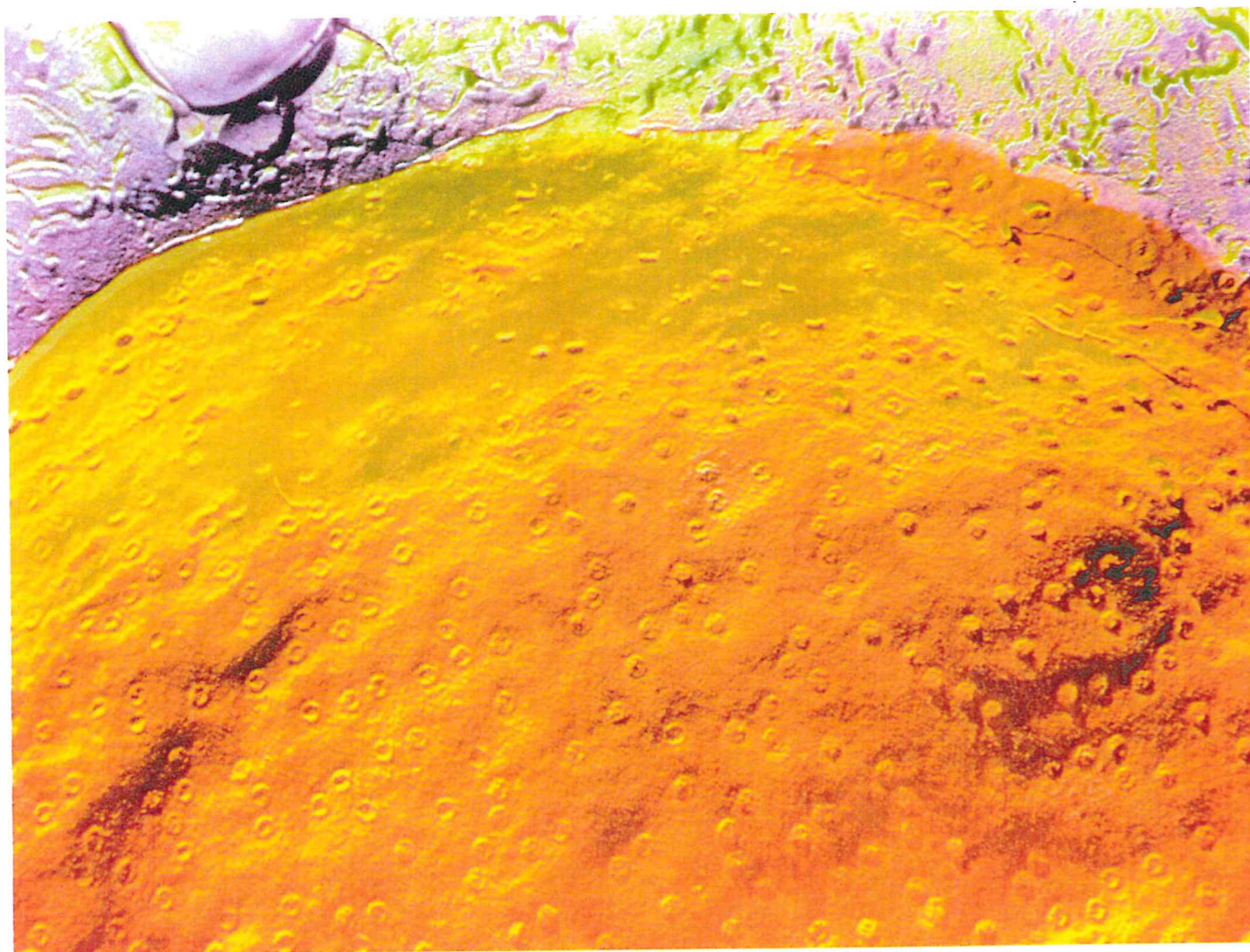
Cellen

Ordet "cell" kommer från latinets "cellula" och betyder "litet rum". Du kan dra parallellen till en fängelsecell, som ju är ett avgränsat rum. Det dröjde till 1840-talet innan biologerna förstod att allt levande är uppbyggt av celler, och att livsprocesserna sker inne i cellen. Livet är möjligt genom att en cell utgör ett slutet utrymme med en annan kemisk miljö än i omgivningen. Därför kan det ske andra kemiska reaktioner inne i cellen än utanför. Det är cellmembranet som skiljer cellens inre från omgivningen. Genom att det är *selektivt permeabelt* skapas den speciella miljön inne i cellen. Membranet kan alltså släppa igenom vissa kemiska ämnen och stoppa andra.

Alla celler är inte likadant uppbyggda och heller inte av samma storlek. Den mest grundläggande skillnaden är mellan prokaryota och eukaryota celler. Här koncentrerar vi oss på de eukaryota cellerna. De prokaryota organismerna, bakterier och arkéer, får du läsa om i kapitel 8.

Selektivt permeabelt: släpper igenom en del ämnen men inte andra.

Den gula ytan är kärnmembranet på en cell. "Prickarna" är porer, som tillåter transport av stora molekyler mellan cellkärnan och cytoplasman. Färgad TEM-bild, förstoring cirka 45 000 gånger.



När du har läst kapitlet ska du ha kunskap om...

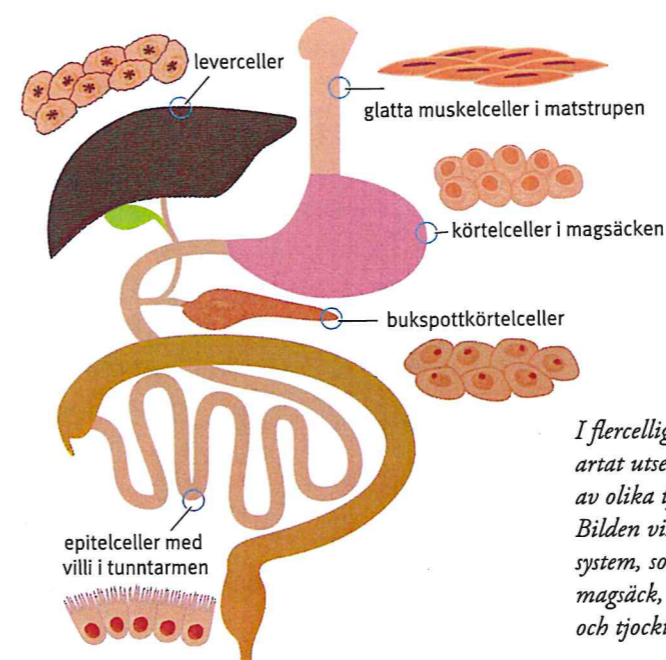
- några typiska drag för djurceller respektive växtceller,
- det speciella med mitokondrier och kloroplaster,
- hur de olika membransystemen, särskilt cellmembranet, är uppbyggda,
- vilka organeller som ingår i endomembranssystemet,
- rollerna i cellen för de två typerna av det endoplasmatiska nätverket, Golgi-apparaten och lysosomerna,
- de tre typerna av cellskelett och deras uppgifter
- funktionen för växtcellernas stora vakuoler.

Viktiga begrepp

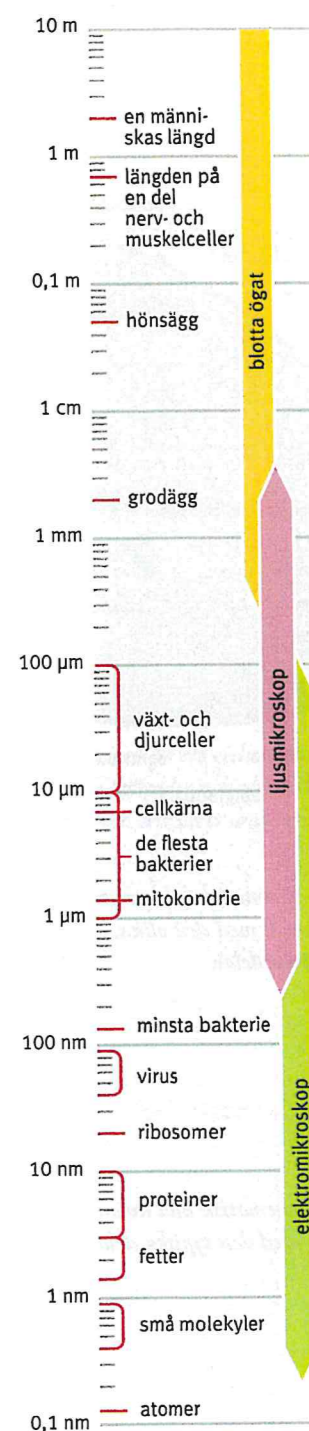
aktin	flageller	mitokondrie
cellmembranet	fria radikaler	organell
cellskelett	Golgiapparaten	selektivt permeabel
cilier	keratin	tubulin
endoplasmatiskt nätverk	kärnspole	vakuol
	laminer	

Celler och vävnader

Också bland eukaryota celler finns stora variationer. Celler av ungefär samma typ sitter ofta ihop i vävnader, och flera vävnader kan tillsammans bygga upp organ och organsystem. Oavsett hur stora växter eller djur är så tycks cellerna i de flesta fall ha ungefär samma storlek. Stora däggdjur som valar och elefanter har alltså fler celler än små däggdjur som möss och näbbmöss, medan cellernas genomsnittliga storlek är jämförbar. Tydligt blir cellernas funktioner mindre effektiva om de blir alltför stora. Inom en flercellig individ är cellerna specialiserade på olika sätt i vävnaderna och organen. Det här kommer du att läsa mer om i kapitel 10 och 15.



I flercelliga organismer sitter celler av likartat utseende ihop i vävnader. Vävnader av olika typ bildar organ och organsystem. Bilden visar människans matspjälknings-system, som bland annat består av organen magsäck, lever, bukspottkörtel, tunntarm och tjocktarm.



Här ser man hur olika bildningar förhåller sig storleksmässigt till varandra, och vilken typ av mikroskop som krävs för att se dem. Observera att skalan är logaritmisk.

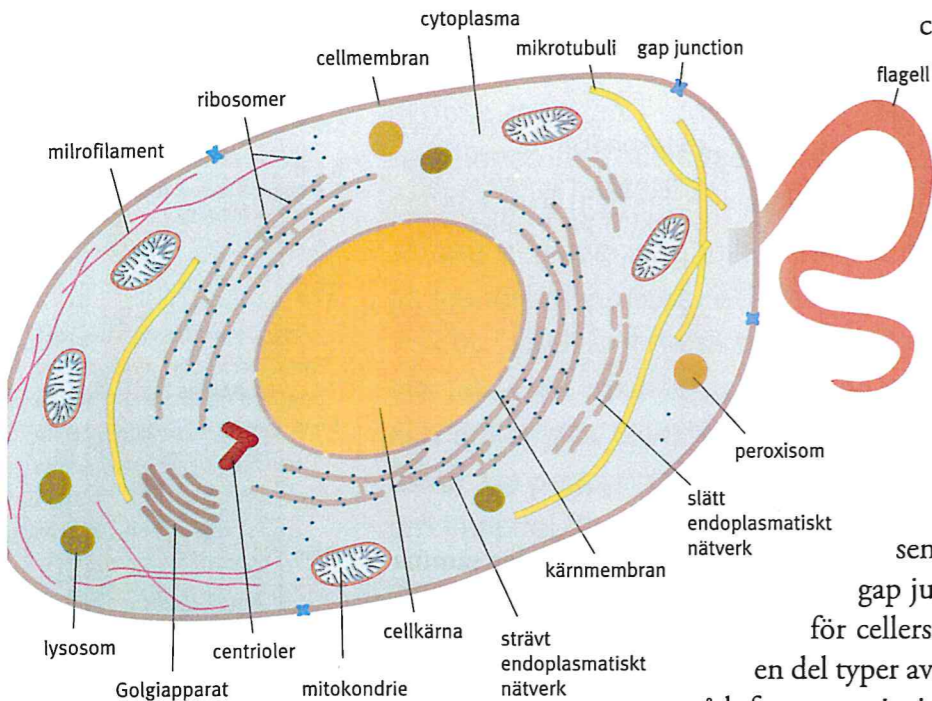
Djurceller och växtceller skiljer sig åt

Ofta tar läroböcker bara upp två huvudtyper av eukaryota celler: djur- respektive växtceller. Det är viktigt att förstå, dels att det finns många fler typer av organismer med eukaryota celler (se Spira 1 s. 138 – 141), dels att även växter och djur har en del mycket specialiserade celltyper, som saknar många delar eller till och med är döda, men trots detta fungerar i organismen. Röda blodkroppar "lever" i cirka 3 månader, men saknar både cellkärna och mitokondrier.

