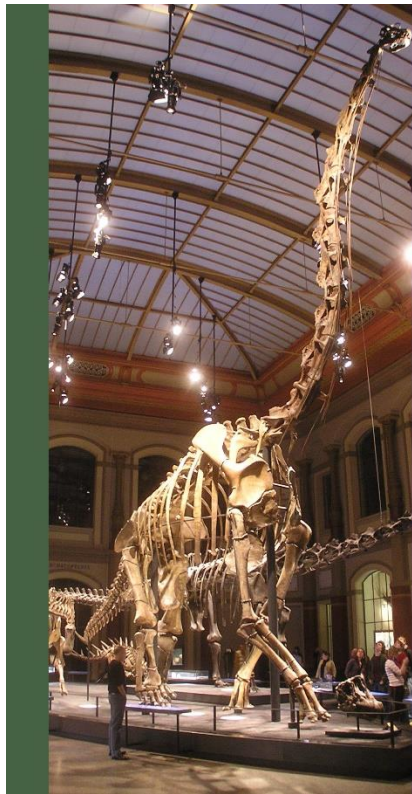


Bijlage bij het hoorcollege *Het ontstaan van dier en mens*



HET ONTSTAAN VAN DIER EN MENS

EEN HOORCOLLEGE OVER
HET TERUGLEZEN VAN
EVOLUTIE UIT DNA

door Jelle Reumer

Inhoudsopgave

[Jelle Reumer](#)

[H1. Inleiding](#)

[H2. Vissen](#)

[H3. Aan land: amfibieën en de schedel](#)

[H4. Het amniote ei en de reptielenkop](#)

[H5. Reptielen](#)

[H6. Dinosaurussen](#)

[H7. Wat zijn zoogdieren?](#)

[H8. Grote groepen zoogdieren](#)

[H9. Buideldieren en vroege groepen](#)

[H10. Homo en de hobbit](#)

[H11. Van paarden, walvissen en olifanten](#)

[H12. De echte succesnummers: muizen en vogels](#)

[Verwantschapsschema's](#)

[Colofon](#)

Jelle Reumer



Prof. dr. Jelle Reumer was directeur van het Natuurhistorisch Museum Rotterdam. Hij studeerde biologie in Utrecht en promoveerde daar op fossiele spitsmuizen. Hij is bijzonder hoogleraar aan de Universiteit Utrecht en doceert daar vertebratenpaleontologie. Van zijn hand verschenen diverse boeken voor een breed publiek, waaronder *De ontplofte aap* en *De mierenmens*.

Synopsis van het hoorcollege *Het ontstaan van dier en mens*

H1. Inleiding

We behandelen de evolutie van de gewervelde dieren, ooit simpel onderverdeeld in de klassen vissen, amfibieën, reptielen, vogels en zoogdieren. Hun ontstaansgeschiedenis kan worden gereconstrueerd aan de hand van fossielen. Rond 550 miljoen jaar geleden begon een periode die Cambrium heet, en tijdens het Cambrium speelde zich de zg. Cambrische radiatie af (the Cambrian explosion), het is in die explosie van biodiversiteit dat ons verhaal begint. Prachtige voorbeelden van dieren met een zg. exoskelet, zoals vroege trilobieten en garnaalachtige beesten, komen uit een vindplaats in Canada (de Burgess-schalie), alsook een klein diertje, Pikaia, dat wel wat op het nog bestaande lancetvisje lijkt. Pikaia is onze voorouder. Het zag eruit als een zijdelings afgeplat vissig wormpje, met drie nieuwe verworvenheden die tezamen een echte noviteit vormen: een langgerekte zenuwstreng die van voor naar achter langs de rugzijde liep, een rubberen staaf (notochord) daaronder die het lichaam stevigheid gaf, en spieren die links en rechts waren georganiseerd in de vorm van zogenaamde myotomen.

H2. Vissen

De eerste echte vissen ontstonden ook in het Cambrium. Benen ringen die zich om de notochord vormden (de wervels) en botjes (bij vissen graten genoemd) die op strategische plaatsen in het lichaam ontstonden, gaven extra structuur aan de weke delen. De stamboom van de vissen ziet eruit als een ingewikkelde struik. Er waren allereerst de kaakloze vissen, waartoe de nog levende lamprei behoort (een levend fossiel), dan de succesvolle kraakbeenvissen waar de haaien en de roggen onder vallen. En tenslotte de enorme groep van de beenvissen, die echte harde benen graten bezitten, en die de meeste nog levende vissen omvat, zowel de zogenoemde straalvinnigen als de kwastvinnigen.

