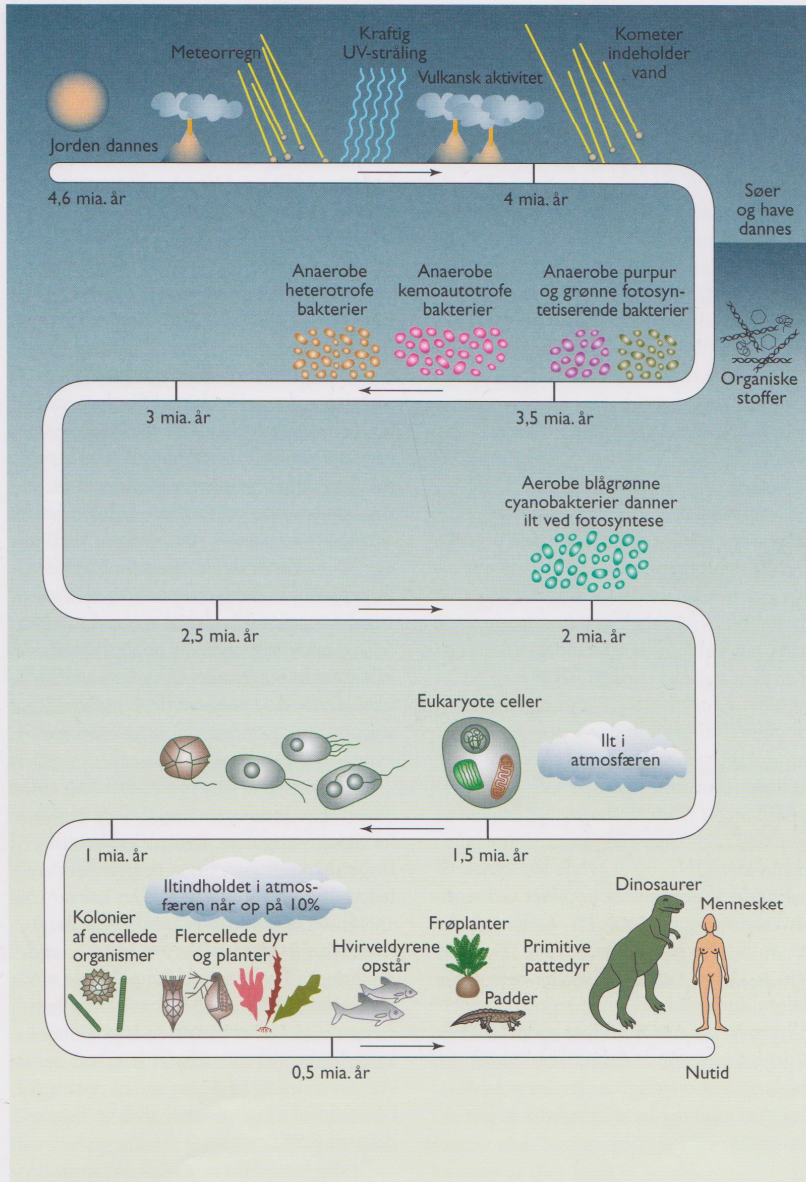




Figur 127. Tidslinje over begivenheder på jorden siden dens dannelse.

De fleste astrofysikere mener at jorden er omkring 4,6 milliarder år gammel, og efterhånden antager forskere, der arbejder med livets oprindelse, at forudsætningerne for liv var til stede for ca. 3,8 milliarder år siden. I de første ca. 3 milliarder år af livets eksistens fandtes der kun encellede organismer hvorefter de første flercellede planter, dyr og svampe opstod for ca. 600 millioner år siden. De første hvirveldyr, det vil sige stamformerne til bruskfisk, benfisk, padder, krybdyr, fugle og pattedyr, opstod for ca. 430 millioner år siden. Pattedyrene opstod for ca. 200 millioner år siden, men blev først for alvor udviklet efter dinosaurernes uddøen for ca. 65 millioner år siden. Menneskets stamform blev udskilt fra den fælles udviklingslinje med de afrikanske menneskeaber for ca. 6 millioner år siden, og oprindelsen til nutidsmennesket blev skabt så sent som for knap 200.000 år siden, se figur 127.

