

Big Bang til naturfag

ARTER

Vi observerer evolution af liv på jorden over milliarder af år. Vi forklarer denne evolution med naturlig selektion, som blandt andet har artsdannelse som konsekvens. Kendskab til organismernes historie er vigtig. Den giver et indblik i arternes tilpasning til forskellige miljøer, og hjælper os til at forstå processer, mekanismer og detaljer i den verden, der omgiver os, i en større sammenhæng. I dette materiale vil vi snakke klassifikation og systematik, og tage fat i nogle interessante eksempler på artsdannelse og slægtsskab til mennesket.

Artsdefinition

- Arter er ikke evige størrelser men ændrer sig
- Evolution af livet på Jorden har ledt til en enorm diversitet (ca. 1,5 millioner arter er navngivet og beskrevet)
- Det er derfor vigtigt med et artsbegreb for at kunne klassificere og systematisere liv på jorden
- Den typiske definition er det biologiske artsbegreb: *Individer der kan få fødedygtigt (fertilt) afkom, må tilhøre samme art*

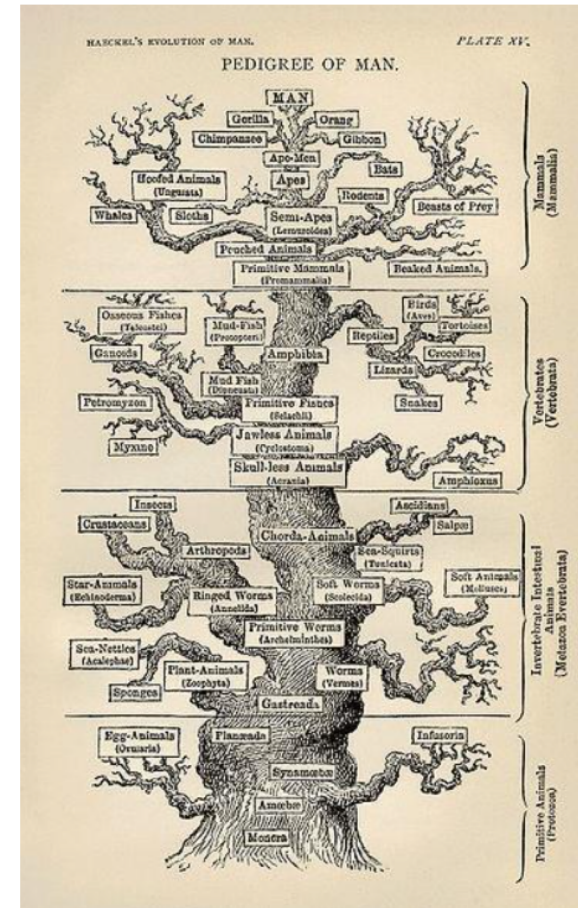
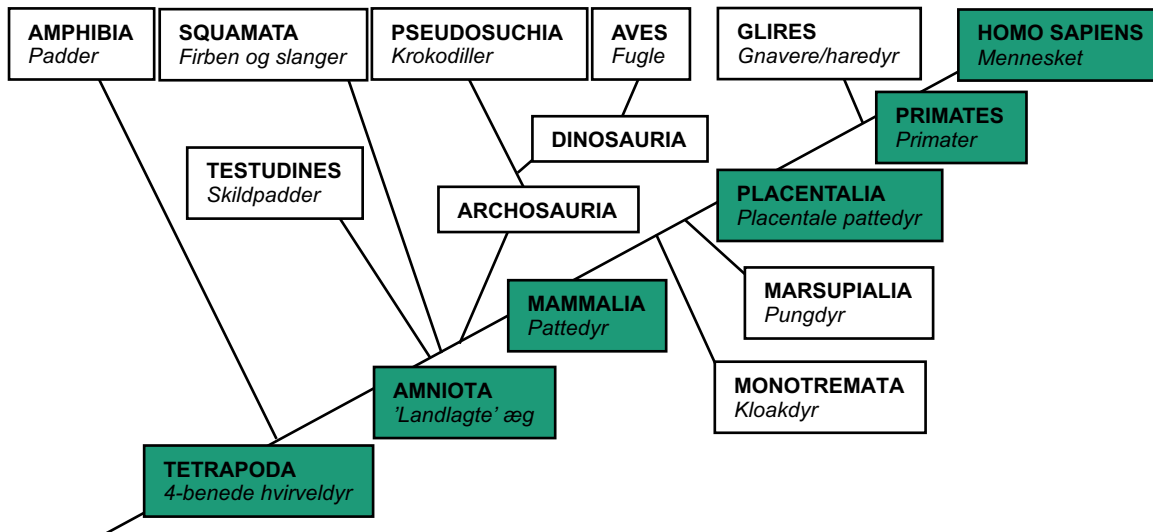


I første omgang kan vi tænke på det biologiske artsbegreb som den artsdefinition vi arbejder med, men det følgende materiale kunne ligeså godt benyttes anden artsdefinition.

Der er fordele og ulemper ved det biologiske artsbegreb, og der findes mange andre definitioner/begreber, som bliver diskuteret senere i materialet.

Klassifikation og systematik

- Systematik inden for biologien er studiet om livets mangfoldighed og de levende organismers indbyrdes slægtskab
- Biologiske klassifikationssystemer er hierarkiske og udformet som strukturen i et træ.



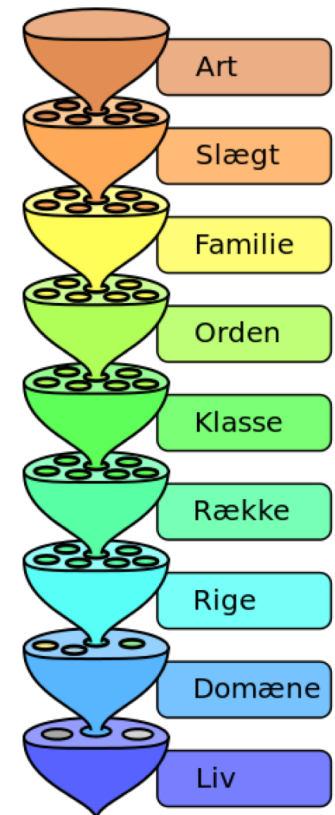
Ernst Haeckel (1834-1919) udviklede mange forskellige udgaver af livets træ (et eksempel ses til højre), som skulle vise mangfoldigheden og slægtskabet i verden.

Figur til venstre viser en nyere udgave af træstrukturen. Et fylogenetisk træ, der viser slægtskabet mellem 4-benede hvirveldyr. Her har man brugt en nyere metode med at sammenligne DNA.

Hierarkiske klassifikationssystem

- Carl von Linné udgav i 1735 bogen "Systema Naturae", med det hierarkiske klassifikationssystem vi bruger i dag.
- Klassifikationssystemet startede med at blive brugt på planter og dyr, men bruges i dag på alle levende organismer
- De taxonomiske grupper man inddeler i er: Domæne, Rige, Række, Klasse, Orden, Familie, Slægt og Art
- Arternes videnskabelige navn er baseret på klassifikationssystemet, og starter med slægtsnavn og slutter med artsnavnet, fx:

<i>Homo</i>	<i>sapiens</i>
<i>slægt</i>	<i>art</i>



Systemet har samme grundlæggende betydning for biologien som det periodiske system har for kemien.

Siden 1960'erne er der opstået en udvikling i retning af at arrangere de taxonomiske grupper (af "taxis" = orden, arrangement, inddeling) i et evolutionstræ. Linnés hovedprincip var at klassificere og i dag bruger man det til at klassificere liv så det afspejler evolutionsteoriens grundtanke om fælles afstamning.

Eksempler på klassifikation

Menneske

Domæne	Eukaryoter
Rige	Animalia (Dyr)
Række/Division	Chordater
Klasse	Mammalia (Pattedyr)
Orden	Primater
Familie	Hominidae (Store Menneskeaber)
Slægt	<i>Homo</i>
Art	<i>sapiens</i>

Vild Gulerod

Domæne	Eukaryoter
Rige	Plantae (Planter)
Række/Division	Magnoliophyta (Dækfrøede planter)
Klasse	Magnoliopsida (Tokimsblade)
Orden	Apiales (Skærmpolte)
Familie	Apiaceae (Skærmpolte)
Slægt	<i>Daucus</i> (Gulerodslægten)
Art	<i>carota</i>

Dette er de overordnede klassifikationsgrupper liv inddeles i, men man kan også inddele det i andre klassifikation som Overfamilie, Tribus, Underart og Varietet, hvis man skal være endnu mere præcis.

Eksempelvis har vild gulerod en underart ved navn *sativus*. Denne art med det videnskabelige navn, *Daucus carota subsp. sativus*, er bedre kendt som 'haveguleroden', som de fleste spiser til hverdag.

Verden er fuld af arter

- De godt 1,5 millioner arter som er beskrevet og navngivet er inddelt i det hierarkiske klassifikationssystem
- Til højre er angivet hvor mange opdelinger der (indtil videre) er navngivet på hvert niveau
- Fra klasser, ordener og familier er det angivet for dyr
- Eksempelvis hører dyreriget under eukaryoter og opdeles i
 - encellede dyr (Protozoa) som omfatter fire rækker
 - flercellede dyr (Metazoa) som omfatter ca. 35 rækker

Domæner	3
Riger	4-7
Rækker	Ca. 110
Klasser	Ca. 100 i rækken Animalia
Ordener	Flere tusind i rækken Animalia
Familier	Ca. 5000 i rækken Animalia
Slægter	-
Arter	Ca. 1,5 million

Hvor mange arter der findes på jorden er stadig et åbent spørgsmål. Først og fremmest opdages der hele tiden nye arter, derudover ændrer det sig alt efter artsbegreb. De fleste gætter på at der på jorden findes et sted mellem 5 og 50 millioner arter (afhængig af beregningsmetode og forskellige antagelser). Vi vil senere komme ind på forskellige artsbegreber, og hvorfor det er svært at definere en art.

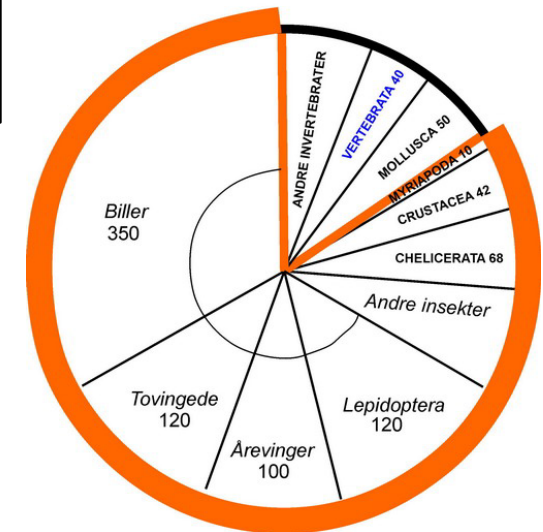
Det er sikkert at der stadig findes mange ubeskrevne og uopdagede arter, især på steder og indenfor plante- og dyregrupper som er dårligt undersøgt, fx i dybhavet og uberørte regnskovsområder eller blandt insekter.

Biodiversitet og antal arter

- Biodiversitet er et udtryk man bruger om mangfoldigheden af levende organismer
- Antal navngivne arter (estimeret total antal i parentes) blandt de almindeligste grupper
 - Insekter: 1.000.000 (8.000.000)
 - Planter: 255.000 (300-500.000)
 - Svampe: 70.000 (1.500.000)
 - Hvirveldyr: 45.000 (50-55.000)



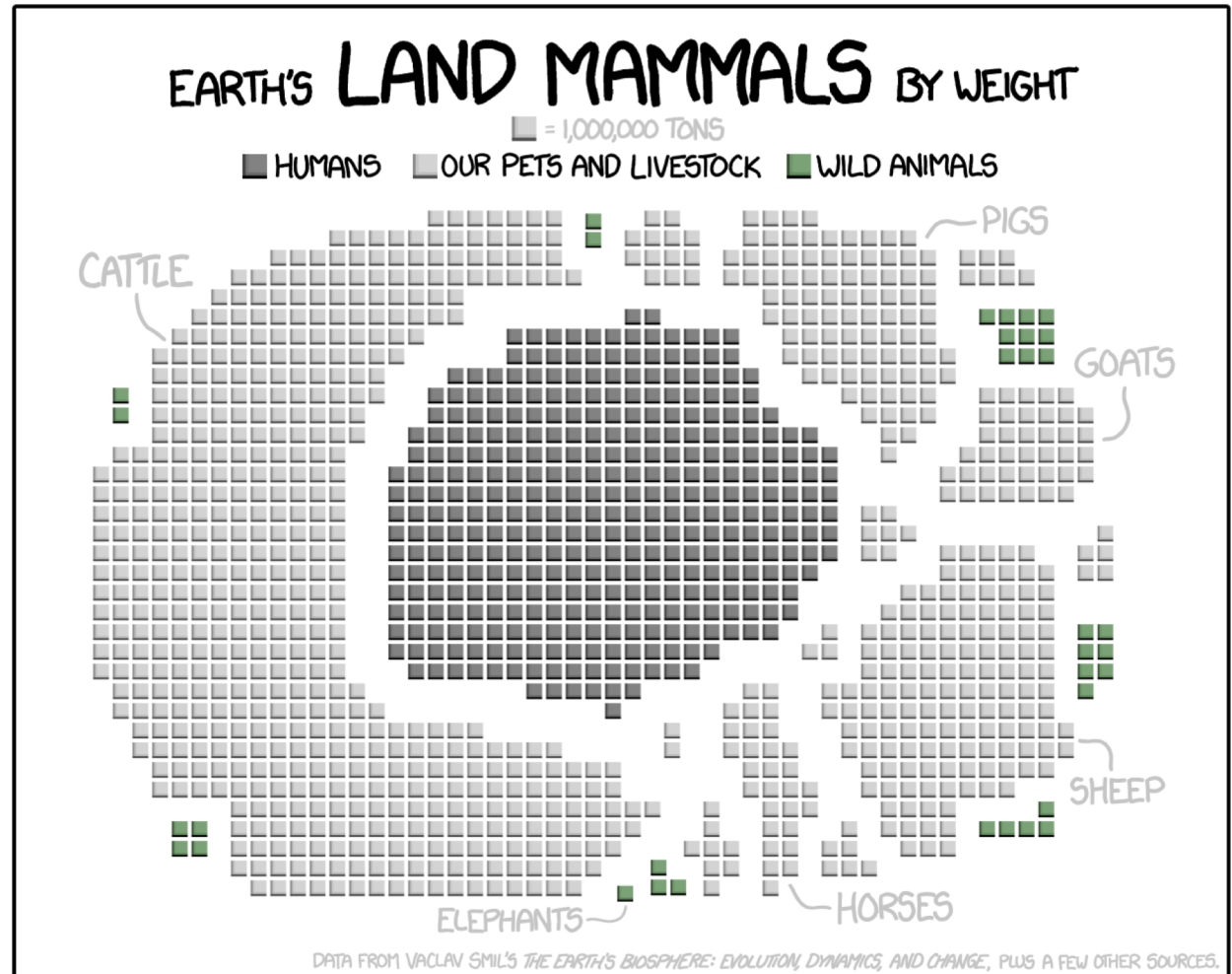
ARTSFORDELING I DYRERIGET



Biodiversitet kan beskrives på flere niveauer som fx genetisk diversitet eller som diversiteten af biologiske samfund eller økosystemer, men oftest bruges begrebet synonymt med artsdiversitet, dvs. antallet af arter inden for et nærmere afgrænset område.

Cirkeldiagrammet angiver hvor mange tusinder af arter der findes indenfor en given orden (den store orange andel er insekter, Arthropoda).

Biomasse

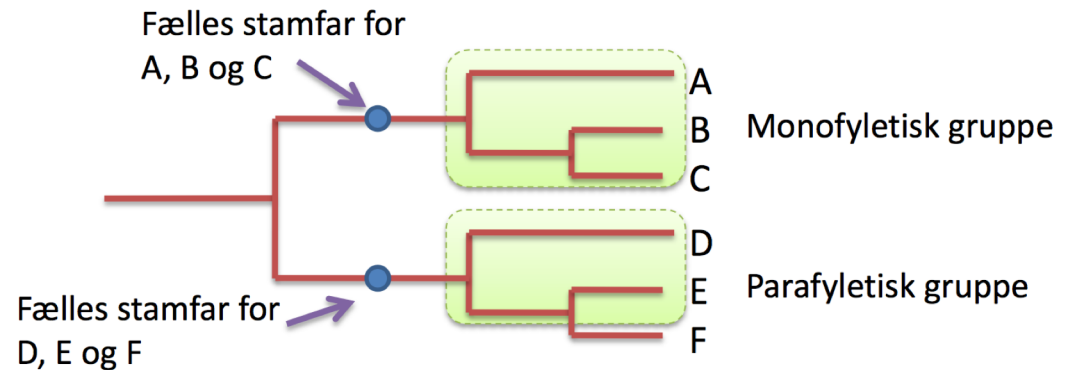
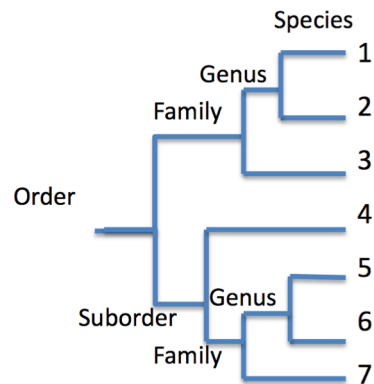


Her ses biomassen af alle pattedyr der lever på land. Det viser at på trods af at der findes mange forskellige arter, ligger størstedelen af biomassen på få arter. Næmlig mennesker og de husdyr vi har.

Hvis man skulle lave denne her figur med alle i organismer i verden, skulle man zoome helt vildt meget ud. Alle dyr er nemlig kun 0,1% af verdens biomasse. Alene planter der kan lave fotosyntese udgør 99% af Jordens biomasse.

Fra fylogeni til klassifikation

- Moderne klassifikation afspejler evolutionært slægtskab
- Hvordan arterne er beslægtet i fylogenetisk træ:
 - En monofyletisk gruppe indeholder alle efterkommere af en stamform
 - En parafyletisk gruppe indeholder nogle, men ikke alle efterkommerne af en stamform



Fylogenetisk kladistik er rekonstruktionen af den historiske oprindelse og udvikling (evolution) af liv (bakterier, protozoer, planter, svampe og dyr). Klassifikationen baseres på en rekonstrueret fylogeni. Stamform: dyr, plante eller anden levende organisme som andre individer eller former nedstammer fra eller har udviklet sig fra (betegnes i materialet også som forfader, stamfar eller stammor).

Forskellige artsbegreber

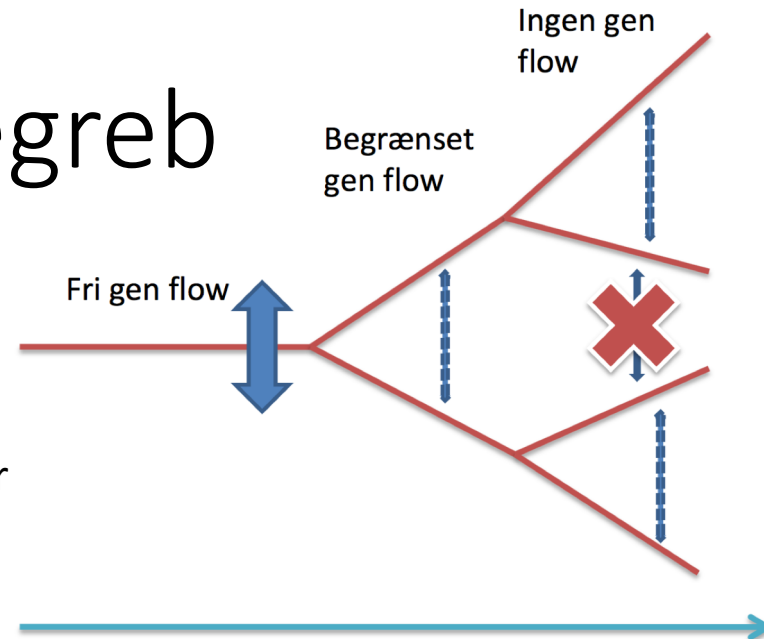
- Den hierarkiske klassifikation afhænger af et veldefineret artsbegreb
- Der findes forskellige variationer af artsbegrebet:
 - Det biologiske artsbegreb (Mayr 1942)
 - Det fylogenetiske artsbegreb (1989/1990)
 - Det morfologiske artsbegreb
 - Det økologiske artsbegreb
- Der er fordele og udfordringer ved hvert artsbegreb, hvilket skal beskrives på de følgende slides

Der findes ikke noget universelt artsbegreb der kan anvendes på alle organismer og til alle formål. Men selvom der synes at være stor uenighed om artsbegreber, er uenigheden måske ikke så stor i virkeligheden.

At det biologisk artsbegreb fokuserer på processen – artsdannelse, og et fylogenetisk artsbegreb på resultatet, er nærmere to sider af samme sag.

Det biologiske artsbegreb

- **Definition:** Individuer der kan få fødedygtigt (fertilt) afkom, må tilhøre samme art
- Mere præcist: Arter er grupper af aktuelt eller potentielt krydsende naturlige populationer, der er reproductivt adskilt fra andre grupper
 - Arten deler en gen pool
 - Gener bevæger sig gennem arten (gen flow)
 - Stop af gen flow medfører dannelse af nye arter
- Klassisk eksempel: Heste og æsler kan få afkom sammen, men det resulterende muldyr er ikke fertilt (generne fortsætter altså ikke), så heste og æsler er forskellige arter
- Problemer: Det er kun relativt få arter, som man har forsøgt at krydse (hybridisering), og det vides derfor ikke, om de virkelig er reproductivt isolerede. Der er også mange organismer som formerer sig ukønnet (aseksuelt).



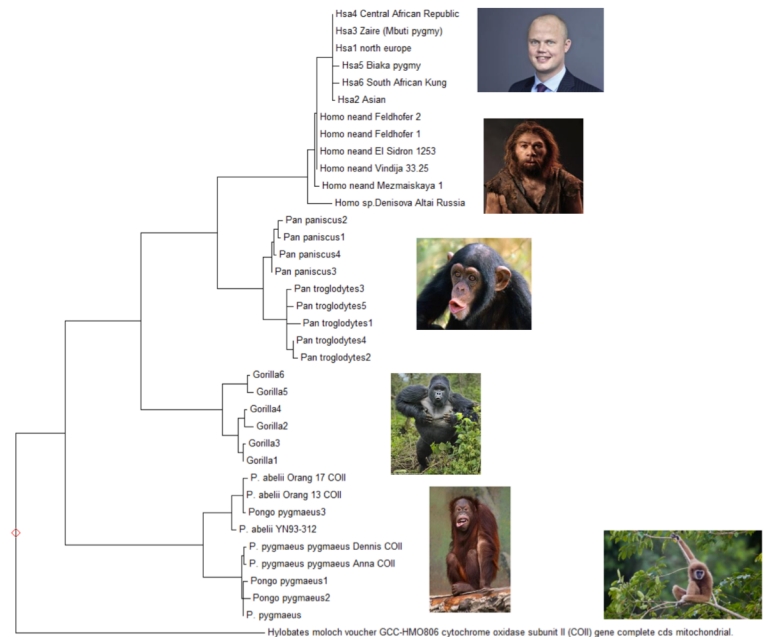
American Mule Association

Derudover er det svært at bruge hvis man ikke har mulighed for at undersøge om to individer med samme morfologi (struktur og ydre form) er i stand til at få fertilt afkom (hvis nu arten er uddød og man kun kender til den fra fosiler).

Der er også modeksempler: Eksempelvis kan gråanden med andre arter få hybridafkom som er fertilt. Altså giver det ikke kun en entydig artsopdeling.

