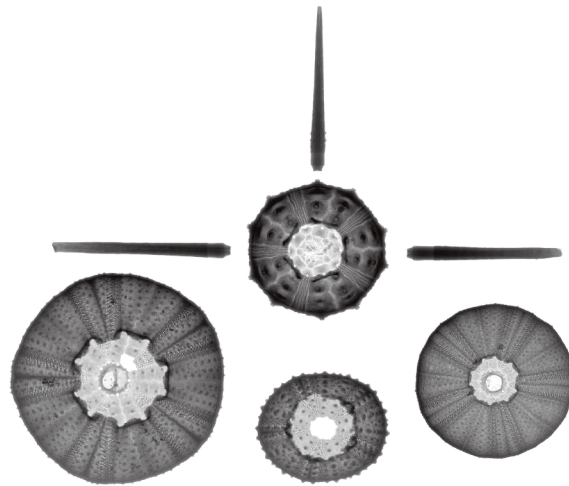


# Doorgelicht

HET DIERENRIJK MET RÖNTGEN BLOOTGELEGD

Bram Langeveld en Arie van 't Riet



KNNV Uitgeverij

# INHOUD

Voorwoord	6
Inleiding	8
De ontdekking van röntgenstraling	9
Ontwikkeling	11

<b>ONGEWERVELDEN</b>	13
Pijlinktvis en zeekat	15
Naaktslak en nautilus	18
Krab en kreeft	23
Bij en wesp	28
Libel en waterjuffer	34
Sprinkhaan en veenmol	39

<b>VISSSEN</b>	42
Stekelrog en motorrog	45
Hondshaai en zeeduivel	49
Snoek en stekelbaars	54
Tarbot en griet	64

<b>AMFIBIEËN</b>	69
Salamander en kikker	71

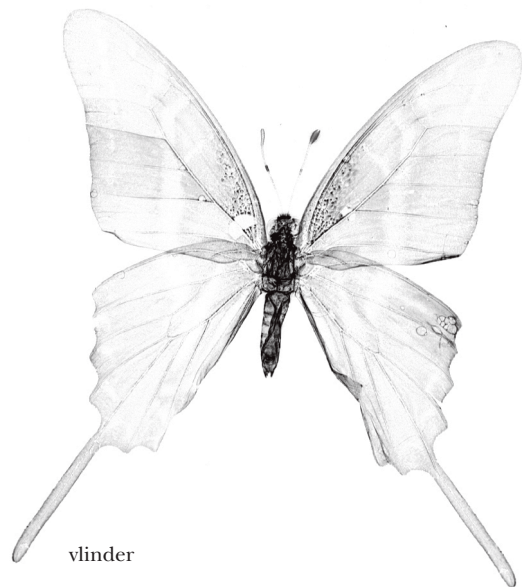
<b>REPTIELEN</b>	83
Ringslang en tijgerpython	84
Kameleon en stekelstaartvaraan	91
Roodwangschildpad en weekschildpad	99

<b>VOGELS</b>	102
Sperwer en torenvalk	105
Bosuil en kerkuil	111
Merel en kruisbek	114
Kauw en kraai	120
Ijsvogel en specht	123
Houtsnip en watersnip	130
Aalsolver en reiger	134
Knobbelzwaan en wilde eend	141

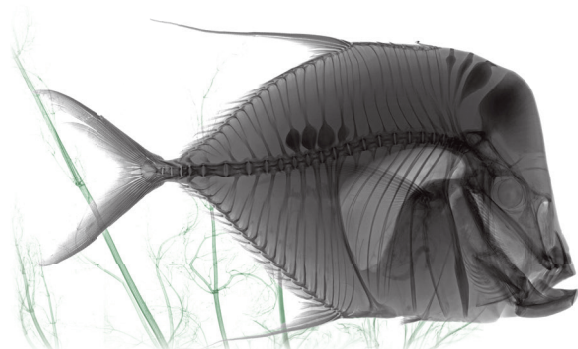
<b>ZOOGDIEREN</b>	146
Steenmarter en vos	148
Egel en mol	160
Gewone dwergvleermuis en nijlroezet	169
Eekhoorn en woelmuis	175

Röntgenopnamen van natuurtaferelen	182
Röntgenfoto's	182
Werkwijze	185
Wetten en regels	186

Bronnen	187
Index	191



vlinder



neerkijker



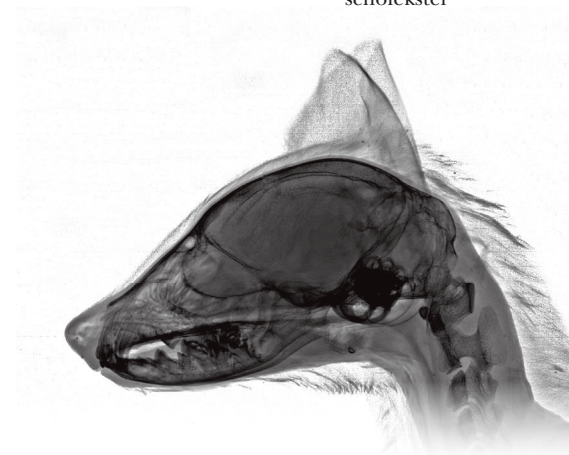
lijstenpad



leguaan



scholekster



genetkat

# VOORWOORD

Als klinisch fysicus bij radiologie, radiotherapie en nucleaire geneeskunde in Deventer kon Arie van 't Riet een in onbruik geraakt röntgentoestel compleet met toebehoren van het Deventer ziekenhuis overnemen. Niet om zich als zelfstandig radioloog te vestigen, maar om zich na zijn pensionering aan zijn liefhebberij te wijden: het maken van röntgenopnamen van dode dieren. Beslist geen alledaagse hobby. Daar komt nog bij dat Arie de kadavers doorlicht samen met planten, bloemen en andere naturalia die de leefomgeving van de dieren weerspiegelen. Uiteindelijk maakt Arie van elke opname, na een beetje digitale beeldbewerking, een heus röntgenkunstwerk waarin de dieren in verbluffend natuurlijke posities volop details van hun inwendige anatomie laten zien.

Een vraag over een van die details – een vreemd puntvormig botje aan de achterkant van de schedel van een aalscholver – bracht Arie in contact met Bram Langeveld, bioloog en conservator van het Natuurhistorisch Museum Rotterdam. Arie wilde weten wat het botje is en waar het toe dient. Bram dook met de röntgenfoto in de vogelcollectie van het museum en vond bij alle aalscholverschadels inderdaad een botje dat ruim twee centimeter uit het achterhoofd steekt. Arie had een scherp oog voor bijzondere details want, zo leerde Bram na verder speuren, het puntige schedeldeel – *xiphoid* genaamd – komt alleen bij aalscholvers en enkele andere grote visetende vogels voor. Ik verklap hier niet wat de functie van het achterhoofdbotje is (de foto met uitleg staat verderop in dit boek).

