

IK ZIE, IK ZIE, WAT JIJ NIET ZIET

WAT KUNNEN DIEREN MET HUN ZINTUIGEN WAT WIJ MENSEN NIET KUNNEN?

Zonder zintuigen zou een dier niet kunnen bestaan. Informatie over de omgeving is noodzakelijk om te kunnen vluchten, jagen of paren. Sommige dieren doen dat op vergelijkbare wijze als mensen, maar de meeste nemen de wereld om hen heen heel anders waar.

Als ik langs de oevers van de meanderende Amstel loop richting Amsterdam, raak ik de groene blaadjes van de Japanse duizendknoop aan. Mijn vingertoppen nemen de talloze fijne haartjes waar op de bovenkant van het eironde blad dat leerachtig aanvoelt. Ik zie met enig afgrijzen dat ook hier de invasieve exoot flink woekert. In de verte hoor ik het kenmerkende geluid van een koekoek boven de constante stroom van voorbijrazende auto's op de A10 uitkomen. Aangekomen in de binnenstad komt me een aangename geur tegemoet en niet veel later zet ik mijn tanden in een versgebakken broodje.

Waarschijnlijk kun je je een voorstelling maken van de bovenstaande sensorische prikkels, waargenomen door de vijf bekendste zintuigen waar mensen mee uitgerust zijn: gezichtsvermogen, gehoor, reukzin, smaakzin en tastzin. Deze klassieke indeling die Aristoteles ruim driehonderd jaar voor Christus opstelde, is achterhaald, maar onder (neuro)wetenschappers bestaat er geen algemene overeenstemming over de definitie van een zintuig. Een fysiologische definitie luidt: "een systeem met sensorische cellen die reageren op een specifieke

vorm van fysische energie en dat overeenstemt met een bepaalde regio (of groep van regio's) in de hersenen waar de signalen ontvangen en verwerkt worden" [1]. Onder deze definitie vallen bij de mens ook temperatuurzin (waarnemen van warm en koud), pijnzin (om (dreigende) weefselbeschadiging op te merken), evenwichtszin (voor stabiliteit), positiezin (bewustzijn van ons eigen lichaam en lichaamsdelen) en interoceptie (voor de gewaarwording dat een stof uitgestoten of aangevuld dient te worden, wat als alles goed gaat resulteert in bijvoorbeeld ademen of ontlasten). Mocht een willekeurig dier hetzelfde stukje op de een of andere manier ook hebben gelezen, dan zou het goed kunnen dat het zich op geen enkele manier iets kan voorstellen bij wat ik hierboven beschreef. Simpelweg omdat het niet over dezelfde zintuigen beschikt als wij, of omdat zijn zintuigen anders zijn afgesteld dan die van ons. Onze ogen hebben een lage lichtgevoeligheid als gevolg van de hoge resolutie waarmee we kunnen zien. Kattenogen zijn afgestemd op nachtelijke jachtpartijen en als gevolg daarvan kunnen katten beter zien in het donker, maar zien ze veel minder details, kleuren en vormen dan wij.

Daarnaast zijn veel dieren uitgerust met zintuigen die wij niet hebben, waarvan we ons geen voorstelling kunnen maken of waarvan we het bestaan nog maar net weten of nog niet eens kennen. Zo is er in 2012 [2] een sensor ontdekt in de familie van de vinvissen ter grootte van een volleybal, waarvan niemand weet wat het doet.

Ruikende slangen

Chemische detectie is de oudste en meest wijdverspreide manier om iets te weten te komen over de omgeving. Onder chemische detectie vallen proeven en ruiken. Het zou zomaar kunnen dat elk organisme in staat is moleculen te detecteren, van bacterie, schimmel, plant tot dier. Er zijn zelfs virussen – door biologen vaak als niet-levend beschouwd – die er toe in staat zijn.