Det fylogenetiske artsbegreb

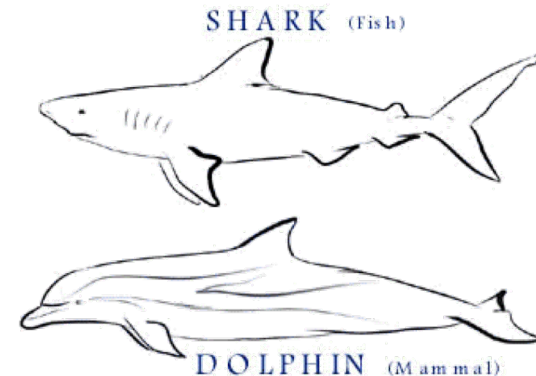
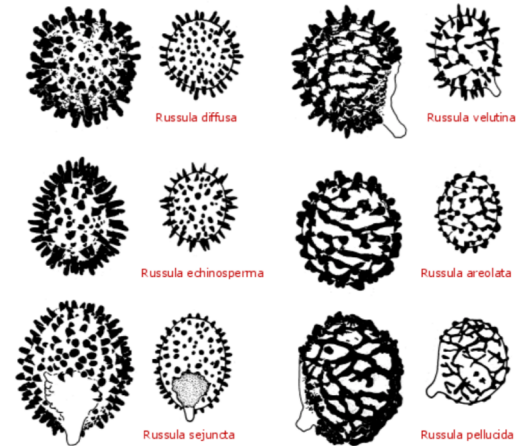
- **Definition:** En art er den mindste monofyletiske gruppe med fælles afstamning
- Det fylogenetisk artsbegreb minder om det biologiske, men kan også tage forbehold for arter der reproducerer ukønnet
- Artsbegrebet inddrager også tidsdimensionen, det vil sige at en art udvikler sig over tid og at nye arter opstår ved artsdannelse.
- Individder der fylogenetisk har samme stamfader tilhører samme art.



Lignende begreber: evolutionære arter, Genealogiske arter.
Dette kan også bruges til fylogenetiske træer, hvor genetisk differentiering er vigtigt.

Det morfologiske artsbegreb

- **Definition:** Individder der deler morfologiske træk tilhører samme art
- Var det mest udbredte artsbegreb tidligere, da det baserer sig udelukkende på hvad man kan se
- Bruges i dag hovedsageligt til klassifikation af fossiler, større samlinger og museumsarbejde
- Problem: To individer med vidt forskellige forfædre kan have samme morfologi som resultat af konvergent udvikling (se senere i materialet)



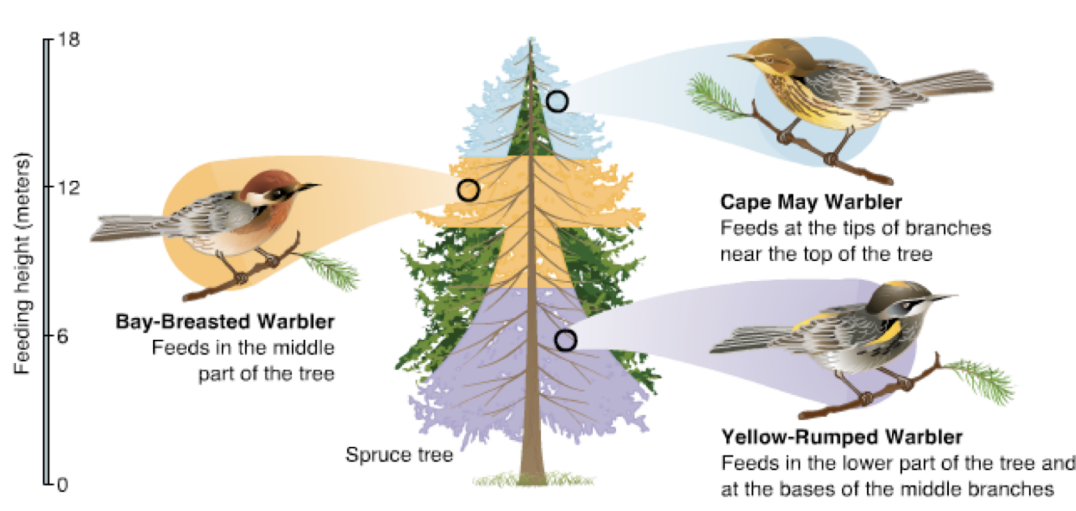
Hvis evolutionen sker gradvis opstår der konstant nye morfologiske arter.

På den øverste figur ser vi nogle svampe med samme morfologiske træk, og indenfor dette artsbegreb altså samme art. Nedenfor er to dyr der ser ens ud, men som har to vidt forskellige forfædre, og er et eksempel på en udfordring for det morfologiske artsbegreb.

Denne metode kan også bruges til at danne fylogenetiske træer.

Det økologiske artsbegreb

- **Definition:** To individer der deler økologisk niche tilhører den samme art
- Når en enkelt population opdeles i flere grupper af fx fysiske barrierer ser vi dem fortsat som én art. Men hvis miljøet omkring dem divergerer mellem de to habitater kan der ske artsdannelse ved at de tilpasser sig det nye miljø og herved adskilles som arter.



Niche = et sæt vilkår som en art er tilpasset til.

Problem: Individer i den samme niche kan have forskellig morfologi og gener, og dette artsbegreb er derfor svært at forene med andre artsbegreber.

Hvordan måles lighed mellem arter?

- Homologe karakterer: karakterer med samme oprindelse (fx tæer).
- Homologe karaktertilstande: karaktertilstande med samme oprindelse (fx antallet af tæer)
- Analoge karakterer: én karakter som er opstået flere gange, uafhængigt af hinanden (fx vinger hos fugle, insekter og flagermus)
- Plesiomorfi: Oprindelige "primitive" karakterer (arter der deler samme plesiomorfi har en symplesiomorfi)
- Apomorfi: Afledte nyerehvervede (avancerede) karakterer (arter der deler samme apomorfi har en synapomorfi)

Krokodille



Menneske



Næsehorn



Et eksempel på en symplesiomorfi kan være gæller hos fisk, det er fælles oprindelig karakter. Hvor lunger kunne være et eksempel på synapomorfi hos pattedyr. Analoge træk kan også udtrykkes som konvergent evolution.

Konvergent evolution



Mona Rutger, backtothewild.com

Flyveegern

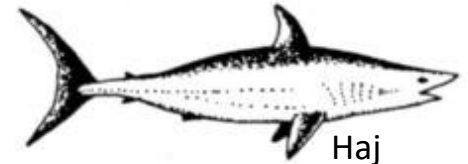


The Mouses House, Queensland, AUS

Flyvepungegern



Fiskelignende dyr



Haj



Krybdyr på land



Ichthyosaur



Pattedyr på land



Marsvin

Konvergent evolution betyder, at to forskellige arter, der er fjernt beslægtet, udvikler det samme træk for at omstille sig til et givent miljø.

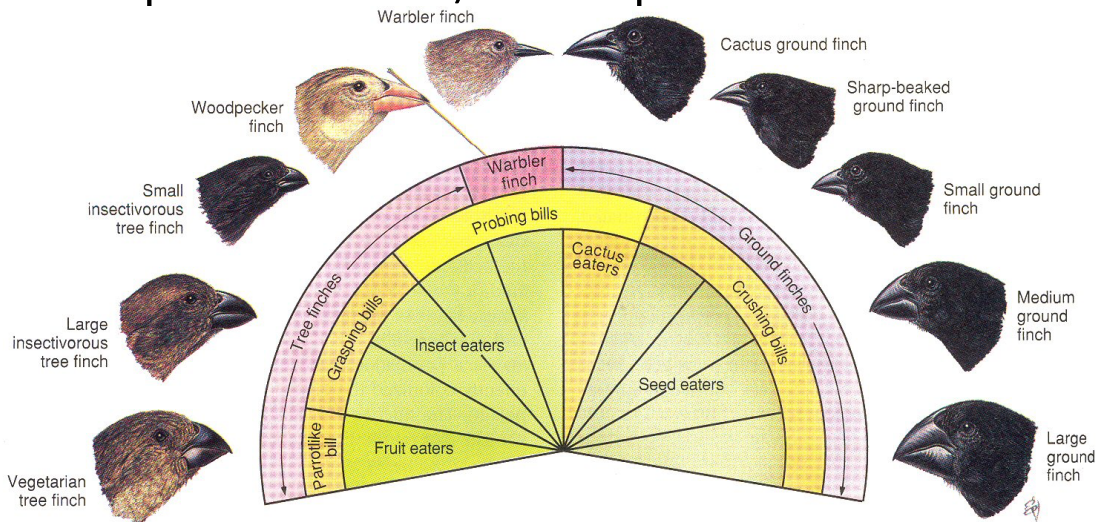
Eksempelvis i havet ser vi konvergent evolution, da man har bestemte behov for at kunne overleve i havet, og de fleste dyr er gået den korteste vej fra at have ben til at have finner. Derfor ligner fx delfin, hvalrossen og søkoen meget hinanden, selvom de ikke er nært beslægtet.

På billedet ser vi også en forhistorisk øgle Ichthyosaurer, som uddøde for 93 millioner år siden, men har mange af de samme karaktere som delfinen. Ichthyosaureren er trods navnet ikke en forhistoriske dinosaur, men faktisk et forhistorisk krybdyr.

Andre eksempler kan findes mellem placental pattedyr og pungdyr, som er to vidt forskellige undergrupper, men som indbyrdes har arter der minder rigtig meget om hinanden (da de deler den samme niche), eksempelvis flyveegern (placental pattedyr) og flyvepungegern (pungdyr).

Divergent evolution

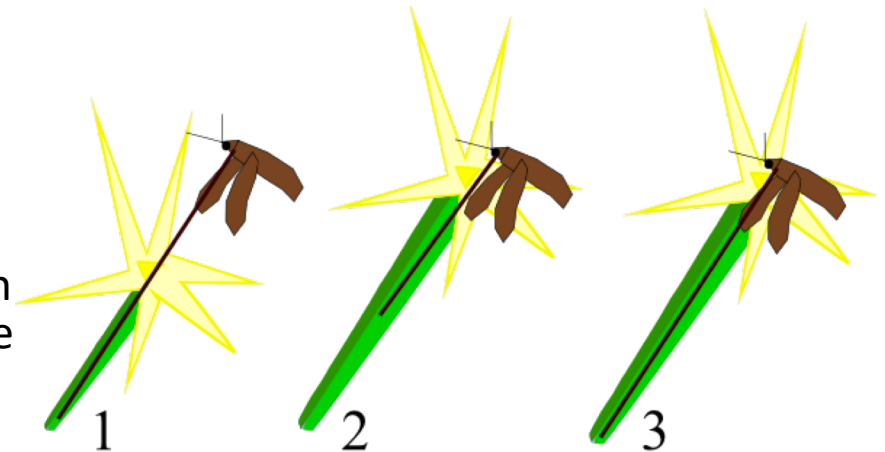
- Divergent evolution betyder at dyr og plantearter med en fælles oprindelse har udviklet sig forskelligt
- Det bedste eksempel er Darwins finker på Galapagosøerne, som alle har fælles oprindelse, men efter de har levet i forskellige øer hvor føden tilgængelig var forskellig har de udviklet forskellige næb som passer til det føde de spiser



Et andet eksempel på dette er mennesker og menneskeaber der har udviklet sig forskelligt

Coevolution

- Coevolution refererer til en gensidig tilpasning mellem arter, der interagerer med hinanden.
- Eksempel:
 - En hjort der kan løbe lidt hurtigere væk fra den jagtende ulv overlever bedre end andre hjorte, og dens gener har derfor større sandsynlighed for at blive givet videre til næste generation.
 - Dette kan medfører coevolution af ulve, idet generne fra en ulv der kan løbe hurtigere tilsvarende har større sandsynlighed for at blive givet videre.



Potentiale for coevolution er afgjort af tætheden af forholdet mellem arterne (evt. symbiose).

Andet eksempel kunne være at blomsten og insektet har udviklet sig, så deres stamme og antenner har lignende struktur. Så det kun er det insekt der kan tage pollen fra den plante, som ses på den nederste figur.

Artsdannelse

- Artsdannelse foregår ved isolation af oprindelige arter
- Eksempler på forskellige former for isolation:
 - Økologisk isolation
 - Temporal: fx fisk der ligner hinanden, men gyder på forskellige tidspunkter
 - Habitat isolation: fx den ene bor på jorden, den anden bor i træer, eller der kan opstå en fysisk barriere som deler et habitat i to
 - Adfærdsmæssig isolation: fx fugle der synger på en forskellig måde
 - Reproduktiv isolation: Sker hvis to arter får et hybridafkom med dårligere fitness end de oprindelige arter (eller bliver infertilt)
 - Domesticering: En bestand af dyr eller planter ændres gennem en kunstig udvælgelsesproces

Mere om artsdannelse kan findes i materialet om 'Evolution'.

Hybrider af det køn som bærer det kønsbestemmende kromosom rammes i højere grad af sterilitet end afkom af det andet køn.

Eksempel på domesticering: Brug af husdyr, fx hunden, som har fået et kortere ansigt end ulven, da hunden fik mad og beskyttelse fra mennesker.

Fylogeni: Karakter og karakterskift



1 tå

2 tæer

3 tæer

4 tæer

5 tæer

Morfologiske karakterer

AATTACAG

AATTACAT

AATGGCAT

8: T→G

5: G→A

4: G→T

2: C→A

ACTGGCAT

Molekylære karakterer

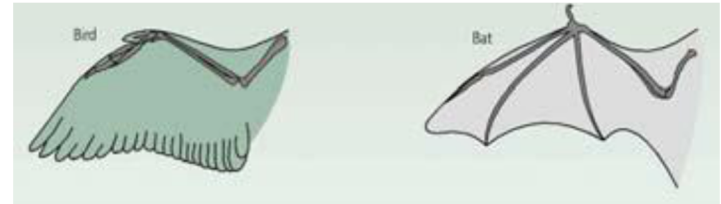
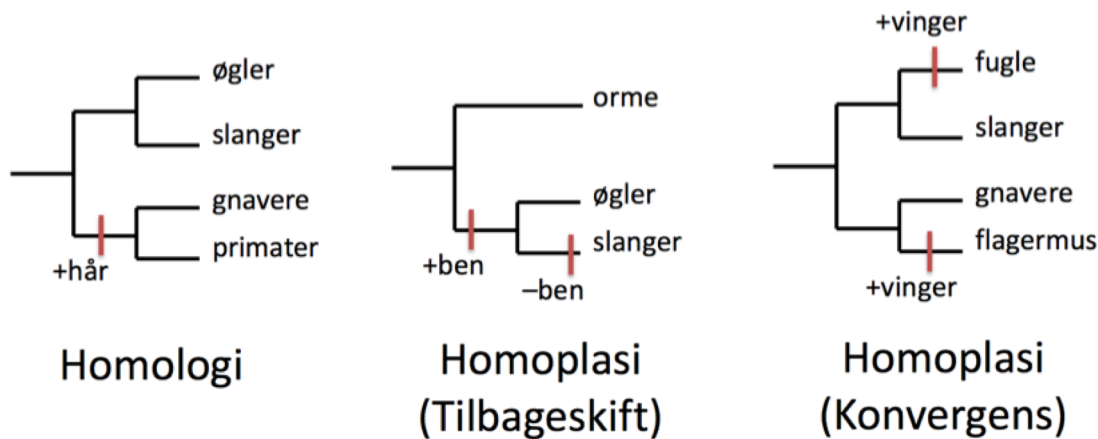
Her kigger vi hvordan man kunne lave et fylogenitræ. Generelt opbygger man fylogenitræer for at forstå det evolutionære slægtsskab, men her skal vi blot diskutere strukturen bag et hypotetisk fylogenitræ. Det kan laves ved at kigge på morfologiske og molekylære karakterer og karakterskift.

Morfologisk kigger vi her kun på en enkelt karakter. Der er en fælles stamform med 5 tæer, og jo længere man bevæger sig ud af træet, jo flere tæer bliver reduceret væk. Her er man tættest beslægtet med den der har det nærmeste antal af tæer. Hesten med 1 tå er altså tættere beslægtet med giraffen med 2 tæer, end med næsehornet med 4 tæer. Det betyder at man er tættest beslægtet med den art man har den seneste fælles stamform med.

Det samme forgår med molekylære karakterer, her kigger man i stedet på mutationer i DNA-stregen.

Problemer med fylogeni

- Når man laver fylogenetiske træer kigger man gerne på homologi (identiske karakterer der skyldes fælles stamform), men nogen gange er det svært hvis der er sket homoplasi (analoge karaktertræk der skyldes konvergent udvikling eller reduktion)
- Homoplasi kan også ske, hvis man fjerner en avanceret karakter og går tilbage til den oprindelige, dette kaldes et evolutionært tilbageskift.



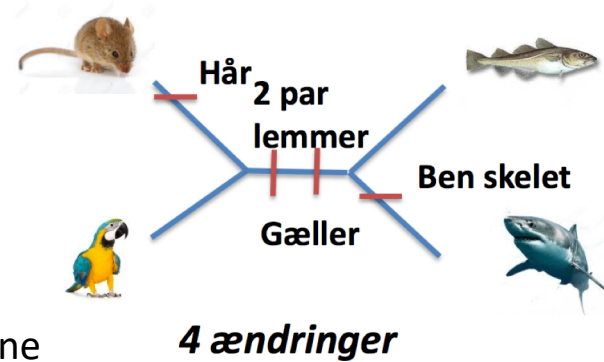
Vingen er et eksempel på et analogt træk (konvergent evolution) mellem fugle og flagermus (pattedyr).

Eksempelvis ses på det midterste træ hvor tilbageskift giver slanger uden ben, men også blandt øgler finder man stålormen som også har smidt sine ben, men egentlig er et firben (og altså ikke direkte slægtning til slanger).

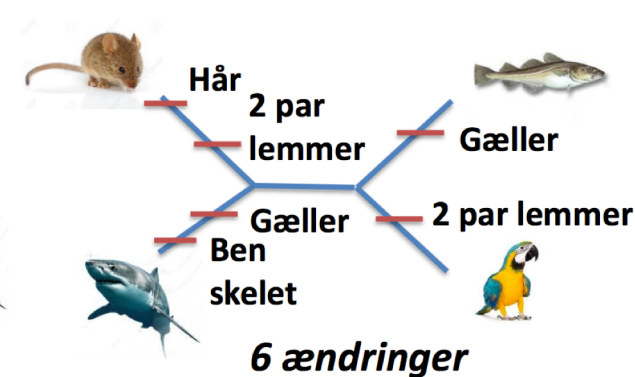
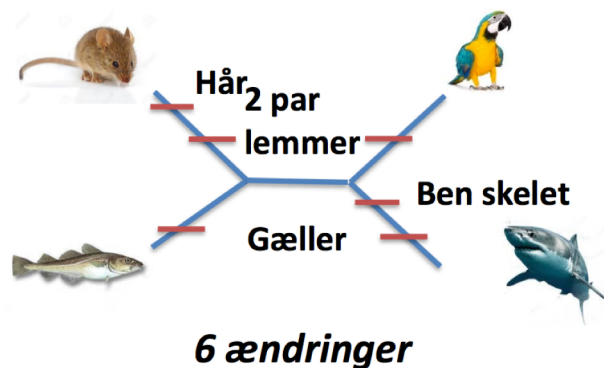
Homoplasier resulterer i et forkert billede af hvordan dyr er beslægtet, hvis man kun bruger morfologiske karaktere. Derfor bliver molekylære karakterer fra DNA oftere brugt i dag.

Lav et fylogenetisk træ

1. Tegn et træ
2. Placer alle karakterskift på træet
3. Tæl antallet af karakterskift
4. Tegn et nyt træ, hvor klasserne er placeret anderledes
5. Placer alle karakterskift på træet
6. Tæl antallet af karakterskift
7. Gentag 4-6
8. Vælg det korteste træ med færrest mulige antagelser.



	Hår	2 par lemmer	Gæller	Ben skelet
	1	1	0	1
	0	1	0	1
	0	0	1	1
	0	0	1	0

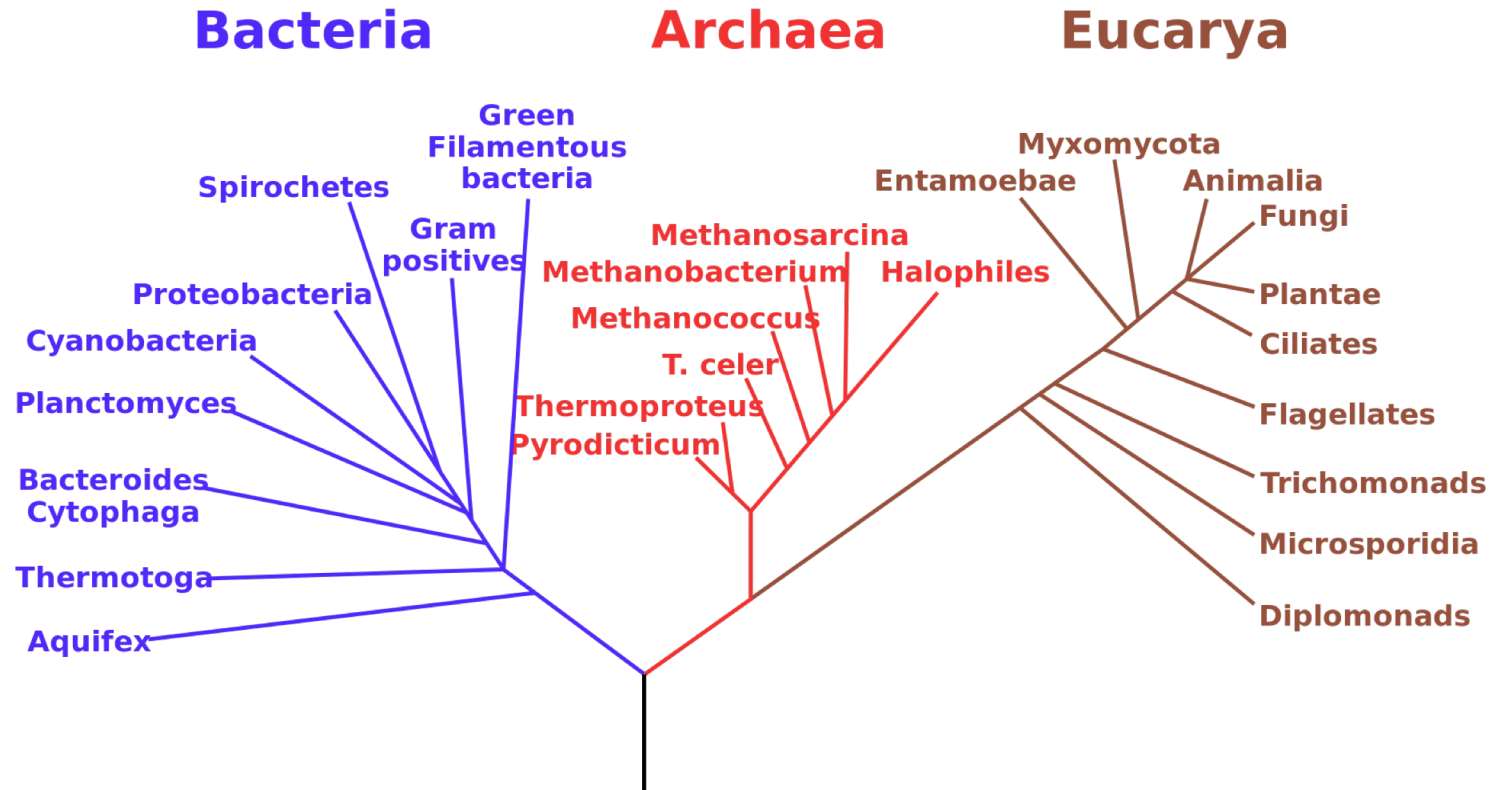


Øvelse for hvordan et simpelt fylogenetisk træ kan designes ud fra morfologiske karaktere og karakterskift:

- 1) Find ud af hvilke morfologiske træk der skal med.
- 2) Kig på hvilke klasser der har hvilke karaktertræk. De karaktertræk skal så placeres på et træ som set på figurene.

Dette kan naturligvis gøres på mange forskellige måder, men generelt vælger man det træ med færrest karakterskift. Så på figuren ville det være træet med 4 ændringer.

