2010

geoviden

GEOLOGI OG GEOGRAFI NR. 1

Darwin som palæontolog

- Hvordan opfattede man udvikling før Darwin?
- 'Deep time' – geologisk tid
- Fabelagtige fossiler
- Hvordan opstår atoller?
- Huller i den fossile rækkefølge
- Hvordan dannes fossiler?

Darwin som palæontolog

Velbevaret fugl (Morsoravis sedilis) *af tidlig Eocæn alder. Fossilet er fundet på Mors og er danekræ nr. DK 212. Hovedet er ca. 2,5 cm langt.*

Foto: Sten L. Jakobsen, SNM.

Charles Robert Darwin (1809–1882) var britisk naturforsker og sandsynligvis den enkeltperson, der har haft størst betydning for udviklingen af den moderne biologi. Hans evolutionsteori, fremsat i hovedværket fra 1859* 'On the Origin of Species by Means of Natural Selection', *oversat af I. P. Jakobsen og udgivet på dansk i 1872, er den bærende teori for al biologisk forskning. Darwins teori går i korthed ud på dels at alle nulevende og uddøde arter er resultat af en gradvis udviklingsproces fra en fælles stamform, hvilket betyder at de alle er beslægtede, dels beskriver den den naturlige udvælgelse som den mekanisme, der kan føre til udvikling af nye arter.

Men Darwin opfattede sig selv som geolog og hans videnskabelige karriere var faktisk grundlagt på geologiske afhandlinger om koralrev, vulkanøer og Sydamerikas geologi længe inden udgivelsen af* Arternes oprindelse *om evolutionsteorien. Det var Darwins geologiske og palæontologiske undersøgelser under ekspeditionen med* HMS Beagle, *der gjorde ham til en selvstændig og videnskabeligt tænkende forsker.

I sidste nummer af Geoviden (2009, 4) blev der sat fokus på Darwins betydning for dansk videnskab og åndsliv og der blev taget hul på Darwin som geolog. I dette nummer af Geoviden bliver sammenhængen mellem geologien og palæontologien behandlet og Darwins betydning for palæontologien bliver sat under lup.

Før Darwins tid blev naturen af den almindelige befolkning opfattet som uforanderlig. Alene det at man mente, at Jorden kun var ca. 6000 år gammel betød, at arterne måtte være skabt som de var, dvs. forblev uændrede og derfor hverken var beslægtede eller forbundne. Mennesket var ikke en del at den naturlige verden og kunne ikke være beslægtet med dyrene, men var hævet over dem. Man mente således, at verden var stabil og uforanderlig. Fx levede mange mennesker i England før Darwins tid i landbrugssamfund og rejste ikke væk fra deres fødeegn, så deres liv lignede meget det liv, som deres forældre levede før dem. Naturen var således tidløs, evig og uden ændring.

Artsopfattelsen før Darwin

I 1800-tallet vidste europæiske naturforskere meget om planter og dyr. De samlede prøver, studerede dem nøje og klassificerede arter i grupper. Men kun få personer, som Jean-Baptiste Lamarck og Erasmus Darwin, Charles' bedstefar, forestillede sig, at arter udviklede sig, dvs. at alt liv delte en fælles forfader.

Tegning: Carsten E. Thuesen, GEUS.

Darwins rejse med HMS Beagle *1831–36.*

En af grundene til, at så få personer kunne se at arter er beslægtede, var at ingen på overbevisende måde kunne forklare hvordan udviklingen skulle komme til udtryk. Det til trods for at fx ligheder i skelet-opbygningen hos forskellige arter tydeligt kunne observeres og lede på sporet af udviklingsprocessen. Hvordan kunne så markante karaktertræk, som fx en myreslugers lange næse, have fundet sin form gennem tid? Og hvordan kan en ny art opstå? Det var meget få naturvidenskabsfolk, som overhovedet stillede den slags spørgsmål. De fleste var tilfredse med det fremherskende synspunkt, at hver art opstod ved en speciel hændelse, der var forårsaget af en 'skaber.'

Opfattelsen af udvikling før Darwin

Tidlige udviklingsforskere som Lamarck havde vanskeligt ved at forklare, hvordan en ny art opstår. Lamarck kunne se, at mange dyr syntes at have tilpasset sig. Eksempelvis er giraffens lange hals perfekt til at spise højtsiddende blade i træerne. Men hvordan havde giraffen fået sin lange hals? Lamarck forestillede sig, at den var resultatet af en konstant anstrengelse for at nå føden, altså at gentaget brug af en kropsdel havde gjort den større og stærkere.

Men der var et nøgleproblem. Kan ændringer, som opnås i en organismes levealder, føres videre til dens efterkommere? Vil en vægtløfter få muskuløse børn? Lamarck argumenterede at den slags opnåede egenskaber kunne arves, men kun få naturforskere blev overbeviste. En troværdig mekanisme for udvikling ventede stadig på blive opdaget.

Før Darwins tid blev mennesket ikke anset for at være en del af den naturlige verden. Folk vidste, at vi lignede andre dyr, især andre primater som orangutang og chimpanser, men på trods af lighederne var det kun en håndfuld af de tidlige naturforskere, der klassificerede mennesket som dyr.

I 1700- og 1800-tallet var der kun få, som stillede spørgsmål ved skabelsen, som den blev beskrevet i det gamle testamente. Det fremherskende synspunkt var, at mennesket blev skabt til at herske over dyr, fisk og fugle. Naturforskerne kunne godt se, at under pelsen ligner en chimpanse mennesket temmelig meget, men den tanke, at vi kunne være beslægtet med aber, var utænkelig.

Darwin som geolog

Mens Darwin således blev verdensberømt som biolog med afhandlingen *The Origin of Species* i

Svend Stouge

Lektor, Geologisk Museum
svends@snm.ku.dk

Dave A. T. Harper

Professor, Geologisk Museum
dharper@snm.ku.dk

Lyall Anderson

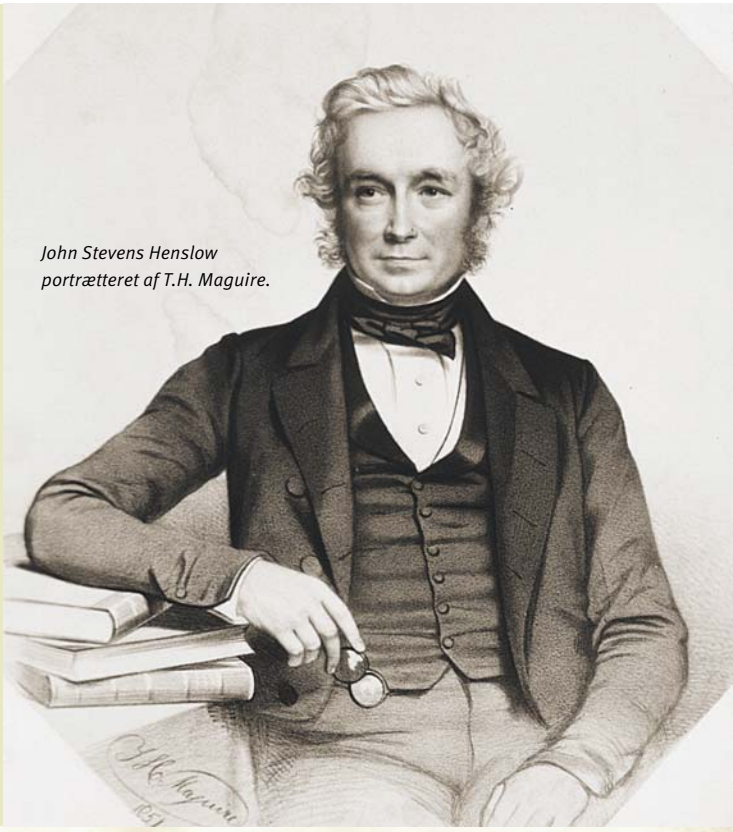
University of Cambridge,
Department of Earth Sciences
lia23@cam.ac.uk

Henslow og Sedgwick

De få studerende med naturhistoriske interesser udviklede ofte et nært personligt forhold til lærerne. Darwin fik således et godt samvær med især botanikeren J.S. Henslow og geologen A. Sedgwick.

John Stevens Henslow (1796–1861). Hvis nogen kunne hævde, at han var en af Darwins bedste venner, så må det være professor J.S. Henslow. Han var en venlig akademiker og lærte Darwin meget om videnskabelige metoder og teknikker. Efter Darwin afsluttede sin sidste teologi-eksamen i 1831, overtalte Henslow ham til begynde at studere geologi, og sørgede for at han kunne ledsage Adam Sedgwick på geologiske ture til det nordlige Wales. Han sørgede personligt for at Darwin kom om bord på *HMS Beagle*. Det var også Henslow, som gav Darwin den nyudkomne bog *Principles of Geology* skrevet af Charles Lyell.

Adam Sedgwick (1785–1873) var blandt grundlæggerne af moderne geologi. Han foreslog og indførte det Devone system i den geologiske tidsskala og siden hen det Kambriske system. Det sidste forslag var baseret på hans feltarbejde i Wales, hvor han vejledte den unge Charles Darwin i felten og i geologistudiet. Han var dog en stor modstander af Darwins udviklingsteori baseret på naturlig udvælgelse.



John Stevens Henslow portrætteret af T.H. Maguire.

Kilde: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:JS_Henslow.jpg

1859, er der færre, som er klar over, at han også var en velbevandret geolog. Gennem en stor del af sin tidlige karriere betragtede Darwin sig selv som geolog, og også omgivelserne opfattede ham som geolog. I februar 1859 tildelte the Geological Society of London således Darwin Wollaston Medaljen, hvad der for ham var den højeste ære, netop for hans enestående indsats inden for geologi. Det var samme år, som *The Origin of Species* blev udgivet og han var da kun 50 år gammel.

Darwin var først og fremmest geolog. Han blev stærkt påvirket af Adam Sedgwick (se ovenfor) og Charles Lyell (se boks side 5) og blev en veletableret geolog i løbet af sin 5 år lange rejse med *HMS Beagle* (1831–1836). Darwin samlede adskillige bjergartsprøver på den rejse, men interessen for geologi begyndte allerede i skolen, hvor Darwin viste en stor lidenskab for at samle og identificere sten. Samtidig var han optaget af de spændende geologiske debatter, som han blev vidne til, mens han studerede medicin i Edinburgh.

I det 18. og tidlige 19. århundrede var det gyldne tider for geologien. Nye opdagelser inden for faget blev modtaget med den samme begejstring, som i dag er forbeholdt fremskridt i biomedicinske videnskaber. På det tidspunkt havde geologerne således vist, at Jorden hverken var statisk eller faststående – tværtimod har den været udsat for mange ændringer gennem tiden ligesom den også ændrer sig nu. Denne ide fik stor indflydelse på Darwins tanker, idet de lange, gradvise ændringer i Jordens historie hjalp med til at forme Darwins ideer om, hvorledes også plante- og dyrearter ændrede sig over af millioner af år. Da Darwin blev student i 1820erne, var det netop geologien, som udfordrede det populære 'kreationistiske' synspunkt, at livet, Jorden og hele universet var blevet skabt af en guddommelig kraft. Offentligheden fulgte de seneste teorier og opdagelser med forbløffelse. Tusinder købte bøger om emnet og debatten om Jordens dannelse og udvikling rasede mellem videnskabsfolk.

James Huttons bog *Theory of the Earth* (1788) blev et vendepunkt inden for geologien som stadig holder idag, (se boks side 6). I det 19. århundrede var det fremherskende synspunkt, som nævnt ovenfor, kreationistisk og en klar konkurrent til Huttons uniformitarisme-teori. Uniformitaristerne mente, at Jorden ændrede sig gradvist over meget lang tid og at de processer, der sker i dag, giver løsningen til forståelse af fortiden *'today is the key to the past'* (se boks side 5).

Darwin læste også Charles Lyells bog fra 1830: *Principles of Geology* på sin lange rejse, og var allerede da 'konverteret' til uniformitarismen og anvendte denne teori til at undersøge geologien, som han observerede den i naturen. Lyells bog blev grundlaget for Darwins videre intellektuelle udvikling hvad angår hans geologiske træning, videnskab og tanker, og det er interessant at se, hvordan geologien havde indflydelse på Darwin og hvordan Darwin omvendt påvirkede videnskaben.

Darwin opgav sine medicinske studier og kom til Cambridge for at læse teologi. Han blev dog hurtigt inspireret af at lære om naturfilosofi af professor i botanik John Stevens Henslow (1795–1861, se boks ovenfor), som arrangerede geologiske feltkurser sammen med Adam Sedgwick i det nordlige Wales. Det blev også Henslow, som anbefalede Darwin som videnskabelig medrejsende til Kaptajn Robert Fitzroy på Beagle-rejsen.

