

ily cere-
cahier

luisteren naar de
boom des levens
karen bakker

ily cere- cahier 33
a part of:

KAREN BAKKER

GELUIDEN VAN HET LEVEN

Luisteren naar de gesprekken
van dieren, planten, koralen en
schimmels

In vertaling van
Irwan Droog

NOORDBOEK

10.

LUISTEREN NAAR DE BOOM DES LEVENS

‘Laten we mensen weer in gesprek brengen met alles wat groen is en groeit; een universum dat nooit is opgehouden tegen ons te praten, zelfs toen we vergaten hoe te luisteren.’ – Robin Wall Kimmerer, *Braiding Sweetgrass*

In 2010 resteerden er nog geen vierhonderd levende noordkapers voor de noordoostelijke kust van de Verenigde Staten. Na het einde van de industriële walvisvaart bleven ze over als een van de meest bedreigde diersoorten ter wereld. Toen hun gebruikelijke territorium in de Golf van Maine die zomer werd getroffen door een ongekennde hittegolf, werd hun thuis het snelst opwarmende gebied op aarde.¹ Kort daarop verdwenen de walvissen uit de golf. Niemand wist waar ze naartoe waren gegaan, maar wetenschappers vermoedden dat ze klimaatvluchtelingen waren geworden, wanhopig op zoek naar voedsel.²

Noordkapers, die tot de grootste zoogdieren op aarde behoren, voeden zich vooral met een van de kleinste wezens in de oceaan: roeipootkreeftjes. Die roeipootkreeftjes – planktonische wezens die de grootste biomassa aan dieren op de planeet vormen, de basis van veel mariene voedselketens – gedijen goed in opwellend koud water dat rijk is aan voedingsstoffen. Toen de hittegolf Maine trof, werd het koude water naar het noorden verdreven en nam de roeipootkreeftjespopulatie plotseling snel af.³ Kort daarna verdwenen de walvissen ook.⁴

Een paar maanden later werden de walvissen honderden kilometers noordelijker gespot, in de Golf van St. Lawrence, een van de rijkste

mariene zones ter wereld, waar de Grote Meren (die meer dan een kwart van al het zoete water op aarde bevatten) via de St. Lawrencerivier uitkomen op de Atlantische Oceaan. Niet alleen de walvissen trokken naar het noorden; in dat jaar waren er zalmen gezien in Arctische rivieren als de Mackenzie, en werden er blauwvintonijnen voor de kust van Groenland gespot, duizenden kilometers van hun vaste territorium verwijderd, op zoek naar nieuwe leefgebieden.⁵ De walvissen hadden een wijs besluit genomen: ze hadden hun weg gevonden naar de Shediak Valley, een biodiverse hotspot, een vluchtoord, en een kraamkamer voor marien leven. Daar hadden ze kunnen opbloeien, gezien het talrijke voedsel. Maar de Golf van St. Lawrence is ook een van de meest bevaren scheepsroutes ter wereld. De walvissen hadden geluk met het buffet dat ze vonden, maar om ervan te eten, moesten ze het waterequivalent van een twaalfbaanssnelweg oversteken.

Met deze nieuwe concentratie walvissen in de golf, werden ze steeds vaker aangevaren door schepen. Opgeblazen lichamen van walvissen spoelden op de kusten aan, hun huid vol sneeën van scheepsschroeven en verwrongen door harde klappen.⁶ Een recordaantal walvissen raakte verstrikt in visnetten, waar ze vaak aan overleden. In 2017 werden er aan de Canadese kant van de grens meer dan twaalf sterfgevallen van walvissen toegeschreven aan verstrikkingen en aanvaringen; nog eens acht walvissen stierven in de twee jaar daarna.⁷ Waarschijnlijk zonken er nog veel meer lichamen naar de bodem van de oceaan voordat ze gespot werden; voor een diersoort met nog zo weinig individuen, zou dit zomaar het einde kunnen betekenen.⁸

Overheden wisten niet goed wat ze konden doen. Het was moeilijk om precies te zeggen waar de walvissen waren, en data van luchtobservaties was vaak verouderd, soms wel een jaar oud.⁹ Conventionele strategieën om walvissen te beschermen – het stilleggen van de visserij, het aanwijzen van kritieke leefgebieden, en het aanpassen van vaarroutes – zijn gebaseerd op de aanname dat walvissen elk jaar rond dezelfde tijd naar dezelfde gebieden trekken. Maar nu de omstandigheden van de oceaan zo snel veranderden, wist niemand waar de walvissen nu weer zouden opduiken. Wetenschappers wilden een breed pakket aan regels voor het vaarverkeer invoeren: snelheidslimieten en beperkingen voor de visserij, tot de nieuwe migratiepatronen van de walvissen

waren vastgelegd. Maar vissers en vervoersbedrijven verzetten zich daartegen. De politici kozen de kant van de industrie; gezien de onzekere wetenschappelijke feiten en onvoldoende data, gingen de vis- en vervoersbedrijven gewoon door met wat ze deden.¹⁰ Er ging een jaar voorbij, toen twee; de walvissen bleven doodgaan. Tegen 2019 was één op de tien walvissen overleden na een aanvaring of verstrikking, meer dan vijftig in totaal; de tijd om ze te redden was bijna voorbij.¹¹

