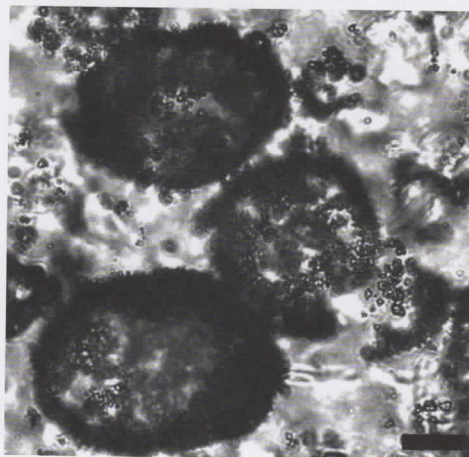


Undersøgelser af solsystemet har fastslået at jorden og resten af solsystemet blev dannet for ca. 4,6 milliarder år siden. Vi kan ikke finde klipper der er helt så gamle her på jorden. Det skyldes at jorden de første flere hundrede millioner år var så varm at alt har været flydende. De ældste sten man har fundet, er ca. 4 milliarder år gamle.

Livets alder

Mange forskellige videnskabelige undersøgelser viser at livet på jorden er meget gammelt. De ældste direkte spor af liv i form af mikrofossiler er mindst 3,4 milliarder år gamle. Et af disse fossiler set gennem mikroskop er vist i figur 288.

Undersøgelser af den kemiske sammensætning af de ældste klippematerialer vi finder på jorden, tyder på at livet kan være opstået helt tilbage for mindst 3,8 milliarder år siden.



Figur 288. Mikroskopiske fossiler af bakterier. Fossilerne er ca. 3,4 milliarder år gamle.

Livets opståen

Selv de mest primitive bakterier man kender, er meget komplekse og har både arvemateriale, ribosomer, proteiner, cellemembran og cellevæg.

Hvordan livet opstod på jorden, er stadig et ubesvaret spørgsmål, men vi har nogle hypoteser der blandt andet bygger på et berømt eksperiment fra 1950'erne, det såkaldte Miller-Urey eksperiment.

Miller-Urey eksperimentet

En af måderne til at undersøge hvordan livet er opstået, er at se nærmere på en række forudsætninger for liv I