På rejsen med *HMS Beagle* (1831–36) blev Darwin endnu mere optaget af geologi. Til trods for manglen på formel træning eller uddannelse, og udelukkende baseret på egne observationer, skrev Darwin adskillige hovedværker om emner så forskellige som struktur og fordeling af koralrev (1842), geologiske observationer på vulkanske øer (1844) og om forskellige emner indenfor Sydamerikas geologi (1846). Selvom han var selvlært, fik hans vær-

Charles Lyell

Sir Charles Lyell (1797–1875) var britisk geolog og sagfører. Han blev født det samme år som Hutton døde. Charles Lyell betragtes - sammen med James Hutton - som den moderne geologis fader. Hans vigtigste arbejde var omfattende studier af lagserier, som han udførte i 1830erne, for derved at udrede forskellige geologiske tidsepoker, og han har bl.a. navngivet tidsepoken Pleistocæn. Lyells vigtigste publikation er *Principles of Geology* (1830), som vandt bred anerkendelse. Desuden indførte han formelt 'Teorien om Uniformitarisme' (aktualitetsprincippet) oprindeligt introduceret af Hutton, som er et af de fundamentale principper i naturvidenskaben.

Lyells geologiske grundsyn var, at de kræfter, der havde virket på Jorden i fortiden, var de samme som virkede i dag. Denne grundtanke, der kaldes uniformitarismen, stod i modsætning til katastrofismen. Lyell argumenterede for, at Jordens udseende, og dermed dyrs og planters livsbetingelser, var skabt af vind- og vanderosion, aflejringer på sø- og havbund, samt jordskælv og vulkanudbrud. Selvom de sidste kan virke voldsomme, er de i et globalt eller geologisk perspektiv blot at regne for mindre begivenheder.

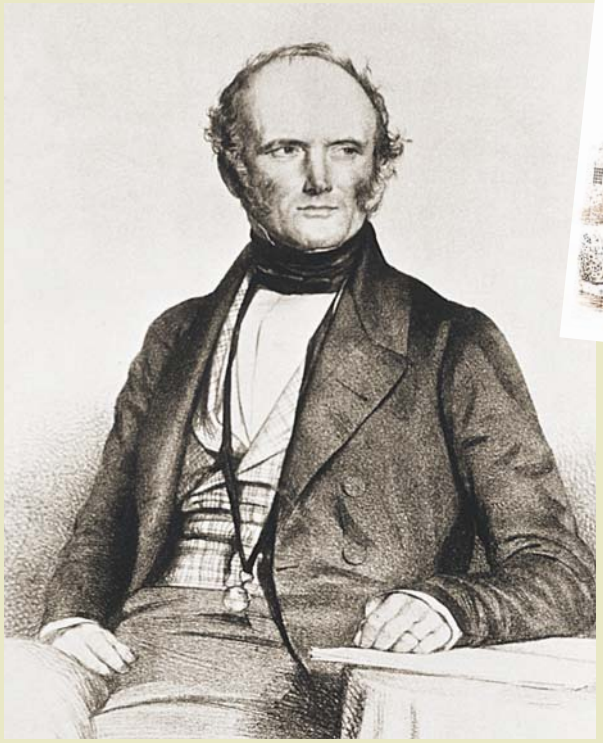
Forsiden af Lyells bog *Principles of Geology* viste Serapis-ruinen fra Italien (se nedenfor). Ved toppen af stensøjlerne ses nogle mørke bånd, som er skabt af muslinger længe efter søjlerne er blevet rejst. Lyell brugte dette billede til at vise en pointe: Søjlerne er bygget på land, senere er de blevet oversvømmet af vand, angrebet af muslinger og til slut løftet op af vandet og hævet over havniveau. Hvis man ser på disse ændringer, som er sket i historisk tid, kan de samme geologiske processer gennem præhistorisk tid danne bjergkæder, dale, bakker og alle andre landskabsformer, som vi ser i dag. Forudsætningen for at dette kunne være rigtigt var, at Jorden var meget gammel, langt ældre end de 6.000 år som Biskop James Ussher i 1600-tallet havde regnet sig frem til på baggrund af sin Bibellæsning. I begyndelsen af 1800-tallet var de fleste dog enige med Lyell om Jordens høje alder. Al eksisterende geologisk viden bekræftede det.

Med fokus på at bittesmå ændringer over meget lang tid kunne skabe massive og omfattende ændringer, herunder bjergkæder og have, fik Lyell en stor indflydelse på udviklingen af geologien og de øvrige naturhistoriske fag. Hans 3-bindsværk, *Geologiens principper*, der udkom i 1831–35 gjorde bl.a. stort indtryk på den unge Charles Darwin, da han rejste Jorden rundt med *HMS Beagle*.

Lyell formulerede uniformitarismen eller 'nutiden er nøglen til fortiden' og Darwins nedsynkningsmodel var baseret på Lyells uniformitarismeprincip. Med andre ord, geologiske processer som sker i dag (forvitring, jordskred, jordskælv mm.) virkede også i forrige uge, sidste måned, i de sidste ti år osv. Som konsekvens heraf er alle ændringer, set over et stort tidsrum, sket gradvist, og Jorden må derfor være meget gammel. Lyell mente også, at arter uddør af naturlige årsager, når de ikke længere kan klare sig i konkurrencen med andre arter. Retrospektivt ser man derfor, at Jordens livsformer bliver stadig mere forskellige fra de nuværende, jo ældre de er.

Darwin brugte Lyells processer, dvs. opløft og nedsynkning igennem lang tid, til at forstå, at mens Chiles kyst hævede sig, sank oceanbunden. Dengang han begyndte at undersøge barriere-rev på rejsen, vidste han på forhånd, at de revbyggende organismer, korallerne, ikke kunne leve på dybt vand, dvs. dybere end ca. 60 m, og at alle koraller, der fandtes under denne dybde, måtte være døde. Denne information brugte han til at bevise, at når rev blev fundet på stor vanddybde, havde der fundet nedsynkning sted. Andre af Lyells ideer fik også stor betydning for Darwin. Idéen om arternes naturlige uddøen tog han til sig, mens det uløste problem om nye arters opståen ('mysteriernes mysterium') senere blev hans store udfordring.

Lyell var nær ven af og vejleder for Darwin, men accepterede aldrig dennes evolutionsteori fuldt ud, til trods for at han var en af de første, som blev konsulteret af Darwin om disse teorier.



Kilde: http://da.wikipedia.org/wiki/Fil:Charles_Lyell.jpg

Portræt af Charles Lyell fra 1870'erne.

Kilde: C. Babbage. Quarterly Journal of the Geological Society 1847; v. 3; p. 186-217

Serapis-ruinen fra Italien. Se teksten ovenfor.

James Hutton på feltarbejde.

Kilde: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:James_hutton_field.jpg

James Hutton

James Hutton (1726–1797), var en skotsk naturforsker, der er kendt som skaberen af den moderne geologi. Han var god til at observere naturen omkring sig og han brugte geologiske argumenter i sine beskrivelser. Hutton mente, at Jordens dannelse var uendelig, fx at smeltet materiale, som blev drevet op i bjergene, eroderede og derpå blev sedimenterne skyllet væk. Han indså, at Jordens historie kun kunne bestemmes gennem forståelse af, hvordan processer som erosion og sedimentation foregår i dag. Hans ideer og metoder til at studere Jorden og dens processer grundlagde geologien som videnskab. Hutton indså, at sedimentation er en meget langsom proces. Den modsatte proces sker når bjergarter bliver blottet til atmosfæren og eroderes og nedbrydes. Han kaldte denne kobling af opbygning og nedbrydning for 'the great geological cycle', og forstod at dette er sket et utal af gange. Og Hutton konkluderede, "...we find no vestige of a beginning, no prospect of an end" (vi finder ingen spor af en begyndelse – ingen udsigt til en slutning). Ved brug af de same metoder som nutidens feltgeologer, tolkede Hutton en blotning nærved Siccar Point, se nedenfor. Her står lag af grå skifer lodret med overliggende vandrette lag af rød sandsten. Hutton mente at dette kun kunne forklares ved at enorme kræfter har været til stede og dette over lange tidsperioder. Hutton forstod, at sedimenterne, nu repræsenteret af grå skifer, efter aflejring havde været hævet, 'væltet', eroderet og derpå på ny dækket af et ocean, fra hvilket den røde sandsten blev aflejret. Grænsen mellem de to bjergarter ved Siccar Point kaldes nu 'Hutton Unconformity'.

Et andet af Huttons nøgle-koncepter var det princip, at geologiske kræfter, som hersker i dag – og som dårligt nok kan ses med det menneskelige øje, men alligevel har store konsekvenser – er de samme som dem, der var i spil i fortiden. Dette betyder, at den hastighed hvormed erosion og sedimentation foregår i dag, var den samme i fortiden, hvilket igen betyder, at man fx kan beregne den tid, det har taget at aflejre en sandsten af en given tykkelse. Det blev derfor klart ud fra denne type analyser, at det tog enormt lang tid at danne de lagtykkelser, som ses i blotningerne. Hutton betegnede dette 'deep time' eller geologisk tidsskala.

Huttons teorier var et direkte angreb mod den samtidige og populære filosofi kaldet 'katastrofisme', dvs. troen på, at Jordens udseende og udformning udelukkende var et produkt af naturkatastrofer, så som Syndfloden fra Biblen. En Jord, som man i øvrigt mente kun var ca. 6000 år gammel. Den høje alder for Jorden var det første revolutionære koncept, som dukkede op i den nye videnskab geologi.

Charles Darwin var velkendt med Huttons ideer, som gav en struktur for de lange tidsenheder, der var nødvendige for at forklare den biologiske udvikling, som han observerede ud fra den fossile lagserie.

Siccar Point, Berwickshire, Skotland. Svagt hældende rødlige, kontinentale aflejringer af 'Upper Old Red Sandstone' overlejrer lodretstående Silure turbiditaflejringer.

Foto venligst udlånt af Dr. Clifford E. Ford, University of Edinburgh.

Richard Owen

Richard Owen (1804–1882) var engelsk biolog og palæontolog, der især arbejdede med sammenlignende anatomi, dvs. han studerede ligheder og forskelle i organismers anatomi. Han var med til at oprette det naturhistoriske museum i London 1881.

Owen fik adgang til at bearbejde de indsamlede knogler fra Sydamerika, som Darwin sendte hjem til London (se side 10) og det var Owens fortjeneste, at de indsamlede knogler kunne henføres til uddøde arter af gigantiske gnavere og dovendyr, som var kendt fra samme lokalitet. Dette resultat gik imod Darwins oprindelige ide, nemlig at knoglerne kunne henføres til lignende former fra Afrika.

I Januar 1863 fik Owen et eksemplar af et *Archaeopteryx*-fossil til British Museum, det såkaldte London eksemplar. *Archaeopteryx* passede med Darwins forudsigelse, at en 'ur-fugl' med frie vinge-fingre skulle kunne findes i Jordens lagserie, men Owen beskrev helt klart eksemplaret som fossilet af en fugl og ikke som en overgangsform. Et eksemplar af *Archaeopteryx*-fossilerne er vist på side 17.

Owen var ikke afholdt som person. Han blev betragtet som værende ekstrem arrogant og forholdet mellem Owen og Darwin blev efterhånden vanskeligt. Owen blev også en arg modstander af Darwins udviklingsteori.

Reproduceret med tilladelse fra Sedgwick Museum, Wales, UK

Skuffe med et udpluk af de mange stenprøver, som Darwin indsamlede på rejsen med HMS Beagle. *Prøverne her er vulkanske bjergarter fra Tasmanien og Australien.*

Reproduceret med tilladelse fra Sedgwick Museum, Wales, UK

Sedimentprøve bevaret i flaske nr. 762 fra Beagle-ekspeditionen. Bemærk at nummeret også er ridset ind i siden på flasken.

ker stor indflydelse, fx var han den første til at foreslå, at nedsynkning og landhævning kan have været vigtige geologiske fænomener (se bokse side 14–15).

Darwin samlede, analyserede og undersøgte sine geologiske fund på rejsen. Hans ideer om geologi udvikledes undervejs til det første stop ved Kap Verde-øerne, gennem hans studier af koralrev ved Tahiti og Cocos-Keeling og senere også ved Mauritius. Darwins fund af fossiler, bl.a. store uddøde organismer ved Punta Alta i Argentina, gav ham berømmelse hjemme. Hans ugelange rejse på hesteryg i Andesbjergene fortalte ham om dannelsen af bjergkæder og hans studier af stenene på Galápagosøerne førte ham til nye ideer om, hvad der sker inde i vulkaner. Sammen med hans geologiske observationer, fremstillingen af geologiske tværsnit og stratigrafiske og geomorfologiske skitser, producerede Darwin også det første geologiske kort over det sydlige Sydamerika.