De kraakbeenvissen en de echte beenvissen ontstonden tijdens het Devoon, rond 400 miljoen jaar geleden. Kraakbeenvissen kennen we vooral van de grote hoeveelheden haaiantanden die als fossielen worden gevonden. De beenvissen vormen tegenwoordig de grootste groep. De meeste zijn Actinopterygia, ofwel straalvinnigen, met vinnen die uit een uitwendig en een inwendig deel bestaan; uitwendig zijn er de vele vinstralen, inwendig zijn er graatjes die als het ware de wortel van de vin vormen.

Zeldzamer zijn de Sarcopterygia, de kwastvinnigen. Er zijn drie groepen binnen de kwastvinnigen: ten eerste de longvissen, ten tweede de bekende Coelacanthen, en tenslotte de viervoeters ofwel Tetrapoden. Dankzij de evolutie van gepaarde vinnen (borst- en buikvinnen) konden de gewervelden aan land komen. De oudste vertegenwoordiger is Tiktaalik. Wat opvalt aan de botjes in de poten van Tiktaalik is dat ze aanwezig zijn in precies dezelfde configuratie die we bij alle latere viervoeters tegenkomen. De standaardconfiguratie van gordelbeenderen, dan één groot bot, dan twee grote botten en tenslotte veel kleine botjes is een geavanceerd kenmerk dat alle tetrapoden met elkaar gemeen hebben.

H3. Aan land: amfibieën en de schedel

De overgang van waterleven naar een bestaan op het land is riskant: je moet lucht gaan ademen, je riskeert uitdroging en je krijgt te maken met de zwaartekracht. Van de amfibieën, die al 375 miljoen jaar op aarde zijn, leven tegenwoordig nog maar drie groepen: de kikkers (inclusief padden), de salamanders en de zeldzame tropische wormsalamanders. We kennen naar schatting 6.700 soorten

nog levende amfibieën, en dat staat in schril contrast met de naar schatting meer dan 31.000 nog levende vis-soorten.

Dan de schedel. Onze (zoogdier)schedel komt voort uit drie bronnen. Die drie bronnen heten respectievelijk het neurocranium, het splanchnocranium en het dermatocranium, letterlijk: de hersenschedel, de kieuwschedel en de huidschedel. Het neurocranium is de oorspronkelijke (kraak) benen omhulling die de hersenen beschermt. Bij onszelf is het neurocranium ook in embryonale toestand nog altijd aanwezig, om uiteindelijk bij de volwassen mens vrijwel geheel te zijn vervangen door onderdelen van voornamelijk het dermatocranium.

Het splanchnocranium is afgeleid van de botjes in de kieuwbogen: de weefselbruggen tussen de kieuwopeningen. Voor en achter elke kieuwopening bevindt zich zo'n kieuwboog van elk twee of drie kleine botjes. Deze kieuwbogen vormen de basis van het splanchnocranium. De botten van de voorste kieuwboog zullen in de loop van de evolutie worden omgevormd tot boven- en onderkaak; die van de tweede kieuwboog o.a. tot het tongbeen, en tot een beentje dat uiteindelijk één van de drie minuscule botjes vormt in het middenoor van zoogdieren, namelijk de stijgbeugel. Het dermatocranium komt voort uit de benen pantserplaten van Ostracoderme en Placoderme vissen: primitieve groepen uit het Devoon. Daarmee is de basis van de schedel compleet, want de pantserplaten evolueren uiteindelijk tot bijvoorbeeld de moderne onderkaak, de neusbeentjes, voorhoofds-, slaap-, achterhoofdsen jukbeenderen.

H4. Het amniote ei en de reptielenkop

De definitieve verovering van het land is afhankelijk van de ontwikkeling van een droogtebestendig ei en het afschaffen van het kikkervisjes-stadium. Dat verpakte ei ontstond vermoedelijk rond 320 miljoen jaar geleden, in het Carboon. Dan zien we de eerste vertegenwoordigers van een nieuwe klasse: de reptielen. Reptielen, zoogdieren en vogels kenmerken zich door één gezamenlijke verworvenheid, het zogenaamde *amniote ei*.

Het principe is vrij simpel: het ei bevat drie blazen of zakken. De eerste zak (amnion) is gevuld met vloeistof en bevat het embryo; de vloeistof waar het embryo in drijft is het vruchtwater. Vanuit de buikzijde van het embryo ontspruiten twee andere zakken, de dooierzak (deze bevat het reservevoedsel voor het jong) en de allantoïs (een afvalzak). Amnion, dooier en allantoïs worden als geheel omgeven door een volgend vlies, het chorion. Aan de buitenkant is tenslotte de eierschaal aangebracht. In tussenruimtes zit extra eiwit. Waarschijnlijk gingen ergens in het Carboon amfibieën eieren leggen in de vochtige strooisellaag van bossen, waarna langs evolutionaire weg selectie is opgetreden naar eieren met een schaal eromheen. Eieren kunnen overal gelegd worden, maar de risico's zijn groot. Veiliger is het om het ei helemaal niet te leggen, maar het binnen te houden tot het is uitgekomen: dat is de vaak geëvolueerde levendbarendheid.