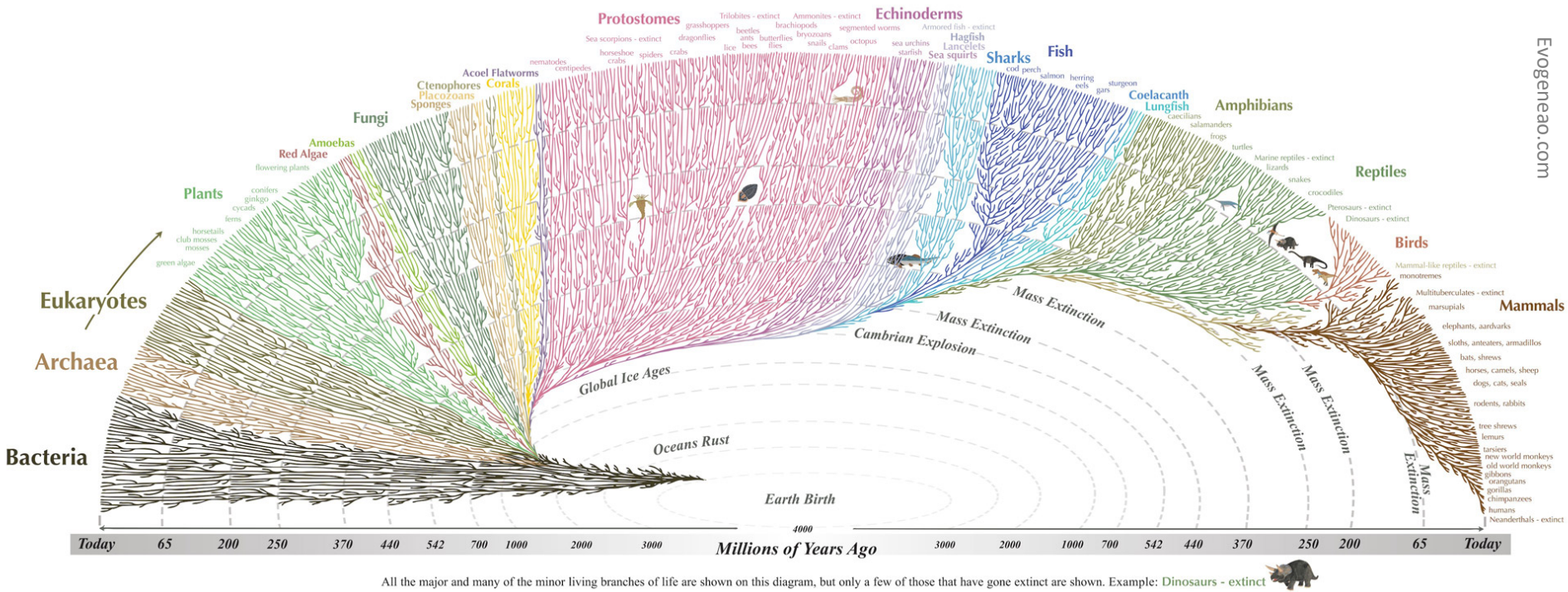
Livets stamtræ



Det mest generelle fylogenetriske træ tager udgangspunkt i alt liv på jorden, som figuren ovenfor beskriver. Vi vil gå i detaljerne i retning mod mennesket i det følgende materiale, men figuren her illustrerer de tre domæner for liv: Bakterie, arkæer og eukaryoter. Som alle andre fylogenetriske træer, er dette den nuværende hypotese for slægtskabet mellem livet på jorden.

Bakterier og arkæer er hovedsageligt encellede prokaryote organismer som vil blive omtalt i materialet om 'Celler'. Hvorimod eukaryoterne dækker over rigerne: Planter, dyr, svampe og protister (rige der dækker alle andre eukaryote organismer end planter, dyr og svampe).

Artsrigdom og uddøen

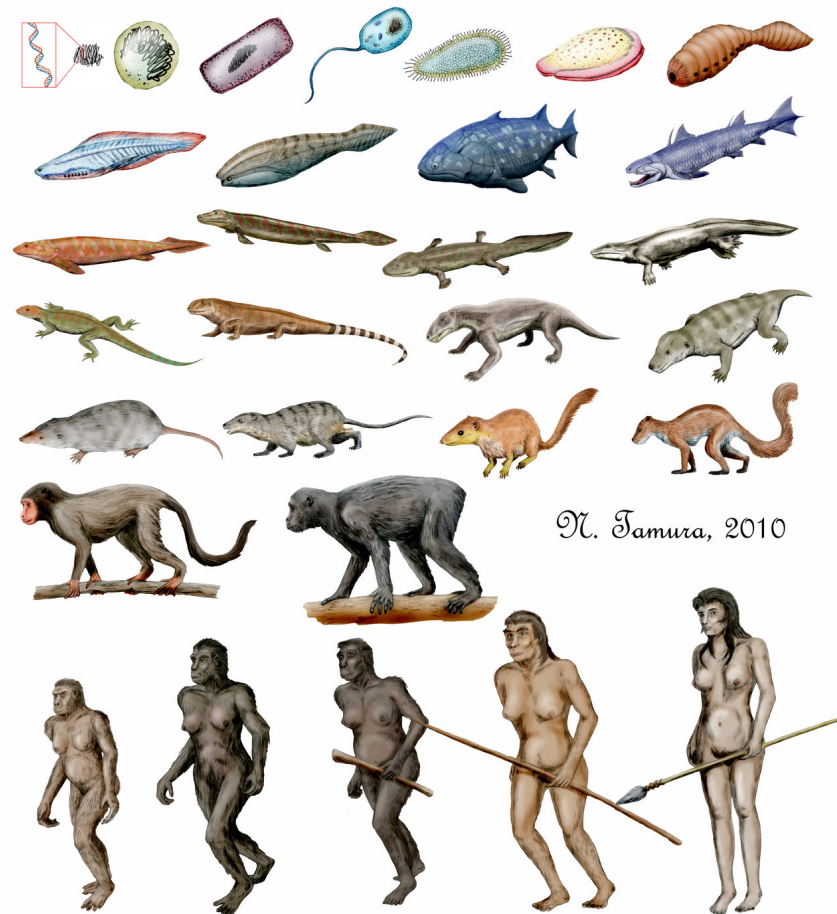


Livets træ er vidt og bredt og denne figur er en illustration af det enorme fylogenetiske træ man behøver for at vise den store artsrigdom på Jorden.

Her er det relevant at nævne den kambriske eksplosion (542 mio. år siden), hvor antallet af arter stiger voldsomt. Derudover er særligt er fem store masseuddøener ("Mass Extinction") tydeligt illustreret hvor forgreningerne forsvinder. Særligt den seneste (for 66 mio. år siden) illustrerer hvordan det påvirkede dinosaurerne (som blev udryddet) og pattedyrene (som pludselig fik mulighed for at udfolde sig).

Fra celle til menneske

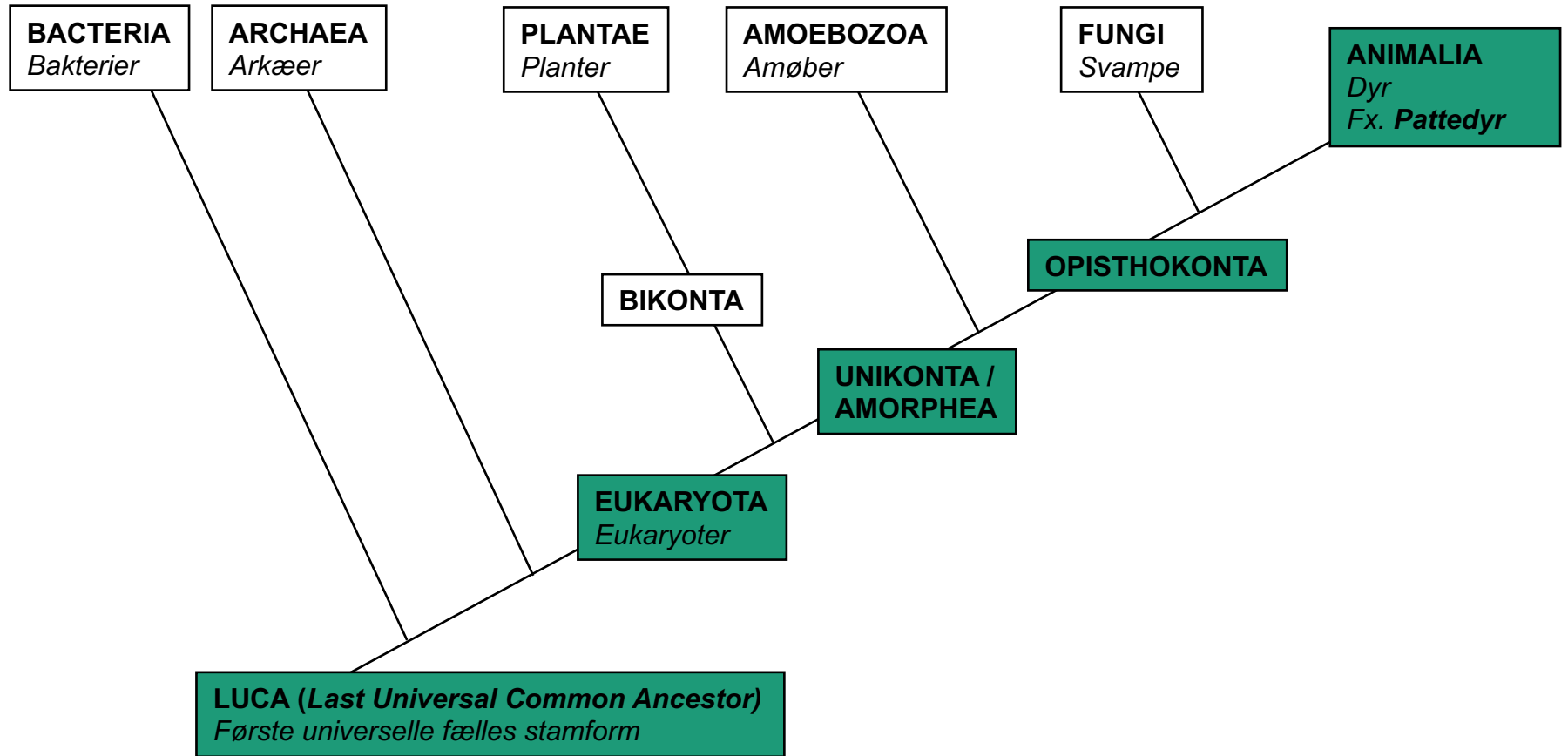
- Menneskets udvikling har været lang: Fra en gruppe af enkelte celle der samlede sig til en samarbejdende organisme via havdyr der valgte at gå på land, gennem abelignende arter der bruger værktøj til de mennesker vi er i dag
- Mennesket i dag har måske ikke meget til fælles med de tidligste former, men hvert enkelt 'skridt' udgjorde kun en lille ændring.
- Mennesket kan finde fællestræk med de arter som udviklede sig divergent fra den stamfader vi har til fælles
- Det skal vi se i det følgende hvor vi følger nogle af skridtene på vejen fra de første celler til mennesket



På figuren ser vi et bud på tidligere og tidligere stamformer til mennesket. Dette er man dog langt fra sikker på, da der langt fra findes fossiler af hvert led. Figuren skal blot illustrere hvordan mennesket ikke ser ud til at have meget til fælles med de tidligste arter, men hvis man ser på de enkelte skridt mellem stamformerne, så virker ændringerne ikke så drastiske.

Kendskab til organismernes historie er vigtig. Den giver et indblik i arternes tilpasning til forskellige miljøer, og hjælper os til at forstå processer, mekanismer og detaljer i den verden, der omgiver os, i en større sammenhæng. Menneskets evolution mangler stadig meget forskning, hvis det overhoved nogensinde bliver helt fastlagt.

Livets stamtræ



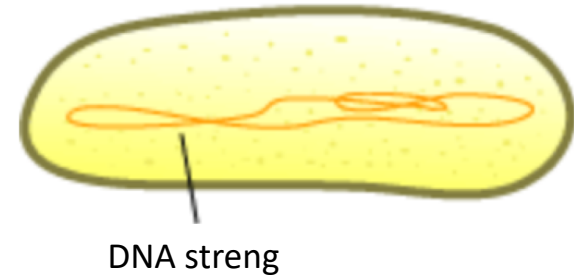
På det basale plan blandt liv på jorden, er det særligt på celleniveau vi ser forskellige eller fælles karaktertræk. I det følgende vil der være lignende stamtræer, som bliver mere og mere specifikt fokuseret på mennesket og de karaktertræk mennesket har til fælles med (eller som adskiller os fra) alt andet liv på jorden.

Eksempelvis er det antallet af flagella (haler, fra græsk "kontos") på cellerne der oprindeligt deler planter fra dyr. Unikonta har en enkelt flagella og opisthokonta er gruppen af heterotrofe eukaryote organismer, såsom dyr og svampe hvis celler bevæger sig ved hjælp af en enkelt bagudrette flagella (fx hos piskesvampe og i sædcellen hos dyr). Desuden bruger de glykogen (og ikke stivelse) til lagring af energi.

Amøberne har muligvis en biologisk rekord: Det største genom med 670 mia. Basepar (Polychaos dubium) – til sammenligning har menneske 3,2 mia. basepar.

De første celler

Eksempel på prokaryot:



- Grundstenen til den store artsrigdom vi kender i dag starter med et selv-kopierende molekyle (muligvis en form for RNA)
- Da RNA bliver omsluttet af en fedtmembran, kan kopieringen forløbe mere kontrolleret og herfra findes de første celler.
- Alt det vi kalder liv på Jorden består af celler, og udvikler sig gennem proteindannelse kodet med dets DNA
- De simpleste celler vi kender til er prokaryoter: Celletypen der opstod '*pro*' (før) celler med en '*karyon*' (kerne). Her flyder DNA frit rundt i cellen.
- Det er prokaryoter som cyanobakterierne, der er de første organismer til at benytte fotosyntese i deres stofskifte, og dermed accelererer livets formeringsrate på jorden

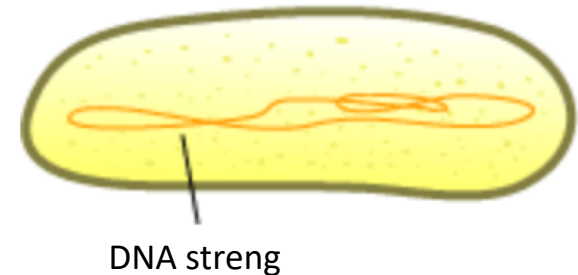
Alle bakterier (og arkæer) er prokaryoter, nogle af disse har dog en mere avanceret intern struktur end hvad der er angivet på figuren.

Flere detaljer kan findes i materialet om 'Det Tidligste Liv' samt under 'DNA', 'Celler' og 'Fotosyntese'.

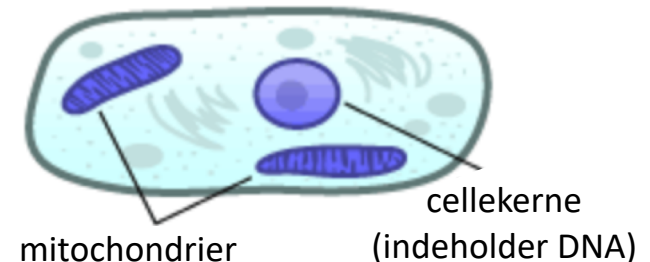
Fra prokaryoter til eukaryoter

- Fra livet opstår var første skridt mod mennesket at prokaryoter (celler uden cellekerne) blev til de mere komplekse eukaryoter (celler med cellekerne)
- Sker for 1,5-2 milliarder år siden
- Karaktertræk hos eukaryoter:
 - DNA samles i cellekernen i stedet for at ligge frit i den prokaryote celledes cytoplasma
 - Indfoldninger i cellens ydre membran og endosymbiose danner organeller (cellens 'organer')
 - Alt andet liv end bakterier (og arkæer) består af eukaryote celler

Eksempel på prokaryot:



Eksempel på eukaryot:



Den tidligste prokaryote celle, indeholdt ikke meget andet end DNA i cytoplasmaet. Den prokaryote celle bliver til en struktureret eukaryot celle, hvor processer sker i hvert sit aflukkede organel, hvilket sænker risikoen for at der sker fejl under de mange kopieringer af DNA eller opbygninger af proteiner.

Indfoldninger i cellens ydre membran skaber 'lommer' inde i cellen, hvilket giver anledning til forskellige miljøer heri. Eksempelvis ses det at Lysosomer (den eukaryote celledes nedbrydningsorgan) har nedsænket pH værdi i forhold til resten af cellen. Dette ville ikke være muligt at opretholde uden de indre membraner.

Opståen af mitochondrier og chloroplaster er opstået ved endosymbiose, hvor én celle har spist en anden celle og hvor nedbrydningen af den spiste celle, af en årsag ikke er fuldstændt. I stedet opstår f.eks. Mitochondriet som organel der kan bruges til at danne brugbar energi vha. oxygen i stedet for andre stoffer.

Cellers fremdrift

- Celler kan opnå fremdrift ved brug af flagella ("pisk")
- Hos prokaryoterne kan flagella rotere, og drives af en proton motor (dvs. protoner som drives over cellemembranen ved et potentiale opbygget gennem cellens stofskifte)
- Hos eukaryoter (fx dyr og planter) kan den bøje og dermed vifte fra side til side og drives ved hjælp af ATP (dvs. på samme måde som muskelfibre arbejder i mennesker)

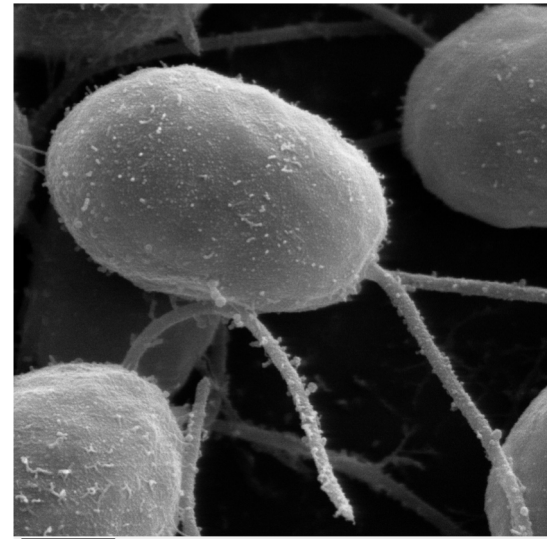
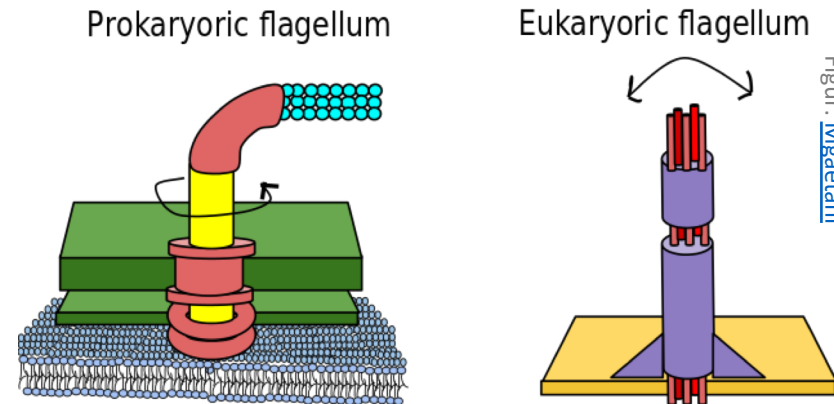


Foto: [Dartmouth Electron Microscope Facility, Dartmouth College](#)

Eksempel på flagella hos grønalger



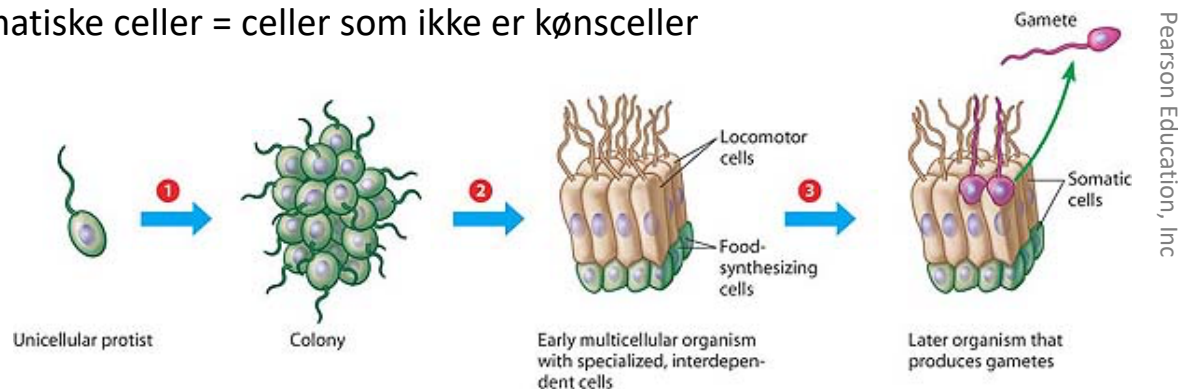
Figur: [Maetani](#)

Alle eukaryote celler har det til fælles at de har (eller har haft) adgang til brugen af bøjelige flagella, men ikke til roterende flagella.

På dette mikroskopisk niveau af vores undersøgelse af liv på jorden, og organismernes teknik til at bevæge sig, ser vi en signifikant forskel mellem eukaryoter og prokaryoter.

Fra enkeltcellet til flercellet liv I

- Enkeltceller lever som individer, og reproducerer når forholdene er gode nok
- I flercellede organismer er nogle celler specialiserede, og kun nogle af dem (kønscellerne) reproducerer sig selv. De enkelte celler har altså lært at samarbejde for fællesskabets bedste
- Figuren nedenfor illustrerer dette skift fra en koloni af encellede organismer til en egentlig flercellet organisme hvor de enkelte celler er specialiserede til en bestemt opgave, hvilket kan give de multicellede liv en fordel
 - Fx er her vist celler til at producere energi, celler til transport, og i sidste skridt kønsceller der producerer gameter (kopier af kønscellen)
 - Somatiske celler = celler som ikke er kønsceller

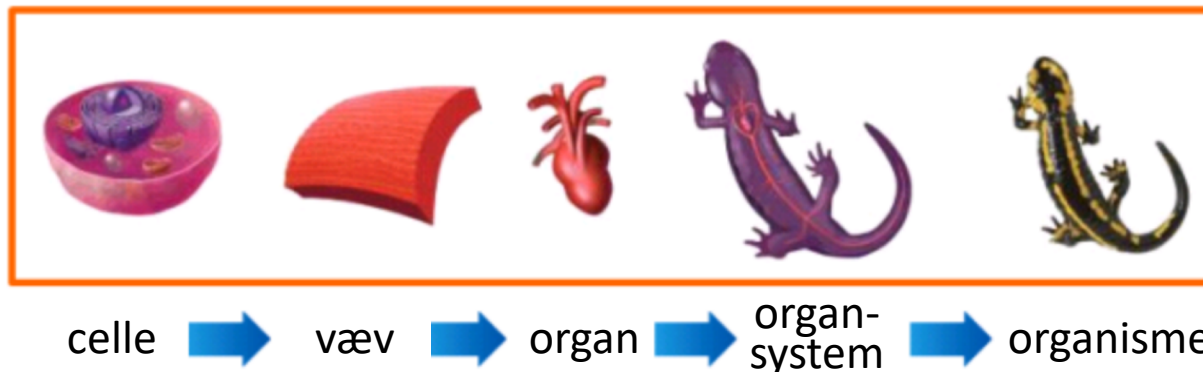


I laboratorie-eksperimenter med enkeltcellede organismer er det muligt at følge deres udvikling til flercellede organismer tæt, hvilket bekræfter at denne teori er korrekt. Man observerer at flercellede organismers 'fitness' bliver bedre, hvilket giver den en mulighed for at overleve i en verden af encellede organismer.

Klassisk eksempel på flercellede organismers samarbejde, er at de enkelte celler nu skal koordinere reproduktion med resten af organismen. Enkelte celler, der ikke følger de genetiske begrænsninger og formerer sig uden kontrol, er hvad vi refererer til som 'kræft'.

Fra enkeltcellet til flercellet liv II

- Dette samarbejde og koordinationen af enkelte eukaryote celler sker for ca. 1 mia. år siden og markerer en af de første milepæle mod mere komplekst liv
- Det flercellede liv kan danne mere komplekse strukturer og derved mere komplekse organismer, illustreret på figuren nedenfor.
- Fællestræk ved flercellede organismer:
 - De enkelte celler opererer ikke længere alene, men indgår som del af en større organisme
 - Alle dyr og planter på land, de fleste svampe og mange algearter er flercellede organismer



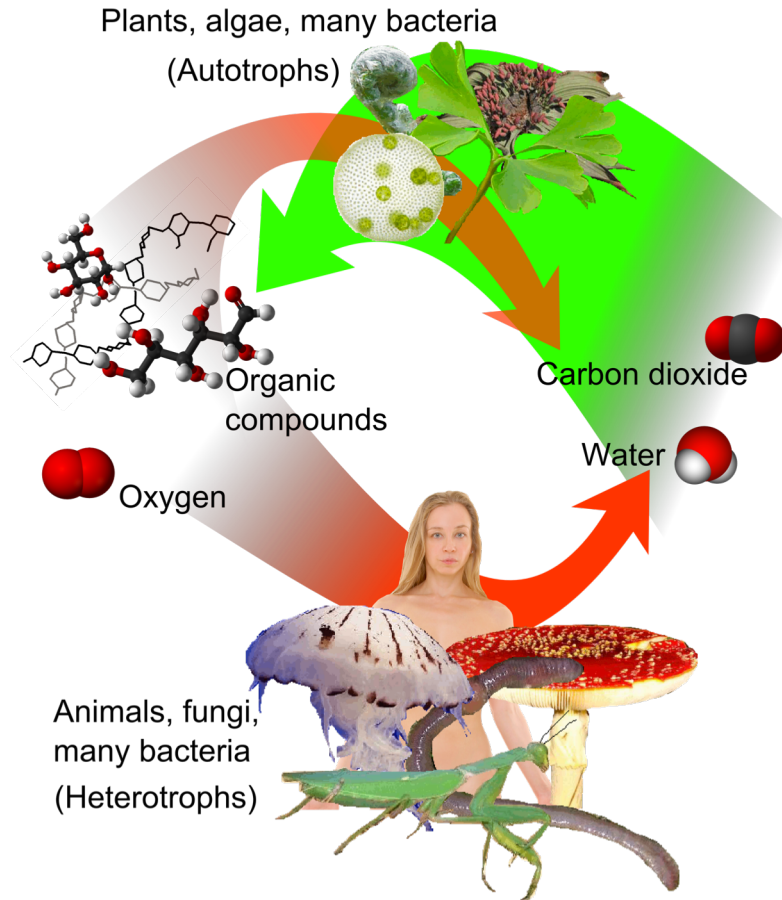
celle → væv → organ → organ-system → organisme

Det antages at grundet fejl i segregering af datterceller opstod symbiose hvor specialiseret væv blev dannet. Segregering = Celledeling hvor der opstår 2 nye celler, fra én gammel celle. Det specialiserede væv danner forskellige organer fx i mennesket. Det kunne være hud, muskler, lever eller lignende organer hos os.