Efter hjemkomsten blev Darwin et meget aktivt medlem af the Geological Society of London, hvor han fungerede som sekretær i 1838. Han brugte sin geologiske samling til støtte for foredrag og artikler om globale geologiske processer og han publicerede mere end 20 geologiske artikler. Disse blev fulgt op af førnævnte værker om koralrev, vulkanske øer og Sydamerika, som lagde grundlaget for hans tidlige berømmelse som videnskabsmand. Faktisk viser det sig, at hans lyst til at publicere de geologiske arbejder forsinkede udgivelsen af *The Origin of Species*. Darwins notesbøger, korrespondance og publikationer rummer utallige eksempler på hans umættelige nysgerrighed efter forståelsen af landskabsudvikling og overfladeprocesser. For eksempel viser Darwins undersøgelse af omdannelsen af vulkanøer til atoller 'forming as land sunk' og hans målinger af hævede marine terrasser i Sydamerika og andre steder tydeligt hans interesse i at forstå og beskrive udviklingen af landskaber gennem tid. Darwin forstod 'evolution' – men først af landskaber og senere af arter.

Selvom hans senere arbejder hovedsagelig beskæftigede sig med dyr og planters udvikling, spillede geologien en vigtig rolle i *The Origin of Species* og dette fortsatte gennem hans liv med arbejdet med fossile rurer og hans sidste bog om jordorme.

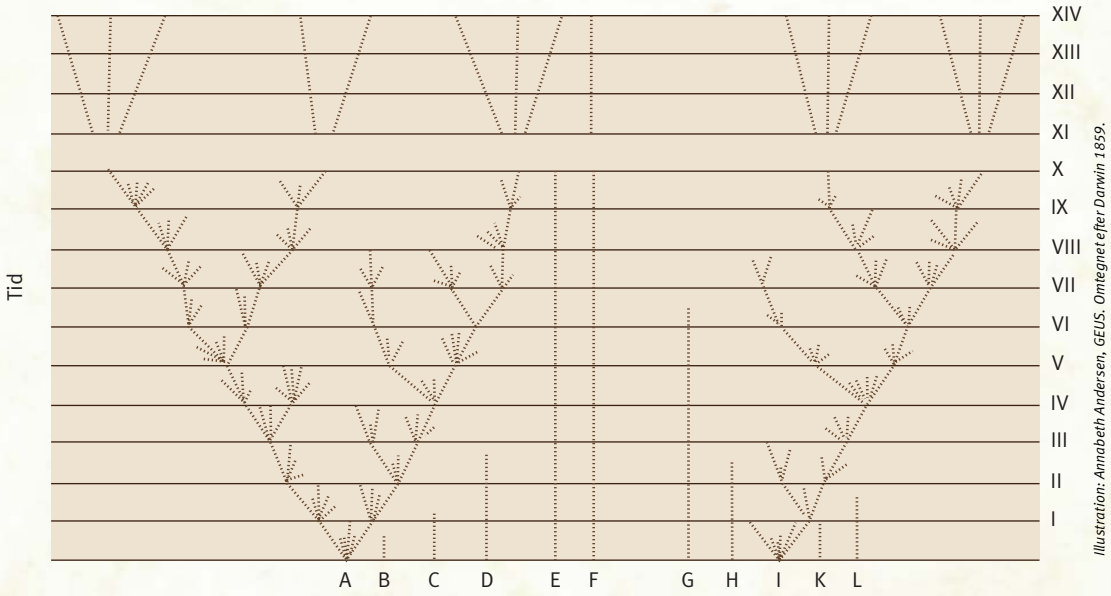


Illustration: Annabeth Andersen, GEUS. Omtegnet efter Darwin 1859.

Darwins 'Tree of Life' eller udviklingstræ var den eneste figur i hans berømte værk The Origin of Species. *Træet afspejler den gradvist stigende biodiversitet igennem tiden, startende ved det flercellede livs opståen tæt ved basen af Kambrium. Bogstaverne angiver grupper af organismer, romertallene angiver tidsintervaller.*

DEN FJERDE DIMENSION: FORSTÅELSE AF 'DEEP TIME' ELLER GEOLOGISK TID

Født bare 21 år efter at James Huttons *Theory of the Earth* (1788; se boks side 6) var udkommet, blev Charles Darwin indlemmet i et intellektuelt miljø fyldt med begejstring, nysgerrighed og usikkerhed med hensyn til Jordens alder. Den unge videnskabsmand forstod umiddelbart implikationerne af kumulative ændringer, som udgik fra Huttons opfattelse af 'deep time' eller geologisk tid, dvs. naturens fjerde dimension. Opmuntret af sin geologiske hovedinspirator, Charles Lyell (boks side 5), blev Darwin villigt indfanget af den nyskabte geologiske disciplin, historisk geologi. Bind 1 af Lyells netop udkomne *Principles of Physical Geology* (1830) inspirerede den spirende geolog, som umiddelbart anvendte principperne til at udrede den geologiske historie for St. Jago, der er en af Kap Verde-øerne. På et senere tidspunkt, da Darwin var i Sydamerika, modtog han bind 2 og da var 'deep time' eller geologisk tid allerede en integreret del af hans geologiske undersøgelser og videnskabelige overvejelser.

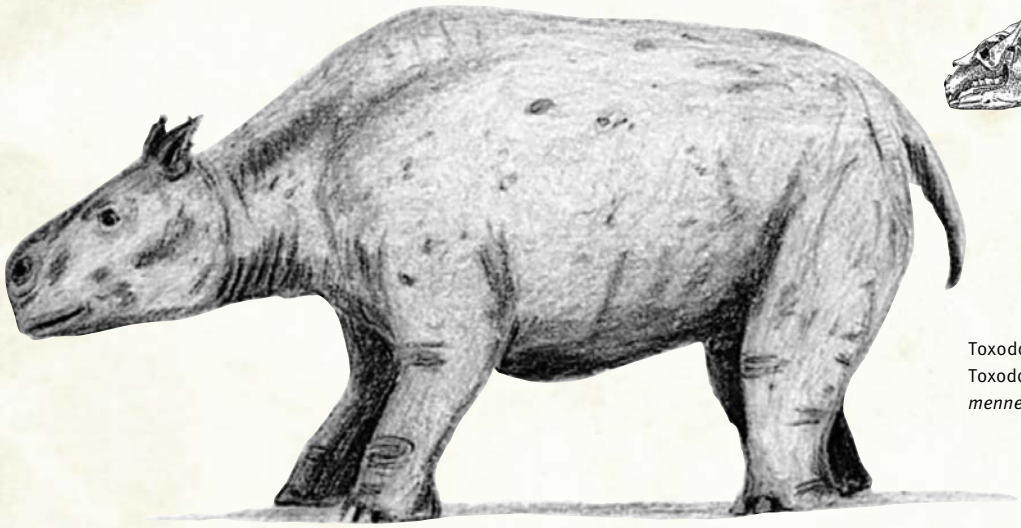
På samme måde som Huttons koncept for processernes ensartethed blev fremsat ud fra erkendelsen af planetens store alder, så forudsatte Darwins evolutionsteori gennem naturlig udvælgelse også denne erkendelse og han forstærkede konceptet. Hans 'livstræ'-koncept (se ovenfor), der først blev illustreret i 1837, forudsatte ubetinget den enorme fjerde dimension. Og alligevel, hér mere end 200 år efter, er betydningen af Darwins bidrag til accepten og forståelse af naturens lange tidsspan, alvorligt undervurderet. Fremkomsten af geologisk 'deep time' gav indholdet til og en konceptuel ramme for hvad, der muliggjorde Darwins store ide. Darwin forstod, meget bedre end Alfred Russell Wallace (1823–1913), betydningen af tidsmæssige og biologiske implikationer fra geologiske vidnesbyrd, til trods for geologiens åbenbare mangler. Huttons 'deep time' og Darwins naturlige udvælgelse smeltede sammen til en fundamental konceptuel synergi, der gav naturen den fjerde dimension og menneskeheden tilgang til at finde sin rette plads i Jordens historie.

Kilde: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Toxodon_skull.jpg

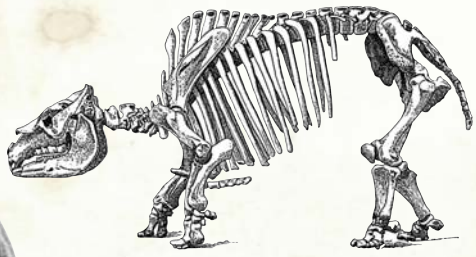
Kranie af Toxodon, *der opbevares på Zoologisk Museum, København.*

CHARLES DARWIN I DET SYDLIGE SYDAMERIKA

Darwin fik den fulde forståelse af 'deep time' gennem sine geologiske studier, som han udførte i forbindelse med *HMS Beagles* togter. Medens man fra *HMS Beagle* kortlagde Sydamerikas kyster, foretog Darwin banebrydende geologiske observationer. Et upubliceret kort over sydlige Patagonien og Ildlandet viste syv forskellige bjergartstyper, hvis fordeling nærmer sig nutidens mønster. Langs den nordlige Beagle Kanal i Cordillera (Andeskæden) bemærkede Darwin glimmer-skifer og store granitblokke. Den glaciale teori lå stadig ude i frem-



Kilde: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Toxodon.jpg



Kilde: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Toxodon_skeleton.jpg

Toxodon *skelet og en fortolkning af, hvordan en levende* Toxodon *kan have set ud. Nogle har været så store, at et menneske kunne stå oprejst under bugen af dem.*

tiden og Darwin fulgte Lyell og tolkede de vidt udbredte løse (erratiske) stenblokke som værende aflejret på havbunden af flydende is. Forstyrrelser i form af storskala-nedsynkning og -hævning blev demonstreret ved fund af marine fossiler bevaret i tykke sedimentære lagpakker højt oppe i Andesbjergene og af hævede kystnære marine terrasser, som blev et vigtigt bidrag og dannede forspillet til Darwins koral-atol-teori.

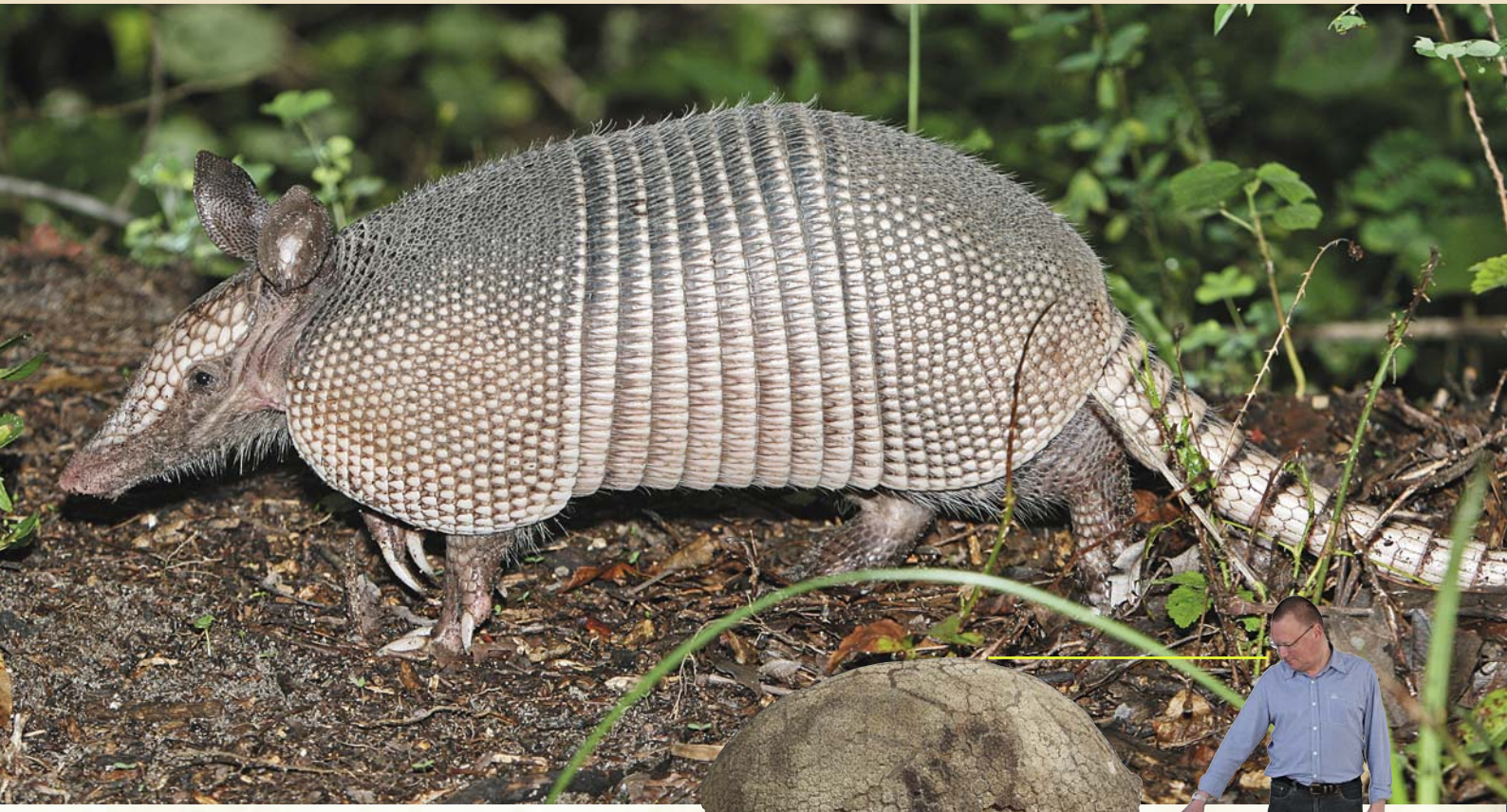
Han opdagede dog ikke betydningen af kompression i bjergkædedannelsen selvom han beskrev folder og liniære sprækker, som skar lagdelingen. Ligesom Lyell, betragtede Darwin kun vertikal tektonik som værende af betydning.