Da jorden blev dannet ud fra en sammenkobling af sten og støv, var den i begyndelsen en varm flydende masse. Efterhånden blev overfladen afkølet, og herved blev der dannet en tynd jordskorpe. Denne blev imidlertid gang på gang slået i stykker af en sværm af meteoriter. De hamrede ind i jorden gennem flere hundrede millioner år indtil den første stabile jordskorpe for ca. fire milliarder år siden blev dannet. Man mener at de første oceaner og søer blev dannet umiddelbart derefter, men det er uklart hvor vandet kom fra. De fleste forskere hælder dog til den teori at vandet er kommet med et stort antal komet som jorden er blevet ramt af efter dens afkøling.

Vi kender kun én slags liv her på jorden. Selv om der findes en ganske overvældende variation blandt levende organismer, er den organisering og de mekanismer der karakteriserer liv, forholdsvis ensartede. Fx består alle levende organismer af celler der indeholder en vandig opløsning af stoffer, og som er organiseret med en membran omkring sig. Vand og en form for afgrænsning til omverdenen, er derfor forudsætninger for liv som vi kender det, og disse forudsætninger har som nævnt, tidligst været til stede for ca. 3,8 milliarder år siden. Endvidere ved vi at cellerne bl.a. indeholder DNA og at DNA har evnen til ved hjælp af enzymer at kopieres ved replikationsprocessen, se side 44, hvilket gør det muligt for en celle at dele sig. Vi ved også at DNA's funktion i øvrigt er at styre cellens funktioner gennem reguleret proteindannelse, se side 50. Disse egenskaber er så grundlæggende at de må være blevet etableret meget tidligt under livets udvikling som også må have foregået i et vandigt miljø.

Den kemiske evolution

Da livet opstod, havde atmosfæren en ganske anden sammensætning end den atmosfære vi er omgivet af nu om dage. Den bestod hovedsageligt af frit kvælstof (N_2) og kuldioxid (CO_2). Desuden indeholdt den mindre mængder af brint (H_2), kulilte (CO), ammoniak (NH_3), svovlbrinte (H_2S) og vanddamp (H_2O). Atmosfæren har sandsynligvis kun indeholdt ilt (O_2) i ubetydelige mængder. I søer og oceaner har der været opløst forskellige salte som er dannet ved erosion fra bjergene.

I dag ved man at der ud fra disse stoffer, ved spontane kemiske processer i vandige opløsninger, nemt kan dannes forskellige af de organiske molekyler som findes i de levende organismer. Det gælder fx alle de kendte aminosyrer og nogle af RNA's og DNA's bestanddele. Så disse organiske molekyler har sandsynligvis allerede eksisteret for 3,8 milliarder år siden. Endvidere kan man ikke afvise at nogle af stofferne kan være kommet udefra med meteoritter, idet man ved at nogle af disse indeholder aminosyrer og andre små organiske molekyler.

Det næste trin hen mod udvikling af liv har været sammensætning af disse molekyler til større og mere komplekse kemiske forbindelser, fx proteiner, polysakkarider, fedtstoffer, RNA og DNA. Det kræver energi, og denne energi kan fx være kommet fra solen eller måske fra andre energigivende stoffer i omgivelserne. Nogle sammensatte molekyler, fx fedtstofferne, har været i stand til at danne en kappe omkring andre store molekyler hvorved der er sket en isolering af de organiske molekyler i forhold til omgivelserne, altså en begyndelse til celledannelse.

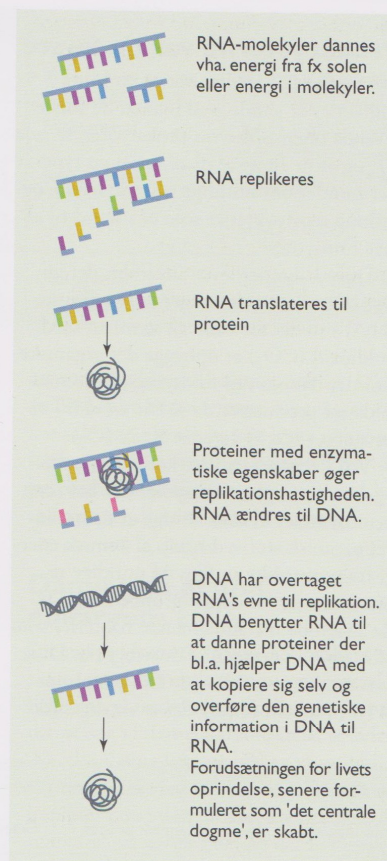
Er der først dannet en cellelignende

1. Hvorfor mener man i dag at det faktisk er RNA frem for DNA der er det egentlige 'livets molekyle'? (Forklar hvad der sker på figur 128)