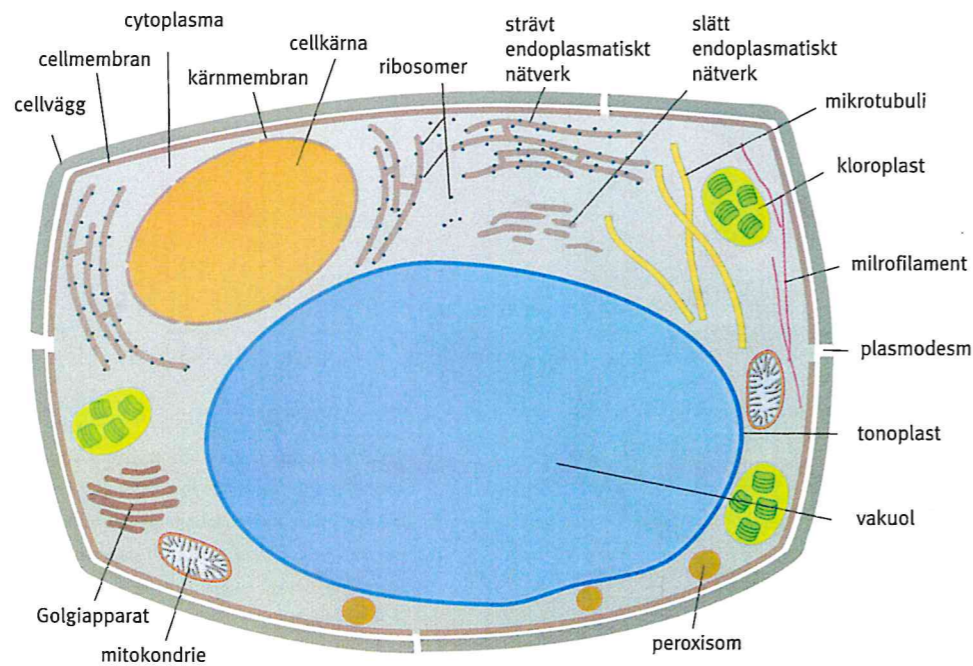
På flera sätt skiljer sig den typiska djurcellen från en typisk växtcell. I en djurcell finns sällan några vakuoler, som i stället tar upp stor volym i en växtcell. Dessutom saknas cellvägg, som annars finns hos bland annat växter, många alger, svampar och prokaryota organismer. Speciellt för djurceller är även centriolerna, som bildar kärnspolen som används för att transportera kromosomerna under celledningen. Det som sköter forbindelsen med andra celler i djurvävnader är gap junctions. Flageller, som kan användas för cellers rörelse och förflyttning, finns bara i en del typer av djurceller, som spermier och cellerna på luftstrupens insida.

Växtcellen har en cellvägg och i många fall en stor vakuol.

Dessutom finns kloroplaster för fotosyntesen. För kommunikationen med andra celler i växten finns kanaler genom cellväggen, plasmodesmer.



En schematisk bild av en djurcell med dess olika, typiska delar.



En schematisk bild av en växtcell med dess typiska delar.

Olika organellers funktion

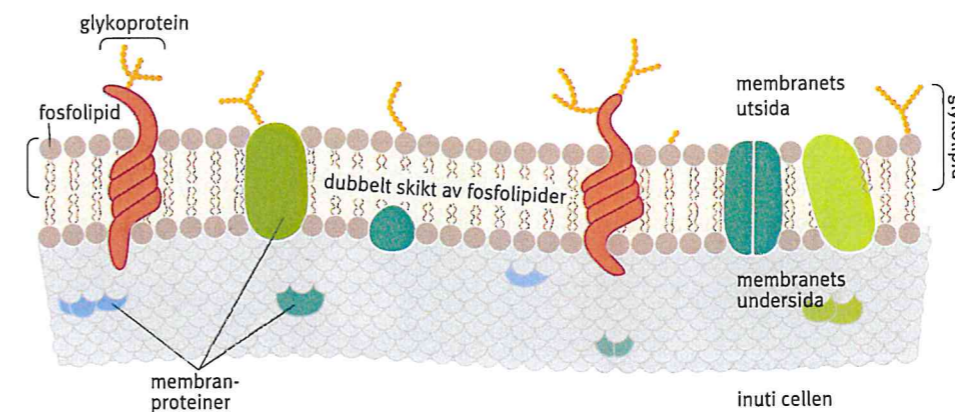
Organell betyder "litet organ", och den liknelsen är bra. Precis som vi har organ som sköter olika funktioner i kroppen så har varje enskild cell organeller med olika uppgifter. I Spira 1 läste du om flera olika organeller, exempelvis cellkärnan med kromosomerna, cellens informationscentral. Om du behöver repetera deras funktioner får du gå tillbaka till Spira 1.

Organell: en liten bildning i en cell, exempelvis mitokondrie, kloroplast och ribosom.

Cellmembranet och membraners uppbyggnad

Cellmembranets viktigaste funktion är att skapa och upprätthålla en annorlunda kemisk miljö inne i cellen än utanför. Både cellmembranet och membraner inuti cellerna byggs upp av lipider, främst fosfolipider, och olika proteiner. Bilden visar olika molekylers fördelning i ett membran.

Cellmembranet: barriär mellan cellens insida och omgivningen.

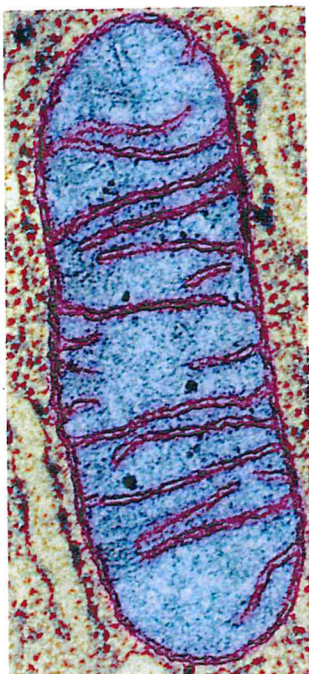


Strukturen på ett cellmembran med fosfolipider och olika slags proteiner, sett snett underifrån.

Varken lipiderna eller proteinerna är slumpmässigt fördelade. Olika membraner har olika fördelning av lipidtyper, och det är även skillnad mellan utsidan och insidan på ett visst membran.

Proteinerna i membranerna har många olika uppgifter, som

- transport genom cellmembranet,
- receptorer för hormoner och andra signalämnen,
- att ge cellen identitet, så kallade antigena egenskaper (se kapitel 20). Sådana proteiner har ofta sockermolekyler bundna till sig,
- katalytisk aktivitet, varav en del bara är löst bundna till membranet,
- förankring av membranet, både till det inre cellskelettet, till närliggande celler och till material utanför cellen, som "extracellulär matrix" och cellvägg.



En mitokondrie sedd i elektronmikroskop. Runt omkring syns endoplasmatiskt nätverk med otaliga ribosomer (bruna "prickar"). (TEM-bild, förstoring cirka 45 000 gånger.)

Mitokondrier och kloroplaster

Idag anser forskarna att både mitokondrier och kloroplaster från början var bakterier, som vandrade in i någon form av arké-cell för omkring 1500 miljoner år sedan (s. 101). Att det är så visas bland annat av att både mitokondrierna och kloroplasterna har eget DNA och egna ribosomer, som är av samma storlek som i prokaryota celler. En del av mitokondriernas respektive kloroplasternas proteiner tillverkas inne i själva organellen. Både mitokondrier och kloroplaster omges dessutom av dubbla membraner, varav det inre troligen härstammar från den ursprungliga bakterien. Vad som ska transporteras in i respektive ut ur båda organellerna styrs främst av det inre membranet.

Mitokondrier

I djurceller är mitokondrierna avlånga bildningar, medan de i växtceller kan vara nästan klotformiga. Det inre membranet är oftast kraftigt veckat, och själva vecken brukar kallas cristae. Utrymmet inuti mitokondriernas inre membran kallas matrix. Mitokondrierna fungerar som cellens energiverk; den energiförmedlande molekyl ATP bildas i cristae, i det inre membranet, medan citronsyrcykeln och nedbrytningen av fettsyror sker i matrix – se kapitel 4.

Kloroplaster

Kloroplasterna är oftast avlånga bildningar med ett komplicerat membransystem inuti. Membranblåsorna kallas thylakoider, mellanrummen stroma. I kloroplasterna sker fotosyntesen som innebär att växterna kan tillverka kolhydrater. Det får du läsa mer om i kapitel 11.

Endomembransystemet

Elektronmikroskopbilder avslöjar att det finns membransystem också inuti cellen. Det endoplasmatiske nätverket och Golgiapparaten är delar av ett och samma membransystem, dit även kärnmembranet och lysosomerna hör.

Det endoplasmatiske nätverket (ER)

Det endoplasmatiske nätverket, ER, finns i hela cellen. Det avgränsar ett eget slutet område skilt från den egentliga cytoplasman. Man brukar skilja mellan ett "slätt"¹ nätverk och ett "strävt"², som har ribosomer anslutna till membranet.

I nätverket sker tillverkning och transport av många olika ämnen, och även sammankoppling av molekyler till nya membraner.

I det släta nätverket bildas bland annat lipider, som fosfolipider och steroider. I ER i leverceller sker också avgiftning av olika ämnen där. Det släta nätverket lagrar också kalciumjoner, som hålls i beredskap som ett inre signalämne (se s. 85).

I det sträva nätverket bearbetas i stället proteiner. De proteiner som tillverkas vid närliggande ribosomer förs in i det sträva nätverkets inre utrymme. Där kan de förändras på olika sätt. Proteinerna kan bland annat få sockermolekyler påkopplade, så att det bildas glykoproteiner. Proteiner som ska transporteras ut ur cellen paketeras sedan i speciella transportblåsor, som förs till och kopplas ihop med Golgiapparaten.

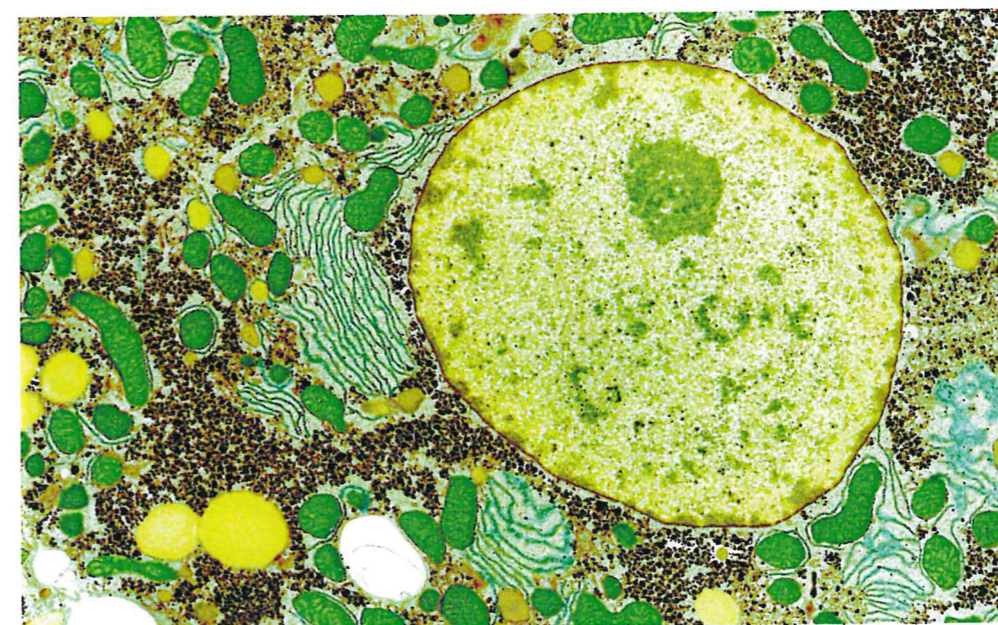
Endoplasmatiskt nätverk (ER): ett membransystem med funktion vid tillverkning och transport av ämnen.

¹"smooth" på engelska, där uttrycket kommer från.

²"rough" på engelska.

Golgiapparaten

Golgiapparaten hör också till endomembransystemet. På elektronmikroskopbilder ser golgiapparaten ofta ut som en trave av platta membranblåsor, med små runda blåsor vid sidan. Den har flera olika uppgifter. Många ämnen mellanlagras här, medan andra tillverkas. Ytterligare en viktig uppgift är att förbereda ämnen för transport ut ur cellen, som när enzymer förs från bukspottkörtelns celler till tunntarmen, där de bryter ner maten till mindre molekyler (se s. 203). Golgiapparaten visar vart olika ämnen ska transporteras. De olika membranblåsorna i Golgiapparaten är i ständig omsättning och rörelse, vilket ju inte syns på elektronmikroskopbilder.



Golgiapparaten: membran-system med olika uppgifter, främst mellanlagring och transport.

Här visas en del av en cell med olika organeller. Cellkärnan (gulgrön) i mitten, med kärnmembran runt om, mitokondrier (gröna), lysosomer (gula) samt det endoplasmatiske nätverket som är de turkosfärgade "slingorna". Elektronmikroskopbild färgad i efterhand. Förstoring cirka 15 000 gånger.

Lysosomer

Lysosomer ser ut som små blåsor, och de bildas även de ur endomembransystemet. Lysosomer kan bryta ner skadade organeller med hjälp av de enzymer som de innehåller, och ibland "får de också i uppdrag" att bryta ner hela den egna cellen, genom programmerad celledöd (se s. 92). De är också viktiga i de vita blodkroppar som slukar bakterier (se kapitel 20).

