

# DE TONG VAN DE SLANG

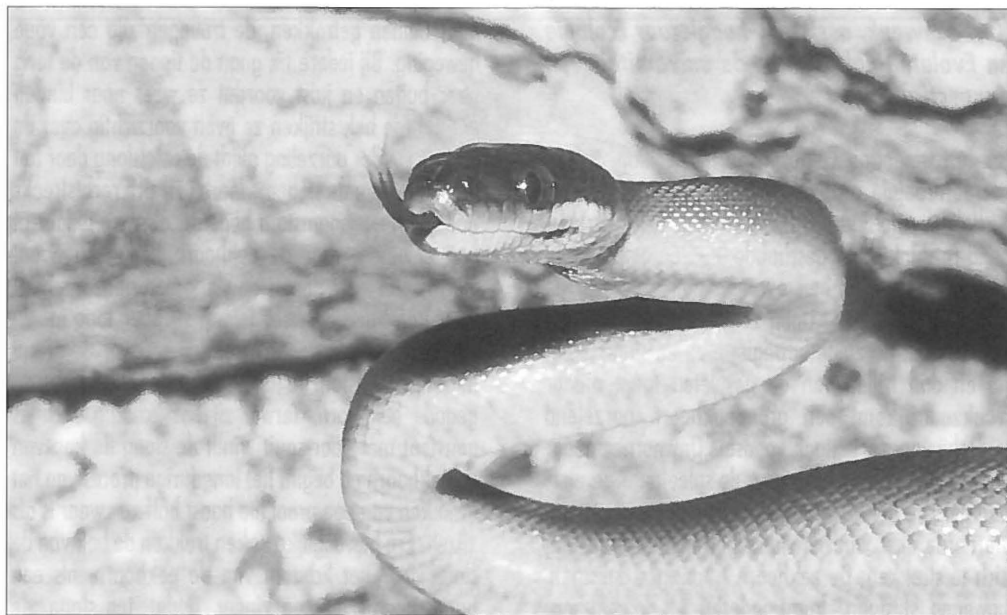


**Kurt Schwenk, assistent-hoogleraar Ecologie en Evolutie-biologie aan de universiteit van Connecticut, Storrs.**

Op een winderige Californische berghelling, tussen het verdroogde gras en levende eiken, wacht een westelijke ratelslang. Opperold onder een overhangend rotsblok; haar geschubde huid en getemperde kleurschakering komen overeen met het gras, de grond en de stenen. Ogen zonder oogleden staren doorborend, de enige beweging van de slang is het nu en dan trillen van de gespleten tong. Aldoor waakzaam komt een grondeekhoorn aarzelend naderbij, op zoek naar voedsel. Onwaarneembaar verstrakt het slangenlichaam, de spleetpupillen worden gericht, het als een harmonica opgevouwen eerste derde deel van het slangenlichaam is klaar om zich te strekken. De eekhoorn - bewegen, stilstaan, bewegen, stilstaan - komt naderbij. Als de eekhoorn binnen bereik is, strekt de slang zich explosief, zich op het zich nog van geen kwaad bewuste dier werpend. Terwijl zij de korte afstand naar de prooi overbrugt, opent de slang haar bek en richt de formidabele giftanden op. Te laat ziet de eekhoorn de slang en kijkt de dood in de ogen. Hij wordt teruggeworpen door de slag van het treffen van de slangenkop, op de giftanden gespietst en tot diep in het binnenste vergiftigd. De ratelslang laat de eekhoorn los en na de geconcentreerde hevigheid van haar aanval, lijkt zij vreemd ongeïnteresseerd als de eekhoorn in paniek wegvlucht. De eekhoorn gaat snel langzamer, want elke hartslag pompt het vergif verder en verder door zijn systeem. Het vergif, een heksenbrouwsel van enzymen en andere componenten, is al aan het verteringsproces begonnen binnen in het lichaam van de eekhoorn. Nu, vijftien meter verder, zoekt het ter dood veroordeelde dier bescherming in een holte van een boomstronk, waar de zware ademhaling snel ophoudt. Dan gaat de slang langzaam op pad. Haar tong wordt constant uitgestoken en weer