H5. Reptielen

Ook de schedel evolueerde verder. De oudste reptielen uit Carboon en Perm hadden een schedel die nog sterk leek op de amfibieën waaruit ze ooit waren voortgekomen: een uit veel onderdelen bestaande benen doos, die de hersenen, het neurocranium en enkele vitale zintuigen omsloot. Eronder hingen de onderkaken, bevestigd door middel van scharniergewrichten en bediend door spieren. Om de bijtkracht te vergroten ontstonden openingen in de schedel waardoor kauwspieren naar de buitenkant van de schedel liepen. Die zogenaamde temporaalopeningen zijn kenmerkend voor de reptielen en hun nazaten. Er zijn reptielen met nul, met één of met twee temporaalopeningen aan elke kant van de schedel, respectievelijk Anapsida (bv schildpadden), Synapsida (bv Dimetrodon) en Diapsida (o.a. dino's). De oudste Anapside is gevonden in sedimenten uit het Carboon (320 miljoen jaar).

Het was een dier dat ongeveer 30 centimeter lang was en leek op een hagedis. Uiteindelijk hebben de Anapsiden het in de loop van de tijd afgelegd tegen de hoger ontwikkelde Diapside en Synapside reptielen; alleen de schildpadden leven nog.

De bekendste uitgestorven Synapside is ongetwijfeld Dimetrodon. Het is het dier met het grote vinvormige zeil op de rug, van een groep die Pelycosauriërs wordt genoemd en die uit vrijwel allemaal vleesetende soorten bestaat. Ze beleefden hun bloeiperiode in het Perm, tussen 300 en 250 miljoen jaar geleden. Uit deze groep komen de Therapsida voort, de mammal-like reptiles, de zoogdierachtige reptielen dus. Hieruit zullen de zoogdieren voortkomen. Deze Therapsida, onze directe voorouders, bezaten een soms extreem ontwikkeld roofdiergebit met vervaarlijke hoektanden. Ook van de Diapsida, de reptielen met twee temporaalopeningen, leven tegenwoordig nog de nodige nazaten. Uitgestorven groepen zijn o.a. de Mosasauriërs, de vliegende Pterosauriërs, en de Dinosauriërs. Nog levende groepen Diapsida zijn de hagedissen en slangen, de krokodillen, maar ook de vogels zijn eigenlijk Diapside reptielen: dino's zelfs.

H6. Dinosaurussen

Dino's zijn de bekendste Diapsida. Ze traden voor het eerst op in het late Trias, c. 225 miljoen jaar geleden en verdwenen bijna allemaal toen 65 miljoen jaar geleden een enorme meteoriet op de aarde botste. Dinosauriërs worden onderscheiden in twee grote groepen die aan de vorm van hun bekkenbeenderen kunnen worden herkend: de Ornithischia en de Saurischia (*bird-hipped and lizard-hipped*.) Ornithischia zijn bijna allemaal herbivoren. Een bekende Ornithischia is bijvoorbeeld Triceratops, maar ook de beroemde *Iguanodons* in het Natuurhistorisch Museum van Brussel.

Saurischia, de *lizard-hipped dinosaurs*, vallen net als de dino's zelf ook weer in twee grote groepen uiteen: de herbivore Sauropoda en de vleesetende Theropoda. Sauropoden zijn de grote langnek-dino's die op vier poten liepen, de groep omvat de allergrootste landdieren die ooit geleefd hebben: dieren met een lichaamslengte van meer dan dertig meter en een gewicht van ruim honderd ton. Theropoden zijn de tweebenige rovers, de groep van *T. rex*, *Oviraptor*, de *Velociraptors* van de film en - uiteindelijk - ook de vogels. Sommige werden reusachtig groot, zoals *Tyrannosaurus* en *Allosaurus*, andere bleven beduidend kleiner, zoals *Velociraptor*, en weer andere, zoals *Compsognathus*, werden niet groter dan een flinke kip. (Überhaupt berust onze gedachte dat dino's gigantische dieren waren op een aantal misverstanden.) Het vermoeden is sterk dat Theropoden snel en wendbaar waren, en zeker niet de logge, trage reptielen waren wat je zou verwachten bij een koudbloedige fysiologie. Vrijwel zeker waren het dan ook helemaal geen koudbloedige dieren maar hadden ze de beschikking over een constante lichaamstemperatuur die hen een actieve leefwijze toestond. Warmbloedigheid bij recente diergroepen is te vinden bij zoogdieren (geëvolueerde Synapsiden) en bij vogels (Diapsiden), twee groepen die deze warmbloedigheid onafhankelijk van elkaar moeten hebben verworven.