Twee uitdagingen maakten het moeilijk om nog meer sterfgevallen te voorkomen: uitvogelen waar de walvissen zich nou eigenlijk bevonden, en schepen snel genoeg waarschuwen om ze te kunnen vermijden. De bioakoestiek leek voor beide kwesties een oplossing te kunnen bieden. De visserij was afhankelijk van luchtbeelden om de walvissen te monitoren, maar die methode was duur, inefficiënt en werd vaak belemmerd door slechte weersomstandigheden. Plaatselijke biologen als Kimberly Davis, hoogleraar aan de universiteit van New Brunswick, wisten dat passieve bioakoestische monitoring zou kunnen helpen om de locaties van walvissen continu in de gaten te houden, en nog nauwkeuriger en goedkoper ook.¹² In het afgelopen decennium hebben mariene biologen als Davies akoestische monitoringsystemen ontwikkeld en verfijnd om de verplaatsingen van walvissen te volgen; hun data bevestigde dat veel walvissen meer tijd doorbrachten in noordelijke gebieden, en kon met hoge nauwkeurigheid aangeven waar ze precies waren.¹³

De sleutel tot het succes van Davies was een innovatief bioakoestisch apparaat: een soort autonome, akoestische onderwater‘glijder’, voorzien van hydrofoons – een soort mariene versie van een drone. Deze drones, zo legt Davies uit, ‘kunnen in er tijdens alle weersomstandigheden op uit om vierentwintig uur per dag te monitoren, zeven dagen per week’.¹⁴ Toen Davies in 2019 begon met het volgen van walvislocaties, sloeg ze alarm. Terwijl haar glijders door het water bewogen, toonde de data aan dat walvissen een veel groter gebied afleggen dan we eerder vermoedden. Davies waarschuwde de autoriteiten: als er niet direct strengere regelgeving kwam voor de zeevaart en de visserij, in een groot deel van de oceaan, zouden er meer walvissen sterven. Ze zag de bezwaren al aankomen, dus presenteerde ze direct haar bioakoestische oplossing. Wanneer een onderwaterdrone een noordkaper detecteert, wordt

de locatie ervan aan lokale overheden, vissers en scheepskapiteins doorgegeven, en wordt een groot gebied (zo'n vijftientwintighonderd vierkante kilometer) rond de locatie gedurende vijftien dagen afgesloten voor bepaalde soorten visserijen, zoals de krab- en kreeftenvisserij.¹⁵ Op sommige locaties kan het gebied voor de rest van het visseizoen worden gesloten als er een tweede keer een walvis wordt gespot. Daarnaast komen er 'langzame zones', waarin alle schepen zich moeten houden aan verplichte snelheidslimieten (tien knopen per uur).¹⁶ Hoe langzamer een schip vaart, des te kleiner de kans dat een aanvaring fataal is. De grenzen van deze zones liggen niet vast en hangen af van walvisobservaties en de omstandigheden van de oceaan, zoals de watertemperatuur, die invloed heeft op waar walvissen samenkomen. In zones waar walvissen meer gevaar lopen, kunnen schepen die te snel varen boetes krijgen van een kwart miljoen dollar.¹⁷ De gegevens over walvislocaties en snelheidsrestricties worden weergegeven in opensourcekaarten die naar alle schepen in het gebied worden gestuurd, dus niemand kan zeggen dat ze er niet van op de hoogte waren.

Na uitvoerige onderhandelingen heeft de Canadese overheid dit op de bioakoestiek gebaseerde systeem toegepast in de Golf van St. Lawrence, als onderdeel van een pakket ingrepen.¹⁸ De onderwaterdrones van Davies werden nu in dit nieuwe mobiele beschermde gebied ingezet. Het had direct effect: binnen enkele uren na hun lancering detecteerden de drones walvissen en meldden ze dat schepen moesten afremmen. In 2020 en 2021 zijn er geen meldingen geweest van noordkapers die in de Golf van St. Lawrence zijn overleden na aanvaringen met schepen.¹⁹

Het verhaal van de Noord-Atlantische noordkapers is een parabel over een digitale toekomst waarin de bioakoestiek ingezet zou kunnen worden om bedreigde diersoorten over de hele wereld te beschermen. Dankzij een handvol onderwaterdrones en een artificial intelligence-algoritme in een klein universiteitslaboratorium, heeft een populatie van vierhonderd walvissen nu invloed op de verplaatsingen van tienduizenden schepen in een gebied dat vijfenveertig miljoen mensen herbergt. Oftewel: de digitale bioakoestiek stelt ons niet alleen in staat om walvissen af te luisteren, maar ook om ze te beschermen – door simpelweg bij ze uit de buurt te blijven.

Er worden momenteel over de hele wereld vergelijkbare systemen gebouwd, zowel op het land als in het water. Wanneer machinelearning-algoritmes eenmaal betrouwbaar genoeg zijn, is de volgende stap om die algoritmes direct aan de sensoren in het veld te koppelen. Als elke sensor voorzien is van een algoritme dat in real time data kan verwerken, heeft dat allerlei nieuwe mogelijkheden voor natuurbescherming tot gevolg. Een akoestische AI-sensor in een nationaal park zou bijvoorbeeld geweerschoten kunnen detecteren, en dan vrijwel gelijktijdig een waarschuwing kunnen sturen naar een antistroperijpatrouille. Mobiele beschermde gebieden – ondersteund door realtime bio-akoestische data – zouden een belangrijke rol kunnen spelen in de toekomst van het natuurbehoud.

Als we dit doel willen bereiken – computergestuurde denkkraft en dataopslag naar de sensoren in het veld brengen (wat sommige onderzoekers ook wel *edge computing* noemen) – zijn er twee dingen van belang: de sensoren moeten een betrouwbare energiebron hebben, en ze moeten aangesloten zijn op betrouwbare netwerken, ook in afgelegen gebieden. Experts denken dat deze kwesties ergens in de komende tien jaar opgelost zullen worden; energieproblemen kunnen bijvoorbeeld baat hebben bij nieuwe sensoren die minder energie verbruiken of op batterijen werken, en nieuwe wereldwijde internetsystemen zouden het communicatieprobleem kunnen oplossen. Sommige onderzoekers voorspellen dat dit ‘batterijloze internet van geluiden’ binnen een decennium operationeel zal zijn.²⁰ Als die voorspelling uitkomt, zou dat het realtime akoestische natuurbehoud in staat stellen om overal ter wereld bedreigde diersoorten te beschermen, van de drukste tot de meest afgelegen plekken op de planeet.