naar binnen getrokken, de trillingen zijn een vage beweging. Bij iedere tik gaan de tippen van de tong naar buiten en juist voordat ze weer naar binnen gaan in de bek strijken ze even voorzichtig over de grond. Zonder aarzeling glijdt de ratelslang door het gras en tussen de stenen, waarbij zij zich rechtstreeks naar de holle boomstam begeeft, alsof zij aldoor al had geweten waar de eekhoorn heen zou gaan. Slechts één keer neemt de slang een pauze, schudt haar kop heen en weer terwijl zij haar tong in- en uitsteekt. Dan beweegt zij zich weer over de grond naar de boomstam en het nog warme lichaam van de gedode eekhoorn. Terwijl zij het lichaam zachtjes aanstoot met haar snuit, vindt de slang de kop van de eekhoorn en begint het langdurige proces van het inslikken van een prooi die haast half zo zwaar is als zijzelf. Erg beweeglijke kaken trekken de bek van de slang over het lichaam van de eekhoorn, als een handschoen over een vinger, totdat, ten slotte, de peristaltische bewegingen en een laatste s-bocht van de slangennek de eekhoorn naar de maag van de slang duwen, waar het verteringsproces zal worden voortgezet. De activiteit van het vergif verzekert dat de eekhoorn zal zijn verteerd voordat hij kan bederven en de slang kan vergiftigen. Veilig in de holle boomstam, haar bescheiden behoefte aan energie bevredigd, zal de slang verscheidene weken of maanden niet meer jagen.

Dit drama speelt zich in een of andere vorm dagelijks af over de hele wereld met bijna 3000 soorten slangen. Terwijl we geneigd zouden zijn om medelijden te hebben met ons ongelukkige zoogdierverwanten, moeten we echter een slang met tegenzin bewonderen met haar verbazingwekkende vermogen om te lokaliseren, te identificeren, af te maken om uiteindelijk haar met bont beklede slachtoffer terug te vinden. Valkuilen voor de prooien zijn de diverse waarnemingsorganen van de slang; scherp zicht bij de meeste soorten en bij sommige andere



*Liasis fuscus. Mooie afweerhouding met goed zichtbaar het tongelen. Foto: Brian Barnett*

de mogelijkheid kleuren te zien; het gehoor dat vooral gevoelig is voor de geluiden van lage frequentie, zoals op de bodem veroorzaakte trillingen; de chemische waarneming van de reuk en bij sommige soorten zoals de ratelslangen en de grote wurgslangen, warmtereceptoren. De veruit belangrijkste, overgevoelige waarnemingsmanier echter, die alle slangen gebruiken, is een andere en minder bekende chemische waarneming, verwant aan de reuk en bekend als het vomero-nasaalsysteem. Slangen wonen in een wereld die rijk is voorzien van chemische aanwijzingen die de dieren leiden in de fundamenteelste levensactiviteiten, van het vinden van voedsel tot het lokaliseren van potentiële partners. In het middelpunt van dit drama staat een opmerkelijk klein orgaan, geheimzinnig en gevreesd: de gespleten tong van de slang, een symbool van boosaardigheid en bedrog. Afbeeldingen van gespleten tongen verschenen in oude

beeldschriften van Mesopotamië en China, inscripties in stenen in Oost-Afrika en de religieuze iconengeschriften van culturen, uiteenlopend van de Azteken, de Siberische Altai tot de Soemeriërs van Babylon. Vroege natuurgeleerden zoals Aristoteles, bespraken de gespleten slangentong. In werkelijkheid zijn slangen en hun gespleten tongen zó diep ingebed in onze gemeenschappelijke ziel, dat ik verrast was te ontdekken dat een voor de hand liggende vraag niet volledig was beantwoord: waarom zijn slangentongen gespleten? Zulke vragen zijn het zout in de pap van de evolutiemorfologen zoals ik en daar ik iemand ben (ik aarzel om het toe te geven) die zich heeft gespecialiseerd in de anatomie, functie en evolutie van tongen, dacht ik dat ik het antwoord moest weten. Bij het vinden van het antwoord leerde ik niet alleen veel over slangen, maar ook iets over aard van wetenschappelijke vooruitgang.