For ca. 1 mia. år siden begyndte enkeltcellede alger (eukarioter) at klumpe sammen og over de næste 50-100 mio. år starter det første samarbejde ved først en koordinering af celledelingen og derefter en koordineret retning af deres 'finne'/hale (hvormed kolonien kan svømme i en bestemt retning). Efter endnu omkring 50-100 mio. år får de enkelte celler for første gang specialiserede opgaver, og er dermed (i princippet) ikke længere i stand til at overleve udenfor 'kollektivet'.

Heterotrofe organismer

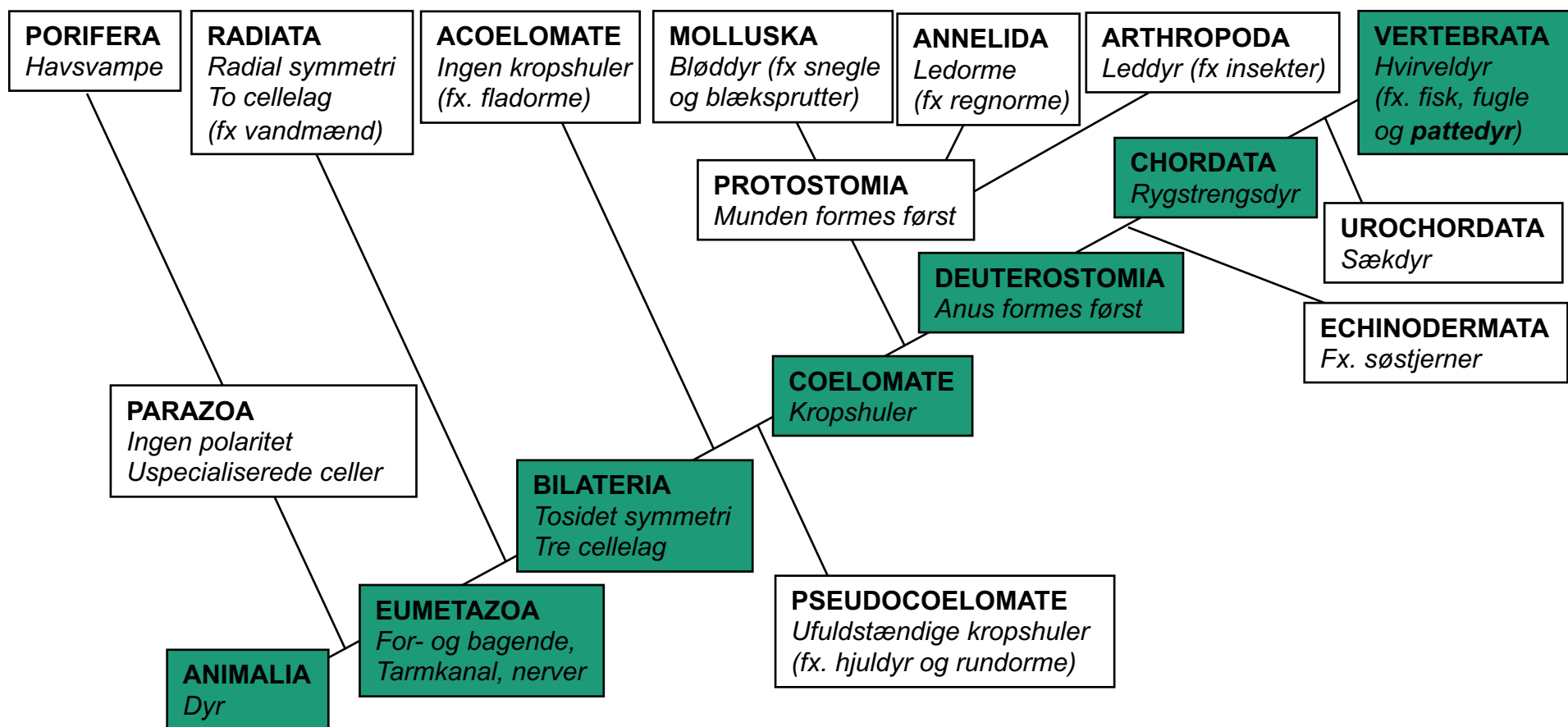
- Dyreliv opstod for alvor da de flercellede organismer begyndte at spise andre organismer!
- Disse heterotrofe organismer (dyr) udnytter allerede dannet organisk materiale som føde og energikilde.
- Alle dyr og svampe samt flere bakterier er heterotrofe organismer og alle sammen efterkommere efter de første celler der valgte at spise andre celler.
- Planter spiller en vigtig rolle som producenter af organisk materiale til de heterotrofe organismer
- Herbivore dyr (planteædere) kan senere blive spist af carnivore dyr (kødædere)



Alle planter, alger og mange bakterier er autotrofe organismer, der selv kan opbygge organisk materiale ud fra uorganiske bestanddele.

Der findes to slags autotrofe organismer: Fotoautotrofe og kemoautotrofe. Fotoautotrofe er fx grønne planter, alger og visse bakterier der udnytter sollys som energikilde. Kemoautotrofe bakterier bruger kemisk energi bundet i uorganiske forbindelser fx svovl eller jern.

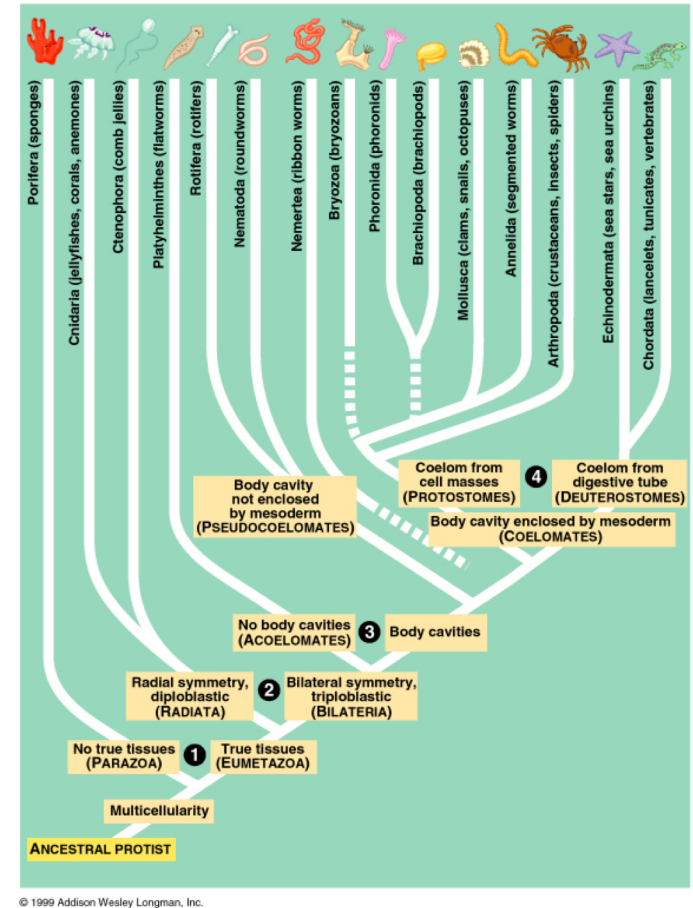
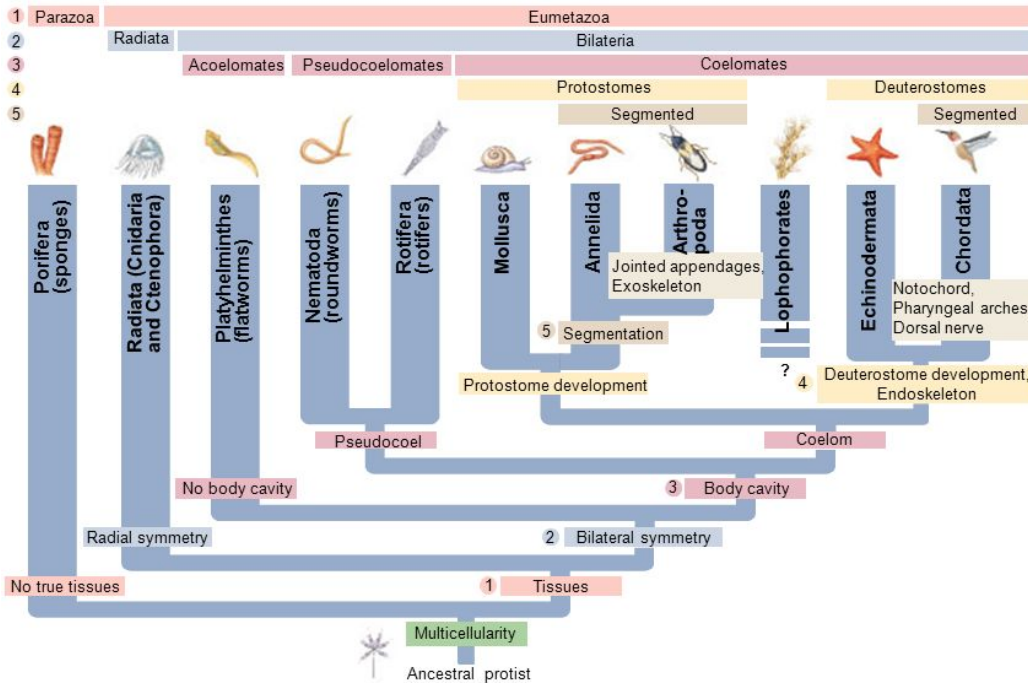
Dyrenes stamtræ



Nu kan vi kigge lidt nærmere på dyreriget, og det slægtskab vi har med andre typer af dyr. Her først på et 'primitivt' niveau i forhold til cellelag i dyr, og deres indvolde (eller mangel på samme). Efterfølgende ser vi på mere 'komplekse' strukturer hos hvirveldyrene

Mere information: fx [Gyldendals Store Danske](#), [PennState Biology Class](#)

Dyrenes stamtræ II



© 1999 Addison Wesley Longman, Inc.

Andre figurer, der viser det samme som på foregående slide, men med flere eksempler på dyr inden for hver gruppe.

Indikeret er også de forskelle der adskiller de forskellige grupper.

Dyr- celler og vævslag

- Eumetazoa: dyr karakteriseret ved at have en mund og en tarmkanal, en polaritet (altså en retning fx for- og bagende) og celler specialiseret til brug som sanse- og nerveceller
- Bilateria: dyr med en for- og bagende, samt tre vævslag i foster stadiet:
 - ektoderm (yderst): fx huden, munden
 - endoderm (inderst): fx tarmkanalen, lunger, lever
 - mesoderm (indimellem): fx skelet, muskelvæv og yderlag af indre organer

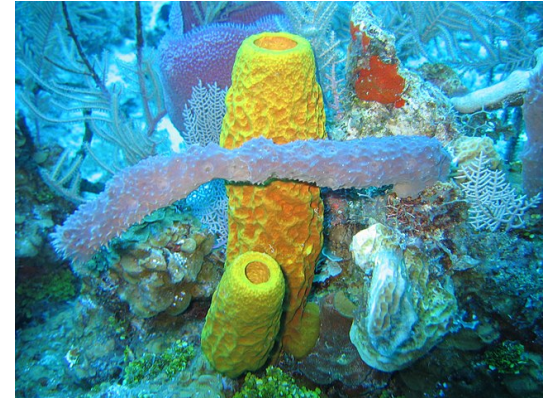
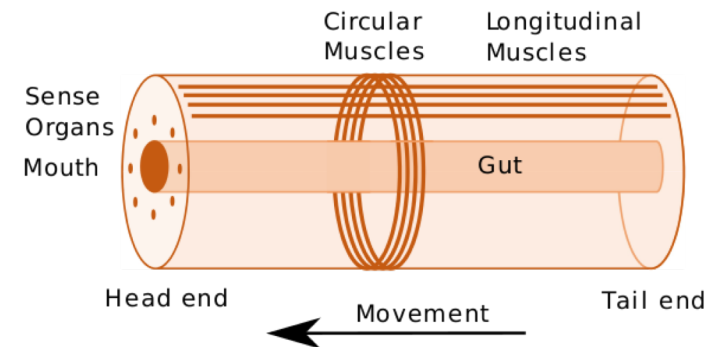


Foto: NOAA

Havsvampe (dyr der ikke er del af eumetazoa)



Figur: Ian Alexander

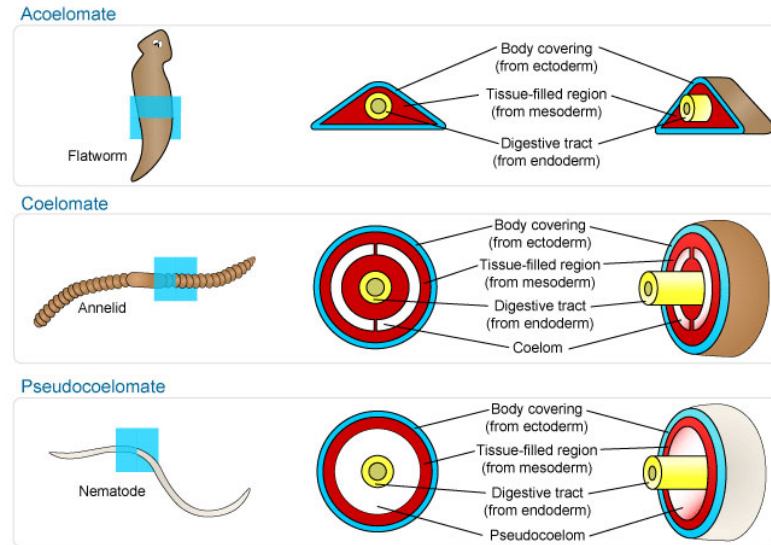
Her karakteriserer vi altså dyr efter organiseringen af celler og vævslag. Mennesket er altså en del af eumetazoa, hvorimod fx havsvampe (*porifer*), som er afbilledet øverst, ikke er en del af eumetazoa, da deres krop ikke har en bestemt symmetri og har ikke noget fordøjelsessystem eller blodkredsløb. I stedet er de afhængige af at vand konstant flyder igennem deres mange pore for at bringe føde og fjerne affaldsstoffer.

Vandmænd er ikke en del af bilateria, da de har radial symmetri, ingen mesoderm og kun en åbning til endodermen (dvs. at åbningen er både mund og gat for tarmen). Figuren til højre illustrerer et (meget) idealiseret bilaterisk dyr med for- og bagende, en tarmkanal med en åbning i begge ender af dyret. Da dyret har en retning får en af enderne (forenden, eller den ende der er forrest når dyret bevæger sig), flere sanseindtryk og udvikler dermed sanseorganer.

Mesoderm, lyder måske blot som en lidt ekstra kød på et dyr, men det er afgørende for at vi kan have mere komplekse organer

Dyr og tarmkanalen

- Coelomata: dyr med krophule (*coelom*)
 - Fx har mennesket bughulen, hvor indvoldene ligger 'løst' i et væskefyldt hulrum begrænset af kropsvæggen
- En umiddelbar lille forskel opdeler to store grupper af coelemater, alt efter hvad der dannes først:
 - Mund: Protostomia (Fx bløddyr og leddyr)
 - Gat: Deuterostomia (Fx hvirveldyr dvs. fisk og pattedyr)



Dept. Biol. Penn State ©2002

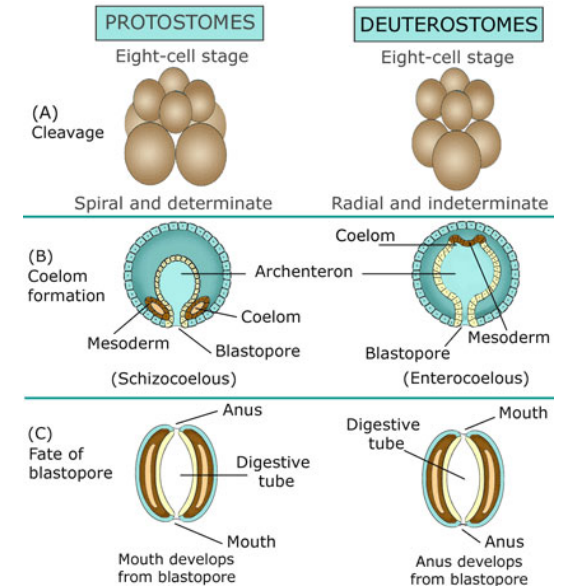


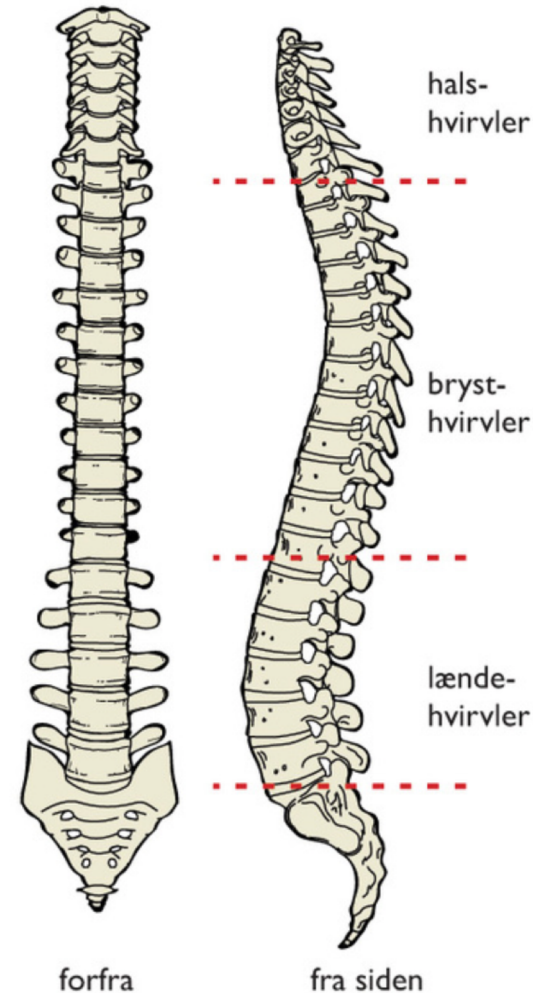
Figure 1: PennState Biology Department

Her snakker vi altså om dyr på organ-niveau. Figuren øverst sammenligner coelemata med dyr uden krophuler (acoelomata) og dyr med en ufuldstændig kropshule (pseudocoelomata). Coelom giver mulighed for at de indre organer kan bevæge sig uafhængigt af resten af kroppen og væsken, som organerne ligger i, er med til at absorbere slag.

Navnene på de to grupper af coelemater refererer til munden ("stomia"). Hvor protostomia ("første mund") beholder den først dannede mundhule (*blastoporen*) som mund, så bliver urmunden hos deuterostomia ("anden mund") til gat og en 'anden' mund dannes.

Hvirveldyr (vertebrater): Dannelsen af en rygrad

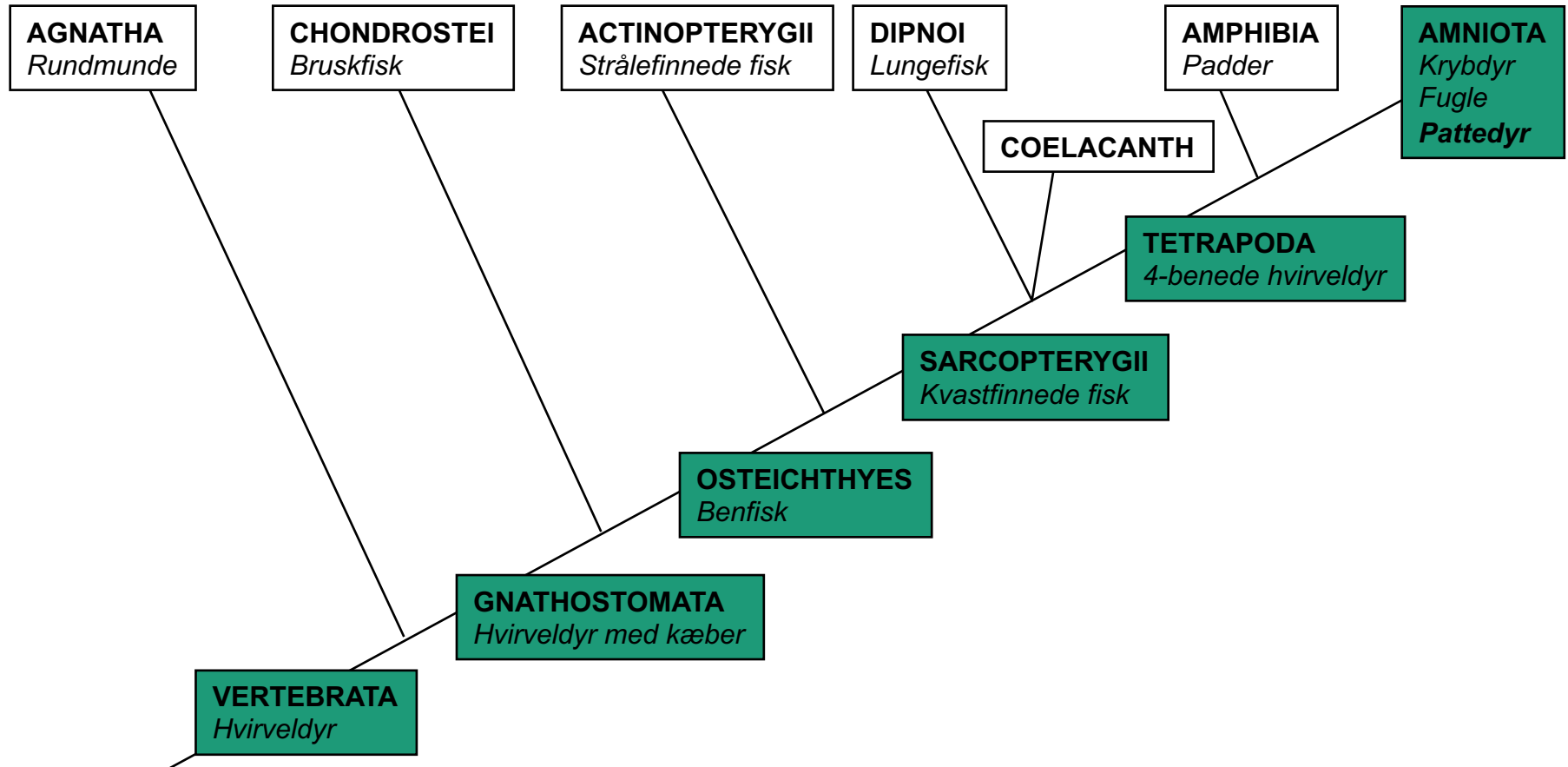
- Dannelsen af rygraden (ryghvirvler) og skelettet giver anledning til fasthæftning af muskler. Samlet set danner de bevægelsesapparatet
- Hvirveldyr indbefatter fisk, padder, krybdyr (inkl. fugle) og pattedyr
- Fællestræk for hvirveldyr
 - Rygsøjlen er dannet af hvirvler liggende i en række med indbyrdes bevægelige forbindelser.
 - Knoglerne i skelettet er forbundet af led som giver stor bevægelighed
 - Skelettet er bygget af brusk og ben.
 - Har en hoved-, en krop-, og en haleregion
 - Har to par lemmer: finner (fisk), ganglemmer (landdyr), vinger (fugle)



Udviklingen af hvirveldyrene er fundet sted gennem de sidste 500 millioner år (og opstod under den kambriske eksplosion).