DE WALVIS DIE HET SCHIP BESTUURDE

Om de bioakoestische conservatiesystemen te laten slagen, moeten mensen iets heel nieuws accepteren: hun gedrag aanpassen als reactie op iets wat we niet kunnen horen of zien. Natuurlijk ga je langzamer rijden als je een eland de weg ziet oversteken; maar het is minder vanzelfsprekend om je vrachtschip een andere koers te laten varen omdat je computer je vertelt dat het een walvis in de buurt heeft gedetecteerd.

Bioakoestische conservatiesystemen kunnen alleen succesvol zijn als we vertrouwen krijgen in deze nieuwe technologieën, en geloven dat de uitkomsten – het redden van bedreigde diersoorten – opwegen tegen de nadelen.

Een van de meest ambitieuze bioakoestische plannen ter wereld, voor de kust van Californië, probeert de mindset van de wereldwijde scheepsindustrie te veranderen. Er kijken veel mensen mee: als de just-in-time-industrie instemt met bioakoestische conservatieplannen, zou dat een voorbeeld kunnen zijn voor de rest van de wereld. De Californische kwestie is een voorbeeld van de uitdaging waar walvisbeschermers overal voor staan: het scheepsverkeer is exponentieel gegroeid door de mondiale markt, en grote schepen gaan sneller dan ooit, waardoor er veel aanvaringen met walvissen plaatsvinden in gebieden met veel verkeer.²¹ Het Santa Barbara Channel, net ten noorden van Los Angeles, is een van de drukste vaarroutes ter wereld; het is niet ongebruikelijk om daar containerschepen zo hoog als wolkenkrabbers te zien. Daarnaast is het ook de traditionele migratieroute en het foerageergebied van de bedreigde gewone vinvis, bultrug en blauwe vinvis, die als grootste dieren ter wereld bijzonder veel risico lopen op aanvaringen. In dit kanaal torenen de schepen zo hoog boven het wateroppervlak uit dat walvissen moeilijk te spotten, laat staan te ontwijken zijn. Zo'n tien jaar geleden stelde de federale overheid in bepaalde zones facultatieve snelheidslimieten in – een lagere vaarsnelheid vermindert het aantal overleden walvissen drastisch, zo is aangetoond²² – maar minder dan de helft van de schepen besloot zich aan die vrijwillige beperking te houden.²³ Nog nooit eerder werden er zoveel fatale aanvaringen gemeten in Zuid-Californië als in 2018 en 2019. En zelfs die treurige statistiek verbloemt de ware sterftecijfers nog, aangezien de meeste dode walvissen zinken voordat ze kunnen aanspoelen.²⁴

Hierop besloot een team onder leiding van marien wetenschapper Morgan Visalli, aan de University of California in Santa Cruz, een nieuw bioakoestisch walvisbeschermingssysteem te ontwikkelen. Het zogeheten Whale Safe combineert de bioakoestiek met drie andere digitale technologieën.²⁵ Allereerst gebruikt een onderwatermonitorsysteem de bioakoestiek om automatisch walvisgeluiden te

detecteren;²⁶ een verzameling onderwatermicrofoons (hydrofoons) registreert en verwerkt geluiden aan de hand van artificial intelligence-algoritmes die niet alleen walvissen kunnen identificeren, maar die ook kunnen vaststellen of het blauwe vinvissen, bultruggen of gewone vinvissen zijn. Die data wordt vervolgens via satellieten naar walvisonderzoekers gestuurd, ter beoordeling en bevestiging. In de tweede stap gebruiken mariene wetenschappers in Santa Barbara modellen om te voorspellen waar walvissen zich zullen bevinden, door oceanografische data (watertemperaturen, de geografie van de oceanbodem en stromingen) te combineren met eerdere onderzoeken naar walvislocaties, waarvoor destijds satelliettags waren gebruikt.²⁷ Doordat de temperaturen en omstandigheden van de oceanen elke dag in beweging zijn, zijn de walvissen dat ook; de modellen zijn in staat hun bewegingen heel nauwkeurig te voorspellen, bijna in real time. Bij de derde stap worden deze voorspellingen gekoppeld aan daadwerkelijke walvisobservaties, die burgerwetenschappers, zeevaarders en walvispotters vastleggen via smartphoneapps.²⁸ Whale Safe brengt vervolgens de locaties van schepen in kaart,²⁹ en al die verschillende gegevens worden aan elkaar gekoppeld om de aanwezigheid van walvissen via signalen aan te geven, een beetje als de kleuren van een stoplicht: bij groen licht zijn er geen walvissen in de buurt, bij geel/oranje moeten schepen goed opletten, en bij rood zijn er zeker walvissen in de buurt (en moeten de schepen langzaam varen). Die signalen worden in real time aan scheepskapiteins gecommuniceerd, via hun smartphones of tablets.³⁰ Die kapiteins worden aangespoord om langzamer te varen en meer mensen op de uitkijk te zetten; hun schepen worden gemonitord om te zien of ze de adviezen opvolgen. Doordat Whale Safe ook aangeeft of walvissen langer dan verwacht in een gebied blijven, helpt het ook bij het bepalen of en hoe de langzaam-vaarzones uitgebreid moeten worden. Het team van Whale Safe, dat de schepen monitort, publiceert uiteindelijk een soort openbare rapporten, waarin staat in hoeverre de schepen zich houden aan de snelheidsbeperkingen. Schepen die de restricties negeren, krijgen een onvoldoende. Om te zorgen dat meer kapiteins meewerken, ontwikkelen wetenschappers infrarood-hittcamera's om op de boeg van schepen te bevestigen – als een

soort dashcam – waarmee walvissen én aanvaringen direct opgemerkt kunnen worden. Als schepen zich in de toekomst niet houden aan de beperkingen binnen bepaalde zones, worden ze op heterdaad betrapt.³¹