Anders dan de wat duistere stukken anatomie waar ik me gewoonlijk over buig, zijn de in het oog vallende slangentongen door de jaren heen een bron geweest van speculaties. Opgetekend onderzoek naar hun functie begint, zoals voor de meeste wetenschappelijke onderwerpen, bij Aristoteles, die, redenerend met zijn eigen tong als basis, beweerde, dat de gespleten tong de slangen 'een tweevoudig plezier van smaak [oplevert], daar de smaaksensatie werd verdubbeld.' Hodierna, een Italiaanse geleerde uit de zeventiende eeuw, dacht, dat slangen de punten van de tong gebruikten 'om het vuil uit hun neus te halen, dat hen anders makkelijk kon verstopen, omdat ze altijd over de grond of in holtes in de aarde schuifelen.' Velen zijn er van overtuigd dat de tong een prikker is, vooral bij giftige soorten, en anderen zeggen dat ze er getuige van waren dat de slang er vliegen mee ving tussen de punten van de tong.

De heersende wetenschappelijke mening gedurende de eerste helft van deze eeuw was, dat het trillen van de tong en de fijn gespleten tong zelf deel uitmaakten van een tastmechanisme, dat slangen voorziet van een zintuig om heel goed te voelen. Jammer genoeg kunnen deze kleurrijke en zelfs aangename verklaringen van de functie van de gespleten tong niet langer worden geaccepteerd. Het idee van Aristoteles is, evenals onze sympathie voor de eekhoorn, minder gebaseerd op wetenschap dan op antropomorfisme. Maar anders dan bij de mens het geval is, ontberen slangen smaakpapillen op hun tongen en missen ze bijgevolg het genot van de smaak. En hoewel ik de symmetrie waardeer die wordt uitgedrukt in Hodierna's hypothese (twee neusgaten, twee tongpunten), heb ik veel tijd gespendeerd aan het waarnemen van slangen en ik heb er nooit één gezien met zijn neusgaten verstopt door vuil en ook nooit één met zijn tong in zijn neus. Evenzo zijn het idee van de prikker en de vliegen-

vanger zonder basis en het vaak trillen van de tong in de lucht zonder dat de bodem of een ander object wordt aangeraakt weerlegt zijn rol als tastorgaan.

In een reeks elegante proeven die uitgevoerd werden in Duitsland en in Amerika in de jaren twintig en dertig van deze eeuw werden de eerste wetenschappelijke aanwijzingen geleverd voor de functie van het trillen met de tong bij slangen en leidden die proeven direct tot nieuwe ideeën over het functioneren van de gespleten tong. Onderzoekers toonden aan, dat de sleutel tot het geheim van het tongtrillen te vinden is in twee kleine orgaantjes die naast elkaar liggen in de snuit van de slang, juist boven het monddak. Ze worden Jacobson's organen genoemd, naar de ontdekker ervan en worden tegenwoordig meestal aangeduid als het vomero-nasale orgaan of VNO. Deze kleine bolvormige structuren ontwikkelen zich als een uitstulping van de neusholte, raken daarvan geïsoleerd en vormen elk apart een verbinding met de mondholte door een opening in het gehemelte. Elk VNO bevat zijn eigen klein kussentje zintuigcellen. Deze cellen hebben zenuwen die ze verbinden met het olfactorische gedeelte van de hersenen, hoewel niet met hetzelfde gedeelte van dit hersengedeelte dat is verbonden met de zintuigcellen van de neus van de slang. Wat de onderzoekers ontdekten, was dat het tongtrillen chemische deeltjes aflevert in de bek die hun weg vinden naar de openingen en het VNO, waar ze de zintuigcellen prikkelen. Dit voorziet slangen (en hun naaste verwanten, de hagedissen) van een chemisch zintuig, vergelijkbaar met de reuk, maar anders en ervan verschillend. Hoewel veel zoogdieren en andere vertebraten ook in het bezit zijn van een VNO dat ze op verschillende manieren aansturen, hebben wij mensen evenmin een vomero-nasale orgaan zoals slangen smaak hebben.

Hoewel het vaststond dat de tong reukstoffen afleverde in de mond, was het onbekend hoe het trans-

portmechanisme naar het VNO werkte. In de jaren twintig suggereerden enkele Duitse onderzoekers, dat de slanke topjes van de gespleten tong ingevoerd moest worden in de openingen van het VNO, om zo de stoffen direct af te leveren. Deze veronderstelling was zó elegant, dat ze haast onmiddellijk werd geaccepteerd en eigenlijk een dogma werd. Het enige probleem met de theorie is dat het wordt tegengesproken door het bewijs. Enkele van de vroegste experimenten, uitgevoerd door Duitse onderzoekers in de jaren dertig, toonden aan dat slangen stoffen konden afleveren bij het VNO, zelfs als de topjes van hun tong chirurgisch waren verwijderd. Later in dezelfde decade wezen Duitse en Amerikaanse onderzoekers erop, dat de meeste hagedissen slechts een ingekeepte tong met stompe toppen hebben, waarbij het nauwelijks mogelijk is deze in de kleine openingen van het VNO te steken. Toch trillen ook zij met hun tongen en stimuleren het VNO net zo efficiënt als slangen.