Er volgden meer vragen die Bram dankzij de rijke skelettencollectie en de bibliotheek van het museum kon beantwoorden. Uiteindelijk leidde het contact tussen de conservator

en de röntgenkunstenaar begin 2018 tot de tentoonstelling 'Doorgelicht' in het museum. Vijftien 'biorama's' van Arie werden door Bram voorzien van bijschriften die bijzondere kenmerken van de dierenskeletten toelichtten. Het museumpubliek smulde van de tentoonstelling, om drie redenen. Allereerst vanwege de esthetische kwaliteit: de werken van Arie zijn mooi om te zien. Daarnaast tonen ze in een oogopslag hoe het binnenste raamwerk van een dier zich verhoudt tot het buitenste (dat lukt ons in het museum niet met opgezette dieren) en tenslotte zorgen de anatomische wetenswaardigheden voor een zeer gewaardeerde educatieve meerwaarde van de röntgentaferelen.

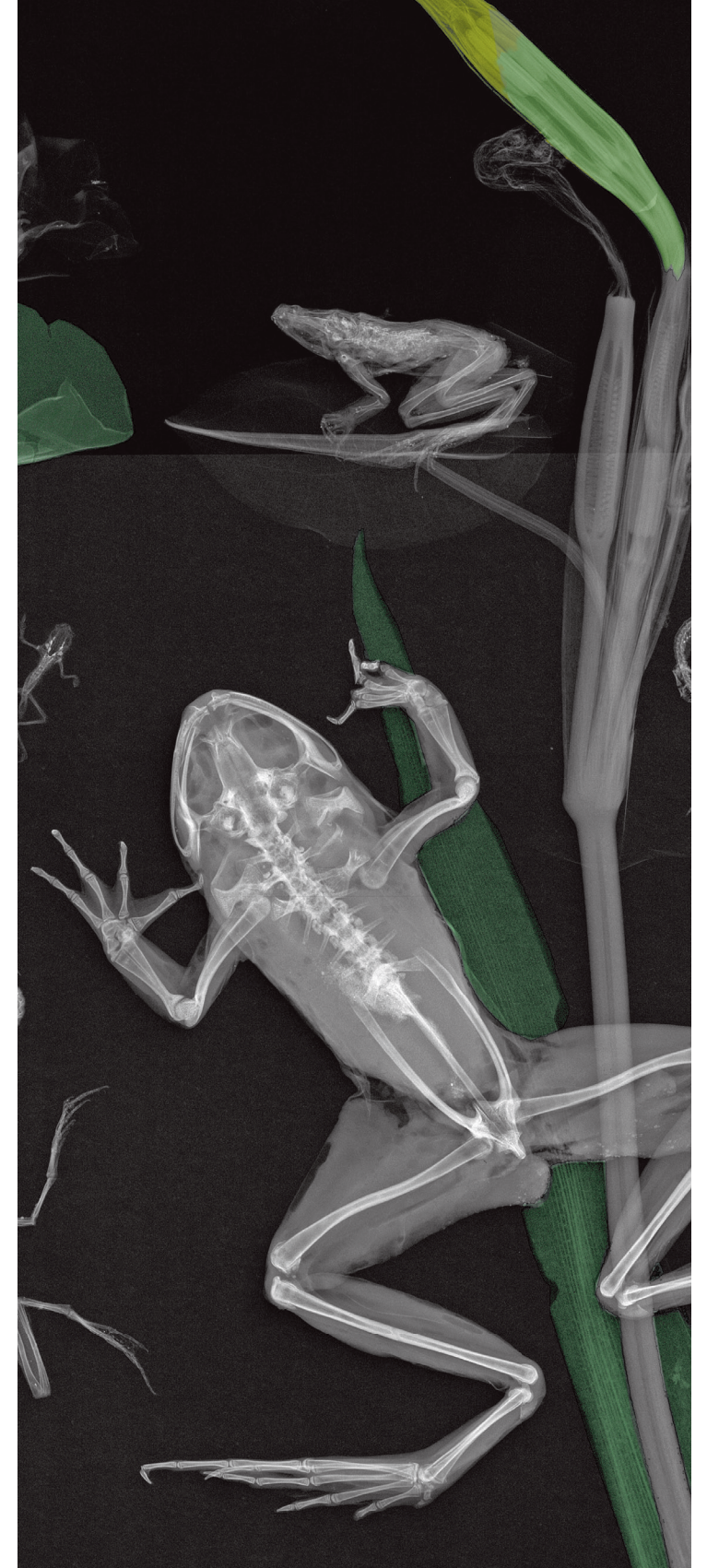
Dat smaakte naar meer, en Arie en Bram bundelden de krachten. Arie drapeerde nieuwe diersoorten onder zijn röntgenapparaat – zelfs dieren zonder inwendig skelet – en Bram beschreef wat het ongeoefende oog doorgaans niet ziet op die röntgenfoto's. Het resultaat is dit boek waarin het inwendige van bijna 100 diersoorten centraal staat. Van zeeekat tot slangster, hommeltot waterjuffer, van geep tot zeeduivel, poelkikker tot reuzenpad, ringslang tot kameleon, knobbelzwaan tot appelvink en van wezel tot woelmuis. Het is een divers palet van dieren die naast overduidelijke inwendige verschillen ook opvallend veel overeenkomsten vertonen.

De details zijn om van te smullen. Zo zie je dat kikkers een extra onderbeen in de achterpoten hebben en padden daarentegen zijn uitgerust met een opvallend kort scheenbeen (spoiler: padden springen niet, kikkers als de beste). Er blijkt een botje in het puntje van de tong van de groene specht te zitten. Op de röntgenfoto van een steenmarter prijkt nota

bene een botje in de penis. Doorgelicht verliest de ijsvogel echt al zijn schoonheid en blijkt zijn kop wanstaltig groot, maar de maag bevat ware juweeltjes: gehoorsteentjes uit de kop van visjes die hij verorberde. En vliegend blijkt de blauwe reiger zijn hals slim in te trekken, waarbij de wervels in een lus onder zijn kop hangen. Het zijn slechts enkele voorbeelden uit de inhoud van dit boek dat door de combinatie van techniek, kunst en wetenschap een breed lezerspubliek zal aanspreken. Zelfs voor de doorgewinterde bioloog is 'Doorgelicht' een verrijking. Zo weet ik nu eindelijk waardoor eenden waggelen!