Whale Safe is een enorme stap voorwaarts vergeleken met vorige methodes, die minder nauwkeurig waren en afhankelijk waren van incomplete data, en waarbij wetenschappers eerst hun opnameapparaten uit de oceaan moesten halen om de data te kunnen analyseren, waardoor er een vertraging van weken of maanden optrad. Nu kunnen wetenschappers de aanwezigheid van walvissen bijna in real time voorspellen, een beetje als weersvoorspellingen; ze kunnen inschatten hoe waarschijnlijk het is dat er in een bepaald gebied walvissen zullen verschijnen.³² Na een succesvolle start in 2020 wil het team nu uitbreiden naar de San Francisco Bay.

In andere delen van de wereld zijn soortgelijke projecten tot stand gekomen. In de South Taranaki Bight (tussen de noordelijke en zuidelijke eilanden van Nieuw-Zeeland) bijvoorbeeld hebben wetenschappers onlangs de bioakoestiek ingezet om een populatie blauwe vinvissen te identificeren, die daar – nogal uniek – haar vaste verblijfplaats heeft. De onderzoeksleider, Leigh Torres, kreeg heel wat kritiek te verduren toen ze vermoedde dat er walvissen waren met een vaste verblijfplaats; woordvoerders van de scheeps- en mijnindustrie waren van mening dat de walvissen in kwestie deel uitmaakten van een migrerende populatie (zoals de meeste andere walvissen). Maar het nauwkeurige bioakoestische onderzoek van Torres, gecombineerd met genetische tests, toonde aan dat de blauwevinvissenpopulatie genetisch afweek en hier het hele jaar door aanwezig was.³³ Toen er aanvragen werden ingediend voor diepzeemijnbouw in dat gebied, ontketende de nieuwe kennis over deze ongebruikelijke populatie een nationale beweging die de Nieuw-Zeelandse blauwe vinvis wilde redden, wat er uiteindelijk toe leidde dat het hooggerechtshof de mijnbouwvergunningen introk en de overheid dwong om de diepzeemijnbouw in zijn geheel te verbieden.³⁴ In de tussentijd hebben wetenschappers een model ontwikkeld dat de locaties van blauwe vinvissen kan voorspellen, aan de hand waarvan er dynamische, mobiele beschermingszones gecreëerd kunnen worden in de South Taranaki Bight.³⁵

Visalli wijst erop dat de hele gemeenschap er baat bij heeft als schepen hun snelheid minderen; langzamere schepen komen niet alleen minder vaak in aanvaring met walvissen, maar produceren ook minder geluidsvervuiling, en stoten minder verontreinigende stoffen en CO₂ uit. Walvissen van aanvaringen redden heeft bovendien een positief effect op het tegengaan van de gevolgen van de klimaatverandering. Walvissen zijn heel efficiënt in het opslaan van koolstof. Wanneer een walvis overlijdt, heeft het dier gemiddeld zo'n dertig ton koolstofdioxide uit de atmosfeer gefilterd, en dat doen ze al eeuwen. Ter vergelijking: de gemiddelde boom absorbeert maar tweeëntwintig kilo CO₂ per jaar.³⁶ Klimatologisch gezien is één walvis het mariene equivalent van duizenden bomen. Daarnaast helpen walvissen met de verwerking van koolstof door de oceaan te bemesten, aangezien hun nutriëntrijke uitwerpselen groeiende fytoplanktonpopulaties voeden, die vervolgens ook weer koolstof verwerken – sommige wetenschappers noemen ze dan ook de 'grondleggers van mariene ecosystemen'. In 2019 schatten economen van het Internationaal Monetair Fonds (IMF) in dat elke walvis voor bijna twee miljoen euro aan diensten voor het ecosysteem levert. Ze riepen op tot nieuwe, wereldwijde economische maatregelen om walvispopulaties te herstellen tot het niveau van vóór de walvisjacht, als voorbeeld van een 'op de natuur gebaseerde oplossing' voor de klimaatverandering.³⁷

Er wordt nu gepleit voor een wereldwijde aanpak om de walvissen te helpen herstellen, zowel om de mariene biodiversiteit te ondersteunen als om de klimaatverandering tegen te gaan. Onderzoekers werken aan de benodigde technieken en apparatuur om alle oceanen op aarde te voorzien van bioakoestische monitoring en beschermde zones. Vandaag de dag bestaan er her en der geïsoleerde walvisbeschermingsgebieden. Maar in de toekomst zou een netwerk van bioakoestische luisterstations in alle oceanen flexibele 'walviswegen' kunnen aanleggen, door de input van de walvissen zelf.

MOBIELE BESCHERMINGSZONES

Het meest recente rapport over de staat van de oceanen van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) voorspelt dat ma-

riene hittegolven, de stijgende zeespiegel, stervende koralen en het verdwijnen van zee-ijs een verwoestend effect zullen hebben op de huidige biodiversiteit.³⁸ De wereldwijd stijgende watertemperaturen, veranderende oceaanstromingen en de toename van extreme weersomstandigheden hebben al massale migraties van mariene populaties in gang gezet.³⁹ Nu de wezens in de oceanen zich op onvoorspelbare manieren bewegen, kan het zijn dat mobiele beschermingszones een noodzakelijke, wijdverspreide aanpak zullen worden. Het zal nog belangrijker worden om naar hun aanwezigheid te luisteren via de digitale bioakoestiek; dat wordt het 'nieuwe normaal' in marien natuurbehoud.