Fabelagtige fossiler

Darwins søgen efter fossiler bragte ham flere gange til Punta Alta ved kysten af Argentina, hvor han fandt utallige knogler i klipperne. Hans første besøg resulterede i fund af kranier og armerede plader, der repræsenterede seks forskellige dyr. 'I have been wonderfully lucky' skrev han til Henslow, 'many of them are quite new'. Ved et senere besøg fandt han et næsten helt skelet af et kæmpedovendyr, kaldt *Megatherium*. Efter to års indsamling havde Darwin stadig ikke hørt hjemmefra, om hans fossiler var nået frem til England. Men endelig kom et brev fra Henslow, der opfordrede Darwin til at sende 'revl og krat' af, hvad han kunne finde af *Megatherium*.

Kilde: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Megatherium_americanum_Skeleton_NHM.JPG

Skelet af Megatherium*, et kæmpedovendyr, der kunne blive op til 6 meter lange.*



En nulevende, 9-båndet armadillo fra The Green Swamp, central Florida. Bæltedyrets størrelse svarer nogenlunde til en almindelig dansk huskat.

Kilde: http://en.wikipedia.org/wiki/Armadillo

Foto: Peter Warna-Moors, GEUS.

Zoologisk Museums eksemplar af den nu uddøde Glyptodon*, hvis udformning umiddelbart lignede de nutidige bæltedyr. De var dog mange gange større.*

Foto: Geert Brovad.

Dovendyr på størrelse med elefanter

Tretåede dovendyr lever i skovene i Sydamerika. Det meste af tiden bruges i trætoppene, hvor de, hængende i deres krumme klør, spiser blade. De uddøde jordgående dovendyr, som Darwin indsamlede, var alt for store til at klatre i træer – nogle var lige så store som elefanter. Darwin formodede, at kæmpedovendyrene brugte deres krumme kløer til at trække grene med blade ned til sig. 'This wonderful relationship in the same continent between the dead and the living, will, I do not doubt, hereafter throw more light on the appearance of organic beings on our earth, and their disappearance from it, than any other class of facts.'

Pansrede giganter

Blandt Darwins fund var et panser af et gigantisk armadillo/bæltedyrs-lignende dyr, hvor indersiden var 'som en stor grotte'. Det var vanskeligt at sige, hvad disse uddøde dyr var, fordi mange knogler ofte var blandet sammen. På en lokalitet troede Darwin først, at skjoldet af en glyptodont (skjolddyr) hørte til skelettet af en *Megatherium* – et kæmpedovendyr, som absolut ikke havde noget panser.

Mærkelige organismer

Toxodon kraniet (se side 8), som hører til et uddødt, stort gnaver-lignende pattedyr kaldet *Toxodon*, var et af de mange spektakulære fossiler, som Darwin sendte hjem. Dyret hører til en gruppe uden nutidige efterkommere, men mange af Darwins arter syntes at være store varianter af de generelt samme typer af dyr, som han så vandre rundt i landskabet. Dette fik ham til at overveje, om fossiler kunne være vidnesbyrd om forgængere. I de senere år skrev Darwin, at de sydamerikanske fossiler var væsentlige for 'the origin of all my views'. Han sendte dem alle tilbage til London for at mere kvalificerede videnskabsfolk, fx zoologen Richard Owen (se boks side 7) kunne arbejde på materialet.

Fossiler og levende arter

Darwin fornøjede sig med at iagttage armadilloer (bæltedyr), som fandtes rundt omkring i Argentina. Men det mest påfaldende var disse små pansrede mammalers umiddelbare lighed med nogle af de fossiler, som han havde fundet. Et af disse fossiler var en *Glyptodont*, som var et velpansret dyr, der lignede en kæmpe armadillo. Faktisk – og også for Darwin – lignede de fleste af fossilerne kæmpeeksemplarer af nulevende arter. Han undrede sig således over, hvorfor så mange arter uddøde for blot at blive erstattet af andre lignende arter. Og ikke blot én gang, men igen og igen. Måske var de nyere arter bedre egnede til det omskiftede miljø? Alt omkring ham gav ham evidens for langsomme, gradvise geologiske ændringer. Men hvis Jordens ændringer var langsomme og gradvise, hvad betød dette så for ændringer af arter?

Gigantiske blokke fra Ildlandet og oprindelsen af 'Darwins Boulders'

Darwin observerede nogle usædvanlig store blokke, som lå spredt udover et kæmpe område i det sydøstlige Chile. Han henførte blokkene til en nærliggende gletsjer i Ildlandet. Fænomenet blev kaldt 'Bahia Inutil Boulder Train'. Området består af omkring 500 enorme (op til 17 x 5 m, men gennemsnitlig 3 x 4 m), kantede, granodiorit-blokke, som ligger på overfladen af en ældre randmoræne. Blokkene optager et areal på ca. 8 x 2 km i en boomerang-lignende form, der er orienteret øst–vest og vinkelret på endemorænen foran gletsjeren. I juni 1833 forsinkede Darwin afgangen af *HMS Beagle* for at kunne observere denne usædvanlige samling af store stenblokke, der fandtes nede ved stranden og ovenfor kystklinten langs med kysten af Bahia San Sebastian.

Bortset fra disse store blokke er till'en ved Bahia praktisk taget uden indhold af store sten. I sin klassiske afhandling: *On the distribution of the Erratic Boulders and on the Contemporaneous Unstratified Deposits of South America* (1841) diskuterede Darwin dannelsen af de store sten og konkluderede at 'the boulders were transported by floating ice'. I 1841 havde Darwin kendskab til gletsjernes bæreevne og evne til at transportere løse klippestykker, aflejre till og opbygge moræner, men det var indlysende, at han var under indflydelse af det dengang populære koncept for 'ice rafting' og derfor af mange grunde argumenterede for, at de store løse stenblokke fra det sydøstlige Chile '..can (not) have been produced like ordinary moraines; and, therefore, that the boulders cannot have been propelled by the glaciers themselves.'

Idag relateres forekomsten af de store blokke til gletsjeren, men ikke som afsat fra bunden af isen eller gletsjeren. Blandt andet på grund af stenblokkenes store størrelse, den ensartede litologi og deres kantede form, at de er klumpet sammen og har en aflang fordeling, at de ligger ovenpå morænerne og deres relationer til endemoræner, anses stenblokkene for at være dannet først som store stennedfald eller stenskred, der strandede på overfladen af gletsjeren. Og forklaringen på den snævre og aflange fordeling af stenblokkene anses at være, at stenene først er blevet transporteret af gletsjeren, liggende ovenpå isen, over en afstand på mere end 200 km. Efter aflejringen er stenene blevet omfordelt og skubbet sammen af nye isbevægelser.

Darwins teori om dannelsen af atoller

Darwin inddelte koralrev i tre hovedformer: randrev, barriere-rev og atoller (ringformede koraløer). Han adskilte revene på følgende måde:

Rand-rev

Er rev, der sjældent er ret store, og som enten omkranser en ø eller ligger langs kanten af kys-

Eksempel på en atol, dvs. et rev, som omkranser en lagune. Revet, som ligger i det vestlige Stillehav, er gennembrudt af havet flere steder, men den oprindelige cirkelform er stadig tydelig. Bunden i lagunen er dækket af nedbrudte koraller.

Kilde: http://www.foci.dk

Koralrev

Dannelse af koralrev

Koralrev er et bjergartselement, som dannes under vand og er dækket af et tyndt lag af levende koralpolypper. Disse undervandsdannelser kan blive store, til tider over en kilometer tykke og flere hundrede kilometer i horisontal udstrækning. Men de levende koralpolypper, som er de organismer, der opbygger disse massive strukturer, udgør kun et tyndt lag på nogle få millimeters tykkelse.

Revdannende koralpolypper lever i en beskyttende skal dannet af kalk (kalciumkarbonat - $CaCO_3$), og efterhånden som de deler sig og vokser, danner de kolonier. Disse kolonier udgør den basale struktur i et rev, men korallerne modtager også hjælp til revbygningen af andre organismer, fx koral-alger (rødalger). Opbygningen af et rev er en langsom proces, fordi korallerne, som danner revet, gror med en hastighed på omkring 0,3–2 cm/år. Det er beregnet, at det tager koralpolypper ca. 10.000 år at skabe et rev og 100.000 til 30 millioner år at opbygge et fuldt udvokset rev.

Revtyper

Polypper kan kun bygge et rev med hjælp fra encellede alger eller zooxanteller. Polypperne forsyner zooxantellerne med næringsstoffer og yder beskyttelse og modtager til gengæld føde og ilt som tak. Denne samhørighed kaldes symbiose. Zooxantel-alger kræver sollys for at leve, idet de er afhængige af fotosyntese og koralrev starter derfor opbygningen i lavvandede, kystnære områder med klart vand. Med stigende dybde filtrerer vand sollyset fra og fotosyntese kan vanskeligt eller umuligt finde sted.

Samhørigheden til land bruges til at klassificere forskellige typer af rev. Vigtige typer er:

- **Rand-rev:** dette er den mest almindelig revtype. Det findes meget tæt på land og danner ofte en snæver lagune eller kanal mellem strandbredden og selve revet.
- **Barriere-rev:** Denne type rev ligner rand-rev, men ligger meget længere væk fra kysten. De kan blive meget store og meget større end rand-rev. For eksempel ligger the Great Barrier Reef ved Australien op til flere hundrede km fra kysten og er 2000 km langt.
- **Atol:** Disse cirkulære eller hesteskoformede rev omkranser en lagune. Normalt er der ikke nogen landmasse tilknyttet en atol.

Revene har meget specifikke krav til omgivelserne for at kunne udvikle sig og de er underkastet de samme kræfter fra det åbne hav. Det betyder, at samme revtyper dannes under de samme forhold, også selvom de findes på hver sin side af Jorden. Hvis man betragter et koralrev, fx en del af et barriere-rev, vil følgende generelle fænomener kunne bemærkes:

Det almene tværsnit af et rev er trekantet, med en stejl og høj væg på havsiden og med en lang og svagt hældende skråning imod land. Revets ydre rand er udsat for den stedse kraftige påvirkning af bølgeslag i brændingszonen og der er stor vanddybde lige uden for revet. Den lange flade indre skråning vaskes af roligt vand fra den indre lagune eller kanal. Revet består delvist af levende koraller, som kun bebor en zone langs med den havvendte kant af revet, mens der ovenover og nedenunder kun findes døde koraller eller koralsten.