Recentelijk hebben Brent Graves van de Northern Michigan University en Mimi Halpern van het Downstate Medical Center in Brooklyn deze bevindingen bevestigd. Film en röntgenopnames hebben nóg meer bewijs geleverd en tonen aan dat de toppen van de tong niet worden ingevoerd in het VNO en dat - tenminste bij slangen - kussentjes op de mondbodem en niet de tong waarschijnlijk direct de geurpartikels afleveren bij de openingen in het gehemelte. Als de tong wordt teruggetrokken in zijn schede, vegen de tongtippen langs de kussentjes op de mondbodem. Deze kussentjes worden dan omhoog gebracht en drukken tegen het verhemelte en de openingen van het VNO. Hoe sterk het bewijs ertegen ook is geweest, de tong in de VNO-verklaring voor gespleten tongen heeft een significante invloed gehad op de moderne studies van chemoreceptoren bij slangen en hagedissen en kan nog steeds in sommige leerboeken worden aangetroffen. Dat is de kracht van een dogma.

Als iemand die sterk gelooft in de kracht van het onderbewuste en niet-rechthoekig denken, werd ik op een dag geprest tot één van de hoogtepunten van mijn professionele carrière, toen een collega me vroeg waarom slangen gespleten tongen hebben. Op dat moment leken jaren van afwisselende gedachten over tongen en het VNO plotseling te kristalliseren en werd het antwoord op deze vraag duidelijk. Wat ik me realiseerde was, dat de jaren waarin we ons druk maakten over hoe de gespleten tong de geurpartikels afleverde bij het VNO ons had afgeleid van de werkelijke functie van de tong, namelijk het in de eerste plaats verzamelen van die geurpartikels uit de lucht en van de grond. Net zoals gepaarde oren of gepaarde ogen hun specifieke taak verrichten, zo kan een gespleten tong een soort van 'stereo-geur' leveren, iets wat slangen de mogelijkheid zou geven om niet alleen de aanwezigheid van sommige chemische stoffen vast te stellen maar ook de pláats. Als dit waar zou zijn, zou de slang in staat moeten zijn om geurpartikels te verzamelen van twee verschillende plaatsen (via de twee tongtopjes) en moeten kunnen vaststellen of er een verschil in sterkte van die chemische stof is tussen de linker- en de rechterkant. Deze mogelijkheid zou vooral bruikbaar zijn voor het volgen van de feromonensporen, achtergelaten door andere dieren. Ik rende naar mijn kantoor, waar ik begon met de nauwkeurige taak om mijn nieuwe idee te bewijzen of te verwerpen. Wat ik ontdekte schokte mij: ik was niet de eerste die dit idee had. Integendeel, deze hypothese was de laatste dertien jaar al twee keer onafhankelijk van elkaar voorgesteld.

In het eerste geval had Walter Auffenberg van de University of Florida (nu emeritus) intuïtief de theorie aangegeven tijdens zijn cursus over de klassieke studie van de komodoanen van Indonesië, hagedissen met gespleten tongen die aan de slangen verwant zijn. Hij observeerde de opmerkelijke eigen-



## DE TONG VAN DE SLANG



*Morelia amethystina*. Close-up van kop. Let op de hittegevoelige organen in de onderkaak. Foto: C.A.P. van Riel

schap van de hagedissen om onzichtbare geursporen te volgen van prooidieren, aldoor trillend met hun diep gespleten tongen.

Op de zelfde manier had Neil Ford van de University of Texas in Tyler bestudeerd hoe mannelijke slangen feromoonsporen volgen die door passerende vrouwtjes zijn achtergelaten. Hij merkte op, dat de topjes van de gespleten tong ver van elkaar werden gespreid en over de grond veegden voordat ze werden teruggetrokken. Zolang de topjes binnen de grenzen van het spoor bleven, bewoog de slang direct over het spoor. Als een tip van de tong buiten de grens van het spoor kwam, draaide de slang om. Als beide toppen het spoor verlieten, stopte de slang, zwaaide met haar kop heen en weer en trilde met de tong totdat zij het spoor weer had gevonden, om haar reis daarna voort te zetten.

