

Draakjes met veren - vliegende dino's uit China

door Anne Schulp, Natuurhistorisch Museum Maastricht

Vogels zijn eigenlijk vliegende dinosauriërs. Unieke fossielen uit China leveren nieuw bewijs voor de verwantschap tussen de angstaanjagende roofdinosauriërs die we uit de Jurassic Park-films kennen, en onschuldige beestjes als het roodborstje, de tijtjaf en de huismus.

Zes uitzonderlijk goed bewaard gebleven fossielen van gevederde dinosauriërs uit het Chinese Liaoning zijn nu, in bruikleen van het museum in Beijing, voor het eerst in Europa te zien. Voor de expositie *Draakjes met veren* is in een samenwerking tussen het Natuurhistorisch Museum Maastricht en het Natuurhistorisch Museum Beijing een zorgvuldige keus gemaakt uit de beide collecties.

De zes fossielen uit het Chinese Liaoning behoren tot de topstukken van het museum in Beijing. Het gaat om nationaal erfgoed van China, dat nu éénmalig, met speciale toestemming van twee Chinese ministeries in Nederland te zien is. In de expositie wordt het Chinese materiaal aangevuld met de recentelijk ontdekte fossiele dinovogels uit het Maastrichtse Krijt. Van kleine dinosauriërs met een vacht, via de viervleugelige dinosauriër *Microraptor*, tot oervogels met én zonder tanden, vertelt de expositie *Draakjes met veren* het verhaal van de evolutie van de vogels en de ontwikkeling van de vliegkunst (afb. 1).

Unieke conservering

Het zijn vooral de fossielen uit Liaoning in China die het verhaal van het ontstaan van de eerste vogels vertellen. Veel van die fossielen zijn zó goed bewaard gebleven, dat je

zou denken dat ze gisteren nog leefden. De zes 'gevederde draakjes' uit Liaoning die nu in Nederland te gast zijn, zijn stuk voor stuk honderdtwintig miljoen jaar oude dinosauriërs die al hard op weg zijn 'vogel' te worden, en fossiele vogels die nog allerlei 'dinosaurus'-eigenschappen hebben: evolutie op heterdaad betrapt!

De Liaoning-fossielen zijn afkomstig uit een kilometers dik pakket versteende klei, modder en vulkanische as, in het Vroeg-Krijt gevormd op de bodem van een meer. De fijne as, die bij elke vulkaanuitbarsting in het meer neerdaalde, zorgde ervoor dat de resten van dieren die op de bodem van het meer terecht kwamen, tot in het fijnste detail bewaard bleven. In de groeves rond Liaoning komen Krijtlagen aan de oppervlakte. Vondsten van perfect bewaard gebleven dinosaurus-vogels behoren echter tot de grote zeldzaamheden. Ze zijn daardoor – vooral op de zwarte markt – veel geld waard. Maar vooral zijn ze van groot wetenschappelijk belang. Daardoor is het opgraven en uithakken van fossielen in sommige dorpen uitgegroeid tot een echte industrie.

De stamboom van de vogels

Wanneer is een vogel een vogel? Als hij veren heeft? Een snavel? Als het dier kan vliegen? De fossielen uit Liaoning laten zien dat sommige dinosauriërs ook al in een verenkleed gehuld gingen. Veren zijn dus niet een typische vogeleigenschap. Een 'echte', tandeloze vogelsnavel dan? Uit Liaoning, én uit Maastricht, kennen we vogelfossielen die nog duidelijke, puntige dinosaurustanden in hun bek



Afb. 1. Een overzicht van de tentoonstelling.



Afb. 2. De klauwen van *Deinonychus*, de 'verschrikkelijke-klaau-dino' laten duidelijk zien dat deze dino een vleeseter was.

hebben. Waar ligt dan de grens? Is een vogel pas een vogel als hij kan vliegen? Is onbeholpen fladderen, of een halfgeslaagde zweefduik ook al 'vliegen'? Als de fossielen uit Liaoning ons één ding leren, is het wel dat de ontstaansgeschiedenis van de vogels bezaaid ligt met vreemde tussenschakels en doodlopende zijsporen.

Negen fossiele dinosauriërs en vogels, allemaal te zien in de draakjes-expositie, vertellen het verhaal van de ontwikkeling van de vliegkunst en de evolutie van de vogels. Stap voor stap krijgen de dino-vogels de vliegkunst onder de knie. In zestig miljoen jaar tijd veranderen dino's met klauwen, tanden en een vacht, in vogels met veren en een snavel.

Roofdino's

Deinonychus, de 'verschrikkelijke-klaau-dino', heet de bezoeker welkom aan het begin van de stamboom (afb. 2).