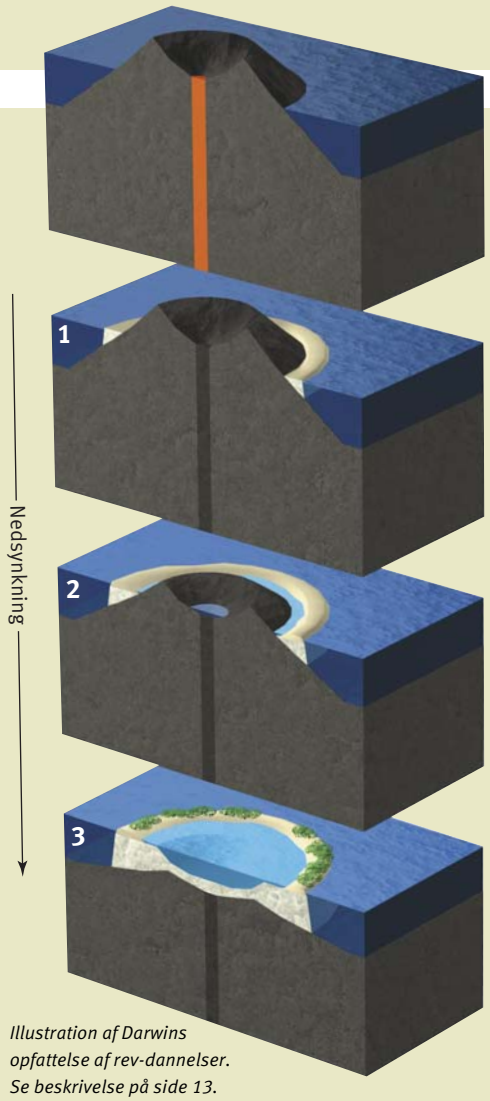
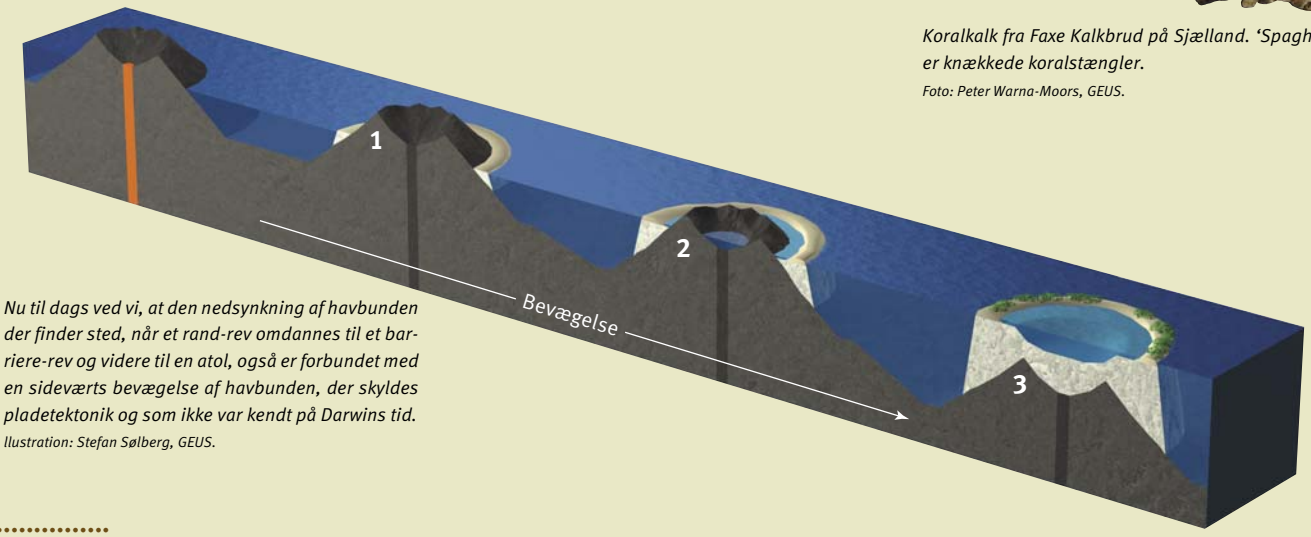


Illustration af Darwins opfattelse af rev-dannelser. Se beskrivelse på side 13.
Illustration: Stefan Sølberg, GEUS.

Koralkalk fra Faxe Kalkbrud på Sjælland. 'Spaghettierne' er knækkede koralstængler.
Foto: Peter Warna-Moors, GEUS.



Nu til dags ved vi, at den nedsynkning af havbunden der finder sted, når et rand-rev omdannes til et barriere-rev og videre til en atol, også er forbundet med en sideværts bevægelse af havbunden, der skyldes pladetektonik og som ikke var kendt på Darwins tid.
Illustration: Stefan Sølberg, GEUS.

ten af et kontinent. Disse kystnære rev har enten ingen lagune eller kun en lagune af ringe dybde liggende mellem revet og kysten.

Barriere-rev

Disse rev kan, ligesom de foregående, enten omkranse øer eller ligge langs kontinenter. De adskilles fra rand-revene ved det faktum, at de ligger i meget stor afstand fra land og at der findes en dyb lagune mellem revet og kysten. På havsiden kan bunden være meget dyb - op til flere hundrede meter. Hvis et barriere-rev omkranser en ø, kaldes den også for en lagune-ø.

Atol

Atoller er ovale eller næsten ringformede koralrev, som omkranser en central vandmasse eller lagune. Korallerne danner sjældent komplette ringe. I stedet er ringene typisk ukomplette med en eller flere åbninger, som altid vender mod læsiden, dvs. den side som er mest beskyttet mod de fremherskende vinde. Rand-rev, barriere-rev og atoller repræsenterer forskellige stadier af koralrevets dannelse. Charles Darwin var den første til at foreslå denne teori om koralrevsdannelse i 1842.

Trin 1: Først dannes et rand-rev, som begynder med at vokse på lavt vand, tæt ved kysten af en tropisk vulkansk ø, se side 12.

Trin 2: Gennem tid synker øen og revet vokser udad og opad alt imens afstanden mellem land og rev forøges, hvorved rand-revet udvikler sig til et barriere-rev.

Trin 3: Hvis øen synker helt, vil kun revet være tilbage ved overfladen og det bliver til en atol. Revet vil fastholde øens oprindelige form og derved danne en ring omkring en lagune.

Darwin udtrykte overvejelser om, at der neden under hver lagune skulle findes en fast bjergart, som repræsenterede den oprindelige ø. Dette blev ikke bevist i hans levetid, men først langt senere, da boringer blev ført ned igennem rev omkransende atoller og dermed viste, at Darwins forudsigelse var sand.

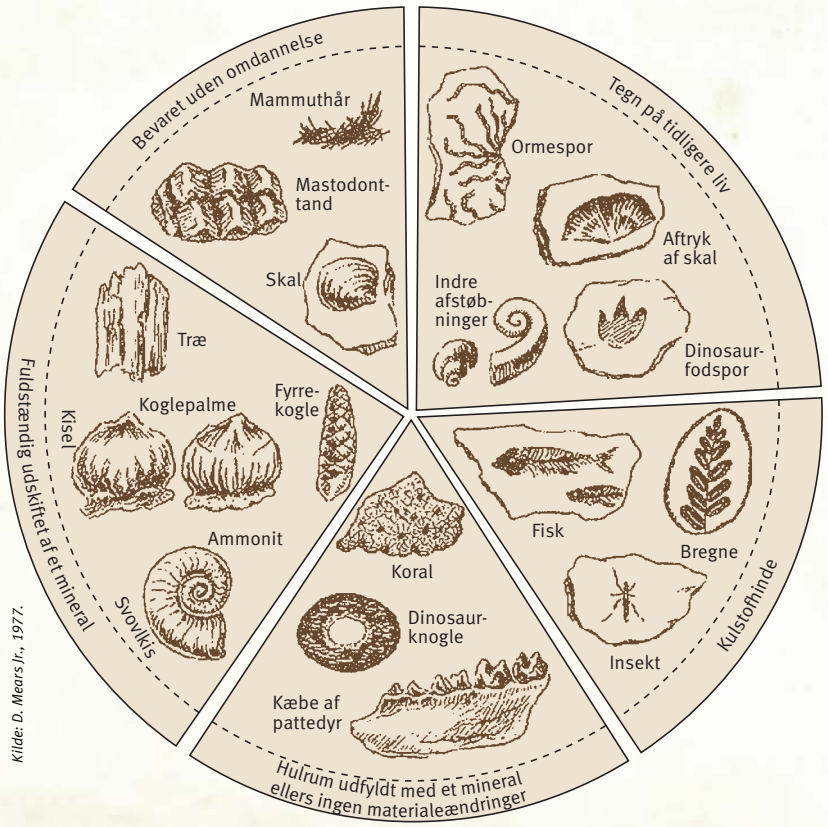
Darwins 'The Origin of Species'

Darwin forstod, at hans observationer i naturen kunne forklares som et resultat af omgivelsernes pres, der 'støbte' arter til de livsformer, der var bedre egnet til det eksisterende miljø, en proces som han betegnede med 'natural selection' eller naturlig udvælgelse. De individer, som arvede karaktertræk, der hjalp dem med at tilpasse sig bedre til deres omgivelser, ville med stor sandsynlighed overleve og videreføre de gode karaktertræk til den næste generation. 'Natural selection' forklarer både den store mangfoldighed af levende organismer og de mekanismer, som får arter at udvikle sig og til at uddø.

En vigtig påvirkning af Darwins tanker på den tid kom fra Thomas Malthus, som i *An Essay on the Principles of Population* (1798) beskrev sine observationer: at levende væsner godt kunne være meget frugtbare, men alligevel forblev populationens størrelse konstant. Malthus foreslog, at dette skyldtes omgivelsernes pres, fx konkurrence om føde, rovdyr–bytteforhold og ændringer i omgivelserne, der alle var med til at begrænse populationens størrelse.

Også Darwins veludviklede geologiske forståelse var en afgørende faktor for hans efterfølgende indsigt i udviklingen af arter. *The Origin of Species* refererer til talrige geologiske processer og to kapitler omhandler helt og holdent dette emne. På den anden side blev geologien dybt påvirket af Darwins ideer. *The Origin of Species* gav så meget substans til opbakningen for uniformitarisme-teorien, at støtten til den dengang rivaliserende katastrofeteori hurtigt forsvandt ud af de videnskabelige kredse.

Naturlig udvælgelse giver også en god videnskabelig basis for brugen af fossiler til at datere bjergarter med en relativ alder. Dette muliggjorde en tilfredsstillende datering af forskellige bjergarter baseret på deres fossilindhold.



Fossildannelse og nogle bevaringstyper.

Dannelse af fossiler

Fossiler er bevarede rester af planter og dyr, som døde for lang tid siden, eller blot aftryk eller spor efter et dyr, som ikke selv findes som fossil (se figur side 13). Dannelse af fossiler forudsætter at en serie af mange gunstige begivenheder er til stede førend den oprindelige organisme kan blive bevaret som fossil. Fossildannelse er en sjælden hændelse. Naturen har en stærk tendens til at recirkulere materialer og det gælder næsten alt fra planter og dyr til bjergarter og mineraler. Døde organismer udsættes for mange angreb, før de kan blive bevaret som fossiler. For at blive til et fossil kræves gunstige omstændigheder, hvor den første forudsætning er hurtig begravelse samt at mineralsk materiale kan føjes til den oprindelig hårde skal, træstamme eller ben.

Langt størstedelen af de planter og dyr, som har eksisteret, er borte uden at efterlade sig et spor eller andet tegn på deres tilstedeværelse. Skeletdele, skaller og andre hårde dele har de bedste chancer for at blive til et fossil. Ved begravelsen kan hårde dele af skallen eller benet optage mineralsalte i deres struktur og bliver således mineraliserede. Herved forstærkes fossilet og bliver bedre til at modstå nedbrydning.

Alle dyr, fra insekter til dinosaurer og døde som levende, er føde for andre dyr – et dyr kan blive en andens frokost! Enhver del af dyrest krop, som ikke spises, bliver som regel spredt rundt omkring som rester, der igen er føde for bakterier. Samtidig bliver resterne eksponerede for sol, regn, frost osv. og jorden vil nedbryde og dekompostere selv den største knogle, skal og træstamme. Så hvis et fossil skal bevares, kræves det at nogle meget specialiserede processer træder til og afviser de naturlige nedbrydningsprocesser.

Hvordan dannes fossiler?

Følgende er de mest almindelige processer inden for fossildannelse:

Døden er første trin

Et dyr eller en plante skal dø i vandet eller falde ned i det, så det bliver dækket af vand kort tid efter dødsfaldet. Vand isolerer 'genstanden' fra mange af de elementer, som fører til nedbrydning. Et eksempel er en snegl, som er død på grund af alder og som falder ned på bunden af havet. Bakterier spiser de bløde dele, men efterlader det ydre skelet intakt.

Sedimentation er næste trin

Sedimenter begraver med tiden det ydre skelet. Jo hurtigere dette sker, desto mere sandsynligt vil fossildannelse være. Nærliggende landmasser, floddeltaer og mudderstrømme hjælper til hurtig sedimentation. Dette vil yderligere isolere skallen fra at blive nedbrudt. Selve sedimentet har en stor indflydelse på, hvor godt sneglen bliver bevaret, se figuren side 15. Meget finkornede sedimenter, fx ler, tillader at finere detaljer bevares i fremtidens fossil. Grovere sedimenter som sand vil bevare mindre fine detaljer. Den kemiske sammensætning af sedimentet bidrager også til kvaliteten af fremtidens fossil. Hvis jern er til stede kan fossilet få en rødlig farve, mens fosfat vil gøre fossilet gråt eller sort.