struktur, er næste skridt at få den kopieret. I dag mener man at det faktisk er RNA frem for DNA der er det egentlige 'livets molekyle', idet RNA sandsynligvis har været det første stof der har kunnet udføre selv-replikation. Der er flere grunde til at antage dette. For det første fungerer RNA-molekyler som arvemateriale i nogle vira, de kopierer sig ved en proces der minder om DNA's replikation. For det andet er RNA et mere simpelt molekyle end DNA fordi det er enkeltstrengt, se side 46. For det tredje kan der ud fra et RNA-molekyles baserækkefølge dannes et protein, se side 50, og den genetiske kode har sandsynligvis allerede fungeret på dette tidlige tidspunkt.

Senere er der på grund af mutationer i RNA-molekylerne blevet dannet proteiner som har fungeret som enzymer for selve RNA-replikationen, så den er blevet langt mere effektiv. Flere mutationer i RNA-molekylerne kan have ændret disse enzymer, så de også kunne katalysere dannelse af et dobbeltstrengt molekyle. Dette dobbeltstrengede RNA-molekyle er på grund af andre mutationer endt med at blive til et DNA-molekyle. Sammenhængen mellem DNA, RNA og protein, som er beskrevet i 'det centrale dogme', se side 46, har sandsynligvis været en realitet inden den første egentlige celle var færdigudviklet.

Man kalder nogle gange ovennævnte række af kemiske begivenheder for *den kemiske evolution* fordi princippet minder om princippet i den moderne biologiske evolutionsteori, se side 109-111. Ved den kemiske evolution er 'arterne' de kemiske forbindelser, der ændres på grund af mutationer. Da nogle af disse mutationer har ført til en mere velorganiseret form for cellelignende struktur og funktion som kunne replikeres,



Figur 128. Den kemiske evolution.

har disse 'arter' af kemiske forbindelser 'overlevet' frem for andre. Figur 128 viser en oversigt over den kemiske evolution.

Det mest fantastiske ved den kemiske evolution er at den, ligesom den biologiske, bygger på en række tilfældige hændelser der har vist sig at fungere. Måske kan livet være opstået flere gange i forskellige former som blot er uddøde eller udkonkurreret af den form vi kender.

2. Prokaryoterne var de første, hvad er det for en type organismer? (Se figur 129 + 130)

Figur 129. Oversigt over typer af ernæringsmåder hos anaerobe prokaryoter. Det ses at ilt (O_2) ikke indgår i de kemiske processer. De autotrofe prokaryoter får energi til stofskiftet fra anaerob respiration som er den modsatte proces af henholdsvis fotosyntesen og kemosyntesen angivet med grå pile. De heterotrofe prokaryoter får energi til stofskiftet via gæring.

Prokaryoterne var de første

Ud fra fund af fossiler der er omkring 3,5 milliarder år gamle, ved man at de første levende organismer var prokaryoter, se side 27, og at de fleste af disse var af en type der minder om nutidige purpurfarvede og grønne svovlbakterier som er i stand til at lave fotosyntese.

Disse bakterier lever anaerobt, det vil sige uden ilt, og de bruger fx svovlbrinte (H_2S) i stedet for vand til sammen med kuldioxid (CO_2) at opbygge det organiske stof der dannes ved fotosyntesen. Som affaldsstof producerer de så frit svovl (S) eller sulfat (SO_4^{2-}) i stedet for ilt (O_2).

Ved livets begyndelse har der givetvis også været nogle prokaryoter der har lavet kemosyntese, hvilket vil sige at de har lavet organisk stof ved hjælp af kemisk energi fra uorganiske stoffer. Af nutidige repræsentanter for denne gruppe findes fx de anaerobe metandannende bakterier som bl.a. lever i vommen af drøvtyggere. Disse kan omdanne kuldioxid (CO_2) og brint (H_2) til metan (CH_4) der er en organisk

forbindelse som vi også kalder for sumpgas. Når organismer selv kan opbygge organisk stof kaldes de *autotrofe*. Det vil sige at både de fotosyntetiserende og de kemosyntetiserende bakterier er autotrofe.