Slangen zijn met hun gevorkte tong ware meesters op het gebied van molecuuldetectie. Ze gebruiken hun tong om te ruiken, niet om te proeven. Aan de punten van de uitgestoken, immer natte tong blijven geurmoleculen plakken, die bij terugtrekking in de bek afgeleverd worden aan het vomeronasale orgaan voor verdere analyse. In zijn proefschrift uit 2014 [3] beschrijft William Ryerson het



Dit artikel is gebaseerd op het boek *Een immense wereld, hoe dierlijke zintuigen de verborgen dimensies om ons heen onthullen* [4] (oorspronkelijke titel *An Immense World. How Animal Senses Reveal the Hidden Realms Around Us*), waarin wetenschapsjournalist Ed Yong de vele zintuigen beschrijft die de natuur rijk is. Hij geeft een spectaculair inzicht in hoe dieren de fysische werkelijkheid waarnemen en daarop hun gedrag afstemmen. Misschien niet altijd even natuurkundig, maar het is een bewonderenswaardig werk en met meer dan duizend referenties biedt het ongetwijfeld ingangen naar nog meer en verdiepend materiaal.

Figuur 1. Bij het tongelen wekt een slang wervelingen op. Foto: Kurt Schwenk (CC BY-ND).

tongelen – de op- en neergaande beweging van de slangentong – in meer detail, maar geeft hij ook aan dat er nog veel onbekend is. Hij richtte zijn onderzoek in eerste instantie op de kousenbandslang (*Thamnophis sirtalis*, zie figuur 1). Bij deze slangensoort bestaat de tongbeweging uit meerdere oscillaties. De uiteinden van de tong blijven recht, het is het niet-gespleten deel waar de tong buigt. Aan het eind van de beweging gaan de tongpunten uit elkaar en halverwege komen ze weer bij elkaar, waarbij twee rondjes in het gevorkte deel ontstaan. Dit wekt twee paar tegengesteld draaiende draaikolken op, waardoor lucht aan de zijkanten wordt aangezogen als een soort ventilator. De aangezogen lucht wordt via de onder- en bovenkant van de tong weer uitgestoten. Zowel de draaikolken als de luchtstroompatronen hebben verschillende oscillaties nodig om zich te vormen, maar blijven bestaan gedurende de hele reeks tongbewegingen. De experimenten voerde Ryerson later uit op andere slangensoorten van verschillend formaat en elke onderzochte soort wekte hetzelfde type wervelingen op. Dit wijst erop dat dit een wijdverbreide eigenschap is onder slangen. De wervelingen verbeteren

het vermogen van een slang om geurmoleculen uit de lucht te verzamelen aanzienlijk en doordat de lucht van links en rechts wordt aangezogen behoudt de slang een richtinggevoel – een soort ‘stereo ruiken’, zoals wij een geluidsbron kunnen lokaliseren aan de hand van het verschil in aankomsttijd in onze oren.

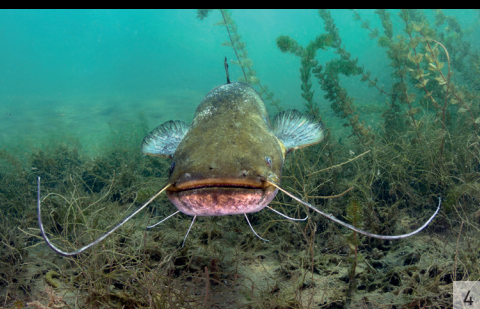
Het zicht van een bidsprinkhaankreeft

“In zekere zin zien we door licht te ruiken”, vertelt wetenschapsjournalist Ed Yong in zijn boek *Een immense wereld. Hoe dierlijke zintuigen de verborgen dimensies om ons heen onthullen* [4]. Alle dieren die kunnen zien, maken gebruik van opsine-eiwitten. Dit zijn lichtgevoelige eiwitten die in feite aangepaste chemische sensoren zijn. In het kort werkt het menselijke zicht als volgt: opsines bevinden zich in het netvlies van het oog en zijn gebonden aan een molecuul dat luistert naar de naam chromofoor. Als op dit chromofoor een foton valt, absorbeert het de energie en verandert het van vorm. Het gekoppelde opsine-eiwit transformeert hierdoor ook, wat tot een keten aan chemische reacties leidt en uiteindelijk tot een elektrische puls richting het brein. Voor kleurenzicht zijn er

in het menselijk oog drie verschillende types opsines, die elk gevoelig zijn voor een ander golflengtegebied: de rode, blauwe en groene kegeltjes. Het brein kan de signalen optellen en aftrekken (een eigenschap die opponentie wordt genoemd), waardoor we een heel spectrum aan kleuren zien van golflengtes tussen 380 en 780 nanometer.