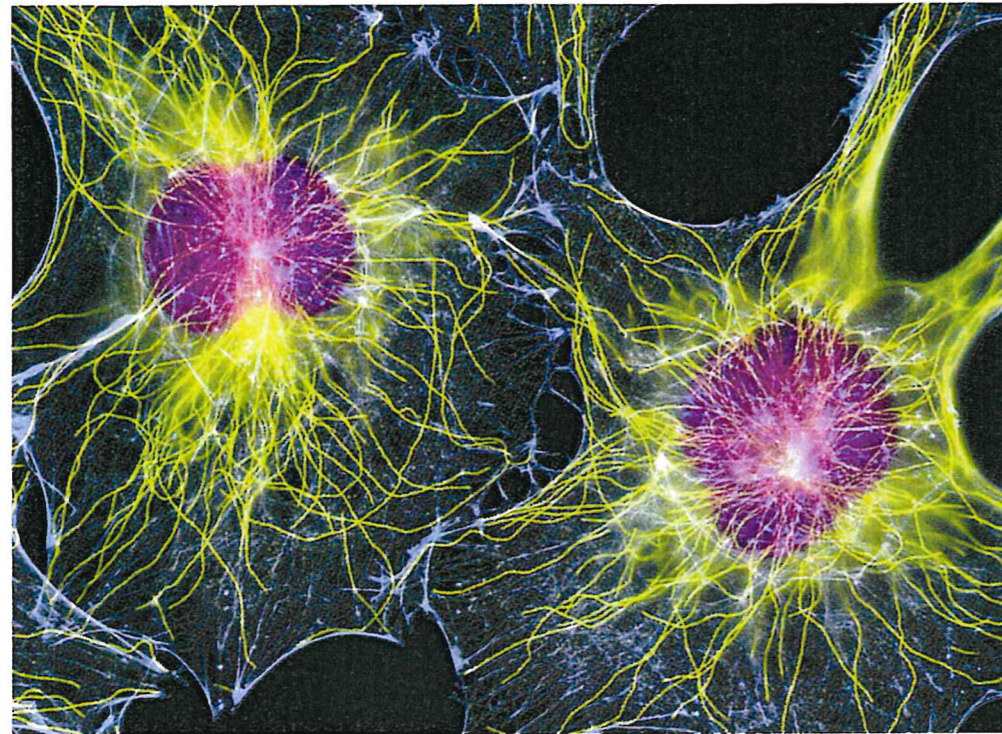
Peroxisomer

Peroxisomerna ser också ut som små blåsor på elektronmikroskopbilder. Deras viktigaste uppgift är att ta hand om skadliga varianter av syre, som väteperoxid H₂O₂, superoxid-radikalen •O₂⁻ och hydroxiradikalen •OH. De bildas exempelvis när syre reagerar med organiska ämnen med dubbelbindningar. Förutom de här syreföreningarna kan då också andra fria radikaler bildas – alltså molekyler med "oparade" elektroner, vilket gör dem mycket reaktiva. I peroxisomerna överförs skadliga syreföreningar först till väteperoxid och därefter till syrgas och vatten med hjälp av speciella enzymer – vilket måste ske åtskilt från det övriga cellinnehållet, som annars skadas. Ibland tar peroxisomerna också hand om andra giftiga ämnen, som etanol.

Fria radikaler: atomer/molekyler med minst en oparad elektron – eftersom de är mycket reaktiva kan de skada cellerna.

Cellskelettet

Länge var det ett mysterium hur celler kunde ha en bestämd form, och hur enskilda celler kunde röra sig. Men när man utvecklade speciella färgningsmetoder kunde man med ljusmikroskop se, att det finns åtminstone tre slags proteintrådar som har betydelse för rörelse, form och transport. Tillsammans bildar de *cellskelettet*. Alla tre typerna av proteintrådar genomkorsar hela cellen, men de har något olika uppgifter. Precis som cellen i övrigt så är cellskelettet flexibelt – där sker en ständig materialomsättning.



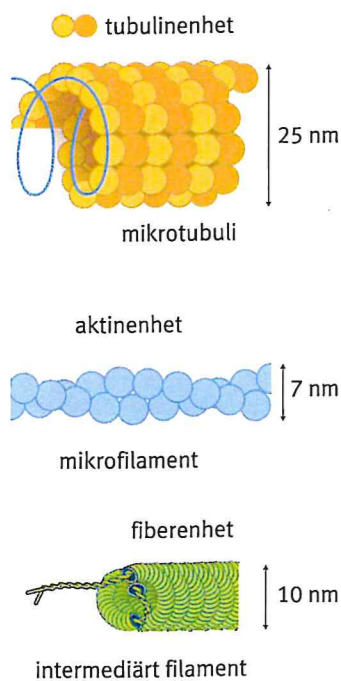
Cellskelett: nätverk av olika slags proteintrådar inne i cellen.

Två olika komponenter av cellskelettet har specialfärgats i de här båda cellerna och fotograferats i ett fluorescensmikroskop. De gula "trådarna" är mikrotubuli, de ljusblå är mikrofilament. I mitten syns den rosafärgade cellkärnan. Förstoring cirka 1 300 gånger.

Mikrotubuli kan beskrivas som rör uppbyggda av kulformade molekyler av proteinet *tubulin*. Rörens yttre diameter är cirka 25 nm, den inre cirka 15 nm. Mikrotubuli ger cellen stadga och form samt fungerar som "räls" när ämnen och organeller transporteras inom cellen. De bygger också upp *kärnspolen* som får systerkromatiderna att dras åt olika håll vid celledningen.

Mikrofilamenten byggs upp av trådar av det kulformade proteinet *aktin*. Trådarnas diameter är cirka 7 nm. En viktig uppgift för aktin är att ge cellen dess form – även vid de tillfällen när den behöver förändras. Då förstår man också att aktin kan medverka i cellers rörelser. Några exempel är vid celledning, i samband med cytoplasmströmning i cellen och vid muskelsammandragning (se s. 282). Aktinet är mest koncentrerat nära cellmembranet.

De *intermediära filamenten* byggs upp av fiberformade proteinmolekyler av varierande slag. Resultatet blir trådar tvinnade likt rep, med en diameter på 8–12 nm. Det finns olika slags intermediära filament. En viktig uppgift för *laminaerna* är att hålla cellkärnan och andra organeller på bestämda platser i cellen. *Keratin* bygger bland annat upp hår och naglar. Keratinmolekylerna finns kvar även i döda celler, som i det yttersta lagret av huden.



Cilier och flageller

Många celler har rörliga utskott. Ensamma celler kan därför ofta förflytta sig i en vätskemiljö. I vävnaden i vår luftstrupe används utskotten istället till att transportera ut skräp. Om en cell har många korta utskott, omkring 2–20 µm, kallas utskotten *cilier*. Om den i stället har ett fåtal längre utskott (10–200 µm) är det *flageller*. Någon skarp gräns kan inte dras, och diametern är i båda fallen cirka 0,25 µm, och den inre uppbyggnaden likadan. I tvärsnitt i elektronmikroskop ser man en ring av nio stycken dubbla mikrotubuli kring två ensamma mikrotubuli i mitten. Mellan de här "rören" finns motorprotein som åstadkommer rörelsen. Cilierna och flagellerna omges av cellmembranet och är alltså en integrerad del av cellen.



Spermiernas svansar är flageller. (SEM-bild, förstoring cirka 2 800 gånger.)

Cilier: många korta utskott på celler

Flageller: fåtaliga långa utskott på celler

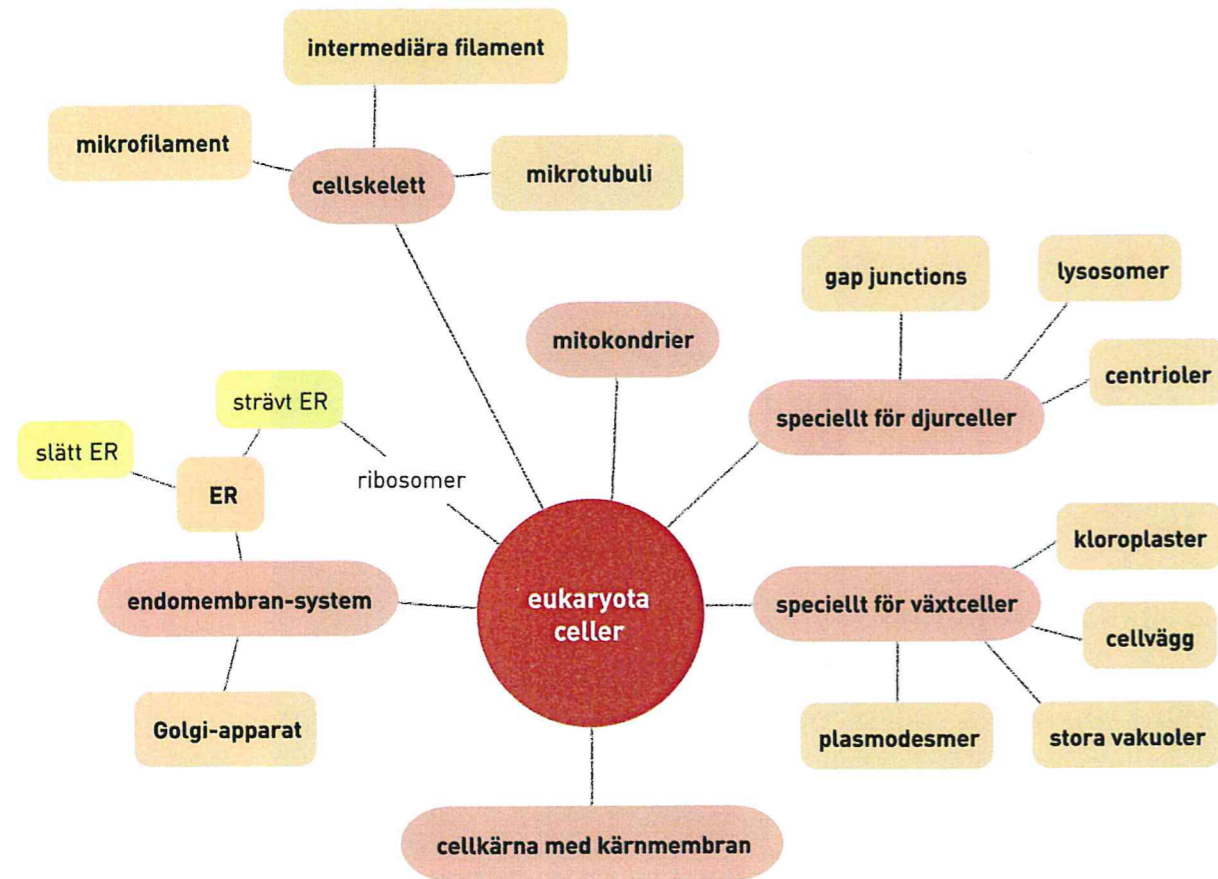
Stora vakuoler – främst hos växter

Växtceller är ofta betydligt större än djurceller, men den aktiva delen av cellen är inte så mycket större – istället utgörs huvuddelen av volymen i stora växtceller av en *vakuol*, alltså ett vätskefyllt hålrum. Vakuolen fungerar dels som lager för olika ämnen, dels tar den hand om avfall från cellen. Växter har ju inte blodomlopp och njurar för den uppgiften. I mjuka, örtartade växter är det också vakuolen som till stor del ger växten stadga och spänst. Om växten förlorar för mycket vatten krymper vakuolerna, och växten slokar. Vakuolen avgränsas av ett särskilt membran, tonoplasten. Precis som membran så har tonoplasten speciella proteiner som styr passage av ämnen in i och ut ur vakuolen.

Vakuol: vätskefyllt hålrum, särskilt i växtceller.



I den här växtcellen syns olika organeller, tack vare att preparatet är färgat. Cellkärnan är den orange "bollen", kloroplasterna de mossgröna strukturerna, undanträngda av den stora vakuolen som upptar nästan hela cellens volym. Runt cellens syns cellväggen. SEM-bild, förstoring cirka 8 000 gånger.



○○○ TRÄNA PÅ BASFAKTA

1. Ofta används uttrycket "utan celler inget liv". Varför är det så?
2. Vilka eukaryoter har cellvägg? Det räcker med två exempel.
3. Det finns två sorters endoplasmiskt nätverk. Vilken är skillnaden mellan dem?
4. Rita upp ett cellmembran, med åtminstone de två viktigaste typerna av molekyler.
5. Vad har kärnmembranet och Golgiapparaten gemensamt?
6. Cellmembranet har fler funktioner än att bara vara "fordra" till cellen. Det räcker med att du nämner två olika.
7. Förklara varför cellen behöver lysosomer, även om deras verksamhet ibland leder till att celler dör.
8. Varför behövs cellskelettet både vid celledelning, muskelrörelser och för att våra hårstrån ska bli normala?
9. Varför går det att säga att växtcellernas vakuoler delvis har samma uppgift som våra njurar?

○○○ KOPPLA IHOP

10. En ärftlig sjukdom hos människor leder till att ett speciellt protein, dynein, saknas i cilier och flageller. Resultatet är andningsproblem och för män även sterilitet. Hur kan de här två sakerna ha ett samband?
11. En ensam äggcell ser i mikroskop ofta ut som ett litet klot. Vad är det som sedan gör att olika celler i en växt eller ett djur kan vara långsmala eller till och med stjärnformiga?
12. Förklara varför nytillverkade proteiner i cellen kan hamna inuti det endoplasmiska nätverket.

○○○ TÄNK TILL!

13. Det dröjde innan cellforskare förstod vad som gör att celler får en bestämd form, att andra celler kan röra sig genom att ändra sin form, och att cytoplasman verkar strömma från en del av cellen till en annan (syns bäst i stora växtceller). Vilken anses nu den gemensamma orsaken vara? Ge också en förklaring till problemet att förstå detta.
14. Golgiapparaten fungerar som ett "mellanlager" för bl.a. proteiner som ska skickas ut ur cellen. På vilket sätt hänger Golgiapparaten ihop med platsen för tillverkning av proteiner?