Deinonychus was een behendige roofdinosaurius van ruim twee meter lang, bekend uit Noord-Amerika. De Amerikaanse paleontoloog John Ostrom had zo'n veertig jaar geleden de overeenkomsten tussen vogels en *Deinonychus* al goed in de gaten. Maar Ostrom had alleen de botten om mee te werken. De gevederde dino's uit China waren toen nog onbekend. Het verhaal van de evolutie van de vogels begint bij deze Dromaeosauriërs, een groep van snelle, vleesetende dinosauriërs, waar *Deinonychus* en *Velociraptor* (bekend uit Jurassic Park-films) bij horen, en – sinds kort – ook twee bijzondere, nieuw-ontdekte gevederde dino's uit China. Die kleine, vleesetende dino's waren waarschijnlijk een stuk actiever – en warmbloediger – dan de meeste andere reptielen. Wat begon als pluizige isolatie, leverde de kleinere roofdinosauriusjes een onverwacht voordeel op: die opvallende pluimen en die rare veren kwamen geweldig goed van pas bij het rennen, springen en duikelen in de boom. Vacht wordt veer en arm wordt vleugel. De Chinese fossielen tonen dat stukje evolutie in ongekend detail.

Via *Sinornithosaurus millenii*, de 'Chinese-vogel-saurus-ter-ere-van-het-millennium', een griezelige dat in een vachtje van hoogpolig tapijt gehuld gaat, komen we bij *Microraptor gui* uit. Deze viervleugelige fladderdinosaurius deed 120 miljoen jaar geleden hetzelfde als wat de 'vliegende eekhoorn' tegenwoordig doet: van boom naar boom duikelen. Maar waar de vliegende eekhoorn een velletje tussen zijn voor- en achterpoten heeft, heeft *Microraptor* vier echte vleugels met goed-ontwikkelde veren. Echt fatsoenlijk vliegen kon het dier waarschijnlijk nog niet, daar waren de vleugels te klein voor, maar een behendige zwever was het zeker. Ook *Microraptor* is een *Deinonychus*-achtige dinosaurius, maar al wel één die echte vleugels heeft. Paleonto-



Afb. 3. *Changchengornis*. De uitzonderlijke goede conservering van deze fossielen geeft de mogelijkheid om de vliegkwaliteiten van deze dino's in te schatten.

logen denken dat *Microraptor* zich met zijn kleine klauwtjes goed op boomtakken kon vasthouden. Met de voorpootvleugels kon het dier fladderen en sturen, de spieren in de achterpoten waren minder sterk ontwikkeld. Waarschijnlijk gebruikte *Microraptor gui* zijn achterste vleugels vooral om zijn zweefvlucht te stabiliseren.

Oervleugels

Veren worden alleen onder heel bijzondere omstandigheden fossiel. In de vulkanische aslagen van Liaoning vinden we resten van gevederde reptielen, maar ook uit Duitsland kennen we een paar voorbeelden. *Archaeopteryx*, letterlijk 'oude vleugel', staat als sinds jaar en dag bij paleontologen bekend als 'de' oervogel. De vondst van dit eerste gevederde fossiel uit Duitsland viel nagenoeg samen met de publicatie van Charles Darwin's evolutietheorie. De veren maken het een vogelachtig dier, de lange staart-met-botjes en de bek met tanden zijn typisch reptielachtig. Een gedroomde tussenvorm dus, waarvan het mooiste fossiel veilig in Berlijn in een kluis ligt. Zelfs het exemplaar dat in Berlijn in het museum (en hier) te zien is, is een kopie. *Archaeopteryx* komt uit wat oudere gesteentelagen dan de fossielen uit Liaoning. Toch kon ook deze oervogel al redelijk vliegen. Je zou het daarmee één van de eerste 'experimenten' met de vliegkunst van de gevederde dinosauriërs kunnen noemen.

Confuciusornis (we zijn weer terug in China) is de oudste vogel met een 'moderne' snavel, een snavel van hoornachtig materiaal die we van de huidige vogels kennen. Zelfs de typische dinosaurustanden is dit dier al helemaal kwijtgeraakt. *Confuciusornis* leefde waarschijnlijk in grote kolonies aan de oever van een meer, want paleontologen hebben honderden exemplaren gevonden in een klein gebied. "Misschien zijn ze allemaal bij een vulkaanuitbarsting in de giftige gassen gestikt," zegt één van de paleontologen die deze vondsten onderzocht.