Trichromatie, de mogelijkheid om drie primaire kleuren te detecteren (dit hoeft bij andere soorten niet ook rood, groen en blauw te zijn – sterker nog; onder andere leefomstandigheden zullen dieren gevoeliger zijn voor andere golflengtes), is echter niet bij elk dier de standaard. Dichromaten, dieren die twee primaire kleuren kunnen waarnemen, zien ruwweg één procent van de kleuren die trichromaten kunnen zien.

De bidsprinkhaankreeft heeft een bijzonder gezichtsvermogen en staat tevens bekend om zijn klauwen, waarmee hij de snelste en krachtigste stoten in het dierenrijk uitdeelt. Door de hoge snelheid die kan oplopen tot meer dan tachtig kilometer per uur (in water!) verdampt het water en ontstaan er bubbels die een knallend geluid maken als ze barsten. Maar dat terzijde.



In het oog van bidsprinkhaankreeften bevinden zich twaalf verschillende fotoreceptorclassen, waaronder vier die uv-licht kunnen detecteren. Kun je je voorstellen wat een bidsprinkhaankreeft aan kleuren kan ontwaren! Toch maakt het schaaldiertje het niet zo bont: ze zijn ontstellend slecht in het onderscheiden van subtiele kleurverschillen. Mensen kunnen kleuren onderscheiden waarvan de golflengte één tot vier nanometer verschilt. Bidsprinkhaankreeften kunnen dat nog niet met kleuren die tussen twaalf en vijftig nanometer uit elkaar liggen, ongeveer het

verschil tussen zuiver geel en oranje. Zij zien als het ware de kleuren van een setje van twaalf verschillende potjes verf, maar kunnen de mengkleuren niet waarnemen. Bidsprinkhaankreeften hebben dus wel kleurenzicht, maar geen opponentie. Wetenschappers vermoeden dat hun zicht werkt als een soort barcode, waarbij een bepaald setje getriggerde kleursensoren een bijbehorende reactie opwekt. De ogen van een bidsprinkhaankreeft bestaan uit drie verschillende gebieden – ze hebben trinoculair zicht (zie figuur 2). Zo kan een enkel oog

diepte zien, maar dat is klein bier in vergelijking met het volgende. In de drie gebieden zitten fotoreceptoren die gevoelig zijn voor polarisatie. In het bovenste deel zitten de sensoren die gevoelig zijn voor horizontaal en verticaal gepolariseerd licht en het onderste gedeelte kan diagonaal gepolariseerd licht detecteren. In de middelste sectie gebeurt iets unieks, namelijk de detectie van circulair gepolariseerd licht. De twee ogen van een bidsprinkhaankreeft bewegen meestal onafhankelijk van elkaar en zijn in staat om het polarisatiecontrast tussen een object en de achter-