Cellernas ämnes- och energiomsättning

Också en person som mest ligger i hängmattan måste äta för att klara livhanken, eftersom maten ger oss både energi och byggmaterial. Energin behövs för att hålla oss vid liv, byggmaterialet för att vi ska växa som barn och för att ersätta utslitna delar. Det här gäller i princip alla organismer. De behöver både energi och material för att kunna driva sina livsprocesser samt tillväxa och föröka sig.

Autotrofa organismer utnyttjar enkla oorganiska ämnen och en separat energikälla, ofta solen via fotosyntesen. Heterotrofa organismer, som vi människor, utnyttjar materialet i "maten" både för att få energi och för att bygga upp sig själva.



Det är skönt att ta det lugnt, men energi från maten behövs ändå hela tiden.

När du har läst kapitlet ska du ha kunskap om...

- att levande celler hela tiden behöver tillförsel av energi av hög kvalitet,
- hur energi av hög kvalitet kan förmedlas i cellen,
- hur enzymer arbetar,
- något om hur man namnger enzymer,
- den allmänna principen för cellandningen och de olika delreaktionsserierna,
- vad som sker vid jäsning.

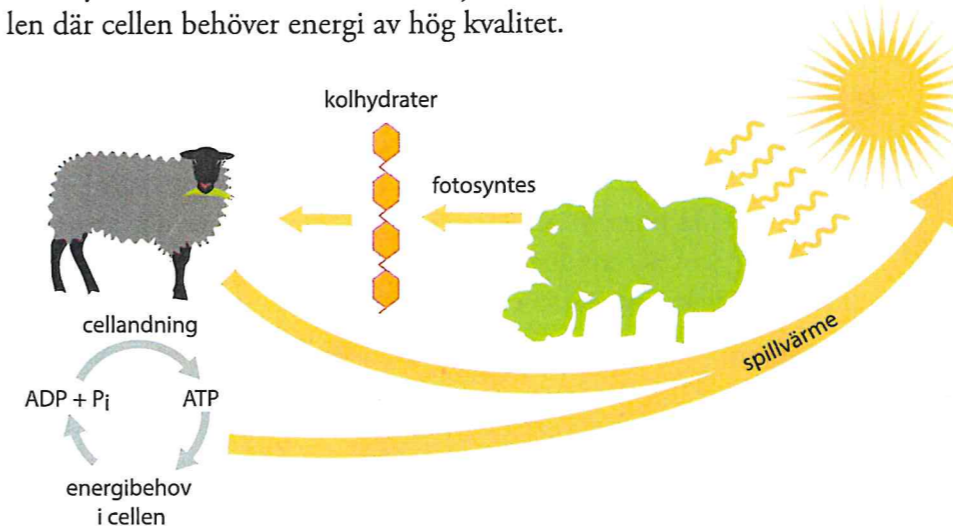
Viktiga begrepp

ADP	crisae	NAD
aeroba organismer	energiförmedlare	produkt (i enzymreaktioner)
aktiv yta	enzym	reaktionsserie
aktiveringsenergi	FAD	substratmolekyl
alkoholjäsning	jäsning	vätebärare
anabola reaktioner	katabola reaktioner	*termodynamik
anaerob energiomsättning	katalysator	
ATP	matrix	
	mjölksyräjäsning	

Energi i biosfären

I fysiken lär vi oss att energi inte kan förstöras, bara omvandlas. Hur går det ihop med påståendet att liv inte kan existera utan ständig tillförsel av energi? Förklaringen är, att levande organismer inte fungerar med vilken typ av energi som helst, utan det måste vara energi av hög kvalitet. Energi av hög kvalitet kallas ibland "exergi" eller "fri energi".

Det mesta av den högkvalitativa energin kommer från början från solen och fångas upp i fotosyntesen. De "energirika" ämnena, som ursprungligen kommer från fotosyntesen, används sedan i cellandningen. Där frigörs energi av hög kvalitet när kolhydrater, fett och proteiner omvandlas till koldioxid och vatten med hjälp av syre. Den frigjorda energin används till att bilda den energiförmedlande molekylen ATP (från ADP och fosfatjoner). ATP används vid många olika tillfällen där cellen behöver energi av hög kvalitet.



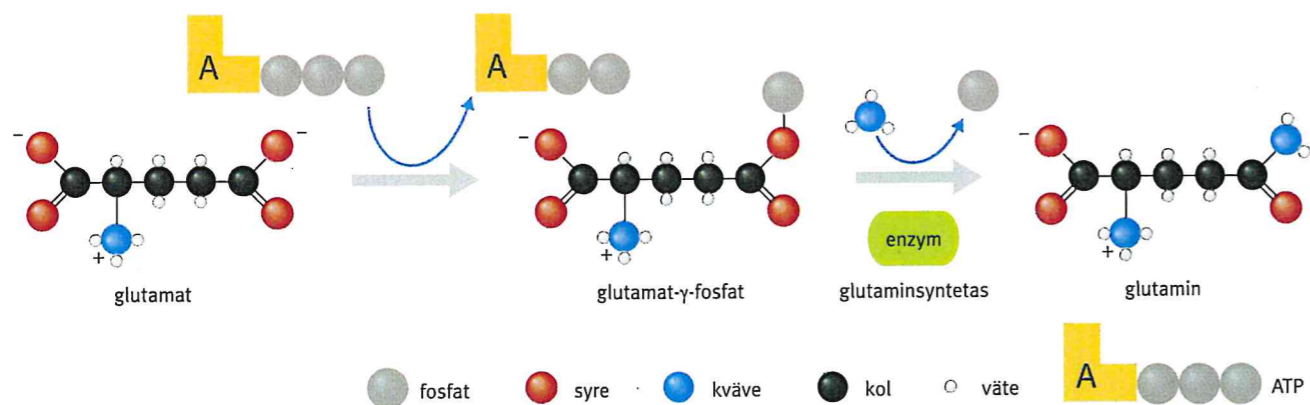
ATP: den viktigaste energiförmedlande molekylen i celler. ATP är en förkortning av engelska Adenosine Triphosphate, på svenska adenosintrifosfat.

ADP: adenosindifosfat, den molekylen som blir kvar när ATP har lämnat ifrån sig en fosfatgrupp.

Energiomsättningen vid kemiska reaktioner, katalys

En kemisk reaktion sker spontant, av sig självt, om innehållet av fri energi är högre i utgångsämnen än i reaktionsprodukterna. En spontan reaktion åtföljs ofta av värmeutveckling. Dessutom hamnar reaktionsprodukterna i större oordning än utgångsämnen. För att få en kemisk reaktion att gå i motsatt riktning måste alltså energi av hög kvalitet tillföras.

Här har vi ett exempel på hur ATP utnyttjas i en kemisk reaktion. Med hjälp av enzymet glutaminsyntetas och tillförsel av energi av hög kvalitet från nedbrytning av ATP, kan glutamat reagera med ammoniak och bilda glutamin – en annan aminosyra.



Energiförmedlare (ofta kallad energibärare): molekyl som förmedlar energin från bland annat cellandningen till de processer i cellen som kräver energi av hög kvalitet.



Det behövs aktiveringsenergi för att få fyr på ved.

Aktiveringsenergi: den energi som behöver tillföras för att en kemisk reaktion ska komma igång.

Energiförmedlarmolekylen ATP

Också i levande celler sker en del reaktioner spontant, men de flesta kräver tillförsel av energi. I många fall sker energitillförseln på så vis att reaktionen kopplas till uppdelning av ATP i ADP och fosfatjoner. Energin omsätts alltså när bindningar bildas respektive bryts. Det är genom att det är möjligt att omsätta stora energimängder vid bildning och nedbrytning av ATP som den är en så intressant molekyl.

ATP-molekylerna kan utnyttjas som *energiförmedlare* till nästan alla processer i cellen. I några fall används molekyler med en annan kvävebas än adenin, antingen GTP, UTP eller CTP. Stora energimängder omsätts när ämnen bildas i cellen och vid aktiv transport genom cellmembranet (se kapitel 6). Också rörelse inuti cellen och muskelarbete kräver ATP.

Aktiveringsenergi sätter igång reaktioner

Många biologiska molekyler, exempelvis cellulosa i ved, reagerar med syrgas under värmeutveckling – då säger vi att veden brinner. Ändå sker det knappast någon självantändning av ved, om den lagras vid låg temperatur. Det är först när vi tillför värmeenergi, till exempel från en tändsticka, som någonting börjar hända. I många fall krävs nämligen *aktiveringsenergi* för att starta en kemisk reaktion, även om slutresultatet blir att värmeenergi frigörs. Att det behövs hög aktiveringsenergi innan nedbrytning av biologiska molekyler kan starta är en förutsättning för att levande organismer ska kunna existera – det skulle ju inte finnas något liv om biologiska molekyler självantändes vid normala temperaturer.

NYCKELHÅL:

Termodynamik och ordnade strukturer

Också levande organismer måste följa fysikens grundläggande principer. Den del av fysiken som handlar om energiomsättningar brukar kallas *termodynamik*. Det viktigaste kan sammanfattas i två huvudsatser:

- 1) Energi kan inte förstöras, bara omvandlas.
- 2) Vid alla spontana processer blir oordningen större (räknat i universum totalt).

En konsekvens är att mängden tillgänglig energi av hög kvalitet i ett system, till exempel en levande organism, hela tiden avtar. Den omvandlas till oanvändbar värmeenergi. Hur kan då levande organismer över huvud taget existera? De kännetecknas ju av ordnade strukturer. Lösningen på problemet är att det ständigt tillförs ny energi av hög kvalitet – från början från solen, via fotosyntesen. Den här energin av hög kvalitet skapar, tillsammans med informationen som finns i DNA, den ordnade strukturen i celler och organismer. Men en absolut förutsättning

är att det ständigt flödar energi genom organismen. Inom termodynamiken har man också infört ett speciellt begrepp för "mängden oordning", nämligen *entropi*. Vid olika fysikaliska processer är det alltså inte någon obestämd, "allmän oordning" som ökar, utan det går att ange ett värde på hur entropin förändras.

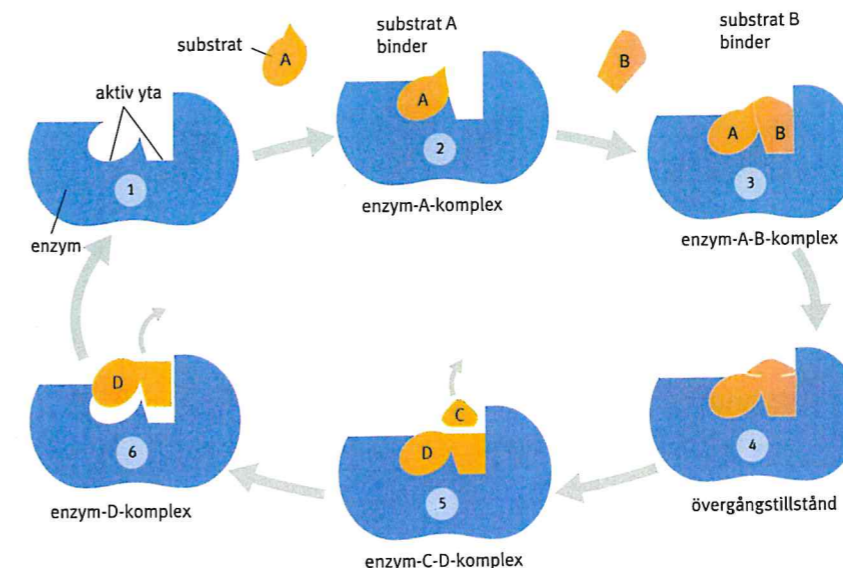


Oordning uppstår av sig själv – inte bara på molekylnivå!

Katalys – enzymer

En kemisk reaktion underlättas ofta av en *katalysator*, som definieras som "ett ämne som påskyndar en kemisk reaktion utan att självt förbrukas". Ofta fungerar katalysatorer så att de får molekylerna att hamna i så lämpliga lägen i förhållande till varandra att reaktionen lätt kan starta. På så vis blir behovet av aktiveringsenergi mindre än vid samma reaktion utan katalysator.

Levande celler använder som katalysatorer speciella proteiner, *enzymer*. De är *specifika*, vilket betyder att varje enzym katalyserar bara en viss sorts reaktion. Ofta fungerar det så att endast en typ av *substratmolekyl(er)* bildar en eller flera *produkter*. För att fungera på det här sättet har enzymmolekylen en *aktiv yta*, där substratmolekylerna kan fastna. Oftast förändras enzymmolekylens form en aning när substratmolekylerna binder, allt för att reaktionen ska underlättas.



Termodynamik: den gren av fysiken som handlar om energiomsättningar.

Katalysator: påskyndar en kemisk reaktion utan att själv förbrukas.

Enzym: protein som fungerar som katalysator.

Substratmolekyl: ämnet som kan reagera med hjälp av ett enzym.

Produkt (i enzymreaktioner): resultatet av reaktionen som enzymet underlättar.

Aktiv yta: platsen på enzymmolekylen där substratet binds och görs om till produkt.

Två olika substratmolekyler, A och B, binder till ett enzyms aktiva yta så att en reaktion kan ske. Då bildas produkterna C och D.

Enzymer kan inte ändra riktningen på en spontan reaktion, men de kan göra att en viss reaktion sker. Orsaken är, att substratmolekylerna i enzymets aktiva yta kommer nära varandra, och hamnar i bra läge för att reagera med varandra. Då krävs mindre aktiveringsenergi och reaktionen kommer lätt igång.