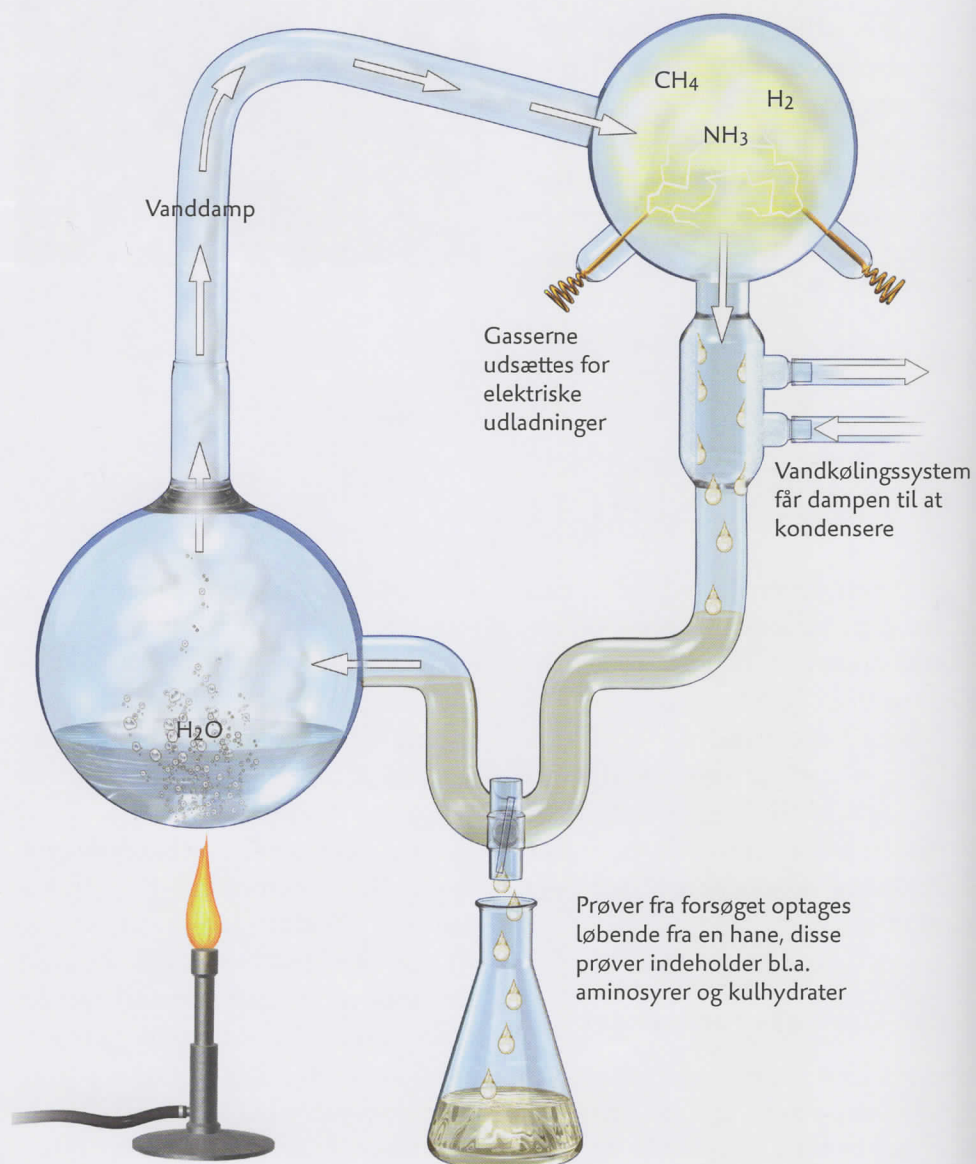
1952 udførte Stanley Miller og Harold Urey et berømt eksperiment der viste at vigtige organiske molekyler som aminosyrer og kulhydrater kan dannes spontant fra simple gasser under særlige forhold. I forsøget startede de med en blandingsgas bestående af de simple uorganiske forbindelser hydrogen (H_2), ammoniak (NH_3) og vanddamp (H_2O) samt den organiske gasart metan (CH_4). Denne blandingsgas blev udsat for elektriske udladninger der skulle simulere lyn i jordens primitive atmosfære, og efter et par uger var mange af de simple stoffer blevet omdannet til forskellige aminosyrer og kulhydrater.

Eksperimentet var baseret på den daværende viden om indholdet i den tidlige atmosfære på jorden. I dag mener man at sammensætningen nok var anderledes. Nyere forsøg med andre gasblandinger der bedre stemmer overens med vores nuværende viden, er senere blevet udført, og de giver resultater der svarer til Miller og Ureys. Figur 289 viser opsætningen af Miller-Urey eksperimentet.

Kunstigt liv

At skabe liv fra ikke levende materialer er en idé der har optaget mennesker i århundreder og været genstand for adskillige videnskabelige undersøgelser og kunstneriske bearbejdnings, som eksempelvis Mary Shelleys berømte roman Frankenstein. I afsnittet Spontan genese side 12 kan I læse om en række historiske eksperimenter der viser, at liv ikke opstår spontant fra ikke levende materialer.

Figur 289. Miller-Urey eksperimentet.



Selv med moderne bioteknologiske metoder er forskerne ikke i stand til at skabe liv alene ud fra ikke levende materialer. Det tætteste man er kommet, er at opbygge et kunstigt kromosom helt fra bunden, og derefter erstatte en normal bakteries kromosom med det kunstige. Det viser sig at denne bakterie kan overleve og formere sig alene ved brug af sit nye kunstige kromosom. Figur 290 viser princippet i den metode forskerne benyttede.

Forsøget viser at man i den nære fremtid måske vil kunne skræddersy et kunstigt bakteriekromosom og indsætte det i en tom bakteriecelle for derved skabe en bakterie med præcis de genetisk bestemte egenskaber man måtte ønske.



Figur 290. Illustration af metode til at skabe liv med kunstigt fremstillet arvemateriale.

Figur 291 Konsekvenserne af oliekatstrofen i den mexikan-ske golf.