En del af det producerede organiske stof har de to bakterietyper selv brugt til vækst og vedligeholdelse. En anden del har de udskilt, og denne del har givet mulighed for udvikling af *heterotrofe* bakterier. Heterotrofe organismer kan ikke selv producere organisk stof, men skal have det tilført. Nutidige repræsentanter for disse anaerobe bakterier er bl.a. smørsyredannende bakterier der trives i sure sokker, se figur 129.

På et tidspunkt er mængden af svovlbrinte (H_2S) blevet begrænset, og derfor har mutationer, naturlig selektion og/eller genetisk drift bevirket at nogle af de purpurfarvede og grønne svovlbakterier har udviklet evnen til at bruge vand i stedet for svovlbrinte til deres fotosyntese. Det skete for godt 2,5 milliarder år siden, og denne nye gruppe af bakterier er i dag repræsenteret af cyanobakterierne. Disse kal-

Anaerobe prokaryoter			
Eksempel på bakteriegruppe	Ernæringsmåde	Type kemisk proces	Eksempel på kemisk proces
Purpursvovlbakterier	Autotroft – Det vil sige danner selv organisk stof	Fotosyntese – Energi kommer fra lys	$12H_2S + 6CO_2 \rightleftharpoons C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 12S$ glukose
Metandannende bakterier		Kemosyntese – Energi kommer fra kemisk forbindelse	$4H_2 + CO_2 \rightleftharpoons CH_4 + 2H_2O$ metan
Smørsyrebakterier	Heterotroft – Det vil sige skal have organisk stof tilført	Gæring	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow C_3H_7COOH + 2H_2 + 2CO_2$ glukose smørsyre

Aerobe prokaryoter			
Eksempel på bakteriegruppe	Ernæringsmåde	Type kemisk proces	Eksempel på kemisk proces
Cyanobakterier	Autotroft	Fotosyntese	$6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$
Svovlbakterier		Kemosyntese	$2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ $\downarrow$ $6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$
Almindelige forrådnelsesbakterier	Heterotroft	Respiration	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$

des ofte og fejlagtigt for blågrønaler dels fordi de er blågrønne og dels fordi de laver en almindelig fotosyntese som vi kender den fra algerne og de grønne planter, men de er altså bakterier, se figur 135 side 124.

Cyanobakterierne begyndte altså for 2,5 milliarder år siden at producere ilt (O_2) som deres affaldsstof, og atmosfæren blev langsomt mere og mere iltholdig. Det var en skelsættende begivenhed i udviklingens historie. Den bevirkede at en del af de førnævnte bakteriearter uddøde mens andre og nulevende er blevet fortrængt til anaerobe områder på jorden. Hvor kan det fx være?

Andre bakterier har ved naturlig selektion og/eller genetisk drift tilpasset sig et miljø med ilt. Nogle udviklede mekanismer til beskyttelse mod ilt. Andre udviklede aerob respiration der gjorde at de ved hjælp af ilt kunne få den maksimale energi ud af de organiske stoffer. Hermed var repræsentanter for alle de hovedgrupper af prokaryoter vi kender i dag, udviklet. Figur 130 viser en oversigt over typer af aerobe prokaryoter.

Den øgede mængde ilt i atmosfæren bevirkede at der blev udviklet det såkaldte ozonlag. Ozon (O_3) er en kemisk forbindelse bestående af tre iltatomer der funge-