**Kees Moeliker**

Natuurhistorisch Museum Rotterdam





pijlinktis (rugaanzicht)



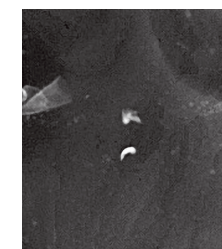
zeekat (rugaanzicht)

Inktvissen zijn weekdieren. Weekdieren hebben geen skelet zoals gewervelde dieren dat hebben. Toch valt er op de röntgenfoto nog wat te zien. Achter in de pijlinktiskop en achter in de zeekatkop zijn twee felwitte structuren zichtbaar. Ze hebben wel wat weg van de otolieten (evenwichtssteentjes) die in een vissenkop te zien zijn; bekijk ook de röntgenfoto van de kop van de zeeduivel op pagina 53 eens. Ze hebben zelfs dezelfde functie als otolieten, maar bij inktvissen en sommige andere ongewervelden heten deze structuren statolieten. Bij inktvissen zijn het kleine onregelmatige bolletjes van kalk (daarom zijn ze zo goed zichtbaar op de röntgenfoto's) die in

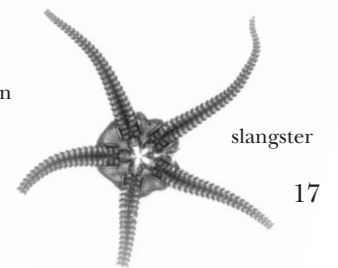
een zakje met vloeistof liggen. Door de zwaartekracht worden ze naar beneden getrokken en duwen ze dus op de bodem van het zakje. Zenuwen geven dat door aan het inktvisbrein en de inktvis weet zo wat onder en boven is. Statolieten zijn dus cruciaal voor het evenwicht van inktvissen.

Op de röntgenfoto van de zeekat is in het achterlijf een wat dichtere ovaalvormige structuur te zien met daarin een soort visgraatpatroon. In het zijaanzicht aan het begin van dit hoofdstuk is te zien dat het afgeplat is en aan de rugzijde van het dier zit. Het is de inwendige schelp die bestaat uit talloze met gas gevulde kamertjes. De zeekat kan hiermee zijn drijfvermogen regelen. De schelp van dode exemplaren spoelt op het strand aan. We kennen het als zeeschuim. In het lijf van de pijlinktis is nog vager ook zijn inwendige schelp zichtbaar als een langgerekte structuur met ringen. Dit is de zogenaamde *gladius*, deze is kalkloos en chitine-achtig en speelt geen rol bij het drijfvermogen.

In de zeekat is een opvallend dichte structuur van opeengestapelde schijfjes zichtbaar. Dit is een deel van een arm van een slangster. Het zou een prooi van de zeekat kunnen zijn, maar de maag bevindt zich niet in dat deel van het zeekatlichaam. Waarschijnlijk is het stukje slangster tijdens het opvissen in de mantelholte van de zeekat terechtgekomen.



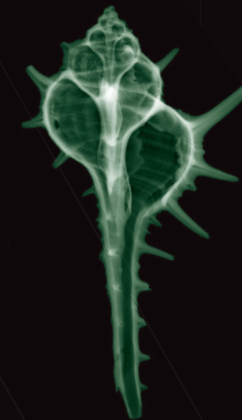
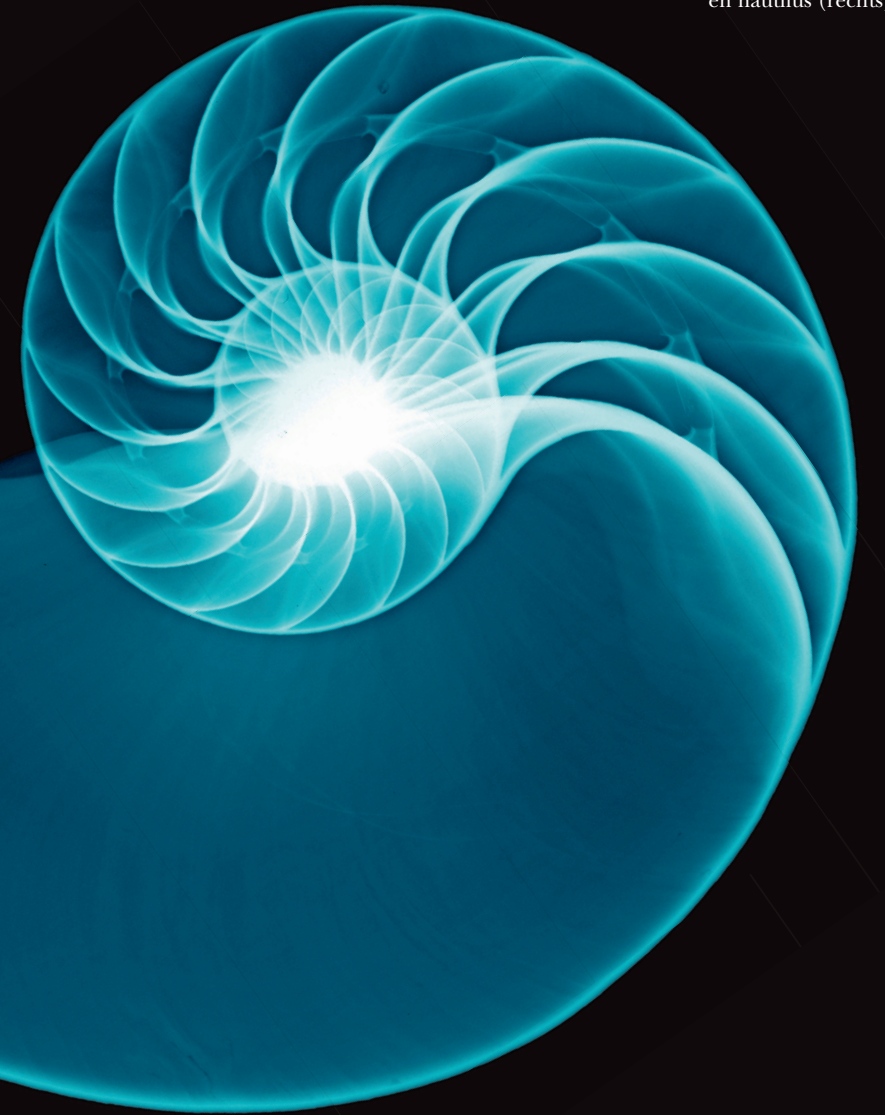
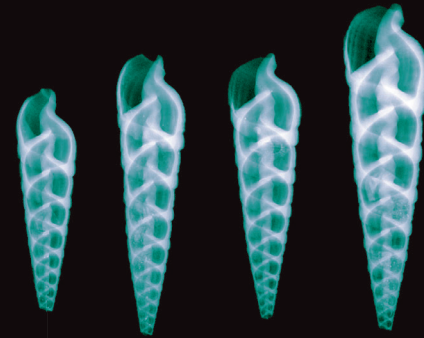
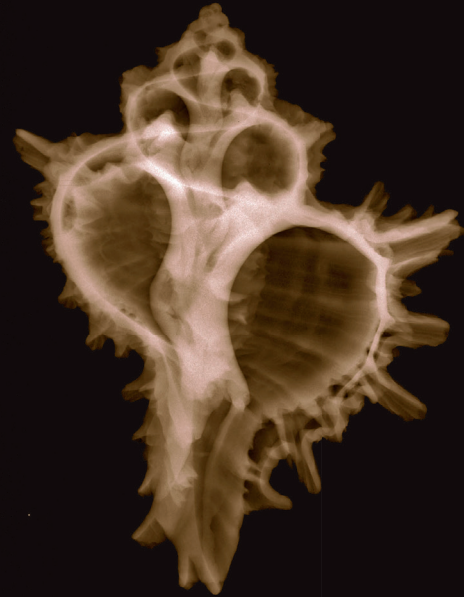
Detail van de statolieten die achter in de kop van de zeekat als twee oplichtende witte stipjes te zien zijn.