Krybdyr og pattedyr har ved at udvikle en lang halsregion i rygsøjlen opnået en stor bevægelighed af hovedet.

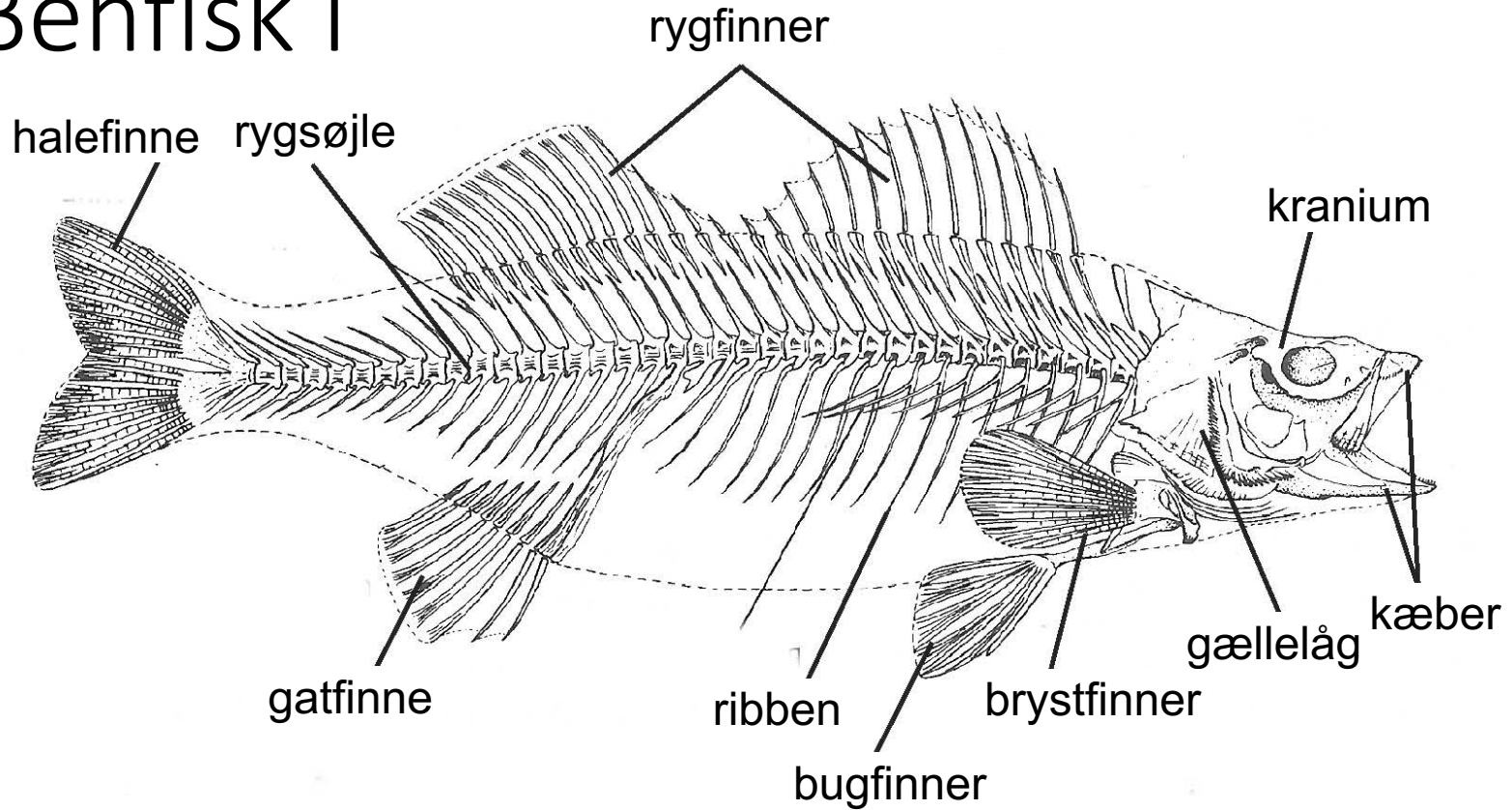
Hvirveldyrenes stamtræ



Vi formoder at hvirveldyrenes stamtræ ser ud som ovenstående, hvor vi dog stadig er usikre på det evolutionære slægtskabet fra kvastfinnede fisk til lungefisk, coelacanth og tetrapoder (og vi skal derfor give lidt information om dem alle).

Andre forgreninger fra træet, som er værd at udpege er: bruskfisk (hajer, rokker) og strålefinnede fisk (omkring 96% af alle nulevende fiskearter).

Benfisk I

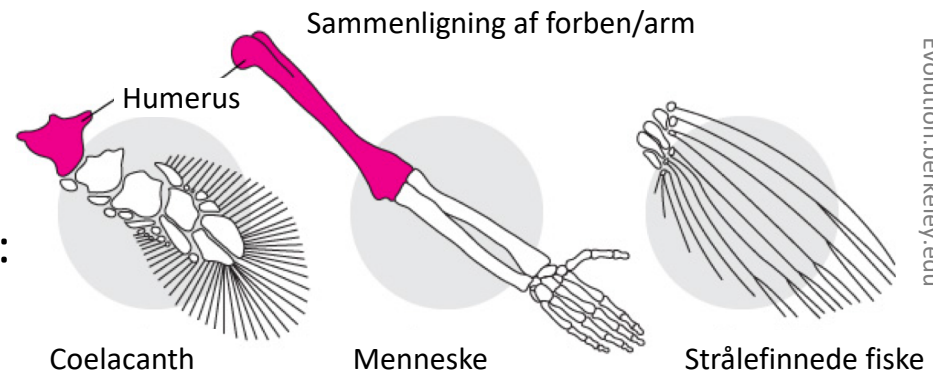


Benfisk (*Osteichthyes*) er hvirveldyr med et skelet af ben (og ikke kun brusk). De er vandtilpasset med et respirationsapparat der muliggør oxygenoptagelse fra vand. Andre tilpasningsmekanismer involverer bl.a. osmosegulering og en luftfyldt sæk, som regulerer vægtfylden og gør det muligt for fisken at opholde sig i bestemte dybder. Der findes ca. 28.000 arter (hvoraf en af dem er mennesket).

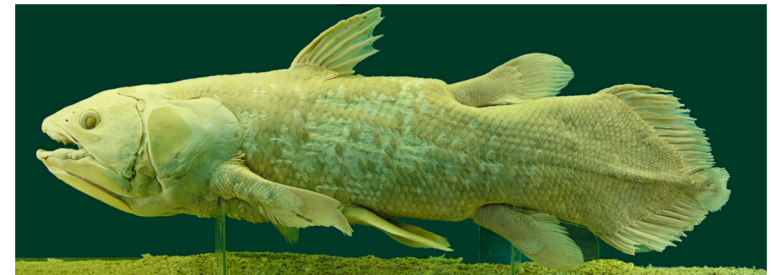
Illustrationen forestiller ikke en bestemt fisk, men minder meget om de strålefinnede fisk vi ser i dag. Selvom den lever i vand, kan vi allerede med benfisken se at der er nogle dele af anatomen der minder om menneskets.

Kvastfinnede fisk

- Fra disse urfisk opstod to klasser af fisk (for omkring 400 mio. år siden):
 - Strålefinnede fisk (med finner der 'stråler' ud fra skellet)
 - Kvastfinnede fisk (med muskler ude i finnerne)
- Kvastfinnede fisk som coelacanthen eller *Eusthenopteron* er 100% vandlevende og er ikke i stand til at gå på land (ilt fra luften, udtørring, tung krop, etc.)
- Deres 'kvastfinne'-knogle (humerus) svarer dog til overarms-/lårbenknoglen (humerus) i landdyr og er første skridt mod liv på land



Coelacanth (eksempel på kvastfinnet fisk)



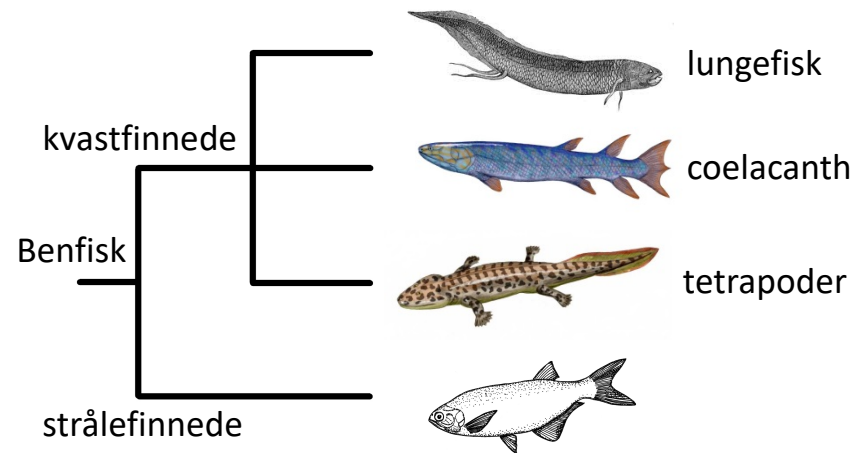
Grøn fisk (eksempel på strålefinnet fisk)

Alene fra formen af forbenet/armen kan man nærmest gætte at mennesket (og de fleste andre landlevende dyr) nedstammer fra de kvastfinnede fisk

Der er flere hypoteser for hvorfor livet gik fra vand til land. En hypotese er at de kvastfinnede fisk kom i undertal efter en stor masseuddøen (grundet klimaforandringer), og de kvastfinnede fisk fandt en niche på land.

Kvastfannede fisk - efterkommere

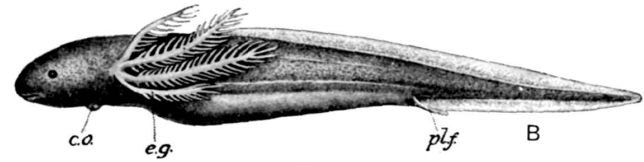
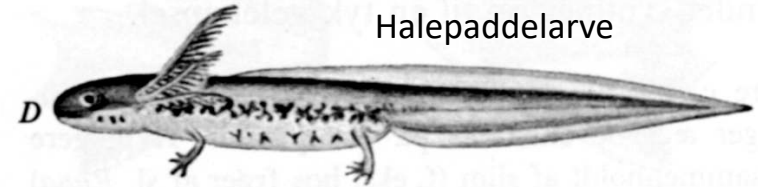
- Efterkommerne af stamformen til kvastfannede fisk er:
 - Lungefisk
 - Coelacanth (og andre kvastfannede fisk)
 - Tetrapoder
- Vi kender ikke det indbyrdes slægtskab mellem de tre grupper af kvastfannede fisk, og ved altså ikke om vi (som tetrapoder) er nærmere beslægtet med lungefisken eller kvastfannede fisk såsom coelacanth.
- Slægtskabet er derfor i figuren angivet som om at de tre grupper er lige nært beslægtet.



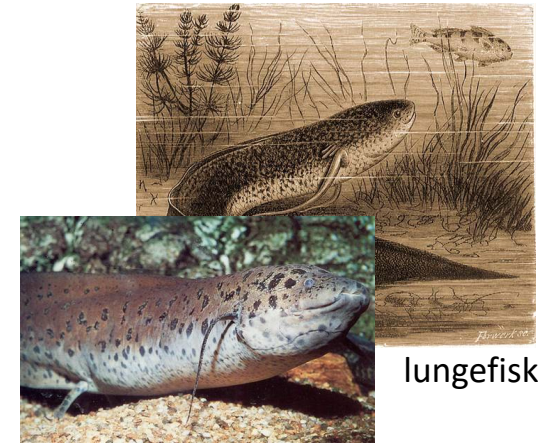
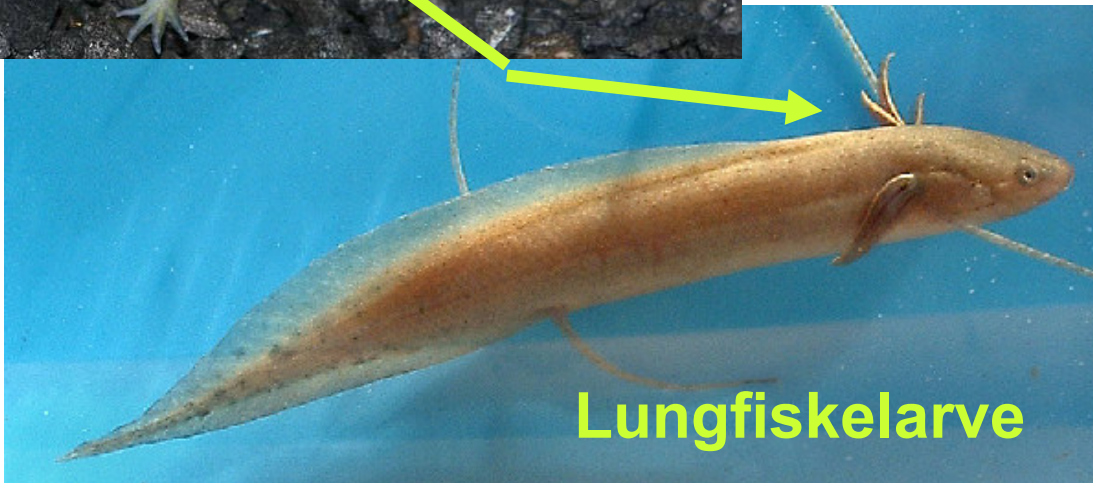
Da det er tetrapoderne som træder op på land, er det dem vi følger her, men både lungefisk og coelacanth er beskrevet kort på de næste slides

Lungefisken

Halepaddelarve



Lungfiskelarve



lungefisk

Halepaddelarven (axolotl) er en fisk, som hele sit liv lever som larve (neoteni). Dette betyder at det har en helt fænomenal evne til at regenerere væv og kropsdele, hvilket forskere har testet ved fx at transplantere et hoved fra et individ hen på et andet individ (som levede i 65 uger), eller ved at placere nogle celler fra en neonaxolotl i en hvid axolotl.

Axolotler minder rigtig meget om larvestadiet af lungefisken. De har begge ydre gæller til respiration, men kan også trække oxygen fra luften ned i maven.

Coelacanthen

- Coelacantherne er de eneste nulevende kvastfinnede fisk
- Er altså tættere relateret til mennesket end til strålefinnede fisk, såsom torsken
- Coelacantherne opstod for ca. 400 mio. år siden og har ikke ændret sig særlig meget siden



Foto: [Ballista at English Wikipedia](#)



Foto: [OpenCare](#)

Brystfinne



Foto: [Citron / CC-BY-SA-3.0](#)

To arter er kendt, som er yderst truede: Øverst til venstre er en model af *Latimeria chalumnea* (også kaldet blåfisk) og til højre ses et bevaret eksemplar af *Latimeria manadoensis*.

Nederst er et billede af brystfinner hos en coelacanth, hvor forskellen til de strålefinnede fisk er tydelig.

Tetrapoder: Fra vand til land

- Med tetrapoderne rykker livet op på land, og det er en udfordring. Det klarer hvirveldyrene med nogle nye karaktertræk
- Fællestræk for tetrapoder:
 - Lunger
 - Udviklet fra en del af benfiskenes luftfyldte sæk, som hos nutidens fisk er blevet til en svømmeblære
 - Parrede finner bliver til ganglemmes
 - Ganglemmes blev udviklet fra bryst- og bugfinner
 - Udviklingen skete under vand, for at hjælpe med at kravle over bunden. Dette gav ophav til at bevæge sig videre på land!
 - Vandrings på land kræver et forstærket bækkben (pelvis)
 - Indre næsebor i mundhulen
 - Har en hals

Eusthenopteron (slægtning til tetrapodernes stamform)



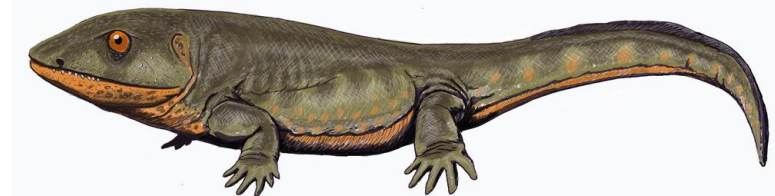
Figur: Nobu Tamura

Acanthostega (en tidlig tetrapod)



Figur: Nobu Tamura

Pederpes (første landlevende tetrapod)

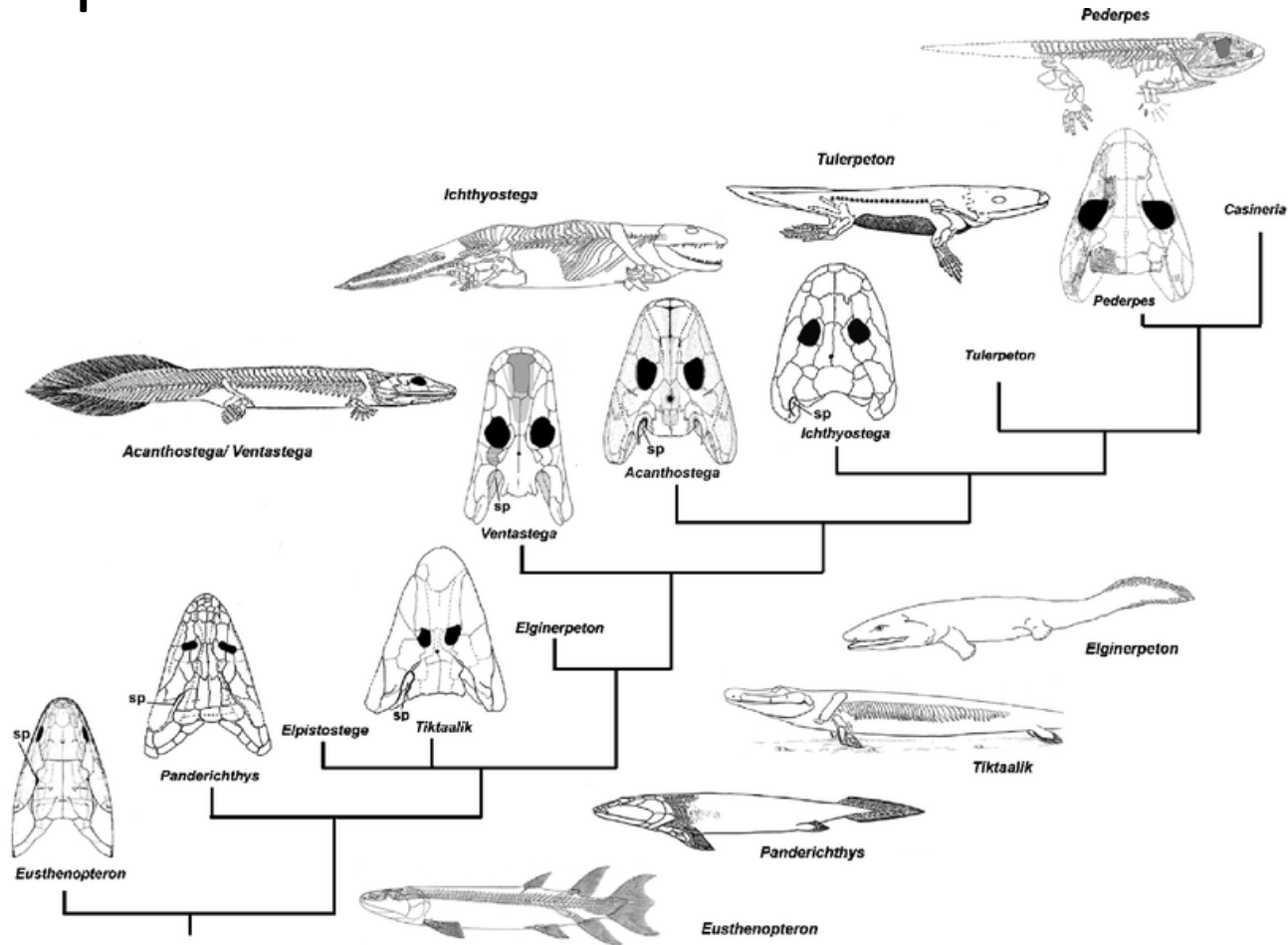


Figur: DiBgd

Alle disse nye træk kommer naturligvis løbende men vi regner med at de første tetrapoder levede på land for ca. 360-350 mio. år siden.

Som nævnt ved vi heller ikke hvilken vej det går fra den oprindelige stamform til kvastfinnede fisk til tetrapoderne, men som eksempel tager vi her udgangspunkt i at den er opstået fra den kvastfinnede fisk (fx *Eusthenopteron*, som er slægtning til tetrapodernes stamform blandt de kvastfinnede fisk).

Tetrapoder: Fra vand til land II



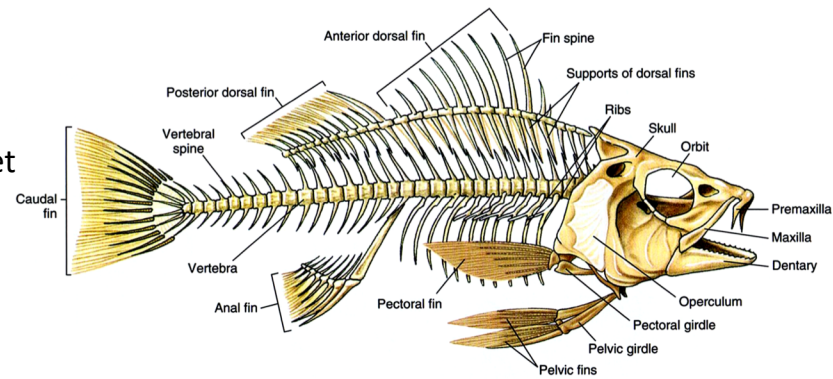
Fylogeni over tetrapoderne frem til *Pederpes* baseret på morfologi (altså karakteristika for de fossiler vi indtil videre kender til).

Figur og flere detaljer i Clack (2009): The Fish–Tetrapod Transition: New Fossils and Interpretations. *Evolution: Education and Outreach* 2, pp 213-223 ([link](#))

Tetrapoder vs. strålefinnede fisk

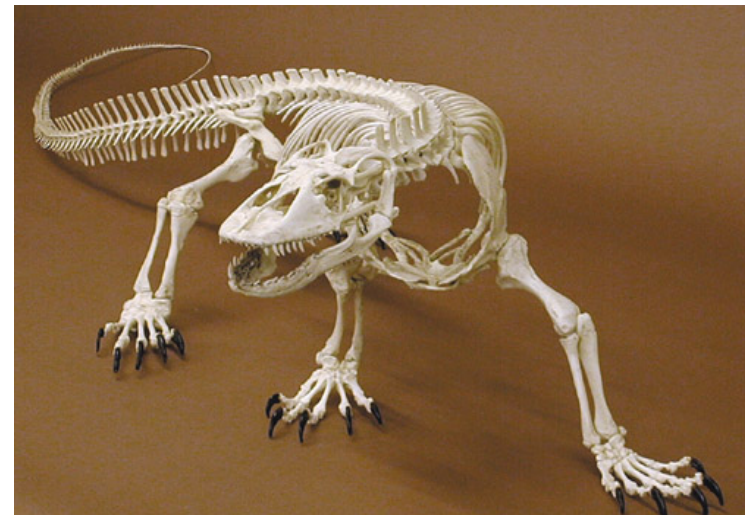
STRÅLEFINNEDE FISK

- Gællebueskelet støtter gællespalter
- Gællelåg dækker gællespalter – integreret del af kranieskelettet
- Ingen hals
- Ribben som regel ned gennem hele kroppen
- Parrede ekstremiteter er finner
- Skulderbæltet integreret i kraniet
- Bækkenbæltet helt frit – ikke forbundet med hvirvelsøjlen
- Bælter simple
- Ingen led ude i ekstremiteterne (finnerne)



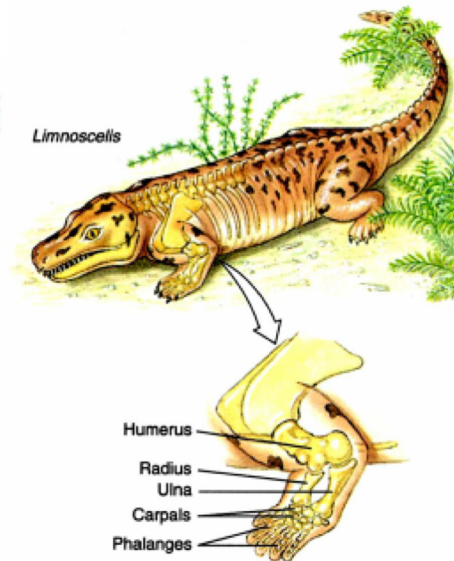
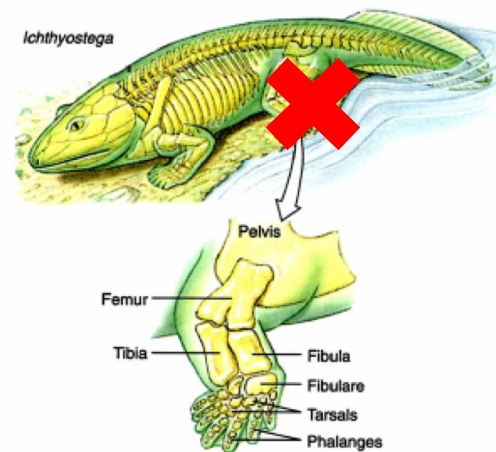
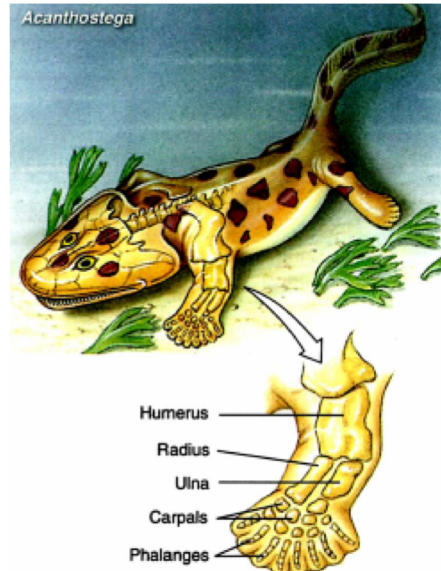
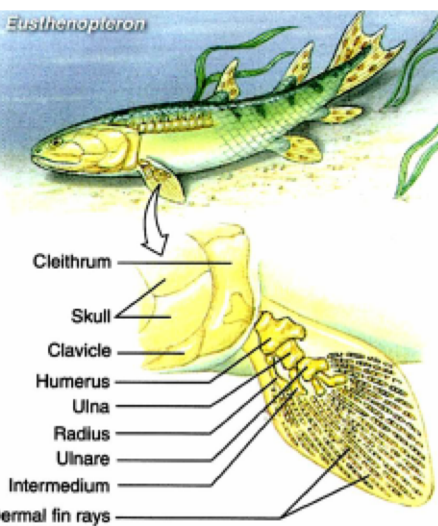
TETRAPODER

- Gællebueskelet reduceres/modificeres
- Gællelåg reduceres (øverste knogle bliver øreknogle)
- Hals
- Ribben som regel kun i brystregionen
- Parrede ekstremiteter er leddelte for- og baglemmer
- Skulderbæltet frit af kraniet – støtter mod ribben
- Bækkenbæltet forbundet med hvirvelsøjlen (bækkenhvirvler)



Tetrapoder - Ganglemmer

- Eksempel på mulig udvikling af ganglemmer fra kvastfinnede fisk (*Eusthenopteron*) til de første landlevende tetrapoder her i form af et tidligt landlevende krybdyr (*Limnoscelis*)
- Vigtige ændringer: Ændring fra finner til lemmer, et løst kranium på en hals, gæller forsvinder.