Er bestaan al bepaalde technische fundamenteën die nodig zijn voor mobiele beschermingszones, in de vorm van akoestische telemetrienetwerken als het Integrated Marine Observing System (IMOS) in Australië, het NOAA Ocean Noise Reference Station Network in de vs, en het Acoustic Tracking Array Platform in Zuid-Afrika.⁴⁰ Deze luisterende netwerken kunnen bijdragen aan het vaststellen van de aanwezigheid van bedreigde diersoorten, en inschatten hoe mariene organismen zich bewegen, om beschermde zones te kunnen afstellen op veranderende omstandigheden.⁴¹ Nu de het smeltende Arctische ijs nieuwe gebieden opent voor de scheepvaart, zijn er nieuwe manieren nodig om aanvaringen tussen schepen en walvissen te voorkomen in gebieden als de Beringstraat – waar zowel schepen als walvissen in grote getale aanwezig zijn.⁴²

Deze mobiele beschermingszones zijn een veelbelovend voorbeeld van nieuwe strategieën die zijn ontstaan door het gebruik van digitale technieken door wetenschappers en natuurbeschermers om urgente uitdagingen het hoofd te bieden. Hoewel mensen de bewegingen van dieren al duizenden jaren lang volgen – om te overleven, maar ook om wilde diersoorten te managen en beschermen – nooit eerder konden we ze zó goed in de gaten houden als met deze digitale technieken. In de afgelopen tien jaar hebben de steeds kleinere, betere, nieuwe, goedkope apparaten die dieren kunnen *tracken* en verbonden zijn met het internet, een nieuw tijdperk van 'biologging' ingeluid, waardoor we zelfs kleine diersoorten als insecten nauwkeurig kunnen monitoren, evenals diersoorten die over lange afstanden migreren, zoals zalmen en

schildpadden.⁴³ Een deel van dit volgwerk gebeurt visueel, maar veel ervan leunt op de akoestiek.⁴⁴

Waarom is dit belangrijk? Nu de terugloop in biodiversiteit versnelt, is de zesde massa-uitsterving van deze planeet ingezet. Veel diersoorten reageren hierop door hun gedrag aan te passen – door bijvoorbeeld nachtdieren te worden – of door naar nieuwe gebieden te migreren. En aangezien mensen blijven doorgaan met het beïnvloeden van zowel landelijke als mariene leefgebieden, én het klimaat, loopt de natuurbescherming tegen een nieuw probleem aan: de leefgebieden van bedreigde diersoorten verdwijnen, of verplaatsen zich naar andere locaties, door de klimaatverandering. De zones die ingericht waren om hen te beschermen, bevatten niet meer voldoende voedsel of het geschikte leefgebied dat ze nodig hebben om te overleven. Daarom moeten deze zones voor een groeiend aantal diersoorten geografisch mobiel zijn.

De komende tientallen jaren zullen er naar schatting nog zo'n twee miljard mensen bij komen; de bioakoestiek zal een van onze beste technieken zijn om menselijke activiteiten in balans te brengen met andere soorten. Het digitale akoestische monitoren, gecombineerd met geavanceerde vormen van artificial intelligence, zoals machinelearning, stellen wetenschappers in staat om de dierlijke biodiversiteit in real time in een model te vatten; dat model kan gebruikt worden om vocaal actieve diersoorten te volgen, evenals diersoorten die geen geluid maken maar wel nauw interacteren met of afhankelijk zijn van soorten die geluid produceren.⁴⁵ Vervolgens zou dit kunnen helpen om menselijke bewegingen op de meest kwetsbare locaties en op de meest kwetsbare momenten aan te passen of te beperken. In plaats van een klein aantal parkjes zouden we grote hoeveelheden evoluerende 'beschermingszones' kunnen creëren, die dieren volgen terwijl ze zich door snel veranderende gebieden bewegen. Natuurlijk kunnen bioakoestische conservatieprojecten niet alle bedreigingen van biodiversiteit aanpakken – denk bijvoorbeeld aan chemische vervuiling. Maar toch biedt bioakoestische natuurbescherming een van de beste handvatten om de biodiversiteit in stand te houden.

Bioakoestische technologieën kunnen ook ingezet worden om criminele activiteiten te voorkomen. Zo wordt de bioakoestiek bijvoor-

beeld gebruikt om dynamietvissen te monitoren en in kaart te brengen. Die vistechiek, waarbij vissers illegaal verkregen of zelfgemaakte explosieven van kerosine en kunstmest gebruiken, is wel omschreven als het mariene equivalent van de olifantenstroperij; de vissers kiezen een koraalrif met een grote dichtheid aan vissen en gebruiken dan explosieven om die te doden en te verdoven, zodat ze makkelijker te oogsten zijn. Ook op vissen die dieper in de oceaan leven (zoals tonijnen) worden steeds vaker gevestigd met explosieven, waarna ze door duikers worden gevangen. De overlevende dieren blijven vaak verminkt achter met permanente gehoorschade, wat hun toekomstige overlevingskansen verkleint. Dynamietvissen, dat veel wordt gedaan binnen de Koraaldriehoek in Zuidoost-Azië, evenals in Tanzania, is moeilijk te monitoren en aan banden te leggen; kleinschalige vissers hebben weinig moeite met het ontwijken van sporadische patrouilles.⁴⁶ Passief akoestisch monitoren, gecombineerd met geautomatiseerde algoritmes die ontploffingen kunnen herkennen, kan eenvoudig illegale visserspraktijken op wel vijftig of zestig kilometer afstand detecteren, en de autoriteiten zo bijstaan in het snel identificeren van de daders.⁴⁷