slangster

## NAAKTSLAK EN NAUTILUS

Slakken zijn weekdieren, net als inktvissen en tweekleppigen zoals mossels. Ze beschermen hun weke lichaam tegen roofdieren, parasieten en uitdroging door de bouw van hun bekende slakkenhuizen. Die groeien aan de opening van de schelp doordat het slakkenlichaam daar steeds nieuwe laagjes kalk afzet.



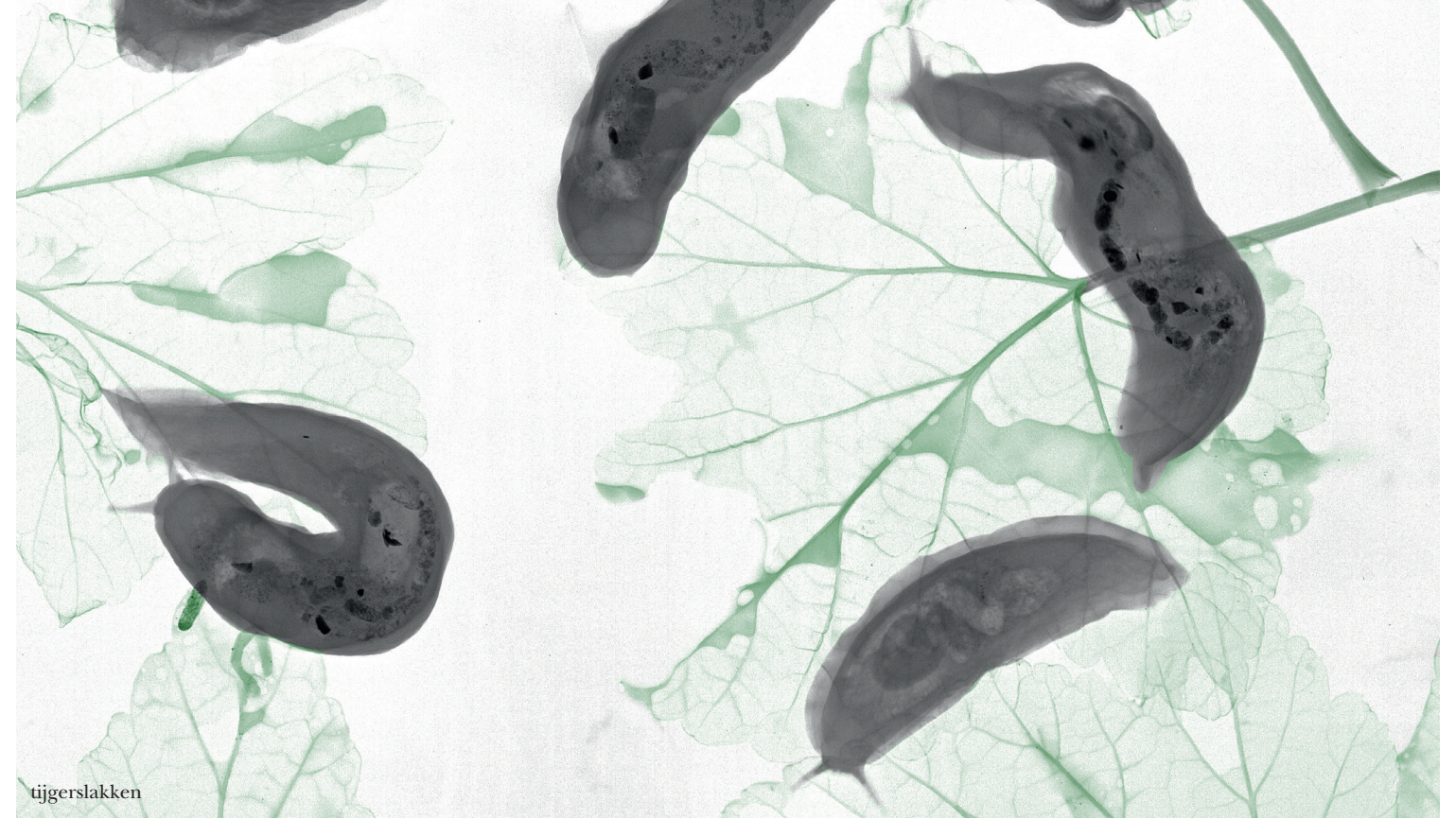
Op de röntgenfoto's van deze lege schelpen is een opvallend verschil zichtbaar tussen de huisjes van slakken en die van de nautilus (rechts): alleen de schelp van de nautilus heeft dwarswandjes of tussenschotten, waardoor kamers ontstaan. Het lichaam van deze inktvisachtige, die als enige levende inktvisachtige nog een uitwendige schelp bouwt, bevindt zich alleen in de laatste en grootste kamer. Terwijl het dier groeit, groeit ook de schelp doordat er aan de opening steeds nieuw schelpmateriaal wordt afgezet. Net als bij slakkenhuizen. Tegelijk worden aan de achterzijde van het lichaam echter steeds nieuwe wandjes gemaakt. Dat is juist anders dan bij slakkenhuizen. De kamers die daardoor ontstaan in de schelp van de nautilus zijn verbonden door een buisje en bevatten gas. Zo regelt het dier zijn drijfvermogen.