En del reaktioner kan inte ske utan tillförsel av energi av hög kvalitet. För att något ska kunna hända kopplar många enzymer därför en ogynnsam reaktion med uppdelning av ATP till ADP och en fosfatjon, så att den totala reaktionen leder till att energi frigörs – och då kan reaktionen ske.

För att ett enzym ska fungera krävs ofta att enzymmolekylen har någon annan molekyl del utöver själva aminosyrakedjan – det kunde du läsa om i kapitel 2. Om den här extra delen är någon annan organisk molekyl, ganska fast bunden, kallas den *coenzym*. I många fall krävs även någon metalljon. Mer löst bundna joner eller molekyler brukar kallas *cofaktorer*.

Enzymer arbetar för det mesta inte ensam – ofta krävs att många enzymer fungerar samtidigt i en *reaktionsserie*. Ett exempel är glykolysen, som är en reaktionsserie för energiutvinning där glukos stegvis bryts ner (s. 49-51). I många fall underlättas det av att enzymerna sitter bundna till något membran i cellen.

Inom exempelvis kemisk industri och i bilars avgassystem används olika organiska ämnen som katalysatorer. Ett visst ämne brukar då kunna katalysera flera typer av reaktioner. I många fall utnyttjar man att molekyler kan bindas tillfälligt till metallytor och då komma i lämpligt läge för att reagera.

Namngivning, klassificering

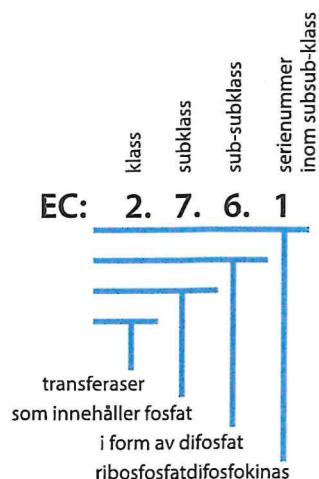
Idag känner biokemisterna till ett enormt stort antal olika slags enzymer. Traditionellt har de fått namn som slutar på "-as". Namnets början syftar på vilken reaktion som katalyseras. Exempelvis så kallas ett enzym som delar upp mjölksocker, laktos, i mindre delar just "laktas". Men med det stora antal av olika enzymer man nu känner till blir en sådan namngivning ohanterlig. I stället har man inom den internationella "Enzyme Commission" infört en klassificering som grupperar alla kända enzymer utifrån vilken typ av reaktion de katalyserar. Enzymer som transporterar funktionella grupper, till exempel, kallas gemensamt för transferaser. Transferaserna delas in i undergrupper beroende på gemensamma egenskaper hos dessa. Utifrån den här indelningen har varje typ av enzym fått ett internationellt "Enzyme Commission Number" (EC).

Klassificering av enzymer enligt Internationella Enzymkommissionen (International Enzyme Commission)		
BETECKNING	NAMN	FUNKTION
EC1	oxidoreduktaser	katalyserar redoxreaktioner
EC2	transferaser	transporterar funktionella grupper
EC3	hydrolaser	katalyserar hydrolysreaktioner
EC4	lyaser	bryter C-C-bindningar, med flera
EC5	isomeraser	flyttar en grupp eller en dubbelbindning
EC6	ligaser	sätter ihop kolatomer

Coenzym: en nödvändig "extra molekyl" i ett enzym, utöver kedjan/kedjorna av aminosyror.

Cofaktor: en löst bunden jon/molekyl som behövs för att ett enzym ska fungera.

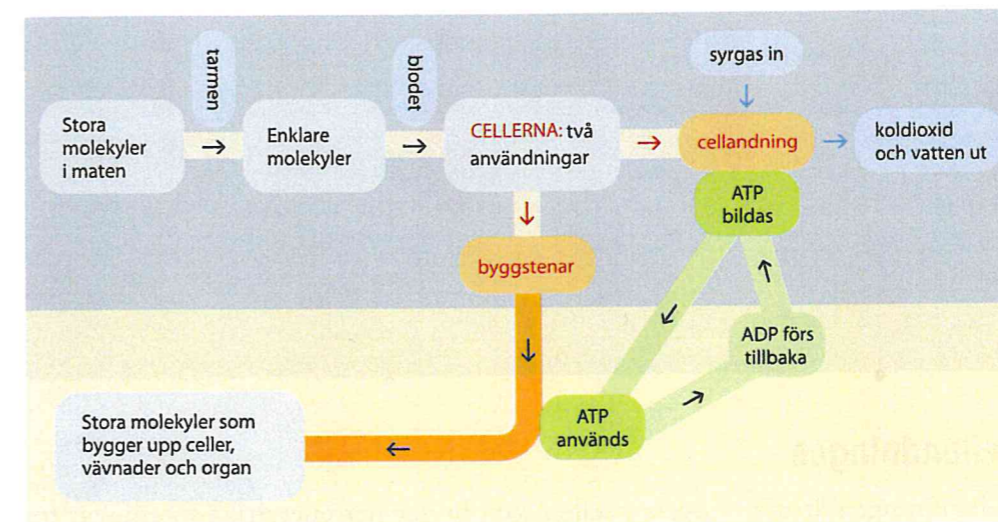
Reaktionsserie: när ett ämne omvandlas till något annat i många steg, och varje delreaktion utnyttjar ett särskilt enzym.



Cellens ämnesomsättning

Celler måste alltså hela tiden omsätta energi (av hög kvalitet) för att hålla sig vid liv. För oss människor gäller, att maten används både för att utvinna energi och för att få byggmaterial till kroppen. Mycket av det vi äter består av stora molekyler, exempelvis stärkelse och proteiner. I tarmkanalen bryts de ner till sina grundläggande byggstenar, som enkla sockerarter och aminosyror. I kroppens olika celler kan byggstenarna sedan antingen brytas ner till koldioxid och vatten för att ge energi, eller användas för att bygga upp nya, stora (kroppsegna) molekyler.

Nedbrytande reaktioner i levande organismer brukar kallas *katabola*, och uppbyggande *anabola*. En del katabola processer går spontant, och i celandningen används de ju dessutom för att frigöra energi för att bilda de energiförmedlande ATP-molekylerna. För anabola processer krävs i stort sett alltid tillförsel av energi, oftast via ATP eller andra molekyler som förmedlar energi. Schemat nedan är en översikt över anabola och katabola reaktioner i cellen.



Katabola reaktioner: reaktioner som bryter ner molekyler, hos oss från maten, för att dels frigöra energi i celandningen, dels få material till de anabola reaktionerna.

Anabola reaktioner: reaktioner som bygger upp nya molekyler i cellerna/kroppen.

I katabola processer (grå tonplatta) bryts större molekyler ner till mindre, samtidigt som energi förmedlas till ATP. I anabola processer (gul tonplatta) sker det omvända – mindre molekyler fogas ihop till större, vilket "kostar" energi.

Cellandning och jäsning

Vi brukar förutsätta att syrgas är nödvändigt för levande organismer, och det stämmer för de allra flesta heterotrofer, inklusive oss själva. Vi utnyttjar syrgas och bryter ner energirika ämnen fullständigt till koldioxid och vatten. Vi sägs därför vara *aeroba*. Men ibland är det inte möjligt att utnyttja syrgas, och då måste cellerna lita till syrefri, *anaerob energiomsättning*, alltså *jäsning*. Nackdelen med jäsning är att energiutbytet i form av ATP-molekyler blir mycket mindre än vid celandning. Fördelen är istället att cellerna kan hålla sig vid liv även i syrefri miljö.

Det mesta av de eukaryota cellernas celandning sker i mitokondrierna (se s. 36), i *cristae*, alltså det kraftigt veckade inre membranet, med hjälp av enzymer i hålrummet inuti, i *matrix*.

I matrix finns enzymer för citronsyracykeln (se nedan) och för nedbrytning av fettsyror – vilkas nedbrytningsprodukter också förs till citronsyracykeln. I det inre membranet finns de proteinkomplex som sköter den slutliga elektrontransporten från vätet på vätebärare till syre, och samtidigt pumpar ut protoner (vätejoner) till utrymmet mellan membranerna, vilket gör att ATP sedan kan bildas.

Aeroba organismer: utnyttjar syre i sin energiomsättning.

Anaerob energiomsättning: energi av hög kvalitet utvinns utan syre, exempelvis genom jäsning.

Jäsning: energiomsättning där inte syre utnyttjas.

Cristae: veck i mitokondriens inre membran.

Matrix: det fria utrymmet inne i mitokondrien.

Vätebärare: molekyler som förmedlar väteatomer.

NAD: vätebärare (Nikotinamid-Adenin-Dinukleotid)

FAD: vätebärare (Flavin-Adenin-Dinukleotid)

Molekyler som är vätebärare

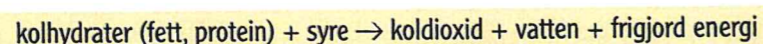
På flera ställen i cellens ämnesomsättning finns *vätebärare* – molekyler som kan plocka bort väteatomer från en viss molekyl och placera dem på andra molekyler. I cellandningen förekommer främst *NAD* (nikotinamid-adenin-dinukleotid) och *FAD* (flavin-adenin-dinukleotid). Helt korrekt bör NAD utan väte skrivas som NAD^+ , med väte $NADH + H^+$, medan FAD med väte skrivs $FADH_2$. Byggsstenar till de här båda molekylerna måste vi hela tiden få i oss med maten, som de olika B-vitaminerna niacin och riboflavin. Precis som när ATP förlorar en fosfatgrupp och blir till ADP, så omsätts stora energimängder när väte "plockas loss" från vätebärare.



Kristaller av vätebäraren NAD^+ (nikotinamiddinukleotid) fotograferade i ett ljusmikroskop (interferens). Förstoring cirka 50 gånger.

Cellandningen

Cellandningen är den process i cellen som bryter ner energirika föreningar för att cellen ska få energi till anabola (uppbyggande) reaktioner. Redan under slutet av 1700-talet förstod forskare att cellandningen sker enligt en totalformel som kan beskrivas som



Likheten mellan vad som sker i levande organismer och när ved brinner verkade också uppenbar, och därför har det som sker i levande celler också kallats "förbränning". Men det kan vara missvisande, eftersom energin av hög kvalitet försvinner som värme och ljus i en brasa, medan huvuddelen av den energi som omsätts vid förbränning i celler förmedlas till ATP-molekyler, som sedan kan utnyttjas för många olika ändamål i cellerna.

Den energi som frigörs vid nedbrytning av en glukosmolekyl räcker till bildning av många ATP-molekyler. För att energin ska förmedlas i lämpliga "portioner", motsvarande en ATP-molekyl åt gången, är det rimligt att tänka sig att reaktionerna sker i många steg.

Här tar vi som exempel det som sker med en glukosmolekyl. Glukosen bryts ner gradvis – man kan beskriva det som att vätet plockas bort från kolatomerna och placeras på bärarmolekyler, medan kolatomerna får syre bundet till sig, så att de efter hand lämnar cellen som koldioxid.

Cellandningens olika steg

När en glukosmolekyl bryts ner och delarna förenar sig med syrgas till koldioxid och vatten kan de viktiga stegen sammanfattas så här:

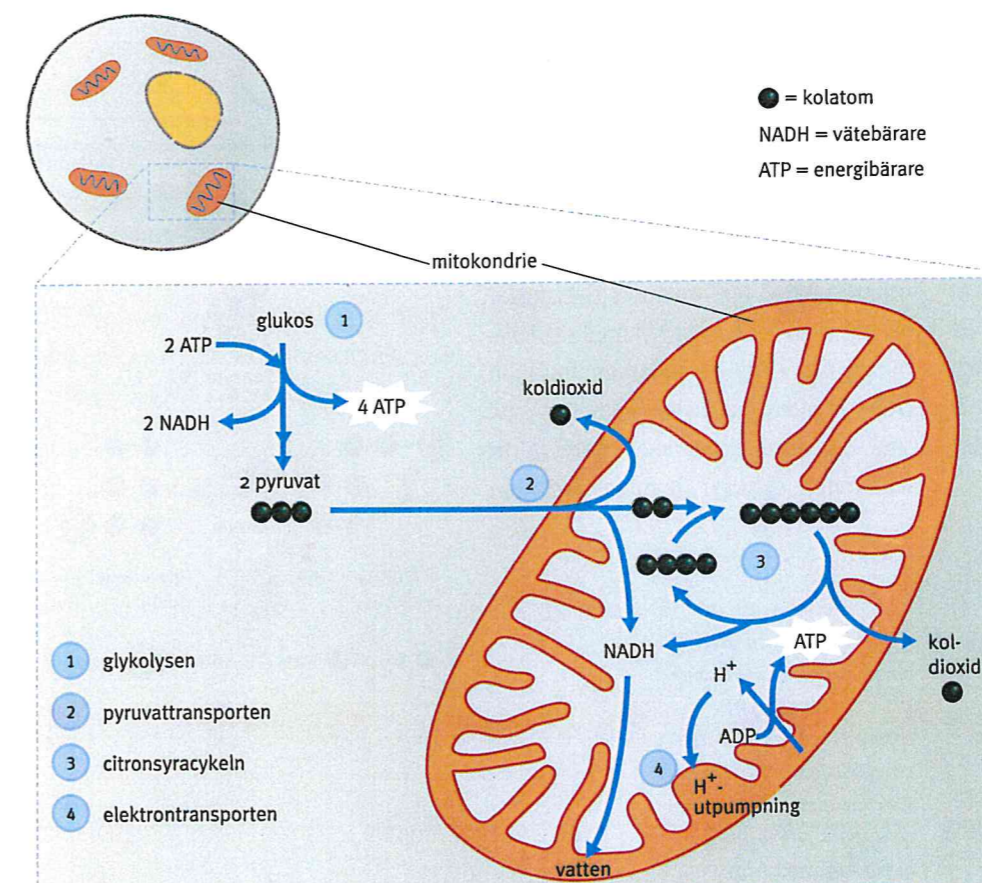
1. **Glykolysen:** en glukosmolekyl (med sex kolatomer) omvandlas till två pyruvatjoner, med tre kolatomer var. För varje glukos bildas dessutom 2 ATP (netto) och 2 reducerade vätebärare, $NADH + H^+$.