Zowel Auffenberg als Ford stelt, dat het volgen van een spoor de functie van de gespleten tong is, voor zowel het vinden van voedsel als van een partner.

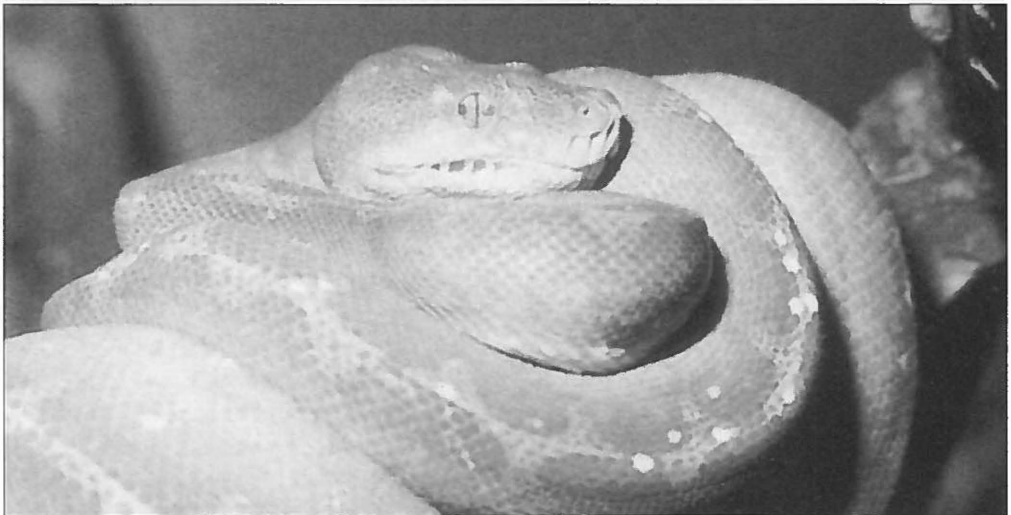


*Corallus caninus*. Close-up van kop met duidelijk zichtbaar de warmtegroeven. Foto: C.A.P. van Riel

Mimi Halpern en haar collega's hadden al laten zien dat de mogelijkheid om een geurspoor te volgen een keurmerk is van de chemische waarnemingsbiologie van de slang. Toen ik deze ideeën ging testen, vond ik dat bijna alle waarnemingen in verband werden gebracht met de spoorvolgfunctie van de gespleten tongen. Inderdaad hadden de eerste experimenten, waarbij de gespleten tongpunten chirurgisch werden verwijderd, slechts één gedragsafwijking laten zien bij de behandelde dieren: verlies van de mogelijkheid sporen te volgen. Het hersencircuit van het vomero-nasale systeem bij slangen is erop berekend om te voorzien in de mogelijkheid om de sterkte van chemische signalen te vergelijken van de linker- met de rechterkant. Vertraagde films lieten zien, dat zowel slangen als hagedissen met een gespleten tong hun tongspitsen ver spreiden op het moment dat ze de grond raken, klaarblijkelijk om de waarschijnlijkheid een verschil op de pikken in de chemische sterkte tussen beide zijden te maximaliseren. Als de toegang tot de VNO aan één kant werd geblokkeerd, draaide een slang die een geur-

spoor trachtte te volgen steeds naar de sterke vrije kant, met als gevolg dat zij een cirkel beschreef.

Hoe kon dit opmerkelijke orgaan zich ontwikkelen? Tongen zijn samengesteld uit zacht materiaal, dus kunnen fossielen hier niet helpen. Vergelijkingen onder nog levende soorten, kan echter indirect aanwijzingen opleveren voor de evolutionaire geschiedenis. Aangezien alle levende slangen gespleten tongen hebben, kan er weinig worden geleerd als je hen alleen bekijkt, dus begon ik slangen te vergelijken met hun naaste, nog levende verwanten, de hagedissen. We geloven nu, dat de slangen zich direct ontwikkeld hebben uit een groep van hagedissen, waarvan de moderne verwanten bestaan uit de gilamonsters uit het zuidwesten van Amerika en de varanen van de Oude Wereld. Binnen die groep, trof ik aan, dat de tongen varieerden van slechts licht gespleten tot de slangachtige tongen van de varanen. Door de vergelijking uit te breiden met alle hagedissen en door een evolutiestamboom te bekijken van deze grotere groep, ontdekte ik, dat