Forskerne der lavede den 'kunstige bakterie', arbejder bl.a. på at skabe en ny algeart der mere effektivt udnytter solens energi i fotosyntesen. Formålet er at omdanne atmosfærens kuldioxid til organiske molekyler der industrielt kan omdannes til olie og benzin. Der spekuleres også i om det fx er muligt at lave en bakterie, der kan nedbryde olie i havvand. Det kan mindske de ødelæggende konsekvenser for naturen ved

olieudslip som det der skete på boreplatformen Deepwater Horizon i den Mexicanske golf i 2010, se figur 291.

Kritikere af denne nye teknik er blandt andet bange for at teknikken kan bruges til at udvikle nye biologiske våben, og mener at der er væsentlige etiske problemer og ukendte farer forbundet med at lave kunstigt liv

Evolution

Evolution betyder forandring eller udvikling og når vi taler om evolution indenfor biologien, taler vi om den udvikling arter gennemgår over tid. Livets historie på jorden viser at livet hele tiden udvikler og forandrer sig. Nye arter opstår, eksisterende arter udvikler sig, og nogle arter uddør. Sammenligner vi med fund fra tidligere tidsperioder, kan vi se at nogle arter ligner tidligere livsformer til forveksling, mens andre ligner en videreudvikling fra en tidligere art. Den samlede forklaring på disse observationer finder vi i evolutionsteorien.

Charles Darwin

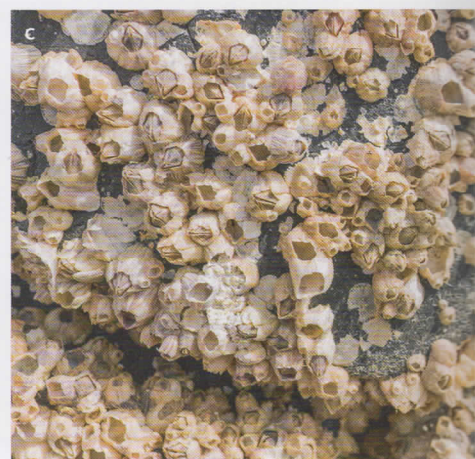
– evolutionsteoriens far

Evolutionsteorien blev fremsat af Charles Darwin i hans revolutionerende bog *Arternes oprindelse* der udkom første gang i 1859. Darwins liv, opdagelser og indsamlinger af dyr og planter på jordomrejsen med skibet H.M.S. Beagle udgør i dag et godt eksempel på en naturvidenskabsmand og hans brug af den induktive naturvidenskabelige tankegang og metode. På evolution.dk kan I finde mere information om Darwins liv og videnskabelige opdagelser.

Levende organismer er forskellige

Darwins iagttagelser og undersøgelser af indsamlede dyr og planter ledte ham frem til den konklusion at individer inden for samme art aldrig er helt ens. Han fremsatte den teori at disse ydre forskelle er arvelige og at afkom vil ligne en blanding af forældrenes udseende. På Darwins tid kendte man intet til DNA, og så vidt vi ved kendte Darwin

Figur 298. Darwin studerede mange forskellige typer dyr.
a. En af Darwins finker.
b. Kæmpeskildpadde fra en af Galapagosøerne.
c. Darwin var datidens største ekspert i rurer, og udgav blandt andet et stort værk om disse fascinerende filtratorer i havet.



heller ikke til Mendels arbejde med genetik, så Darwin kunne ikke forklare hvordan de arvelige forskelle opstår og nedarves. I dag ved vi at forskellene opstår som tilfældige mutationer i individernes arvemateriale, og at nedarvningen af disse forskelle kan forklares ud fra genetikkens love, se kapitlet På opdagelse i generne.

Evolutionsteorien

Darwin kunne konstatere at der var arvelig variation mellem individer inden for samme art, og det var det eneste der var nødvendigt for at han kunne udvikle sin teori om evolution ved naturlig selektion. Evolutionsteorien indeholder tre overordnede ideer.

1. Livet på jorden er foranderligt. Nye arter udvikler sig fra eksisterende arter, mens andre arter uddør. Konsekvensen af dette er at alt liv på jorden er beslægtet og har en fælles forfar
2. Der er ikke uendelige ressourcer til rådighed så der er en evig kamp mellem individer for at overleve og få afkom.
3. Arter forandrer sig ved at de bedst tilpassede individer får flest afkom, og på den måde vil arten med tiden tilpasse sig det eksisterende miljø. Denne proces kaldes for naturlig selektion.