Slakkenhuizen zijn veel simpeler van opbouw: het dier vult (vrijwel) het gehele huisje, van de opening tot aan de top. Hoewel slakkenhuizen allerlei vormen en versiersels, zoals grote stekels of ribben kunnen hebben, maken de röntgenfoto's duidelijk dat de opbouw in feite steeds hetzelfde is: rondom een centrale as (de spil) draait een langzaam breder wordende buis van schelpmateriaal waarin de weke delen van het dier zich bevinden en waarin in veel gevallen het dier zijn volledige lijf kan terugtrekken bij gevaar, of in het geval van landslakken ook bijvoorbeeld bij een lange droogte.

mariene huisjesslakken  
en nautilus (rechts)



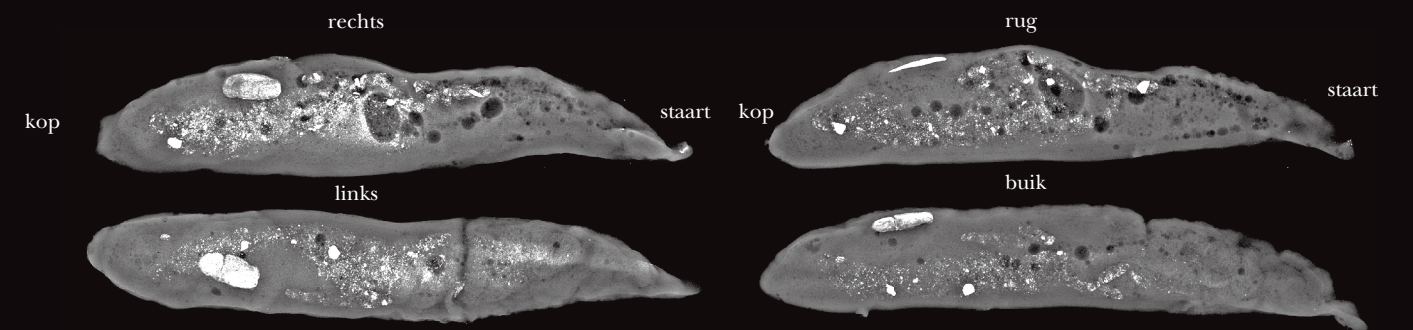
zwartgerande tuinslakken



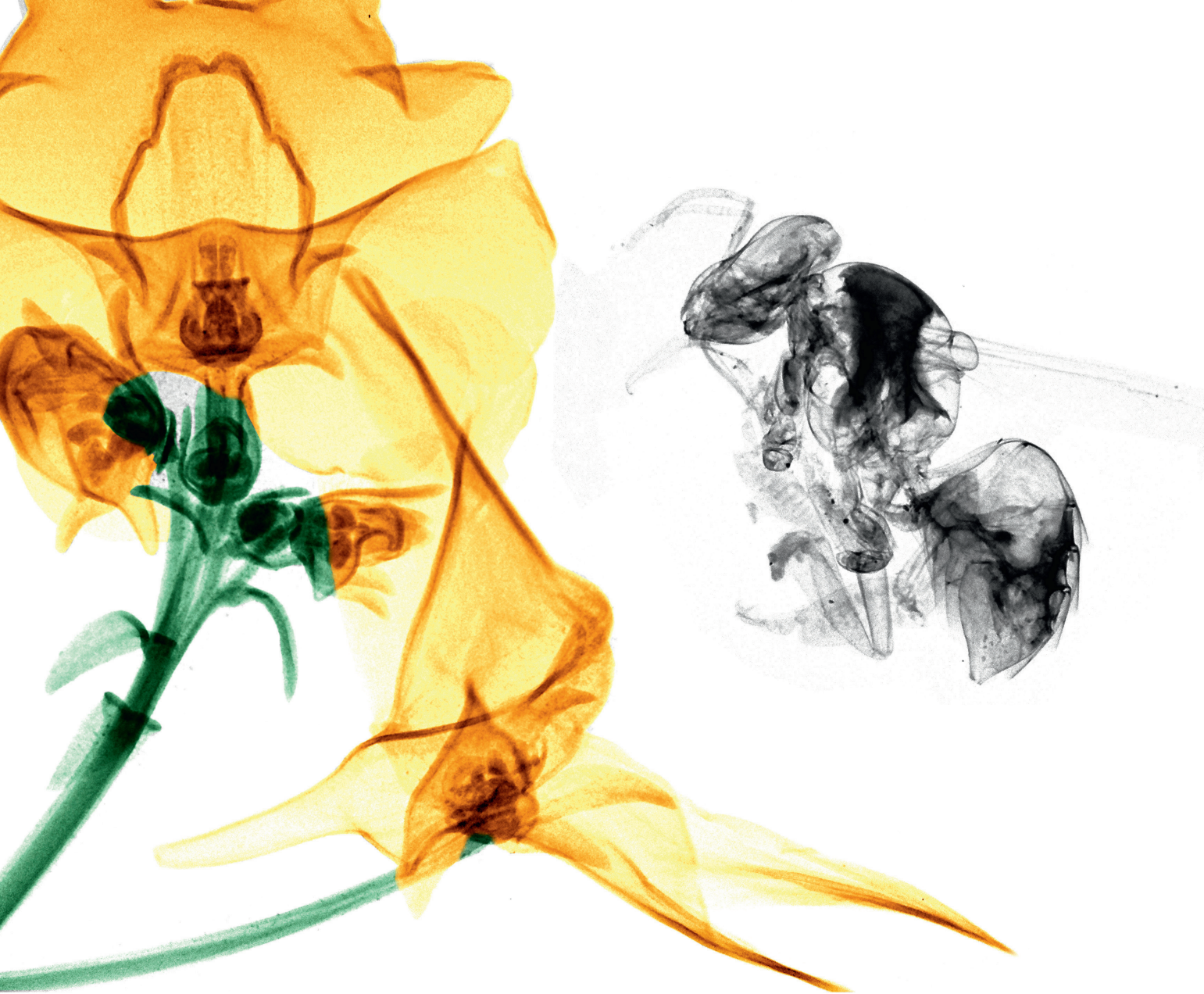
tijgerslakken

Naaktslakken hebben geen schelp. Daarom heten ze naaktslakken. Maar op de röntgenfoto's van de tijgerslakken is echter toch een kleine, dichte, kalkachtige structuur aan de rugzijde in het lichaam zichtbaar. Hebben ze dan toch een schelp? Jazeker, naaktslakken zijn in de loop van hun evolutie hun schelp verloren, maar veel soorten hebben nog een klein

inwendig restje van wat ooit een volledige uitwendige en functionele schelp was bij hun verre voorouders. De schelp heeft zijn originele functie in de loop van de evolutie (grotendeels) verloren en is dus een voorbeeld van een zogenaamd rudimentair orgaan. Het is nu niet meer dan een vrij dun kalkplaatje in de naaktslak.



tijgerslakken (links rugaanzicht en rechts zijaanzicht)