2. **Pyruvatjonerna** förs in i mitokondrien. I samband med detta släpper varje pyruvatjon ifrån sig en kolatom, som "försvinner" som en koldioxidmolekyl. De två andra kolatomerna binds till en speciell bärarmolekyl (coenzym A) och förs till nästa reaktionsserie, nämligen

3. **Citronsyracykeln**, där kvarvarande kolatomer omvandlas till koldioxid, medan vätet tas upp av de speciella vätebärarmolekylerna NAD^+ och FAD. (Dessa blir då till $NADH + H^+$ respektive $FADH_2$.)

4. **Elektrontransporten** i mitokondriernas innermembran: Vätet från vätebärarmolekylerna förenar sig så småningom med syre så att vatten bildas. Den frigjorda energin används till att pumpa ut vätejoner (protoner) genom mitokondriernas inre membran. Då blir det högre koncentration av vätejoner i mitokondriernas membranrum än i matrix. Det här är en form av lägesenergi, att jämföra med vattnet i en kraftverksdamm. Vätejoner tenderar att strömma in i mitokondrien igen, men det kan de bara göra genom speciella proteiner. Dessa är enzymer, ATP-syntaser, som driver reaktionen för ATP-bildning, vilket sker när vätejoner strömmar igenom dem. Det här kan liknas vid förloppet när vatten strömmar förbi turbiner i ett kraftverk så att det genereras elektricitet.

Sammanfattning av cellandningen



De viktiga stegen när en glukosmolekyl bryts ner för att frigöra energi, alltså bilda ATP, är glykolysen, citronsyracykeln och elektrontransporten. Glykolysen sker i cytoplasman, citronsyracykeln och elektrontransporten i mitokondrierna.

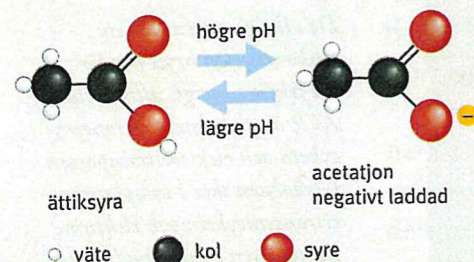
NYCKELHÅL:

Cellens energiutvinning i detalj

På den här och följande sidor kan du läsa om hur celler utvinner energi. Det fantastiska är att mekanismerna ser i princip likadana ut i alla slags celler hos aeroba (syreutnyttjande) organismer. Det betyder att mekanismerna för energiutvinning uppstod mycket tidigt under evolutionen. Det är inte tänkt att du ska lära dig detaljerna, utan istället få en uppfattning om förloppen – att nedbrytningen sker stegvis så att så mycket energi som möjligt kan utnyttjas, och inte blir till oanvändbar värme. De levande cellerna är betydligt mer effektiva än exempelvis en bensinmotor i en bil. Vi börjar med glykolysen, som sammanlagt omfattar cirka tio reaktioner i sekvens, var och en med sitt enzym. Glykolysen har två tydliga faser, dels den förberedande, där energi tillförs med hjälp av ATP, och dels fasen där energi utvinns och ATP bildas.

Glykolysen i detalj

Innan vi går in på glykolysen i detalj så är det viktigt att tänka på följande när det gäller molekylernas namn: En del molekyler är ibland syror, ibland istället den negativa jon som bildas när syran ger ifrån sig en vätejon (proton). Ättiksyra, till exempel, kan avge en proton och bli en negativt laddad acetatjon. Om en molekyl som finns i låg koncentration finns i formen "syra" eller "negativ jon" beror på omgivningens surhetsgrad, pH. Vid lågt pH dominerar syran, men vid det pH som är vanligt i cellen dominerar istället den negativa jonen.



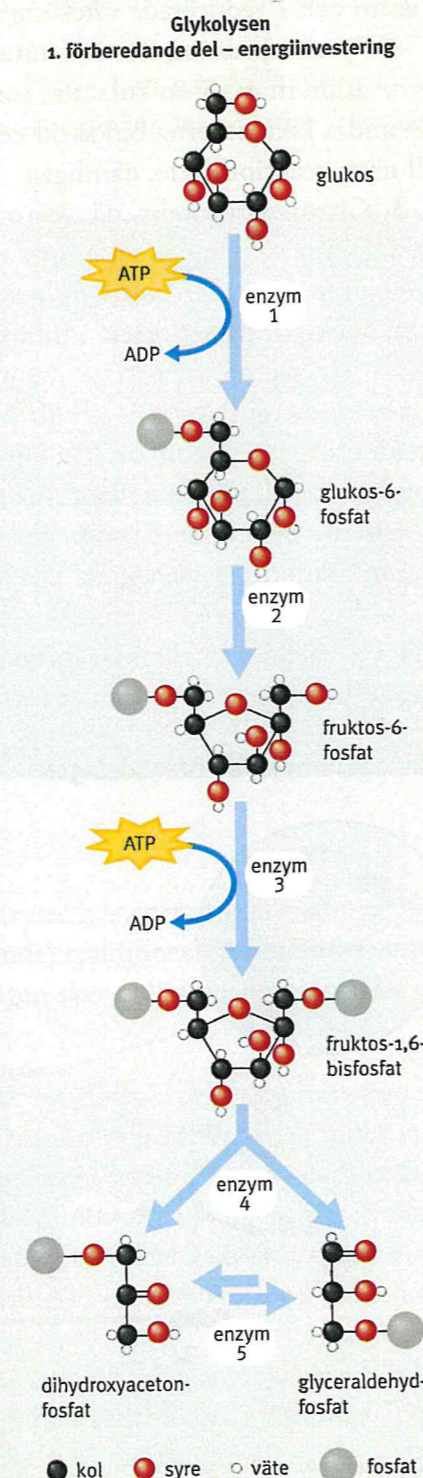
Vid högt pH kan ättiksyramolekylen lätt lämna ifrån sig en vätejon (proton) och då blir den en acetatjon. Vid lågt pH kan istället en acetatjon ta upp en vätejon och övergå i ättiksyra.

Glykolysen är den första reaktionsserien när celler bryter ner glukos för att bilda ATP-molekyler som kan förmedla energi till cellens olika behov. Den sker i cytoplasman, och är oberoende av syrgas. Resultatet av glykolysen är att en glukosmolekyl, med sex kolatomer, omvandlas till två pyruvatjoner med tre kolatomer var. För att starta reaktionen krävs 2 ATP-molekyler, men i reaktionsseriens senare del bildas istället 4 ATP. Nettoutbytet blir därför 2 ATP-molekyler. För varje glukosmolekyl bildas dessutom två "fyllda" vätebärrarmolekyler, NADH + H⁺. Det här utbytet av nettoenergi betyder att energi omfördelas mellan olika molekyler när de ändrar form, utan att syrgas utnyttjas i de här reaktionsstegen. Starten av glykolysen innebär alltså att ATP utnyttjas, men trots det hämmas en av reaktionerna i början av överskott på ATP – det är ett exempel på negativ återkoppling i ämnesomsättningen.

1. Glykolysens förberedande del – energiinvestering

Glykolysen börjar oftast med att en molekyl glukos reagerar med ATP, så att det bildas ADP och glukos-6-fosfat. Den molekylen är en ester mellan fosforsyra och en OH-grupp på glukosmolekylen. Molekylen glukos-6-fosfat omlagras, isomeriseras, till fruktos-6-fosfat. Den molekylen reagerar med en ytterligare ATP-molekyl, och resultatet blir fruktos-1,6-bisfosfat. Nu har vi en sockermolekyl med sex kolatomer, och i bägge ändar en fosfatjon. Den här stora molekylen delas upp i två små sockermolekyler med vardera tre kolatomer och en bunden fosfatjon:

dihydroxyacetonfosfat och glyceraldehydfosfat. Molekylerna kan lätt överföras i varandra, alltså isomeriseras. Det är glyceraldehydfosfaten som reagerar vidare.

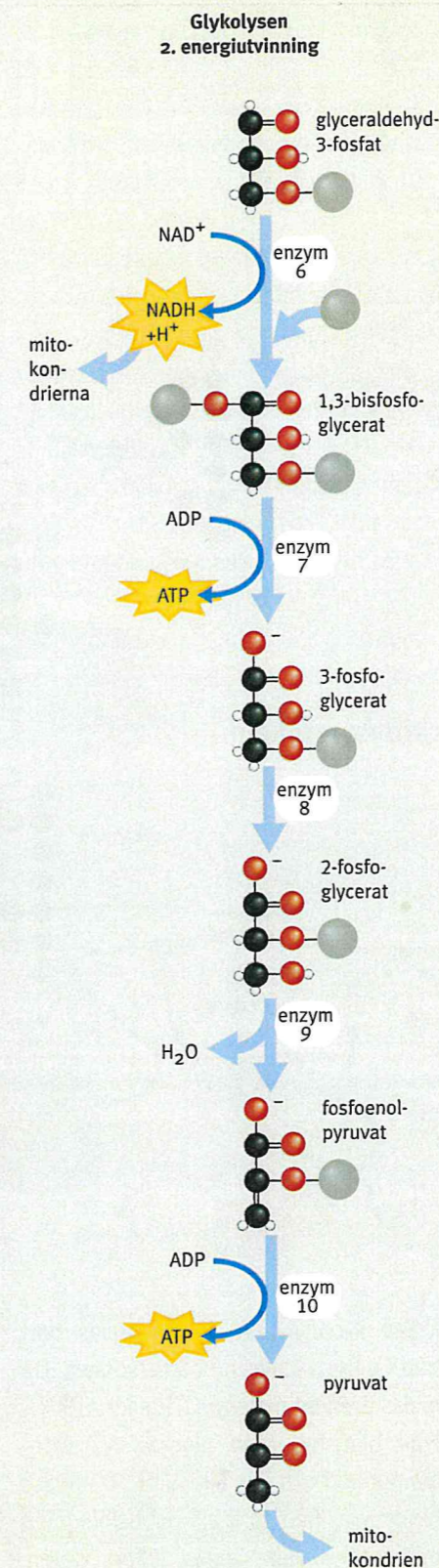


2. Glykolysens energiutvinning

Glyceraldehydfosfaten tar upp en ensam fosfatjon (från cytoplasman) och överför två väteatomer till bärrarmolekyler, så att det bildas NADH + H⁺ och en mer oxiderad, större molekyl; en organisk syra i stället för en aldehyd. Den bildade molekylen är 1,3-bisfosfoglycerinsyra, men vid cellens pH finns den som den negativa jonen, 1,3-bisfosfoglycerat. NADH + H⁺ kan föras in i mitokondrierna och utnyttjas för ATP-bildning där – se fortsättningen, om citronsyracykeln respektive elektrontransporten. Det gäller dock bara om syrgas finns närvarande. Den fosfatjon som är bunden till syraändan på 1,3-bisfosfoglycerat överförs till ADP, så det bildas ATP och 3-fosfoglycerat. Eftersom det först "satsades" 2 ATP per glukos, och det nu "vinnas" en ATP per halv glukosmolekyl, har glykolysen hittills gått "jämnt upp" energimässigt.

Reaktionssteget därefter är en omlagring, så att fosfatjonen flyttas från kolatom nr 3 till nr 2, och molekylen kallas då 2-fosfoglycerat.

I den följande reaktionen tas det bort en vattenmolekyl, samtidigt som det bildas en dubbelbindning. Den nya molekylen kallas fosfoenolpyruvat. Den molekylen är inte särskilt stabil utan reagerar med ADP, så att det bildas ATP och pyruvat. Äntligen har det blivit ett nettoutbyte av ATP. Om syre finns tillgängligt så transporteras pyruvatet in i mitokondrien – se nästa stycke, om citronsyracykeln.