I kan læse mere om naturlig selektion side 230.

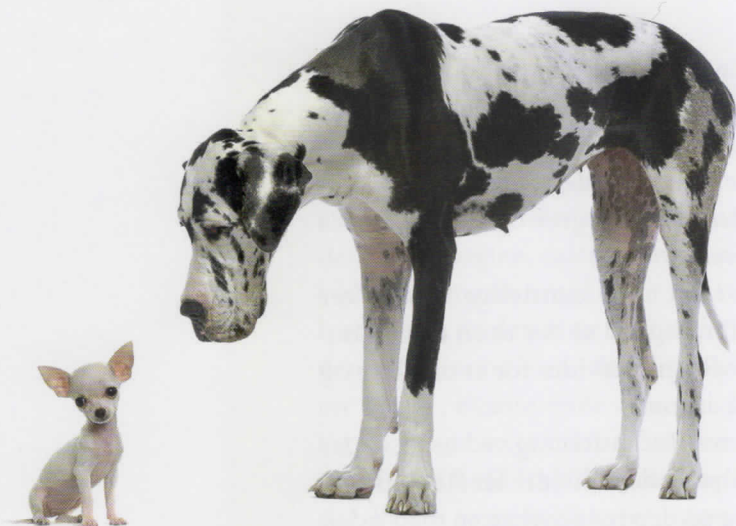
Livets mangfoldighed

Mangfoldigheden af levende organismer på jorden er overvældende. Vi kender ikke det nøjagtige antal arter på jorden, men et nyere forskningsresultat vurderer at der må være ca. 8,7 millioner eukaryote arter på jorden med en usikkerhed på ca. +/- 1,3 millioner. Af disse er langt de fleste stadig ukendte og ubeskrevne af videnskaben. Selvfølgelig i de mest velundersøgte grupper som fugle og pattedyr finder man stadig nye arter. Ifølge evolutionsteorien er alt liv beslægtet, men hvordan er der store mangfoldighed egentlig opstået, hvordan er de forskellige arter indbyrdes beslægtet og hvordan opstår nye arter?

Artsbegrebet

Når vi sammenligner levende organismer, taler vi ofte om arter, men hvad er en art egentlig og hvordan afgør vi, om to organismer tilhører samme eller forskellige arter? Igennem tiderne har biologer arbejdet med flere forskellige definitioner på en art, og det skyldes at man faktisk ikke kan lave et simpelt begreb der dækker alle situationer. Det mest almindeligt brugte er det såkaldte *biologiske artsbegreb* der siger, at to individer er en og samme art hvis de naturligt kan få fertilt afkom med hinanden.

Hunde er et interessant eksempel på en række meget forskelligt udseende individer der i princippet tilhører samme



Figur 299. Chihuahua og grand danois.

art. Arten hund inddeles i en lang række racer der har forskellige kendetegn, se figur 299. Det er nok tvivlsomt om det fysisk kan lade sig gøre for en lille chihuahua tæve at få hvalpe med en granddanois, men de kan stadig udveksle genetisk materiale over flere generationer ved hver især at parre sig med hunde i mellemstørrelsen. Derfor betragtes alle hunde stadig som en og samme art.

Der findes mange eksempler på forskellige arter der er så tæt beslægtede at de kan få levedygtigt, men ikke fertilt afkom med hinanden. Sådanne afkom kaldes for hybrider. Et af de mest kendte eksempler på hybrider er muldyret, der er en hybrid mellem en hestehoppe og en æselhingst, se side 9 f.