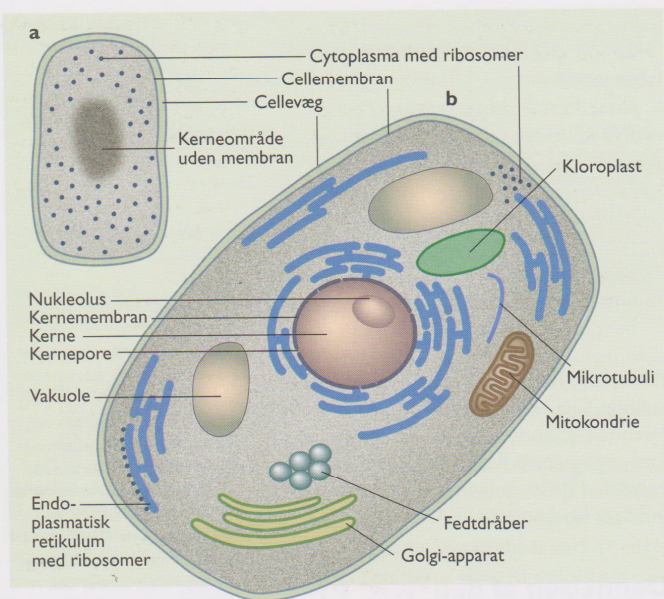
rer som skjold mod solens skadelige UV-stråling. Det betød i første omgang at de levende organismer kunne leve tættere på jord- og vandoverfladen, og senere har det betydet at de levende organismer også har indtaget landjorden som levested.

Dannelsen af den eukaryote celle

Springer vi frem til for ca. 1,7 milliarder år siden, skete der endnu en meget central begivenhed i udviklingens historie, nemlig dannelsen af den eukaryote celle, se side 27. Når denne begivenhed er så central, skyldes det at den eukaryote celle er mere kompleks end den prokaryote celle, se figur 131 på næste side, og det har givet mulighed for at flercellede individer senere kunne blive udviklet.

Man er ret sikker på at den eukaryote celle er opstået som en symbiose mellem to eller flere prokaryoter. Symbiose betyder liv i fællesskab, se figur 132 på næste side. Man forestiller sig at den oprindelige eukaryot var en anaerob heterotrof organisme der som føde har optaget en aerob bakterie i sig, idet den må have levet i grænselaget mellem et aerobt og anaerobt område. I stedet for at blive nedbrudt har

Figur 130. Oversigt over typer af ernæringsmåder hos aerobe prokaryoter. Det ses at ilt (O_2) indgår i de kemiske processer. Bakterietyper med mekanismer til beskyttelse mod ilt, såkaldte fakultativt anaerobe bakterier er ikke med på figuren. De autotrofe prokaryoter får energi til stofskiftet fra en almindelig aerob respiration som er den modsatte proces af henholdsvis fotosyntesen og kemiosyntesen, angivet med grå pile. Energi til svovlbakteriers kemiosyntese kommer fra aerob oxidation af svovlbrinte, vist som en bølget pil. De heterotrofe prokaryoter får ligesom de autotrofe prokaryoter energi til stofskiftet via aerob respiration.



Figur 131.

a. Prokaryotisk celle.

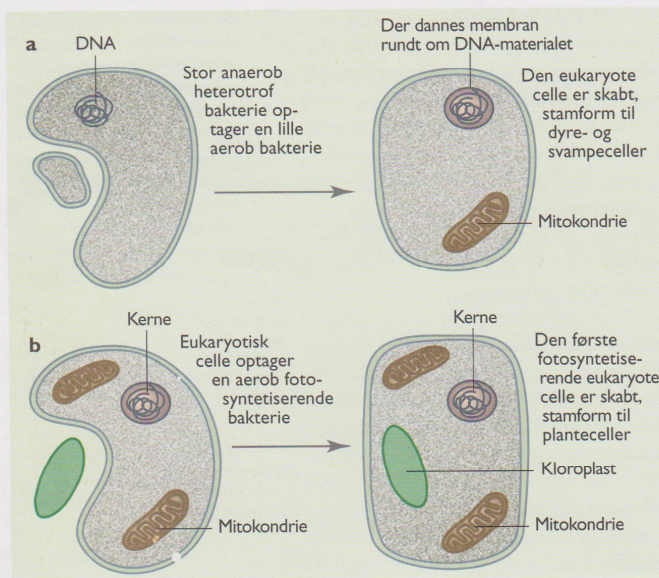
b. Eukaryotisk plantecelle.

Etter Mathiasen m.fl. i Livet skal leves 3, 1991.

den aerobe bakterie respirerer den anaerobe værts organiske stoffer med et langt større energiudbytte end værten normalt selv kunne opnå, og den naturlige selektion har favoriseret denne symbiose. Man mener at den aerobe prokaryot er ophav til eukaryote cellers mitokondrier. Mitokondrier er jo netop den organel i en eukaryot celle hvor den iltkrævende del af respirationsprocessen foregår. Desuden viser det sig at alle mitokondrier indeholder små mængder DNA. Man mener at det stammer fra den oprindelige aerobe prokaryote celled arvemateriale da det minder om nutidige prokaryoters DNA. Bl.a. mangler der introns i generne, se side 47.

