Livets utvikling!

Per Gustav Thingstad

10

Bli med ut!

Livets utvikling!

Per Gustav Thingstad

Bli med ut! 10

Per Gustav Thingstad (red.)

Livets utvikling!

Reidar Andersen
professor ved NTNU, Vitenskapsmuseet (vertebratøkologi og bevaringsbiologi)
E-post: Reidar.Andersen@vm.ntnu.no

Torbjørn Ekrem
førsteamanuensis ved NTNU, Vitenskapsmuseet (insektsystematikk)
E-post: Torbjorn.Ekrem@vm.ntnu.no

Bjarte Heide
seniorrådgiver seksjon for biosikkerhet, fremmede arter og kulturlandskap ved Direktoratet for naturforvaltning
E-post: BjarteRambjor.Heide@dirnat.no

Arne Moksnes
professor ved NTNU, Institutt for biologi (økologi, etologi og evolusjonsbiologi)
E-post: arne.moksnes@bio.ntnu.no

Hans K. Stenøien
professor ved NTNU, Vitenskapsmuseet (plantesystematikk)
E-post: hans.stenoien@vm.ntnu.no

Per Gustav Thingstad
forsker ved NTNU, Vitenskapsmuseet (vertebratøkologi og bevaringsbiologi)
E-post: per.thingstad@vm.ntnu.no

Kaare Aagaard
førsteamanuensis ved NTNU, Vitenskapsmuseet (entomologi)
E-post: Kaare.Aagaard@vm.ntnu.no

tapir akademisk forlag

© Tapir Akademisk Forlag, Trondheim 2009

ISBN 978-82-519-2441-2
ISSN 1504-1743
ISBN 1504-2340 online

Det må ikke kopieres fra denne boka ut over det som er tillatt
etter bestemmelser i lov om opphavsrett til åndsverk, og
avtaler om kopiering inngått med Kopinor.

Grafisk formgivning: Type-It as
Omslag: Type-It as
Papir: G-print 115 g
Trykk og innbinding: 07 Gruppen as

Ansvarlig redaktør
Morten Steffensen, formidlingssjef NTNU Vitenskapsmuseet
morten.steffensen@vm.ntnu.no

Faglig redaktør
Per Gustav Thingstad, forsker NTNU Vitenskapsmuseet
per.thingstad@vm.ntnu.no

Referanse
Til selve heftet:
Thingstad, P.G. (red.) 2009. Livets utvikling! – Bli med ut! 10: 1-79

Til et spesielt kapitel (eksempel):
Ekrem, T. 2009. Artsdannelse og livets tre. S. 34-48 i:
Thingstad, P.G. (red.). Livets utvikling! – Bli med ut! 10.

Tapir Akademisk Forlag
7005 TRONDHEIM
Tlf.: 73 59 32 10
E-post: forlag@tapir.no
www.tapirforlag.no

Forord

Livet på jorda har blomstret og gått til grunne gjennom ulike geologiske perioder, fra den spede start i havet til et mylder av arter som har erobret vann, land og luft. Dette artsmangfoldet har fascinert oss mennesker på ulikt vis opp gjennom tidene. I dette heftet presenterer en kortfattet og oppdatert kunnskap om de mekanismene og prosessene som styrer livets utvikling på jorda, vår historiske forståelse av disse lange prosessene, og våre muligheter til å påvirke den videre utviklingen av artene (spesielt de domestiserte) med moderne vitenskapelige metoder. Flere av temaene berører dagsaktuelle problemstillinger i samfunnet vårt, blant annet striden mellom en kreasjonistisk og en vitenskapelig verdensoppfatning. Vårt primære ønske med «Livets utvikling!» er imidlertid å gi en faglig plattform til alle som ønsker å forstå den evolusjonære bakgrunnen til den naturarven vi skal forvalte. Følgene av våre valg i dag vil være avgjørende for hvordan livet på jorda vil kunne utvikle seg videre, selv inn mot en fjern og ugjennomskuelig framtid.

Redaktøren

«Organic life beneath the shoreless waves
Was born and nurs'd in ocean's pearly caves;
First forms minute, unseen by spheric glass,
Move on the mud, or pierce the watery mass;
These, as successive generations bloom,
New powers acquire and larger limbs assume;
Whence countless groups of vegetation spring,
And breathing realms of fin and feet and wing.»

Erasmus Darwin. *The Temple of Nature, 1802.*

Innhold

Innledning 7

Et forvirrende mangfold

Har artene vært slik de er nå bestandig? 9
Finnes arter? 10
System for ordning av arter i forhold til hverandre 11
Utvikling 11

Charles Darwin og reisen som endret naturvitenskapen

Darwins bakgrunn og unge år 14
HMS Beagle og kaptein FitzRoy 15
Geologiske og biologiske observasjoner av en foranderlig verden 16
Feugianerne på Ildlandet 16
Galapagos 17
Galapagosfinkene 20
Tilbake i England 21
Brevet fra Wallace 21
Framleggelsen av evolusjonsteorien og Artenes opprinnelse 22
Darwins evolusjonsteori 22
Konfliktene etterpå 23
Seksuell seleksjon 24

Informasjonsbærerne

Blendingteorien: Darwins genetiske problem 25
Mendels partikulatteori 25
Dominante og recessive karaktertrekk 27
Mendels 1. og 2. lov 28
Mutasjon 29
Genflyt og genetisk drift 30
Oppsummering 31

Artsdannelse og livets tre

Hva er en art? 34
Hvordan dannes arter? 38
Hvor mange arter har vi i livets tre? 42
Taksonomi 44
Hva vet vi om livets tre? 45
Nytteverdi av taksonomisk forskning 48

Evolusjonsteorien etter Darwin

Weismannbarrieren og det sentrale dogmet 49
Om å leve med egoistiske gener....51
Våre kropper er bare genenes overlevelsesmaskiner....51
Individets altruisme og genets egoisme 52
Grønne skjeggeffekter og konflikter mellom genene....52
Oppsummering av den gensentrerte evolusjonsbiologien....52
Molekylær evolusjonsbiologi....53
Kan vi unnslippe genenes tyranni?....54
Memer – de nye replikatorer 54
Debatten omkring nivåene for seleksjon 56

Menneskets utvikling

Genenes tale 57
Før Homo....58
Slekten Homo....60
Tidlig Homo-linje....61
Nyere Homo-linje 61
Homo erectus....62
Homo heidelbergensis....62
Homo neanderthalensis....63
Homo floresiensis 63
Homo sapiens....64

Fra kunstig seleksjon til genmodifiserte organismer

Fra ulv til ulike hunderaser....67
Avl av kulturplanter og husdyr....67
Fra avl til mutagenese og genmodifisering....69
GMO-teknikker 69
Insektresistens....70
Plantevernmiddeltoleranse 70
Omstridt teknologi....71
Kloning....71

Er tyngdekraften reell?

Opplysningstiden 72
Vitenskap og tro....72
Mistro til naturvitenskap 73
Kreasjonistiske argumenter og vitenskapelig tilsvar 75

Referanser

....78

Innledning

Av Per Gustav Thingstad

De eldste restene av liv på jorda, som vi kan observere uten noen hjelpemidler, stammer fra noen 3,5 milliarder år gamle fossiler i Australia og det sørlige Afrika. Her finnes tydelige spor etter stromatolitter, som er kolonier av blågrønnalger som har fanget opp partikler i grunne sjøområder og felt ut kalk i halvkuleformete strukturer. Fra en beskjeden og treg start i havet har utviklingen av nytt liv skutt fart i ulike geologiske perioder, gjerne i etterkant av store omveltninger på jorda med masseutryddelser av arter som konsekvens. Disse langvarige prosessene har ført fram til dagens artsmangfold i vann og på land. Per dato har vi klassifisert nærmere 2 millionene arter. I tillegg regner en med at det må være flere millioner arter som enda ikke er beskrevet. Spesielt finnes det mange ubeskrevne arter i de tropiske regnskogene, ikke minst blant insektene. Men hvordan har dette mylderet av arter oppstått, og hvilke mekanismer ligger bak?

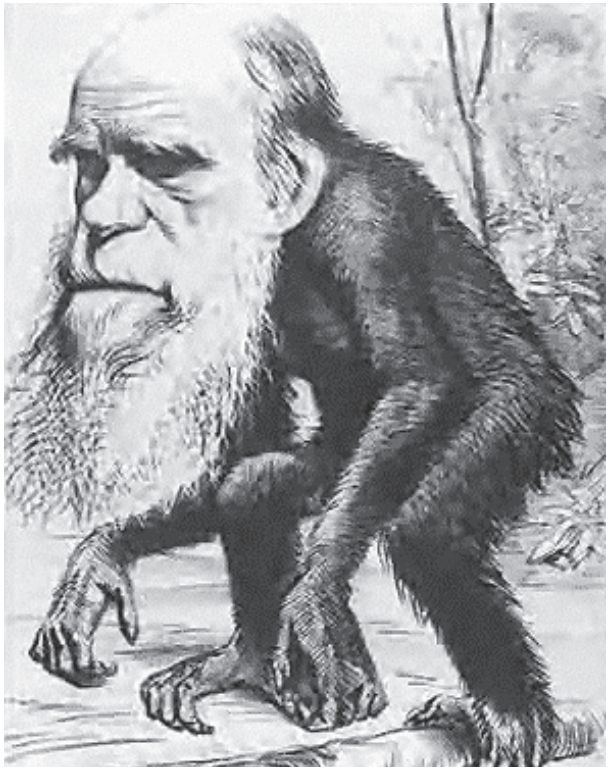
I Bibelen har mange kristne funnet et to tusen år gammelt svar, artene (og fossilene) er skapt av Gud en gang for alle for 6000 år siden. Etter at de første naturvitenskaplige tilnærmingene kom utover på 1700-tallet (i perioden som gjerne kalles opplysningstiden, fra om lag 1690 til 1800), begynte man å beskrive og klassifisere artene på jorda, og etter hvert også å stille kritiske spørsmål om Bibelens statiske svar på livets utvikling. Opplysningstiden var generelt en samfunnskritisk periode, der borgerne stilte krav om medinnflytelse og utfordret eneveldet i mange land. Kirkens makt over samfunnet ble redusert, og det var tillit til at opplysning om naturvitenskap og filosofi kunne bygge opp bedre samfunn. Dette sto i kontrast til middelalderen som hadde vært sterkt kirkelig og teologisk dominert, med et verdensbilde med jorda som et sentrum som himmellegemene dreide seg om, og med Gud øverst i himmelen. Opplysningstidens intellektuelle idealer lot seg imidlertid ikke gjennomføre uten motstand. På Charles Darwin sin tid (født i 1809) var derfor naturvitenskapen i det europeiske samfunnet fortsatt under innflytelse av disse brytningene. Selv nå i dag, etter at Darwins evolusjonsteori har rukket å bli 150 år gammel, finnes det store grupperinger som har problemer med å akseptere vitenskaplige fakta.

Kjenner en litt til den lange utviklingshistorien til livet på jorda, blir det nødvendigvis et paradoks at noen fortsatt bruker mangelen på mellomledd mellom en form (art) til en annen som et poeng i sin argumentasjon mot Darwins evolusjonsteori. Med moderne DNA-teknologi, der vi kan beregne slektskapet mellom nålevende og til dels også utdødde grupper, kan vi dokumentere at dette ikke er noe problem – blant annet foregår utviklingen ikke lineært, men derimot ved knoppskyting. Evolusjonen skjer gjennom dan-

nelse av nye greiner på «livets tre» der mange av de gamle sidegreiene er dødd ut. Det er helt urealistisk å forvente at vi skal finne alle mellomformene på en arts utviklingslinje. Til det har nok alt for mange dødd ut uten å ha etterlatt seg noe fossilt materiale. Videre skal kompetente personer finne eller komme over dette materialet. På tross av dette dukker det stadig opp nye funn som passer inn i puslespillet; eksempler som viser veien fra fisk til firbeinte landdyr, fuglenes start blant fjærkledde dinosaurer for mer enn 100 millioner år siden, og ulike stadier i menneskets utvikling og skille fra de andre menneskeapene (hominidene) som har foregått over en periode på 6-7 millioner år. Mest omtalt er funnene fra Etiopia, i 1974 av «Lucy» (som tilhører vår 3,2 millioner år gamle slektning *Australopithecus afarensis*), og nå høsten 2009 publiseringen av funnet av «Ardi» (ei 120 cm høy hunn av nærmennesket *Ardipithecus ramidus* som levde for 4,4 millioner år siden). Videre var det i år et stort oppstuss omkring «Ida» (*Darwinius massillae*), et meget godt bevart primatfossil som er 47 millioner år gammelt. Fossilet som stammer fra Messelgruven i Tyskland, er utstilt ved Naturhistorisk museum i Oslo. Dette funnet representerer en mellomform mellom halvapene (lemurer) og de ekte apene (antropoider) der hominidene representerer en av sidegreinene.

Darwins evolusjonsteori står som et av naturvitenskapens fundamenter. Denne teorien er ugjendrivelig verifisert ved utallige funn og vitenskapelige metoder fra mange fagfelt. Opp gjennom tiden er Darwins forklaringsmodell om *naturlig seleksjon* blitt ytterligere utdypet. Ikke minst har Mendels arvelover og moderne DNA-metoder bidratt til en bedre forståelse av mekanismene bak naturlig seleksjon. Vi har også tatt i bruk denne kunnskapen til blant annet å foredle våre tamdyr og matplanter. Etter hvert har også moderne teknologi muliggjort kloning og genmodifisering av organismer. I 2003 ble menneskets komplette genom beskrevet. Derfor er det et langt sprang fra den naturfaglige innsikten på Darwins tid og fram til dagens kunnskap og teknologi.

Enten vi liker det eller ikke, naturvitenskap er i betydelig grad med på å forme vårt samfunn. Uten innsikt i livets utvikling på jorda og menneskets påvirkningsmuligheter, er det vanskelig å forstå og ikke minst å kunne ta reflekterte politiske og etiske standpunkt i mange helt eksistensielle utfordringer som menneskeheten og livet på jorda for øvrig står overfor.



Charles Darwin var et yndet tema for samtidens vittighetstegnere, her i bladet "Hornet" fra 1860.

Et forvirrende mangfold

Av Kaare Aagaard

Det begynte med noe av det mest menneskelige som finnes; å sette navn på det som omgir oss – i dette tilfellet dyr og planter. Nytteplanter eller giftige planter, dyr som kunne spises eller var farlige fikk navn på forskjellige språk og i ulike kulturer. Dette er kjent fra flere tusen år gamle tekster i Mosebøkene – det første mennesket gjør er å gi dyrene navn. I mange tilfeller var det lett å se at noen individer var like eller nesten like av utseende, eller at de holdt sammen i par. Det var naturlig å bruke samme navn om alle eksemplarene av en slik gruppe; det vi i dag kaller en art. Urbefolkninger har f.eks. egne navn på fuglearter som viser seg å stemme forbløffende godt med vitenskapelig artsoppfatning. Av 120 arter hadde de innfødte på New Guinea «riktig inndeling» av 110 arter.

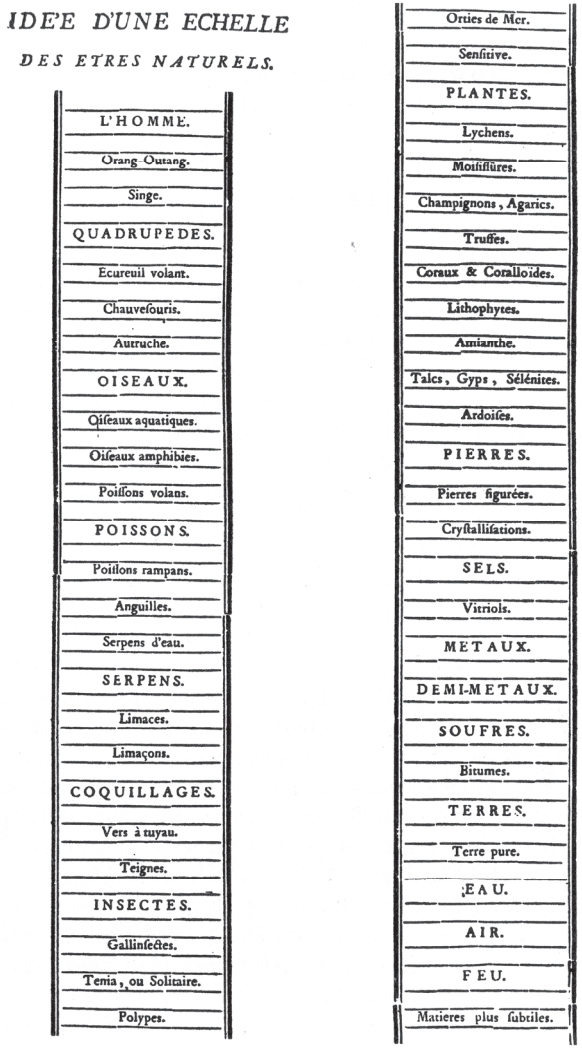
Har artene vært slik de er nå bestandig?

Hvor kommer artene fra – hvordan har de oppstått? I den kristne og jødiske verden har dette spørsmålet i over 2000 år hatt et svar: Artene var skapt slik det er beskrevet i skapelsesberetningen. Artenes antall var fastlagt en gang for alle, og alle var skapt i den form vi kan se i dag. Dette var rammen alle observasjoner måtte kunne forklares innenfor. For flere detaljer i beskrivelsen av naturen viste kirken til den greske filosofen og naturforskeren *Aristoteles* (384-322 f.Kr.): Dyrene kunne deles inn i dem med blod (rødt blod) og de uten blod. Det vokste også frem en ordning der organismene kunne settes inn i en «naturens stige» med planter og enkle dyr nederst og virveldyr og mennesket langt opp – men med engler og guddommelige vesener øverst.

I Vesten var all kritisk naturbeskrivelse etter antikken død i hundrevis av år, men på 1600-tallet våkner den til live. I løpet av de neste 100-200 årene ender stadig flere biologer opp med to spørsmål som ikke lett passer inn i skapelsesberetningen (dvs. gitt at artene er skapt):

- Hvordan forklare variasjonen mellom individer som klart tilhører samme art?

- Hvordan forklare fossiler, spor etter arter som ikke finnes lenger?



Scala naturae. Et tidlig bilde av at alt som er skapt og derved uforanderlig på jorda kunne legges inn som trinn i en sammenhengende stige eller trapp. Trappen gikk fra elementene ild, luft, vann og jord til planter, dyr, mennesker og himmelske vesener.

Finnes arter?

Det kan være uventet for folk med vanlig interesse for naturen at fagfolk selv i dag stiller dette spørsmålet. Men biologene har flere definisjoner av hva en art er. To hovedretninger går helt tilbake til antikken.

Platon (427-347 f.Kr.) har en fortelling som kalles hulelignelsen. Han mener at vi mennesker ser naturen som om vi sitter i en hule og bare ser skyggene dyrene kaster på veggen, aldri det virkelige dyret. Individene er ufullstedige manifestasjoner av en underliggende idé – ideos eller en essens. Denne retningen blir kalt essensialisme og har betydd svært mye for all tenkning om arter og deres opphav i over 2000 år. Den berømte biologen Ernst Mayr (1904-2005) mener at essensen er lik det vi i dag kaller «genprogrammet» som hver art bærer med seg kollektivt.

I skarp motsetning til denne essensialismen står Occam (1288-1347) med nominalismen.

Occam benekter at det finnes enheter som for eksempel arter. Artene er menneskeskapte enheter, og skiller seg som sådan ikke fra uorganiske enheter som «stol», «bord» eller «gråhet». De fleste biologer godtar i dag et artsbegrep som legger vekt på at individene kan formere seg, oftest seksuelt, med andre individer av samme art. Denne biologiske prosessen gjør at «art» som begrep er unikt i forhold til «stol» eller «bord». På en annen side kan behovet som har vært for å redefinere artsbegrepet mer enn et dusin ganger, tyde på at begrepet ikke er så selvsagt likevel. Det finnes biologer som aksepterer at populasjoner som opptrer samtidig i tid og rom deler et genprogram, men at artsbegrepet fort blir redusert til en menneskelig konstruksjon når vi beveger oss bakover i tid eller fra et kontinent til et annet.

Det første spørsmålet kan forklares ut fra *essensialismen* (se også faktaboksen). Selv om universet er skapt perfekt, er ikke alle individene det – se bare på oss mennesker.

Fossilene derimot var ikke så enkle å forklare. Grunnleggeren av moderne paleontologi, Georges Cuvier (1769-1832) var en meget kunnskapsrik anatom som bl.a. skrev bøker om forholdet mellom fossiler og nålevende elefantdyr. Men selv med hans innsikt i fossiler, kunne han ikke tillate seg tanker som brøt med skapelsesberetningen. Noas syndeflod ble redningen. Han mente at Gud hadde skapt verden flere ganger og så utryddet den med katastrofer. Noas syndefold var bare den siste av mange. På denne måte kunne han også forklare de geologiske lagene og de ulike fossilene han fant.

Andre biologer ga mer eller mindre opp å finne en god forklaring på fossilene. Tanken på at Gud hadde skapt arter som så igjen var blitt ødelagt var for vanskelig. Fossiler ble redusert til noe som hadde vokst frem i steinlagene og som lignet på levende natur.

System for ordning av arter i forhold til hverandre

Før vi går videre med historien om forklaringene på variasjonen og fossilene, skal vi løfte blikket fra artene til de enhetene som biologene etter hvert samlet artene i: Slekt eller genus, orden, klasse og rike. (I senere tid har vi også innført flere trinn, blant annet familie mellom slekt og orden.)

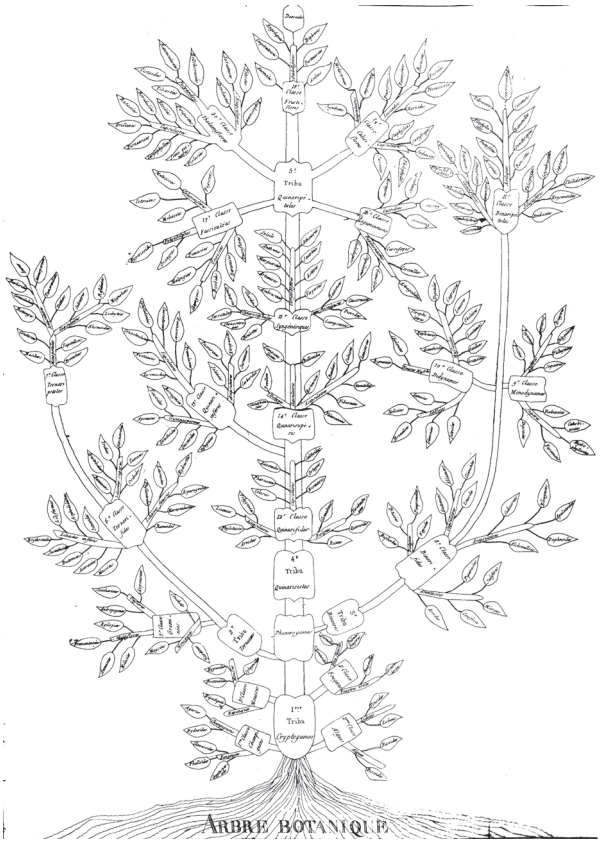
Gitt at alle artene var skapt samtidig og på samme måte, måtte likhetene mellom noen arter bare være en «konstruksjonslikhet» – tanker om organisk slektskap mellom artene var ikke aktuelle.

Midt på 1700-tallet var det flere biologer som beskrev mange arter og laget forslag til en naturlig inndeling og et konsekvent navnesystem. Alle er imidlertid kommet inn i historiens skygge av Carl von Linné (1707-1778). Han fortsetter langt på vei med Aristoteles inndeling av dyrene og samler dem i det han kaller dyreriket. Plantene får størst oppmerksomhet fra Linné, og hans planterike deles inn etter strenge klassifiseringsregler – antall støvdragere og antall arr. For Linné er det slekten som er essensen, artene er «bare» spesifikke utforminger.

Linné utga flere utgaver av sitt hovedverk *Systema naturae*, eller Naturens system. Oversikten forbedres bl.a. ved at hvalene flyttes fra fiskene til pattedyrene. Til slutt omfatter verket rundt 4 400 dyrearter og 7 700 plantearter, både fra Norden og resten av verden. Linnés grunntanke er kort uttrykt i «Gud skapade – Linné ordnade». Alt var skapt – men ettersom årene går, blir Linné mer i tvil om hvordan skapelsen hadde foregått. Han så et enormt mangfold. Dette hadde han ordnet i grupper som han selv nå til dels kalte «unaturlige». Videre fant han individer som var tydelige krysninger mellom arter. Hadde skaperen muligens forenklet oppgaven for seg selv ved å skape slektene (genera) med et lite antall arter (species) – muligens bare to i hver slekt som så hadde gitt opphav til de andre artene ved krysning seg i mellom? Og mot slutten av sitt liv går Linné enda lenger: Skaperen hadde muligens bare skapt ordenene – og overlatt detaljene med slekter og arter til en selvgående prosess. Slik tenkte Linné i 1760-årene!

Utvikling

Som nevnt var det allerede fra Aristoteles tanker om at noen organismer fremstår som mer primitive, mer ufullkomne enn andre. Én idé var at det var en kontinuerlig utvikling som pågikk hele tiden, slik at de artene som i dag er aper



TABLEAU

Servant à montrer l'origine des différens animaux.

Vers.

Infusoires.
Polypes.
Radiaires.

Insectes.
Arachnides.
Crustacés.

Annelides.
Cirrhipèdes.
Mollusques.

Poissons.
Reptiles.

Oiseaux.

Monotrèmes.

M. Amphibies.

M. Cétacés.

M. Ongulés.

M. Onguiculés.

Cette série d'animaux commençant par deux

To "stamtrær" fra tidlig på 1800 tallet. Augier var opptatt av plantenes klassifikasjon og mente at de ulike gruppene kunne ordnes som grener og blad på en stamme etter mønster av "stamtrær" for familier av mennsker (fig t. v.). Augier antyder at treet viser "opphav" til de ulike gruppene men går ikke så langt som Lamarck som tydelig argumenterer for en utvikling langs linjene i sitt grendiagram (fig t. h.).

vil bli mennesker i fremtiden – enhetene stiger oppover på «scala naturae».

Greve Georges-Louis Leclerc de Buffon (1707-1788) utga i 1749 de tre første bindene av *Historie Naturelle, génerale et particulière* som i alt ble et verk på 44 bind. Buffon var inspektør for «Jardin du Roi» i Paris og leder av den kongelige samling, eller det som etter hvert ble et naturhistorisk museum. Han hadde idéer om at geologiske objekter kunne beskrives som resultat av ulike perioder og forsto at forsteininger i øvre lag var fra yngre perioder enn de i nedre lag. Buffon var muligens den første som innså at de nåværende geologiske og biologiske objekter var resultat av en rekke forandringer som fossilene og geologien kunne gi informasjon om. Slik Buffon leste det, gikk han sterkt imot Linnés artsinndeling med uforanderlige arter som var skapt i sin endelige form. Buffon var ateist, men måtte bøye av når kirken gikk hardt ut mot hans teorier om en «utvikling» gjennom sju geologiske perioder. Noen vitenskapshistorikere ser på Buffon som den første virkelige utviklingsteoretiker, men da med et begrepsapparat som var preget av at han var samtidig med Linné og levde hundre år før Darwin.

I 1809 utga Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829) sin avhandling *Philosophie Zoologique*. Her fremsetter han i klartekst tanker som vi kan ane hos tidligere forfattere om at artene ikke er uforanderlige, men stadig endres. Lamarcks bok kom ut femti år før Darwins feirete verk. I en kronikk i *Nature* i år (2009) tar forfatterne Graur, Gouy og Wool et oppgjør med nedvurderingen av Lamarcks arbeid og siterer den tyske biologen *Ernst Haeckel* som allerede i 1902 utpekte Lamarck som opphavsmannen til utviklingsteorien – Darwin får selvsagt beholde æren for å ha forstått *mekanismen* ved naturlig seleksjon som vi feirer 150-årsjubileum for nå i 2009.

Lamarck mente at utviklingen skyldes et indre behov (besoin) i organismen. Ordet «besoin» er vanligvis blitt oversatt via engelsk med «ønske» (engelsk: «want»), mens betydningen hos Lamarck mer er «behov» («need») – giraffenes hals ble lengre fordi dyrene hadde «behov» for å nå de høyeste bladene. Verken Lamarck eller Darwin (både farfaren og vår mann) hadde kunnskaper om genetikk – men som vi skal se, var mekanismeforståelsen til Charles Darwin bedre enn Lamarcks «ervervede egenskaper».