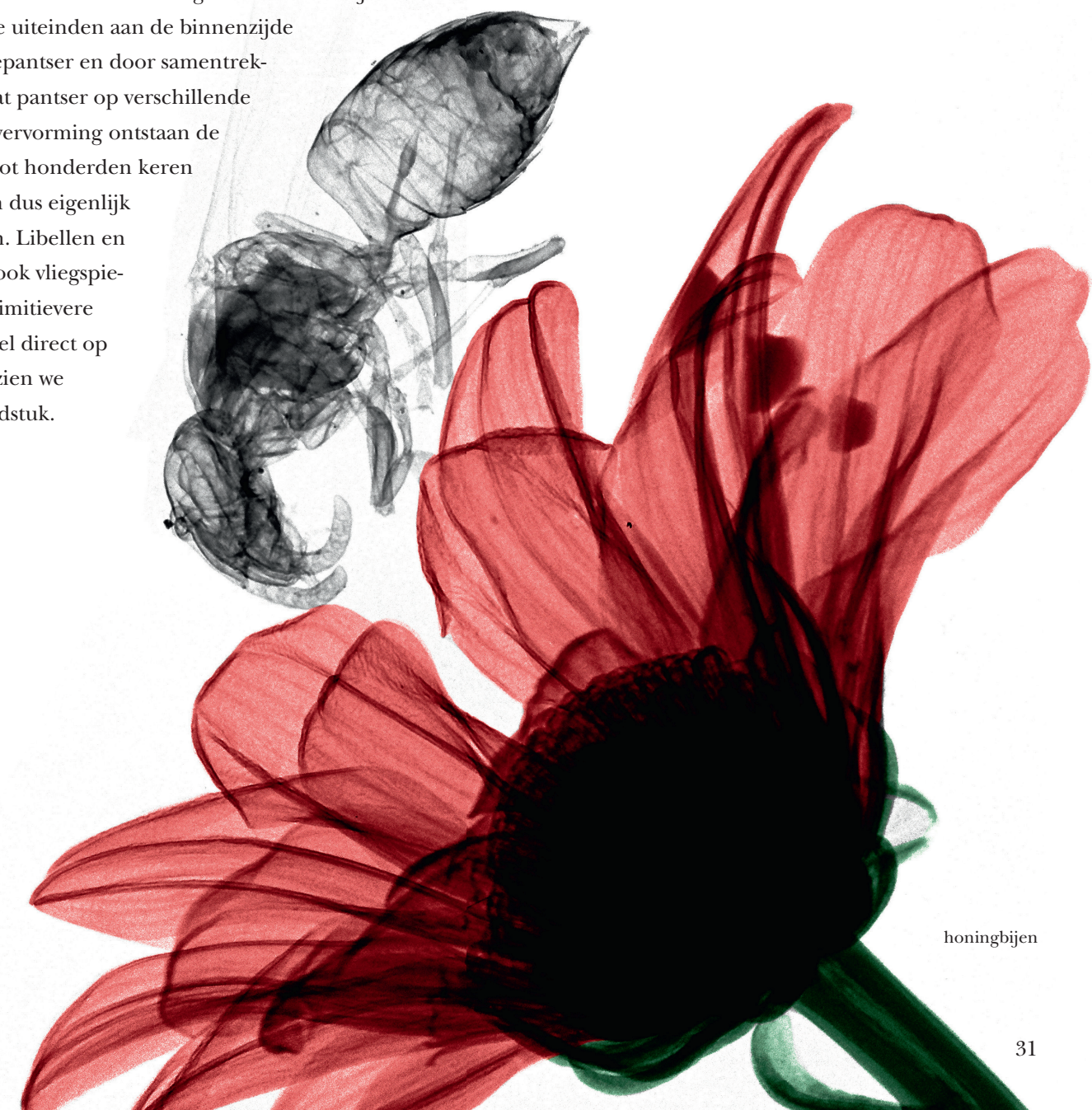


Insecten hebben geen inwendig skelet zoals gewervelde dieren. Zij danken hun stevigheid vooral aan een uitwendig skelet van chitine. Maar dat chitinepantser is niet overal even dik en dus niet overal even doorlatend voor röntgenstraling, waardoor op de foto verschillende tinten zichtbaar worden. Bovendien krijgen we een inkijkje in het binnenste waar dus

geen skelet, maar wel andere organen te zien zijn. Kijk goed naar het borststuk van deze honingbijen; het lichaamsdeel waar de vleugels aanhechten. De donkere massa die schuin door het borststuk loopt wordt gevormd door dikke bundels spieren. Die vullen een groot deel van het borststuk. Het zijn de krachtige vliegspieren. Deze spieren spelen een rol bij het

bewegen van de vleugels: van boven naar beneden en tegelijkertijd van voor naar achter. De vleugels worden ook nog gekanteld en het oppervlak vervormt tijdens de bewegingen. Door de combinatie van al deze bewegingen kunnen bijen en wespen efficiënt vliegen en manoeuvreren in de lucht. Opmerkelijk is wel dat deze dikke vliegspieren niet direct met de vleugels verbonden zijn.

Ze hechten aan beide uiteinden aan de binnenzijde van het harde chitinepantser en door samentrekking vervormen ze dat pantser op verschillende manieren. Door die vervorming ontstaan de vleugelbewegingen; tot honderden keren per seconde! Het zijn dus eigenlijk indirecte vliegspieren. Libellen en waterjuffers hebben ook vliegspieren, maar bij deze primitievere insecten grijpen ze wel direct op de vleugels aan. Die zien we in het volgende hoofdstuk.