Er zijn duidelijke aanwijzingen voor een bos langs de oevers van het Liaoningmeer, en het lijkt er op dat *Confuciusornis* een echte boombewoner was. De gekromde klauwen zijn daar een aanwijzing voor, want die zijn prima geschikt om je op boomtakken mee vast te klemmen. Ook de enorm lange, dunne staartveren (bij de mannetjes) vertellen dat we waarschijnlijk met een boombewoner te maken hebben – zulke lange, dunne veren laat je immers niet over de grond slepen. De opvallende staartveren waarmee korhoenders, pauwen, fazanten en talloze andere vogels 'goede sier' maken, kennen dus al een lange geschiedenis.

Confuciusornis, en de nauw-verwante *Changchengornis* waren al behoorlijk goede vliegers. De veren zijn aan de achterkant langer dan aan de voorkant ("asymmetrische veren") waardoor ze de vogel veel beter in de lucht houden. Ook uitsteeksels aan het opperarmbeen zijn goed ontwikkeld: een aanwijzing dat er al tamelijk forse vliegspieren aan vast zaten (afb. 3).

Vliegtuigbouw

De volgende ontwikkeling komen we tegen bij *Longchengornis*. Vogels als *Confuciusornis* waren al behendige vliegers, maar één handigheidje hadden ze nog niet: de 'alula'. Die 'alula' is de volgende stap in de evolutie van de vliegkunst: een extra gevederd 'klepje' vooraan de vleugel. Vogels als *Longchengornis* en *Longirostravis* hebben zo'n extra vleugellep, waarmee ze – vooral bij lagere snelheden – beter kunnen sturen en de luchtstroom langs de vleugel nog beter benutten. Ook vliegtuigbouwers maken tegenwoordig dankbaar van dat handigheidje gebruik (afb. 4).

De vondst van vogels als *Longirostravis* laat zien dat zo'n 120 miljoen jaar geleden de verschillende 'oervogels' al behoorlijk divers waren. We zien niet één rechte lijn van dino naar vogel, maar een dikke stamboom, met talloze takken waarin we allerlei aparte specialisaties tegenkomen. *Longirostravis hani* is zo'n gespecialiseerde vogel. Het dier heeft een lange, spitse, ietwat gebogen snuit. De onderzoekers die deze soort beschreven denken dat *Longirostravis* de lange snuit gebruikte om voedsel uit de modder te plukken. Voorin de bek zitten een paar tanden – misschien om wormen mee beet te pakken; de rest van de snuit is tandeloos. Eigenlijk lijkt de bek nog het meest op de snavel van een wulp, maar dan dus wel één met tanden.

Ook uit Maastricht kennen we resten van dino-vogels. Omdat de Maastrichtse kalksteen 66 miljoen jaar geleden op de bodem van een tropische zee gevormd werd, maakten vogels nauwelijks een kans fossiel te worden, want de talloze zeedieren knaagden graag aan de resten van een dode vogel, en ook stroming was bepaald niet goed voor breekbare botten. We kennen een paar losse vogelbotjes uit het Maastrichtse Krijt, en één fossiel waarvan wat meer botten bewaard gebleven zijn. Die vondst is dan ook meteen de eerste van de duikende, visetende zeevogel *Ichthyornis* uit Europa. Bij de Limburgse oervogel is de verwantschap met de dinosauriërs nog steeds goed te zien: het dier



Afb. 4. Fossiel van een *Longirostravis*.

had een spitse bek met vlijmscherpe dinosaurustandjes.

De ouderdom van het fossiel is bijzonder: het is de alleraatste 'ouderwetse' vogel die ooit gevonden is; gedateerd op $\pm 65,8$ miljoen jaar, leefde de vogel vlak voor het eind van het dinosaurustijdperk. De oervogel is afkomstig uit de kalksteengroeve van CBR-Romontbos, bij Maastricht net over de Belgische grens. Hij is gevonden door Ruud Dertangs, de amateur-paleontoloog die eerder al de nieuwe Mosasaurus 'Bèr' ontdekte.

Maar met het eind van het Krijt is het definitief afgelopen. Samen met de dinosauriërs legt zo'n driekwart van alle soorten het loodje. Een enorme meteoriet boort zich in het schiereiland Yucatán in Mexico. De hitte, het stof, de schokgolf, de tsunami's, en vooral de wereldwijde zonsverduistering, de zure regen en de klimaatsveranderingen markeren het einde van het dinosaurustijdperk. Een klein groepje

vogels slaagt er in om in de nasleep van de wereldwijde milieuramp toch nog hun kostje bij elkaar te scharrelen. Maar ook onder de vogels is de slachting enorm. Ook bij de 'tanden'vogels zoals de Maastrichtse *Ichthyornis* zijn er geen overlevenden. De enige dinosauriërs die de inslag overleefden zijn de tandeloze fladderdinosauriërs, beter bekend als de 'echte' vogels.