H7. Wat zijn zoogdieren?

Zoogdieren stammen af van de Synapsida, de reptielen met één temporaalopening. Het belangrijkste kenmerk van zoogdieren zijn niet de vacht, de levendbarendheid of het bezit van melkklieren, maar het bezit van drie kleine botjes in het oor: hamer, aambeeld en stijgbeugel, plus een vierde botje dat het trommelvlies omvat - die vier botjes maken een dier tot een zoogdier. De evolutie van het gehoororgaan is een van de klassieke verhalen van de vertebratenpaleontologie. Andere gewervelden bezitten een onderkaak die uit meerdere onderdelen bestaat, zoogdieren hebben maar één onderkaaksbot. De andere elementen zijn omgevormd tot onderdelen van het gehoororgaan.

Met komst van hamer, aambeeld en stijgbeugel in het middenoor is het zoogdier als zodanig gevormd en gereed om de wereld te veroveren. De eerste zoogdieren leefden tijdens het late Trias, 210 à 225 miljoen jaar geleden.

H8. Grote groepen zoogdieren

De systematische indeling van de zoogdieren is grotendeels gebaseerd op het gebit, dat bestaat uit een van de hardste materialen die de natuur voortbrengt. Gebitten zijn aangepast aan het dieet van het dier; de vorm kan vaak snel evolueren. Het zoogdiergebit bestaat uit snijtanden, hoektanden, valse kiezen en ware kiezen, en het respectievelijke aantal daarvan wordt uitgedrukt in de zg. tandformule, bv. 3.1.4.3. Al snel in het Mesozoïcum (Trias, Jura en Krijt) ontstond een radiatie van zoogdieren in diverse ordes, families en geslachten. De meeste bleven tamelijk klein, leidden een nachtelijk bestaan en voedden zich voornamelijk met kleine ongewervelden. Primitieve zoogdieren zoals Morganucodon uit het vroege Jura hadden tot 4.1.4.5 tanden en kiezen per kaakhelft. Vervolgens blijkt reductie een belangrijke evolutionaire trend. Wijzelf hebben er nog maar 2.1.2.3. In het late Krijt bleven vier groepen over. We behandelen de eierleggende zoogdieren, de Monotremata; de succesvolle Multituberculata; de buideldieren of Metatheria en ten slotte placentale zoogdieren, de Eutheria of Placentalia. Beide laatste groepen hebben het eierleggen afgeschaft. Na het Krijt, in het Tertiair, ontstaan in rap tempo nieuwe groepen zoogdieren, vooral binnen de Placentalia. De 15 à 20 miljoen jaar die volgde op de massa-uitsterving aan het einde van het Krijt was de meest cruciale periode in de evolutie van de zoogdieren. Toen ontstonden alle thans nog levende zoogdierorden.

H9. Buideldieren en vroege groepen

De buideldieren, Marsupialia, deden het vooral goed op de eilandcontinenten Zuid-Amerika en Australië. Ze ondergingen er radiaties in convergentie met de placentale zoogdieren. Bij de placentale zoogdieren zijn twee vroege en later weer uitgestorven ordes van belang, de vroege hoefdieren, Condylarthra, en vroege roofdieren, Creodonta. Het vroege Eoceen, ca. 55-45 miljoen jaar geleden, markeert het ontstaan van de moderne zoogdierordes, die voor een deel uit deze twee groepen voortkwamen. Na het Eoceen begon het klimaat langzaam te verkoelen en met wat schommelingen bleef dat doorgaan tot de komst van de Pleistocene ijstijden. Het toneel was gereed voor een aantal mooie ontwikkelingen, zoals de evolutie van de paarden, de olifanten, de walvissen, de knaagdieren en de mens.