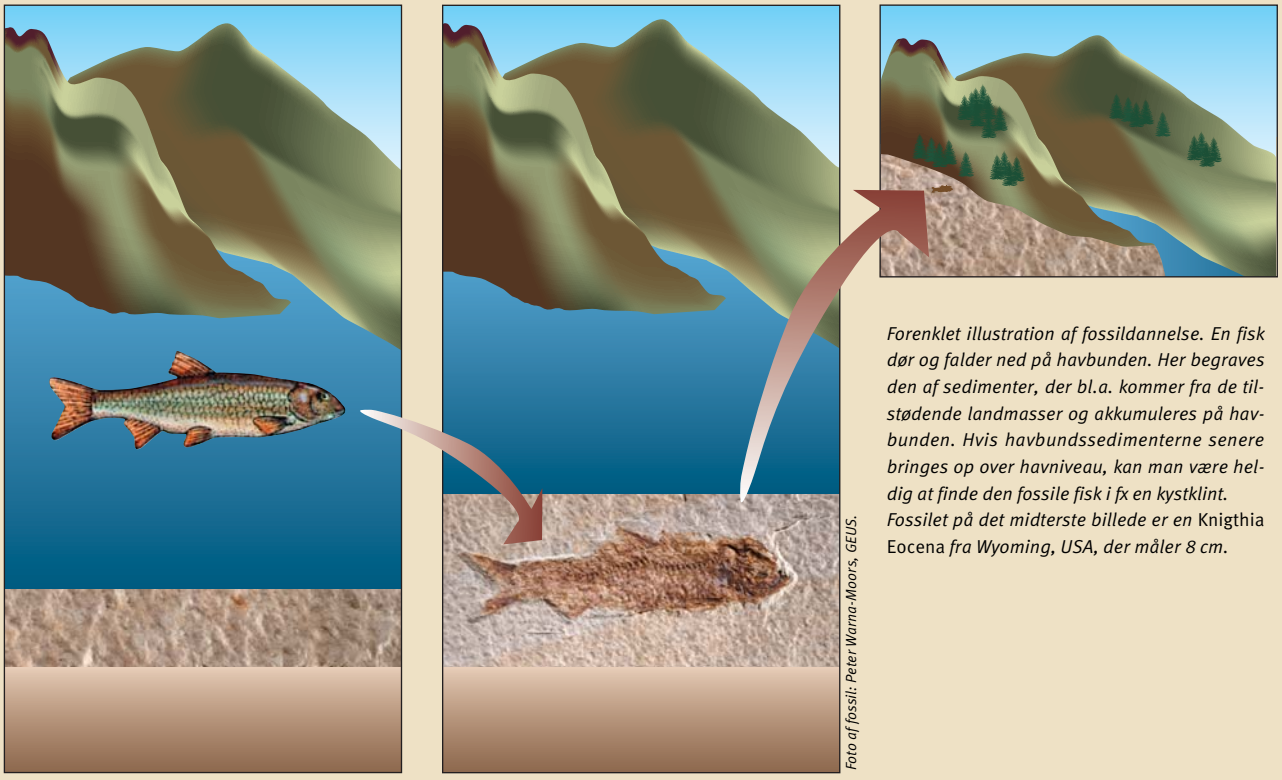
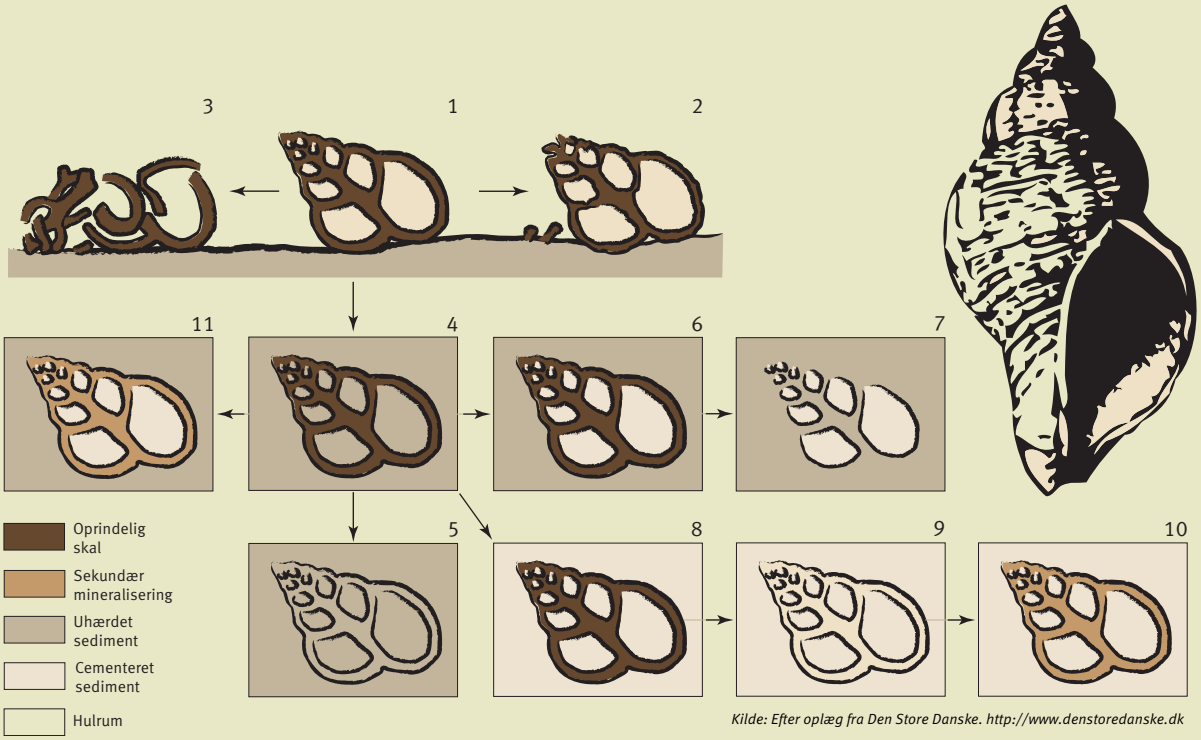


Illustration: Annabeth Andersen, GEUS.

Foto af fossil: Peter Warna-Moors, GEUS.

Forenklet illustration af fossildannelse. En fisk dør og falder ned på havbunden. Her begraves den af sedimenter, der bl.a. kommer fra de tilstødende landmasser og akkumuleres på havbunden. Hvis havbundssedimenterne senere bringes op over havniveau, kan man være heldig at finde den fossile fisk i fx en kystklint. Fossilet på det midterste billede er en Knigthia Eocena *fra Wyoming, USA, der måler 8 cm.*



Kilde: Efter oplæg fra Den Store Danske. http://www.denstoredanske.dk

Mineralisering

Efterhånden som pålejringen af sediment fortsætter, bliver de nedre lag kompakterede pga. vægten fra de ovenliggende lag. Med tiden vil trykket omdanne sedimentet til en bjergart. Mineralrigt vand, der siver ned gennem sedimentet, vil hjælpe på fossildannelsesprocessen og giver sneglen en endnu bedre chance for at blive bevaret. Nogle af mineralerne sætter sig på de enkelte sedimentkorn og limer dem derved sammen til en massiv masse. Disse mineraler vil også påvirke sneglen og i løbet af nogle millioner år kan de opløse den ydre skal eller erstatte nogle af molekylerne i det ydre skelet med kalcit eller andre mineraler. Med tiden vil hele skelettet blive udskiftet og give en nøjagtig kopi af sneglen i sedimentet.

Opløft

Ved efterfølgende geologiske processer bliver havbunden løftet op og bliver til land i foldekæder. Nu ligger fossilerne dog begravet under hundrede eller måske flere hundrede meter af sedimentære bjergarter.

Erosion

Efterfølgende vil regn, vind, jordskælv, frost, tø osv. nedbryde landskabet og til sidst bringe fossilet frem i dagens lys.

Fossilers bevaringsmåder

Fossiler bliver bevaret gennem forskellige processer og optræder derfor i mange forskellige bevaringsformer.
Rav er forstenet harpiks og bevarer den ydre form af fossilet. Talrige insekter kendes fra rav.
Forkisling. Ved denne proces sker der en mineralisering af 'kisel', som består af silicium og ilt og bl.a. kendes som flint. Forkislede fossiler kan være ret iøjnefaldende, det gælder eksempelvis fossile træstammer.
Pyritisering ses ofte i hulrum af skaller. Pyrit er jernsulfid som kan udfældes i iltfattige hulrum og erstatte det oprindelige skalmateriale i fx snegle, som det ses i figurens nr. 11 ovenfor.
Fosfatisering. Ved denne proces er det typisk knogler og tænder, som bevares.
Tjære er et godt bevaringsmiddel i kortere tidsrum og velegnet til bevaring af organiske materialer. Kendte eksempler er velbevarede sabeltigre og elefanter fra La Brea-asfaltsøerne ved Los Angeles.
Is kan også indeholde fossiler. I områder med permafrost i Sibirien og Alaska er der fx fundet mange velbevarede mammutter med hår. Gletsjere kan også bevare fossiler og bringe dem frem når isen kælver eller smelter.
Mumificering finder sted under usædvanligt tørre forhold, hvor selv hud kan blive bevaret.
Moser er vådområder uden ilt, som kan gemme og frembringe usædvanligt velbevarede rester af fx mennesker, klæder og dyr. Tollund-manden er et kendt dansk eksempel på et velbevaret mosefund.

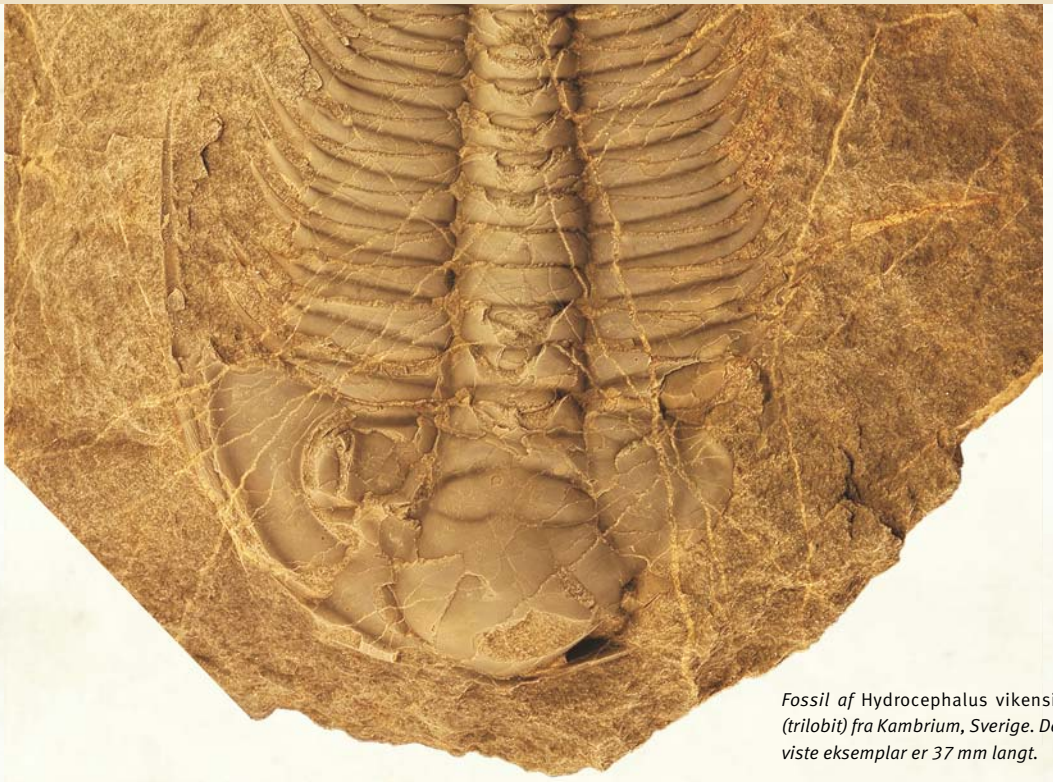


Foto: Arne Thorshøj Nielsen, Geologisk Museum.

Fossil af Hydrocephalus vikensis *(trilobit) fra Kambrium, Sverige. Det viste eksemplar er 37 mm langt.*

Darwins 'oprindelse' og udfordringen fra den fossile rækkefølge

Det blev helt klart for Darwin, at hvis hans teori om arternes oprindelse skulle holde og dermed blive generelt accepteret, så måtte den afgørende prøve for hans model komme fra observerede biologiske ændringer, der fandt sted over lange tidsrum, dvs. fra den fossile rækkefølge.