I dag har vi gitt navn til og klassifisert snart 1,8 millioner arter av dyr, planter, sopp, alger, en rekke encellete organismer, bakterier og arkebakterier. Vi tar en felles utvikling fra en urorganisme for gitt og bygger «livets stamtre» på et ufravikelig krav om at det skal gjenspeile utviklingshistorien. Men fremdeles vet vi ikke om det er fem eller tretti millioner arter som deler kloden med oss – i et ordnet mangfold.

Charles Darwin og reisen som endret naturvitenskapen

Av Per Gustav Thingstad

12. februar i 2009 var det 200 år siden den kjente engelske naturforskeren Charles Darwin ble født. Før sin død 73 år senere skulle han revolusjonere naturvitenskapen. Mest berømt er Darwin for sin forståelse av at alle arter har utviklet seg over lang tid fra en felles stamform, gjennom en dynamisk prosess som han kalte naturlig seleksjon. Denne ble først beskrevet i hans berømte bok om Artenes opprinnelse som kom ut 24. november i 1859. Det faktum at det foregår en slik evolusjonsprosess ble, på tross av stor motstand til å begynne med, stort sett akseptert mens han ennå levde. I modifisert form er fortsatt Darwins vitenskapelige oppdagelse fundamentet for biologien og den moderne evolusjonsteorien ettersom den gir en ny logisk forklaring på hvordan alt mangfold av liv, inklusive mennesket, har oppstått.

Darwins bakgrunn og unge år

Charles Robert Darwin ble født i Shrewsbury i England den 12. februar 1809. Moren døde da Charles bare var åtte år gammel. Faren Robert Darwin (1766-1848) var ikke bare en fremgangsrik lege, men også en ivrig frimurer og en overbevist ateist. Charles var nok også under innflytelse av sin farfar, fritenkeren Erasmus Darwin (1731-1802), selv om han døde før barnebarnet ble født. Erasmus var bl.a. naturfilosof og en velkjent poet (jf. diktet gjengitt på s. 4). Han formulerte de første tankene omkring en biologisk utvikling i The Laws of Organic Life (1794-1796). Men han omtaler ingen mekanismer, langt mindre noen naturlig seleksjon.

Det gjorde heller ikke den franske biologen Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829), som på Darwins fødselsår la fram sitt arbeid i Philosophic zoologique. Her legger han fram sin utviklingsteori, lamarckismen. Den skisserer også den helt visjonære teorien på dette tidspunktet, nemlig at livet har utviklet seg, artene er foranderlige. Han tar imidlertid feil på et sentralt punkt, nemlig omkring mekanismene som styrer utviklingen av artene. Ifølge Lamarcks teori vil erververvede (tillærte) egenskaper kunne overføres til avkommet. En annen person som skulle få betydning for Darwins senere evolusjonsteori var den britiske presten og samfunnsforskeren Thomas Robert Malthus (1766-1834). Han er blant annet kjent for følgende utsagn: «Enhver populasjon som

vokser med uforanderlig vekstrate, øker eksponentielt. Mattilgangen kan riktignok øke raskt i visse perioder, men på grunn av jordens begrensede ressurser kan denne veksten ikke være vedvarende.»

Farens ateisme forhindret han ikke i å foreslå teologistudiet til sønnen, antagelig fordi utsiktene til et trygt utkomme veide tyngst. Allerede 16 år gammel begynte imidlertid Charles Darwin å studere medisin i Edinburgh, men han likte studiene dårlig. I 1827 hadde Darwin senior fått nok av sønnens manglende framgang i studiene og fikk han innskrevet ved Christ's College i Cambridge. Der skulle han studere teologi. Men også her fant Charles forelesningene lite inspirerende og kjedelige. En skarp naturalistisk filosof ved navn Robert Grant hadde en viss formende innflytelse på han. Grant var en fritenker som holdt fysiske og kjemiske krefter for å være drivkraften for livets opphav og utvikling. Charles tok seg fri fra teologien for å gå på jakt og drive med avl av duer og hunder så ofte han kunne. Han var interessert i natur og friluftsliv, og ved siden av studiene leste han biologi og geologi på egen hånd, fulgte forelesninger og deltok på ekskursjoner. Robert Darwin klaget over at sønnen var blitt en «uvirksom ung slubbert uten annen interesse enn sport og jakt» og strammet ham opp. Etter dette avla Charles sin teologieksamen med gode karakterer i 1831. Hans livssyn i denne tiden er blitt karakterisert som «avslappet protestantisme».

HMS Beagle og kaptein FitzRoy

27. desember 1831 forlater skuta HMS Beagle havna i Plymouth. Den legger ut på en reise som skulle bli en helt gjennomgripende vitenskapelig ekspedisjon. Etter omfattende undersøkelser i Sør-Amerika returnerte Beagle, via New Zealand, Sydney og Hobart i Tasmania, til Cornwall i England den 2. oktober 1836.

Til alt hell var Charles Darwin med på denne reisen. De kontaktene og kunnskapene han hadde fått gjennom sine hobbyer, førte til at botanikeren og presten John Stevens Henslow anbefalte han som ulønnet «gentleman companion» for den unge marinekapteinen og naturforskeren Robert FitzRoy (1805-1865) ved hans planlagte jordomseiling med HMS Beagle. Darwin senior var skeptisk til å slippe sønnen ut på det han anså som enda et ørkesløst foretagende. Charles beklaget seg til sin onkel, dikteren Josiah Wedgwood, som fikk overtalt faren til å la unge Darwin legge ut på sitt store eventyr.

Den vitenskapelige begrunnelsen for Beagles ferd var primært å perfeksjonere kartene over kystlinjene i fjerne himmelstrøk. Kaptein FitzRoy var under reisen derfor fokusert på dette og å måle vindstyrken; men dessuten var han opptatt av å finne bevis for en bokstavtro fortolkning av Bibelens skapelsesberetning. Charles Darwin delte lugar med han og skulle dessuten holde han med selskap under måltidene, ettersom FitzRoys rang forhindret han i å pleie omgang med andre enn «gentlemen». Darwins teologisk bakgrunn var nok også et vesentlig moment for at valget hadde falt på han. Men Darwin hadde helt andre faglige interesser enn kapteinen, og han sto FitzRoys fundamentalisme fjernt. De to kranglet derfor ofte, noen ganger på grensen til det sinnssyke, skriver Darwin i sin dagbok. FitzRoy skulle da også ta livet av seg, lik sin onkel ved å kutte seg over halsen, men dette skjedde heldigvis flere år etter ferden med Beagle. Som et forsøk på blidgjøre FitzRoy kalte Darwin en ny delfinart for *Delphinus fitzroi*. Denne arten oppdaget og beskrev han under ferden, men det er usagt om dette hjalp så mye på forholdet mellom de to.

Geologiske og biologiske observasjoner av en foranderlig verden

En av Darwins viktigste inspiratorer var den skotske geologen Charles Lyell (1797-1875). I 1830 skrev han verket Principles of Geology der han hevdet at jorda var langt eldre enn de fleste samtidige trodde. Han framholdt at den bare gjennomgikk gradvise og ikke katastrofale endringer. Studier av fossiler støttet dette. I lagrekkene så det ikke ut til å forekomme noen punkter der alt liv var blitt utslettet. I bagasjen hadde Darwin med seg et ferskt eksemplar av Lyells verk i tre bind. Ved Beagles første landkjenning, på vulkanøya St. Jago, oppdaget Darwin et horisontalt bånd av kalkstein som strakte seg gjennom fjellet ca.15 m over havflata. Kalken besto av sammenpressete skjell som måtte ha blitt hevet over havet på grunn av langsomme bevegelser i jordskorpa. Dette ville i så fall støtte Lyells idéer om jordas alder. For kaptein FitzRoy var det samme funnet et klart bevis på at Syndfloden også hadde herjet på den sørlige halvkulen.

Under turen skulle Darwin få flere opplevelser i skjæringsfeltet mellom geologi og biologi som styrket hans syn på jordklodens stadig foranderlighet. Under et jordskjelv i Chile så han at et felt med muslinger ble presset opp over høyvannsmerket, et bevis på hvordan landet hadde hevet seg også i tidligere tider. Høyt oppe i Andesfjellene observerte han flere fossile trær som hadde vokst på en sandstrand og nærliggende skjell fra havet. I Uruguay kjøpte han et kranium av et utdødd planteetende pattedyr på størrelse med en flodhest. Denne skallen forvirret Darwin, for det hadde bygningstrekk fra både mus og elefant (dyret har fått navnet Toxodon platensis). Og sist, men ikke minst, grov Darwin selv ut sjeldne fossiler av store, utdødde pattedyr i lag bestående av moderne sjøskjell i Brasil og Argentina, deriblant fra et gigantisk bakkelevende dovendyr som hadde skarpe tenner, som var veldig forskjellig fra tennene hos de nåværende slektningene som lever av tre. Denne megafaunaen måtte derfor ha dødd ut relativt nylig. Han fant også en tann fra en utdødd hest (Darwin var kjent med at hestene var utdødd i Amerika da Columbus kom dit). Tilbake på Beagle skriver da også at Darwin at han er meget betatt av de geologiske relasjonene til nålevende og tidligere arter i Sør-Amerika.

Feugianerne på Ildlandet

Darwins møte med feugianerne på Sør-Amerikas sørspiss, Ildlandet, var et annet møte som fikk stor betydning for Darwin. Disse innfødte levde meget primitivt, de hadde et skrint kosthold og et språk som Darwin, lik kaptein Cook, sammenliknet med «... en mann som renser halsen, men utvilsomt har ingen europeer noen gang renset halsen med så mange hese, gutturale og klikkende lyder». Darwin hadde et flertydig, men ikke udelt positivt syn på dem. Han skriver at de var uvasket, primitive og foraktelige barbarer, men de hadde mulighet for «forbedring», med andre ord sivilisering etter imperialistisk mønster. Likevel så ikke feugianerne ut til å minke i antall og måtte leve i en slags økologisk likevekt. Historien vil ha det til at da Darwin møtte de «ville» og «usiviliserte» feugianerne, skjønte han at mennesket en gang måtte ha levd som dyr, ja, til og med vært dyr.

Samtidig beskriver han også med tristhet det han ser av europeiske påvirkninger på andre urbefolkninger på slutten av reisen. Den europeiske innflyttingen til Australia og Tasmania hadde allerede på Darwins tid nærmest utryddet aboriginere, og det samme var tilfellet med maoriene på New Zealand.

Galapagos

Den 15. september 1835 ankom Beagle den geologisk sett unge vulkanske øygruppen Galapagos, som ligger 1000 km vest for kysten av Ecuador. Neste dag foretok Beagles mannskap strandhogg på vestsiden av San Cristóbal (Chatham Island). Darwin ble ikke særlig imponert av hva som møtte han, og skrev i sin dagbok: «Strålene fra den vertikale sola varmer opp den svarte berggrunnen slik at det føles som å være i en ovn, lufta blir stillestående og trykkende. Plantene lukter heller ikke godt.» De marine iguanene, som var et vanlig syn på alle øyenes strender, beskrev han som heslige, mørke skapninger, dumme og dovne i bevegelsene, men i vatnet svømte de med fullkommen smidighet og hurtighet. Etterpå besøkte de Albemarle Island (Isabela). Her så Darwin for første gang landiguaner, som han beskrev som noen skrekkelige dyr, men at de ble betraktet som god mat.

Men snart gjorde også Darwin flere observasjoner som han fant interessant. Han registrerte blant annet hvor ekstraordinært tamme fuglene var på Galapagos, deriblant de to gruppene spottefugler og finker. Han beskriver dessuten en stor «hauk» (galapagosvåken), som han bare for moro skyld kunne dytte bort fra kvisten den satt på, og galapagosduene, som på tross av at de var blitt jaktet på i 150 år, fortsatt var meget tillitsfulle.

Darwins interesse for Galapagos' fauna ble ytterligere vekket da han traff på de gigantiske landskilpaddene, «som gikk med lange skritt langs brede og godt opptråkkete stier som førte fram til vannhullet deres». Den 24. september dro Beagle til Charles Island (nå kjent som Floreana). Her møtte Darwin den engelske viseguvernøren Nicholas Lawson. Lawson hevdet med sikkerhet at han kunne fastslå hvilken øy landskilpaddene stammet fra ut fra formen på ryggskallet deres. Betydningen av dette utsagnet, som indikerte at det måtte være egne arter eller underarter av landskilpaddene på hver øy, gikk dessverre ikke opp for Darwin før senere. Derfor etiketterte han heller ikke de landskilpaddene de samlet inn

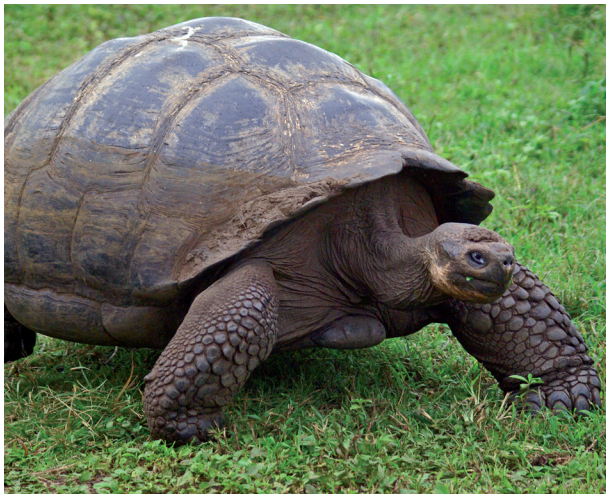
Darwin støtte tidlig på iguaner på Galapagos; disse beskrev han som heslige skapninger. Dyret til venstre er en landiguan som har funnet sin favorittføde, et ferskt kaktusskudd på bakken, mens det til høyre er en sjøiguan som henter føden i sjøen. Foto: Per Gustav Thingstad

(til mat under den videre ferden), derfor undersøkte han aldri hvilken øy de kom fra.

På Galapagos samlet han derimot spottefugler, og her la han merke til tre forskjellige arter (en fjerde art er registrert etter Darwins tid) som var forskjellige alt etter hvilken øy de stammet fra. Mens Darwin organiserte notatene sine på tilbakereisen, skrev han ca. 1. juli 1836 at dersom hans gryende mistanke om spottefuglene (og skilpaddene) var riktig, ville «slike fakta underminere artenes stabilitet», som var den gjeldende doktrinen. Darwin mente at de tre artene måtte stamme fra et enkelt tilfelle av kolonisering fra fastlandet, mest sannsynlig fra det nærmeste fastlandet. Han skrev senere at slike fakta «hjalp meg med å belyse artenes opprinnelse».

Det som etter hvert spesielt fascinerte Darwin på Galapagos, var at både plantene og dyra der minnet om de tilsvarende artene på det søramerikanske fastlandet, til tross for store forskjeller i klima og andre livsbetingelser. Ja, Galapagos minnet mye mer om de tilsvarende vulkanske Kapp Verde-øyene utenfor Afrika. Men hvorfor var ikke artene på Kapp Verde-øyene lik dem på Galapagos, men tvert om minnet om dem på det afrikanske fastlandet? Dette var ikke hva man kunne forvente ut fra den da anerkjente biologiske teorien om at artene var skapt hver for seg og tilpasset de rådende naturforholdene. Og hvorfor var artene forskjellige på de ulike Galapagosøyene, men samtidig mer lik hverandre enn sine slektninger på fastlandet?

HMS Beagle var bare fem uker i farvannene til Galapagosøyene, men Darwins nærvær om bord sikret at Galapagos har fått en sentral plass i naturvitenskapens historie.



Den engelske viseguvernøren på Galapagosøyene kunne fortelle Darwin at han kunne fastslå hvilken øy landskilpaddene stammet fra på grunnlag av formen på deres ryggskall. Til venstre er en typisk representant for graseterne i høylandet og dyret til høyre for bladeterne ved kysten, som har en oppoverbudet forkant på skallet slik at dyret kan strekke halsen oppover. Foto: Per Gustav Thingstad.

Nå i ettertid har en gruppe amerikanske forskere ved Department of Biological Sciences, Humboldt State University i California analysert spottfuglenes mitokondrielle DNA. De bekrefter Darwins antagelse om at alle artene stammet fra en enkelt utvandring. Artene på Galapagos er imidlertid nærmere i slekt med spottefugler fra Nord- og Mellom-Amerika enn arter fra Ecuador, Chile og Argentina. De har derfor fløyet noe lengre enn den unge Charles antok for å komme ut til Galapagos.

Spottefuglene opptrer gjerne i familiegrupper, og disse forsvarer intenst sine territorier ute på sandstrendene.
Foto: Per Gustav Thingstad

Den 8. oktober 1835 skriver Darwin følgende om Galapagosøyene: «Arkipelet er en liten verden i seg selv ... Tar vi i betraktning den beskjedne størrelsen på øyene, dess mer forbauset blir vi over deres store antall av opprinnelige [endemiske] skapninger og deres begrensete utbredelse ... Derfor synes vi å bli ført nærmere den store virkeligheten både i rom og tid – mysteriet over alle mysterier – den første tilsynekomst av nye skapninger på denne jorda.» Bildene viser Bartolomé-øya med Pinnacle Rock t.h. og et typisk lavalandskap fra en av øvrige Galapagosøyene. Foto: Per Gustav Thingstad.

To ulike galapagosfinker, legg spesielt merke til den ulike nebbformen. Foto: Per Gustav Thingstad

Galapagosfinkene

Myten om Darwin og finkene på Galapagos er seiglivet. Gjentatte framstillinger vil ha det til at det nettopp var disse finkene som ga ham «åpenbaringen» om evolusjonsteorien. Galapagosfinkene er til de grader knyttet til Darwin at de i dag urettmessig kalles for «darwinfinker». Sannheten er imidlertid den at Darwin sjøl ikke vektlegger observasjonene av finkene noe spesielt i sine første undersøkelser, ei heller skriver han eksplisitt om dem i Artenes opprinnelse fra 1859. Faktisk var han meget skjødesløs som samler når han behandlet dem. Han skjøt og preparerte ca. 30 stykker, men han så ikke engang at de var finker alle sammen. Han noterte heller ikke hvilke øyer han samlet dem fra. Han syntes de liknet så mye på fugler han hadde sett mye av på det søramerikanske fastlandet at han ikke fant det bryet verd!

Darwin omtaler finkene på Galapagos kun i ett avsnitt i sin beretning fra jordomseilingen: «Når man ser en slik trinnvis serie med bygningsformer i en liten, nært beslektet gruppe fugler, kunne man faktisk falle for tanken om at én art fra en opprinnelig sparsom fuglepopulasjon på øyene var blitt valgt ut og modifisert til flere formål.» Dette kan likevel regnes som en av hans første hentydninger til sin senere beskrivelse av naturlig seleksjon som drivkraften i evolusjonen.

Galapagosfinkenes betydning ble først forstått av Darwin da ornitologen John Gould (1804-1881) sendte ham et brev i mars 1837. Her påpeker Gould at finkene Darwin hadde samlet ikke stammet fra vidt forskjellige familier, som Darwin hadde antatt, men at de alle tilhørte en bemerkelsesverdig ny underfamilie (Geospizinae innenfor familien Emberizidae).

Det ble etter hvert klart at Darwin hadde blandet sammen noen av sine innsamlete finkefugler, og at han hadde ikke notert med sin vanlige nøyaktighet hvor de var blitt samlet inn fra. Darwin ble nødt til å søke hjelp hos sine skipskamerater, som for øvrig også hadde skutt noen av finkene. Resultatet av dette arbeidet er den samlingen, som nå oppbevares ved Natural History Museum i London, er blitt beskrevet som en taksonoms verste mareritt. Men det som uansett er av betydning, er det faktum at senere vitenskapelige arbeider har

bekreftet at medlemmer fra denne fuglefamilien har utviklet seg til å fylle mange klart forskjellige økologiske nisjer, og nylige studier av galapagosfinkenes nebb har framskaffet påfallende nye belegg for hvordan den naturlige seleksjonen arbeider over et faktisk tidsintervall.

Tilbake i England

Tilbake i England publiserte Darwin i 1839 sin reiseberetning i boka med den lange tittelen: Journal of researches into the natural history and geology of the countries visited during the voyage of H.M.S. Beagle round the world, under the command of captain FitzRoy, R.N. Denne skulle seinere bli utgitt i over 250 utgaver på 22 ulike språk under den forkortete tittelen «Voyage of the Beagle» Som vi ser, ble boka svært populær. I datidas England hadde man sans for velskrevne fortellinger fra fjerne strøk, sjøl om man i Darwins bok finner en mengde detaljer om blant annet bløtdyr og korallrev. Han ble da også innvalgt som Fellow of the Royal Society samme år som boka kom ut.

Det er altså her vi finner det lille avsnittet om finkene og hans hentyding til sin «nye» teori, som han avslutter med: «Men plassen tillater meg ikke å drøfte dette interessante spørsmålet i dette verket.» Det skulle gå ytterligere 20 år!

Gjennombruddet for hans teori om artenes utvikling skjedde trolig da han leste Thomas Malthus sitt verk Essay on the Principle of Population i 1838. Han skjønte da at individene i enhver populasjon måtte konkurrere om knappe ressurser, og at denne prosessen, sammen med variabilitet og arv, kunne lede til evolusjonære endringer. I 1844 var hans teori ferdig formulert, og han redegjorde for den i brev til Joseph Hooker og Charles Lyell. Han skrev også et essay på 231 sider. Imidlertid utsatte han utgivelsen i ytterligere 15 år. Grunnen er dels at han ønsket flere empiriske data, dels at han siden hjemkomsten arbeidet blant annet med krepsdyra rur. Han publiserte fire tjukke monografier om disse i 1851 og 1854, både om nålevende og fossile arter. Mot slutten av livet uttalte Darwin imidlertid tvil om dette hadde vært verd strevet! Men mest avgjørende for utsettelsen var, som nevnt, kanskje Darwins forsiktige natur. Han avskydde oppriktig all uenighet og konfrontasjon, og var smertelig klar over at den som sår vind, høster storm!

Brevet fra Wallace

I 1858 mottok Darwin manuskriptet On the tendency of varieties to depart indefinitely from the original type. Det var sendt fra Malaysia av Alfred Russel Wallace (1823-1913). Her ser Darwin til sin forskrekkelse at Wallace hadde utviklet den samme teorien uavhengig av han!

Wallace var en sjøllært biolog som blant annet hadde lest «Voyage of the Beagle» og den mer ukjente Vestiges. Inspirert av disse bøkene hadde han deltatt på reiser til Amazonas og Malaysia – på det siste stedet på jakt etter menneskets opprinnelse. Historien forteller at han i feberrus av malaria hadde fått en visjon om at artene hadde oppstått ved naturlig seleksjon. Han skrev derfor i all hast et manuskript og sendte det til Darwin for gjennomsyn, ettersom Darwin på dette tidspunktet var en av Storbritannias mest anerkjente biologer. Han ba Darwin om å sende manuskriptet videre til Charles Lyell.

Etter en del fram og tilbake ble kompromisset mellom Darwin og Wallace følgende: Charles Lyell og Joseph Hooker skulle presentere begges arbeid ved Linnean Society of London, dvs. Wallaces 20-siders manuskript og et utdrag av et Darwins essay fra 1844.

Framleggelsen av evolusjonsteorien og Artenes opprinnelse

Etter kompromisset mellom Darwin og Wallace ble deres evolusjonsteori presentert på et møte ved Linnean Society i London den 1. juli 1858. Darwin var ikke til stede, og få av tilhørerne var klar over at de hadde overvært den første offentlige presentasjonen av biologiens viktigste teori! Illustrerende nok forlot foreningens president møtet den dagen idet han skal ha sukket og sagt at dette året ikke akkurat hadde vært preget av sensasjonelle eller revolusjonerende vitenskapelige oppdagelser ...!

Den 24. november 1859 kom omsider det første opplaget av Darwins bok som bærer den fulle tittelen: On the Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life, som i senere utgaver ble forkortet til The Origin of Species (Artenes opprinnelse). Her presenteres et dynamisk artsbilde, og mekanismen bak artsdannelsesprosessen. Han skriver ikke om menneskets utvikling her, men nøyer seg med formuleringen: «Light will be thrown on the origin of man and his history.» Men samtidig skriver han at trolig nedstammer alle levende vesener som noen gang har levd på jorda fra en eller annen felles stamform. Han formulerer også at livet på jorda er blitt

Darwins evolusjonsteori

Darwin bygger sin evolusjonsteori på et sett av egne observasjoner, men han mottar også inspirasjoner fra vitenskapelige arbeider fra samtidige vitenskapsmenn (spesielt Malthus, Lamarck og Lyell). De fem sentrale observasjonene er:

- Alle arter har en så stor evne til å forplante seg at deres populasjoner ville øke eksponentielt hvis alle individer som ble født fikk lov til å vokse opp og reprodusere.
- De fleste populasjoner vi observerer, har stabile størrelser.
- Naturlige ressurser er begrensede.
- Individene innenfor en og samme populasjon varierer betydelig når det gjelder egenskaper. Ingen er nøyaktig like.
- Mye av denne variasjonen er arvelig.
- På bakgrunn av dette laget Darwin tre grunnprinsipper for hvordan arter kan utvikles via den prosessen han kalte *naturlig seleksjon:*
  - Alle arter produserer mer avkom enn det som kan leve opp. Bare en mindre del overlever i hver generasjon. («The struggle for life.»)
  - De individene som har de beste egenskapene, dvs. de som er *mest tilpasningsdyktige* gitt de miljøforholdene de lever under, har størst sannsynlighet for å overleve og dermed bringe sine egenskaper videre til de neste generasjonene. Disse egenskapene er arvelige. («The survival of the fittest» – et utsagn som ikke stammer fra Darwin, men derimot fra den engelske filosofen Herbert Spencers verk *Principles of Biology* fra 1864).
  - Gjennom generasjoner fører en slik seleksjon til endringer i individenes egenskaper til en ny tilpasning til miljøbetingelsene. Slik kan en art på lang sikt utvikle seg til en annen art.

skapt i løpet av millioner av år etter mønster av et enkelt forgreinet tre – «livets tre».

Darwins mest konsise forklaring i Artenes opprinnelse av mekanismen bak artsdannelse er følgende: «Ettersom mange flere individer blir produsert enn dem som har mulighet til å overleve, må det i ethvert tilfelle finne sted en kamp for tilværelsen, enten det er tale om ett individ mot et annet individ av samme art eller mellom individer av ulike arter, eller med livets fysiske betingelser. ... Kan det så virke usannsynlig, når man ser at variasjoner som har vært nyttige for mennesket uten tvil har funnet sted, at også andre variasjoner som i en eller annen forstand er nyttige for hver enkelt skapning i livets store og komplekse kamp, også stundom skulle finne sted i løpet av tusener av generasjoner? Om slike [variasjoner] faktisk finner sted, kan vi da betvile (idet vi husker at mange flere individer blir født enn dem som muligvis kan overleve) at individer som har en eller annen overlegenhet – i forhold til andre, ville ha den beste anledning til å overleve og til å forplante seg? På den annen side kan vi føle oss sikre på at enhver variasjon som i minste grad virker skadelig, ville bli ødelagt. Denne bevaringen av gunstige variasjoner og avvisningen av skadelige variasjoner kaller jeg Naturlig Seleksjon.»

Dette er altså teorien om evolusjon ved naturlig seleksjon. Darwin støttet seg også på kunnskaper om husdyravl og planteforedling, som er evolusjon ved kunstig seleksjon. Dessverre viste Darwin ingenting om sammenhengen mellom arv og gener, han som de fleste andre på denne tiden var uvitende om Gregor Mendel (1822-1884) sine arvelighetsforsøk, som ble publisert i 1865 og 1866. De skulle først få sin rettmessige plass i naturvitenskapen da de ble gjenoppdaget i 1900.

Konfliktene etterpå

Selv om den svenske naturforskeren Carl von Linné (1707-1778) i sin klassifisering av alle kjente dyre- og plantearter på hans tid, om lag 100 år før Darwin, hadde plassert mennesket i samme orden som apene og i samme klasse som pattedyrene, forutså Darwin at hans evolusjonsteori ville skape debatt. Idéen om en lang utvikling av alt liv fra en felles stamform avvek sterkt fra datidens kristne lære, der mennesket hadde (og har) en unik plass i skapelsen. På samme måte som den lutherske erkebiskopen i Uppsala anklaget Linné for ugudelighet, angrep nå den engelske kirken Darwin og hans evolusjonsteori.