H10. Homo en de hobbit

De mens is een hominide, onderdeel van de orde der Primaten, die teruggaat tot het late Krijt. De oudste bekende primate is wellicht een lid van de Plesiadapiformes. De orde der Primaten valt grofweg in drieën uiteen: ten eerste de halfapen (lemuren, spookdiertjes en lori's), dan de Zuid-Amerikaanse apen, de zogenaamde breedneusapen, en tenslotte de smalneusapen, de apen van de Oude Wereld, waartoe de mensapen horen. De oudste mensapen leefden circa 35 miljoen jaar geleden, tijdens het Oligoceen. Ze heten *Propliopithecus* en *Aegyptopithecus*, in de tijd opgevolgd door *Proconsul* en *Dryopithecus*. Hieruit kwam uiteindelijk *Australopithecus* voort, die aan de basis stond van het geslacht Homo. Dit genus is meermalen vanuit Afrika over de andere continenten uitgewaaid. In 1861 werd de Neandertaler ontdekt, en in 1891 vond Dubois op midden-Java de eerste resten van *Homo erectus*. Vanaf 1925 werd de aandacht naar Afrika verlegd, door de ontdekking van *Australopithecus africanus*. Sindsdien zijn de belangrijkste mensenfossielen vooral in Oostelijk en Zuidelijk Afrika gevonden. Uit *Australopithecus* kwam *Homo* voort, van beide geslachten zijn ettelijke soorten beschreven. De taxonomie is echter nog lang niet uitgekristalliseerd. Een

bijzondere vondst betreft de zogenaamde hobbit, een dwergmens van het Indonesische eiland Flores.

H11. Van paarden, walvissen en olifanten

Als er geen woestijnen, ijskappen en mensen zouden zijn was de hele aarde groen, al die planten vormen het fundament voor de ecosystemen. De manier om die plantaardige biomassa beschikbaar te krijgen voor de biologische vervolgstappen is het op te eten: herbivorie. Er zijn altijd veel herbivoren geweest, ongewervelde zoals slakken, rupsen of bladspijdermieren en gewervelde. Herbivorie is in bijna alle denkbare groepen ontstaan. Sommige planteneters bereikten reuzenafmetingen, maar ook de meeste knaagdieren zijn herbivoor. Drie groepen herbivore dieren horen tot de canon van de vertebratenpaleontologie: de paarden, de olifanten, en de zg. Cetartiodactyla: runderen + walvissen.

De paardenevolutie speelde zich voornamelijk in Noord-Amerika af. Paarden zijn onevenhoevigen (Perissodactyla). Het is een schoolvoorbeeld van vormveranderingen in directe relatie met omgevingsveranderingen. Van kleine, bosbewonende en bladetende dieren ter grootte van een hond, met vier of drie tenen en kleine laagkronige kiesjes, tot grote dieren met hoogkronige kiezen die zijn aangepast aan het eten van sterk afslijtend gras, en met lange poten met maar één teen als optimale aanpassing aan leven op vlaktes. De overgang van bos naar grasland is een gevolg van klimaatsveranderingen in het Mioceen en daarna.

De evenhoevigen (Artiodactyla) komen voort uit kleine Eocene hoefdierdieren zoals *Indohyus*, die zelf weer van een Condylarthra-achtige voorouder stammen. Vanuit *Indohyus* en zijn verwanten gingen in het Eoceen twee evolutielijnen verder. De ene leidde uiteindelijk tot de koeien en de herten (Artiodactyla), de andere tot ... de walvissen (Cetacea). Deze zeebewoners evolueerden tot de grootste zoogdieren ooit. De grootste landzoogdieren die nog leven zijn de olifanten: de derde groep uit de klassieke canon van de zoogdierevolutie. Olifantachtigen behoren tot een grotere groep oorspronkelijk Afrikaanse zoogdieren, de Afrotheria, samen met o.a. de zeekoeien, de klipdassen en het aardvarken. Ze leefden uiteindelijk op alle bewoonbare continenten behalve Australië.