Citronsyracykeln i detalj

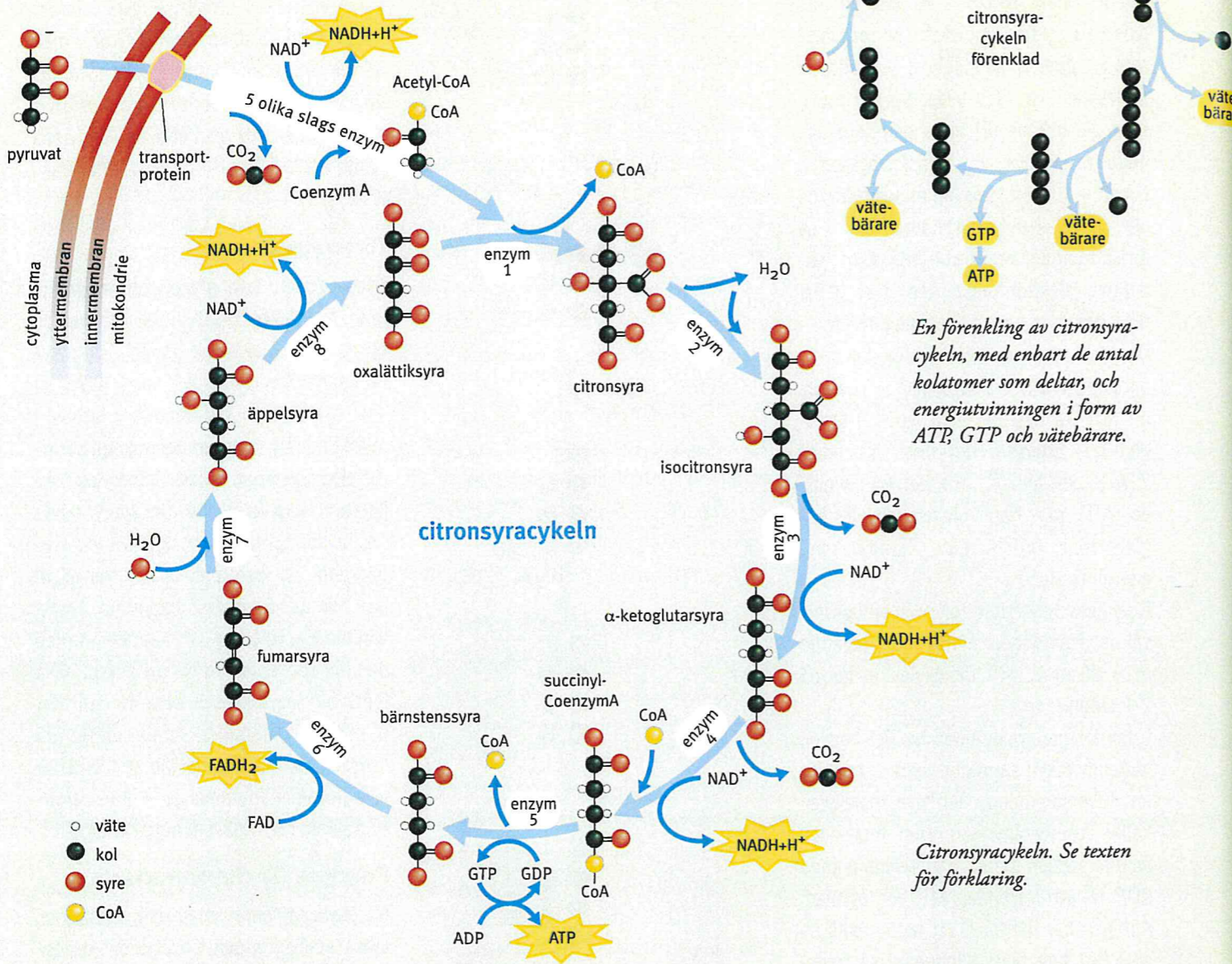
Citronsyracykeln har en helt central roll i cellernas ämnesomsättning. Den sker inne i mitokondriens hålrum, matrix. Lagg märke till att vi här ofta nämner de ingående ämnena som "syror", men att de oftast förekommer som syrnas negativa joner vid det pH som vanligtvis råder i cellen. Att man ofta skriver syrnas namn istället är av historiska, inte praktiska, skäl.

Förberedelse

Pyruvatjonen från glykolysens nedbrytning av glukos måste först omvandlas en del, innan resterna går in i citronsyracykeln. När pyruvatet, med hjälp av speciella transportproteiner, har förts in i mitokondrien, reagerar det med en bärrarmolekyl, coenzym A. Då "försvinner" en kolatom som koldioxid. De kvarvarande två kolatomerna sätter sig som en acetylgrupp på coenzym A – acetylCoA har bildats. Samtidigt bildas en "fylld" vätebärrare, NADH + H⁺. I samband med den här reaktionen krävs minst fem olika typer av enzymer, och flera av dem har coenzym (vitaminer) som vi måste få i oss med födan. Då är det lätt att förstå hur viktiga dessa vitaminer är – utan citronsyracykeln får vi nästan ingen energi!

Principen för citronsyracykeln

Molekylfragmentet med två kolatomer, alltså acetylgruppen i acetylCoA, reagerar vidare. Det förenar sig med en syra med fyra kolatomer, så att det bildas en förening med sex kolatomer. Syran med fyra kolatomer återbildas i ett cykliskt förlopp. Under ett varv i citronsyracykeln plockas två kolatomer bort som koldioxid, samtidigt som många väteatomer hamnar på bärrarmolekyler, så att det bildas 3 NADH + H⁺ och 1 FADH₂. På ett ställe i citronsyracykeln bildas dessutom en molekyl ATP (eller den likvärdiga GTP, guanosintrifosfat). Varje delreaktion katalyseras av sitt speciella enzym.



En förenklad av citronsyracykeln, med enbart de antal kolatomer som deltar, och energiutvinningen i form av ATP, GTP och vätebärare.

Citronsyracykeln. Se texten för förklaring.

Delreaktioner i citronsyracykeln

Acetylgruppen i acetylCoA reagerar med oxalättiksyra, en förening med fyra kolatomer. Då bildas citronsyra, med sex kolatomer. Molekylen omlagras till isocitronsyra. Från denna kopplas det bort en molekyl koldioxid. Då blir produkten fem-kolföreningen alfa-ketoglutarat samt NADH + H⁺. Syran binds till coenzym A, samtidigt som ytterligare en koldioxid kopplas bort och NADH + H⁺ bildas. Den större molekylen, med fyra kolatomer,

kallas succinyl-CoA. Den kopplas bort från CoA och kallas nu bärnstenssyra. Då bildas även en molekyl GTP eller ATP. Från bärnstenssyran plockas två väteatomer bort och förs till FADH₂. Då bildas fumarat, med en trans-dubbelbindning mitt i molekylen. Sedan tillförs vatten, och det bildas äppelsyra. Ytterligare en gång flyttas väte bort, den här gången till NADH + H⁺. Då återbildas oxalättiksyra, och citronsyracykeln har gått ett helt varv. Denna återbildade molekyl oxalättiksyra kan nu reagera

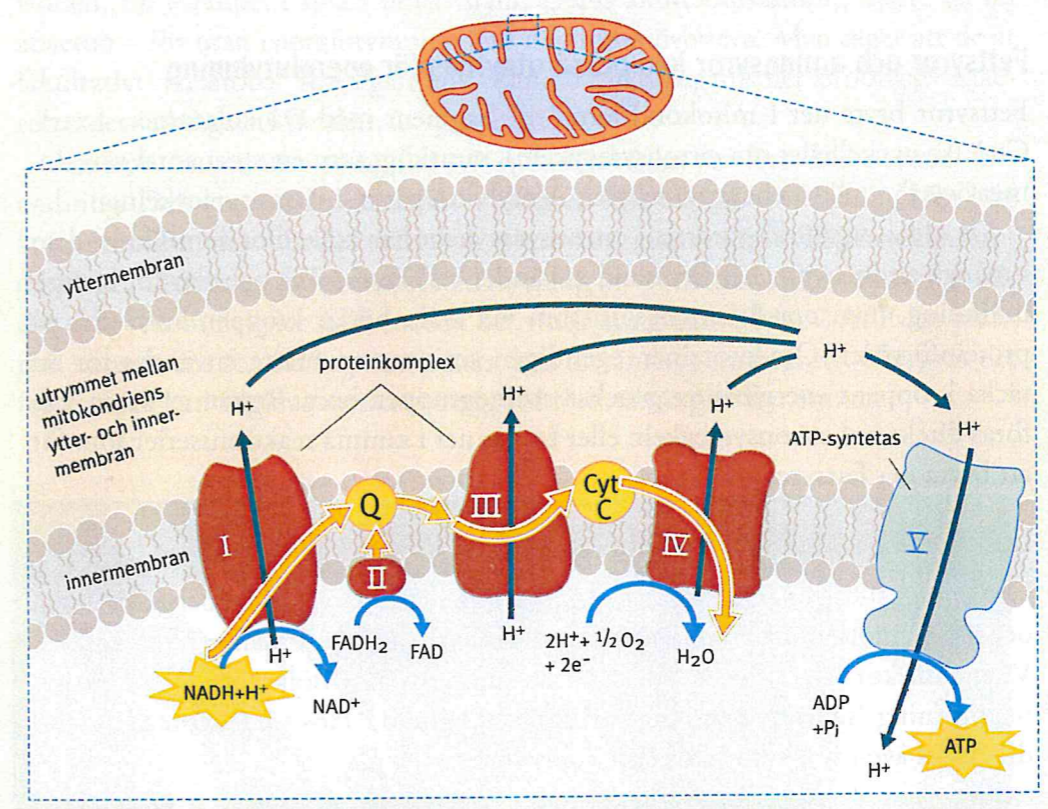
med en ny AcetylCoA. Som nämns i avsnittet om nedbrytning av fettsyror och aminosyror så har citronsyracykeln en central roll i många av cellens kemiska processer. Ibland kan någon molekyltyp i ett mellanled "ta slut". Cellen kan då "fylla på" med ny oxalättiksyra genom att pyruvat tar upp en koldioxidmolekyl i stället för att lämna ifrån sig en. Den här påfyllningsreaktionen kan ske med olika typer av enzymer i olika organismer. Ibland krävs även en ATP-molekyl för den här reaktionen.

Elektrontransporten i detalj

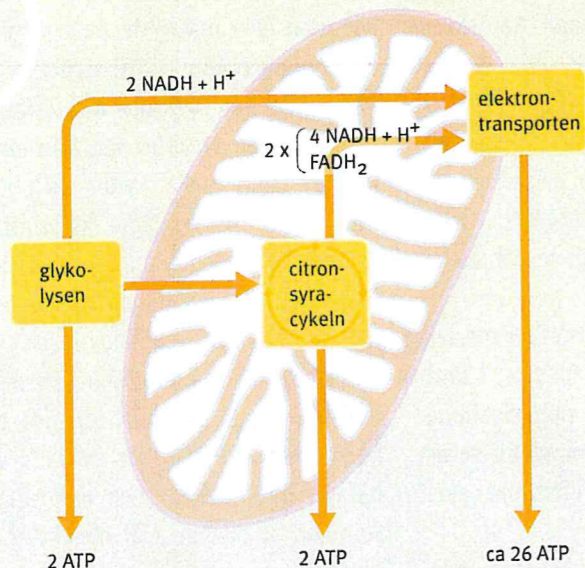
I mitokondriens inre membran finns en serie av flera komplex av proteiner som kan förflytta elektroner. Energi i små mängder frigörs vid varje elektronöverföring. Den frigjorda energin används för att pumpa ut vätejoner (protoner) från mitokondriens inre till utrymmet mellan de två membranerna. Vätebärarna lämnar ifrån sig vätet till de första proteinerna i serien på så sätt att vätet delas upp i protoner och elektroner. Protonerna får "flyta fritt", men en del av dem pumpas ut ur matrix. En nyckel till att proteinerna kan förflytta elektroner är att många innehåller järn, som kan växla i oxidationstal genom

att ta upp och sedan lämna ifrån sig en elektron.
 $Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$; $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^-$
 Järnatomerna sitter bundna till speciella hemgrupper i proteinerna, på samma sätt som i blodfärgämnet hemoglobin. Också de här proteinerna är färgade, och de har fått namnet cytokromer¹. Elektronerna förs till sist från ett speciellt protein, cytokromoxidas, till syre. I samband med att syret tar upp elektroner tar det även upp vätejoner, så att vatten bildas. Det är alltså här vi förbrukar syret som vi andas in!
 När de vätejoner som tidigare pumpades ut i mellanrummet mellan inner- och yttermembranen, flödar tillbaka in i mito-

kondrien igen måste de passera genom ett enzymkomplex – ATP-syntetas – där ATP bildas från ADP och fria fosfatjoner. Det är flödet av vätejoner, från en hög koncentration mellan ytter- och innermembranet, till en lägre koncentration innanför innermembranet, som är energikällan för ATP-bildningen. Eftersom det bara är en indirekt koppling mellan oxidrandet av väte på bärmolekylerna och ATP-bildning är det svårt att säga exakt hur många ATP man får av varje vätebärare. Det förklarar den osäkra totalsumman av bildade ATP-molekyler – se nästa sida.
¹cytokrom = cellfärg (grekiska)



Schema över elektrontransporten i mitokondriernas inre membran; förenklad bild. Från NADH överförs elektroner till proteinkomplex I. Elektronerna förs vidare till Q, ubikinon, samtidigt som det frigörs tillräckligt med energi för att pumpa ut två protoner (vätejoner) till utrymmet mellan mitokondriens inre och yttre membran. Från FADH₂ kan också elektroner överföras till ubikinon, men då frigörs inte tillräckligt med energi för protonpumpning. De aktiva molekylerna kallas proteinkomplex II. När elektronerna förs genom proteinkomplex III frigörs återigen energi för att pumpa ut två protoner, samtidigt som elektronerna lämnas över till det lilla och rörliga proteinet cytokrom c. Cytokrom c överför elektronerna till proteinkomplex IV, även kallat cytokromoxidas. Återigen frigörs energi för att pumpa ut två protoner. Till sist överförs elektronerna till syre, som med tillgängliga protoner (vätejoner) bildar vatten. Överskottet på protoner (vätejoner) mellan mitokondriens membran är en form av lägesenergi. När protonerna strömmar tillbaka in i mitokondriens inre rum, matrix, passerar de genom proteinkomplex V, ATP-syntetas, varvid ATP bildas av ADP och fosfat.