Artsdannelse

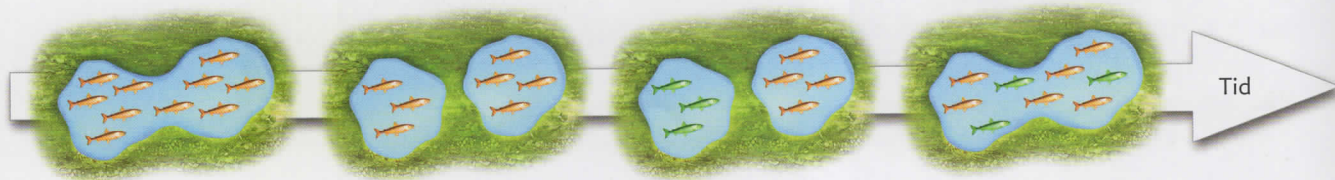
Det er vigtigt at huske at det er arten og ikke individet, som forandres over tid. En art er som tidligere defineret en

gruppe af individer der naturligt kan få og får fertilt afkom med hinanden. Hvis en gruppe individer af samme art på et tidspunkt bliver adskilt i to mindre grupper, der ikke mødes og får afkom med hinanden, siger vi at der er to adskilte *populationer* inden for arten. Hvis sådanne populationer er adskilt over mange generationer, udvikler de sig forskelligt. Med tiden kan de blive så forskellige at selvom de mødes igen, kan de ikke længere få fertilt afkom med hinanden. De tilhører derfor ikke længere samme art, dette fænomen kaldes for artsdannelse, se figur 300.

Levende organismer sættes i system

En taksonom er en forsker der arbejder med at klassificere og inddele jordens mange forskellige organismer i forskellige grupper. Den mest berømte taksonom var svenskeren Carl von Linné der i 1735 i sit store værk *Systema Naturae* beskrev og klassificerede et meget stort antal dyr og planter ud fra deres fysiske forskelle og ligheder. Linné indførte også det navngivningssystem vi benytter i dag. Alle arter har et latinsk dobbeltnavn, et slægtsnavn og et artsnavn. Man kan sammenligne et biologisk navn med et almindeligt navn med fornavn og efternavn, men skrevet med efternavnet først. Eksempelvis har det latinske artsnavn på det moderne menneske siden Linné indførte dette i 1758, været *Homo sapiens*,

Figur 300. Artsdannelse. Adskilte populationer udvikler sig forskelligt og bliver med tiden til to forskellige arter.



hvilket betyder at vores art er en del af slægten *Homo* der også indeholder nu uddøde menneskearter som *Homo erectus* og neandertalerne *Homo neanderthalensis*. Bemærk at man altid skriver latinske artsnavne med kursiv og at slægtsnavnet skrives med stort og artsnavnet med lille forbogstav.

Moderne taksonomi

Linné inddelte og grupperede arter efter hvor mange fysiske ligheder de havde, så organismer der lignede hinanden meget, blev placeret i samme slægt. Slægter der indeholdt organismer der lignede hinanden, blev grupperet i familier. Familier med mange ligheder blev herefter inddelt i henholdsvis ordner, klasser, rækker, riger og superriger. På den måde blev alle le-

vende organismer placeret i et hierarkisk system efter hvor meget de ligner hinanden. I dag er vi gået bort fra fysiske ligheder som baggrund for klassificering og i stedet gået over til at klassificere organismer efter hvor tæt de er beslægtede med hinanden. Meget ofte vil fysiske ligheder og slægtskab være tæt forbundet, men ikke altid, og derfor benytter forskere mere og mere genetiske undersøgelser til at fastslå slægtskabsforhold mellem arter. I figur 301 er vist to eksempler på hvordan arter klassificeres.

Alt liv er beslægtet

Darwin var den første til at foreslå at alle tidligere og nulevende organismer på jorden er beslægtet. Den store mangfoldighed af levende organis-

Taksonomisk beskrivelse		
Superrige	Eukaryota (eukaryoter)	Eukaryota (eukaryoter)
Rige	Animalia (dyr)	Animalia (dyr)
Række	Chordata (rygstrengsdyr)	Chordata (rygstrengsdyr)
Klasse	Mammalia (pattedyr)	Mammalia (pattedyr)
Orden	Primates (primater)	Rodentia (gnavere)
Familie	Hominidae (menneskeaber)	Muridae (ægte mus)
Slægt	Homo (mennesker)	Rattus (rotter)
Art	<i>Homo sapiens</i> (moderne menneske)	<i>Rattus norvegicus</i> (brun rotte)

Figur 301 Klassifikation af mennesket og den brune rotte.

mer og deres komplicerede samspil i forskellige økosystemer er opstået som en konsekvens af de samme tre fundamentale processer:

- Mutationer – skaber variation så individer inden for en art er forskellige.
- Naturlig selektion – de bedst tilpassede får flest afkom så arter tilpasser sig miljøet.
- Artsdannelse – adskilte populationer udvikler sig forskelligt og bliver med tiden til to arter

Slægtskabet mellem forskellige arter beskrev Darwin oprindeligt som et træ hvor grenspidserne var arter, og grene der ledte ud til disse, illustrerede deres fælles udviklingshistorie. Denne måde at illustrere arters slægtskab på bruges stadig.