H12. De echte succesnummers: muizen en vogels

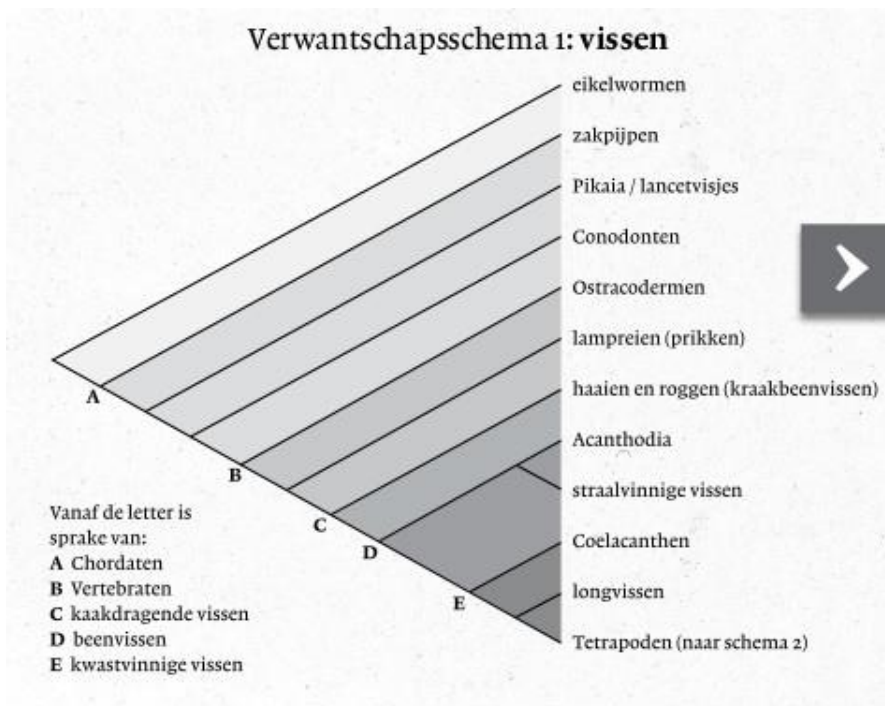
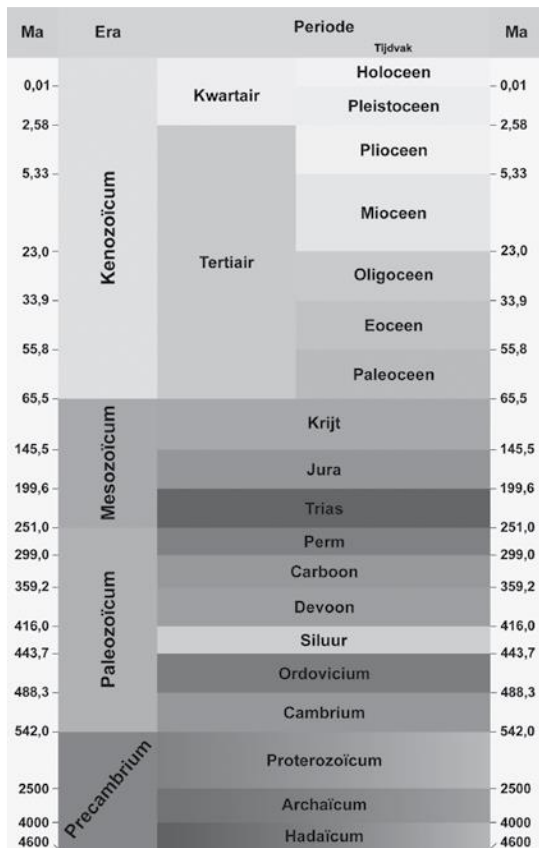
De echte succesnummers van de zoogdierevolutie zijn de knaagdieren, die al volledig ontwikkeld in het Eoceen voorkwamen. Knaagdieren zijn voor paleontologen om meerdere redenen belangrijk: er worden heel veel fossielen gevonden (kiesjes); ze evolueren snel en zijn daardoor geschikt om de ouderdom van aardlagen vast te stellen; en ze zijn bruikbaar voor paleo-ecologisch onderzoek. De knaagdierpaleontologie is mede daarom een aparte specialisatie binnen de zoogdierpaleontologie.

In 1855 ontdekte men *Archaeopteryx*, aanvankelijk beschreven als een kleine Pterosauriër en vervolgens beschouwd als een missing link tussen de reptielen en de vogels. Maar vogels zijn eigenlijk reptielen, Diapside dino's. Dankzij de uitzonderlijke preservatie van de fossielen uit de Beierse groeve Solnhofen weten we dat het dino'tje *Archaeopteryx* veren had. *Archaeopteryx* had ook nog een aantal echte reptielenkenmerken: o.a. een bek vol tandjes, vingers met klauwtjes aan de vleugels en een lange serie staartwervels en het is, met een leeftijd van ongeveer 135 miljoen jaar, de oudste oervogel. Veel fossiele vogels komen uit de Chinese *Lagerstätten* van Lioaning. Vogels zijn dinosauriërs, waardoor de rest van de dino's bekend staat als *non-avian dinosaurs*.