Darwin hadde dårlig helse etter reisen med Beagle, og han var ingen stridens mann. Han foretrakk å leve tilbaketrukket i Kent sammen med sin kone, søskenbarnet Emma Wedgwood, som han giftet seg med i 1839, og deres etterhvert 10 barn. Darwins evolusjonsteori ble derfor primært forsvart av hans venner, spesielt Thomas Henry Huxley (1825-1895). Da biskop Samuel Wilberforce i 1860 i den store hallen i Oxford Naturhistoriske museum spurte hans forsvarer Huxley foran 700 tilhørere, om han stammet fra apene gjennom sin bestefar eller sin bestemor, skal denne ha svart: «Jeg vil heller ha en ape som opphav enn en mann som bruker sitt intellekt til å spøke bort sannheten i en diskusjon omkring et emne han ikke har rede på.» Det ble øyeblikkelig uro i salen, og Lady Brewster skal ha besvimt.

Darwin skriver lite om menneskets utvikling i Artenes opprinnelse. I 1871 utgir han imidlertid sin bok The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex (Menneskets avstamning). Her omtaler Darwin menneskets avstamning. Han antyder at vi må komme fra Afrika ettersom

det er der vi finner våre nærmeste slektninger hos menneskeapene (sjimpansene). Selv om Darwin ikke var noen stridens mann, unnlater han ikke å videreutvikle sin teori til også entydig å inkludere menneskets opprinnelse. Teorien om seksuell seleksjon, som går under betegnelsen «Darwins andre teori», blir også framsatt her (se egen faktaboks).

Seksuell seleksjon

Seksuell seleksjon er i likhet med naturlig seleksjon en mekanisme som fører til utvikling av artene, men i stedet for å være innrettet mot en optimal tilpasning til det ytre miljøet er det her de ulike individenes suksess til å velge eller å tiltrekke seg kjønnspartnere som er drivkraften. Hos arter som formerer seg ved kjønnet formering er valg av partner sjelden tilfeldig. Faktorer som fører til seksuell seleksjon er konkurranse mellom individer av eget kjønn og kurtiseatferd for å tiltrekke seg det motsatte kjønn. Vanligvis er suksess hos hannen knyttet til å befrukte mange egg eller hunner, mens hunnene nødvendigvis ikke får flere avkom ved å ha sex med mange hanner. De er mest tjent med å velge en hann som øker avkommets levedyktighet ved gode gener eller tilgang på essensielle ressurser. Her er det en evolusjonær fundamental forskjell mellom kjønnene.

Darwin brukte påfuglhannens ekstremt lange stjert som et eksempel på en egentlig hemmende og upraktisk egenskap, som har oppstått som følge av seksuell seleksjon. Selv om denne lange stjerten medfører at hannene som bærer den blir lettere bytte for rovdyr, og at den dessuten er energikrevende å dra på, er den blitt utviklet fordi hunnene foretrekker hanner med de lengste og fargerikeste halefjærene. Disse hannene signaliserer da også ved sitt blotte nærvær at de har vært i stand til å takle sitt «handikap». Egenskapen lang og flott stjert har ikke oppstått til beste for arten, men som en følge av konkurranse om én ressurs (å få en make) mellom individene av hannkjønn.

Mennesket avviker fra de fleste andre pattedyr, idet det innenfor de fleste menneskekulturene er tradisjon for langvarige parforhold med felles omsorg for avkommet. Likevel er vi alle produkter av hvor vellykkete våre forfedre var med hensyn til å få barn med attraktive partnere, og her spiller fortsatt det biologiske fundamentet bak seksuell seleksjon og dermed ulike «interesser» hos de to kjønnene inn. Kjønnsforskjellene er derfor ikke bare kulturelt betinget. Et spennende eksempel på hva seksuelle seleksjon hos mennesker kan føre til, er forekomsten av blonde og blåøyde personer i Europa. Her foreligger nyere genetiske studier som tyder på at blonde personer ble spesielt ettertraktete da denne mutasjonen oppsto, trolig en gang mot slutten av siste istid. Mutasjonen for blå øyne oppsto omtrent samtidig. Grunnen til at disse mutasjonene har overlevd og er blitt såpass bredt utbredt, mener antropologen Frost i sitt arbeid fra 2006, at de er blitt framelsket ved seksuell seleksjon der blondiner ble oppfattet som mest tiltrekkende. I de tidlige jaktsamfunnene var det underskudd på menn fordi så mange ble drept under jakt på store dyr. Menn ble dermed en knapphetsressurs. Samtidig hadde kvinnene få muligheter til å forsørge seg selv og sitt avkom med mat, noe som reduserte forekomstene av polygami (flerkoneri). Det ser ut til at blonde og blåøyde kvinnene var mest ettertraktet, de klarte å kapre flere menn enn sine mørkere medsøstre. Dermed økte frekvensen av de nye mutasjonene raskt i disse tidlige europeiske fangstkulturene. Dette kan også forklare hvorfor det er større variasjon i hår- og øyefarge blant nåværende europeere enn hos folk fra andre verdensdeler.

Informasjonsbærerne

Av Hans K. Stenøien

Evolusjon ved naturlig seleksjon forutsetter at det eksisterer arvelig variasjon mellom individer i en populasjon. Hvis alle individer er like, vil det være tilfeldig hvilke individer som overlever og reproduserer seg. Hvis variasjonen mellom individer ikke er arvelig, vil ikke den genetiske sammensetningen i populasjonen endre seg over tid, og man vil ikke se noen utvikling. Mengden genetisk variasjon i en populasjon er derfor et kritisk mål på hvor effektivt naturlig seleksjon kan være, og dermed hvor mye evolusjon som kan skje.

Blendingteorien: Darwins genetiske problem

Darwin skjønte hvor viktig arvelig variasjon var for teorien hans. Samtidig var mekanismene bak arv ikke kjent på denne tiden, og Darwin kunne derfor ikke gjøre rede for hvordan nedarving av egenskaper egentlig foregikk. Den mest populære forklaringsmodellen for arv av egenskaper på denne tiden var den såkalte blendingteorien. Den gikk ut på at arvestoffet var å betrakte som et ubestandig stoff som lot seg blande og forandres gjennom generasjoner med formering. Hvis for eksempel en kvinne som er lav av vekst får barn med en mann som er høy av vekst, vil avkommet bli middels høyt fordi «høyt» og «lavt» arvestoff er blitt blandet sammen til «middels» arvestoff. Det fungerte altså omtrent som vann tilsatt ulike farger som blandes med hverandre, som for eksempel at gult og blått vann danner grønt vann.

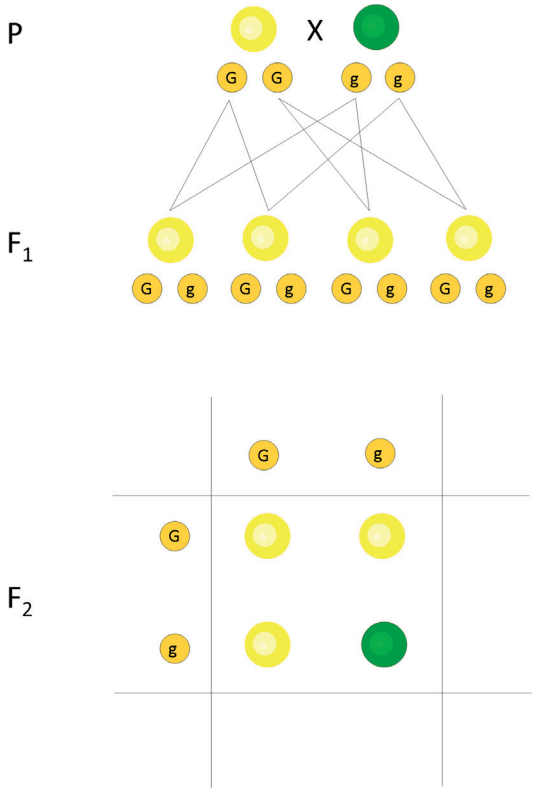
Problemet med blendingteorien, noe som Darwin var smertelig klar over, er at en slik nedarving nødvendigvis fører til tap av arvelig variasjon. Hvis man i en populasjon bare har individer med «blått» og «gult» arvestoff, og i tillegg noenlunde tilfeldig formering, vil alle individer ha «grønt» arvestoff i løpet av få generasjoner. All genetisk variasjon har med andre ord gått tapt, og man kan ikke ha noen evolusjon ved naturlig seleksjon.

Mendels partikulatteori

Det fantes et alternativ til blendingteorien på midten av 1800-tallet, nemlig den såkalte partikulatteorien (faktaboksen på slutten av dette kapitlet inneholder forklaring av faguttrykk). Den gikk ut på at arvestoffet ikke er en substans som lar seg blande og forandres på en slik måte

som beskrevet under blendingteorien, men at arvestoffet tvert imot er fast og stort sett uforanderlig under selve nedarvingen. Arvestoffet er derfor ikke å anses som farget vann, men heller småstein med ulike farger som godt kan blandes sammen med andre småstein som ser annerledes ut, men som ikke endrer sine egenskaper av den grunn. Det var munken Gregor Mendel (1822-1884) som beviste at partikulatteorien var riktig og blendingteorien var gal. Dette arbeidet var basert på nitidig arbeid med erteplanter (*Pisum sativum*), og han publiserte resultatene av dette arbeidet i 1865, bare seks år etter at Darwin publiserte *Artenes opprinnelse*. Mendels arbeid forble imidlertid ukjent i hans samtid, og det biologiske miljøet ble ikke klar over dette grensesprengende arbeidet før på begynnelsen av 1900-tallet med «gjenoppdagelsen» av Mendels arbeid av blant andre Hugo de Vries og flere andre.

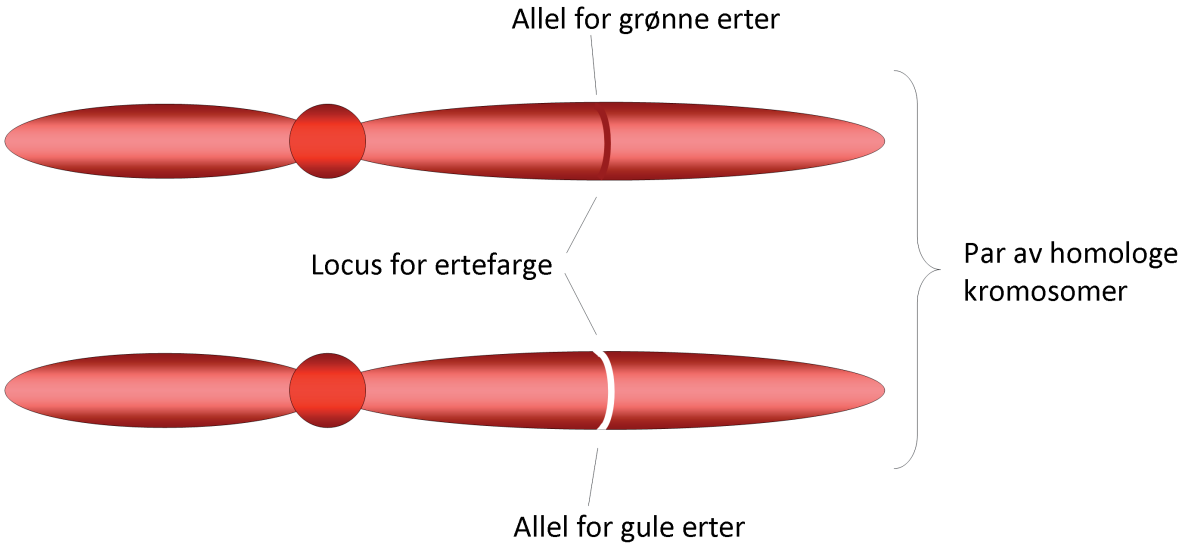
Partikulatteorien reddet Darwins evolusjonslære, siden den gjorde det mulig å forklare hvorfor genetisk variasjon ikke går tapt under selve nedarvingsprosessen. Mendel formulerte nedarvingslovene etter å ha foretatt tusenvis av kontrollerte krysninger mellom erteplanter med forskjellige egenskaper. Han studerte en rekke karakterer, deriblant farge på frøene (ertene), farge og form på belgene, samt stengel- og blomsterkarakteristika. For hver karakter fremviste plantene han arbeidet med forskjellige trekk: blomster kunne være lilla eller hvite, ertene var gule eller grønne, glatte eller rynkete og så videre. Han la raskt merke til at hvis han krysset individer med forskjellige trekk for en gitt karakter, ville alt avkom bare fremvise trekket til den ene av foreldrene. Hvis for eksempel en plante med gule erter ble krysset med en plante med grønne erter, ville alt avkommet ha gule erter. Fenotypen til avkommet var med andre ord lik fenotypen til bare én av foreldrene. Dette betyr ikke at det ene trekket har forsvunnet. Hvis man krysser alt avkommet med de gule ertene med hverandre, vil én av fire avkom i den nye generasjonen ha grønne erter. Vi sier at vi i parental generasjonen (P) krysser en gul med en grønn fenotype, og i første avkomsgenerasjon (F_1) vil bare den gule fenotypen uttrykkes. Hvis individer i F_1-generasjonen krysses med hverandre, vil vi imidlertid få dannet en ny generasjon (F_2) der ett av fire individer fremviser den grønne fenotypen, mens tre av fire fremviser gul fenotype.



En forelder med gule erter (*GG*) krysses med en forelder med grønne erter (*gg*) i parentalgenerasjonen (P): Alt avkom i F_1-generasjonen blir heterozygoter (*Gg*) og får gule erter. I F_2-generasjonen vil ¼ av avkommet være homozygoter (*GG*, med gule erter), ½ vil være heterozygoter (*Gg*, med gule erter), og ¼ vil være recessive homozygoter (*gg*, med grønne erter). Mendel gjennomførte slike krysninger og viste dermed at blendingteorien var gal og partikulatteorien var riktig.

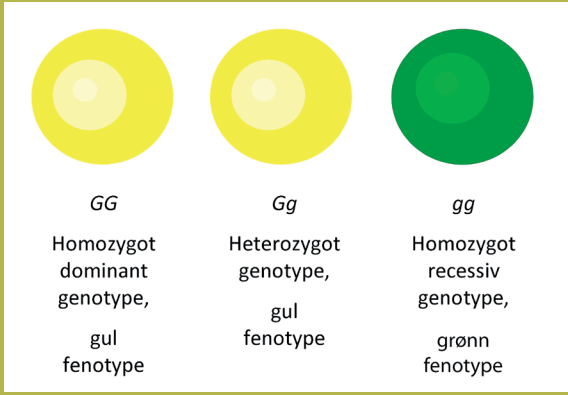
Dominante og recessive karaktertrekk

Mendel forklarte dette med at glatte erter er et dominant trekk, mens rynkete erter er såkalte recessive trekk. Disse trekkene bestemmes av det som Mendel kalte faktorer, men som vi kaller gener, nærmere bestemt alleler på bestemte loci. Mennesker, og mange andre planter og dyr, har celler som består av to kopier av hvert kromosom. Arvematerialet ligger på kromosomene, som stort sett er lange sammenkveilete DNA-molekyler. På DNA-molekylene ligger regioner som bestemmer fenotypen til ulike karakterer, blant annet vil man kunne finne en eller flere regioner som koder for frøform (erteform) hos erteplanter. En slik region av DNA-molekylet kalles et locus (eller «gen», flertall loci), og ulike varianter som koder for ulike trekk, kalles ulike alleler for dette locuset. Siden vi har to kopier av hvert kromosom, kan man ha to like alleler for et gitt locus (homozygoti) eller to forskjellige alleler (heterozygoti). Mendel antok at recessive alleler må opptre med to kopier for å bli uttrykt, og for å uttrykke rynkete erter må man altså ha recessiv homozygoti. Dominante alleler, derimot, vil bli uttrykt om de opptrer alene i heterozygoter eller i form av dominant homozygoti. Disse kombinasjonene av like og ulike alleler kalles henholdsvis homozygote og heterozygote genotyper. Vi sier derfor at genotypen ligger til grunn for fenotypen.



Et locus (flertall loci) er et fysisk område av et kromosom som kan kode for en gitt egenskap («gen»). Mange organismer, deriblant mennesker, har to kopier av hvert kromosom, og et individ kan dermed ha to like eller to forskjellige alleler ved et locus. Vi sier at genotypen enten er henholdsvis homozygot eller heterozygot. Figuren viser et hypotetisk eksempel for et locus som koder for karakteren ertefarge, og to alleler som koder for hver sine trekk: Grønne erter (recessivt allel) og gule erter (dominant allel).

Hvis begge foreldrene i P-generasjonen er homozygote for henholdsvis det recessive (grønne frø) og det dominante (gule frø) trekket, vil alt avkommet i F1-generasjonen være heterozygoter, altså bærere av både det dominante og det recessive allelet. Alle disse individene vil uttrykke den dominante fenotypen fordi det trengs bare ett allel for å få denne uttrykt. Hvis individer i F1-generasjonen krysser seg med hverandre, vil man i F2-generasjonen få dannet tre genotyper: Halvparten av avkommet vil være heterozygoter, ¼ vil være dominant homozygot, og ¼ vil være recessivt homozygot, og bare den sistnevnte genotypen vil gi rynkete frø (se figur). Bare en av fire i F2-generasjonen vil med andre ord fremvise den recessive fenotypen.



Homozygot dominant genotype (GG) gir gul fenotype, heterozygote genotype (Gg) gir gul fenotype, og recessive homozygot genotype (gg) gir grønn fenotype.

Mendels 1. og 2. lov

De forsøkene som lå til grunn for Mendels første lov tilsier at alleler ved et locus nedarves uavhengig av hverandre. Dette er en annen måte å si at partikulatteorien er riktig, at gener ikke forsvinner eller forandres i nedarvingsprosessen, og at genetisk variasjon derfor ikke forsvinner fra en populasjon selv om det foregår formering mellom individer. Mendel foretok også krysninger mellom individer som var forskjellige for to karakterer (for eksempel individer med gule og glatte frø krysset med individer med grønne og rynkete frø). Disse forsøkene viste at alleler ved forskjellige loci også nedarves uavhengig av hverandre, noe som er blitt kalt Mendels andre lov om nedarving. Grunnen til dette er for det første at ulike kromosomer nedarves uavhengig av hverandre, og at alleler som ligger på to forskjellige kromosomer ikke er koblet i nedarvingsprosessen. Loci som ligger på samme kromosom vil også for det meste nedarves uavhengig av hverandre på grunn av overkrysning, eller utskifting av kromosomsegmenter, som skjer under cellens reduksjonsdeling (meiose).

Konsekvensen av dette er at man kan få dannet rekombinant avkom, avkom som har helt andre egenskaper enn foreldrene på grunn av annen sammensetning av alleler på forskjellige loci. Krysning mellom en mor med gule og glatte frø og en far med grønne og rynkete frø kan for eksempel danne avkom med gule og rynkete frø. Rekombinasjon sørger for at hvert individ er unikt og ikke likt noe annet individ innen en seksuelt formerende art.

Mendel viste hvordan egenskaper nedarves og dette ligger til grunn for vår forståelse av evolusjon. Sett på bakgrunn av Mendels lover definerer man gjerne evolusjon som endringer i allelfrekvenser i en populasjon gjennom tid. Normal mendelsk nedarving vil i seg selv ikke endre allelfrekvenser. Hvis alle foreldre enten er homozygot recessive eller homozygot dominante for en karakter, vil alle avkommene være heterozygote – og det vil fortsatt være 50 % dominante og 50 % recessive alleler i populasjonen. Hvis F_1-generasjonen krysser seg med hverandre vil man i F_2-generasjonen ha 25 % homozygote recessive, 25 % homozygot dominante og 50 %

heterozygote genotyper, og heller ikke her er allelfrekvensene endret – det er fortsatt 50/50 dominante og recessive alleler. Vi sier at populasjoner er i *Hardy-Weinberg- likevekt* når allelfrekvenser ikke endres over generasjoner på grunn av fravær av evolusjonære krefter. Naturlig seleksjon er en prosess som endrer allelfrekvenser, for eksempel ved at det er en fordel å ha glatte frø (kanskje fordi dette er forbundet med tørketoleranse siden rynkete frø har et lavere vanninnhold). Over tid er det i så fall en større sjanse for at alleler som koder for glatte frø, blir overført til neste generasjon enn alleler som koder for rynkete frø.

Hos vårskrinneblom (*Arabidopsis thaliana*) har de fleste mutasjoner vist seg å være mer eller mindre gunstige. Foto: Sverre Lundemo.

Mutasjon

Mendelsk nedarving fører ikke til dannelse av ny allelisk variasjon, bare variasjon i genotypefrekvenser, og naturlig seleksjon er avhengig av variasjon for å fungere. Hvordan dannes så ny variasjon? Rekombinasjon fører til nye fenotyper i en populasjon og dette kan ligge til grunn for seleksjon. Men all variasjon som finnes i en art må til syvende og sist ha oppstått som følge av en mutasjon, en spontan og tilfeldig endring av arvematerialet (DNA-molekylet). Det finnes mange ulike typer av mutasjoner, noen som virker over store områder av kromosomer og noen som bare virker på de minste bestanddelene av DNA-molekylet, de såkalte basene (basesubstitusjoner). Kodende deler av DNA-molekylet består av fire ulike baser. Når disse basene settes sammen, danner de informasjon som må til for å lage og regulere dannelsen av RNA og proteiner. Proteinene er grunnlaget for oppbygging av celler og resten av organismen. De fire minste bestanddelene av DNA-molekylene kallers adenin (A), guanin (G), thymin (T) og cytosin (C). I en gitt DNA-sekvens for et gitt locus kan én base skiftes ut med en annen, for eksempel en mutasjon fra «...AGTT...» til «...CGTT...». Dette vil i de fleste tilfellene være skadelig for bæreren av mutasjonen, fordi det som regel vil føre til endring av proteinegenskaper eller kanskje tap av utrykk av genet. I noen tilfeller vil imidlertid en mutasjon kunne virke gunstig for overlevelses- og formeringsevnen til bæreren. Dette er blitt demonstrert i mange såkalte mutasjonseksperimenter. Andelen av nye mutasjoner som er skadelige varierer fra eksperiment til eksperiment. I de fleste tilfeller vil de aller fleste nye mutasjoner være skadelige i større eller mindre grad, men i eksperimenter på vårskrinneblom (*Arabidopsis thaliana*) har man påvist at det er omtrent like

stor sannsynlighet for at en ny mutasjon er gunstig for bæreren som at den er skadelig.

Man trenger ikke mange mutasjoner for å få en fullstendig endret fenotype, og kanskje til og med dannelsen av helt nye arter. *Mimulus* er en slekt som består av mange arter med helt forskjellige blomsterfenotyper. Man har vært interessert i å slå fast hvor mange mutasjoner som ligger til grunn for den blomsterformvariasjonen som man observerer. To arter i denne slekten, *M. lewisii* og *M. cardinalis* er forskjellige for en hel rekke fenotypiske trekk, inklusive blomsterfarge, størrelse og form på blomsterspore, mengde nektar og pollineringstype (*M. lewisii* er insektpollinert, mens *M. cardinalis* er fuglepollinert). Man har klart å vise at et lite antall mutasjoner ligger til grunn for denne store fenotypiske variasjonen, og det beviser at et fåtall mutasjoner kan føre til dannelse av nye arter.

Genflyt og genetisk drift

Mutasjoner sørger for at ny genetisk variasjon til stadighet introduseres i arter. Ved siden av naturlig seleksjon, er derfor mutasjoner en sentral evolusjonær kraft. To andre evolusjonære krefter spiller en nøkkelrolle i å fordele den genetiske variasjonen utover i arter. Den ene prosessen er migrasjon, eller genflyt, som sørger for at alleler beveger seg fra sted til sted, mellom ulike populasjoner som kan ligge nært eller fjernt fra hverandre. Genflyt sørger for at ulike populasjoner innen en art får noenlunde lik genetisk sammensetning, og vil derfor homogenisere arter. Høy genflyt er årsaken til at menneskelige populasjoner er særdeles like genetisk, og at man hos trekkfugler ofte finner liten genetisk differensiering mellom populasjoner spredt over store avstander. Monarksommerfugl er et annet eksempel på en art med ekstrem evne til migrasjon over store avstander. Disse sommerfuglene migrerer hvert år fra Canada, ned til Mexico og tilbake igjen. Som ventet er ulike populasjoner av monarksommerfugler lite genetisk differensierte fra hverandre.

Den siste evolusjonære kraften som spiller en rolle i å bestemme mønster for genetisk variasjon er rene tilfeldigheter, det som kalles tilfeldig genetisk drift. Slik tilfeldig evolusjon oppstår fordi populasjoner av individer kan være av begrensede størrelser. Rene tilfeldigheter kan derfor føre til at noen alleler øker i frekvens, mens andre synker i frekvens. Hvis en torvmosematte på en myr består av ulike genetiske varianter og en elg kommer og tramper ned den ene delen av matta, kan dette ved en ren tilfeldighet føre til at en genetisk variant reduseres noe i frekvens (individene som bærer dette allelet dør). Naturen er full av slike tilfeldigheter som spiller en rolle for hvordan evolusjon skjer. Tilfeldig genetisk drift er det motsatte av naturlig seleksjon siden slike endringer av allelfrekvenser ikke skjer på en bestemt måte eller som følge av bestemte forhold. Det som er konsekvensen av drift, er imidlertid tap av genetisk variasjon innen populasjoner og økt genetisk differensiering mellom populasjoner. Dette siste skjer fordi ulike populasjoner tilfeldigvis får en overvekt av ulike alleler, og disse populasjonene «drifter» fra hverandre. Mengde og fordeling av genetisk variasjon innen en art bestemmes til en stor grad av samspillet mellom genflyt, genetisk drift og naturlig seleksjon.

Oppsummering

Evolusjon er endringer i genetisk sammensetning til en populasjon, og det er hovedsakelig de evolusjonære kreftene mutasjon, migrasjon, genetisk drift og naturlig seleksjon som forårsaker disse endringene. Darwin visste ingenting om gener og endringer i arvemateriale. Dette forhindret ham ikke å utvikle teorien som forklarer hva som ligger til grunn for genetisk og fenotypisk variasjon hos alle verdens livsformer.

Allel	Alternative genvarianter ved et locus.
Blendingteorien	Teori om nedarving av egenskaper over generasjoner. Gikk ut på at egenskaper til foreldre blandes hos avkom. Dette vil føre til tap av variasjon i en populasjon over tid.
Diploid	Organisme med dobbelt sett med kromosomer, mennesket er diploid og har et dobbelt sett av 23 kromosomer, til sammen 46 kromosomer. To homologe kromosomer består av samme loci, men kan ha forskjellige alleler på lociene.
DNA	Deoksiribonukleinsyre, kjemisk komponent bestående av ulike baser som til sammen koder for en organismes fenotype, og som sammen med proteiner kveiles sammen i ulike kromosomer. DNA koder for RNA som videre gir opphav til proteiner.
Dominant	Det ene allelet undertrykker uttrykket av et annet allel på et gitt gen (locus). For eksempel vil allelet for gule erter være dominant over allelet for grønne erter.
Evolusjon	Endring av en populasjons genetiske sammensetning over tid, ofte definert som endring i allel-frekvenser i en populasjon.
Fenotype	Hvordan en organisme fremstår, morfologisk fremtoning og uttrykk. For eksempel vil øyefarge være en del av fenotypen. Det samme vil erteplanters frøfarge og -form. Genene til et individ koder for gitte fenotyper. Miljøet kan også endre fenotypisk uttrykk for et individ.
Filial	Filialgenerasjonen, eller F-generasjonen, resultatet av en krysning. Krysning mellom to individer i parentalgenerasjonen gir en F1-generasjon (filial1-generasjon). Krysning mellom individer i F1-generasjonen gir en F2-generasjon osv.
Frekvens	For alleler: Andelen alleler av en bestemt type i en populasjon sammenlignet med det totale antallet alleler. Hvis for eksempel 47 individer er homozygote for recessive grønne alleler, og 53 individer er homozygot for dominante gule alleler, så er frekvensen av de gule allelene 53 %.
Genetikk	Arvelære, læren om hvordan egenskaper overføres mellom generasjoner.
Genetisk drift	Tilfeldige endringer i frekvenser av alleler i en populasjon. Evolusjon ved rene tilfeldigheter, det motsatte av evolusjon ved naturlig seleksjon.
Genflyt	Forflytning av gener fra en fysisk lokalitet til en annen. Genflyt er resultatet av migrasjon mellom lokaliteter. Spredning av pollen og frø hos planter kan for eksempel medføre genflyt mellom populasjoner.