På samme måde antager man at en aerob fotosyntetiserende prokaryot på et tidspunkt er optaget i en eukaryotisk celle af ovennævnte type. Derved har den været ophav til den organel hos eukaryote celler som fotosyntesen foregår i, nemlig plantecellers kloroplaster. Kloroplaster viser sig også at indeholde små mængder DNA som minder om prokaryot-DNA.

Man mener at symbioser mellem forskellige encellede organismer er opstået flere gange i udviklingens historie, og at

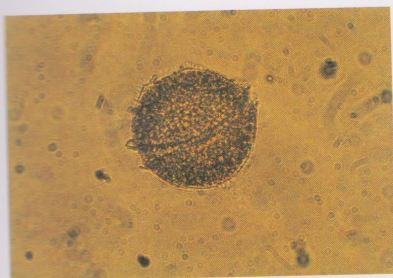


Figur 132.

a. Den eukaryote celle opstår ved at en stor anaerob heterotrof bakterie optager en lille aerob bakterie.

b. Den første eukaryote plantecelle opstår ved at en eukaryotisk celle optager en aerob fotosyntetiserende bakterie.

3. Hvordan blev den eukaryote celle dannet? (Forklar figur 132)



Figur 133. En dinoflagellat, *Peridinium* sp. Foto: Per Schrøder.

optagelsen af en fotosyntetiserende bakterie ikke altid har betydet at en heterotrof organisme er blevet selvforsynende med organisk stof. Således findes i dag fx en gruppe af encellede organismer som man har været i tvivl om man skulle betegne som encellede alger eller protozoer, der er encellede dyr. Det drejer sig om de såkaldte dinoflagellater, se figur 133.

Mange af disse organismer er mixotrofe hvilket vil sige at de både er i stand til at udføre fotosyntese og æde andre organismer, mens andre af dem helt klart må betegnes som protozoer idet de udelukkende ernærer sig ved at æde andre organismer. Man er nu blevet enige om at alle encellede eukaryote organismer uanset deres ernæringsmåde kaldes protister (protister betyder de allerførste), og de udgør et selvstændigt rige forskelligt fra prokaryot-, svampe-, plante- og dyreriget, se figur 134.

Fra encellede til flercellede organismer

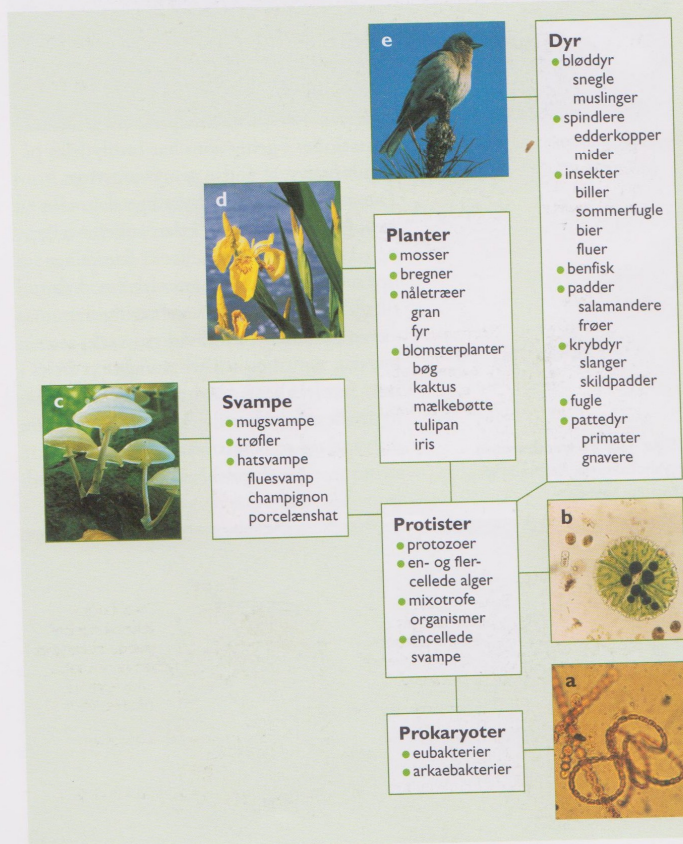
Det næste store spring i livets udvikling som fandt sted for omkring 600-700 millioner år siden, var oprindelsen af de flercellede eukaryote organismer. Til dem henregnes normalt svampe, planter og dyr, og

man mener som antydnet på figur 134, at de tre grupper er opstået uafhængigt af hinanden.