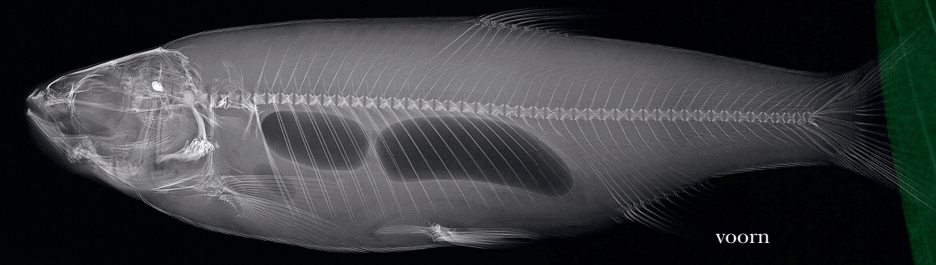


honingbijen

SNOEK EN STEKELBAARS



baars



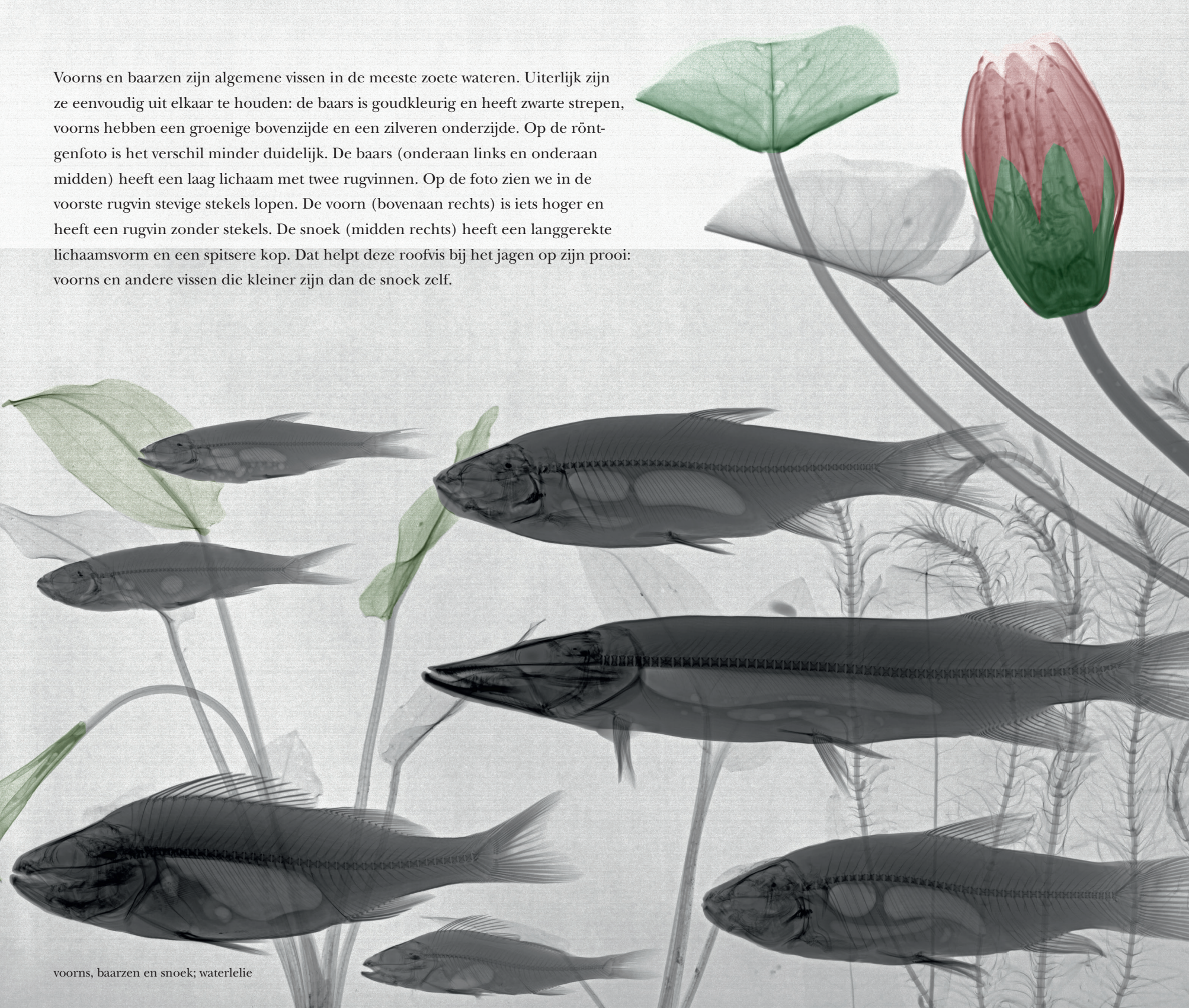
voorn



zeelt

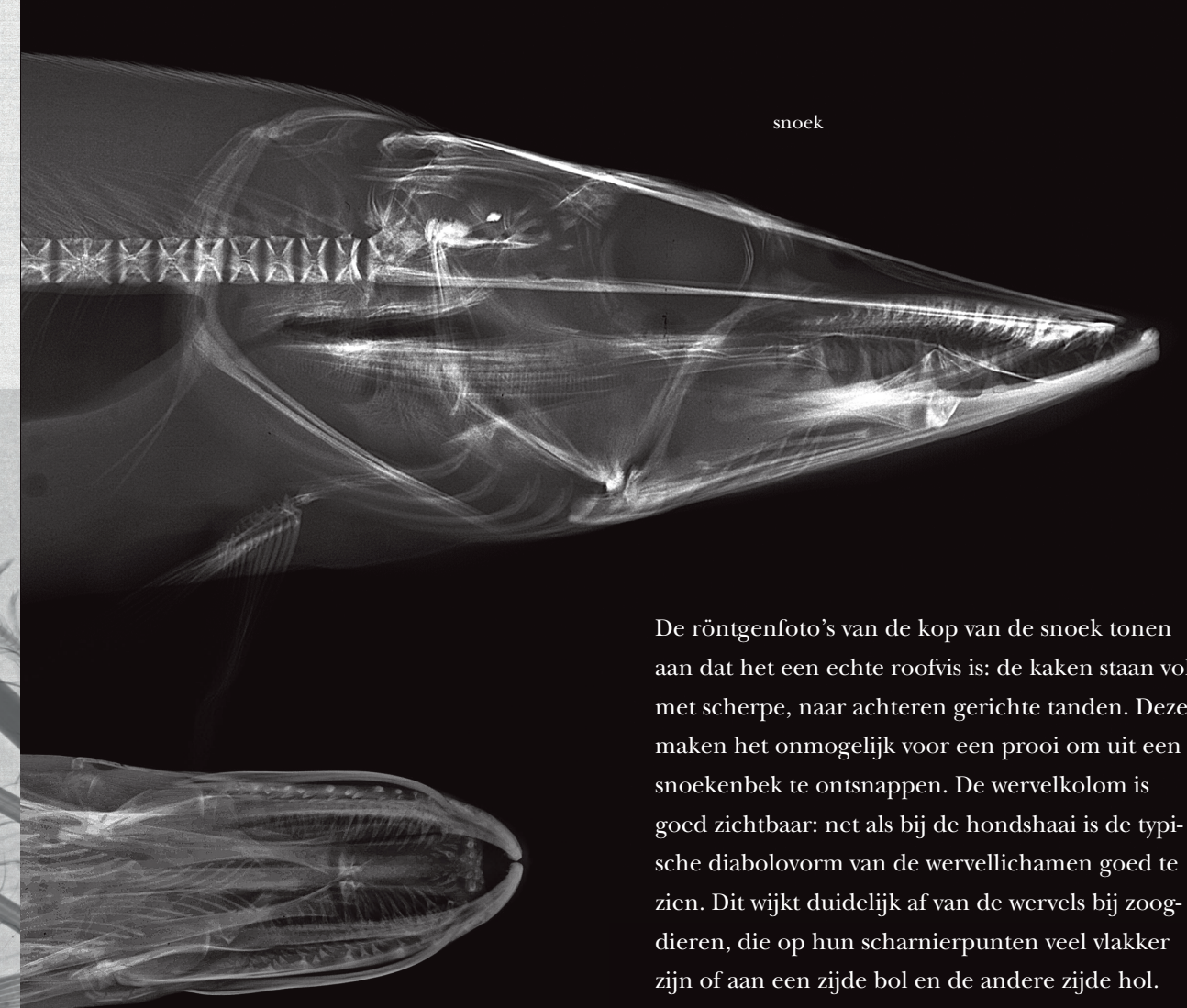


Voorns en baarzen zijn algemene vissen in de meeste zoete wateren. Uiterlijk zijn ze eenvoudig uit elkaar te houden: de baars is goudkleurig en heeft zwarte strepen, voorns hebben een groenige bovenzijde en een zilveren onderzijde. Op de röntgenfoto is het verschil minder duidelijk. De baars (onderaan links en onderaan midden) heeft een laag lichaam met twee rugvinnen. Op de foto zien we in de voorste rugvin stevige stekels lopen. De voorn (bovenaan rechts) is iets hoger en heeft een rugvin zonder stekels. De snoek (midden rechts) heeft een langgerekte lichaamsvorm en een spitsere kop. Dat helpt deze roofvis bij het jagen op zijn prooi: voorns en andere vissen die kleiner zijn dan de snoek zelf.