Genom	Det samlede settet av arvemateriale i cellen til en organisme.
Genotype	Genetisk sammensetning til en organisme, det vil si de genene som et individ bærer på. Genotypen gir opphav til fenotypen. Genotype og miljø virker sammen for å skape det endelige fenotypiske uttrykket.
Heterozygoti	I diploide organismer, tilstedeværelsen av to forskjellige alleler ved to homologe loci.
Homolog	Overensstemmende
Homozygoti	I diploide organismer, tilstedeværelsen av to like alleler ved to homologe loci.
Karakter	Et fenotypisk kjennetegn eller særmerke for individer, karakterer kan bestå av ulike trekk. Blomsterfarge er et eksempel på en karakter for en art.
Kunstig seleksjon	I prinsippet er naturlig og kunstig seleksjon det samme, men det siste er alltid menneskekontrollert. Som oftest skjer dette ved at vi velger ut de egenskapene (de genetiske variantene) vi ønsker å videreutvikle ved å krysse individer med de ønskede egenskapene med hverandre. Avkommet arver da de ønskete egenskapene (dvs. genene) fra begge foreldrene. En slik ensrettet avl fører til at dyre- og plantearter kan endre seg mye over kort tid.
Kromosom	Sammenkveilet DNA bundet til proteiner, fysiske bærere av arvemateriale i nedarvingsprosessen.
Locus (flertall: loci)	En bestemt del av et kromosom som koder for en bestemt egenskap, benyttes i samme betydning som begrepet «gen». Et locus er en fysisk avgrenset det av et kromosom.
Meiose	Reduksjonsdeling; dannelse av celler med halvparten så mye arvemateriale som opprinnelig celle. Ligger til grunn for dannelse av kjønnsceller (gameter).
Mutasjon	Spontan endring av arvematerialet.
Naturlig seleksjon	Individer som er tilpasset miljøet de lever i, vil ha en større sjanse for å overleve og overføre sine arveegenskaper til neste generasjon enn mindre tilpassede individer. Dette vil på sikt medføre endringer i populasjonens arvemateriale slik at gener som koder for gunstige egenskaper øker i frekvens.
Overkrysning	Utbytting av segmenter av DNA mellom to homologe kromosomer under nedarvingen. Kan skape nye genetiske sammensetninger hos avkom som ikke finnes hos noen av foreldrene (rekombinant avkom).
Parental	Parentalgenerasjon, eller P-generasjon, den opprinnelige generasjonen i en krysning (foreldregenerasjonen).

Partikulatteori	Teori om nedarving av egenskaper over generasjoner som Mendel viste var riktig. Egenskaper kodes for faktorer (gener) som er bestandige over generasjoner.
Populasjon	Bestand, ansamling av individer av samme art på omtrent samme sted til omtrent samme tidspunkt.
Recessiv	Det ene allelet blir forhindret uttrykt ved tilstedeværelsen av et annet allel ved et gitt locus. Allelet for grønne erter er for eksempel recessivt og tilstedeværelsen av det dominante gule allelet i en gitt genotype (det vil si i heterozygote individer), vil gjøre at det grønne allelet ikke uttrykkes, og ertene blir gule.
Rekombinasjon	Dannelse av nye genkombinasjoner som resultat av overkrysning under meiosen. Gjør at man får gener fra begge foreldrene på samme kromosom.
RNA	Ribonukleinsyrer, kjemisk komponent bestående av ulike baser som dannes fra DNA, og som i sin tur gir opphav til proteiner. Kan i noen få primitive organismer være selve arvematerialet.
Transkripsjon	Dannelse av RNA-molekyler fra DNA-molekyler.
Translasjon	Dannelse av aminosyresekvenser, og dermed proteiner, fra RNA-molekyler.
Trekk	Ulike former av en fenotypisk karakter. Man kan for eksempel finne hvite og røde blomster innen en art. Røde og hvite blomster er dermed ulike trekk for karakteren blomsterfarge.

Artsdannelse og livets tre

Av Torbjørn Ekrem

Folk flest har nok en fornemmelse av hva en art er, og spør du mannen eller dama i gata om hest, hund og katt er ulike arter, vil alle nikke bekreftende. Folk flest vil også være enig i at ulike arter utgjør hovedsubstansen i det vi kaller biologisk mangfold, og at vi har millioner av dem på jorden. Likevel er det ikke alltid like lett å se hvilke egenskaper som gjør en art til en art, og hvor store forskjellene mellom populasjoner må være før vi klassifiserer dem som egne arter. Faktisk er dette et aktivt forskningsområde for alle typer organismer, og i vitenskapen som kalles biosystematikk blir både nye og tidligere kjente arter beskrevet, navngitt og ordnet i høyere kategorier. Avgrensningen av ulike arter regnes som vitenskapelige hypoteser som kontinuerlig utsettes for testing ettersom mer informasjon om organismene som studeres, blir kjent. I dette kapitlet skal vi se nærmere på ulike måter å definere arter på, hvordan artsdannelse skjer i naturen og undersøke dagens oppfattelse av livets tre.

Hva er en art?

Det finnes mange ulike forslag til hvordan arter kan defineres, men det er ingen som er tilfredsstillende for absolutt alle typer organismer. Men så å si alle artsbegrep har det til felles at de tar hensyn til at begrenset genflyt mellom populasjoner kan føre til at disse utvikler seg til egne arter. Vi skal se nærmere på de fire begrepene som er de mest kjente.

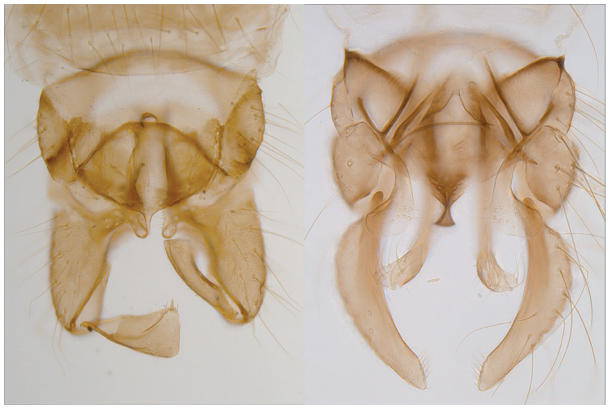
Det *biologiske artsbegrep* som ble introdusert av Ernst Mayr i 1942 er muligens det mest brukte. Denne definisjonen sier at en art omfatter individer i populasjoner som kan få fruktbart avkom med hverandre, men som ikke får fruktbart avkom med individer i tilsvarende andre populasjoner. Med andre ord kan vi si at hvis to individer får et avkom som selv er fruktbart, tilhører disse samme art. Hvis to individer ikke kan få avkom sammen eller at avkommet deres er sterilt, tilhører disse forskjellige arter.

I utgangspunktet virker det biologiske artsbegrep ganske fornuftig, men i noen tilfeller kan det ikke benyttes. For eksempel vil arter som formerer seg uten sex naturlig nok ikke bli omfattet av definisjonen. Dette er tilfelle for trøndertorvmosen (*Sphagnum troendelagicum*, figur på side 39), som er en hybrid av to andre torvmosearter. Denne arten utvikler ikke egne kjønnsceller, men formerer seg vegetativt.

En zorse (fra engelsk zebra + horse) er resultatet av paring mellom sebrahingst og hestehoppe. Zorsen er steril, og sebra og hest er ifølge det biologiske artsbegrepet separate arter. Foto: Barcroft Media/Bulls Press.

I tillegg vil det i mange tilfeller være praktisk vanskelig å vurdere om individer kan få fruktbart avkom fordi populasjonene som disse tilhører er geografisk eller temporært adskilt. Hvordan kan en for eksempel vite om to sommerfuglpopulasjoner tilhører samme art hvis de ikke fysisk møtes i det virkelige liv på grunn av ulik utbredelse og flygetid? For å bøte litt på dette problemet er definisjonen av en biologisk art blitt endret til å inkludere individer som *potensielt* kan få fruktbart avkom. Selv om definisjonen med dette blir bredere, vil likevel artsbegrepet i mange tilfeller være omfattende og vanskelig å teste rent praktisk.

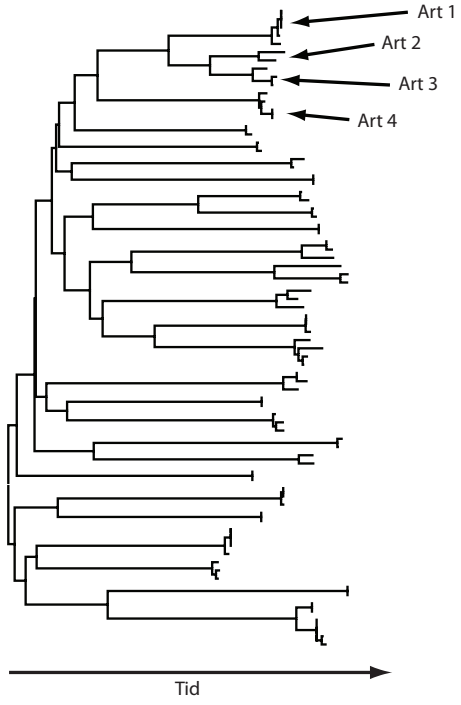
Det artsbegrepet som kanskje oftest blir brukt i praksis er det *morfologiske artsbegrep*. Ifølge denne definisjonen tilhører to individer egne arter hvis deres utseende eller indre struktur er tilstrekkelig forskjellig. Alle arter må diagnostiseres for å være vitenskapelig gyldige og en artsdiagnose inneholder beskrivelser av karakteristiske trekk ved arten. Disse kan være av morfologisk, molekylær eller atferdsmessig karakter, men må gjøre det mulig å skille arten fra alle andre kjente organismer. Det store spørsmålet ved bruk av det morfologiske artsbegrepet er hva som er «tilstrekkelig forskjellig» for å plassere to individer i to ulike arter. Det sier seg selv at det er en stor grad av subjektivitet involvert når man definerer arter ut fra det morfologiske artsbegrep, men de karakterene som benyttes er ikke vilkårlige. De er ofte valgt ut fra flere generasjoners erfaring og er som regel relatert til strukturer som en vet er viktige for artenes biologi. For eksempel skilles mange nært beslektede insekter på karakterer hentet fra genitaliene: en antar at hanner med ulike genitalier ikke er kompatible med de samme hunnene og derfor tilhører ulike arter. Et annet eksempel er fugl der de karakterene som brukes til artsavgrensning, farge og låt, er utviklet som kommunikasjonssignaler mellom individer av ulikt kjønn.



Genitalienes utseende blir ofte benyttet til å avgrense nært beslektede arter. Bildet viser hanngenitalier til fjærmyggene *Hydrobaenus conformis* **og** *Dicrotendipes modestus***. Foto: Elisabeth Stur & Torbjørn Ekrem.**

Det *økologiske artsbegrep* ble først foreslått av Leigh Van Valen i 1976 og definerer arter som ulike dersom de opptar forskjellige økologiske nisjer. Definisjonen bygger på observasjoner om at nært beslektede arter ofte utnytter ulike nisjer og dermed ikke kommer i kontakt med hverandre så ofte. De ulike levesettene begrenser genflyten mellom populasjonene i en artsdannelsesfase frem til disse er blitt så ulike at de kan kalles egne arter. Det økologiske artsbegrepet kan være praktisk å bruke i områder der en har et høyt antall økologiske nisjer og samtidig vet lite om organismene som befinner seg der, som bladspisende biller i en tropisk regnskog. Denne gruppen er spesielt artsrik fordi hver art er spesialisert på blader eller blomster eller andre strukturer fra en bestemt plante. Selv om mange av artene aldri er blitt beskrevet, er det likevel mulig å få en oversikt over artsmangfoldet ved å studere beboerne i de ulike økologiske nisjene.

Både individer, populasjoner og arter har egne utviklingshistorier, og det *fylogenetiske artsbegrep* definerer en art som en samling individer med en felles evolusjonær historie og utviklingslinje som er separat fra andre tilsvarende linjer. For å kunne avgrense arter ved hjelp av denne definisjonen må man vite noe om slektskapet til populasjonene som en antar utgjør arten og deres forhold til nærstående arter. Denne informasjonen er ikke alltid like lett tilgjengelig, men en fordel med artsbegrepet er at det kan brukes like godt på seksuelle som aseksuelle arter som på fossile og utdødde organismer.



Arter er samlinger av individer med felles evolusjonær historie og utgjør naturlige grupper i livets tre.

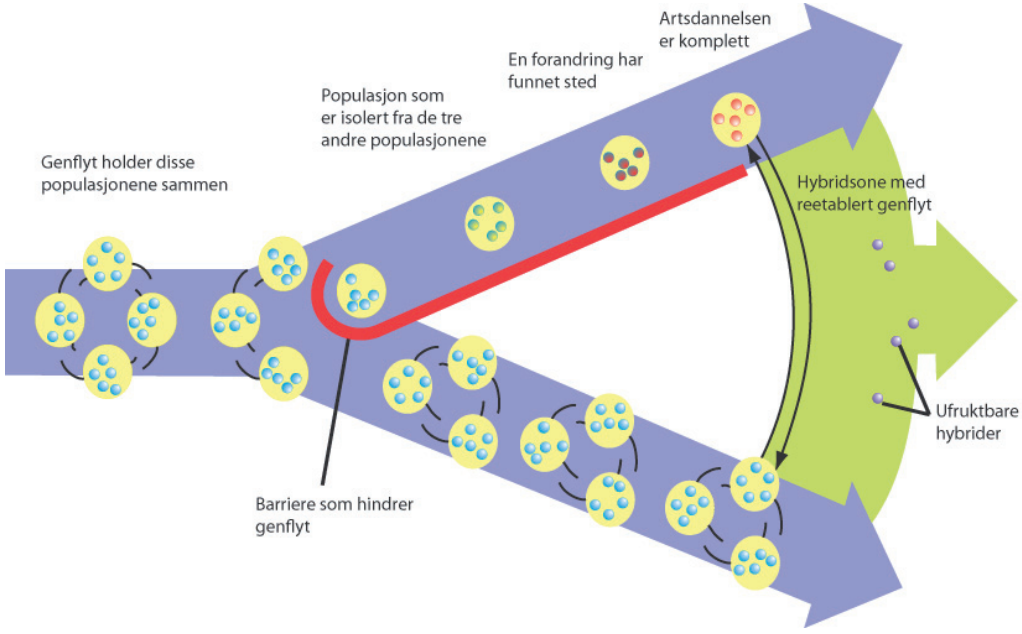
Biosystematikk	Vitenskapen som oppdager, beskriver, navngir og ordner det biologiske mangfoldet ut fra hypoteser om organismers slektskap.
Fylogeni	Studiet av organismers evolusjonære slektskap. Slektskapshypoteser blir som oftest fremstilt som fylogenetiske trær (ofte bare kalt fylogenier).
Fylogeografi	En fagretning som kombinerer kunnskap om geografisk utbredelse og genetisk slektskap av populasjoner og nært beslektede arter.
Fylogram	Et slektskapstre (en fylogeni) som inneholder informasjon om både avstamning og grad av likhet (evolusjonær distanse).
Klassifikasjon	Innordning av organismer i et system av kategorier. Arter plasseres i slekter, slekter i familier, familier ordner, order i klasser osv.
Molekylær klokke	Et begrep som henviser til at mutasjoner på arvestoffet skjer kontinuerlig og med tilnærmet konstant hastighet. Hvis en kjenner til denne hastigheten, kan en tidfeste tidligere evolusjonære hendelser.
Økologisk nisje	Et begrep som beskriver en art eller en populasjon sin rolle i økosystemet. En nisje inkluderer levested, hvilke krav organismen stiller og hvilke ressurser den bruker.

Hvordan dannes arter?

Vi har nå sett på ulike definisjoner av arter som alle kan være nyttige i studier av biologisk mangfold. Selv om artsbegrepene omtalt ovenfor er ganske forskjellige i sitt fokus på hvilke karakterer det er som bør definere en art, har de det til felles at de ønsker å gjenspeile viktige prosesser ved dannelsen av arter.

Utveksling av genetisk materiale mellom individer og populasjoner forhindrer artsdannelse fordi denne genflyten sørger for blanding av arvelige egenskaper og motvirker utvikling av separate evolusjonære linjer. For at arter skal dannes er det altså nødvendig med en eller annen form for barriere som forhindrer genflyt for at delpopulasjoner skal kunne utvikle seg til egne arter. Vi skal nå se litt nærmere på hva slags form slike barrierer kan ha og hvordan de oppstår.

Den kanskje vanligste barrieren for genflyt og dermed også den viktigste årsaken til dannelse av arter er geografisk adskillelse. Slik *allopatrisk artsdannelse*, som det heter, finnes det mange eksempler på i naturen og det er heller ikke vanskelig å tenke seg at nylig dannede fjellkjeder, hav eller ørkener kan være sterke hindre for genflyt mellom delpopulasjoner. Et konkret eksempel er hevingen av de landmassene som i dag utgjør Panama i Mellom-Amerika. For rundt

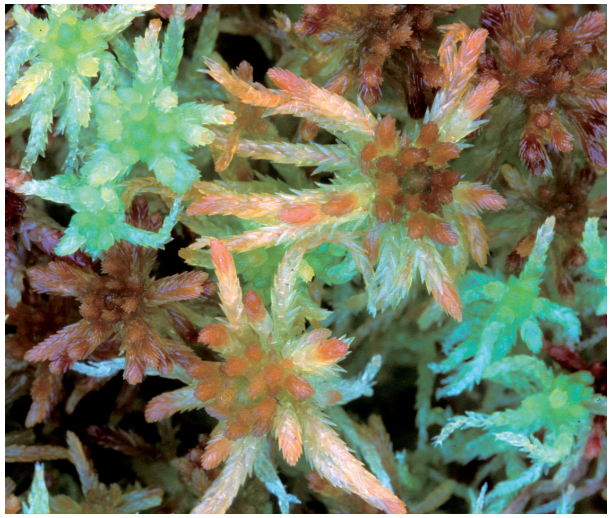


En barriere som hindrer genflyt er nødvendig for at arter skal dannes. Barrieren kan være av geografisk, genetisk eller atferdsmessig karakter. Figur: Marc Daverdin og Torbjørn Ekrem, modifisert etter figur 24.14 i Campbell *et al.* (2008).

tre millioner år siden førte denne landhevingen til fullstendig separasjon av Det karibiske hav og Stillehavet, og hindret dermed genflyt mellom populasjoner av marine organismer på hver side av landbroen. Over tid har så delpopulasjonene av blant annet flere marine krepsdyr utviklet seg til ulike arter som ikke lenger vil pare seg med hverandre selv om de skulle bli ført sammen igjen. Slike arter som er hverandres nærmeste slektninger, kaller vi *søsterarter.*

Selv om mange biologer tidligere hevdet at all artsdannelse i det minste bare foregår ved delvis geografisk adskillelse, er det i dag klart at arter også kan dannes innenfor samme område uten geografiske barrierer. Denne prosessen kalles *sympatrisk artsdannelse* og forutsetter naturlig nok andre effektive barrierer mot genflyt.

Et av de mest effektive hindre mot genflyt mellom individer i en stampopulasjon er tilfeldige endringer i arvestoffets kromosomtall. Under normal meiose (dannelsen av gameter –kjønnsceller) deles kromosomparene, og kromosomtallet reduseres til det halve (f.eks. n=23 hos mennesker). Ved befruktning blir så kromosomene fra hver av foreldrene paret slik at organismens celler igjen får fullstendige kromosompar (2n=46 hos mennesker). I enkelte tilfeller kan det skje en feil før eller under meiosen slik at gametene som produseres ikke har halvert kromosomtall, men fullt kromosomtall lik det de andre cellene i organismen har. Dette gjør gametene inkompatible med normale gameter, men ved sammensmeltning med en tilsvarende gamet (f.eks. ved selvbefruktning) kan et nytt individ med dobbelt kromosomtall oppstå. Denne organismen vil ikke kunne forplante seg med individer i samme populasjon som har enkelt kromosomtall, men kan gjøre det med seg selv eller med andre individer som har det samme kromosomtallet. Dermed kan det ha blitt dannet en ny art i løpet av bare en generasjon. Økning i antallet hele kromosomsett kalles *polyploidi,* og fordoblingen som ble beskrevet ovenfor innenfor



Trøndertorvmose, *Sphagnum troendelagicum,* **er en art med asek-suell formering (i midten). Arten er allopolyploid og dannet ved en enkelt hybridisering av** *S. tenellum* **(de grønne individene) og** *S. balticum* **(de røde individene) for kanskje så lenge som 200 000 år siden. Foto: Kjell Ivar Flatberg.**

en populasjon kalles *autopolyploidi.* Det finnes flere varianter av kromosomtallendringer som kan føre til artsdannelse. Noen av disse kan skje mellom individer av samme art, mens andre kan være resultat av hybridisering mellom arter. En slik hybridisering som fører til en fordobling i kromosomtallet hos hybriden, kalles *allopolyploidi* og er en ikke uvanlig form for artsdannelse hos planter. Hybridisering mellom ulike arter uten at kromosomtallet blir forandret er også mulig. Denne formen for hybridisering kalles *homoploidi* og er mer sjelden, men er blant annet kjent fra afrikanske ciklider og noen sommerfugler i slektene *Heliconius, Papilio* og *Lycaeides*.

Sympatrisk artsdannelse kan også forekomme når genetiske faktorer i deler av en populasjon muliggjør utnyttelse av et nytt habitat eller en ny økologisk nisje som ikke blir

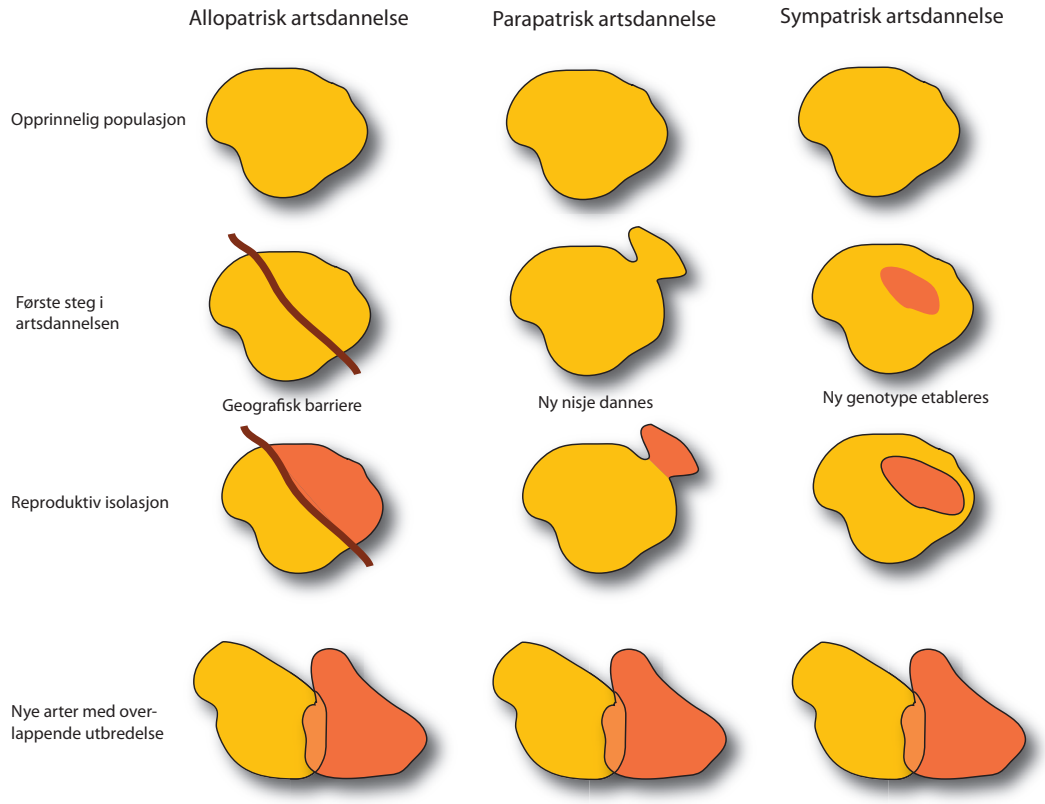
brukt av stampopulasjonen. En tenker seg at dette er en av årsakene til det store antallet ciklidearter i de store innsjøene i Øst-Afrika, der mange av artene er spesialtilpasset et bestemt fødevalg (se også neste avsnitt). Et annet eksempel ser en hos den nordamerikanske eplefluen *Rhagoletis pomonella*. Larvene til denne arten utviklet seg opprinnelig på frukten til amerikansk hagtorn, men da europeiske epletrær ble innført til USA for rundt 200 år siden, utnyttet noen eplefluepopulasjoner den nye nisjen. Ettersom epler modnes raskere enn frukten fra amerikansk hagtorn, har naturlig seleksjon favorisert de eplefluene på epletrær som har rask utvikling. Over tid har en dermed fått to temporært adskilte populasjoner av epleflue: En som utvikler seg tidlig på året på europeiske epler, og en som utvikler seg senere på hagtornfrukt.

Det er også mye som tyder på at seksuell seleksjon og utvalg gjennom bestemte typer atferd kan føre til sympatrisk artsdannelse. Ved seksuell seleksjon ligger valget av make som regel på hunnen, og hannene utvikler gjerne spesielle

Malawisjøens rundt 1000 ciklidearter har i løpet av ca. 8 millioner år utviklet seg fra en felles stamform. Foto: Kari Dahl

trekk for å gjøre seg attraktive for hunnene. Hvis genetiske faktorer gjør at enkelte hunner i en populasjon foretrekker andre trekk enn hunner i resten av populasjonen, og begge strategiene gir omtrent like mye og produktivt avkom, vil seksuell seleksjon kunne føre til adskilte delpopulasjoner. En annen spesiell type krysningsbarriere oppstår hos dyr som har velutviklet yngelpleie. Ciklidene i Malawisjøen er munnrugere, og yngelen søker tilbake til mor for skjul. Dette preger hannene på hunner som likner mor og små ulikheter i attraktivitet mellom individer forsterkes fra generasjon til generasjon. Fiskenes atferd begrenser genflyt mellom delpopulasjoner og øker muligheten for rask sympatrisk artsdannelse. I tillegg har store svinginger i vannstanden gjentatte ganger ført til avsnørte bukter og viker der nye arter er blitt utviklet i geografisk isolasjon.

Den siste typen artsdannelse som vi skal omtale her kalles *parapatrisk artsdannelse*. Dette er en slags mellomting

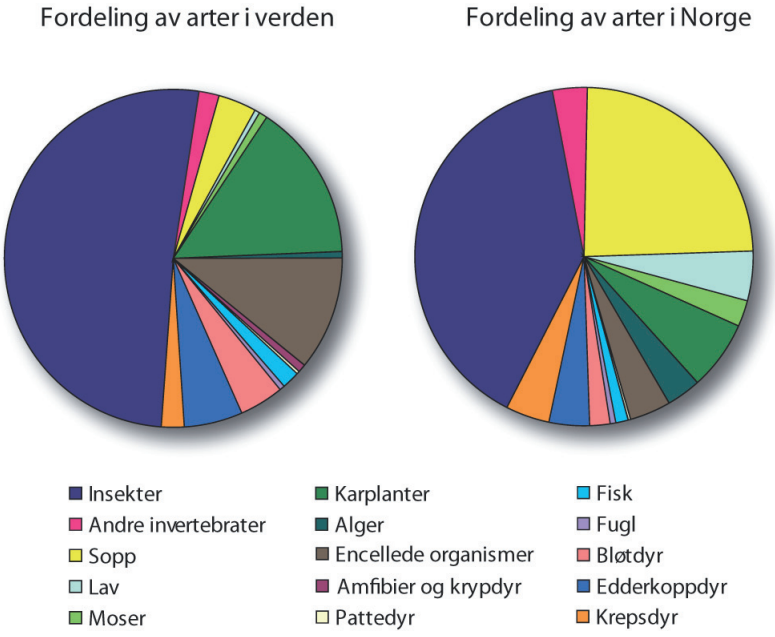


Dannelse av arter kan skje på tre ulike måter: Allopatrisk, sympatrisk og parapatrisk artsdannelse. Se tekst for detaljer.

mellom allopatrisk og sympatrisk artsdannelse og finner sted når deler av en populasjon er delvis adskilt fra resten, men der det hele tiden finnes en hybridsone mellom delpopulasjonene. På grunn av forskjellig seleksjonstrykk og genetisk drift i de ulike delpopulasjonene, utvikler disse seg i ulik retning. Hybridene i hybridsonen har redusert formeringspotensial. Samlet medfører dette at selv om hybrider kontinuerlig dannes i hybridsonen, vil genene til disse ikke effektivt spre seg inn i de to delpopulasjonene og sikre genflyt. De europeiske fuglene svartkråke (*Corvus corone*) og kråke (*Corvus cornix*) har et utbredelsesmønster som tyder på parapatrisk artsdannelse. Hybridsonen strekker seg langs en smal linje fra Storbritannia til Nord-Italia, og hybridene ser ut som en blanding av de to kråkeartene.

Hvor mange arter har vi i livets tre?