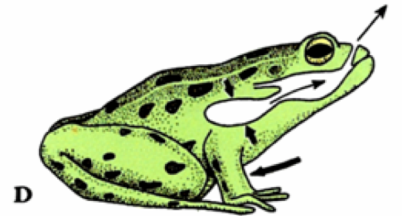
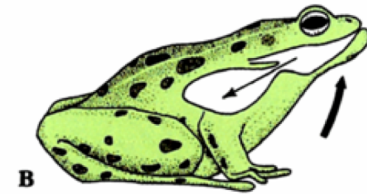


Fossiler fra eksempelvis Østgrønland viser at disse "firbenede fisk" har levet. Eksempler på stamformer eller slægtninge til stamformer til firbenede landdyr.

En af udfordringerne ved at gå på land er at der ikke længere er vand til at give opdrift, men i stedet skal dyret selv bære hele vægten. Dette har været en udfordring i udviklingen af ganglemmer. En tilpasning er fx at lemmerne på landlevende dyr ikke befinder sig på siden af kroppen som det gør hos fisk, men oftere under kroppen for at kunne bære vægten. Igen skal det nævnes at vi ikke kender den direkte udvikling af tetrapoderne og deres vej fra vand til land, men en mulig vej er fra en tidlig form af kvastfinnede fisk.

Tetrapoder- Lunger

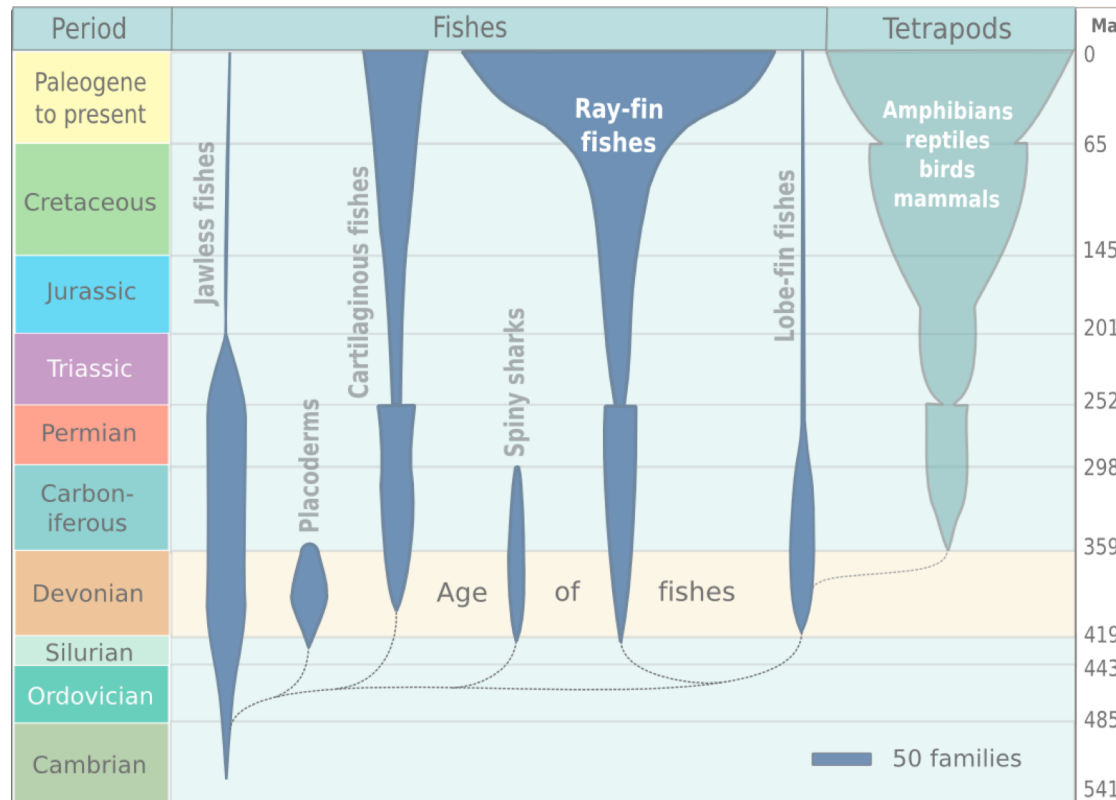
- De første kvastfinnede fisk som gik i land skulle også lære at optage oxygen ved at trække vejret (optage ilt fra luften)
- Lungerne var i tidligere arter en del af fordøjelsessystemet, så de første tetrapoder slugte simpelthen luften og absorberede ilt gennem deres tarme
- En lignende mekanisme ses også ved lungeåndedrættet hos frøer: Luft sluges og presses ned i lungerne
- Fordele ved lunger:
 - Luft er lettere at flytte end vand
 - Der omkring 20 gange mere ilt i luften end i vand



De tidlige benfisk havde både gæller og lunger (som kunne bruges til at trække været eller som svømmeblærer)

Hos de strålefinnede fisk blev lungerne brugt (næsten) udelukkende som svømmeblærer, mens de kvastfinnede fisk skilte sig af med gællerne, og brugte udelukkende lungerne til at trække vejret med.

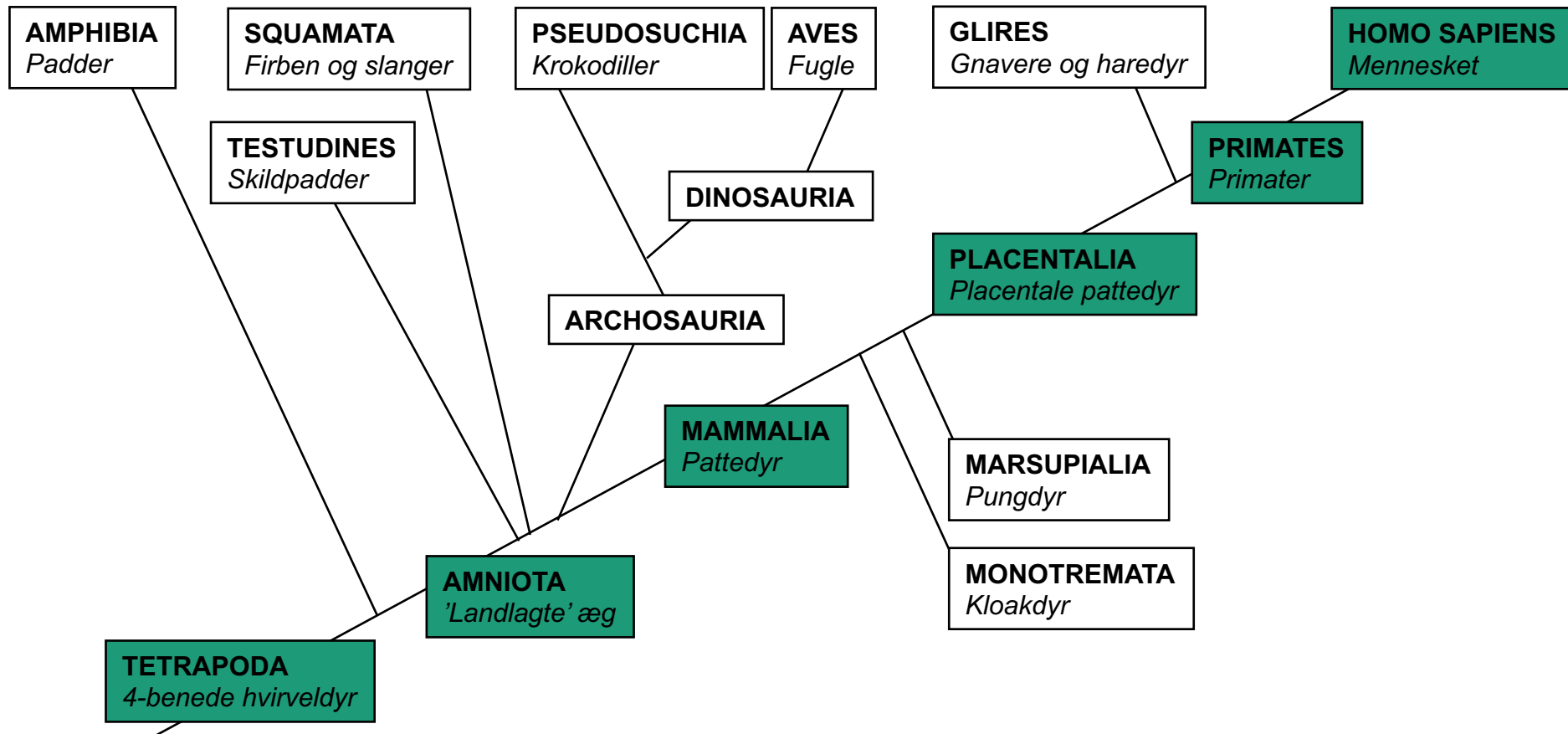
En enkelt variation førte til et overtal af nye arter



Kompliceret figur, hvor det der er værd at fokusere på, er der hvor benfiskene splitter op i strålefinnede fisk (ray-fin) og kvastfinnede fisk (lobe-fin).

Efter de første 100-150 mio. år uddør langt de fleste kvastfinnede fisk, men enkelte variationer af dem kravler på land for omkring 360-350 mio. år siden (Sen Devon) som tetrapoder og det nye habitat giver mulighed for en eksplosion af nye arter (padder, reptiler og pattedyr).

Tetrapodernes stamtræ

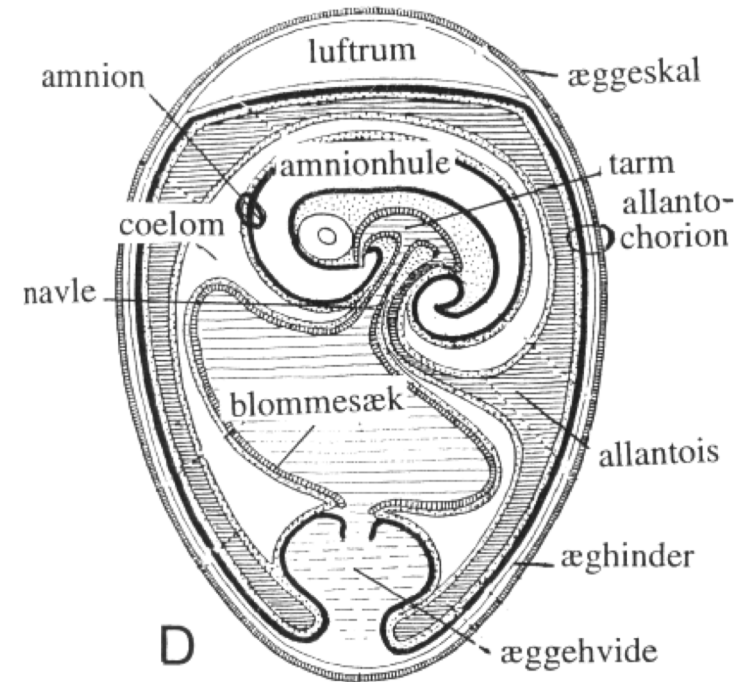


Nu når vi til de 4-benede hvirveldyr, hvor padder og amnioter adskiller sig ved hvor de lægger deres æg (hhv. i vand og på land/inden i moderen). Blandt amnioterne udvikles krybdyr ('reptilia') af hvilke nogle udvikler sig til de enorme dinosaurer. Dinosaurernes eneste overlevende efterkommere i dag er fuglene (flere detaljer senere i dette materiale). Andre udvikler sig til pattedyr af hvilke nogle ender med at flyve, og andre ender i vandet igen

Langt de fleste pattedyr er placentale, men her er mellemgruppen af gnavere og hareddy (Glires) også angivet, da de er den nærmeste gruppe af slægtinge til primaterne blandt de pattedyrene.

Amnioter - dannelsen af æg

- Tetrapodernes fostre vokser i en vandblærer som ikke kan holde til udtørring på land.
- Med udviklingen (for ca. 320 mio. år siden) af et æg med en vandtæt skal (amnion), har fostret et inkubationskammer som det kan gro i, og er afgørende for at landdyr kan bevæge sig længere væk fra havet
- Fællestræk for amnioter:
 - Indre befrugtning
 - Vandtæt æggeskal (faldet bort hos Eutheria)
 - Fosterhinder (amnion, allantois, chorion)
 - Effektive lunger
 - Keratin i epidermis (skæl, fjer, hår)
 - Metanephros (mesonephros kun bitestikel)



Når padderne når haletudse-fiskestadiet bryder de ud af ægget og svømmer rundt. Hos amnioter gennemlever fostrene det tilsvarende stadium inde i amnionhulen. Hos amnioterne har fostrene altså ikke et 'larve'-stadium, men forlader ægget eller maven på moderen som fuldt udviklede dyr. Mange amnioter føder levende unger, men grundtyperne lægger æg. Amniota er altså fuldt tilpassede landdyr, der forlader ægget eller moderen som udviklede landdyr med lungeåndedræt.

Figur til højre viser et eksempel på en amnion. Den tidligste amnion som er fundet menes at være ca. 270 millioner år gammel.

Pattedyr I



Der er over 5400 arter af pattedyr, og der er mange historier at fortælle om den alle. Her fokuserer vi på nogle vigtige fællestræk ved pattedyr, og det kan forhåbentlig inspirere til videre udforskning.

Fokus er fortsat mennesket i denne fortælling, men der er naturligvis mange andre dyr at kigge nærmere på i en anden sammenhæng.

Pattedyr II



Foto: Klausber

Næbdyr (kloakdyr)

- Pattedyr er klassen af dyr med mælkekirtler (bryster), som ernære deres unger med mælk fra moderen
- Dette gælder for alle tre grupper af pattedyr:
 - Kloakdyr (Monotremata) som lægger æg (fx næbdyr)
 - Pungdyr (Marsupiala) som føder relativt underudviklede unger som opholder sig i en pung på moderen mave
 - Placentale pattedyr (ca. 94% af pattedyr, inkl. mennesket) som føder mere færdigudviklede unger
- Fællestræk for pattedyr:
 - Mælkekirtler (giver die til afkom)
 - Forbenet sekundært ganetag
 - Venstresidig aortabue
 - Mellemgulv (Ændedrætsmuskel)
 - Endoterme (varmblodet)
 - Hår

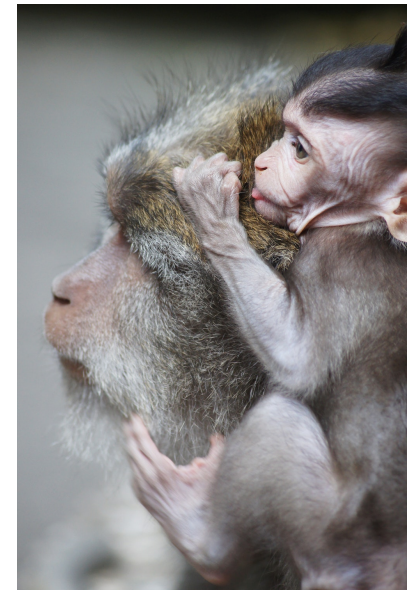


Foto: Camille Couvez

Abe (placentalt pattedyr)



Foto: David Clode

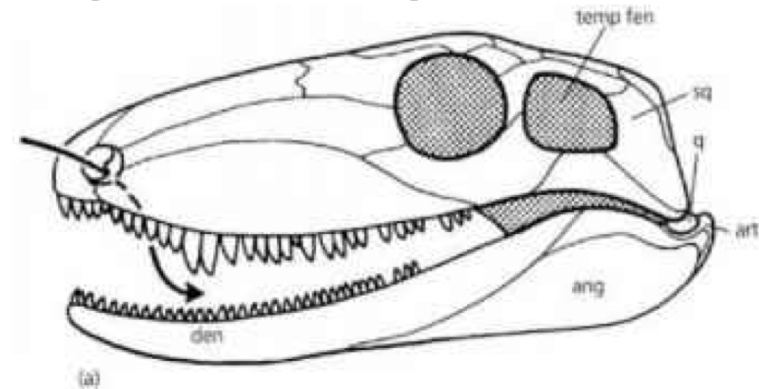
Kænguru (pungdyr)

Pattedyr kaldes også Mammalia, *mamma* er latin for "bryst", så vi kunne også have kaldet dem brystdyr.

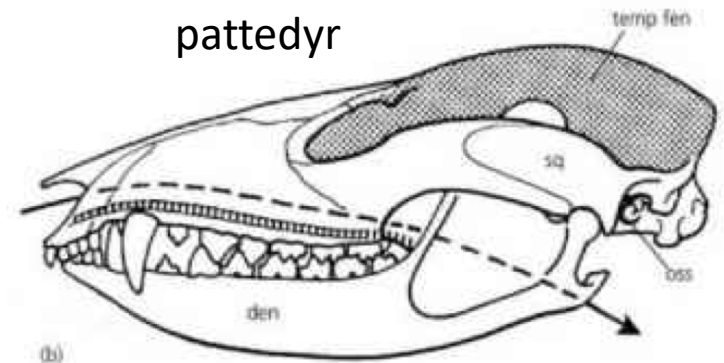
Detaljer om udvalgte træk ved pattedyrene præsenteres på de næste slides

Pattedyr – Sekundært ganetag

- Som navnet antyder, er det et karakteristisk træk, at nyfødte pattedyr-unger i kortere eller længere tid ernæres af mælk fra moderens mælkekirtler
- For at pattedyr kan få gavn af mælken, skal de også kunne dige. Det tager tid, og da de er varmblodede skal der meget oxygen til at holde forbrændingen ved lige
- Pattedyr kan trække vejret imens de tygger, da de har et ekstra lag i ganen, sådan at luftrøret fra næsen først åbner op helt tilbage ved halsen. Hvorimod det åbner direkte ud til mundhulen hos eksempelvis reptiler
- Udviklingen af dette 'sekundære ganetag' starter for 300 mio. år siden, og bliver fuldt forbenet for ca. 250 mio. år siden.



reptiler



pattedyr

På figuren til højre er et eksempel på et typisk reptil hvor luften trækkes direkte ind i munden, hvorimod indåndingsluften holdes separat fra mundhulen på det viste eksempel for et typisk pattedyr.

Test selv jeres egenskab af at være pattedyr. Brug en tom juicekarton og sugerør. Sug ind/pust ud i juicekartonen, og hold trykket i kartonen, samtidig med at du trækker vejret. Dette er en unik egenskab ved pattedyrene, som gør det muligt at vedligeholde et højt nok oxygenindhold til vores respiration.

Pattedyr: Pels

- Pattedyrene er endoterme (varmblodede) – ligesom fugle
- Dette er betinget af bl.a. hudens fedt- og hårlag (for at kunne holde på varmen) og tilstedeværelsen af svedkirtler, som fungerer som et slags kølesystem.
- Endotermi er en krævende reguleringsmekanisme, som kræver en masse energi, hvor en effektiv bearbejdelse af føden er nødvendig (og det er grunden til at det sekundære ganetag er vigtigt)



Nåle fra hulepindsvin



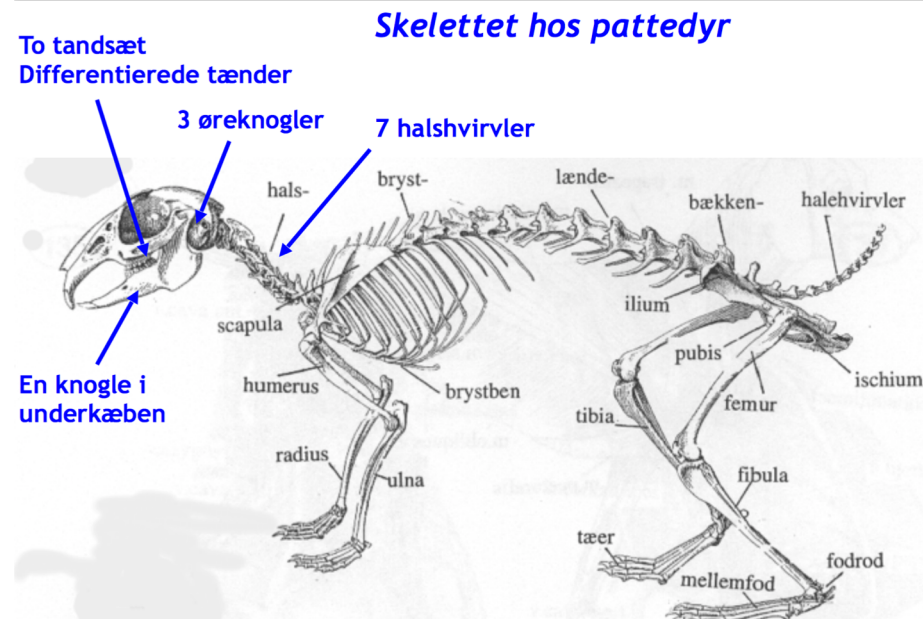
Sæl med tydelig pels

Pattedyrs hår består af 3 forskellige slags: Dækhår (beskyttelse), Uldhår (isolation) og Sinushår (sansning).

Hårene som pelsen består af kan dermed have mange forskellige effekter. Fx hulepindsvinet hvis dækhår er blevet til hårde nåle. Fx sælen (og andre pattedyr i vand) som fanger luft mellem hårene så huden forbliver tør når den dykker. Dermed skal sælen ikke bruge ekstra energi på fordamning af vandet når den kommer på land igen.