Akoestische technologieën kunnen mensen niet alleen helpen om bedreigde diersoorten te lokaliseren en om uit hun buurt te blijven, maar ook om die diersoorten te helpen om mensen te vermijden. Terwijl mensen zich wereldwijd steeds meer zorgen zijn gaan maken om de enorme hoeveelheden bijvangst van de visserij (vooral schildpadden en dolfijnen, maar ook walvissen zijn daar het slachtoffer van), zijn er akoestische alarmen ontwikkeld om zeezoogdieren en vissen te kunnen waarschuwen. Vandaag de dag zijn er honderdduizenden digitale akoestische afschrikapparaten bevestigd aan boten, netten, kades en kooien om het onderzeese leven te waarschuwen; die apparaten kunnen zelfs ingesteld worden om specifieke diersoorten te alarmeren.⁴⁸ Toch zijn er ook mensen die bang zijn dat deze alarmen meer kwaad doen dan goed. Zo kunnen akoestische afschriktechnieken die voor bepaalde diersoorten werken een negatief effect hebben op andere dieren; een beetje zoals een fel licht bij je voordeur weliswaar inbrekers afschrikt, maar je burens kan irriteren.⁴⁹ Daarnaast kan het cumulatieve geluid van al die alarmen andere geluiden maskeren, als een soort ruis in de akoestische ruimte, zelfs als ze relatief zacht zijn; zo'n

constante brom zal niet direct dieren doden, maar het kan wel een negatieve invloed hebben op de kwaliteit en het bereik van hun communicatie; dieren zouden kunnen stilvallen, of alleen nog maar geluiden horen op korte afstanden. Voor een vis of dolfijn zou dat betekenen dat ze langzaam doof en blind worden.⁵⁰ Hierop stellen sommige wetenschappers binnen de bioakoestische onderzoeksgemeenschap dat er stillere technieken nodig zijn, en alternatieven voor akoestische afschrikmiddelen.⁵¹ Maar zelfs als we besluiten dat we geen akoestische afschriktechnieken meer zullen gebruiken, zal dat niet voldoende zijn iets te doen aan het algemenere en veel grotere gevaar dat het leven onder water bedreigt: een exponentieel groeiende aanval van lawaai.

EEN LAWAAIIGE OCEAAN DE MOND SNOEREN

Op de ochtend van 11 september 2011 maakte bioloog Rosalind Rolland zich gereed om met haar boot op pad te gaan in de Bay of Fundy; het water was kalm en het was een prachtige, zonnige herfstdag. Toen ze het nieuws van de aanslagen op de radio hoorde, kon ze het bijna niet geloven. Na een tijdje besloot het team toch de oceaan op te gaan, ondanks hun angst, omdat de baai 'de ziel kalmeerde', zei Rolland.⁵² Op zee kon het team zich op hun taken storten: monsters verzamelen van walvisfecaliën, als deel van een onderzoek naar de gezondheid en voorplanting van noordkapers. Die monsters zouden ze later in het laboratorium analyseren, op zoek naar hormonen die verband houden met stress en gezondheid bij walvissen.

Oceanograaf Susan Parks was ook op pad in haar boot, data aan het vergaren voor een onderzoek naar het sociale gedrag van noordkapermoeders en -kalveren. Hoewel de meeste schepen in de week na de aanslagen aangemeerd bleven in de haven, zette Parks haar geluidsonames in de baai voort. Als twee van de weinige walvisonderzoekers die gedurende die bijzonder stille periode op zee aan het werk waren, realiseerden Parks en Rolland zich pas maanden later dat hun data gecombineerd kon worden om een baanbrekende vraag te beantwoorden: kunnen zachtere geluidsniveaus in de oceaan in verband gebracht worden met lagere stressniveaus van walvissen?

Dat is een urgente vraag, aangezien het lawaai in veel delen van de

oceanen sinds de jaren 1950 elk decennium is verdubbeld.⁵³ Dat is grotendeels te wijten aan de groeiende industrialisatie van de oceaan.⁵⁴ De groei en globalisatie van de handel heeft geleid tot een vertienvoudiging van de tonnage van commerciële schepen. In de afgelopen jaren heeft de wedloop om diepzee olie- en gasvoorraden te kolonialisieren een boost in seismisch onderzoek teweeggebracht; gecombineerd met het toegenomen scheepsverkeer, sonar, bouwwerkzaamheden en akoestische afschrikapparatuur, is het industriële lawaai in de oceanen hierdoor exponentieel toegenomen.⁵⁵

Het experiment van Parks en Rolland legde de effecten van tientallen jaren stress op walvispopulaties vast. De resultaten van hun gecombineerde analyses haalden de krantenkoppen: in de tijdelijke stilte na 9/11 waren de stressniveaus van de walvissen beduidend lager.⁵⁶ Toen het mariene lawaai tot een kwart van eerdere niveaus daalde, werd er eenzelfde daling gemeten in de stressgerelateerde hormoonstofwisseling van de walvissen. En toen het scheepsverkeer en het lawaai weer toenamen, steeg de stress bij walvissen ook weer. Gelijksortige effecten zijn waargenomen bij mensen; blootstelling aan lawaai wordt geassocieerd met hogere bloeddruk, hogere niveaus van stresshormonen, cardiovasculaire gevolgen en hartziektes bij mensen.⁵⁷ Maar niemand had ooit eerder de effecten van lawaaiervuiling op walvissen aangetoond.⁵⁸