Arter utgjør på mange måter bladene i livets tre, og vi regner arter for å være naturlige enheter på evolusjonære utviklingsgreiner. På samme måte som nye skudd utvikler seg til nye blad på et tre, oppstår det hele tiden nye arter. Og i likhet med visnende blad, dør også arter ut – av og til forsvinner sågar større eller mindre grener fra jordens overflate. Men, hvor mange arter har vi egentlig i livets tre? På verdensbasis kjenner vi så langt til nesten 1,8 millioner forskjellige arter. Insektene utgjør godt over halvparten av disse og er således den klart mest suksessrike organismegruppen vi kjenner (se figur). En antar at vi totalt sett har mellom 50 000 og 60 000 arter her i landet, men bare rundt 40 000 av disse er virkelig



Fordeling av kjente arter i verden og Norge.

kjent. Også i Norge er det flere kjente insektarter enn noen annen organismegruppe.

I tillegg til artene som faktisk er kjent, finnes det en mengde organismer som ennå ikke er blitt oppdaget og vitenskapelig beskrevet. Enkelte beregninger har estimert at det kan være så mange som 100 millioner arter på kloden! Selv om det helt klart finnes svært mange ubeskrevne arter, spesielt blant bakterier, encellede organismer og insekter, har senere studier vist at et samlet artsantall rundt 10 millioner nok er noe mer realistisk.

Det finnes mange årsaker til at noen organismegrupper er mer artsrike enn andre. Viktige faktorer ligger i organismenes evolusjonære historie, deres genomiske variasjon, generasjonstid og fysiologiske begrensninger. For eksempel er leddyrene (Rekke Arthropoda), en 520 millioner år gammel organismegruppe med generelt kort generasjonstid og fysiologisk gunstige tilpasningsløsninger til mange ulike miljø, mye mer artsrik enn gruppen ryggstrengdyr (Rekke Chordata) som har omtrent samme alder, men lengre generasjonstid og sterkere fysiologiske begrensninger til endringer i ytre miljø. Den korte generasjonstiden til mange leddyr øker evnen til rask evolusjonær tilpasning ved endringer i miljøet og også sjansen for at tilfeldige mutasjoner skal komme til uttrykk i en større del av populasjonen. I tillegg er leddyr generelt små og er fysiologisk tilpasningsdyktige til mange miljø ved at de i sin grunnoppbygning har et sterkt ytre skjelett.

Tovinger (fluer og mygg) utgjør en artsrik gruppe i Norge med rundt 4 800 arter. Bildet viser en voksen fjærmygg hann. Foto: Jay Cossey

Taksonomi

Vitenskapen som navngir, beskriver og organiserer jordens arter, kalles taksonomi og er en av verdens eldste vitenskaper. Helt siden Aristoteles (384-322 f.Kr.) har mennesker beskrevet og ordnet dyr og planter i grupper som ligner hverandre og på den måten lagt grunnlaget for svært mye annen biologisk forskning. I dag er taksonomi en svært viktig disiplin fordi mange av jordens organismer ennå ikke er oppdaget, samtidig som vi opplever historiens største tap av biologisk mangfold. Hvordan skal vi kunne ta vare på og begrense artsmangfoldet hvis vi ikke vet hvilke og hvor mange arter vi har? Moderne taksonomi er en vitenskap som tar i bruk både klassiske og nye analysemetoder for å studere likheter og forskjeller mellom arter, slekter og andre høyere kategorier. Blant annet blir gensekvenser i økende grad brukt til analyser av artsavgrensninger og artsidentifisering. Det største samarbeidsprosjektet på dette området er det internasjonale Barcode of Life-initiativet (iBOL). Dette prosjektet har som mål å sekvensere såkalte DNA-strekkoder fra 5 millioner individer blant 500 000 av jordens arter og har mange samarbeidspartnere i flere enn 25 land. DNA- strekkoder er korte segmenter fra organismers arvestoff som er så variable at de egner seg til artsbestemmelser. Det vil si at den genetiske variasjonen er større mellom arter enn innenfor arter. Ved å katalogisere alle disse sekvensene i et søkbart DNA-bibliotek, kan en identifisere ukjente individer ved å sammenligne deres strekkode med dem som allerede finnes i biblioteket. Mulighetene som et slikt bibliotek av DNA-strekkoder åpner for, er store. For eksempel vil man bare trenge fragmenter av en organisme for sikker artsbestemmelse, og alle levestadier kan identifiseres med like stor nøyaktighet. Det vil også bane veien for håndholdte artsanalysatorer, som er små apparater som kan analysere vevsprøver og gi oppdatert informasjon om arters biologi. Flere fagmiljøer i Norge er aktive partnere i iBOL og har gjennom Norwegian Barcode of Life-initiativet opprettet et nettverk der alle større norske institusjoner som arbeider med biologisk mangfold er med (se www.dnabarcoding.no).

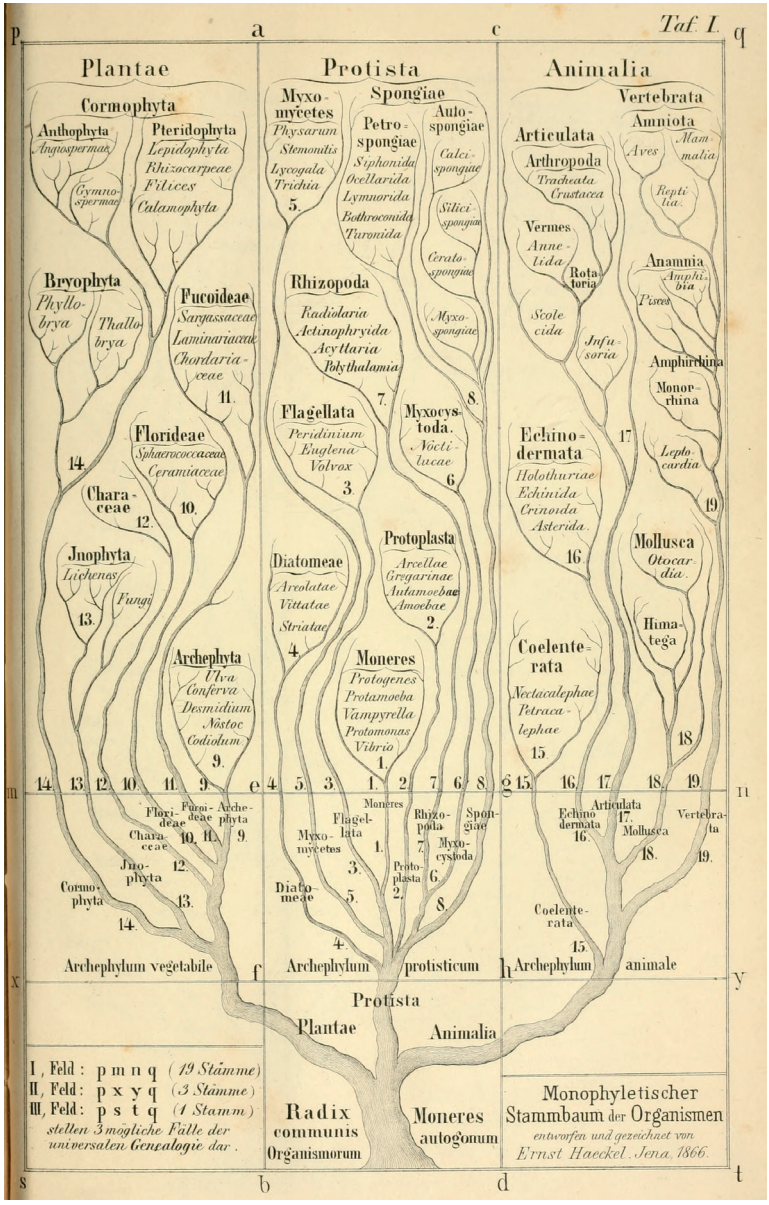
Slik tenker en seg at en håndholdt artsanalysator (DNA barcoder) vil se ut. Grafikk: Biodiversity Institute of Ontario, University of Guelph.

Hva vet vi om livets tre?

Det var faktisk den tyske naturalisten Peter Simon Pallas (1741-1811) som arbeidet i Russland og som allerede i 1766 introduserte det vi kan kalle for «tre-tenkning» ved å beskrive organismers slektskap som et tre med todelt stamme: En for planter og en for dyr med grener til de ulike gruppene. Senere publiserte den franske botanikeren Augistin Augier et organisatorisk tre over plantene (1801) og Jean-Baptiste Lamarck argumenterte for evolusjon med et treliknende diagram i 1809. Et treliknende forgreningsmønster er en naturlig følge av stadig artsdannelse og vil over tid resultere i en hierarkisk inndeling av organismegrupper. Likevel var det først etter Charles Darwins publikasjon *Artenes opprinnelse* (1859) at interessen for livets tre virkelig vokste og etter Ernst Haeckels (1866) første bilde av alle organismers slektskap kort tid etter (se figur), har interessen og produksjonen av slektskapshypoteser i form av slektskapstrær økt kontinuerlig. I dag regner en med at det i gjennomsnitt publiseres 15-20 fylogenetiske studier per dag! De fleste slektskapstrærne som publiseres, omhandler mindre grupper av organismer, og selv om det er gjort store tekniske fremskritt de siste ti årene, mangler vi stadig data og regnekapasitet for å kunne plassere alle artene i livets tre gjennom en og samme analyse. Det er imidlertid gjort betydelige fremskritt i vår forståelse av slektskapet mellom alle organismer på jorda. Vi skal se litt nærmere på hvordan dagens oppfatning av livets tre ser ut.

Aristoteles (384-322 f. Kr.), og senere Linnaeus (1707-1778) delte verdens organismer inn tre riker: Dyreriket, planteriket og mineralriket. Etter hvert ble det klart at «mineralriket» ikke inneholdt levende organismer (selv om noen organismer produserer mineraler), og man slo seg til ro med at det fantes to riker i over 200 år. Det ene var planteriket, der de organismene med evne til å drive fotosyntese, med celler omkranset av cellevegg og med evne til å produsere sporer befant seg. Disse kriteriene gjorde at både sopp og slimsopp fikk plass blant grønne planter. I dyreriket plasserte man arter som lever av organiske forbindelser (som ikke driver fotosyntese), mangler cellevegg og som ikke produserer sporer. For de store organismene fungerte inndelingen relativt greit, men mange biologer var klar over at utallige encellede organismer ikke passet inn i dette systemet. Øyealgene, for eksempel, kan både leve i mørket som dyr eller fotosyntetisere i lys slik som plantene. Det var Ernst Haeckel som først brøt med tradisjonen og laget et eget rike for encellede dyr, riket Protista, men fremdeles var lav og sopp plassert i planteriket.

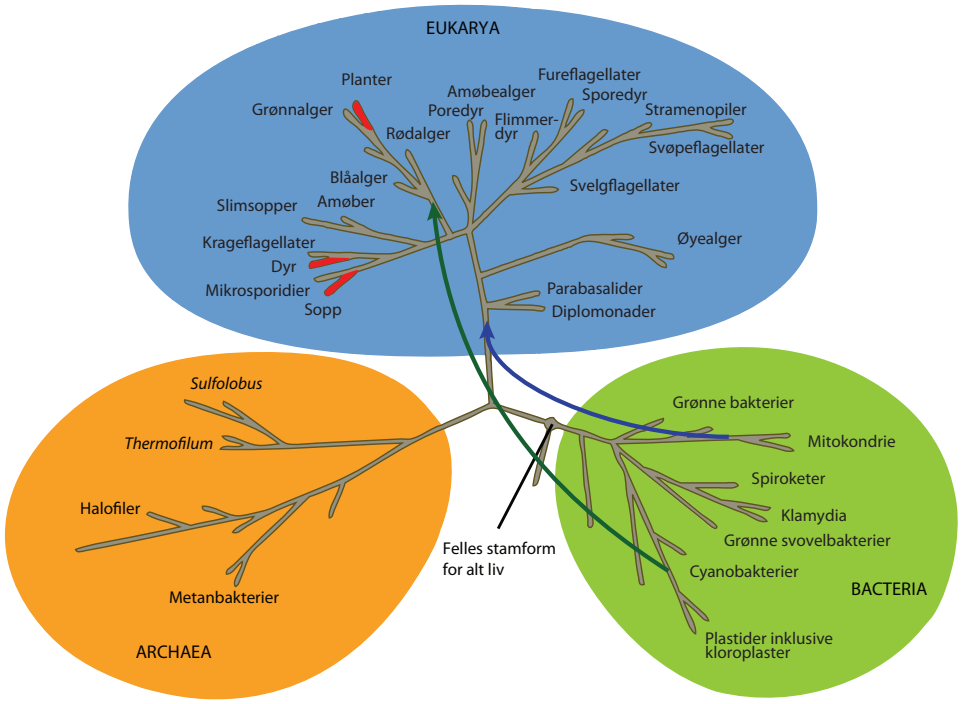
Det er mye som tyder på at soppeksperten Olav Johan Sopp fra Hedmark var den første som ga soppene et eget rike. Dr. Sopp var nok litt av en original. Opprinnelig het han Johan Oluf Olsen, men endret navn til det passende Sopp i 1907. Synspunktene hans ble dessverre bare publisert i den lite kjente boken *Hverdagslivets soplære. 25 forelæsninger for vordende husmødre og skolekjøkkenlærerinder*, og soppriket ble etter hvert glemt igjen. Faktisk tok det 36 år før amerikaneren Robert Whittaker formelt opprettet soppriket samtidig som han laget sitt berømte femrikesystem. På den tiden var det blitt kjent at en del organismer manglet cellekjerne og dermed skilte seg drastisk fra andre former. Whittaker benyttet denne karakteren til å skille mellom prokaryote (uten cellekjerne) og eukaryote (med cellekjerne) organismer og opprettet fem ulike riker: Monera (bakterier, uten cellekjerne), Protista (encellede eller enkle organismer som ikke passer inn blant sopp, planter og dyr), Plantae (planter), Animalia (dyr) og Fungi (sopp). Denne inndelingen holdt seg ganske lenge og var vanlig lesning i biologibøker fra 1970- til langt ut på 1980-tallet, men det var to store oppdagelser som gjorde at inndelingen måtte revideres. Begge var relatert til oppdagelsen av DNA og RNA og bruk av andre molekylære karakterer i slektskapsstudier. Det første pussige funnet var at noen bakterier var mer forskjellig enn hver av dem var med eukaryote organismer, og ifølge amerikaneren Carl R. Woese kvalifiserte det til at alt liv kan deles inn i tre ulike domener: Archaea (erkebakterier), Bacteria (bakterier)



Ernst Haeckels fremstilling av livets tre i 1866. Legg merke til den store gruppen «Protista», og at sopp og lav er plassert sammen med plantene som gruppen «Ionophyta» (jf. grein 13).

og Eukarya (eukaryoter). Den andre nyvinningen var egentlig en reintroduksjon av den såkalte endosymbioseteorien. Kort fortalt sier denne teorien at celleorganellene, mitokondrier og kloroplaster opprinnelig var bakterier som en eller flere ganger ble tatt opp av visse celler som utnyttet disse til henholdsvis respirasjon og fotosyntese. Det er i dag ikke tvil om at endosymbiose har funnet sted, men det diskuteres fortsatt om hvor mange ganger og hvordan det har skjedd. Blant annet tyder mye på at endosymbiose har skjedd med enkelte grupper flere ganger etter hverandre slik at organellene i en organisme stammer fra flere ulike bakteriegrupper. Disse funnene sammen med ny informasjon om de enkle organismenes («protistenes») genetiske slektskap taler for at det som tidligere var klassifisert som Protista nå består av mange fjernt beslektede grupper (se figur). Med andre ord: Livets tre er blitt enormt mye bredere, og mangfoldet i de basale gruppene svært mye større de siste årene, mye takket være studier og sammenligninger av organismers arvestoff.

Når vi nå vet hvor mye kunnskapen om livets tre har endret seg gjennom de siste 150 årene, er det nærliggende å spørre seg selv om vi noensinne vil vite om vi har funnet det riktige treet?



Alle levende organismer kan grupperes i tre domener basert på deres rRNA-sekvenser. Grenene som leder til planter, dyr og sopp er markert i rødt. De resterende gruppene domineres av encellede organismer. Den grønne pilen indikerer en av endosymbiosene av en cyanobakterie, den blå pilen endosymbiosen som førte til mikondriene. Figuren er modifisert fra figur 26.21 i Campbell *et al.* (2008).

Svaret er nei. Vi vet at det bare finnes en sann utviklingshistorie, men vi vil aldri kunne vite 100 % sikkert om vi faktisk har funnet den. Likevel er fagfeltet lagt fra fortapt, for vi vil alltid kunne teste gjeldende hypotese på livets tre. Får vi ikke samme resultat når vi legger til mer nyvunnet informasjon, forkastes den gamle hypotesen til fordel for en ny. Stabile hypoteser vil ha lang levetid, mens hypoteser basert på utilstrekkelige eller usikre data vil sannsynligvis bare leve i korte perioder. Slik fungerer vitenskapen, og det er blant annet dette som gjør studier av organismers slektskap så spennende!

Selv om livets tre i dag har fått en bred og buskete stamme, ligger mesteparten av vår kunnskap om organismers slektskap, mangfold og evolusjon høyere oppe i treet. Flercellede organismer har gjennom tidene naturlig nok fasinert mennesker mer enn mikroskopiske encellede former, ikke minst fordi de har vært lettere å studere. Organismer som en kan se vokse, spre seg og samhandle er gjerne mer attraktive. Dessuten gjør tilstedeværelse av fossiler og en relativt ung alder det mulig å teste hypoteser for hvordan organismenes nåværende utbredelsesmønster er blitt til. Kunnskap om arters slektskap er alfa og omega i biogeografiske studier, og også her gir vi Theodosius Dobzhansky rett når han i 1973 sa at «ingenting innen biologi gir mening, med mindre det sees i lys av evolusjon».

Nytteverdi av taksonomisk forskning

Hva mer kan vi så bruke kunnskap om organismers slektskap til? Først og fremst fungerer slektskapstrær som retningslinjer for klassifikasjon av alt levende liv. Klassifikasjon av arter, slekter, familier osv. er igjen et uvurderlig rammeverk for kommunikasjon om og forvaltning av vårt biologiske mangfold. Arters evolusjonære historie påvirker også all annen evolusjonsforskning og nøyaktig kunnskap om denne er viktig for å trekke riktige konklusjoner. For eksempel kan en ved å bruke et slektskapstre og moderne modeller på evolusjon, samt informasjon fra organismers arvestoff, beregne når arter ble dannet eller når to populasjoner skilte lag. Man tar i bruk en såkalt molekylær klokke for å gjøre dette. Det vil si at en forutsetter at evolusjonen (målt i antall mutasjoner i en bit av arvestoffet) skjer med en jevn hastighet over tid og er den samme i alle gruppene som blir analysert. Hvis det er slik, sier vi at evolusjonen går som en klokke, og hvis vi vet hvor fort klokken går, kan vi beregne hvor lenge det er siden en bestemt evolusjonær hendelse fant sted. Metoden er mye brukt i dag og ved å studere HIV-1 virusets genetiske slektskap i mennesker og sjimpanser, har man blant annet beregnet når viruset først ble overført til mennesket. Men det stopper ikke her. Slektskapstrær er av stor betydning for valg og innkrysning av nye vekstformer i jordbruket, og til å identifisere mulige invaderende arter, deres opphav og mulige naturlige fiender. Tenk deg for eksempel at et nytt, fremmed og svært skadelig plantespisende insekt blir oppdaget i Norge. Fylogenetiske analyser av insektets nærmeste slektninger og deres parasitter kan identifisere den mest sannsynlige naturlige fienden til arten og dermed effektivt styre den biologiske bekjempelsesstrategien i riktig retning. Videre har fylogenetiske hypoteser også stor betydning for bioprospektering, der en leter etter farmasøytisk gunstige stoffer i naturlig forekommende organismer. Hvis en bestemt art har en stoff som er et gunstig legemiddel (som cyclosporin hentet fra soppen *Tolypocladium inflatum*), er det ikke usannsynlig at nært beslektede arter vil ha liknende stoffer med kanskje enda bedre virkning.

Kunnskap om livets tre er altså svært viktig for oss mennesker, både fordi det er et bilde på evolusjonshistorien gjennom alle tider og fordi det er et verktøy til vår forståelse og forvaltning av naturen rundt oss. Taksonomi og systematikk er dynamiske vitenskaper, der nye undersøkelser og analysemetoder stadig forbedrer eksisterende hypoteser om organismers slektskap. Vi vet i dag mye om livets tre og hvordan det er blitt til, men det er fremdeles mange interessante uoppdagede områder i dette evolusjonskartet.

Evolusjonsteorien etter Darwin

Av Reidar Andersen og Hans K. Stenøien

Selv om Charles Darwin er den som i første rekke forbindes med teorien om utvikling gjennom naturlig seleksjon, er det gjennom et vitenskapelig samarbeid med den langt yngre biologen Alfred Russel Wallace i 1858 (ett år før Darwin bok om Artenes opprinnelse ble publisert), at vi for første gang blir presentert for teorien. Inntil da hadde man trodd at utviklingen – evolusjonen – skjedde ved at ervervede egenskaper var nedarvet. Av den grunn ville smedens sønn få store never og tåle varme. Har noen sagt til deg at du har smedfingre? Et uttrykk som tidligere ofte ble brukt for å beskrive folk som kunne håndtere varme kasseroller og lignende. Også Charles Darwin trodde på denne teorien (Lamarckisme) i sin ungdom, men han innså at den alene ikke kunne forklare utviklingen. Hans alternative forklaring skulle bli at utviklingen av artene skjedde via naturlig seleksjon. Dette innebærer at de arvelige egenskapene som øker produksjonen av levedyktig avkom, blir proporsjonalt mer vanlige i de påfølgende generasjoner i forhold til de egenskapene som ikke har den samme effekten på produksjonen av avkom.

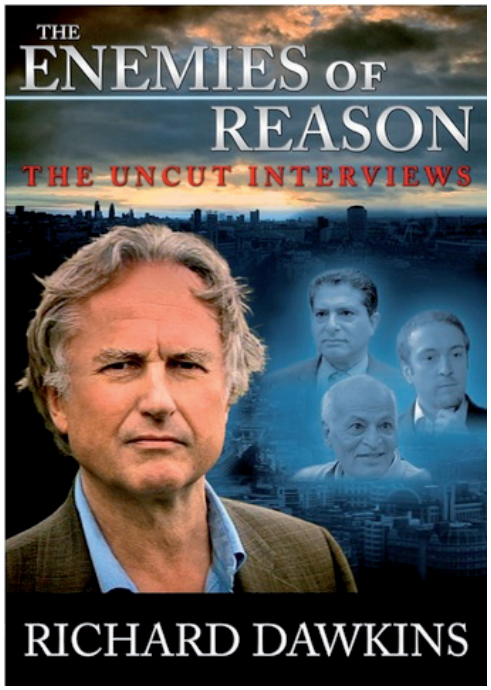
Weismannbarrieren og det sentrale dogmet

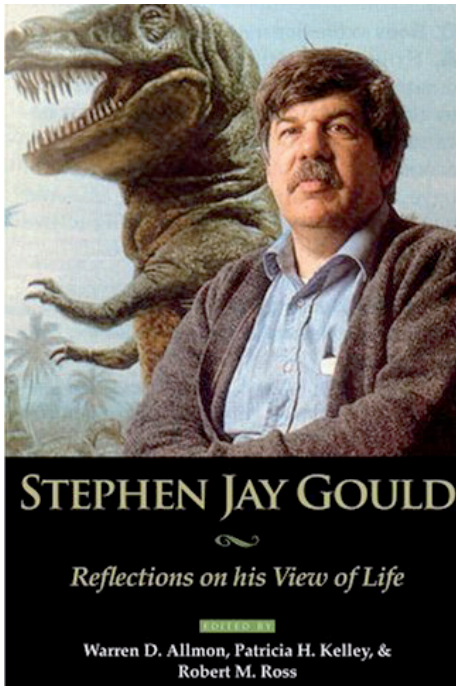
Etter at munken Gregor Mendel hadde publisert sin partikulatteori (som blant annet innebærer at genene videreføres uendret til neste generasjon) i 1865, skulle det gå en tid før naturvitenskapen tok tak i hans sentrale arbeid for forståelsen av mekanismene bak naturlig seleksjon. En av dem som tok opp hansken, var den tyske evolusjonsteoretikeren August Weismann (1834-1914). Han stadfestet at i en flercellet organisme er det bare de såkalte gametene – hunnens eggceller eller hannens spermaceller – som er involvert i arv fra en generasjon til den neste. De øvrige cellene i kroppen – de somatiske cellene – fungerer ikke som enheter for arv. Effekten er enveis: Kjønnscellene produserer kroppsceller og flere kjønnsceller. Kjønnscellene er ikke påvirket av det kroppscellene «opplever» eller utsettes for. Genetisk informasjon kan derfor ikke gå fra kropp til kjønnsceller, og deretter inn i neste generasjon. Dette kalles Weismannbarrieren. Du har sett det selv: Hos noen hunderaser er valpenes hale blitt kuttet av i mange generasjoner, men fortsatt er alle valper født med lang hale.

Dette prinsippet ble tydeliggjort av den britiske molekylærbiologen Francis Crick (1916-2004). Han beskrev molekylærbiologiens sentrale dogme, som oppsummerer ideen om at den genetiske informasjonen i cellene flyter en vei – fra DNA (arvestoffet) til RNA (de to mest kjente nukleinsyrene) og videre til protein. Sammen med sine kolleger James Watson, Maurice Wilkins og Rosalind Franklin er Crick imidlertid mest berømt for å ha avdekket molekylstrukturen til nukleinsyrene, og betydningen det fikk for overføring av informasjon i alt levende materiale.

Disse oppdagelsene gjorde det helt klart at arv av ervervede egenskaper ikke var en evolusjonær faktor, og identifiserte genene som de enhetene som overlever fra en generasjon til den neste. Den kjente britiske evolusjonsbiologen John Maynard Smith (1920-2004) satte ord på hva dette sentrale dogmet egentlig impliserte:

«Hvis det sentrale dogmet er riktig, og hvis det er sant at nukleinsyrene er den eneste måten informasjon blir overført mellom generasjoner, har dette enorme implikasjoner. Det vil nemlig bety at alle evolusjonære 'nyvinninger' forårsakes av endringer i nukleinsyrene, og at disse forandringene – såkalte mutasjoner – i alminnelighet er tilfeldige og ikke-





Richard Dawkins og Stephen Jay Gould er de som med størst suksess har popularisert evolusjonsbiologi de siste 30-40 år. De hadde et til dels fundamentalt forskjellig syn på hvordan seleksjon foregår, med Dawkins som argumenterte for evolusjon ved konkurranse mellom gener, og Gould som vektla seleksjon på ulike organisasjonsnivå, fra gener til cellelinjer, individer og oppover.

adaptive (de skjer ikke ut fra en bestemt hensikt). Endringer andre steder, eksempelvis i eggets cytoplasma, i næringsstoffer som transporteres i morkaken eller i morens melk, kan endre utviklingen hos barnet, men så lenge endringene ikke skjer i nukleinsyrene, vil de ikke ha noen langsiktig evolusjonær effekt.»

Tilbakevisningen av at ervervede egenskaper kunne gå i arv, kombinert med utviklingen av den klassiske matematiske evolusjonærbiologien, først og fremst gjennom arbeidene til Robert Fisher, John Haldane og Sewall Wright, åpnet veien for det som skulle bli teorien om de egoistiske gener – The Selfish Gene Theory.

Om å leve med egoistiske gener

Hvis vi skal plukke ut to bøker som har revolusjonert naturvitenskapen de siste 150 årene, må det være Charles Darwins bok om *Artenes opprinnelse* i 1859, og på en soleklar andreplass; Richard Dawkins (født 1941) bok om de egoistiske genene (*The Selfish Gene*), som utkom i 1976. Synet om at genene var enhetene for utvalget – eller den naturlige seleksjon – ble utviklet av George C. Williams (født 1926) og Richard Dawkins på 1960- og 1970-tallet. Teorien om de egoistiske gener kan beskrives slik: Det er ikke genene selv som stiller seg nakne og sårbare overfor den naturlige seleksjon, de presenterer seg ved sine fenotypiske effekter. Forskjeller genene i mellom leder til forskjeller i disse fenotypene. Den naturlige seleksjonen virker på de fenotypiske forskjellene, og dermed indirekte på genene. Dette betyr at genenes representasjon i påfølgende generasjoner, står i forhold til den selektive verdien av deres fenotypiske effekter.