Forskere mener i dag at alt liv nedstammer fra en organisme der levede på jorden engang for mellem 3,5 og 4 milliarder år siden. Hvad der kom før denne fælles forfar og hvordan det oprindelige liv er opstået, beskæftiger evolutionsteorien sig ikke med. Som I kan læse på side 215 ved man endnu ikke,

hvordan livet opstod, men så snart livet er opstået kan livets udvikling frem til i dag forklares ved hjælp af evolutionsteoriens grundprincipper.

Livets træ

Et af de grundlæggende videnskabelige mål inden for biologien er at beskrive og kortlægge alle arter der lever på jorden og deres indbyrdes slægtskab. Slægtskabsforhold mellem forskellige arter bestemmes ved at sammenligne udvalgte dele af deres arvemateriale ved hjælp af DNA-sekventering. Teknikken bag DNA-sekventering kan I læse mere om side 207 Den overordnede idé er at fjernt beslægtede arter har haft længere tid til at udvikle forskelle på deres DNA end tæt beslægtede arter, og derfor er antal forskelle i DNA fra to forskellige arter et godt mål for hvor tæt beslægtede de er med hinanden. Figur 302 illustrerer dette princip.

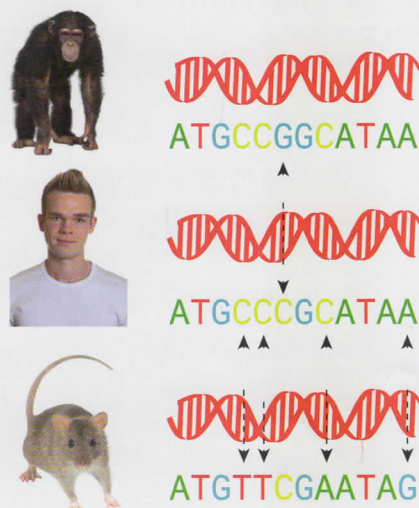
Projektet 'Tree of life' er en webportal der samler eksisterende viden om arters slægtskabsforhold.

Menneskets plads i livets træ

Et af de mest interessante spørgsmål inden for evolutionsbiologien har altid været menneskets plads i naturen. Darwin udgav også en anden berømt bog der på dansk fik titlen Menneskets afstamning og parringsvalget. Her argumenterede han bl.a. for at mennesket og de store menneskeaber deler en fælles forfar og altså nedstammer fra et og samme abelignende væsen, der har eksisteret for millioner af år siden.

Moderne genetiske og evolutionære undersøgelser har vist at vores nærmeste nulevende slægtninge er de to

Figur 302. Tæt beslægtede arters DNA ligner hinanden mere end mere fjernt beslægtede arters DNA.



chimpansearter og derefter henholdsvis gorillaer og orangutanger. De sidste hundrede år er der fundet spor af en række andre menneskearter der har levet forskellige steder på jorden de sidste 5-6 millioner år. Nogle af disse fund er måske vores direkte forfædre, men mange af dem tilhører sandsynligvis andre menneskearter der ikke direkte er vores forfædre, men som var tæt beslægtet med dem.