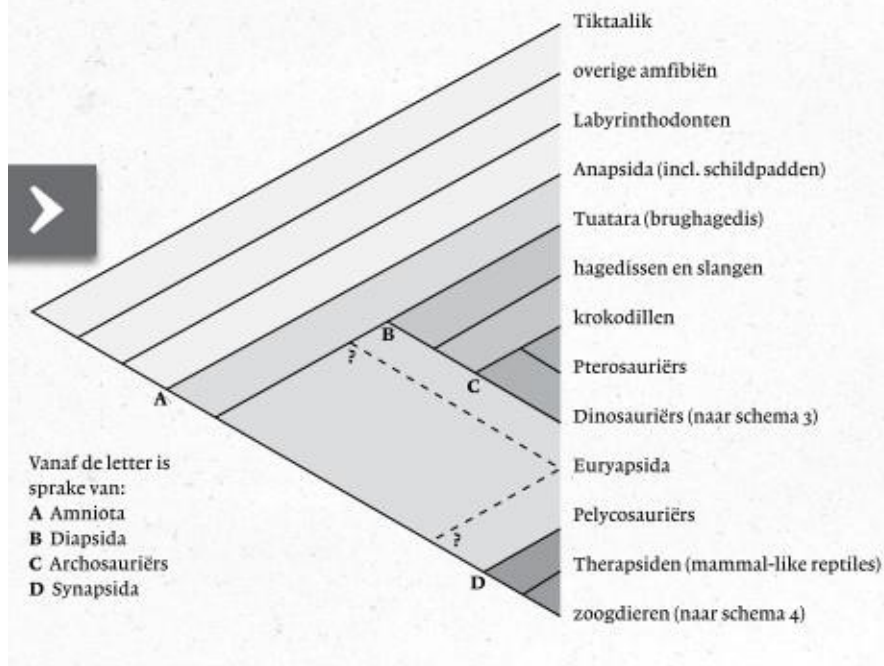
Ze overleefden als enige dino-groep de K-T grens, en er zijn tegenwoordig ca. 10.000 soorten. Dat zijn er veel meer dan de ca. 4.000 zoogdiersoorten. Afgaande op wat de natuur ons voorschotelt leven we tegenwoordig in The Age of Birds, of, systematisch beter gezegd: *The Age of Avian Dinosaurs*.

Verwantschapschema's

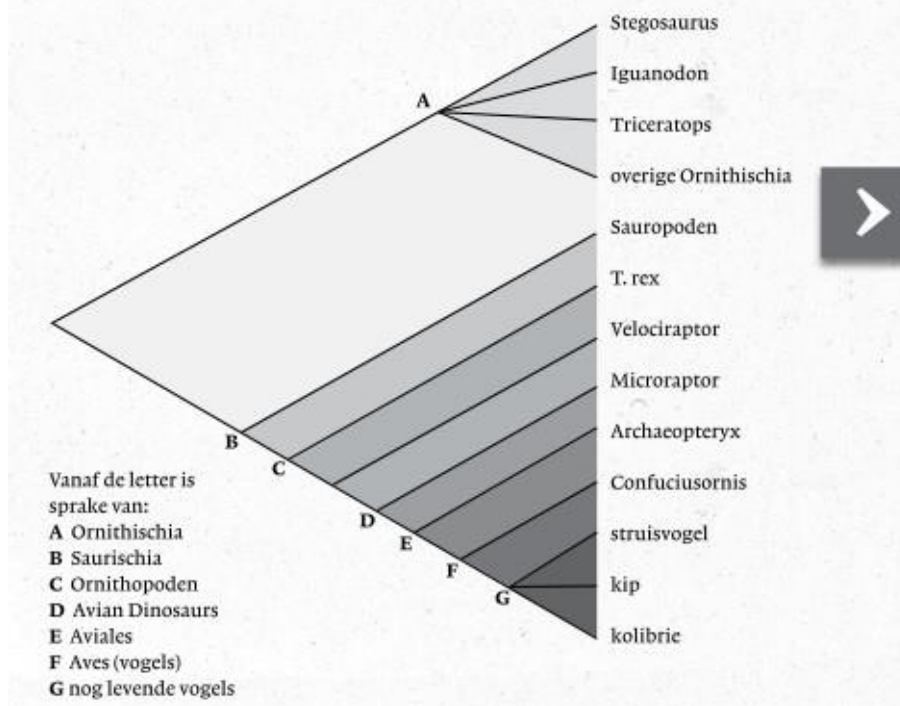
Geologische tijdschaal, met vermelding van ouderdommen in miljoenen jaren (Ma).