Resultatet av dette er at de mest vanlige genene i en kjønnet populasjon må være de som gjennom mange genotyper i mange situasjoner gjennomsnittlig har hatt de beste fenotypiske effekter for sin egen replikasjon – selvkopiering. Med andre ord, vi forventer «egoistiske gener», og hvor egoistisk her betyr at det er gener som sørger for økning i sin egen overlevelse, uten nødvendigvis å fremme overlevelsen til individet, gruppen eller arten. Dette betyr at tilpasninger – adaptasjoner – er genenes fenotypiske effekter for å maksimere sin representasjon i fremtidige generasjoner. En tilpasning er dermed opprettholdt ved seleksjon hvis den fremmer genetisk overlevelse direkte, eller ved at tilpasningen til slutt leder til suksessfull reproduksjon hos organismen som bærer genet.

Våre kropper er bare genenes overlevelsesmaskiner

Genene er vanligvis pakket sammen med andre gener i et genom, som igjen finnes inne i en organisme. Som Dawkins sier det: «Organismen er bare en overlevelsesmaskin for genene. Vi er bare et framkomstmiddel genene bruker for å kunne hoppe over til den neste generasjon kjøretøy.»

Den fenotypiske effekten av et bestemt gen er avhengig av dets miljø, inkludert hvilke gener det danner det totale genom sammen med. Et gen har aldri en bestemt effekt. Nei, vel? Hvordan er det da mulig å snakke om et gen for lange bein? Det er fordi det er fenotypiske forskjeller mellom allelene. En kan si at et allel, gitt at alt annet er likt, forårsaker lengre bein hos bæreren av genet enn dets alternativ. Denne forskjellen kan være nok til at den naturlige seleksjonen kan virke.

Et gen kan ha flere fenotypiske effekter, disse kan være positive, negative eller nøytrale. Det er den netto selektive verdien av genets fenotypiske effekt som bestemmer genets skjebne. Et gen kan for eksempel gi bæreren større

reproduksjonssuksess i ung alder, men også forårsake en større sjanse for å dø på et senere stadium. Hvis fordelene er større enn ulempene og utjevnet over alle individene i alle miljøer der genet finnes, vil fenotypene som har dette genet bli positivt selektert, som igjen betyr at genet vil øke sin utbredelse i populasjonen.

Individets altruisme og genets egoisme

Et gen er en informasjonsenhet som eksisterer i mange ulike fysiske kopier rundt om i verden, og hvilken bestemt fysisk kopi som vil bli kopiert til neste generasjon, spiller ingen egentlig rolle for genet. Et «egoistisk gen» kan bli favorisert gjennom seleksjon ved å produsere altruisme – uegennyttig atferd – i organismer som innehar genet. Ideen er som følger: Hvis et gen gir en fordel B hos et annet individ, og med en kostnad C for den organismen genet «bor i», kan denne kostbare atferden være strategisk fordelaktig hvis det er en viss sannsynlighet for at genet også er til stede i den organismen som får fordel av atferden. Det er hovedsakelig to faktorer som sikrer at det er en viss sannsynlighet for at genet er til stede i den andre organismen; slektskap og gjenkjennelse.

En pattedyrmor lærer å identifisere sitt eget avkom gjennom å føde, en hann bidrar med ressurser til hunners unger han har paret seg med, og unger i samme reir skjønner at de er i slekt med hverandre. Den uegennyttige atferden, eller altruismen, vi kan observere avhenger av den såkalte slektskapskoeffisienten (p). Hvis et individ for eksempel har en p = ½ i forhold til sin bror, men p = $^1/_8$ i forhold til sine søskenbarn, bør vi derfor forvente større grad av uegennyttig atferd mellom brødre enn mellom søskenbarn.

Grønne skjeggeffekter og konflikter mellom genene

Igjen er det Richard Dawkins som har gitt navn til denne effekten. Han beskrev utviklingen av et gen som ga bæreren grønt skjegg og som samtidig ga bæreren beskjed om å være snill mot andre som hadde grønt skjegg. Siden da er «grønt skjegg-effekten» blitt brukt til å referere til former for genetisk selvgjenkjennelse, der et gen i et individ kan gi fordeler til andre individer som har det samme genet.

Så lenge genene er i stand til å produsere individuell altruisme, er de også i stand til å produsere konflikter mellom gener som tilhører det samme genomet i et individ. Dette fenomenet kalles «intragenomisk konflikt» og oppstår når et gen fremmer sin egen selvkopiering på bekostning av andre gener i det samme genomet. Noen gener «jukser» under meiosen og gametogenesen og ender opp i mer enn halvparten av de funksjonelle gametene. Disse genene kan bestå selv om de leder til redusert fruktbarhet. Vi kan tenke oss genomet som et «Storting av gener», der hvert gen bare virker for å tjene sine egne interesser. Men hvis et gen skader andre gener, vil disse vil gå sammen og hindre slike gener. Dette forklarer hvorfor intragenomiske konflikter ikke er vanlige.

Oppsummering av den gensentrerte evolusjonsbiologien

Det gensentrerte synet på evolusjonen er en syntese av Darwins teori om evolusjon gjennom naturlig seleksjon, teorien om at karakteristikker overføres fra en generasjon til den neste ved hjelp av gener, og at det ikke er overføringer av ervervede egenskaper. Det gensentrerte synet fastslår at de genene som gir fenotypiske effekter som øker sjansen for at

genet vil føres videre vil favoriseres og øke i antall i forhold til sine konkurrerende gener. Denne prosessen leder til tilpasninger som genene tjener på, og som igjen gir en større reproduksjonssuksess til organismen som bærer disse genene, eller til andre organismer som har det samme genet (gjennom slektskapsaltruisme og «grønt-skjegg»-effekter), eller bare genets egen videreføring på bekostning av andre gener (intragenomisk konflikt).

Molekylær evolusjonsbiologi

På 1960-tallet ble det utviklet nye molekylære teknikker. Via disse fant man at på molekylært nivå skjer utviklingen tilsynelatende gradvis, ikke over noen generasjoner, men over millioner og titalls millioner år. Man observerte tilstedeværelsen av «molekylære klokker» for mange gener man studerte, noe som betyr at endringer i arvematerialet skjer i en gradvis takt, og like stor sannsynlighet hvert år og i hver generasjon. Denne observasjonen var vanskelig forenelig med tanken om evolusjon ved naturlig seleksjon, der miljøendringer sørger for rask evolusjon i enkelte populasjoner i visse tidsrom og lite utvikling i andre tidsrom. Konstante evolusjonsrater kunne ikke forklares ved naturlig seleksjon. Man fant også at mengden genetisk variasjon var altfor stor til at den kunne forklares med ulike seleksjonsmekanismer. Matematisk kunne man vise at den frekvensen av skadelige mutasjoner som måtte til for å forklare mengden variasjon man observerte var så stor at individer ville dø av genetiske sykdommer.

De molekylære klokkene og den store genetiske diversiteten som ble observert i naturlige populasjoner av alle typer organismer ble på 1960- og 1970-tallet forklart ved hjelp av den såkalte nøytralitetsteorien. Denne teorien sier at det meste av den genetiske variasjon man observerer er selektivt nøytral, den utsettes ikke for naturlig seleksjon, men er tvert imot et resultat av likevekten mellom mutasjoner og tilfeldig genetisk drift. Mutasjoner oppstår i hver generasjon med en viss sannsynlighet, og de aller fleste av disse er skadelige. Disse skadelige allelene fjernes raskt ved hjelp av naturlig seleksjon, og vi vil ikke observere disse. Noen ytterst få mutasjoner er gunstige, men dannelsen av disse vil vi heller ikke observere fordi naturlig seleksjon raskt vil sørge for fiksering av disse gunstige allelene, det vil si at de raskt vil spre seg i populasjoner og arter. Den variasjonen vi observerer er en klasse av mutasjoner som verken er gunstige eller skadelige, de er nøytrale, og rene tilfeldigheter bestemmer om disse øker i frekvens eller forsvinner fra populasjoner. Nøytralitetsteorien predikerer at vi stort sett bare får øye på nøytral genetisk variasjon.

Nøytrale mutasjoner kunne forklare de molekylære klokkene fordi sannsynligheten for dannelsen av nye nøytrale mutanter er konstant i hver eneste generasjon, og sannsynligheten for endring blir dermed konstant over millioner av år. Molekylære klokker ble raskt brukt for å datere når evolusjonære hendelser skjedde. Hvis man for eksempel vet at tilfeldige nøytrale mutasjoner oppstår i et gen med en sannsynlighet 1x10-7 per generasjon, og man kan telle opp antall ulikheter man for eksempel observerer mellom to arter og regne ut hvor lang tid det må ha gått for at dette antallet genetiske ulikheter har funnet sted. Man behøver med andre ord ikke fossile data for å tidfeste evolusjonære hendelser som dannelsen av arter.

Det er i dag klart at mye av det man tidligere trodde var nøytral variasjon faktisk er mutanter som selekteres, først og fremst ved negativ seleksjon. Nesten-nøytralitetsteorien sier at de fleste mutasjoner er skadelige og fjernes raskt, noen få er gunstige og fikseres raskt, mens en stor andel mutasjoner er bare litt skadelige og disse fjernes ikke deretter raskt ved hjelp av naturlig seleksjon. Sannsynligheten for at disse mutasjonene fjernes bestemmes av den effektive

populasjonsstørrelsen, det vil si hvor mye tilfeldig genetisk drift som foregår i en populasjon. I store populasjoner vil tilfeldigheter spille en liten rolle, og naturlig seleksjon vil være effektiv i å fjerne selv minimalt skadelige alleler. Men i små populasjoner vil tilfeldigheter spille en større rolle. Her vil ikke naturlig seleksjon være så viktig i å bestemme skjebnen til nye nesten-nøytrale mutasjoner, men frekvensen av disse mutasjonene vil nesten helt være bestemt av genetisk drift.

Innefor molekylær evolusjonsbiologi legges det fortsatt stor vekt på at genetisk drift og tilfeldigheter spiller en vesentlig rolle for utvikling på molekylært nivå. Mens morfologiske strukturer og synlig fenotypisk variasjon mellom individer i stor grad kan forklares ved hjelp av adaptiv evolusjon, er det like klart at evolusjon på molekylært nivå skjer som et resultat av et tett samspill mellom deterministiske prosesser (naturlig seleksjon) og stokastiske prosesser (tilfeldig genetisk drift). Dette kommer bl.a. til uttrykk gjennom utvikling av komplekse molekylære strukturer, som nye proteiner. Man kan tenke seg flere mellomstadier av et protein fra en opprinnelig form til et helt nytt protein med endret funksjon i en celle. La oss si at et protein muterer og danner en struktur som har samme funksjon som det gamle proteinet, men mutasjonen sørger for at funksjonen er noe nedsatt. Det er med andre ord negativ seleksjon mot denne nye varianten. Men hvis mutasjonen er nesten-nøytral og den effektive populasjonsstørrelsen er ganske liten, vil ikke seleksjon klare å fjerne mutanten fra populasjonen. Den vil derfor kunne opptre i populasjonen helt til den opplever enda en mutasjon, men kanskje proteinet da får en ny funksjon og sørger for at cellefunksjonen blir bedre ivaretatt enn den ble opprinnelig. Genetisk drift kan sørge for at varianter med lavere «fitness» opprettholdes på molekylært nivå helt til gunstige mutasjoner sørger for mer komplekse strukturer.

Kan vi unnslippe genenes tyranni?

Med sin bok om *Det egoistiske genet* har Dawkins avlivet myten om at organismene kan forstås ut fra at de lever og handler til det beste for sin art. «De lever ikke en gang for seg selv,» sier Dawkins, «organismene lever for genene». Disse genene bygger kropper som etter milliarder års naturlig seleksjon etter hvert er blitt meget gode til nettopp å produsere avkom som inneholder de samme genetiske oppskriftene som fantes i opphavet. Alle organismer, fra den minste bakterie til det største pattedyr, kan forstås som spredningsredskap for genene inne i oss. Vi er altså bare simple overlevelsesmaskiner som genene bruker for å kopiere seg selv. Kan vi unnslippe deres tyranni? Ja det er håp, og det var igjen Dawkins som kom oss til hjelp.

Dawkins påpekte at mennesket også har en hjerne som kan huse kulturell arv. Han kalte kulturens arvestoff for memer, et ord som skal minne både om gener og om «memory». Og Dawkins hevder at mennesket likevel ikke er slave av sine gener, for genene kan ikke bestemme over memene som bor i hjernen.

Memer – de nye replikatorer

Er det noen grunn til å tro at vår egen art – mennesket – er spesiell i dyreverdenen? Svaret er ja, og det meste av det som skiller mennesket fra andre arter kan oppsummeres i ett ord – kultur! Overføringen av kulturell informasjon har mange likhetstrekk med overføring av genetisk informasjon, ved at den kan gi opphav til en form for utvikling – evolusjon. De færreste av oss ville vært i stand til å føre en god og forståelig samtale med Olav Tryggvason, til tross for at du og Olav Tryggvason er koblet sammen av en ubrutt kjede av 30-40 generasjoner, der hver påfølgende genera-

sjon kunne forstå hverandre, slik en far kan snakke til sin sønn. Språk ser ut til å utvikle seg på en ikke-genetisk måte, og med en hastighet som er mye raskere enn genetisk evolusjon.

Nå må vi ile til å fortelle at kulturell overføring ikke er unikt for mennesket. Eksempelvis kan vi hos mange fuglearter finne at de synger med ulike dialekter, og vi kan skille dem i ulike dialektgrupper. Her i Norge er det velkjent at rødvingetrosten har ulike dialekter. En rødvingetrost på Dovrefjell har en annen dialekt enn artsfrenden i Sylane. Rødvingetrostunger som vokser opp på ulike steder i landet lærer seg derfor ulike sangdialekter, og disse dialektene overføres fra en generasjon til den neste, ikke ved hjelp av gener, men ved hjelp av imitasjon.

Memer er all informasjon som kan spres og lagres av organismer. Man kan også si at et mem i videste forstand er en idé. Eksempler på memer er moter, melodier, språk, teorier, religioner, teknologier og så videre. Memet var fra Dawkins side ment som en kulturell analogi til genet. Det fins derfor en rekke klare paralleller mellom gener og memer. Begge kan spres til nye «generasjoner» av «bærere». Denne spredningen kalles for replikasjon. Replikator brukes derfor som overbegrep over enheter som gener og memer, som har mulighet til selvkopiering. Videre kan både gener og memer «dø ut» hvis de ikke får replisert seg, og de kan mutere, dvs. endre seg over tid. Dermed er begge enhetene evolverbare, dvs. de kan gjennomgå evolusjon. Det fins imidlertid også mange punkter der sammenligningen mellom gener og memer bryter sammen. Det grunnleggende skillet mellom genotype og fenotype er det for eksempel vanskelig å finne en memetisk parallell til.

Spredningen av memer skjer gjennom læring, etterligning, indoktrinering eller lignende. Lagringen av memer kan skje i mange medier, f.eks. i hukommelsen, på papir, på harddisker, på grammofonplater osv. Det er derimot en betingelse for at en idé kan kalles mem, nemlig at den ikke kan lagres genetisk, dvs. i form av DNA.

Dawkins innførte memet for å fremheve at ikke alle biologiske fenomener kan forklares med gener. Det fins memer hos både mennesker og (andre) dyr. Dyriske eksempler er

Det er grunn til å tro at Kinas leder i perioden 1935-1976, Mao Zedong, spredte genene sine på en effektiv måte. Det genetiske bidraget fra Mao til samtid og ettertid er imidlertid for småtteri å regne sammenlignet med hans memetiske bidrag. Få mennesker har spredt sine ideer og tanker så vidtrekkende som han, med og uten bruk av makt.

fuglesang, som ble beskrevet over, og bruk av verktøy i enkelte virveldyrearter. Mennesker er imidlertid sannsynligvis den eneste arten der memene kan overstyre genetiske atferdsmønstre. Bruk av prevensjon er et eksempel på et nokså suksessrikt mem. Men mens prevensjon genetisk sett er en «ulempe» for sin bærer, kan memet både være en stor sosial fordel for bæreren og en etisk gevinst for hele samfunnet eller arten.

Debatten omkring nivåene for seleksjon

Det er i dag stor enighet om at hvis vi skal forstå utviklingen av ulike karakterer, må vi forstå hvordan seleksjon virker på individer i populasjoner og derigjennom endrer gensammensetningen til populasjonen. Debatten omkring «egoistiske gener» førte til en stigmatisering av alternative måter å forklare evolusjonære endringer på, i første rekke den såkalte gruppeseleksjonsteorien. Denne teorien går ut på at seleksjon kan virke på høyere organisasjonsnivå, som hele populasjoner, arter eller økosystem. Seleksjon medfører tilpasninger «til det beste for gruppen», og ikke nødvendigvis for individet. Hvis det finnes gener for altruistisk oppførsel, så kan disse genene selekteres fordi alle tjener på at alle er snille. Problemet med teorien er at enkeltindivider vil kunne ha andre interesser enn gruppen. Hvis det oppstår et mutant gen som snylter på andre, kan man tenke seg at dette genet vil ha høy «fitness» i en populasjon der alle individer er altruistiske. Mer generelt er gruppeseleksjonsteorien blitt avvist fordi det rent teoretisk er vanskelig å forklare at seleksjonstrykk på gruppenivå er sterkere enn seleksjon på individnivå. Hvis enkeltindivider har fordel av et trekk, så vil dette trekket selekteres sterkt, selv om gruppens «fitness» får det hvis dette trekket spres. Det har imidlertid vist seg i de senere år at gruppeseleksjon kan fungere i visse typer systemer, og at individuell seleksjon ikke nødvendigvis er sterkere enn gruppeseleksjon for bestemte trekk hos visse planter og dyr.

Menneskets utvikling

Av Reidar Andersen, Torbjørn Ekrem og Arne Moksnes

Helt siden Carl von Linné (opprinnelig het han Carl Linnaeus) i sin tid på midten av 1700-tallet, har vitenskapsfolk betraktet menneskeapene som menneskets nærmeste slektninger, hovedsakelig på grunn av ytre likhetstrekk. Da paleoantropologien, studiet av menneskets evolusjon basert på fossiler, redskaper og andre spor etter menneskelig tilstedeværelse, fikk sitt store gjennombrudd ved funnet av et neandertalerskjelett i 1856, ble det stor debatt. Men ideen om at det hadde vært en biologisk utvikling av arter ble ikke allment kjent før Charles Darwin i november 1859 utga sin berømte bok *On the Origin of Species by Means of Natural Selection* **(Artenes opprinnelse). Selv om Darwin i boka beskriver utviklingen av mange ulike typer av organismer fra orkideer til hvaler, var han forbausende taus når det gjaldt menneskets egen avstamning. Det eneste han skrev var at «det vil bli kastet lys over menneskets opprinnelse og historie». Og det fikk han jo rett i. Kanskje hadde han allerede planen klar for boken** *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex* **(Menneskets avstamning) som kom i 1871. Selv om vi fortsatt ikke kjenner alle detaljer i utviklingen, har funn av fossiler og analyser av genetisk materiale verifisert at Darwins teori om utvikling gjennom naturlig seleksjon også gjelder for mennesket.**

Genenes tale

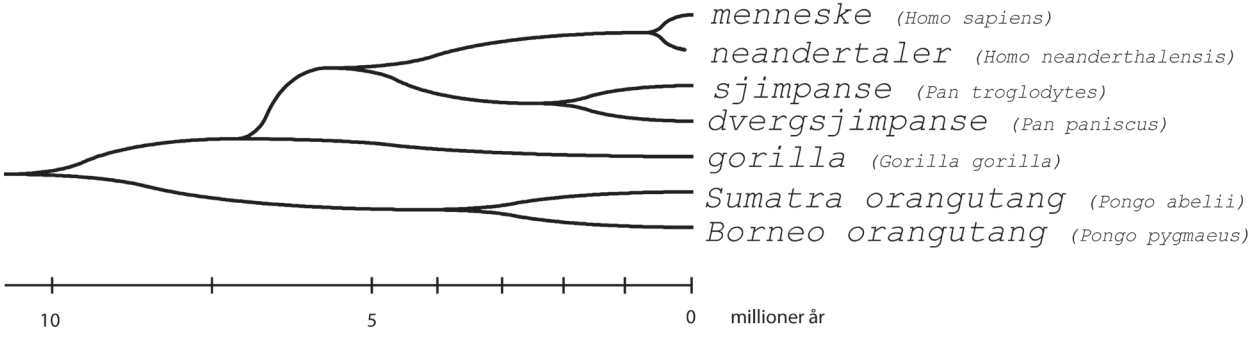
Vi vet i dag at vi deler rundt 98,5 % av arvestoffet vårt med sjimpansene, og at vi høyst sannsynlig skilte lag med disse for ca. 5 millioner år siden. Eller for å si det slik Richard Dawkins gjør: «For fem millioner år siden var det et individ som fødte to avkom. Det ene avkommet var starten på det som skulle bli sjimpanser, og det andre utviklet seg til det som skulle bli oss – *Homo sapiens*». Og fortsatt ifølge Dawkins: «Hvis du holder din mor i hånda, som igjen holder sin mor i hånda, og så videre i en ubrutt kjede av forfedre vil vi få en rekke av forfedre som er ca. 50 mil lang. I enden av den ubrutte kjeden står stammoren til både sjimpansene og mennesket.» Det er derfor klart at vi ikke bare er beslektet med apene, vi er en ape – mennesket er den sjuende menneskeapen, nært beslektet med de seks øvrige menneskeapene sjimpanse, dvergsjimpanse, borneo- og sumatraorangutanger, østlig- og vestlig gorilla. Men ikke alle forskere deler synet på at det er sjimpansene som er menneskets nærmeste nålevende slektning. Faktisk så er det slik at vårt utseende og repro-

duktive atferd har mer til felles med orangutangene enn med sjimpansene, og at sjimpansene har flest likhetstrekk med gorillaene. Enkelte forskere mener disse likhetene er for store til at de kan overskygges av likhetstrekkene i menneskeapenes arvestoff. Genenes tale er imidlertid klar, og i den siste tiden har man til og med klart å kartlegge deler av arvestoffet til utdødde menneskeslektninger. Studier av cellenes mitokondrielle genom viser at det moderne mennesket skilte lag fra neandertalerne for noe over 500 000 år siden (jf. Figur).

Før Homo

Primatenes evolusjonære historie kan ved hjelp av genetiske data og en molekylær klokke spores tilbake 85 millioner år. De eldste kjente funn derimot, er bare 58 millioner år. Dette skyldes antakelig at forholdene for dannelse av fossiler var dårlige i sen kritt og tidlig paleocen, og at de første primatene var små dyr som ikke så lett danner fossiler. Tilgjengelige fossiler fra paleocen-eocen tyder på at de tidligste primatene var vidt utbredt i Nord-Amerika, Eurasia og Afrika også under de tropiske forholdene man hadde for ca. 50-55 millioner år siden. For ca. 30 millioner år siden fikk vi et markert klimaskifte da blant annet den første isen i Antarktis ble dannet, og primatene forsvant da fra alle andre steder enn Afrika, Sør- og Mellom-Amerika og de sørlige deler av Asia.

Tidligere delte man menneskeapene i to ulike familier: Hominidae som omfattet mennesket og deres nærmeste utdødde slektninger (som de såkalte nærmennesker i slekten *Australopithecus* og neandertaleren), og Pongidae som inneholdt de andre menneskeapene (som sjimpanser og gorillaer). Det finnes ingen god evolusjonær begrunnelse for en slik inndeling ettersom gruppen Pongidae ikke inkluderer alle etterkommerne fra menneskeapenes stamform (se figur). Familienavnet Hominidae (norsk: hominider) er dermed den gjeldende betegnelsen på gruppen som omfatter alle kjente menneskeaper, og ikke bare menneskenes aller nærmeste slektninger (menneskeartene). Menneskeapenes yngste stamform levde i miocen for rundt 13 millioner år siden. Familien Hylobatidae som omfatter en rekke arter gibboner i sørlige Asia, er hominidenes søstergruppe, og en antar at stamformene til disse to familiene skilte lag for



Et slektskapstre basert på analyser av det mitokondrielle genom til nålevende menneskeaper, neandertaler og moderne mennesker. Østlig gorilla (*Gorilla beringei*) er ikke tatt med i analysen pga. manglende data.

rundt 15 millioner år siden. Et av de eldste fossilene en kjenner til hos hominidene, er *Sivapithecus indicus* som er datert til rundt 12 millioner år. Slekten *Sivapithecus* som er funnet i sørlige deler av Himalaya, antas å inneholde stamformen til moderne orangutanger og en del utdødde arter i denne gruppen og er en viktig faktor for datering av opprinnelsen til menneskeapene.

Før vi går videre, er det på sin plass å påpeke problemene med selve artsbegrepet. Dette er i seg selv problematisk, også når det gjelder nålevende arter. Derfor er det innlysende at det må være svært vanskelig å bruke på fossilt materiale. Hvor store skal forskjellene mellom karakterer på to fossilfunn være for at de skal kunne klassifiseres som to arter? Det har derfor vært mye uenighet om hva som er arter, og hva som er variasjoner innen arten. Spesielt mye diskutert i denne forbindelse er overgangen mellom slektene *Australopithecus* og *Homo*, der en blant annet har brukt kranievolum som kriterium.

Fossilet av den eldste kjente slektningen til menneskene og nærmenneskene ble funnet så sent som i 2001. *Sahelanthropus chadensis*, som den heter, ble funnet i Tsjad (derav navnet) og består av en nesten fullstendig hodeskalle med biter av en underkjeve og noen tenner. Noen forskere mener at dette fossilet representerer en stamform til mennesker og sjimpanser, og dateringen på ca. 6-7 millioner år samsvarer bra med den antatte alderen til vår felles stamform med sjimpansene. Men det er flere markante morfologiske trekk som skiller den fra de tidlige menneskene, blant annet en svært liten hjerne og en kraftig benkam over øynene. Dette er trekk en kjenner igjen hos menneskeapene, og mye tyder på at *Sahelanthropus* er nærmere beslektet med sjimpanser og/eller gorillaer. Kraniets bygning tyder på at det satt på toppen av ryggsøylen og at *Sahelanthropus* derfor sannsynligvis gikk oppreist på to bein. Det gjorde sannsynligvis også *Orrorin tugenensis* og de to artene av slekten *Ardipithecus* som begge er funnet i Øst-Afrika. Bipedal gange hos disse artene kan imidlertid ikke fastslås med sikkerhet fordi fossilfunnene er for sparsomme. *O. tugenensis* er datert til rundt 6 millioner år, mens de to *Ardipithecus* artene er antatt å ha levd for henholdsvis 5,5 og 4,5 millioner år siden. Fossilene fra disse tre artene er som nevnt fragmentariske, og fra hoderegionen er det bare kjent kjevefragmenter og enkelte tenner. Det er derfor lite materiale som kan brukes til en sammenligning med de andre menneskeformene. Likevel tyder mye på at dette var forskjellige arter, og at de levde spredt over et stort område rundt det ekvatoriale Afrika. Funnene dokumenterer også tilstedeværelsen av menneskets slektninger allerede i sen miocen og tidlig pliocen. Verd å merke seg er det også at paleobotaniske undersøkelser tyder på at de fleste av disse artene levde i et skoglandskap.

Det vakte stor oppmerksomhet da fossiler av den første arten av nærmennesker, *Australopithecus africanus*, ble funnet i Sør-Afrika i 1925. Men det er en annen av disse artene som er aller mest kjent, nemlig *Australopithecus afarensis*. Den ble funnet i Etiopia i 1974 og går under navnet Lucy. Under feiringen av funnet ble Beatles-melodien *Lucy in the sky with diamonds* spilt ofte og høyt, og skjelettet ble oppkalt etter Lucy i sangen. Lucy anslås å ha levd for ca. 3,2 millioner år siden, og undersøkelser av funnet underbygget tidligere teorier om at oppreist gange utviklet seg før økningen i hjernekapasiteten. Oppreist gange slik vi finner hos *Australopithecus*-artene, er derfor ikke noe nytt fenomen som utelukkende kan knyttes til et utvidet hjernevolum. At bipedal gange er et gammelt trekk, ble i 1977 bekreftet ved at det i Laetoli i Tanzania ble funnet fotspor etter hominider i størknet vulkansk aske som er datert til en alder av 3,6-3,8 mill. år. Den eldste absolutt sikre bekreftelsen på oppreist gange er 3,9-4,2 mill. år og stammer fra funnet av *Australopithecus anamensis* i Kenya i 1994. Slekten *Australopithecus* inneholder i alt fire arter fra det sørlige og østlige Afrika. De var alle ganske lett bygd

og ca. 1,2-1,4 meter høye. Også disse artene ser ut til å ha levd i et skoglandskap.