13



14

ZINTUIGEN IN HET KORT

1. De krachtigste sidderaalsoort, de *Electrophorus vari*, kan een elektrische spanning van 860 volt afgeven. Foto: KKPCW (CC BY-SA 4.0).
2. Zeehonden kunnen met hun gevoelige snorharen de verstoringen in het water detecteren die reeds voorbij gezwommen vissen hebben veroorzaakt. Foto: Unsplash - Shannon VanDenHeuvel.
3. Met een roep zo luid als 236 dB zijn potvissen de grootste herrieschoppers. Gebruiken ze hun infrasone echolocatie louter voor de jacht op reuzenpijlinktvissen in de diepzee, die met hun weke lichamen akoestisch nauwelijks te onderscheiden zijn van zeewater? Of ook om de oceaانبodem op grote afstand te detecteren zodat ze hun veertig ton zware lichamen op tijd kunnen afremmen of van richting veranderen? Foto: Gabriel Barathieu.
4. Om te proeven hebben mensen smaakpapillen op hun tong. De meerval heeft ze aan de buitenkant verspreid over het hele lichaam. De 'zwemmende tong' kan zijn prooi al proeven nog voordat hij hem gevangen heeft. Foto: Unsplash - Milos Prelevic.
5. De infrarooddetectie van *Melanophila*-kevers is net zo gevoelig als die van moderne met vloeibaar stikstof gekoelde quantumdetectoren. Foto: Udo Schmidt (CC BY-SA 2.0).
6. Groefkopadders hebben warmtesensoren die reageren op een temperatuurstijging van 0,001 graden celsius. Ze kunnen de warmte van een knaagdier detecteren tot op een meter afstand. Foto: Patrick Gijsbers (CC BY-SA 4.0).
7. Maar weinig organen in het dierenrijk zijn zo gevoelig voor directe aanraking als onze eigen vingertoppen. Zeeotters zijn uitgerust met net zulke gevoelige poten, ze verwijderen de informatie alleen dertig keer sneller. Foto: Marshal Hedin (CC BY-SA 2.0).
8. De wasmot hoort geluid met een frequentie tot 300 kHz, het hoogste van alle dieren. Foto: Donald Hobern (CC BY 2.0).
9. Om aanvallende spinnen op te merken zijn krekels uitgerust met supergevoelige haren. De hoeveelheid energie die nodig is om de haren van een krekkel op te schudden ligt zeer dicht bij thermische ruis. Ze kunnen nauwelijks gevoeliger worden. Een zeldzaam geval van maximalisatie in plaats van optimalisatie. Op de foto een detail van een vrouwtjeskrekkel van de soort *Gryllus pennsylvanicus* Foto: Mosbo6 (CC BY-SA 4.0).
10. Inktvissen en octopussen kunnen de veranderende kleuren van hun huid niet zelf zien. Het zijn monochromaten, wat betekent dat ze slechts één kleur kunnen waarnemen. Foto: Unsplash - Kostas Morfiri.
11. Haaien gebruiken op zoek naar voedsel een viertrapsraket: eerst gebruiken ze hun reuk, dichterbij gekomen hun zicht, daarna zetten ze hun laterale lijn in (een orgaan aan de zijkant van vissen dat stroming detecteert) en als laatste hun ampullen van Lorenzini. Deze ampullen zijn zo gevoelig dat een kleine hamerhaaisoort een elektrisch veld van één nanovolt kan detecteren over een centimeter water. Foto: Unsplash - Jonas Allert.
12. Het elektrische veld dat de Amerikaanse mesvis kan opwekken oscilleert elke 0,001 seconden, met een foutmarge van 0,00000014 seconden: een van de nauwkeurigste dierlijke klokken. Foto: Clinton & Charles Robertson (CC BY-SA 2.0).
13. Bloemen zijn negatief geladen omdat ze wortelen in de aarde en groeien in de positief geladen lucht. Hierdoor zijn ze omgeven door een voor de bloemsoort kenmerkend elektrisch veld. Hommels kunnen dit veld waarnemen doordat hun haartjes in beweging komen als ze dicht in de buurt van hun gast komen. Foto: Unsplash - Eduardo Goody.
14. Dolfijnen kunnen op een televisie voorwerpen herkennen die ze eerder alleen met echolocatie hebben leren kennen. Foto: Unsplash - Pagie Page.

grond te vergroten. Een eigenschap die dynamisch polarisatiezicht wordt genoemd en voor zover bekend is de bidsprinkhaankreeft de enige diersoort die daarover beschikt.

Luisterende vleermuizen

Denk je aan echolocatie, dan denk je aan vleermuizen. Het principe van hun biologische sonar lijkt simpel: een vleermuis schreeuwt, de geluidsgolven weerkaatsen op objecten, het diertje vangt de echo op en analyseert zo zijn omgeving. Toch heeft een vleermuis heel wat uitdagingen te overwinnen.