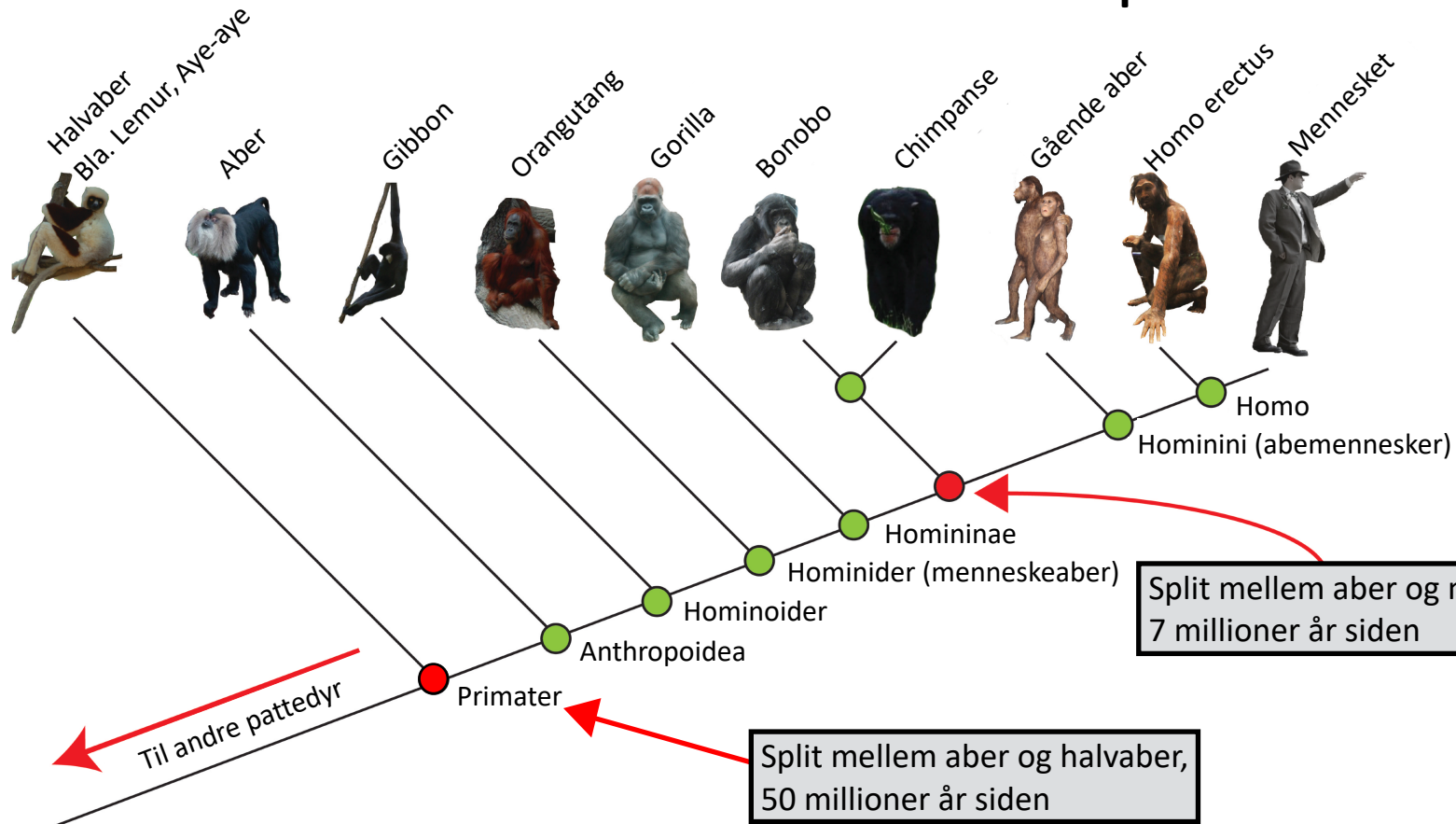
Pattedyr: Skelet

- Pga. de stærke kendetegn på skelettet (se figur), er pattedyrskelettet nemt at genkende også på fossiler.
- Fællestræk på skelettet for pattedyr:
 - 7 halshvirvler & 2 nakkeledsknuder
 - Én underkæbeknogle (dentale)
 - Tre øreknogler i mellemøret
 - Differentierede tænder (tænder med forskellige funktioner)



Første fossil man har fundet af en stamform til pattedyrene er 225 mio. år gammelt. Med pattedyrskelettet kan man tydeligt se træk fra først benfisk og derefter tetrapoderne, med de ændringer der nu har fundet sted.

Menneskehedens familieportræt



Mennesket er en pattedyr-art under ordenen Primater. Chimpansen er den art som er vores nærmeste nulevende slægtning. Udspaltningen som gav anledning til dannelse af de to, skete for 5-7 mio. år siden. Siden har man fundet frem til en lang række arter af mennesker, men som i dag er uddøde og det skal igen påpeges at langt de fleste arter uddør eller udvikles til nye arter.

Selvom Primaterne er en ret veldefineret monofyletisk gruppe, findes der kun få kendetegn, som ikke også er repræsenteret inde for andre rækker, specielt pattedyr. Et af de få træk, er at hånden bliver meget veludviklet.

Dog ses specielle kendetegn for mennesket, såsom at vi går på to ben, at hjernen vokser hvorved vi benytter sprog og illustrationer/symbolsk adfærd samt brugen af redskaber. Disse træk og historien om vores forfædre blandt hominiderne kan findes i materiale om 'Forfædre'.

Arters uddøen

- Vi har set på mange forgreninger i livets træ og rigtig mange arter opstå over lang tid
- Det er dog meget få af dem som stadig lever på jorden.
- En arts kaldes uddød hvis arten ikke er fundet i 50 år og man har ledt i alle dens habitater.
- Mere end 99 % af alle arter, der nogensinde har eksisteret, er uddøde. Ekstinktion er den ultimative skæbne for *alle* arter.



Tasmansk pungulv (uddød 1936)

Foto fra 1904 af E.J. Keller [link](#)



Dronte (uddød 1662)

Tegning af Roelant Savery (1576-1639)

Gennemsnitlig rate af uddøen de sidste 200 mio. år: Omkring 1-2 arter per år, 3-4 familier per årti.

Gennemsnitlig levetid for en art: Omkring 2-10 mio. år (baseret på data fra de sidste 200 mio. år).

Måske blev tidligere arter udkonkurreret af afledte former som var bedre tilpasset omgivelserne, eller af arter udviklet til samme niche fra en anden stamform, eller ved masseuddøen som rammer mange arter på en gang.

Masseuddøen

- Masseuddøen dækker over en begivenhed hvor et stort antal planter og/eller dyrearter uddør
- Fem store masseuddøener hvor mere end 75% af arter uddør:
 - Ordovicium-Silur (444 mio år siden): 86% uddør muligvis grundet en voldsom istid
 - Sen Devon (375 mio år siden): 75% uddør, bl.a. trilobitter (mest talrige og diverse art dengang). Skyldes muligvis udviklingen af landplanter, som løsner jorden, sender næringsstoffer i havet md algeopblomstring til følge
 - Slut Perm (251 mio år siden): 96% uddør – næsten al liv på jorden! Skyldes enorme vulkanfelter i Sibirien, der udledte HCl og CO₂ til atmosfæren. CO₂ blev udnyttet af kemotrofe bakterie, der producerede methan, som både forsurede vandet og vis drivhuseffekt drev temperaturen op.
 - Slut Trias (200 mio år siden): 50% uddør af indtil videre ukendt årsag, men sandsynligvis gasser fra enorme vulkanfelter i midten af superkontinentet Pangæa.
 - Slut Kridt (65 mio år siden): 76% uddør, bl.a. dinosaurer og ammonitter (en gruppe blæksprutter, op til 2 m store). Årsag: Meteornedslag og vulkanfelter på det indiske kontinent (se følgende slides)



Foto: Vassil

Rekonstruktion af trilobit



Illustration: Nobu Tamura

Rekonstruktion af Ammonit
(*Asterocheras obtusum*)

Generelt ser vi store udryddelser på Jorden forårsaget af vulkanudbrud og meteornedslag, kontinental drift, samt klimaforandringer.

Senest har vi også kunne bevidne uddøen af dyr pga. menneskets udvandring til andre verdensdele med udryddelse af lokale arter enten direkte eller gennem ændringer af habitater.

Meteornedslag og vulkanfelter



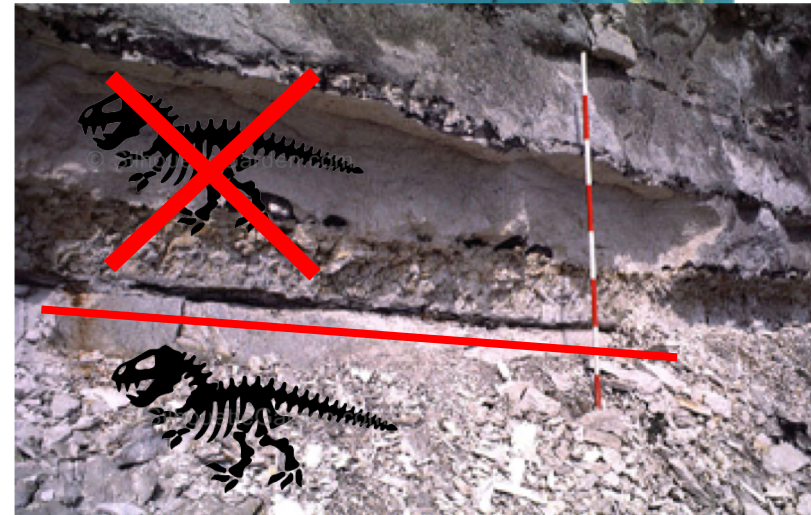
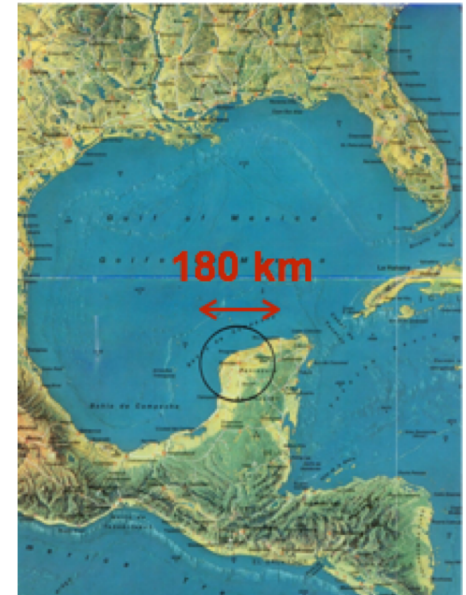
Huffington Post

For 66 millioner år siden faldt en kæmpe meteor på Jorden. Det resulterede i 75% af alle arters død, hvilket på landjorden udryddede dinosaurerne.

Det resulterede i en eksplosiv udbredelse af pattedyr, der pludselig fik mulighed for at indtage noget af den plads dinosaurerne før havde siddet på.

Dinosaurerne uddør

- Beviset fra det enorme nedslag kan findes overalt på Jorden (her Stevns Klint)
- Jordlaget indeholder iridium, hvilket findes i kometer, men ikke på jorden i så høj koncentration
- Dinosaurerne uddør ikke direkte af meteoren, men derimod af de indirekte effekter:
Solindstrålingen begrænses
hvilket resulterer i mangel på føde til de store dinosaurer, og giver plads til de mindre pattedyr



Chicxulub krateret på Yucatan-halvøen er i dag 180 km i diameter, og illustrerer hvor meget materiale der må være blevet slynget op i atmosfæren. Det begrænser lysindfaldet og dermed energi til planterne, som bliver mindre og færre, hvilket indskrænker føden til planteæderne der bliver mindre og færre, hvormed også kødæderne mangler føde.

Pattedyrene der på den tid havde en langt mindre størrelse kan klare sig med mindre mængder af føde og kan derfor klare sig igennem katastrofen og får mulighed for at overtage nogle af de nicher der før var udfyldt af dinosaurerne.

Mennesket udrydder flere arter

- Man taler om vi er i begyndelsen af endnu en masseuddøen, som er forårsaget af os mennesker
- Vi har været årsag til mange arters udryddelse, særligt i tre perioder:
 - Jordens megafauna forsvinder: Mennesket koloniserer kontinenterne ved udvandring fra Afrika (historisk tid)
 - Masseuddøen på øer: Mennesket koloniserer øerne og den vestlige verden udforsker verden (moderne tid)
 - Masseuddøen på globalt plan: Mennesket globaliseres og industrialiseres (vor tid)



I 15. Og 16. Århundrede begynder koloniseringen og rotter, fugles og menneskets sygdomme at brede sig – specielt på øer.

Flere eksempler på artsdannelse

- Nu har vi fulgt vejen direkte fra enkeltcellede organismer til mennesket.
- De følgende emner er ikke direkte på veje, men er relevante når vi snakker arter og artsdannelse og indeholder nogle interessante fortællinger
 - Fugle og dinosaurer
 - Leddyr (Arthropoda)
 - Vandlevende pattedyr



Figur: [RPalmerArt](#)

Tyrannosaurus rex (rekonstruktion)



Pterodaktyl (rekonstruktion)



Foto: [Soloneying](#)

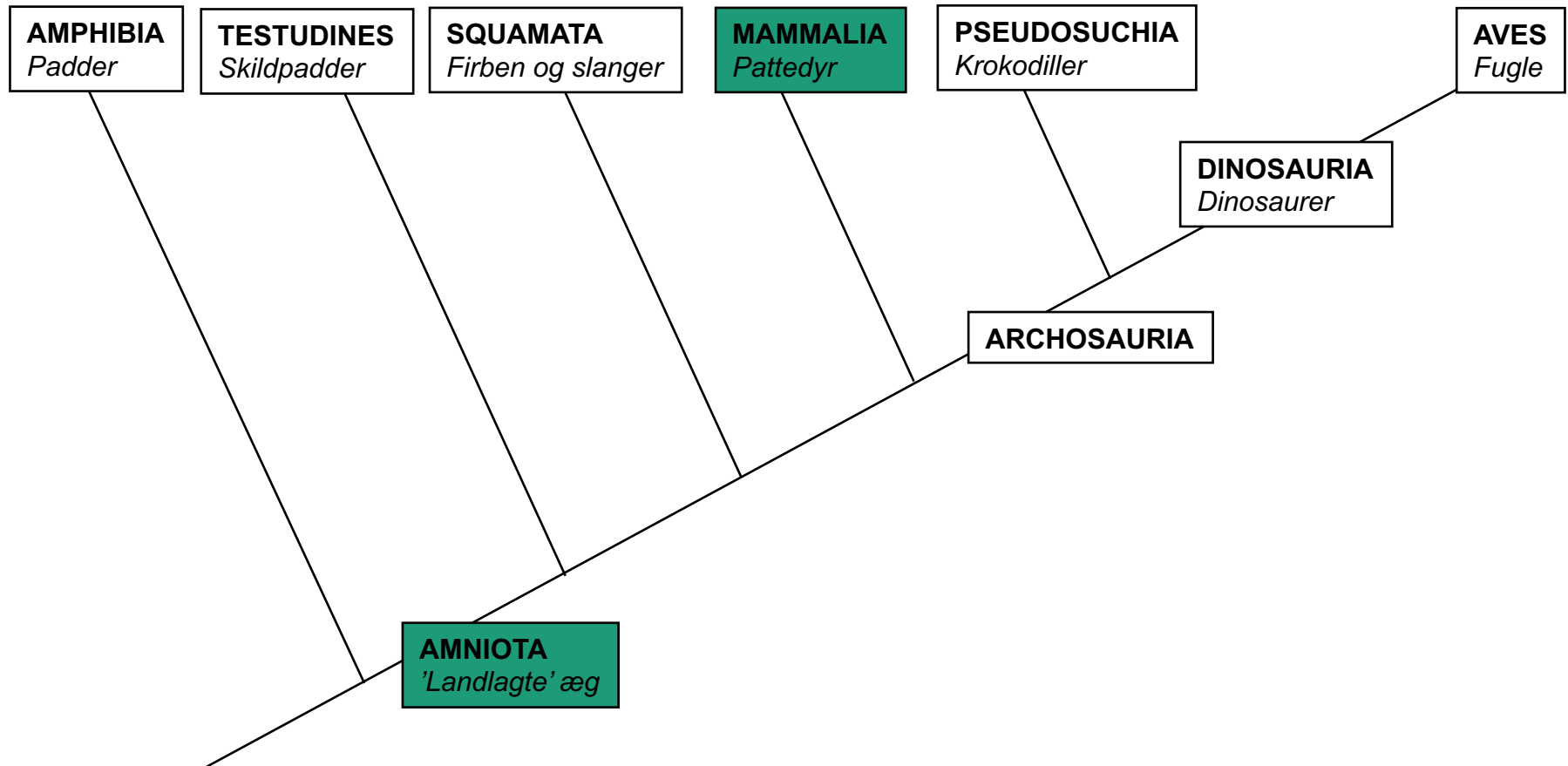
Stork

Eksempelvis er en stork tættere beslægtet med *T. rex* end med en flyveøgle som pterodaktyler.

Leddyr udgør mere end 80% af de navngivne arter og er den række blandt dyrene med mest forskellige arter.

Pattedyr som lever i vandet i dag, er efterkommere af dyr der levede på land, hvilket man stadig kan se på dem, da de stadig har strukturen til bagben.

Fugle i fylogenetisk træ

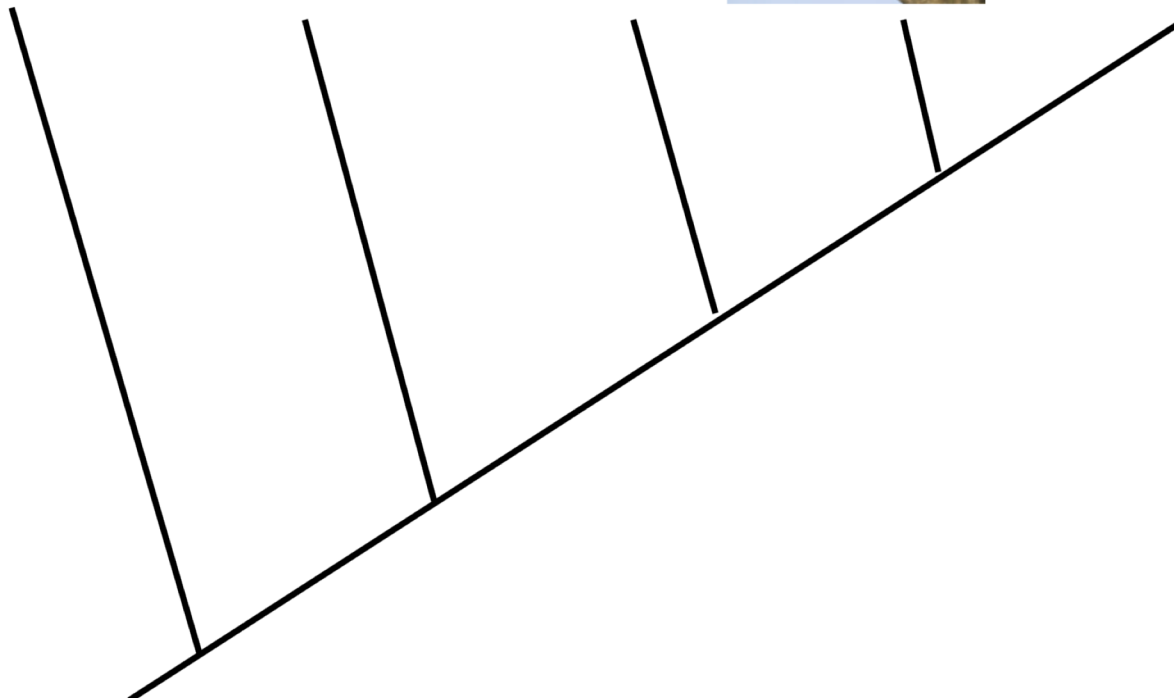


Formodet stamtræ for nulevende amniotgrupper, hvor vi som på tidligere figurer ser at pattedyr og krybdyr er søstergrupper, men her er fuglene sat i øverste højre hjørne, og detaljerne om pattedyr er her ignoreret.

Fuglene er placeret inde i "krybdyrenes" stamtræ, og er altså en undergruppe af dinosaurer. På fagsprog kaldes krybdyr-fugle linien ofte for Sauropsider og pattedyrlinien Theropsider.

Der er ikke fuldstændig konsensus om skildpaddernes slægtskab med de andre krybdyr.

Fugle i fylogenetisk træ 2



Hvis vi zoomer ind på grenen af krybdyr med fugle ser vi at fugle deler stamfader med dinosaurerne. Altså er dinosaurerne ikke tættest beslægtet med krybdyr, men med fugle, da de har den tætteste fælles stamfader.

Deres fælles forfædre er endnu ikke fundet, men vi ved at fugle ikke nedstammer fra flyveøgler (selvom de også er tæt beslægtet med dinosaurerne).

Kort sagt: Dinosaurer er ikke uddøde (alle sammen), nogle af dem har udviklet sig evolutionært til fugle.

Fugle og dinosaurerne

- Fugles oprindelse kan undersøges vha. en række fundne uddøde fugleslægter
- En del tyder på at fugle har udviklet sig fra en bestemt gruppe af dinosaurer, og er nært beslægtet med familien Dromaeosauridae, som primært består af mindre, løbende kødædere
- Fossile rester af Dromaeosaurer og primitive fugle har mange lighedstræk, og derfor bør alle fugle kaldes for 'flyvende dinosaurer'

Sinornithosaurus



Archaeopteryx

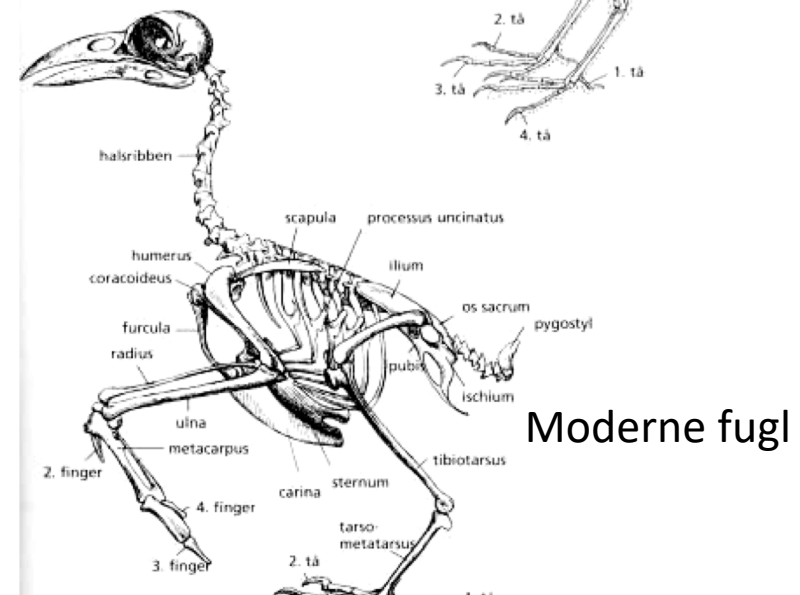
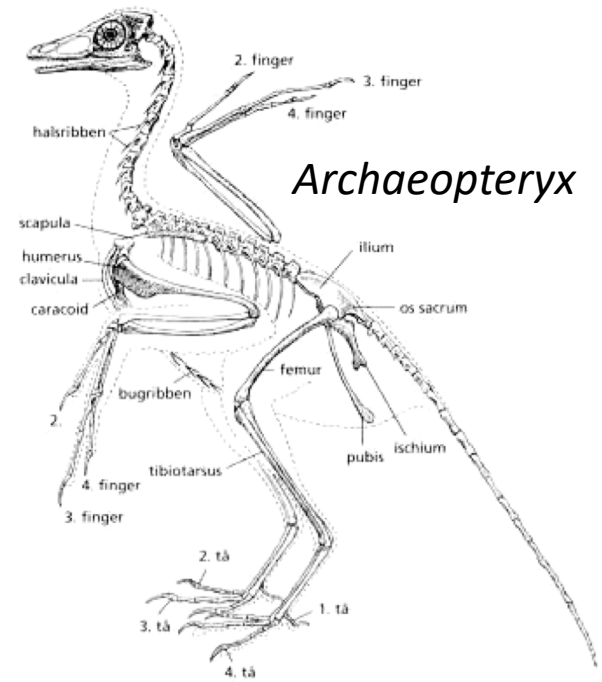


Bambiraptor feinbergorum

Man har også fundet fossiler fra fjerede dinosaurer, som nok er det største bevis for at de er beslægtede. Der er fundet fjer/dun fra 4 forskellige arter af dinosaurer, som også viser at nogle af fuglenes træk formentlig allerede blev udviklet her.

Dromaeosauridae bliver normalt kaldet "Raptors" og er kendt fra filmen "Jurassic Park".

De tidligste fugle



Den første fugl, *Archaeopteryx*, levede for ca. 150 mio. år siden, og er et bud på en overgangsart mellem dinosaurer og moderne fugle.

Archaeopteryx manglede flere af de moderne fugles karakterer: Den havde tænder, kløer på forben, ingen kam (carina) på brystben, men en lang knoglehale.