Nærmenneskene i slekten *Australopithecus* anses i dag å være stamform til slekten *Homo* som mennesket tilhører, og også til en sidegren bestående av slekten *Paranthropus* (de robuste nærmenneskene) med tre arter. I likhet med *Australopithecus*-artene var de bipedale, og de yngste fossilene er «bare» 1 million år gamle, mens vi må tilbake til ca. 2,5 millioner år for å finne de yngste av slekten *Australopithecus*.

Slekten Homo

I moderne taksonomi er *Homo sapiens* (det moderne mennesket) den eneste gjenlevende arten i slekten *Homo*. Men det er også overveldende bevis for at våre forfedre i lange perioder delte denne planeten med en eller flere andre menneskearter. Dette betyr at vårt familietre ikke består av en eneste rett linje av forfedre med stadig mer oppreist gange, men tvert imot at også vårt familietre består av mange grener med utdødde arter. Nå må det nevnes at det slett ikke er en ens oppfatning om hvordan menneskets stamtre skal beskrives. Dette skyldes at det fortsatt er uklarheter

Tabell. De viktigste slektningene til menneskeartene (*Homo*).

Art	Levde for (mill. år siden)	Funnsted	Hjernevolum (cm^3)	Type fossil
Sahelantropus chadensis	6-7	Nord-Afrika (Tsjad)	340-350	hodeskalle uten underkjeve
Orrorin tugenensis	6	Øst-Afrika (Kenya)		lårbein, arm, tenner
Ardipithecus kadabba	5-5,5	Øst-Afrika (Etiopia)		arm, fot, hånd, tenner
Ardipithecus ramidus	4,5	Øst-Afrika (Etiopia)		arm, tenner, fot, hånd, skallebunn
Australopithecus anamensis	3,9-4,2	Øst-Afrika (Kenya, Etiopia)		lårbein, leggbein, skallefragmenter kjeve, tenner
Australopithecus afarensis	3-4	Øst-Afrika (Tanzania, Kenya, Etiopia)	380-430	hodeskalle og mange andre kroppsdeler
Australopithecus africanus	2-3	Sør-Afrika	428-625	hodeskalle og mange andre kroppsdeler

i slektskapet mellom noen av de eldste *Homo*-formene og stor uenighet blant paleoantropologer slik at det strides om hvilke som skal betraktes som arter, og hvilke som er underarter av andre arter.

Det er to hovedteorier om hva som drev utviklingen av slekten *Homo*. Den tidligste teorien, Savanneteorien, hevder at livet i trærne ble erstattet med et liv på savannene der de reiste seg på bakbeina for å få oversikt over fiender og byttedyr. Her kunne de ikke som antilopene løpe fra sine fiender, men måtte bli «smartere» og utvikle taktikk og strategier. Dette skulle så føre til en utvikling av hjernen. Ved å utvikle naken hud med svettekjertler kunne de videre tilpasse seg de høye temperaturene i sola på savannen. Men her er det mye som ikke stemmer. Som vi har nevnt, levde de eldste bipedale artene vi kjenner til i skog, slik at de store tilpasninger til et liv på bakken hadde funnet sted lenge før dannelsen av savannene. Videre er ikke naken hud noe typisk savannetrekk, samt at evolusjon av hjerne er kostbart og begrenset av tilgang på enkelte fettsyrer som det er lite av på den tørre savannen, men som det er mye av i akvatisk miljø. Av disse årsakene er det mange som avviser savanneteorien.

En alternativ teori, som også har møtt betydelig motstand er «Den akvatiske apeteorien – AAT». Denne hevder at vading, svømming og dykking etter mat utgjorde en sterk evolusjonær effekt på forfedrene til slekten *Homo*, og delvis er årsaken til splittelsen mellom menneskets forfedre og de andre store menneskeapene. AAT forsøker også å forklare det store antallet fysiske forskjeller mellom mennesker og de andre hominidene, inkludert oppreist gange, naken hud, økt mengde underhudsfett, nedsenket strupehode, økt hjernestørrelse, en nesefasong som hindrer vanninnstrømming og en fettholdig, nærmest vanntett hud. Klare fossilfunn som kunne ha støttet opp under denne teorien, finnes imidlertid ikke, noe som kan skyldes sedimentering, og at det meste av datidens kystområder nå ligger 100-120 meter under dagens havnivå.

Tidlig Homo-linje

Her er det spesielt tre arter som er aktuelle: *Homo habilis* (1,4-2,4 millioner år), *H. rudolfensis* (1,5-2,7 millioner år) og *H. ergaster* (1,5-1,9 millioner år). Alle er funnet i Øst-Afrika. Her er det imidlertid ikke enighet om klassifiseringen, og noen forskere mener at disse tre tilhører samme art. Det foreligger et svært sparsomt fossilmateriale av *H. rudolfensis*.

H. habilis er den første arten av slekten *Homo* og utviklet seg i Sør- og Øst-Afrika. De hadde mindre molarer og nesten 40 prosent større hjerner enn *Australopithecus*-artene, og *H. habilis* er den første arten der det sammen med fossilene er blitt funnet steinredskaper. De første funnene ble gjort i 1962 i Olduvaidalen i Tanzania av de kjente paleoantropologene Louis og Mary Leakey. Disse redskapene var grovt tilhogde steiner som fikk navnet «Oldowan-redskaper» etter funnstedet, og *H. habilis* fikk tilnavnet «handy-man» på grunn av sin redskapsbruk. Det er imidlertid fortsatt diskusjon om *H. habilis* tilhører slekten *Homo*, eller om den skal føres tilbake til *Australopithecus* siden skjelettet morfologisk viser en bedre tilpasning til et liv i trærne enn bevegelse oppreist på to bein.

Nyere Homo-linje

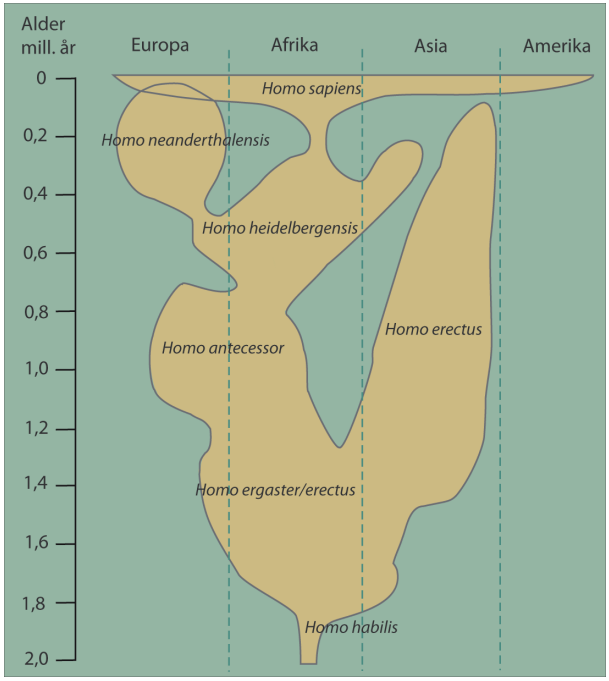
I Afrika, Asia og Europa i tidlig pleistocen, for 1,5-1 millioner år siden, utviklet noen populasjoner av de tidlige *Homo*-artene større hjerner og laget mer avanserte redskaper. Den ovenfor nevnte *H. ergaster* fra Øst-Afrika blir av de fleste betraktet som stamformen til den linja som etter hvert fører

fram til det moderne mennesket, og den regnes også av mange å ha gitt opphav til den menneskelignende *Homo erectus*. Dette kompliseres imidlertid av at noen også mener at *H. ergaster* og *H. erectus* tilhører samme art. I tråd med dette brukes ofte betegnelsen *H. erectus/ergaster.*

Homo erectus

H. erectus var den første menneskearten som gikk virkelig oppreist. Det ble gjort mulig gjennom morfologiske endringer i knekonstruksjonen og en annen plassering av det såkalte *foramen magnum*, hullet i skallen som ryggraden kommer opp gjennom. Hos *H. erectus* skjedde det en betydelig kulturell utvikling. Sammen med disse fossilene er det i Afrika funnet mer avansert bearbeidete håndøkser. Denne redskapskulturen er blitt kalt Acheuléen-kulturen. Den kjennetegnes av fint forseggjorte håndøkser og langstrakte steiner med skarpt formete kanter på begge sider slik at de har god skjærefunkjson. *H. erectus drev* systematisk jakt, noe som resulterte i en betydelig andel kjøtt i dietten, og den var den første menneskearten som aktivt benyttet ild til å koke maten. De første fossilene av *H. erectus* ble oppdaget i 1891 på den indonesiske øya Java. De ble først klassifisert som *Pithecanthropus erectus* basert på sin morfologi som ble betraktet å være en mellomting av menneske og ape. *H. erectus* levde for mellom 1,8 millioner og 100 000 år siden. Et berømt funn av *Homo erectus* er «Peking-mannen». Flere andre funn ble gjort i Asia (de fleste i Indonesia) og i Afrika. Mange paleoantropologer bruker nå betegnelsen *Homo ergaster* for de ikke-asiatiske formene av denne gruppen, og reserverer bruken av *H. erectus* bare for fossiler som finnes i den asiatiske regionen.

Det har vært en tradisjonell oppfatning at *H. erectus* oppsto i Afrika og utvandret til Europa og Asia for 1-2 millioner år siden. Men i og med at fossiler av *H. erectus* fra Java også er like gamle som dem fra Afrika (1,8 millioner år), er det noen som stiller spørsmålstegn ved dette. Likevel er det slik at de fleste holder på at *H. erectus* utvandret fra Afrika. I alle fall er det bare i Afrika vi finner forfedrene til *Homo*-slekten, nemlig slekten *Australopithecus.*



En skjematisk fremstilling av den tidsmessige og geografiske fordelingen av de best kjente artene i slekten *Homo*. *Homo neanderthalensis* levde også i vestlige deler av Asia. (Det finnes andre fremstillinger som tolker taksonomien og den geografiske fordelingen på andre måter.)

Homo heidelbergensis

Homo heidelbergensis (Heidelbergmannen) levde for mellom 600 000 og 200 000 år siden. Etter å ha oppstått i Afrika, spredte den seg både til Europa og Asia. Navnet har den fått

fordi de første fossilene ble funnet i nærheten av Heidelberg i Tyskland i 1907. Den har en sentral plass både i evolusjonen av neandertaleren, *Homo neanderthalensis*, og av det moderne mennesket, *Homo sapiens*. De fleste av dagens eksperter mener nemlig at denne arten ble splittet opp i to datterarter for mer enn 200 000 år siden: Neandertaleren i nord (Europa) og det moderne mennesket i sør (Afrika). Noen paleontologer regner *H. heidelbergensis* til en gruppe som de betegner «arkeiske Homo sapiens».

Homo neanderthalensis

Som nevnt ovenfor oppsto neandertaleren i Europa. Dermed er den én av de ytterst få menneskearter som ikke har oppstått i Afrika. *H. neanderthalensis* levde fra ca. 250 000 år siden og fram til for mindre enn 30 000 år siden. De siste funnene i Spania antyder en alder på 28 000 år. Tidligere ble den også klassifisert som *Homo sapiens neanderthalensis*, og det var en høylytt debatt om hvorvidt «Neandertalermannen» var en egen art, eller en underart av *H. sapiens.* Resultater fra sekvensering av mitokondrielt DNA viser imidlertid at det ikke har vært noen utveksling av gener mellom *H. neanderthalensis* og *H. sapiens*, og man tror nå at disse var to separate arter som har utviklet seg fra en felles stamform som levde for ca. 600 000 år siden. Neandertalerne er derfor ikke våre stamfedre.

Neandertalerne var storviltjegere som regjerte alene i Europa og vestlige deler av Asia i mer enn 200 000 år. Vi finner spor etter disse menneskene langs Middelhavet fra Gibraltarstredet til Hellas og Irak, nordover til Russland, vestover til England og østover helt til Mongolia. Men det var ikke så mange av dem. Dagens estimat er at den europeiske populasjonen maksimalt talte 15 000 individer. De siste 5 000 år av sin levetid levde de i de samme områdene som *H. sapiens*. Hvorfor de forsvant, er fortsatt et uløst spørsmål. På de fossilene som man i dag kjenner til, er det ikke funnet spor som tyder på at de har vært utsatt for kamper i forkant av sin død. Imidlertid vet vi at neandertalere selv i enkelte tilfeller har spist sine egne døde. I hulen Moula-Guercy i de sørøstre deler av Frankrike er det funnet 78 beinfragmenter etter minst seks individer. På disse er de største beina og skallene slått i stykker for å utnytte hjernemasse og beinmarg. Samtidig vet vi også at de hadde omsorg for sine syke og skrøpelige, og at de som regel begravde sine døde. I Frankrike er det funnet en gravplass med to voksne individer, en mann og en kvinne som er gravlagt sammen med to eldre barn og tre spedbarn.

Homo floresiensis

I 2003 ble det gjort et svært så overraskende funn på øya Flores i Indonesia. Skjelettet antas å tilhøre en kvinne i 30-årsalderen, som levde for ca. 18 000 år siden. Hun anslås til å være ca. 1 meter høy og med et hjernevolum på ca. 380 cm^3 (som er mindre enn en sjimpanse og bare 1/3 av menneskets gjennomsnitt på 1400 cm^3).

H. floresiensis antas å ha levd fra 100 000 til 12 000 år siden. Det er velkjent at arter som i lengre tid har utviklet seg isolert på øyer, danner mindre former enn den opprinnelige stamformen, og den beskjedne størrelsen til *H. floresiensis* antas å skyldes nettopp dette. *H. floresiensis* er interessant både på grunn av sin størrelse og sin unge alder og er et konkret eksempel på en nylig art av slekten *Homo* som har særskilte primitive trekk (blant annet en uforholdsmessig stor fot) som ikke deles med moderne mennesker. Med andre ord, *H. floresiensis* deler en felles stamfar med moderne mennesker, men splittet opp fra disse og fulgte en egen distinkt evolusjonær vei.

Teoriene om deres opprinnelse er fortsatt mange. Noen mener det er en dvergform av det moderne mennesket, mens andre mener de har utviklet seg fra *H. erectus* som ankom øya for mer enn 800 000 år siden. Disse små menneskene jaktet elefanter! Riktignok var også de i en dvergform, men en 1 000 kg tung minielefant er fortsatt et stort bytte for et menneske på størrelse med et tre år gammelt barn av *H. sapiens*. Mye tyder på at både stegodontene, minielefantene og *H. floresiensis* døde ut for ca. 12 000 år siden på grunn av et vulkansk utbrudd på øya.

Homo sapiens

Det moderne mennesket, *H. sapiens* («sapiens» betyr klok eller intelligent), dukket opp på areaen for over 200 000 år siden. Siden den gang har mennesket som nøkkelart spilt en stadig større økologisk rolle og er blitt den enkeltart som utøver den største påvirkning på klodens biomer. De eldste fossiler av *H. sapiens* er 160 000 år gamle og stammer fra Etiopia (*H. sapiens idaltu*).

Ovenfor har vi nevnt hvordan *H. sapiens* utviklet seg fra *H. heidelbergensis* i Afrika. Det har vært store diskusjoner om hvordan det moderne mennesket har utviklet seg til å ta hele kloden i bruk. De aller fleste mener i dag at *H. sapiens* etter å ha oppstått i Afrika, utvandret til de øvrige kontinentene slik at alle nålevende mennesker har en afrikansk opprinnelse. Dermed har det vært tre store utvandringer fra Afrika: Først *H. erectus*, deretter *H. heidelbergensis* og til slutt altså *H. sapiens*.

Ifølge denne teorien, «Afrikahypotesen», utvandret altså det moderne *H. sapiens* fra Afrika og erstattet etterkommerne av *H. erectus/ergaster* i de andre verdensdelene. Det eksisterer imidlertid en mye diskutert motpol til denne teorien, nemlig «multiregionalhypotesen» som antar at det moderne mennesket utviklet seg fra *Homo erectus* parallelt i Asia, Europa og Afrika og at *H. erectus* sto for den eneste utvandringen fra Afrika. Som støtte for multiregionalhypotesen argumenteres det med at det over lange tidsrom er påvist regional kontinuitet i anatomiske trekk, bl.a. i hele serier av kranier fra Asia tilbake til *H. erectus*, samt at menneskene i Asia ikke brukte avanserte steinøkser slik de gjorde i Afrika. Dette kan

Et utvalg kranier fra slekten *Homo*. **Fra venstre:** *Homo habilis*, *Homo ergaster*, *Homo neanderthalensis* **og** *Homo floresiensis*.

imidlertid skyldes at de brukte bambusredskaper. Men det er også undersøkelser av morfologiske trekk som antyder at det moderne mennesket utviklet seg i Afrika og erstattet eldre former utenfor Afrika.

Den sterkeste støtten til Afrikahypotesen kommer imidlertid fra molekylærbiologien. Som nevnt ovenfor, er det klare genetiske forskjeller mellom neandertalere og moderne *H. sapiens*. Innenfor *H. sapiens* har nyere undersøkelser bekreftet at det er svært liten genetisk variasjon. Dette betyr med andre ord at DNA hos de enkelte individer er mer likt enn hos de fleste andre arter, noe som kan skyldes at utviklingen nylig har funnet sted. Dette støtter Afrikahypotesen framfor multiregionalhypotesen, som forutsetter en eldre opprinnelse og dermed større genetisk variasjon.

Et mye diskutert datasett i denne forbindelse er mitokondrielt DNA fra 189 kvinner fra Afrika, Asia, Australia, Europa og Ny-Guinea. Analysen viste forbausende liten variasjon over hele dette store området, men ut fra et felles opphav kunne det identifiseres to grener: Én som utelukkende fantes i Afrika, og én som fantes hos alle gruppene, inklusive afrikanerne. Videre var det større variasjon i Afrika enn mellom de ulike geografiske regionene til sammen. Dette støtter Afrikahypotesen fordi den som nevnt predikerer begrenset variasjon i DNA, grunnet sen opprinnelse, og videre fordi det er størst variasjon i Afrika. Ifølge multiregionalhypotesen skulle en ha forventet større variasjon på grunn av gammel opprinnelse og ikke større variasjon i noen region enn i andre. Disse resultatene er nå bekreftet av flere undersøkelser der en for mange populasjoner blant annet har sett på nukleært DNA knyttet til mange

Oversikt over de viktigste artene og underarter i slekten *Homo*.

Art	Levde for (mill. år siden)	Levested	Antatt høyde (m)	Antatt vekt (kg)	Hjerne-volum (cm^3)	Artsstatus
H. rudolfensis	2,7 – 1,5	Kenya				omdiskutert
H. habilis	2.4 – 1.4	Afrika	1,0–1,5	33–55	660	
H. ergaster	1,9 – 1,5	Øst- og Sør-Afrika	1,9		700–850	Samme art som H. erectus?
H. erectus	1,8 – 0,1	Afrika, Eurasia (Java, Kina, Kaukasus)	1,8	60	850 (tidlig) – 1100 (sent)	
H. georgicus	1,8	Georgia	1,5		600-780	omdiskutert
H. antecessor	1,2 – 0,8	Spania	1,75	90	1000	omdiskutert
H. heidelbergensis	0,6 – 0,2	Europa, Afrika, Kina	1,8	60	1100–1400	
H. neanderthalensis	0,3 – 0,03	Europa, Vest-Asia	1,6	55–70	1200–1700	
H. sapiens sapiens	0,2 – i dag	Hele verden	1,4–1,9	50–100	1000–1850	
H. sapiens idaltu	0,16 – 0,15	Etiopia			1450	
H. floresiensis	0,10 – 0,012	Indonesia	1,0	25	380	Omdiskutert opphav

loci. Også disse analysene viser at den dypeste genetiske avstand er mellom afrikanere og ikke-afrikanere, og at denne splittelsen oppsto for mellom 75 000 og 287 000 år siden. Hovedkonklusjonen blir derfor at 1) alle nåværende mennesker har afrikanske forfedre og 2) alle nåværende mennesker stammer fra *H. sapiens* som forlot Afrika for noen få hundre tusen år siden. Dagens «beskjedne» forskjeller mellom raser har oppstått etter den tid og er altså av meget ny dato. Disse tilpasningene utgjør derfor en svært liten del av genomet til *H. sapiens* og inkluderer ulike karakteristikker, som hudfarge og neseform, samt egenskaper knyttet til effektiv ånding i store høyder.

En sammenligning av kraniet til mennesket (Homo sapiens) og Homo floresiensis.

Fra kunstig seleksjon til genmodifiserte organismer

Av Bjarte Heide og Per Gustav Thingstad

Avl, selektiv utvelgelse og kunstig seleksjon er alle et begrep for en prosess der vi bevisst velger ut bestemte egenskaper som vi ønsker å foredle hos en art, og der vi ser bort fra artens overordnete tilpasning (til miljøet), som ved naturlig seleksjon. Helt siden Darwin omtaler variasjon under domestisering i Artenes opprinnelse, har evolusjonsbiologer dratt nyttig lærdom om den genetiske basisen for evolusjon ved hjelp av ulike avlsforsøk. Darwin observerte blant annet hvor store forskjellene var blant tamduerasene, og han påpekte korrekt nok at alle disse nedstammer fra klippeduen (Columba livia). Av dette utledet Darwin at når menneskene ved en kunstig seleksjon kunne få til så stor variasjon innenfor en eneste art i løpet av relativt kort tid, hva kunne ikke naturen utrette ved en naturlig seleksjon i løpet av mye lengre tid?

Fra ulv til ulike hunderaser

Et klassisk eksempel på hva kunstig seleksjon kan bidra til ser vi hos alle hunderasene våre (*Canis lupus familiaris*). De stammer alle fra domestiserte ulver. I løpet av den tiden mennesket har hatt hundedyr hos seg, kanskje mer enn 30 000 år, og minst 14 000 år, var det lenge bare noen få hovedgrupper med hunder (fire). Alle disse gruppene besto av dyr som lignet på hverandre og som hadde morfologi og atferd tilpasset sitt miljø og sin funksjonelle rolle. Hunden er det eneste pattedyret som vi kjenner til ble domestisert under jeger- og sankerperioden i menneskets kulturelle historie. Etter at den moderne forståelsen av genetikken utviklet seg utover på 1900-tallet, begynte vi å avle hunder med et vidt spekter av spesifikke karaktertrekk og egenskaper. Nå har vi derfor fått utviklet hundrevis av ulike raser, som til sammen viser større atferdsmessig og morfologisk variasjon enn noe annet landpattedyr; fra de minste miniatyrhunder («teacups»), som chihuahua på 0,5-3 kg, til 90 kg store mastiff og engelske bulldog.

Avl av kulturplanter og husdyr

Ellers er det spesielt innenfor landbruket vi finner mange resultater av kunstig seleksjon. Stedene for der dyrking og

foredling av nåværende kulturplanter oppsto må sannsynligvis finnes der artene er utbredt naturlig. Noen områder, som Midtøsten, Sentral-Asia, India, Sørøst-Asia, det nordlige Kina, Øst-Afrika, Middelhavsområdet, Mellom-Amerika og Peru, har hatt særlig betydning. Flere planter har trolig vært dyrket i mer enn 10 000 år. Arkeologiske utgravinger i nedre del av Changelva (Yangzte) har avdekket at andelen domestisert ris økte fra 27,4 % til 38,8 % i en periode på 300 år (fra 6900 til 6600 år siden). (Villris og domestisert ris kan skilles ved at småaksene på den sistnevnte ikke brekker ved modning.) Allerede i steinalderen begynte altså bøndene i Kina å domestisere risplanten. For øvrig representerer bygg, hvete, lin, hamp, te og epler eldre kulturplanter, mens kaffe, ananas og tomat representerer yngre kulturplanter. Domestiseringen

Menneskets beste venn hunden, i alle sine varianter, stammer fra ville ulver. Ulven på bildet er bare svakt domestisert ettersom den er i en dyrepark. Foto: Per Gustav Thingstad

av husdyr startet i Midtøsten med sau, geit og kveg. Dette skjedde trolig også for om lag 10 000 år siden. Senere tiders styrte avlsprosjekter og bruk av kraftfôr har framskaffet dyr som produserer mye mer enn de gamle rasene (spesielt melk og kjøtt), men dette har til dels gått på bekostning av dyrenes tilpasning til et naturlig miljø og levesett.

Fra avl til mutagenese og genmodifisering

De siste tiårs utvikling innen bio- og genteknologi har resultert i at planteforedlingen ikke i like stor grad er begrenset av de tilgjengelige genetiske variasjonene i en art. Fra 1960-tallet er radioaktiv stråling blitt benyttet for å introdusere tilfeldige mutasjoner i kulturplanter. Enkelte av mutasjonene har vist seg å gi forbedret utbytte, kvalitet, smak, størrelse og motstandsdyktighet mot sykdom, samt å gjøre plantene i stand til å overleve under nye klimatiske forhold. FN-organisasjonen for mat og jordbruk (FAO) og det internasjonale atomenergibyrået (IAEA) har et felles program for å hjelpe medlemslandene til å bruke radioaktive teknikker og relatert bioteknologi for å utvikle strategier for bærekraftig matsikkerhet. Deres database over mutante sorter inneholder om lag 2 800 sorter. Sorter av ris, hvete, bygg, pærer, erter, bomull, peppermynte, solsikke, peanøtter, grapefrukt, banan, kassava og durra er blant de registrerte, herunder to norske byggsorter.

Fra midten av 1990-tallet tok utviklingen en retning som for mange innebærer et paradigmeskifte: De første genmodifiserte organismene ble kommersialisert. En genmodifisert organsime (GMO) er en organisme som har fått sitt arvemateriale forandret ved teknikker som er kjent som rekombinant DNA-teknologi eller genteknologi.

Genmodifiserte dyr har fått liten kommersiell utbredelse. Et sjeldent eksempel på genmodifiserte dyr i kommersiell handel er såkalt GloFish. Dette er akvariefisk som er blitt genmodifisert for å få en rød, grønn eller oransje fluorescerende farge. GloFish er utviklet i Asia, men har funnet veien til enkelte europeiske land gjennom illegal import.

GMO-teknikker:

En av de mest vanlige teknikkene for å genmodifisere planter benytter seg av jordbakterien *Agrobacterium tumifaciens*. Denne bakterien har naturlig en unik evne til å endre genmaterialet i planter, slik at plantene produserer stoffer som bakteriene har bruk for. Bakterien har et plasmid som inneholder arvemateriale som er uavhengig av det kromosomale DNA, og som skal inkorporeres i planten (T-DNA), samt arvemateriale som sørger for at T-DNA blir overført fra plasmidet til plantens arvemateriale. Ved å erstatte plasmidets opprinnelige T-DNA med ønsket arvemateriale, brukes bakterien som et verktøy for å få planten den infiserer til å produsere stoffer den ikke naturlig produserer.

En annen mye brukt teknikk for å genmodifisere planter er partikkelkanon. Metallpartikler som har en diameter på omtrent en tusendels millimeter blir dekket med arvemateriale som man ønsker å overføre til planten. Metallpartiklene og arvematerialet blir så, bokstavelig talt, skutt inn i planteceller ved hjelp av krutt, lufttrykk eller en elektrisk ladning. Det nye arvematerialet kommer på denne måten inn i plantecellen, og vil i noen tilfeller bli satt inn i plantens arvemateriale.

På markedet i dag er det hovedsakelig genmodifiserte planter (GMP). Disse ble introdusert i 1996, og har siden fått en relativt stor utbredelse. I 2008 ble de dyrket på til sammen 1,25 milliarder dekar i 25 land. Dette utgjør 2-3 % av alt jordbruksland i verden. Det er først og fremst soya, mais, bomull og raps som har en høy andel genmodifiserte avlinger. Disse genmodifiserte plantene har fått endret agronomiske egenskaper, det vil si egenskaper som primært er relevant for dyrkingen av planten, og i mindre grad er synlige i sluttproduktet. Det er hovedsakelig to egenskaper som er satt inn i genmodifiserte planter som er på markedet per i dag: Insektresistens og plantevernmiddelresistens.

Insektresistens

Bakterien *Bacillus thuringiensis* (Bt) inneholder krystallproteiner (Bt-toksiner) som er svært giftig for en rekke viktige planteskadegjørere. På grunn av deres antatte spesifisitet og fordelaktige miljøegenskaper har Bt-toksiner i de siste 60 årene vært ett av de viktigste biopestisidene for beskyttelse mot skader fra insekter i konvensjonelt og økologisk landbruk. På grunn av at sprøytingen mot planteskadegjørerne er lite effektiv, ble det utviklet (ved hjelp av genmodifisering) planter som selv produserer Bt-toksiner. Disse plantene er mindre utsatt for angrep fra skadedyrene, og produserer således mer avling per areal i de områdene der det er høy forekomst av skadedyrene.