Het ultrasone geluid dat vleermuizen uitstoten draagt niet ver. Om voldoende afstand te kunnen overbruggen, concentreren ze de energie van hun roep in een kegel op hun kop, vergelijkbaar met mensen die met de handen om de mond gekromd naar iemand in de verte roepen. De roep van een vleermuis gaat als een soort stralenbundel van een zaklamp zo veel mogelijk één richting op. Daarnaast zijn de kreten hard en we mogen ons gelukkig prijzen dat het voor ons ultrasoon is. De grote bruine vleermuis haalt een volume van 138 decibel, vergelijkbaar met

een startend straalvliegtuig op vijftig meter afstand. Vleermuizen horen hun eigen geluid overduidelijk wel en om te voorkomen dat ze zichzelf doof maken, sluit een spier de oren tegelijkertijd met de schreeuw. Daarna moet de spier zich op tijd ontspannen om de echo waar te kunnen nemen. Echo's leveren slechts momentopnames. Om voldoende informatie te ontvangen als ze op hoge snelheid vliegen, stoten vleermuizen hun kreten met een hoge frequentie uit. Zodra de jacht begint loopt het aantal kreten op tot wel tweehonderd per seconde in de laatste fase, terminaal



Figuur 2. Met zijn bijzondere ogen kan de bidsprinkhaankreeft circulair gepolariseerd licht waarnemen. Foto: Unsplash - Amber Wolfe.

gezoem (*terminal buzz*) genoemd. Zo vaak trekken de stembanden en spieren in de oren dus ook samen, snellere spieren vind je niet bij zoogdieren.

De uitgestoten geluiden en hun echo's zouden zomaar een warboel aan geluid kunnen opleveren, onmogelijk om bron en echo van elkaar te scheiden. Timing is dus belangrijk. Een vleermuis slaakt pas een nieuwe kreet als de echo van de vorige is binnengekomen, zelfs tijdens het terminaal gezoem. Dit is een van de redenen waarom de pulsen slechts enkele milliseconden lang zijn. Zulke korte pulsen helpen ook bij het schatten van de afstand tussen vleermuis en object. Dat doen ze aan de hand van de tijd die tussen de schreeuw en de aankomst van de echo zit. Hoe korter de puls hoe nauwkeuriger de schatting. Ze kunnen dit zo precies dat vleermuizen een echotraagheid van één tot twee miljoenste van een

seconde kunnen detecteren. Dit komt overeen met een afstand van minder dan een millimeter.

De verscheidene lichaamsdelen van een mot, zoals de kop, vleugels of lichaam, weerkaatsen de geluidsgolven met elk een iets andere vertraging en vleermuizen gebruiken een scala aan frequenties die alle miniem anders weerkaatsen. Al die subtiele verschillen tezamen geven de vleermuis extra informatie en het is zeer goed mogelijk dat ze niet alleen de afstand tot hun prooi weten, maar wellicht ook de oriëntatie, textuur, vorm en grootte.

Kleine voorwerpen op een grote achtergrond zijn akoestisch gecamoufleerd. De echo's van stilzittende moten worden overstemd door de echo's van het blad waarop ze zitten. Daar hebben sommige vleermuissoorten wat op gevonden en met name de oplossing van de grootovleermuis is het vermelden waard. Deze

vleermuissoort vliegt objecten in een scherpe hoek aan. De geluidsgolven kaatsen op de achtergrond door, terwijl het geluid van een object dat erop zit teruggekaatst wordt. Maar een eerste signaal zal vaak niet meteen helder zijn, daarom beweegt de vleermuis na een eerste vage detectie op en neer en verzamelt hij informatie vanuit verschillende hoeken om een scherper beeld te krijgen van zijn doel (dat kun je letterlijk nemen, want er bestaan soorten die de visuele cortex van hun brein gebruiken om een mentale kaart van hun omgeving te maken). Zo is er voor het insect geen ontsnappen aan.

Vleermuizen vliegen ook vaak in groepen, maar hoe herkennen ze dan hun eigen echo? Helemaal duidelijk is het niet, maar grote bruine vleermuizen richten hun roep weg van andere individuen, verschuiven de frequentie van hun roep of zijn om de beurt stil. Guanovleermuizen echter vliegen



Figuur 3. Vliegende grote bruine vleermuis. Foto: Sherri en Brock Fenton.

met miljoenen tegelijk hun grot uit, daarbij helpen deze tactieken niet. Het kan zijn dat ze op die momenten hun sonar niet gebruiken en vertrouwen op andere zintuigen of op hun geheugen.