Flercellethed er sandsynligvis opstået mange gange før i udviklingens løb idet skridtet fra encellet til flercellet ikke er så langt. Begyndelsen er gjort hver gang en celle deles da det blot kræver at de to nydannede celler ikke adskilles fuldstændigt. Således optræder mange prokaryoter, gærsvampe og alger i flercellede runde eller

Figur 134. Eksempler på organismer fra de fem riger, det vil sige prokaryoter, protister, svampe, planter og dyr. Alle organismer tilhørende de sidstnævnte fire riger er også eukaryoter. Fotos viser følgende organismer:

- Forskellige kolonier af cyanobakterier, *Anabaena* spp.
 - En koblingsalge, *Micrasterias* sp.
 - En porcelænschat.
 - En gul iris.
 - En bogfinkehan.
- Fotos: Per Schrøder.



4. Hvordan er organismer gået fra at være encellede til at være flercellede? (Kom herunder også ind på figur 134)

trådformede kolonier, men de er i princip encellede, se figur 135.

Det der sandsynligvis gjorde ægte flercellethed muligt, var at atmosfærens iltindhold efterhånden var steget til omkring 10% på grund af encellede og kolonidannende cyanobakteriers og algers fotosyntese. En flercellet organisme kræver mere ilt end en encellet. En flercellet koloni af encellede organismer optager det ilt den skal bruge via diffusion gennem overfladen, og det sætter en grænse for hvor stor kolonien kan blive, især hvis den er rund. Næste skridt er derfor udvikling af specialiserede celler fx til transport af ilt, vand og næringsstoffer.

Specialiserede celler opstår på grund af mutationer i gener som har indflydelse på reguleringen af andre geners aktivitet. Derved kan dannes forskellige slags eller mængder af proteiner i den enkelte celle, og på den måde kan celler få forskellige opgaver selvom de er genetisk ens. I de tilfælde hvor denne specialisering har været til fordel for individets overlevelse, har den naturlige selektion virket positivt ind. Sandsynligvis har udvikling af organlignende strukturer der kunne transportere ilt, vand og næringsstoffer sammen med strukturer der mindsker organismens risi-

ko for udtørring, været nogle af de virkeligt succesfulde udviklinger som efterhånden også gjorde det muligt for nogle arter at forlade havet for at bebo landjorden.

Med de specialiserede celler er muligheden for udvikling af kønnet formering kommet til. Kønnet formering øger via overkrydsning i meiosen, se side 32, den genetiske variation og dermed øges muligheden for at lave varianter med særlig god overlevelsessevne.

Alt i alt må det siges at udviklingen af flercellede organismer med specialiserede væv har været det afgørende skridt i retning mod den mangfoldighed af liv der både har eksisteret og som findes i dag, især inden for plante- og dyreriget. Inden for de fem riger mener man i dag at der tilsammen findes et sted mellem 10 og 100 millioner forskellige arter. Af disse er kun ca. 1,7 million arter beskrevet og navngivet, og heraf udgør insekterarter godt og vel halvdelen.

Menneskelinjens oprindelse

Den mest interessante udvikling at følge er vel nok vores egen – menneskets. I dyreriget tilhører vi gruppen af hvirveldyr, det vil sige dyr med rygsøjle og -hvirvler samt i det hele taget indre skelet. Stamformen til hvirveldyr opstod for ca. 430 millioner år siden. Inden for hvirveldyrene tilhører vi gruppen af placental pattedyr, hvilket vil sige dyr med livmoder og moderkage som dier deres unger. Inden for de placental pattedyr tilhører vi gruppen af primater, som omfatter mennesket, menneskeaberne, aberne og halvaberne. Vi er tættest beslægtet med de store menneskeaber, det vil sige med chimpansé, gorilla og orangutang.

Af disse står vi nærmest chimpansen

Figur 135. En tråddannende cyanobakterie, *Anabaena* sp.
Foto: Per Schriver.