I midten af 1800-tallet var kendskabet til den fossile rækkefølge meget mangelfuld, men ikke desto mindre begyndte Darwin at undersøge, om han kunne finde eksempler blandt fossile forekomster til støtte for hans teori. Følgende er uddrag af hans bog:

...Dette førte til erkendelsen, at det fossile vidnesbyrd var ukomplet og grundene hertil var mange og kunne bl.a. være:

a. *Mangel på lag*

De geologiske processer er langsomme og effektiviteten kan være forskellig. Således kunne afsætningen af lag tage lang tid, medens fjernelsen af lag kunne være hurtigere. Samtidig med at floder transporterede sedimenter ud i verdenshavene og aflejredes på oceanbunden, så blev klinter nederoderet af bølgernes aktiviteter. Ved at kombinere Huttons ide om 'deep time' og Lyells princip om uniformitarisme (se bokse side 5–6), dvs. at geologiske processer opererer over lang tid, og dermed langsomt, men samtidig sikkert, har haft en stor effekt. Store strukturer som forkastninger og vulkaner er også udsat for gradvis erosion gennem tid. Ikke desto mindre, medens store mægtigheder af sedimenter blev aflejret i nogle områder, fx Cordillera, så blev samtidige relativt tynde lag aflejret i andre områder. For eksempel er tynde jurassiske bjergartsenheder i England repræsenteret af samtidige meget tykke enheder på det Europæiske fastland. Med andre ord er Jordens lagserie gennem tid ikke komplet og nogle områder har en bedre bevaret lagserie end andre.

b. *Mangel på palæontologiske samlinger*

Størstedelen af verden er ufuldstændig indsamlet. Den fossile lagserie er en 'sølle' repræsentant for fortidens liv. Fossile arter er som regel navngivet baseret på enkelte, ofte brækkede, eksemplarer. Tre punkter er vigtige: kun en lille fraktion af Jorden er blevet udforsket, ingen bløddyr er bevaret og selv skaller og ben kan forsvinde gennem tid. Bevaring af fossiler er tilfældig og sjælden, fx er fund af Tertiære pattedyr i huler og kystnære aflejringer både usædvanlige og sjældne. (se bokse side 14–15).

c. *Optimal bevaring*

Gamle formationer, som er fossilrige, er som regel dannet i perioder med nedsynkning.

d. *Optimal artsdannelse*

Under landhævninger bliver kystnære områder større med nye nicher og miljøer, som skaber livsbetingelser, der er fordelagtige for nye arter. Disse kystnære arealer er normalt ikke bevarede i den geologiske lagserie og indgår derfor ikke i det fossile arkiv. Under nedsynkning vil denne type habitat gå tabt som følge af uddøen.

Den mangelfulde geologiske lagserie og manglen på overgangsformer

Der er kun få eksempler på artsdannelse i den samme formation eller lagserie (se boks side 17).

a. Migration foregår i stor skala. Den første forekomst af en art i en lagserie skyldes sandsynligvis indvandring af organismen i den pågældende region. Hvis vi skulle forvente en gradvis ændring mellem formerne, som vi forlanger skal være kontinuerte, så kræves en langsom sedimentation over et langt tidsinterval på det samme sted. Det er fx blevet demonstreret, at den samme planteart fandtes igennem flere formationer i Nova Scotia (Østcanada), men sandsynligvis forsvandt og returnerede arten flere gange gennem tiden.

b. Enhver art har en forbindelse til beslægtede former (dvs. tidligere og senere arter).

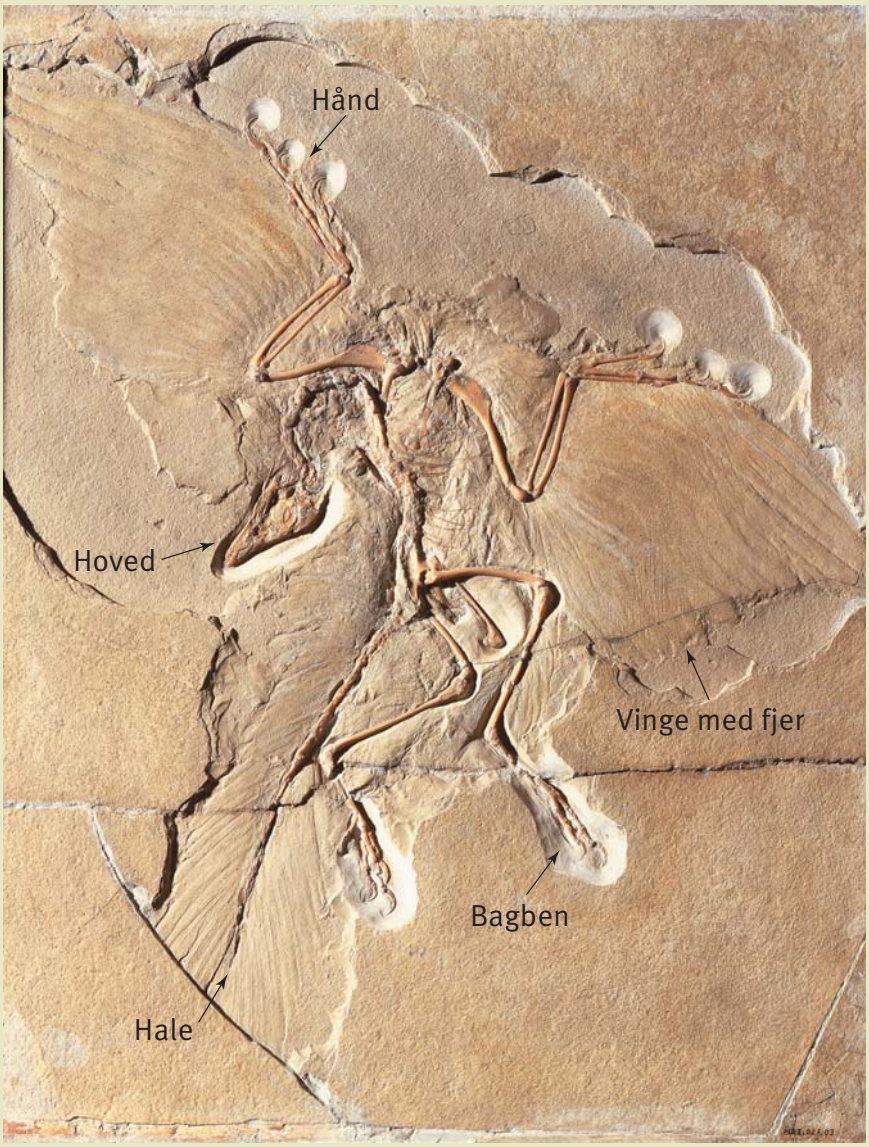
Overgangsformer ('missing link')

Overgangsformer eller 'missing link'-fossiler med anatomiske træk, der udgjorde en mellemform mellem to hovedgrupper af organismer, er vigtige i Darwins evolutionsteori, ikke mindst når det kommer til mennesket. Darwin fandt det vanskeligt at finde eksempler på overgangsformer blandt fossilerne, dengang han skrev sin bog om udviklingsteorien, hvilket bl.a. førte til den forklaring, at den geologiske lagserie skulle være mangelfuld.

I 1861, dvs. kun et par år efter at Darwins *The Origin of Species* var udkommet, fandt palæontologer det første eksemplar af *Archaeopteryx* (*Archaeopteryx lithographica*, navngivet af Richard Owen) i den jurassiske Solnhofen-kalksten, som er en berømt aflejring i det sydlige Tyskland. *Archaeopteryx* er måske det bedst kendte 'missing link' blandt almindelige mennesker. Den var det første reptillignende fossil, som viste tydelige spor af fjer – et karaktertræk, som længe blev betragtet som en fundamental forskel mellem fugle og 'ikke-fugle' – 'fjer er unikke, de kan kun udvikles hos en fugl, så hvis den har fjer, så er den en fugl' – men efter fundet af *Archaeopteryx* har vi en dinosaur med fjer. Dette fund må have glædet Darwin og kom da også belejligt, fordi *Archaeopteryx* bærer på mange karaktertræk, som man skulle forvente af en overgangsform mellem krybdyr (reptiler) og fugle. Palæontologerne var også hurtige til at erklære dette fossil som medlem af theropod-familien (kødædende dinosaur), som et potentielt 'missing link' mellem fugle og primitive reptiler. Ligesom mange dinosaurer havde *Archaeopteryx* en hale af ben, tænder og fingre med klør, samt en bevægelig klo på hver fod. Men arten havde også adskillige karaktertræk, som lignede fugles: fjer, vinger, ønskeben og reducerede haleled. Mange forskere mener, at fjer oprindelig blev udviklet til isolering og senere til brug for flyvning.

I det første eksemplar af *Archaeopteryx* var kraniet knust, hvilket fejlagtigt førte til, at eksemplaret blev henført til *Compsognathus* (= en lille tobenet dinosaur). Senere er der fundet flere eksemplarer og *Archaeopteryx* betragtes nu som en selvstændig slægt. I dag er mange palæontologer enige om at *Archaeopteryx* er en fugl, fordi den har fjer, men at den er en overgangsform (mellemform), fordi den fastholdt mange dinosaur-karaktertræk, som ikke findes hos moderne fugle, samtidig med at den har visse karaktertræk, som findes hos fugle og ikke hos dinosaurer.

Archaeopteryx er således unik og et vigtigt argument for Darwins udviklingslære. Den er et eksempel på en mellemform – en repræsentant, som giver et kort glimt af en mekanisme, der muliggjorde udviklingen af fugle og dens eksistens viser, at sådanne overgange er mulige.



Copyright: Museum für Naturkunde, Berlin.

Archaeopteryx, *som opbevares i Museum für Naturkunde, Berlin.*

Fotos: Stig Andersen.

Recent guldsmed.

Fossil af en ægte guldsmed (Gomphaeschna paleocenia) *fundet i en cementsten i moleret på Mors. Vingelængden er ca. 30 cm. Desværre mangler bagkroppen. Guldsmeden er Danekræ.*

Pludselig opståen

Forskellige forfattere har benyttet 'pludselige opståen af en art' som et klart bevis imod arternes gradvise ændring gennem tid, hvilket er fatalt for udviklingsteorien. Men negativ evidens kan ikke bruges – dvs. fordi overgangsformerne ikke er blevet fundet, er dette ikke et bevis for, at de ikke findes. Nye fossilfund vil ofte ændre opfattelsen af forekomsten af en organisme og dermed svække ovennævnte kritik.

a. Den traditionelle opfattelse har længe været, at pattedyr først dukkede op ved basis af Tertiær. Men i dag kan pattedyr spores tilbage til (New Red) Sandstone, der hører til Trias Perioden.

b. Nye klasser af fugle findes i aflejringer fra Eocæn, men de er nu også fundet i jurassisk grønsand og den uddøde fugleslægt *Archaeopteryx* blev fundet i jurassiske aflejringer i Tyskland.

c. Benfisk (teleost) dukkede først op i kridtaflejringerne (øvre Kridt), men denne fossilgruppe er i dag også kendt fra Trias og Jura.

Var der liv før Kambrium?

Mange klasser af dyreriget dukker op i de første fossilførende bjergarter ved basis af Kambrium. Men Kambriske og Silure trilobiter må nedstamme fra Prækambriske krebsdyr. Der må således have forekommet meget lange perioder, hvor dyregrupper har været til stede, selvom de ikke er fundet fossilt (se Geoviden nr. 3, 2008, side 8–11).

a. William Thomson (Lord Kelvin) (1824–1907) beregnede, at Jordens overflade dannede en fast skorpe i løbet af 200–400 millioner år, og at skorpen sandsynligvis var skabt 60 millioner år efter begyndelsen af Kambrium. Det vil sige, at skorpedannelsen har været undervejs i mindst 140 millioner år i Prækambrium.

b. Det kan ikke forklares, hvorfor der ikke er blevet fundet fossiler i Prækambriske aflejringer.

c. *Eozoon* fra Canada er en begyndelse. *Eozoon* er primitive, men bedre organiserede organismer inden for deres klasse, (se Geoviden nr. 3, 2008). Tilstedeværelsen af rovdyr antyder, at der var mange andre organismer fra lavere niveauer i fødekæden. Muligvis var også andre livsformer til stede, men fossiler af disse er i så fald blevet ødelagt af metamorfose eller fjernet ved erosion af de fossilholdige lag siden hen.

Ændring af arter

Historien om, at verden er ukomplet bevaret, findes kun omtalt kort af Darwin i *The Origin of Species*. I kapitel 11 udviklede Darwin sine ideer om den geologiske lagserie af organisk liv baseret på den fossile rækkefølge.

Et centralt spørgsmål er hér: kan arter ikke ændres eller kan de ændre sig gradvist gennem tid? Lyell har demonstreret, at huller mellem eksisterende og tabte former i den tertiære periode kan blive udfyldt. Artsdannelseshastighederne er forskellige, fx har Brachiopoden *Lingula*, et marint muslingelignende dyr, ændret sig meget lidt gennem tid, mens Silure mollusker og krebsdyr har ændret sig meget. Og når en art uddør, vil den aldrig komme tilbage. En fossilgruppe ses ikke igen, når den én gang er uddød.