Plantevernmiddeltoleranse

Ved siden av insektresistente planter er planter som er tolerante mot sprøytemidler, dominerende i genmodifiserte avlinger. Planter som naturlig ikke tåler et sprøytemiddel får innsatt gener som gjør at de ikke tar skade av sprøyting med sprøytemiddelet. Dette kan medføre at man kan ta i bruk nye sprøytemidler i en kultur.

GloFish representerer et (enn så lenge?) sjeldent eksempel på en genmodifisert dyreart. Illustrasjon: http://en.wikipedia.org/wiki/

***Ostrinia nubilalis* – ett av skadedyrene på mais som Bt-toksiner kan gi beskyttelse mot. Foto fra: http://en.wikipedia.org/wiki/**

Omstridt teknologi

Selv om genteknologi er blitt tatt i bruk i jordbruket i en større hastighet enn noen annen teknologi i jordbrukets historie, er teknologien svært omstridt. USA og amerikansk industri er en av de sterkeste kreftene for utvikling og bruk av genteknologi, mens Europa generelt er skeptisk. Skepsisen i Europa er først og fremst knyttet til frykt for at genmodifisert mat kan ha negative helsekonsekvenser, men også frykt for negative konsekvenser for miljøet og etiske og moralske forhold blir oppgitt som grunn for skepsisen.

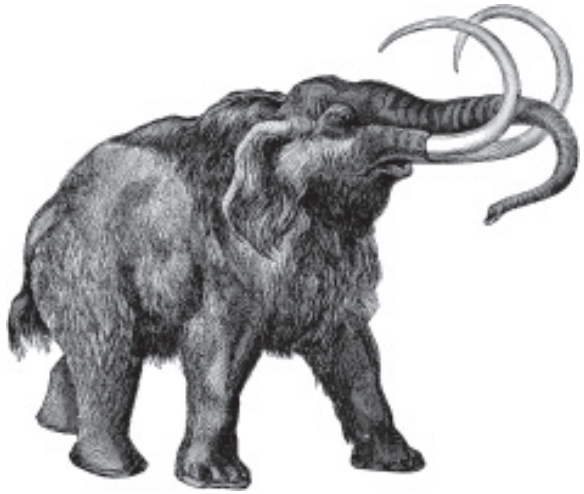
Kloning

«Kloning» er et begrep som benyttes for å beskrive en rekke ulike fenomener, alt fra kloning av gener som gjøres for å kunne studere geners funksjon, til kloning av mennesker. Disse fenomenene reiser svært ulike tekniske utfordringer, og moralske og etiske spørsmål.

Kloning innebærer, uavhengig av om man snakker om kloning av gener, celler, planter, dyr eller mennesker, fremstilling av en kopi som har samme genetiske sammensetning som opphavet.

Alle planter som blir dannet uten å gå via frø er kloner, f.eks. stiklinger, og er eksempel på kloning som ikke anses for å være kontroversiell. Langt mer kontroversielt er kloning av dyr.

Sauen Dolly ble verdensberømt i 1996. Dolly var det første dyret som ble klonet fra en celle fra et voksent dyr. Metoden som ble benyttet for å fremstille Dolly gikk i korte trekk ut på å fjerne arvematerialet fra et egg, for så å sette inn arvematerialet fra en celle fra et voksent dyr. Egget blir deretter satt inn i livmoren til en sau. I de fleste tilfeller vil slike innsettinger ikke føre til levedyktig avkom, men i Dollys tilfelle var innsettingen vellykket, og metoden blir stadig forbedret. Det er likevel vanskelig å finne et eksakt tall på hvor mange dyr man har klart å klone ved hjelp av somatisk vev så langt, men det kan i beste fall være snakk om bortimot 20, inklusive modellorganismer (som *Drosophila* fruktfluer eller også kjent som bananfluer på norsk). Spesielt interessante er arbeidene med truete arter som bantengfe (Bos javanicus). Dette er en nesten utryddet art med et pågående kloningsprogram, der hensikten med tiden er å få den reintrodusert ut i vill tilstand. I 2008 kunne vi lese at japanske vitenskapsmenn med hell hadde skapt livskraftige kloner av ei mus som hadde vært nedfrosset i 16 år. Dette kan være gjennombruddet til en metode der vi også kan få utdødde dyrearter til å gjenoppstå, f.eks. mammut fra godt bevarte nedfrosne levninger i sibirsk permafrost.



Kan vi ved hjelp av avansert kloneteknologi om ikke en alt for fjern framtid gjenskape utdødde dyr som den ullhårete mammuten? Tegning hentet fra: http://de.wikipedia.org/wiki/

Er tyngdekraften reell?

Av Hans K. Stenøien

Mennesker har til alle tider forklart verden og sin plass i universet med henvisning til høyere makter. Ulike sivilisasjoner har utviklet ulike myter som kunne forklare når verden ble skapt, og hvordan en eller flere guder opprettholder verden – både den synlige og den usynlige. Synet på mennesket som spesielle i skaperverket går igjen, og den udødelige sjelen kan ses på som vår delaktighet i det guddommelige.

Opplysningstiden

I 1700-tallets Europa skjedde det store endringer i det allmenne synet på mennesket og menneskets rettigheter, i synet på kirken, kongemakten og i utviklingen av humanistiske idealer og demokratiske institusjoner. Europeisk åndsliv utviklet en sterk grunnholdning om at kirken ikke var en autoritet i å forklare naturen og universet, men at det tvert imot var naturvitenskapen som gjorde mennesket i stand til å forstå den fysiske verden. Opplysningstiden beredte grunnen for adskillelsen av naturvitenskap og religion. Dette betydde blant annet at naturfag på skolen skulle dreie seg om biologi, fysikk og kjemi, og ikke om slangen i paradiset. Undervisning om tro og fenomener som vi ikke kan observeres med sansene, skulle tilhøre en annen del av skolegangen. Dette skillet mellom vitenskap og religion la grunnlaget for moderne vitenskap og den teknologiske utviklingen verden har gjennomgått de siste to hundre årene.

Vitenskap og tro

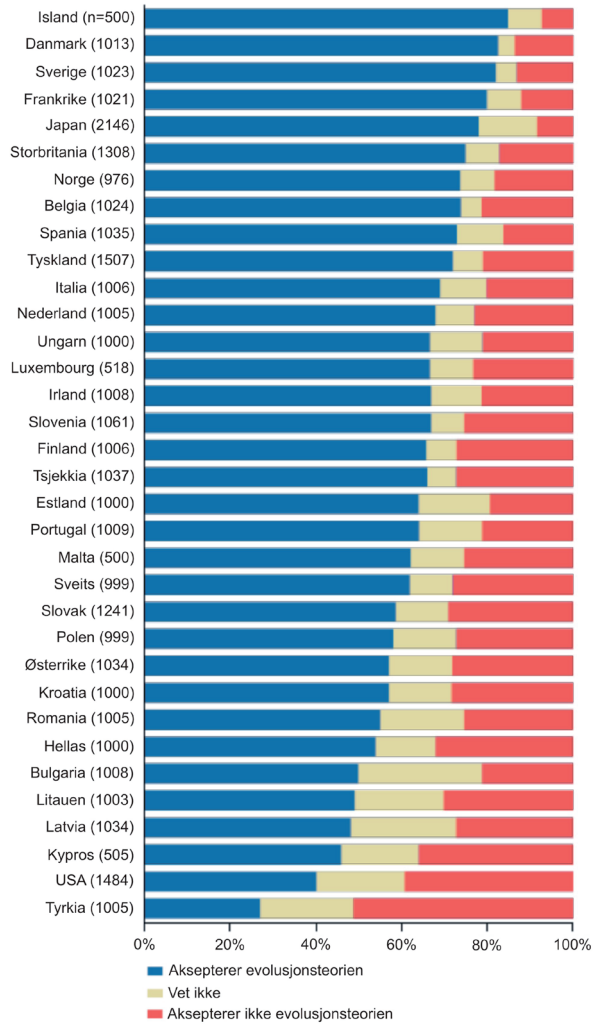
I USA foretok man for noen år siden en medisinsk studie av mer enn 1800 pasienter for å avdekke eventuelle helsebringende effekter av bønn. Dette er for så vidt forståelig og et adekvat forskningsområde siden mange mennesker i samfunnet er overbeviste om at bønn virkelig har en helsebringende effekt. Resultatet viste at bønn ikke påvirket sannsynligheten for å bli frisk for de pasientene som deltok i studien (men de som visste at de ble bedt for opplevde signifikant flere komplikasjoner enn de som ikke ble bedt for). Vitenskapelig testing av tro og religion hører imidlertid til sjeldenhetene. Religiøs tro blir på den andre siden ikke så sjelden brukt som bakteppe for å evaluere vitenskapelige funn og teorier, men stort sett bare innenfor noen få fagområder. Kirken har bare sjelden funnet grunn til å kommentere hypoteser som er fremsatt innen fagfelt som uorganisk kjemi eller kulde- og varmepumpeteknikk. Derimot har vestlige religiøse institusjoner og grupperinger hatt mye å si om

menneskets avstamning, og hva som kan forklare verdens biologiske mangfold. Evolusjonsbiologien og deler av religiøse bevegelser har alltid vært på kollisjonskurs.

Slik behøver det ikke å være. Biologi som vitenskap tar for seg livet slik det fremstår og årsaker til at verden ser ut slik den gjør. Den viktigste årsaken til biologisk mangfold er evolusjon ved naturlig seleksjon. Man kan drive biologisk og kjemisk forskning for å bringe på det rene hva som må til for at liv kan oppstå fra enkle forbindelser, og hvordan ulike prosesser har ført til ulike mønstre for evolusjonære endringer, fra molekylært nivå og opp til dannelsen og utryddelsen av arter. Men biologi sier ingenting om universets skapelse. Biologi dreier seg ikke om å avklare om planeten vår og alle dens livsformer er blitt skapt av en eller flere guder. Det er ingenting i veien for at man kan tro på en Gud og samtidig ønske å forstå hvordan naturen fungerer, og hvilke prosesser som har medført dannelse av livsmangfold. De fleste religiøse mennesker burde derfor ikke ha problemer med evolusjonsteorien.

Mistro til naturvitenskap

Likevel er det mange som har problemer med å akseptere evolusjonsteorien, både religiøse mennesker, men også forbausende mange som definerer seg som ikke spesielt religiøse. Nesten én av fire nordmenn – og mer enn halvparten av alle amerikanere – tror ikke at mennesker og aper har felles opphav, på tross av at 98 % av arvematerialet til mennesker og sjimpanser er identisk. Forbausende mange, spesielt i USA, tror i tillegg at verden ble skapt for 6000 år siden, slik skapelsesberetningen beskriver. Denne sterke mistroen til vitenskap, og like sterke bokstavtro på det som står i Bibelen, er essensen i den såkalte kreasjonismen. Det er flere retninger innen kreasjonisme, men grunnidéen er at jordens biologiske mangfold ikke er gjenstand for noen utvikling. Alle



Figuren viser resultatet av en undersøkelse fra vestlige land der man ble spurt hvilken holdning man hadde til evolusjonslæren. Man ser at mindre enn halvparten av amerikanere tror på evolusjonslæren, mens om lag én av fire nordmenn tror den er gal. Omtegnet fra Miller *et al*. (2006). n = antall spurte.

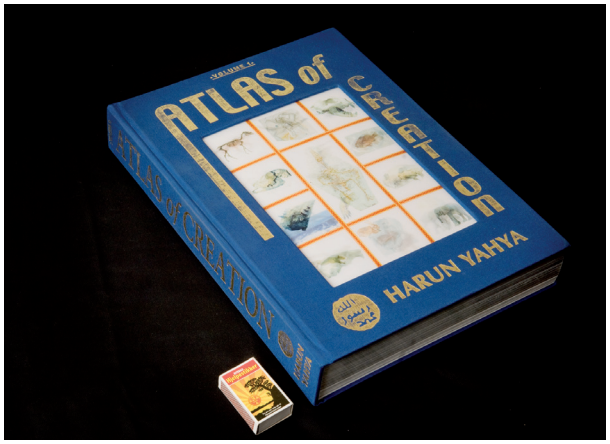
artene i verden ble skapt på samme tidspunkt gjennom såkalt «intelligent design» – det vil si skapt av en Gud.

Dette synet kan ikke avfeies som fortidig og uaktuelt. Kreasjonistene har hatt en sentral plass i amerikansk politikk helt siden slutten av 1800-tallet. På denne tiden ble kreasjonismen sett på som et viktig våpen mot liberale demokrater, som ofte var overbeviste darwinister. Kreasjonismen står fortsatt svært sterkt i det republikanske partiet og har mektige støttespillere. Den inngår som en naturlig del av ordinær religionsutøvelse, ikke minst hos de mange karismatiske TV-predikantene i USA. Kreasjonistene har betydelige ressurser til rådighet, de har betydningsfulle talsmenn, og tidvis gjør de seg sterkt gjeldende i den offentlige debatten i USA. For de fleste europeere er det urovekkende å se hvor dypt religiøs fundamentalisme stikker i store deler av den amerikanske befolkningen.

Kreasjonistenes politiske agenda har ikke endret seg vesentlig det siste århundret. Den viktigste målsetningen er at intelligent design skal undervises på lik linje med, eller helst istedenfor, evolusjonslæren. Dette har de da også klart å få gjennomført på skoler i flere delstater i USA opp gjennom årene. Rettsapparatet har imidlertid fått satt en stopper for dette hver gang det er blitt satt i verk på offentlige skoler. Det er gjentatte ganger, siste nå i Pennsylvania i 2005, blitt slått fast at amerikansk lov garanterer at religionsutøvelse skal holdes adskilt fra realfagundervisningen. Dette er prinsipielt viktig fordi det betyr at læren om intelligent design juridisk sett ikke kan anses for å være en vitenskapelig retning, som tilhengerne mener, men derimot må ses på som en religiøs overbevisning. Det amerikanske samfunnet er fortsatt grunnlagt på opplysningstidens idealer om vanntette skott mellom tro og vitenskap.

Den kreasjonistiske bevegelsen ser imidlertid ikke ut til å svekkes med årene, på tross av gjentatte nederlag i ame-

De viktigste ulikhetene i det såkalte kreasjonistiske og det vitenskapelige verdensbildet.



Forsiden av Harun Yahyas Atlas of Creation (Global Publishing, Istanbul, Tyrkia, 2007. Forfatterens egentlige navn er Adnan Oktar). Boken har svært høye opplagstall og er effektivt blitt spredd til institusjoner og enkeltindivider over hele verden. I denne boken kan man blant annet lese at Darwins evolusjonslære ligger til grunn for fascisme, nazisme og kommunisme, og at andre verdenskrig, så vel som terrorisme og kriger i verden i dag, i vesentlig grad skyldes utviklingslæren. Oktar hevder selv at boken hans har inspirert ledende vestlige politikere som Nicholas Sarkozy, Jacques Chirac and Tony Blair. Foto: Kari Dahl

rikanske rettssaler. Tvert imot, kreasjonistene øker stadig i antall både i USA og i resten av den vestlige verden. I mange europeiske land har ressurssterke grupper og talspersoner gjort seg gjeldende i senere år. I Storbritannia har grupper som Truth in Science en relativt høy profil i sitt arbeid for å få kreasjonisme inn i den offentlige skolen, og ikke bare på privatskoler som i dag. I Russland har den ortodokse kirken stått bak søksmål mot det offentlige i den hensikt å få kreasjonisme inn i skoleverket. I Tyskland har ledende politikere i det kristeligdemokratiske partiet åpnet for at kreasjonisme må inn i naturfaget, og for noen år siden forsøkte den italienske utdanningsministeren å fjerne evolusjonslæren fra biologiundervisningen.

Kreasjonisme (av latin creatio som betyr «skapelse») er det filosofiske syn at verden og livet på jorda er blitt skapt av en guddommelig makt gjennom én eller flere særskilte skapelseshandlinger. I motsetning til den ordinære evolusjonsteorien benekter kreasjonister vanligvis at alle organismer kan føres tilbake til ett felles utviklingsmessig opphav.

Kreasjonistiske argumenter og vitenskapelig tilsvar

De fleste kreasjonister vil bare avfeie evolusjonsbiologien uten videre diskusjon, men mange benytter også rasjonelle argumenter i kampen mot vitenskapen. Argumentene som fremsettes går ofte igjen, og nedenfor følger en liste med vanlige argumenter mot arvelæren, og tilsvar på disse argumentene (se for eksempel Futuyma, 1998 for en lengre liste av argumenter):

1. *Tilfeldigheter kan ikke danne komplekse strukturer.*

Dette er riktig, men naturlig seleksjon er ikke en tilfeldig prosess. Tilfeldige prosesser i evolusjonen, deriblant mutasjoner, vil ikke i seg selv føre til økt kompleksitet. Dette kan bare skje når det foregår naturlig seleksjon. Fravær av utvalg fører ofte til tap av kompleksitet. Dyrearter som går over til å leve i mørke omgivelser, som huler, vil ofte miste synet etter en tid. Dette skjer ikke fordi det er spesielt gunstig ikke å kunne se, men fordi mutasjoner i øyegener ikke selekteres bort selv om de ødelegger synssansen til dyrene.

2. *Mutasjoner er skadelige og kan ikke gi opphav til tilpasninger.*

De fleste mutasjoner er skadelige, og disse fjernes fra bestander av individer ved hjelp av naturlig seleksjon. Noen mutasjoner er imidlertid gunstige for bærerne, noe som er påvist i mange laboratorieeksperimenter. Disse vil medføre bedre tilpasning til miljøet og vil derfor øke i utbredelse.

3. *Komplekse tilpasninger kan ikke utvikles gradvis fordi de første stegene i utviklingen ikke er fordelaktige. Øyne og andre komplekse organer kan bare eksistere når alle delene er på plass og fungerer sammen slik de skal.*

Dette er ikke riktig. Mange komplekse strukturer, som øyne og vinger, fremviser ulik grad av kompleksitet hos ulike arter. Man overlever lenger med særdeles primitive øyne, som kanskje bare skiller lys fra mørke, som hos flatormer, enn om man ikke har øyne i det hele tatt. Ofte er det dessuten slik at komplekse organer utvikler seg ved små endringer av strukturer som allerede eksisterer, og som i utgangspunktet har andre funksjoner. Fjær ble antagelig brukt til varmeregulering før fugler begynte å fly. Flaggermusvinger utviklet seg fra hudlapper på forben og ga mulighet til glideflukt fra tre til tre.

4. *Evolusjon mot større kompleksitet bryter med termodynamikkens andre lov som sier at entropi (uorden) øker.*

Denne loven gjelder for lukkede systemer, som universet i sin helhet. Orden og kompleksitet kan øke i små, lukkede systemer. Dette skyldes at man i slike systemer kan ha netto innførsel av energi.

5. *Man har ingen fossile funn av overgangsformer mellom hovedformer for liv – det er mange «missing links».*

Dette er også feil. Slike overgangsformer er funnet mange ganger for en hel rekke livsformer. *Archaeopteryx lithographica* er ett eksempel på flere fossile arter som binder sammen dinosaurer og fugler. De fleste trekkene til denne

Archaeopteryx lithographica **er ett eksempel på flere fossile arter som binder sammen dinosaurer og fugler. Foto: Kari Dahl**

arten er typiske dinosaurtrekk, mens noen trekk (inklusive fjærene) er typiske fugletrekk. Tilsvarende overgangsformer er funnet mellom mennesker og aper, og mellom pattedyr og eggleggende virveldyr, for å nevne noen.

6. *Hvis gradvis endring eksisterer, skal det ikke finnes vesentlige fenotypiske ulikheter mellom arter, og klassifisering blir umulig.*

Dette er en riktig påstand i mange tilfeller. Det er virkelig vanskelig å finne klare fenotypiske forskjeller mellom mange arter, og klassifisering kan i mange tilfeller være subjektiv. I andre tilfeller vil imidlertid klare forkjeller mellom organismer eksistere fordi de intermediære formene har dødd ut.

7. *Evolusjonslæren er ikke vitenskapelig fordi den ikke kan observeres.*

Naturvitenskap dreier seg sjelden om direkte observasjoner. Vi kan for eksempel ikke observere atomer, eller hva som skjedde umiddelbart etter Big Bang. Vi kan derimot lage prediksjoner ut fra vitenskapelige hypoteser, og disse prediksjonene kan testes. Men det må også sies at man har observert evolusjonære endringer hos ulike arter (noe som er ganske enkelt for kortlivede organismer, som bakterier). Man vet at for eksempel mange plantearter har oppstått de siste hundre årene, og man har klart å gjenskape arter ved å krysse allerede eksisterende arter.

8. *Utviklingslæren er ikke vitenskapelig fordi den ikke kan testes, ingen tenkelige observasjoner kan motbevise den*.

Et hav av observasjoner kan motbevise utviklingslæren. Hvis man finner en eneste liten ekornfossil, eller fossiler av andre pattedyr, i noen hundre millioner år gammel stein, da vil utviklingslæren umiddelbart bli lagt død. Den forskeren som fant en slik fossil, ville dessuten bli svært rik og berømt.

Livet utvikler seg, og vi er alle i slekt med hverandre. Moser, mennesker, aper, bakterier og fisker, vi stammer alle fra de samme encellede organismene som svømte rundt for 3,5 milliarder år siden. Dette er ikke noe vi tror – dette er noe vi vet. Læren om livets utvikling, evolusjonslæren, er gjennomdokumentert og så bunnsolid som noen vitenskap kan være. All moderne biologi, fra økologi til molekylær cellebiologi, er bygd på Darwins teori om evolusjon ved naturlig seleksjon. Å benekte at evolusjon finner sted, er som å benekte eksistensen av tyngdekraft. Dette vil imidlertid mange mennesker fortsette å gjøre i overskuelig fremtid.

Referanser:

Blackmore, S. 2003. *Memesket*. Abstrakt forlag. (Eng. The Meme Machine).

Blackmore, S. 2009. *Ten Zen Questions*. Oneworld Publications.

Campbell, N. A., Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V. & Jackson, R. B. 2008. *Biology.* 8th red. Pearson Benjamin Cummings.

Carcraft, J. & Donoghue, M. J. (red.) 2004. *Assembling the tree of life*. Oxford University Press.

Dawkins, R. 1976. *The Selfish Gene*. Oxford University Press, Oxford.

Dawkins, R. 1982. *The Extended Phenotype.* Oxford University Press, Oxford.

Dawkins, R. 1982. «*Replicators and Vehicles*» S. 45-64 i: King›s College Sociobiology Group, red., Current Problems in Sociobiology, Cambridge, Cambridge University Press.

Ekrem, T. & Jordal, B. H. 2005. Organismer med strekkoder - artsbestemming med DNA sekvenser. *Naturen* 129: 154-160.

Freeman, S. & Herron, J.C. 2007. *Evolutionary* analysis. 4. red. Benjamin Cummings.

Frost, P. 2006. European hair and eye color. A case of frequency-dependent sexual selection? *Evolution and Human Behavior* 27: 85-103.

Fuller, D.Q., Qin, L., Zheng, Y., Chen, X., Sun, G.-P., Zhao, Z. & Hosoya, L.-A. 2009. The domestication process and domestication rate in rice: Spikelet bases from Lower Yangtze. *Science* 323: 1550.

Futuyma, D.J. 1998. *Evolutionary Biology*. 3. red., Sinauer Associates, Inc., Sunderland Massachusetts

Grehan, J.R. 2009. Human origins and the great apes: www.sciencebuff.org/research/current-research-activities/john-grehan/human-origins/

Haig, D. 1997. *The Social Gene*. S. 284-304 i: J. R. Krebs and N. B. Davies, red., Behavioural Ecology, Oxford: Blackwell Scientific.

Hamilton, W. D. 1963. The evolution of altruistic behavior. *The American Naturalist* 97 (896): 354-356.

Hamilton, W. D. 1964. The genetical evolution of social behaviour. *Journal of Theoretical Biology* 7: 1-52.

Heintz, N. 2009. *Menneskets utvikling sett i et darwinistisk lys*. S. 271-305 i: Hessen, D.O. & Stenseth, N.C. (red.) Darwin. Verden ble aldri den samme. Gyldendal.

Hessen, D.O. & Stenseth, N.C. (red.) 2009. *Darwin. Verden ble aldri den samme*. Gyldendal.

Høiland, K. 2005. Livets hjul. Naturen 129 (3): 106-113.

Lecointre G. & Le Guyader, H. 2006. *The tree of life: a phylogenetic classification*. Harvard University Press.

Lieberman, D.E. 2009. *Homo floresiensis* from head to toe. *Nature* 459: 41-42.

Maynard Smith, J. 1998. *Evolutionary Genetics.* 2. red. Oxford University Press, Oxford.

Miller, J.D., Scott, E.C. & Okamoto, S. 2006. Public acceptance of evolution. *Science* 313: 765-766.

Pennisi, E. 2002. Biologista chase down pooches´genetic and social past: A shaggy dog history. *Science* 298: 1540-1542.

Quammen, D. 2009. *The Darwin bicentennial*. National Geographic no. 2-2009: 44-53.

Robinson, T. R. 2005. *Genetics for Dummies*. Wiley Publishing, Hoboken, NJ.

Tavaré, S., Marshall, C. R., Will, O., Soligo, C. & Martin R.D. 2002. Using the fossil record to estimate the age of the last common ancestor of extant primates. *Nature* 416: 726–729.

Troy, C.S., MacHugh, D.E., Bailey, J.F., Magee, D.A., Loftus, R.T.; Cunningham; P., Chamberlain, A.T., Sykes, B.C. & Bradley, D.G: 2001. Genetic evidence for Near- Eastern origins of European cattle. *Nature* 410: 1088-1091.

Ulfstrand, S. 2008. *Darwis idé*. Östlings bokförlag symposion AB.

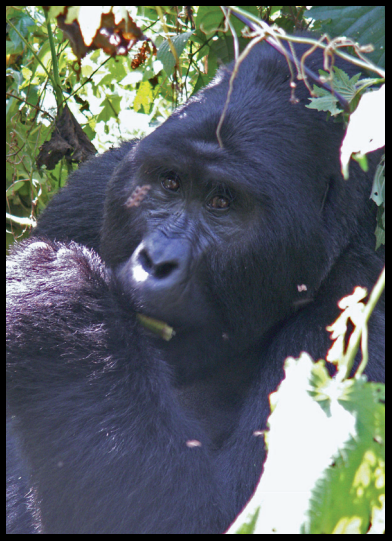
Williams, G. C. 1992. Natural Selection: Domains, Levels and Challenges. Oxford University Press, Oxford.

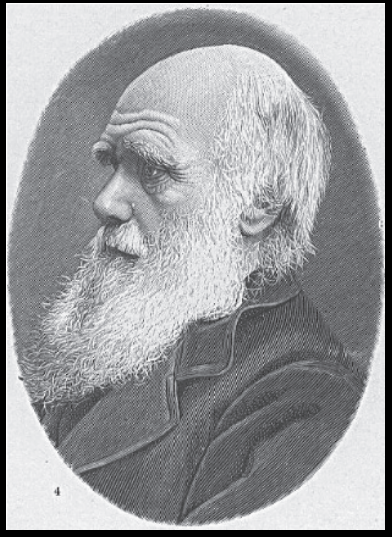
http://evolution.berkeley.edu/ - Understanding Evolution (University of Berkeley, USA)

http://folk.uio.no/klaush/darwin.htm

http://learn.genetics.utah.edu/ - Learn. Genetics. (University of Utah, Genetic Science Learning Centre, online teaching resources)

http://no.wikipedia.org/wiki/Charles_Darwin





Det er ikke så merkelig at vi kan finne likhetstrekk mellom gorillahannen og Charles Darwin, eller mellom deg og meg og en gorilla for den saks skyld; vi har et nesten identisk arvemateriale.

Livets utvikling

Livet på jorda har blomstret og gått til grunne gjennom ulike geologiske perioder, fra den spede start i havet til et mylder av arter som har erobret vann, land og luft. Dette artsmangfoldet har fascinert oss mennesker på ulikt vis opp gjennom tidene. «Livets utvikling!» presenterer en faglig plattform til alle som ønsker å forstå de evolusjonære mekanismene og prosessene som har ført fram til dagens artsmangfold. Flere av temaene berører dessuten dagsaktuelle problemstillinger der våre valg i dag vil kunne være avgjørende for hvordan dette mangfoldet vil utvikle seg videre.

Tidsskriftet «Bli med ut!» er et samarbeid mellom Tapir Akademisk Forlag og NTNU Vitenskapsmuseet med formål å formidle emner knyttet til dyre- og planteliv i Midt-Norge.

NTNU
Vitenskapsmuseet

9788251 924412
tapir akademisk forlag
www.tapirforlag.no