Nieuwsgierige onderzoekers begonnen onderzoek te doen naar andere zeedieren, en legden soortgelijke effecten vast bij een breed scala aan soorten – zelfs bij ongewervelden, zoals inktvissen.⁵⁹ Twintig jaar later kunnen we niet om het bewijs heen: lawaaiervuiling verhoogt niet alleen stressniveaus bij mariene diersoorten, maar heeft daarnaast nog vele andere nadelige gevolgen voor hun gezondheid. Zelfs geluiden met een lage intensiteit, zoals van vrachtschepen in de verte – of zelfs van auto's of vliegtuigen in de verte – kunnen ervoor zorgen dat octopussen hun adem inhouden en dat oesters hun schelpen dichtklemmen.⁶⁰ De veelheid aan negatieve effecten die al het gecombineerde lawaai in de zee veroorzaakt is verbijsterend: het kan de ontwikkeling remmen, de voorplanting belemmeren, de groei vertragen, de slaap verstoren en zelfs direct wezens doden.⁶¹ Vooral seismische onderzoeken onder water zijn destructief: één enkel schot van een seis-

misch onderzoekslucht pistool kan vissen doof maken en zooplankton – de basis van de mariene voedselketen – doden, tot wel anderhalve kilometer weg van de plaats van ontsteking, en kan bovendien gehoor-schade veroorzaken bij grotere zeezoogdieren als zeehonden en walvis-sen.⁶² En doordat water geluid zo goed geleidt, merken niet alleen in-dividuele dieren maar hele mariene ecosystemen de effecten ervan.⁶³

Vergelijkbare negatieve gezondheidsgevolgen van lawaai zijn waar-genomen in landdieren.⁶⁴ Antropogeen lawaai verstoort de voorplan-ting, foerageren en jagen, migratie en bepaalde patronen van activitei-ten; het verstoort ook het neuro-endocriene systeem van dieren (het verhoogt hun cortisolspiegel), hun lichaamsfuncties (het versnelt hun ademhaling), en hun manier van communiceren – waardoor het moei-lijker wordt om te foerageren, paren, jagen en socialiseren.⁶⁵ Als het la-waai van mensen toeneemt, gaan dieren luider geluid maken, net zoals mensen hun stem verheffen als ze boven lawaaiig achtergrondgeluid moeten uitkomen; dat kan hun reserves uitputten, en te weinig energie overlaten voor andere essentiële activiteiten.⁶⁶

Wanneer dieren proberen te vluchten voor luide geluiden, heeft dat gevolgen voor andere ecologische processen – zoals de verspreiding van zaden en bestuiving.⁶⁷ In een innovatief ‘fantomweg’-onderzoek plaatsten onderzoekers vijftien luidsprekers langs een deel van een bos waar geen wegen waren in Idaho’s Lucky Peak State Park. Door de luidsprekers klonken opnames van een snelweg; de onderzoekers hiel-den in de gaten hoe de vogels reageerden. Een derde van de vogels ver-meed de fantoomweg helemaal; jonge vogels (vooral jaarlingen) ver-dwenen het meest. De vogels die achterbleven waren degenen met gezondheidsproblemen, die moeite hadden op gewicht te blijven – dat is verontrustend, aangezien het overleven van veel migrerende soorten afhankelijk is van de mogelijkheid om tijdens een rustpauze bij te tan-ken. Tegen 2050, schrijven de onderzoekers, zullen er genoeg wegen zijn aangelegd om de aarde meer dan zeshonderd rond te gaan; het is nog maar de vraag of er voldoende maatregelen genomen kunnen worden om de impact van het antropogene geluid daarvan te verklei-nen.⁶⁸ Zelfs in parken en beschermde gebieden hebben dieren al te maken met steeds meer menselijk lawaai.⁶⁹

Misschien nog wel verontrustender is dat het erop lijkt dat lawaai-

vervuiling de embryonale ontwikkeling verstoort bij een breed scala aan diersoorten. Prenatale geluiden hebben invloed op de overlevingskansen van een dier, aangezien embryonale akoestische programmering gevolgen heeft voor de lichaamsfuncties en cognitie van dieren, door middel van veranderingen in hersenfuncties, endocrinologie en genexpressie. In gezonde ecosystemen helpt dit dieren om zich aan te passen aan hun omgeving; de jongen van veel diersoorten herkennen de roep van hun ouders wanneer ze uit het ei komen. Sommige diersoorten, zoals zebrovinken, passen zelfs hun omvang aan in reactie op het soort roep dat ze van hun ouders horen voordat ze geboren worden. Het verstoren van geluidslandschappen kan verwoestende gevolgen hebben voor organismen, op manieren die we nog lang niet helemaal begrijpen.⁷⁰ Wat we wel weten is dat dieren extreem gevoelig zijn voor zelfs de kleinste veranderingen in geluiden; er is een onderzoek waaruit blijkt dat de impact van motorboten op visembryo's zelfs verschilt per type motor – alle motorboten verhoogden hun hartslag, maar tweetaktbuitenboordmotoren hadden meer dan twee keer zoveel impact als stillere viertaktmotoren.⁷¹ Een artikel in *Science* vat de resultaten van het onderzoek grimmig samen: menselijk lawaai klutst de eitjes van babyvissen.⁷²