De 'Draakjes met veren' waren in juli en augustus 2006 te zien in het Natuurhistorisch Museum Maastricht. Van 9 september tot en met 5 november 2006 staat de tentoonstelling in het Natuurhistorisch Museum Rotterdam.

www.nhmmaastricht.nl
www.nhmmaastricht.nl/nederlands/exposities/draakjes/index.html
www.nmr.nl

GEOCOMpositie 1

Nieuwe vorm van koolstof bedreigt exclusief karakter van diamant

Fysici van de Universiteit van Bayreuth (Duitsland) zijn er in geslaagd om uit koolstof een materiaal te vervaardigen dat nog harder is dan diamant. Het heeft ook een iets grotere massa (soortelijk gewicht), maar het verschil met diamant is slechts 0,2-0,4%. De nieuwe stof staat inmiddels bekend als ADNR (aggregated diamond nanorods).

Diamant ontleent zijn hardheid aan de bijzondere binding van de koolstofatomen: ieder atoom is met vier andere koolstofatomen verbonden via vier sterke covalente bindingen. ADNR heeft een heel andere structuur: het is opgebouwd uit kleine staafjes diamant die in elkaar grijpen. Elk van deze staafjes vormt op zichzelf een kristal met een diameter van 5-20 nanometer en een lengte van ongeveer een micron. Deze structuur levert een zeer hard materiaal op (hardheid is gedefinieerd als de weerstand die een ander materiaal ondervindt als het het oppervlak van de desbetreffende stof wil binnendringen; het wordt gemeten op basis van zijn bulk modulus (bij gelijkblijvende temperatuur): de vormverandering bij verandering van druk). De bulkmodulus voor ADNR is 491 gigapascal, dat is aanzienlijk meer dan de waarde van 442 GPa die voor diamant geldt.

De onderzoekers slaagden erin om deze harde stof te fabriceren door 'buckyballs' (de voetbalvormige moleculen van C_{60}) samen te persen onder een druk van 24 GPa (~ 240.000 atm), bij een temperatuur van 2500 K (~ 2225 °C). Dit gebeurde met een zeer bijzonder apparaat waarover het Bayerisches Geoinstituut in Bayreuth beschikt. Vergelijkbare omstandigheden moeten in het inwendige der aarde heersen

op de grens tussen binnen- en buitenmantel. Dat betekent dat daar in principe ADNR kan ontstaan; of dat ook werkelijk het geval is, valt te betwijfelen omdat er waarschijnlijk onvoldoende concentraties van koolstof op de grens tussen binnen- en buitenmantel aanwezig zijn. ADNR mag dan ook niet als een nieuw mineraal worden beschouwd.

De eigenschappen van het ADNR dat bij de experimenten ontstond, werden gemeten op de European Synchrotron Radiation Facility in Grenoble. Daarbij bleek dat de dichtheid van ADNR 0,3% groter is dan van diamant, en dat het minder samendrukbaar is dan enig ander bekend materiaal. Daarmee lijkt industriële toepassing zeer goed mogelijk, vooral als vervanging van diamant. Zo wordt diamant veel toegepast als dunne laagjes voor elektrochemische processen. Dat houdt verband met het feit dat diamant weliswaar een perfecte isolator vormt en elektrische stroom slecht geleidt, maar dat het door toevoeging van wat borium of stikstof in een halfgeleider kan worden veranderd. Dergelijke halfgeleiders van diamant worden gebruikt voor toepassingen bij hoge temperaturen, want boven zo'n 175 °C werken de 'gewone' op silicium gebaseerde halfgeleiders niet goed meer. ADNR zou een goed alternatief zijn voor deze toepassing van diamant. Ook zou het gebruikt kunnen worden als materiaal voor precisieboren, waarvan de metalen boorkoppen nu gewoonlijk worden voorzien van een laagje van diamant. ADNR zou deze diamant kunnen vervangen, omdat het door zijn grotere sterkte langer meegaat. Er zijn overigens ook tal van andere toepassingen denkbaar. Hiermee lijkt diamant niet alleen een aantal records te verliezen, maar ook van zijn status als nauwelijks vervangbaar materiaal te worden beroofd.

Dubrovinskaia, N., Dubrovinsky, L., Crichton, W., Langenhorst, F. & Richter, A., 2005. Aggregated diamond nanorods, the densest and least compressible form of carbon. *Applied Physics Letters* 87, 083106.

A.J. van Loon