Fugle – klassiske træk

- Den mest homogene og afgrænsede gruppe inden for dyreriget.
- De er endoterme (varmblodede) som pattedyr, dog lidt højere (ca. 40° C).
- Ungerne udvikles uden for kroppen
- Specialisering: Lille vægt, stor motor!
- Karaktertræk der gør flyvning nemmere:

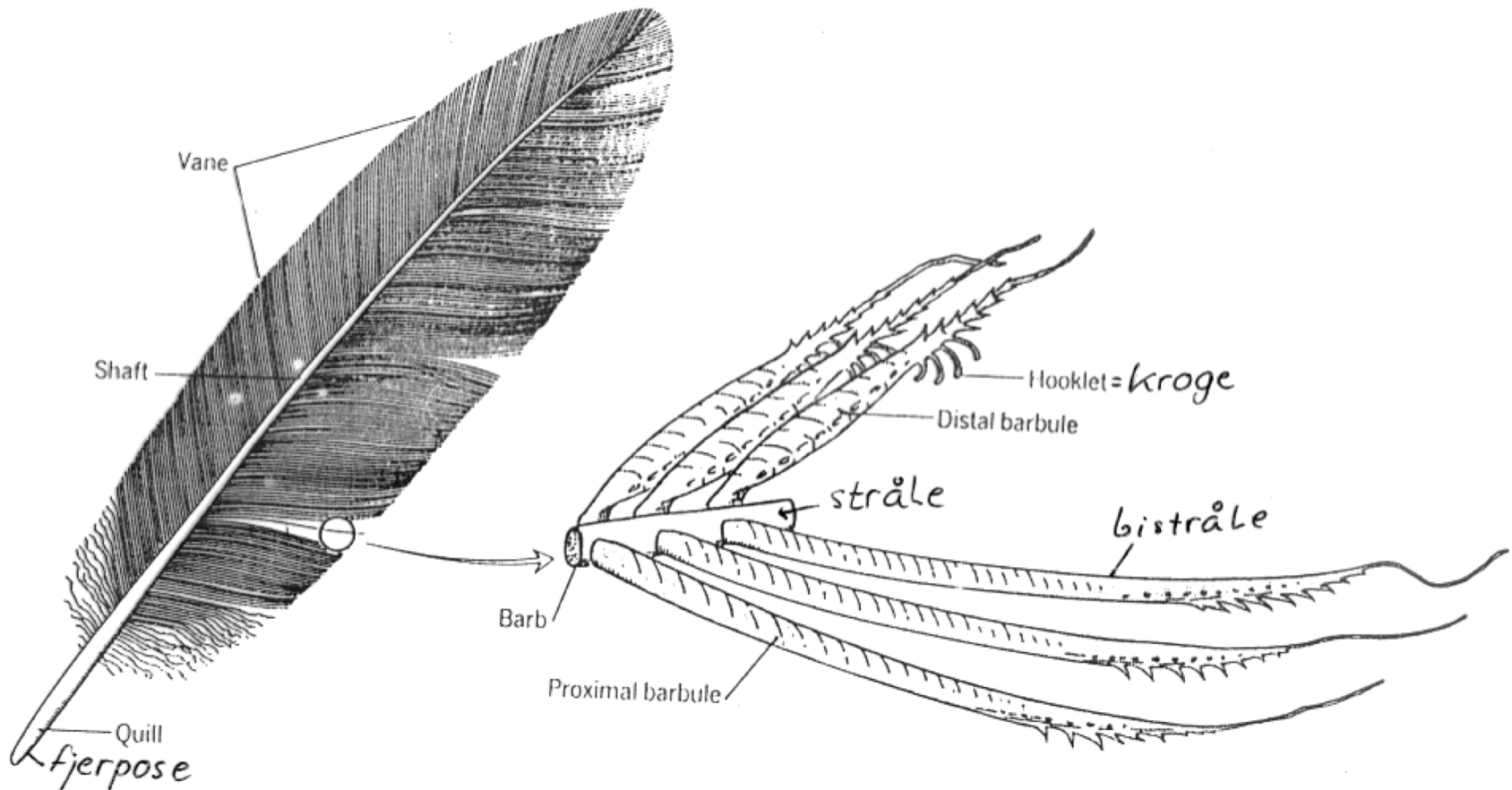
luftfyldte knogler	= maksimal styrke for vægt
V-formede ribben	= fleksibel brystkasse
kam brystbenet	= hæfte for flyvemuskel
sammenvoksede bækkenhvirvler	= støtte for ben v. landing
lange ben med "løb"	= fjedrer v. start/landing
reduceret hale	= sparer vægt
asymmetriske konturfjer	= aerodynamisk lift (minimal luftmodstand)
luftsække	= envejs luftstrøm i lunge
stiv lunge m. luftkapillærer	= envejs luftstrøm i lunge
endothemi	= muskel effektivitet
dobbelt kredsløb	= effektiv oxygentransport

Bemærk at mange af disse karakterer med sikkerhed eller sandsynligvis fandtes allerede hos ikke-flyvende dinosaurer.

Andre karakterer kom først til efter at flyvning var udviklet, dvs. efter *Archaeopteryx* stadiet. De fleste af de klassiske "fuglekarakterer" fandtes altså reelt allerede hos deres ikke-flyvende dinosaur-slægtninge, og er derfor slet ikke "tilpasninger" til flyvning, men naturligtvis forudsætninger for at flyvning overhovedet kunne udvikles.

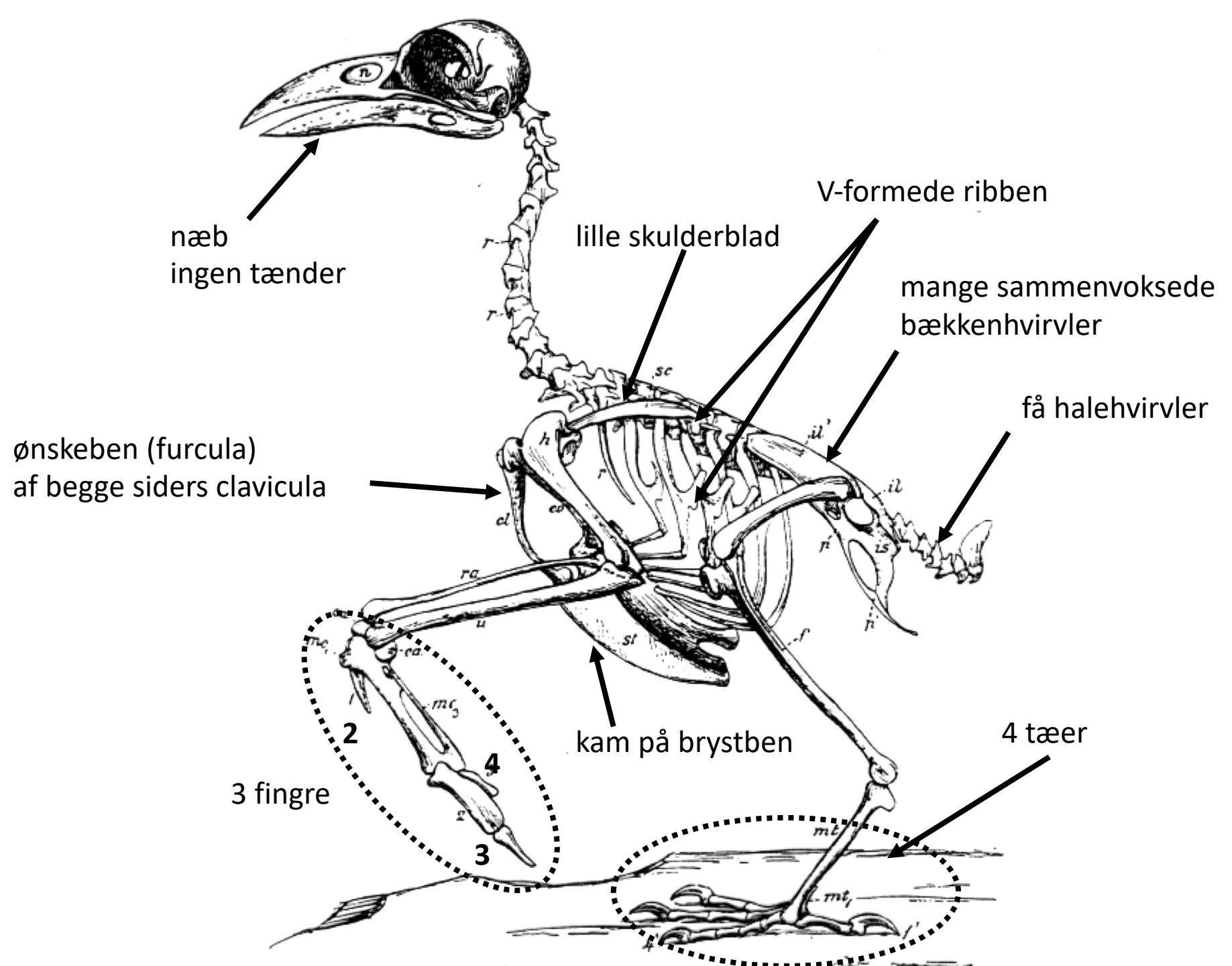
De asymmetriske konturfjer er muligvis et træk der kendetegner alle uddøde og nulevende fugle, men ikke fandtes før.

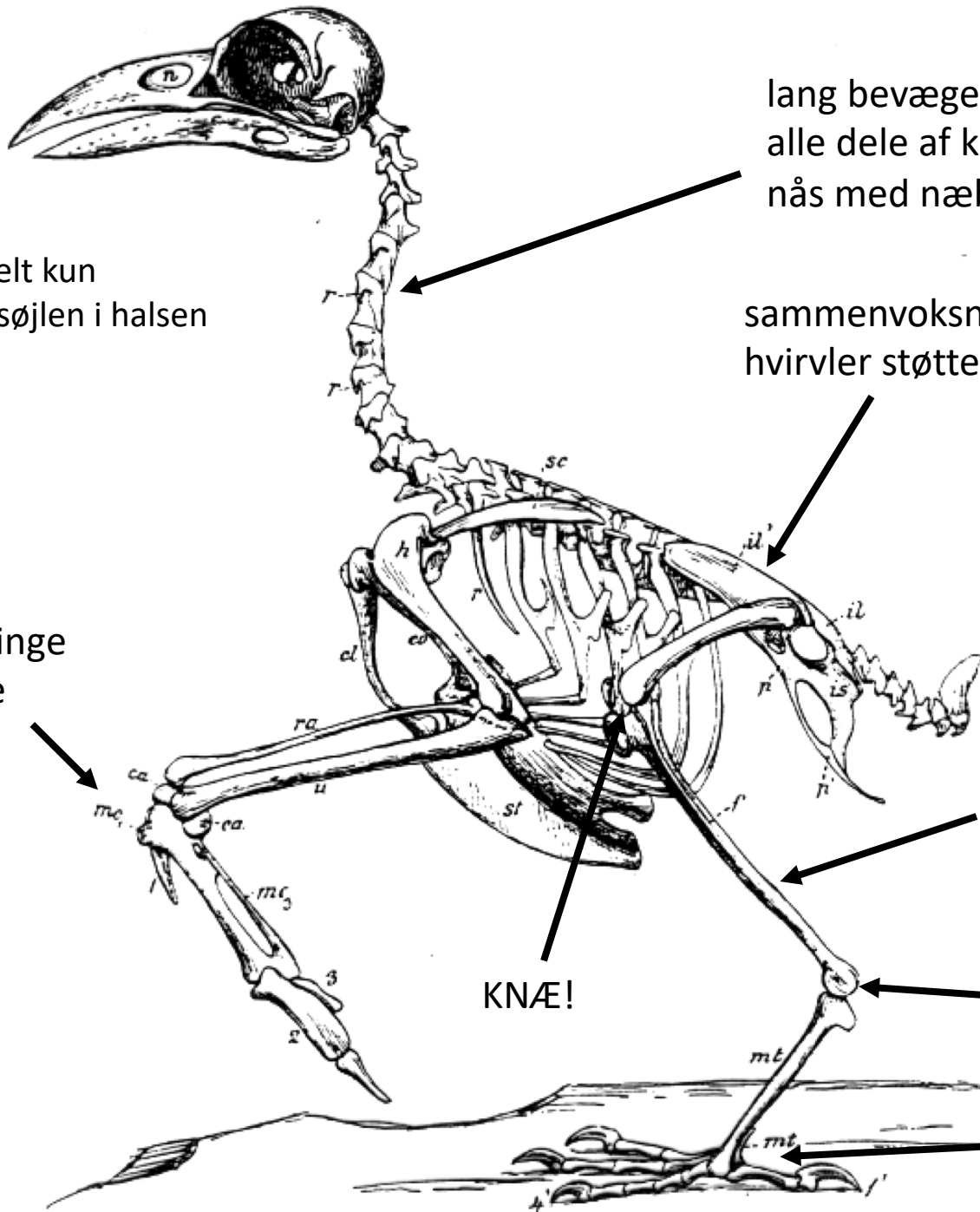
Fugles fjerdragt



Fjerdragten på fugle er deres bedste karaktertræk. En fjer er i virkeligheden en død horndannelse og indeholder derfor ingen levende celler.

Mange unger udklækkes næsten helt nøgne eller med et lille lag dun. Fjerdragten udvikles direkte fra dunene og er en forudsætning for, at fugle kan opretholde deres konstante kropstemperatur.





lang bevægelig hals
alle dele af kroppen kan
nås med næbbet

sammenvoksning af
hvirvler støtter flyvning

baglem fjedrer ved
til hop og landing

KNÆ!

HÆL!

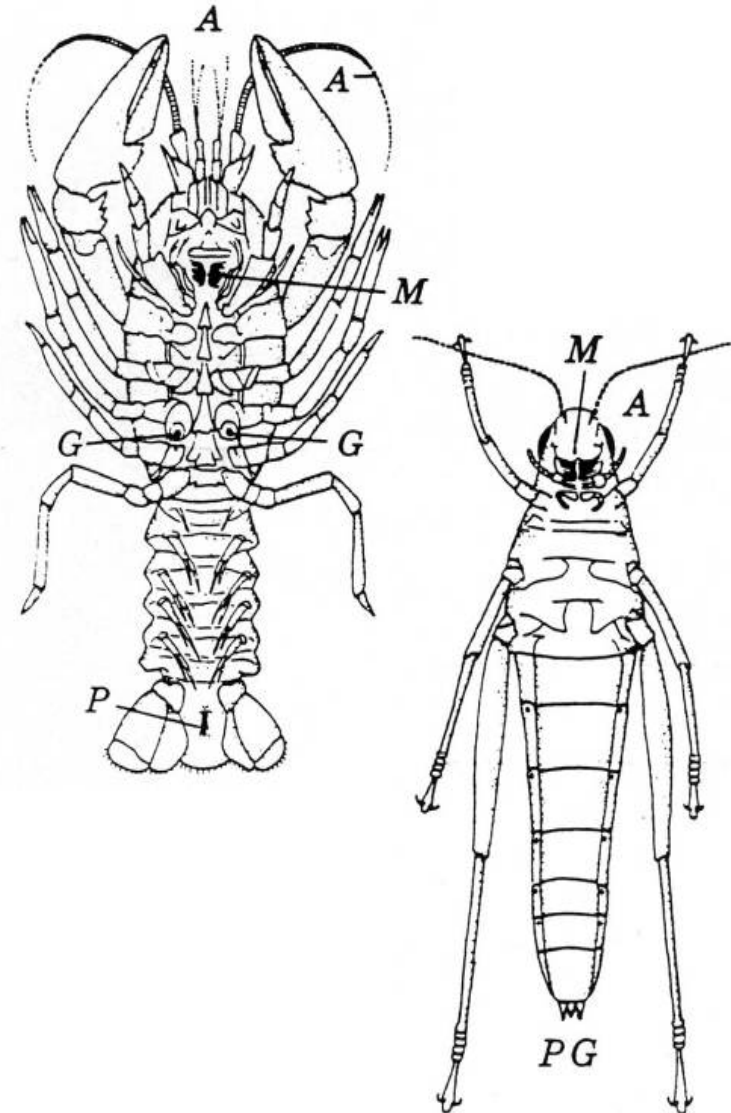
gribefod

Hos fugle er der reelt kun
bevægelighed i rygsøjlen i halsen
(samt lidt i halen)

forlem som vinge
kan ikke gribe

Leddyr

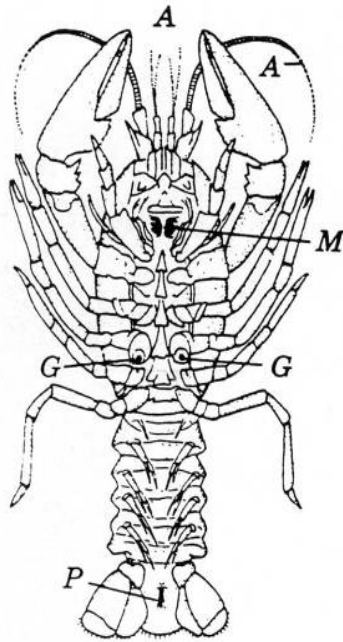
- Leddyr (arthropoda) udgør 80% af alle kendte dyrearter og indbefatter: Insekter, krebsdyr, edderkopper.
- Der er beskrevet over 1 mio. arter af lededyr
- Fælleskaraktertræk:
 - Leddelt krop (kun hoved og bagdel har afvigende udformning)
 - Leddelte ben
 - Exoskelet



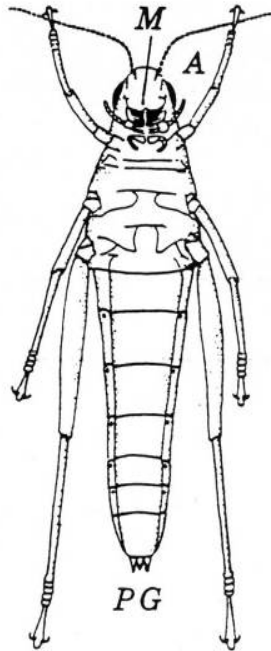
Leddyr lever i de frie vandmasse såvel som på bunden i både salte og ferske vande, de lever på og i landjorden og i luften (kort sagt lever de overalt!)

Fordi de er så alsidige og findes i sådan et utal af variationer af arter bør de beskrives kort. De spiller også en kæmperolle i diverse fødenet på grund af deres diversitet.

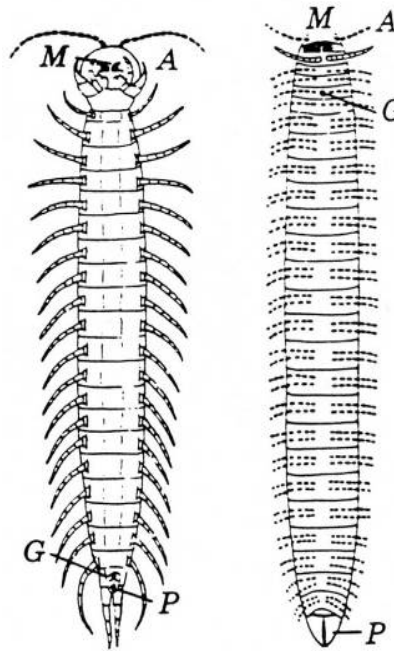
Underrækker af leddyr



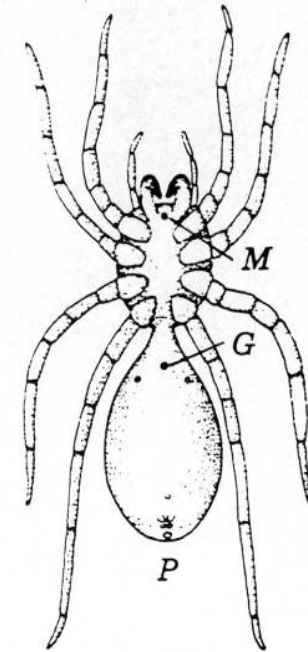
Crustacea
(krebsdyr)



Hexapoda
(seksbenede)



Myriapoda
(skolopendre
og tusindben)



Chelicerata
(klosaktsdyr)

Krebsdyr varierer enormt, og der er stort set ingen karaktertræk som er generelle for underrækken.

Under hexapoderne finder man bl.a. insekter som har en meget ens opbygning og er de leddyr med færrest benpar (kun tre).

Under klosaktsdyrene finder man rækken af spindlere (bl.a. edderkopper og skorpioner)

•Krebsdyr og insekter vokser gennem hudskifte. Hvert hudskifte adskiller et stadie, hvor dyret hver gang bliver større. Da exoskelettet er hårdt kan dyret kun forandre form og størrelse ved hudskifte.

Skemaer med sammenligninger

SKELETTER			
	FISK	PADDE	PATTEDYR
Indre næsebor	nej	ja	ja
Mellemøre	intet	m. 1 øreknogle	m. 3 øreknogler
Underkæbe	flere knogler	flere knogler	1 knogle
Gællelæg	ja	nej	nej
Hals	nej	ja - kort	ja - 7 hvirvler
parrede ekstremiteter	brystfinner bugfinner	forlemmer baglemmer	forlemmer baglemmer
bælter	brystbælte forbundet m. kranie	brystbælte støtter mod ribben bækkenbælte forbundet med rygsøjle	brystbælte støtter mod ribben bækkenbælte forbundet med rygsøjle

På de næste par slides er nogle oversigter der sammenligner diverse egenskaber på tværs af artsgrupperinger

CIRKULATION & RESPIRATION

	FISK (strålefin.)	PADDE adult	PATTEDYR
Forkammer	1	2	2
Hjertekammer	1	1	2
Ventral aorta	ja	ja i haletudse	kun i foster
Gællespalter	4	3	kun i foster
Gællearterier	4	4 i haletudse 0 i voksen	kun i foster
Gæller antal	4	3 i haletudse	0
aortabuer	nej	2	1 (venstre)
Lunger	nej	ja	ja
Kredsløb enkelt/dobbelt?	enkelt	delvist dobbelt	dobbelt
Hudrespiration	nej	ja	nej
Portåresystem	nej	ja	ja

BYGNING/FUNKTION	KREBSDYR	INSEKTER
Kroppens inddeling? fast/variabel?	hoved 5 led variabelt antal kropsled	fast: 5 + 3 + 11
Antal par antenner? 1 eller 2?	2 par	1 par
Munddele? antal og type	mandibler 1. maxil + 2 maxil Evt. maxillipeder	mandibler 1. maxil 2. maxil = labium
Bygning af lemmer? ugrenede/tvegrenede	tvegrenede	ugrenede
Antal led under væksten? Konstant/øges	øges	konstant
Antal lemmer under væksten? konstant/øges	konstant	konstant = 3
Ekskretionsorganer? ekskretions produkt?	gæller ammoniak	malpighiske rør urinsyre
Respirationsorganer? gas transporteres med blodet?	gæller ja	trache system nej

BYGNING/FUNKTION	LEDORME	LEDDYR
Kroppens inddeling	leddelt	leddelt
Skelet	hydroskelet	exoskelet (kutikula)
Muskulatur	ring- og længdemuskellag + skrå muskler – glatte	strække og bøjemuskler til lemmer og led – tværstribede
Lemmer?	nej evt. bløde parapodier	leddelte lemmer mange funktioner
Krophule ja/nej?	ja	nej
Excretion	metanephridier	antennekirtler (krebsdyr) malpighiske rør (insekter)
Respiration	hud eller gæller	gæller trache system
Vækst	nye led adderes bagest	ved hudskifter nye led adderes bagest
Levested	marin, feskvand, "terrestrisk"	marin, feskvand, ægte terrestrisk

PÅ KRYDS OG TVÆRS

	KROPHULE	NERVESYSTEM	CIRKULATION	RESPIRATION	GAT
Polypdyr	nej	circulært	nej	hud	nej
Fladorme	nej	ventralt	nej	hud	nej
Rundorme	ja	2 længdenerver	nej	hud (!)	ja
Ledorme	ja	ventralt	ja	hud/gæller	ja
Leddyr	nej	ventralt	ja	gæller/traché	ja
Bløddyr	(ja)	ventralt	ja	gæller/lunge	ja
Pighude	ja	5 symmetrisk	(ja)	(gæller)	ja
Hvirveldyr	ja	dorsalt	ja	gæller/lunge	ja

Om materialet

Big Bang til naturfag

- Materialet er udarbejdet af projektet 'Big Bang til Naturfag' (et samarbejde mellem Københavns Universitet og Aarhus Universitet)
- Denne del af materialet er udarbejdet med særligt bidrag fra:
 - Bent Erik Kramer Lindow, Samlingsmedarbejder (Statens Naturhistoriske Museum)
- Big Bang til Naturfag er støttet af A.P. Møller Fonden

KØBENHAVNS
UNIVERSITET



AARHUS UNIVERSITET

A.P. MØLLER FONDEN