*Chondropython viridis* Foto: J. Schouten





een diep gesleten tong zich minstens nog één andere keer had ontwikkeld in een andere groep hagedissen. Door gegevens over gedrag en ecologie toe te voegen aan de analyse, vond ik een sterke correlatie tussen de aanwezigheid van een gesleten tong en de mogelijkheid een geurspoor te volgen en dat iedere keer dat gesleten tongen zich ontwikkelden in de hagedissen- en slangengeschiedenis, zich ook het gedrag ontwikkelde om de wijde omgeving af te zoeken naar voedsel of geschikte plaatsen voor een hinderlaag. Hagedissen die zich niet inspannen om voedsel te zoeken, maar simpelweg wachten tot het voedsel naar hen toekomt, missen een gesleten tong.

Als we terugkeren naar onze ratelslang, kunnen we nu haar mogelijkheden beter waarderen. Terwijl zij haar omgeving verkennt, trilt de slang vaak met haar tong. Op een bepaald punt kruist zij het pad dat gebruikt is door kleine zoogdieren en andere dieren. Tussen de vele geuren ontdekt zij de geur van een vrouwtje van haar eigen soort, maar de ratelslang neemt waar dat ze niet in paringsconditie is en het daarom niet de moeite is om te volgen. Vervolgens ontdekt zij de verse geur van een aantrekkelijk prooidier. (Gordon Burghardt, van de University of Tennessee, heeft aangetoond, dat de meeste slangen een aangeboren mogelijkheid hebben om prooidieren te onderscheiden van niet-prooidieren.) Aan het einde gekomen van haar zoektocht, kiest de slang binnen de afstand om toe te slaan een plek naast het spoor waar zij zich kan verstoppen, en wacht dan op haar volgende maaltijd. Het passeren van een voetganger en daarna dat van een muurhagedis wekt weinig andere interesse dan het één of twee keer trillen van de tong, maar de aankomst van een eekhoorn maakt haar jachtinstinct wakker.

Het toeslaan van de ratelslang is het resultaat van een complex samenspel van visuele, chemische en tempe-

ratuurprikkel, uitgezonden door de eekhoorn. Op het moment van toeslaan en het vergiffigen, leert de ratelslang de geur van dit individuele dier kennen, een geur die zij dan boven alle andere geuren zal waarderen, zoals door David Chriszar en zijn studenten van de University of Colorado werd ontdekt. Daarom is de slang onbezorgd om de eekhoorn te laten gaan. Door de eekhoorn los te laten, hoeft zij niet bang te zijn voor beten en kan zij de spiercontracties en het circulatiesysteem van de eekhoorn het verterende vergif laten verspreiden. Door met behulp van haar gesleten tong het geurspoor dat de eekhoorn achterliet te volgen, kan de slang gemakkelijk het dier opsporen in zijn laatste rustplaats in de holle boom. Daar leiden tastprikkel van de vacht van de eekhoorn de slang naar de kop om zo'n groot dier gemakkelijker te verzwelgen. Omdat zij ectothermisch (koudbloedig) is, hoeft de slang geen calorieën te verspillen om lichaamswarmte te maken en nadat zij zo'n grote prooi heeft gegeten, hoeft zij gedurende weken niet meer te eten.

Deze werktuigen zijn beschikbaar bij giftige en niet-giftige slangen. In elk geval speelt de gesleten tong een essentiële rol. Op vele manieren vormt de tong en het verschrikkelijk gevoelige vomero-nasale systeem dat erdoor wordt bediend de essentie om een slang te zijn. De gesleten tong is niet het symbool van gesletenheid, maar van succes in de evolutie, want deze parel van ontwerpkuunst heeft slangen geholpen om te worden wat ze nu zijn: één van de succesrijkste uitstralingen van gewervelde landdieren die op aarde leven.

Voor het eerst gepubliceerd in *Natural History*, no. 4, 1995, 48-55 en opnieuw gepubliceerd in *Litteratura Serpentina* met de toestemming van de uitgever van *Natural History*.

Vertaling uit het Engels door Jan van Duinen.