Sonar is een actief zintuig dat energie vreet (in tegenstelling tot bijvoorbeeld geur, waarbij al aanwezige prikkels worden opgevangen). Op bekend terrein gebruiken vleermuizen hun sonar waarschijnlijk niet of minder nauwkeurig. Dat dit sneue gevolgen kan hebben, bleek toen voor de veiligheid (van mensen) een mijn werd afgesloten: de vleermuizen vlogen zich tegen de deur te pletter.

Echolocatie is een vrijwel perfect jachtinstrument. Zodra een vleermuis een gewild insect in de smiezen heeft, is er voor het arme beest bijna geen ontkomen aan. Bijna... Vleermuizen kunnen hun prooi, afhankelijk van de grootte, tot ongeveer tien meter afstand detecteren, maar het geluid legt tweemaal die afstand af. Motten die zich verder dan die tien meter bevinden zijn niet detecteerbaar voor de vleermuis (het terugkerende signaal is te zwak), maar kunnen hem wél horen. Zodra ze een jager horen zetten ze gelijk een ontwijkende manoeuvre in. Daarnaast zijn de geschubde lichamen van motten geluidsabsorberend, wat de 'werkbare' afstand voor vleermuizen verder verkleint.

Tijgermotten, waar 11.000 soorten

van bestaan, hebben organen die ultrasonische klikken kunnen produceren waardoor vleermuizen de motten niet vangen. Dit kan komen doordat ze de sonar van vleermuizen verstoren, maar de tijgermotgeluiden dienen ook als waarschuwing dat ze niet lekker of giftig zijn, net als de felle kleuren van een wesp. Dan zijn er nog de maanvlinders, die twee lange uitlopers aan hun vleugels hebben zitten. Deze staarten brengen de sonar van vleermuizen in de war. Hoe dat precies in zijn werk gaat, is onduidelijk. Het zou kunnen dat de echo's van de staarten en het lichaam samensmelten, waardoor de maanvlinder groter lijkt dan hij is en de vleermuis zijn kaken in de staarten zet (die zonder verdere schade voor de maanvlinder afbreken). Of ze kunnen klinken als aparte of opvallender doelen. Hoe het ook zij, een maanvlinder zonder slierten heeft negen keer meer kans om opgegeten te worden dan eentje met.

Het verhaal van echolocatie bij vleermuizen is eigenlijk nog complexer. Hierboven staat beknopt de jachttechniek beschreven van 'frequentie-gemoduleerde' vleermuizen (korte pulsen, verschillende toonhoogtes). Er zijn ook soorten die 'constante frequentie'-vleermuizen worden genoemd, die gebruikmaken van langere pulsen en een constante frequentie.

Meer zintuigen

Er is ontzettend veel meer te vertellen over zintuigen bij dieren, helaas is er niet meer ruimte in dit artikel. We hebben het niet gehad over pijnreceptie, die bij elk dier anders is. Zo zijn er geleedpotigen die hun eigen poten opeten omdat ze niet in de gaten hebben dat ze van zichzelf zijn doordat ze daarvan geen pijn ervaren en. De kleine tentakels aan het uiteinde van de snuit van een stermol tasten hun omgeving zo snel af dat opnames vijftig keer vertraagd moeten worden willen we kunnen zien wat er gebeurt. Schorpioenen jagen met behulp van seismische trillingen die zich voortplanten in losliggende korrels zand. Roodborstjes en andere trekvogels kunnen het aardmagnetisch veld detecteren, maar de werking is onderwerp van debat. Elektrische vissen, die hun prooi zowel kunnen lokaliseren als laten verstijven met behulp van elektrische ontladingen... Je kunt het zo gek niet bedenken of er zijn dieren die het kunnen.

REFERENTIES

- <https://nl.wikipedia.org/wiki/Zintuig>.
- Nicholas D. Pyenson, *Discovery of a sensory organ that coordinates lunge feeding in rorqual whales*, *Nature* **23-485**, 498-501 (2012).
- William Ryerson, *Why Snakes Flick Their Tongues: A Fluid Dynamics Approach*, proefschrift, Saint Anselm College (2014).
- Ed Yong, *Een immense wereld. Hoe dierlijke zintuigen de verborgen dimensies om ons heen onthullen*, Atlas Contact (2022).