Energiutbytet per glukosmolekyl.

Mängd bildade energibärande molekyler per glukosmolekyl

I glykolysen bildas 2 ATP och 2 NADH + H⁺ per glukosmolekyl. Sedan får vi fördubbla mängden bärande molekyler utifrån vad som bildas av en pyruvat (eftersom det bildas två pyruvat per glukosmolekyl). I citronsyrcykeln och reaktionerna strax därefter bildas 4 NADH + H⁺, 1 FADH₂ och 1 ATP, det vill säga, för varje glukosmolekyl 8 NADH + H⁺, 2 FADH₂ och 2 ATP. Totalt har vi nu 10 NADH + H⁺, 2 FADH₂ och 4 ATP. Energin i vätebärande molekylerna överförs sedan till ATP med elektrontransporten. Det har varit en hel del diskussioner om det exakta antalet ATP som bildas per glukosmolekyl, men de flesta forskare idag anser att det är drygt 30 stycken.

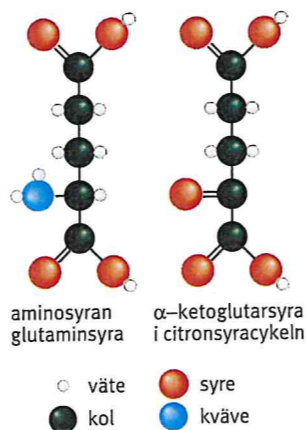
Fettsyror och aminosyror kan också utnyttjas för energiutvinning

Fettsyror bryts ner i mitokondrierna till fragment med två kolatomer, acetyl-CoA (se nyckelhålet om citronsyrcykeln), samtidigt som ett stort antal väteatomer överförs till vätebärande molekyler. AcetylCoA går in i citronsyrcykeln.

De olika organiska syror i citronsyrcykeln har kolkedjor som liknar dem i många aminosyror. I första hand använder cellerna socker och fett för energiutvinning, men om dessa tar slut, som vid svält, börjar kroppen även tära på proteinförrådet. Om proteiner, egentligen aminosyror, måste användas för att täcka kroppens energibehov, plockas aminogruppen bort. Resten av syran kan föras direkt in i citronsyrcykeln eller brytas ner i samma reaktionsserier som för att bryta ner fettsyror.

Uppbyggande reaktioner (anabola)

Om energi tillförs kan många av reaktionerna i citronsyrcykeln och glykolysen också gå i motsatt riktning. På så vis kan cellerna tillverka många olika ämnen. Vi människor kan tillverka glukos från aminosyror. Mjölksyran från anaerob nedbrytning (se nästa sida) kan återbildas till glukos. Hos växter (men inte hos djur) kan även fetter ombildas till kolhydrater.



Här ser man likheten mellan en aminosyra och en komponent i citronsyrcykeln.

Anaerob energiomsättning

Om syrgas saknas (anaeroba förhållanden, se s. 47) fungerar inte reaktionerna i mitokondrierna. Eftersom pyruvat tycks vara giftigt i höga koncentrationer, och alltså inte bör ansamlas i cellerna, sker en omvandling till andra ämnen. Två typer av energiutvinning är *alkoholjäsning* och *mjölksyrasjäsning*, men hos bland annat bakterier förekommer även andra varianter. För att omvandla pyruvat till mjölksyra behövs det väte som nyss placerades på vätebärande i glykolysen – utan syrgas kan alltså inte detta väte utnyttjas för ATP-bildning i elektrontransporten i mitokondrierna.

Genom *anaerob energiomsättning* kan celler överleva under syrefria förhållanden. I människokroppen måste muskler ibland arbeta så snabbt att blodet inte hinner förse dem med tillräckligt med syre – då kan muskelcellerna bilda ATP via mjölksyrasjäsning. Men det är inte särskilt effektivt eftersom ATP-utbytet blir så litet. Du kan läsa mer om mjölksyrabildning i kapitel 21 om ämnesomsättningen i muskler.

Många mikroorganismer och mindre djur lever ibland under syrefria förhållanden, till exempel i sjöars bottenslam. Deras ämnesomsättning måste då bli anaerob – för utan energiutvinning kan de ju inte överleva. Man säger att de är fakultativt¹ anaeroba. Ytterligare en del andra mikroorganismer är obligat² anaeroba, det vill säga att för dem är syre ett gift.

Anaerob ämnesomsättning har två stora nackdelar jämfört med normal cellandning. Dels kan produkten, som mjölksyra eller etanol, vara skadlig i för hög koncentration, dels blir det totala energiutbytet (räknat som ATP) mycket mindre. Vid fullständig, alltså aerob, nedbrytning av en molekyl glukos kan det bildas drygt 30 molekyler ATP, medan det vid jäsning bara bildas 2 ATP. En praktisk konsekvens för oss är ju att etanol kan användas som bränsle, eftersom det fortfarande kan frigöras mycket energi vid förbränning av det ämnet.



Under anaeroba förhållanden (frånvaro av syre) kan jästsvarpar omvandla socker av olika slag till etanol, och utvinna en del energi för att bilda ett fåtal ATP-molekyler. Om etanolen sedan kommer i kontakt med syre kan den förbrännas till koldioxid och vatten. Då frigörs stora mängder energi, och det är därför som etanol kan användas som bränsle, som här, i en bil.

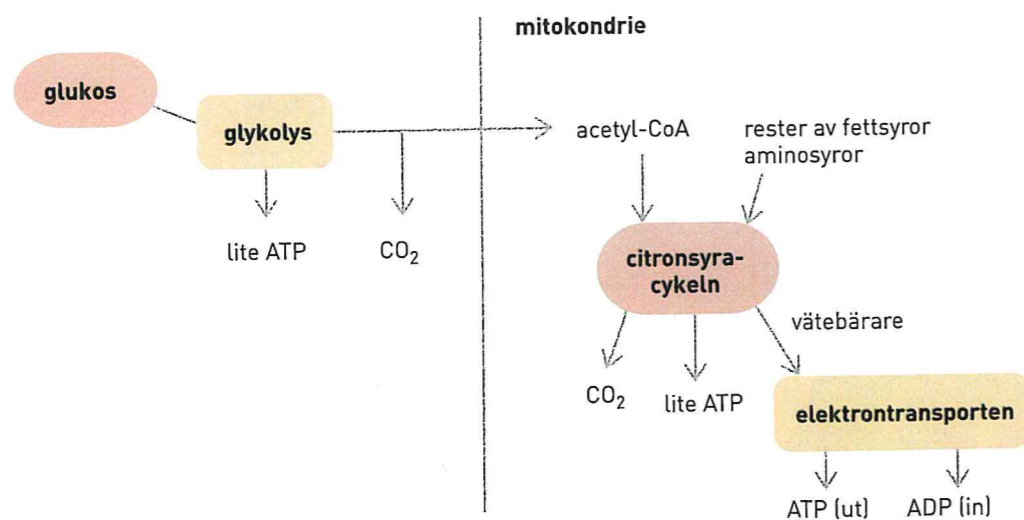
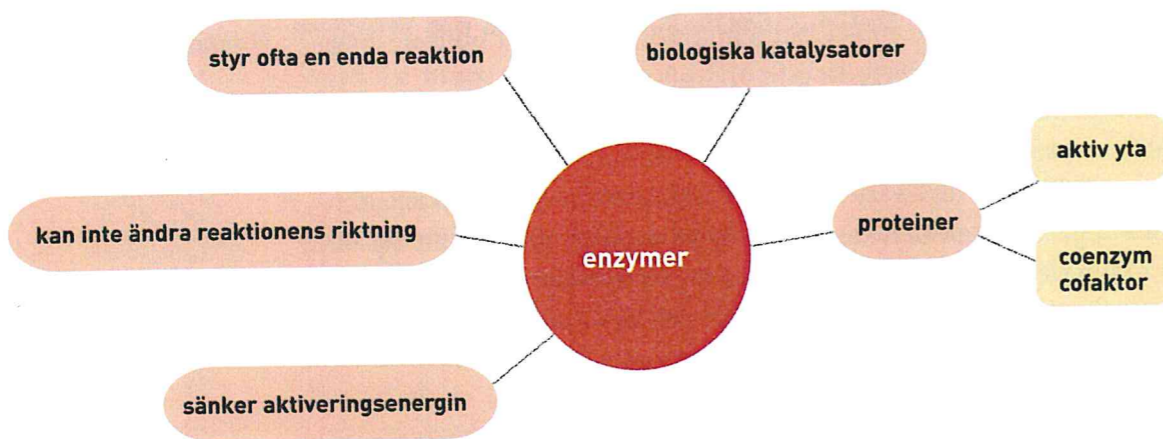
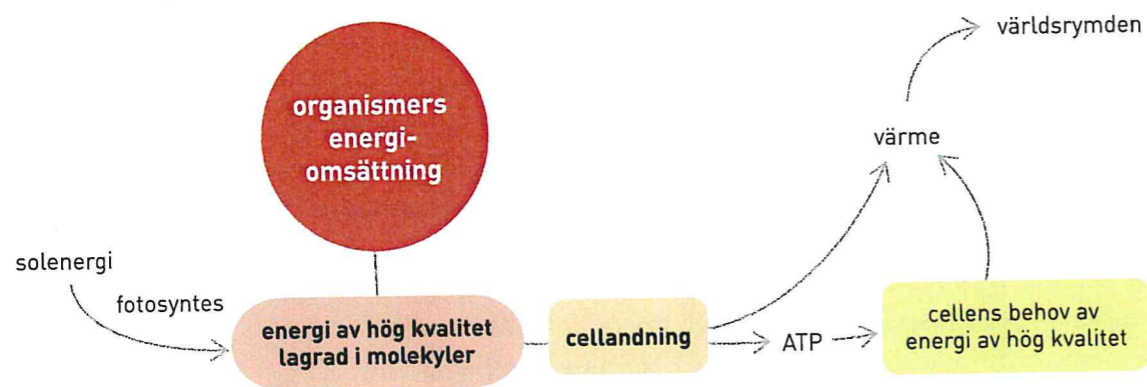
Alkoholjäsning: omvandling av socker (glukos) till etanol och koldioxid, varvid en liten mängd ATP bildas.

Mjölksyrasjäsning: omvandling av glukos till mjölksyra, varvid en liten mängd ATP bildas.

Anaerob energiomsättning: energiomsättning där cellerna inte utnyttjar syrgas.

¹Fakultativt (latin) betyder valfri.

²Obligat (latin) betyder tvungen, ej valfri.



TRÄNA PÅ BASFAKTA

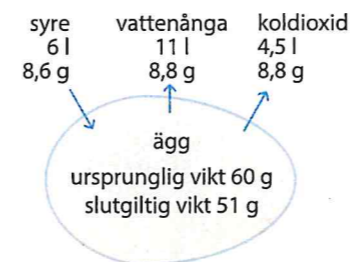
- Varifrån kommer energin som levande organismer utnyttjar?
- Vilka är skillnaderna mellan enzymer och oorganiska ämnen som fungerar som katalysatorer? Det räcker att du nämner tre skillnader.
- Förklara varför formen på en enzymmolekyl är viktig för att enzymet ska kunna utföra sin uppgift.
- a. Vad används ATP till i levande celler?
b. Hur uppfyller ATP sin "roll"?
- Vilka är reaktionsprocesserna vid nedbrytning av glukos för att få energi av hög kvalitet till cellens behov?
- Var i en eukaryot cell sker nedbrytningen av glukos?

KOPPLA IHOP

- Vilken är nackdelen med jäsnings jämfört med vanlig cellandning?
- Var får cellen ut mest energi i form av ATP?
- Under vilket skede i nedbrytningen blir kolet i glukosen till koldioxid?
- Hur går det till när fettsyror respektive aminosyror går in i citronsyracykeln och används för energiutvinning?

TÄNK TILL!

- Alla campare som eldar med T-röd (alltså etanol) vänder nackdelen i uppgift 7 till sin fördel. Hur?
- Förklara varför maten vi äter måste brytas ner till små molekyler, som sedan används både för att cellerna ska få energi av hög kvalitet och för att bygga upp nya ämnen i våra egna celler.
- Bilden visar ämnesomsättningen i ett hönsägg på 60 g, medan detta ruvas under 21 dagar. Under denna period tar ägget upp syre och avger koldioxid och vatten. Precis innan ägget kläcker väger det 51 g.



- Varifrån kommer koldioxiden?
- Vad blir det av syret i syrgasen som ägget tar in?
- Varför minskar äggets massa, från 60 till 51 g?
- Kan du tänka dig två orsaker till att ägget avger vattenånga?

- Vid syrebrist kan även växtvävnad tillämpa alkoholjäsnings. Då frigörs 2 molekyler koldioxid för varje förbrukad glukosmolekyl.
 - Hur mycket ATP fås av varje glukosmolekyl vid alkoholjäsnings respektive fullständig förbränning?
 - Hur mycket ATP bildas för varje molekyl koldioxid som bildas vid alkoholjäsnings respektive fullständig förbränning?
 - Hur kan man då förklara den här kurvans utseende, och hur byter växtvävnaden sätt för ämnesomsättning vid den syrgaskoncentration som anges vid pilen?