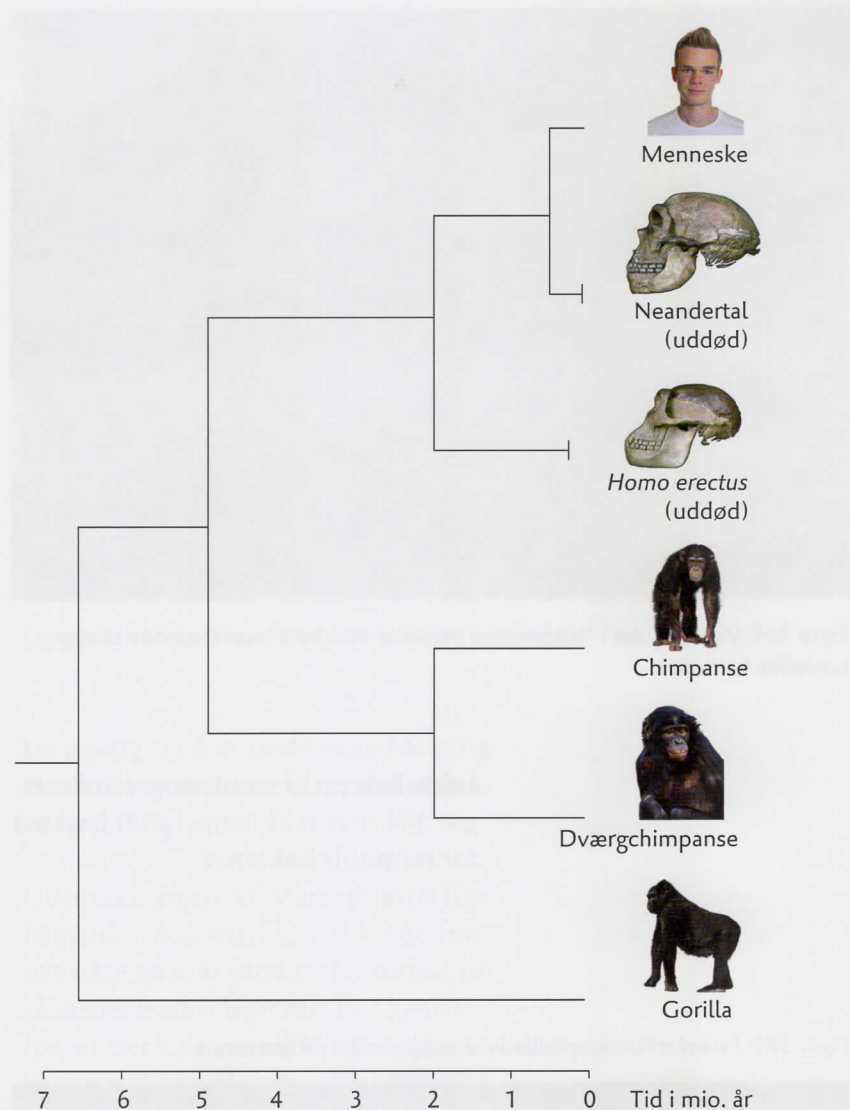
Genetiske undersøgelser af arvemateriale udvundet fra knogler fra de såkaldte neandertalere, har vist at det moderne menneske er meget tæt beslægtet med neandertalerne, men også at de var to adskilte arter der dog sandsynligvis i et vist omfang fik afkom med hinanden. Neandertalerne og det moderne menneske levede side om side i Europa i mange tusinde år indtil for ca. 27.000 år siden hvor neandertalerne uddør, sandsynligvis pga. konkurrencen med det moderne menneske. Figur 303 viser udvalgte eksempler på andre menneskearter og vores formodede slægtskab med dem og nulevende menneskeaber.

Det er vigtigt at huske at Darwin aldrig argumenterede for, at vi nedstammer fra nulevende aber, men blot at vi har en relativt nylig fælles stamfar med aberne. På samme vis har vi og aberne en ældre fælles stamfar med andre pattedyr, fugle, fisk, insekter og alt andet liv på jorden.

Liv i ekstreme miljøer

Termofile bakterier

Flere milliarder års evolution har resulteret i at man på jorden finder de mest forunderlige specialiserede orga-



Figur 303. Stamtræ der viser det moderne menneskes nærmeste slægtsninge.

nismer, der hver især er tilpasset livet i ekstreme miljøer. Nogle af disse levesteder såsom varme kilder i Yellowstone National Park i USA, er så specielle at man først i 1960'erne opdagede, at der findes bakterier der lever og trives i disse miljøer. Bakterier der lever under meget varme forhold, kaldes med en fællesbetegnelse for *termofile bakterier* hvilket blot betyder, at de trives ved meget høje temperaturer – i nogle til-