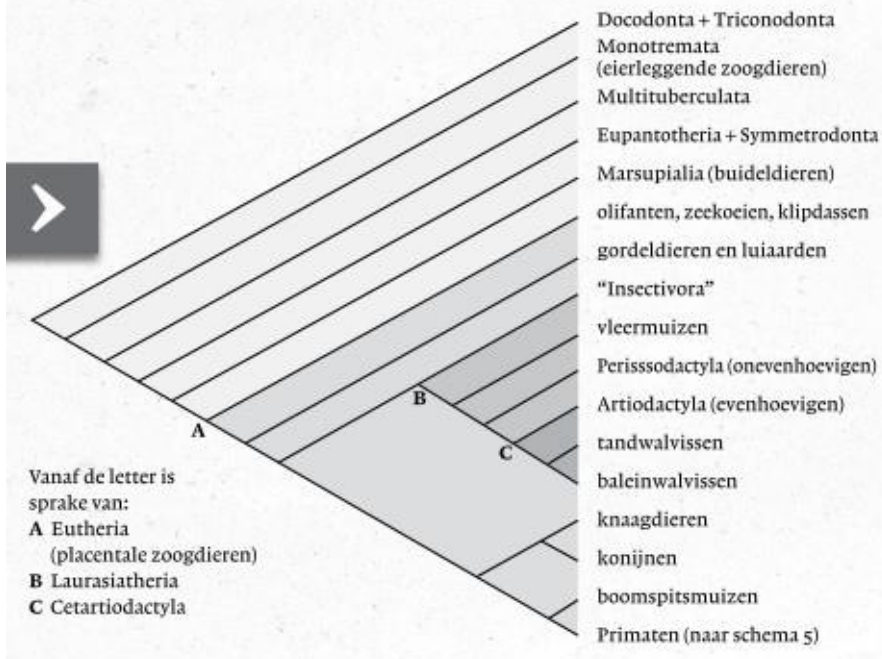
Verwantschapsschema 2: groepen tetrapoden



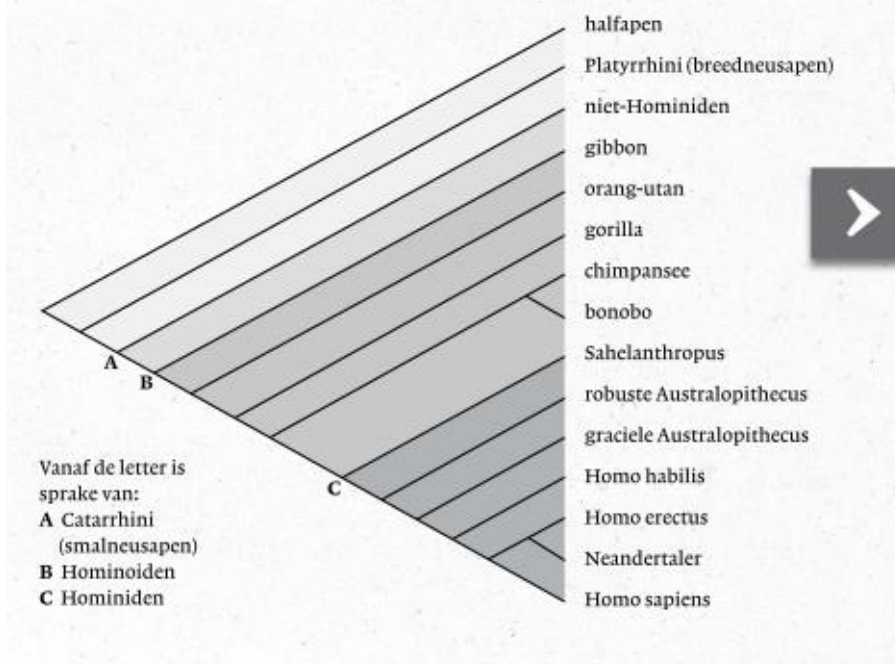
Verwantschapsschema 3: dino's



Verwantschapsschema 4: zoogdieren



Verwantschapsschema 5: primaten



Colofon

Home Academy geeft hoorcolleges uit voor thuis en onderweg. Direct te downloaden of onbeperkt te beluisteren in de Home Academy Club. Interessante onderwerpen, van geschiedenis tot natuurwetenschappen, voorgedragen door boeiende sprekers. Zo kan je kennis opdoen in de auto, in de trein, op de fiets of thuis op de bank. Download de Home Academy app voor het beluisteren van onze hoorcolleges op een mobiel of tablet.

Kijk verder op www.home-academy.nl

Uitgave Home Academy Publishers
Middelblok 81
2831 BK Gouderak
Tel: 0182 – 370001
E-mail: info@home-academy.nl

Opname	Sandro Ligtenberg (Utrecht, 18 mei 2006)
Stem Inleiding	F.C. van Nispen tot Sevenaer
Muziek Intro	Cok Verweij
Mastering	Frits de Bruijn
Vormgeving	Floor Plikaar

© Hoorcollege Copyright 2006 Home Academy Publishers B.V.
ISBN 978 90 8530 973 4
NUR 922, 77, 78

Alle rechten voorbehouden. Behoudens de in of krachtens de Auteurswet van 1912 gestelde uitzonderingen, mag niets uit deze uitgave worden vervoelvoudigd, uitgeleend, verhuurd, uitgezonden, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door (foto)kopieën, opnamen of enig andere manier, zonder voorafgaand schriftelijk toestemming van de uitgever.