voorns, baarzen en snoek; waterlelie

snoek



De röntgenfoto's van de kop van de snoek tonen aan dat het een echte roofvis is: de kaken staan vol met scherpe, naar achteren gerichte tanden. Deze maken het onmogelijk voor een prooi om uit een snoekenbek te ontsnappen. De wervelkolom is goed zichtbaar: net als bij de hondshaai is de typische diabolovorm van de wervellichamen goed te zien. Dit wijkt duidelijk af van de wervels bij zoogdieren, die op hun scharnierpunten veel vlakker zijn of aan een zijde bol en de andere zijde hol. Kijk ook maar eens naar de wervelkolom van de vos op pagina 152.

Aan de buikzijde van de keel van de snoek, net na de onderkaken, zijn drie paar gebogen botjes zichtbaar. Dit zijn de kieuwbogen die ondersteuning bieden aan de kieuwen. Reptielen, vogels en zoogdieren hebben geen kieuwen. Vroeg in hun embryonale ontwikkeling begint de vorming van deze structuren echter wel, als overblijfsel van de embryonale ontwikkeling van hun verre voorouders, maar al snel krijgen de cellen die bij beenvissen deze botten vormen in de embryo's van reptielen, vogels en zoogdieren andere taken en vormen ze onder andere delen van het binnenoor en het tongbeen. Dat is slim hergebruik van bestaande structuren voor nieuwe functies, zoals bij evolutie wel vaker gebeurt. Verderop in dit boek komen we nog meer van dergelijke voorbeelden tegen.



stekelstaartvaranen; bananenplant

stekelstaartvaraan (rugaanzicht)



Varanen zijn langgerekte hagedissen met een relatief kleine kop, lange nek, lang en slank lijf en een lange gespierde staart. De varaan kan die lange staart niet oprullen zoals de kameleon, doordat zijn staartwervels niet zo zijn aangepast als bij de kameleon. In tegenstelling tot de kameleon is de varanenstaart juist wel zijwaarts heel flexibel. Varanen gebruiken hun staart om hun evenwicht te bewaren, ter ondersteuning als ze rechtop staan op hun achterpoten en ook kunnen ze er rake klappen mee uitdelen als zelfverdediging. In de bek van de stekelstaartvaraan is op de röntgenfoto's een rij scherpe tanden te zien in de boven- en onderkaak. Dat gebit toont aan dat varanen roofdieren zijn die jagen op levende prooien zoals ongewervelden, maar de grotere soorten, zoals de bekende tot ruim drie meter lange komodo varaan, ook wel op zoogdieren en vogels. Aas laten ze ook niet liggen. De tong van de varaan is dun en eindigt gevorkt. Heel anders dan bij de kameleon. Vergelijk ook de pols en enkel van de varaan eens met die van de kameleon hiervoor. Bij de varaan zijn de talrijke individuele hand- en voetwortelbeentjes niet vergroeid of verdwenen in de loop van de evolutie en nog wel goed te onderscheiden. De vingers en tenen van de varaan zijn dan ook niet verdeeld in groepjes van twee en drie die draaien rond een kogelgewricht. Hierdoor kunnen varanen zich niet zo goed aan takken vastklampen, maar juist wel beter lopen en rennen dan kameleons. En dat komt weer goed van pas bij hun actieve leefwijze en jacht.

stekelstaartvaraan (kop; zijaanzicht)

onderkaak met tong

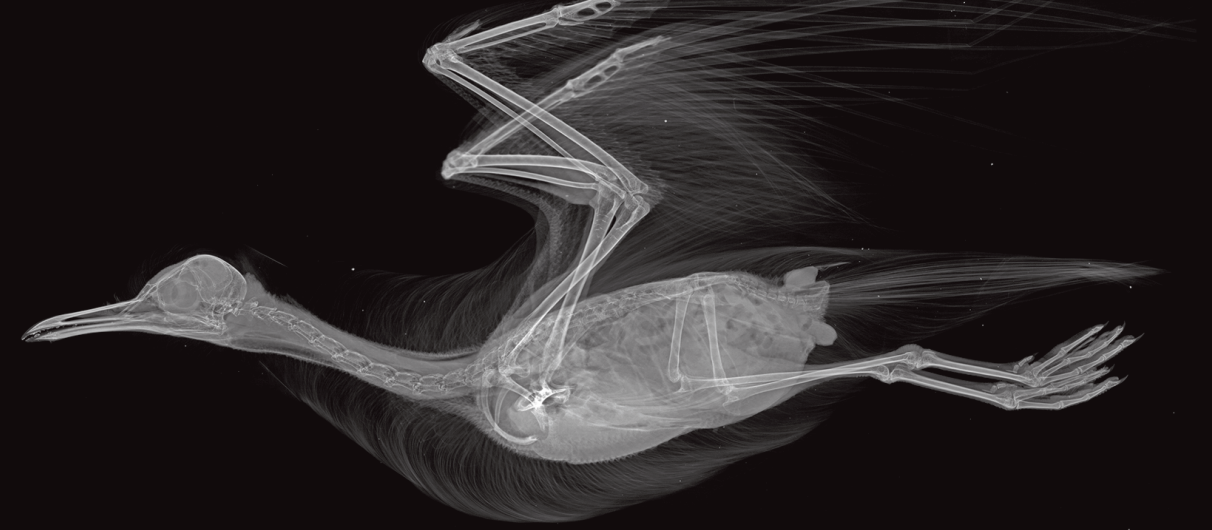
bovenkaak

voorpoot

achterpoot

# VOGELS

Vogels zijn eigenlijk reptielen, zo blijkt uit DNA-onderzoek. Sterker nog, uit fossielvondsten blijkt dat ze direct afstammen van de dinosaurïërs. Omdat vogels zo sterk verschillen van de 'echte' reptielen in de traditionele zin, door hun leefwijze, warmbloedigheid en verenkleed, zijn ze makkelijk als groep te onderscheiden. Vogels vertonen talloze bijzondere aanpassingen in hun skelet die samenhangen met hun vliegende leefwijze. Overeenkomsten in het bouwplan met de andere viervoeters verraden hun gezamenlijke voorouder.



meeuwen