Følgende årsager har ifølge Darwin været afgørende for den eksisterende rækkefølge af livsformer, som nu findes delvist bevaret i de geologiske lag:

1. Uddøen

Den gamle ide, at arter pludselig blev udslettet ved fx katastrofer, er nu opgivet. MEN der findes nogle få undtagelser, såsom dannelse eller nedbrydning af en landbro, dvs. migration eller drukning af en ø, hvor uddøen kan have været sket hurtigt. Ved La Plata i Argentina er der fx blevet fundet tænder af heste sammen med *Mastodont, Megatherium* og *Toxodon* (se side 9). Her er overraskelsen, at dinosaurerne og *Mastodont* er uddøde, mens hesten stadig eksisterer.

Sjældne forekomster går ofte før gradvis uddøen. *Trigonia*, en stærkt ornamenteret musling, findes stadig; men trilobitter uddøde ved slutningen af Palæozoikum og ammoniter mod slutningen af Mesozoikum og sandsynligvis ikke pludseligt. Uddøen er ikke et problem for udviklingen.

2. Samtidige ændringer i livsformer

Skrivekridt (chalk) er en udbredt aflejring i Europa og dens fossiler er meget ens. Palæo-

zoiske formationer og deres indhold af organismer er næsten ens i Rusland, det vestlige Europa og Nordamerika. Europæiske og Nordamerikanske tertiære aflejringer er også meget ens. Den parallelle udvikling af livsformer forklares gennem naturlig udvælgelse og den store spredning som variation af en art. Dette forekommer i en periode med nedsynkning, hvor arten bliver modificeret, uddør eller migrerer til et andet sted. Der er også parallelle situationer i Silure faunaer mellem Bøhmen og Skandinavien.

3. Uddøde arters slægtskaber med hinanden og med levende organismer

Sirenia (søko) er en uddød og distinkt gruppe af pattedyr, men den ligner ordinære firbenede hovdyr. Hvaler har forbindelse til vandlevende rovdyr. *Archaeopteryx* er sammenlignet med strudsen, men ligner også *Compsognathus* (dinosauer), som ikke var så forskellige i Juratiden. Palæozoiske dyr kan relateres til moderne dyregrupper. Gamle og uddøde slægter danner et mellemled mellem modificeret afkom og sideordnede relationer. Slægtskabet mellem levende og fossile former kan forklares på denne måde. Devone arter er mellemformer af Silur arter og Karbone arter. Fossiler fra fortløbende formationer er tættere beslægtede til hinanden end de er beslægtede med andre arter fra fjerntliggende formationer.

4. Uddøde former sammenlignet med levende

En ældre form afviger fra nulevende og kan udfylde mellemrummet mellem nutidens slægter, familier og ordener. Den franske geolog og palæontolog Barrande (1799–1883) hævdede, at palæozoiske fossiler kunne henføres til samme ordner, familier og slægter som nutidens arter, men de gamle former var ikke så tydeligt adskilte fra hinanden, som de er i dag. En ældre form vil ligne en mellemform mellem grupper, som i nutiden er meget forskellige. Derfor er mellemformer vigtige, men ofte vil det være forgæves at søge efter mellemformer, fordi den ukomplette lagserie vil mindske mulighederne for at finde dem.

5. Kampen for liv eller overlevelse

Palæozoiske former blev slået ud af sekundære former, som igen blev slået ud af Eocæne former. Imidlertid er brachiopoderne (armfødder) kun forandret lidt gennem tid og foraminiferer er ikke ændret siden Prækambrium. Hvordan er Verden skruet sammen og hvornår opstod de forskellige livsformer?

Selachian eller hajer er forbundet til højere fisk og reptiler. I tidligere perioder var brachiopoder og cephalopoder (blæksprutter) til stede i stort antal, men nu er de stærkt reduceret, fordi de er blevet udkonkurreret af andre organismer.

MEN gamle organismer synes at ligne embryoer af nulevende organismer, hvilket antyder, at man kan tolke udviklingen gennem studier af embryoernes vækststadier.

6. Samme typer ser ud til at være karakteristiske for de samme områder og miljøer i den senere tertiære periode

a. Fossile pattedyr fundet i australske huler er tilknyttet levende pungdyr.

b. Armadillos (bæltedyr) viser både levende og fossile eksempler, dvs. P.W. Lunds (1801–1880) indsamlinger fra huler i Brasilien fører til loven om rækkefølgen af typer.

c. Uddøde og gigantiske fugle i New Zealand, som er karakteristiske for området og findes ikke andre steder.

d. Marine skaller, de uddøde og levende landsnegle på Madeira, er et andet eksempel, da de var isolerede fra andre områder.

Gennem tid vil de svage organismer udvikle sig til at blive mere dominerende former og dermed vil de svage former forsvinde.

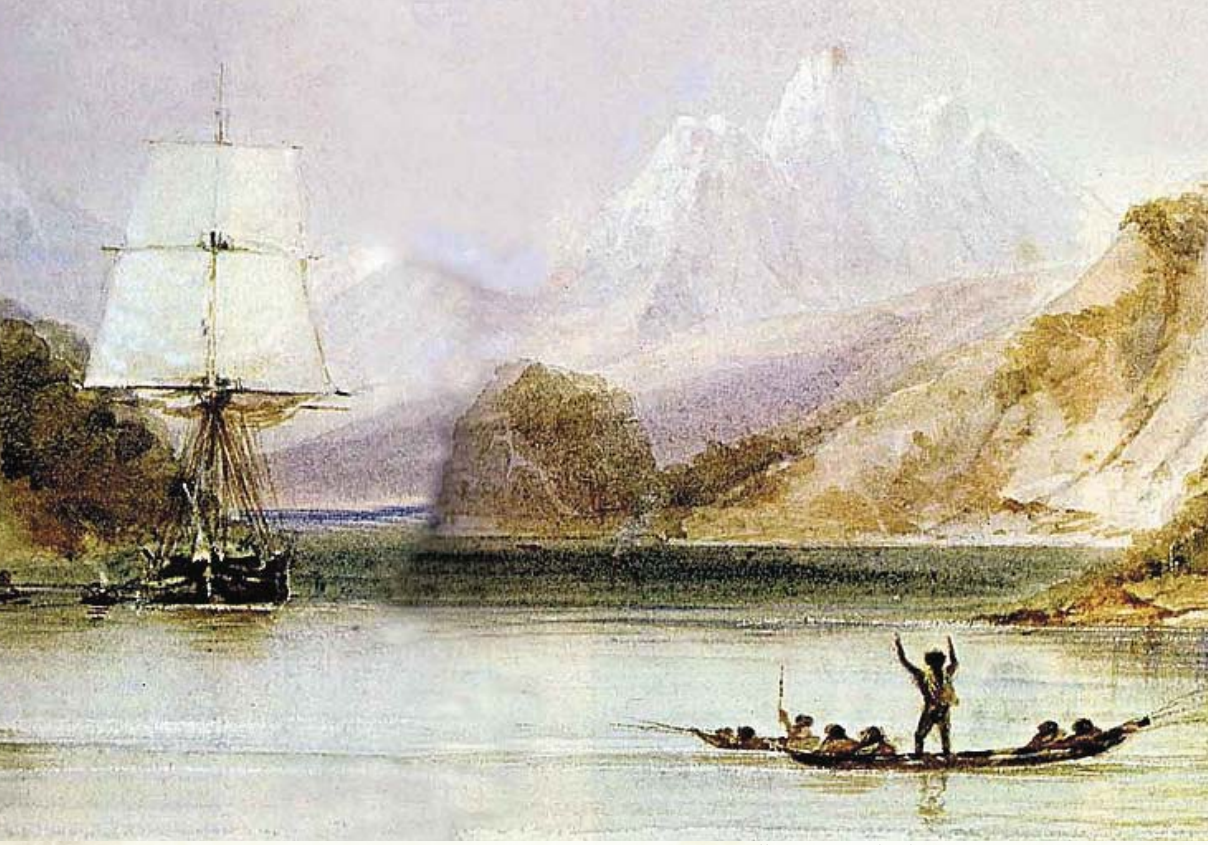
Konklusioner

En hovedkonklusion er, at geologi, gennem Darwin, havde stor indflydelse på udviklingsteorien, men også at geologi selv blev stærkt påvirket af udviklingsteorien fra dengang og til i dag. I dag læser de fleste geologer udviklingslære som en del af palæontologi- og palæobiologistudierne og de er stolte af, at Darwin var en af dem. Han var et stort menneske, som gav os muligheden at forstå verden på en helt ny måde, og som selv var et produkt af mindst tre milliarder års udvikling.

Selvom fokus hér har været rettet mod hans indsats som geolog og palæontolog, skal det straks siges, at Darwin var naturvidenskabsmand og ydede en stor indsats både inden for videnskaberne biologi, palaeontologi og geologi. Det er således ikke korrekt at placere ham i en enkelt disciplin, men i stedet bør det fremhæves, at han var en stor naturvidenskabsmand og et produkt af sin samtid.

Den geologiske lagserie er ekstremt ukomplet. Kun en lille del af Jorden er blevet udforsket og kun visse dyreformer og planter er bevarede. Museer kan kun vise en lille del af det tidligere liv på Jorden og der er store huller mellem de bevarede lag. Uddøen sker ved nedsynkning og variation opnås ved hævning. Migration er en vigtig faktor. Der var korte tidsintervaller, hvor ændringer fandt sted, mens lange tider med 'stilstand', hvor der intet skete, er almindelige. Med dette i mente er det ikke overraskende, at vi ikke finder mange 'overgangsformer' eller 'missing links' i den fossile lagfølge. Men mod slutningen af den sidste del af det 19. århundrede blev klare evidenser for evolution fundet i den fossile lagserie.

Hvor er det Prækambriske liv? Darwin havde kun kendskab til *Eozoon*. Uddøen af gamle former kan skyldes fremkomsten af nye former. Beboere for hver periode har udkonkurreret deres forgængere, samtidig med at dyrene har opnået et højere niveau af organisation. Embryologi kan være et vigtigt værktøj til at tolke udvikling, fordi forskellige stadier kan ses af fosteret. Med en bedre eller mere komplet fossil lagserie vil meget af den fremherskende modstand forsvinde. Nøglen til udvikling er variation og overlevelse af den bedst tilpassede livsform.



Kilde: http://en.wikipedia.org/wiki/File:HMS_Beagle_by_Conrad_Martens.jpg

HMS Beagle *ved Tierra del Fuego (Ildlandet, Argentina) malet af Conrad Martens undervejs på rejsen. Illustrationen stammer fra* The Illustrated Origin of Species *af Charles Darwin, men forkortet og illustreret af Richard Leakey.*

GEOCENTER DANMARK

Geocenter Danmark

Er et formaliseret samarbejde mellem de fire selvstændige institutioner De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Geologisk Institut ved Aarhus Universitet samt Institut for Geografi og Geologi og Geologisk Museum begge ved Københavns Universitet. Geocenter Danmark er et center for geovidenskabelig forskning, uddannelse, rådgivning, innovation og formidling på højt internationalt niveau.

Udgiver

Geocenter Danmark.

Redaktion

Geoviden – Geologi og Geografi redigeres af Seniorforsker Merete Binderup (ansvarshavende) fra GEUS i samarbejde med en redaktionsgruppe.
Geoviden – Geologi og Geografi udkommer fire gange om året og abonnement er gratis. Det kan bestilles ved henvendelse til Finn Preben Johansen, tlf.: 38 14 29 31, e-mail: fpj@geus.dk og på www.geocenter.dk, hvor man også kan læse den elektroniske udgave af bladet.

ISSN 1604-6935 (papir)
ISSN 1604-8172 (elektronisk)

NORDISK MILJØMÆRKNING
TRYKSAG
541 176

Produktion: Annabeth Andersen, GEUS.
Tryk: Rosendahls - Schultz Grafisk A/S.
Forsidebillede: Forstening af en ammonit.
Foto: Peter Warna-Moors, GEUS.
Reprografisk arbejde: Benny Schark, GEUS.
Illustrationer: Forfattere og Grafisk, GEUS.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)
Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 38 14 20 00
E-mail: geus@geus.dk

Institut for Geografi og Geologi
Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 35 32 25 00
E-mail: geo@geo.ku.dk

Geologisk Museum
Øster Voldgade 5-7
1350 København K
Tlf: 35 32 23 45
E-mail: rcp@snm.ku.dk

Geologisk Institut
Høegh-Guldbergs Gade 2, B.1670
8000 Århus C
Tlf: 89 42 94 00
E-mail: geologi@au.dk

PP DANMARK
Magasinpost UMM
ID-nr. 46439

PortoService, Postboks 9490, 9490 Pandrup