ZEEGRASGEZANG

De verwoestende effecten van lawaaivervuiling, vooral in de onderwaterwereld, wordt nog eens onderstreept door een recent onderzoek naar een van de oudste planten ter wereld: zeegrasweides, de Great Plains van de zee. Met uitzondering van Antarctica, waren de mariene kuststreken van onze planeet ooit rijkelijk voorzien van zeegras. Zeegrasweides, die koraalriffen ooit naar de kroon staken wat betreft hun verspreiding en belang, bieden voedsel en beschutting aan de jongen van vele soorten zeelevers, ze beschermen kusten tegen erosie, faciliteren de kringloop van voedingsstoffen, stabiliseren de zeebodem en verbeteren de waterkwaliteit. En net als bossen op het land speelt zeegras een grote rol als koolstofput, en draagt zo bij aan het stabiliseren van ons wereldwijde klimaat.⁷³ In de afgelopen paar decennia zijn er catastrofale hoeveelheden zeegras verloren gegaan in veel kustgebie-

den; er zijn zeegrasweides van de omvang van het Amazonegebied verdwenen.⁷⁴ Wetenschappers gaven een scala aan redenen voor de verwoesting: klimaatverandering, chemische vervuiling, bootankers en baggeraars, en water met een extreem hoog zoutgehalte afkomstig van ontziltingsinstallaties. Maar Marta Solé, senior onderzoeker in milieu-engineering aan de Universitat Politècnica de Catalunya, BarcelonaTech (UPC), vroeg zich af of lawaaivervuiling misschien ook verantwoordelijk kon zijn.

Solé, die samenwerkte met haar proefschriftbegeleider Michel André, had al een reputatie verworven als onconventioneel wetenschapper, door haar onderzoek naar het effect van menselijk geluid op zee- wezens zonder oren: Cefalopoden (zoals octopussen), neteldieren (koralen en kwallen), kreeftachtigen (zoals garnalen) en zeeluizen.⁷⁵ Toch was haar onderzoeksvoorstel nog onbekend gebied: ze wilde onderzoeken in hoeverre zeeplanten gevoelig zijn voor geluid. Solé besloot zich te concentreren op het oudste zeegras ter wereld: *Posidonia*. Van dit zeegras, vernoemd naar de Griekse god van de zee, zijn fossielen gevonden uit het Krijt. Eén specifieke soort, *P. oceanica*, is een langzaam groeiend, zichzelf klonend zeegras dat in de Middellandse Zee voorkomt; het ontwikkelt wortelnetwerken en rizomen die zich tot meters diep kunnen uitstrekken. Op een bepaald punt bedekte *P. oceanica* de gehele kustlijn; de drijvende vruchten van de plant werden de 'olijven van de zee' genoemd.⁷⁶ De zeegrasweides zijn oeroud: een kolonie bij de zuidkust van Ibiza is meer dan honderdduizend jaar oud, waarschijnlijk bijna tweehonderdduizend jaar – daarmee zou het de oudste levende plant op aarde zijn.⁷⁷

Uit het eerdere onderzoek van Solé bleek dat Cefalopoden geluid horen door kleine gehoororganen die statocysten heten.⁷⁸ Wanneer ze worden blootgesteld aan geluidsfrequenties die vergelijkbaar zijn met die van seismische tests en het lawaai van boten, raken de statocysten sterk beschadigd: ze zwellen op, exploderen en gaan dood – zoals ook een menselijk trommelvlies beschadigd kan raken door luid lawaai.⁷⁹ Ook embryo's ondervonden die schade, met grote krassen in de opperhuid en beschadigde cilia.⁸⁰

Solé vroeg zich af of waterplanten op dezelfde manier beschadigd werden door mariene lawaaivervuiling.⁸¹ Zeegras heeft net als andere

waterplanten iets vergelijkbaars als statocysten: organellen, zogeheten amyloplasten, die de plant helpen om zich naar de zwaartekracht te vormen, om zijn wortels te sturen, en ook om geluid te detecteren in bewegende waterdeeltjes.⁸² De onderzoekers wisten dat er hoge concentraties amyloplasten waren aangetroffen in bepaalde cellen in de wortelmutsjes en rizomen van *P. oceanica*. Zouden luide geluiden zee-gras net zo beschadigen als ze octopussen beschadigen?

Solé plaatste een aantal zeegrasplanten in een aquarium in het laboratorium, net zoals ze eerder had gedaan met zeedieren.⁸³ De controle-groep werd met rust gelaten, maar de testgroep werd omvergeblazen met luid, laagfrequent lawaai dat vergelijkbaar was met de geluiden van industriële activiteit, zoals de scheepvaart en seismische tests. Daarna onderzocht ze cellen in de wortels en de rizomen, en de schimmelsymbionten die aan de wortels vastzaten. De amyloplasten van de controlegroep waren niet beschadigd. Maar die van de planten die aan het lawaai waren blootgesteld waren ernstig vervormd, en het waren er veel minder geworden. Onder de rasterelektronenmicroscopie ontdekten de onderzoekers sterke overeenkomsten met de statocysten van octopussen: sneeën en opengekwalde cellen, waarvan de inhoud uit grote gaten lekte. Het zeegras had ernstige schade opgelopen aan hun zintuiglijke organen, net als de octopussen. De onderzoekers vermoedden dat deze schade invloed zou kunnen hebben op het vermogen van planten om de zwaartekracht waar te nemen en energie op te slaan – twee functies die essentieel zijn voor hun voortbestaan. En nog zorgwekkender: de symbiotische schimmels aan hun wortels waren ook beschadigd. Dat betekende dat de planten het in de oceaan moeilijker zouden krijgen om voldoende voedingsstoffen te vinden.

Het onderzoek van Solé veroorzaakte een schokgolf binnen de wetenschappelijke wereld.⁸⁴ Zeegrasonderzoekers hadden nooit eerder gedacht dat lawaai een bedreiging kon vormen. Noch hadden bioakoestische onderzoekers zich kunnen voorstellen dat zeeplanten beschadigd konden raken door omgevingsgeluid. Deze ontdekkingen hebben enorme gevolgen voor de bescherming van de mariene biodiversiteit. Terwijl buitengaats werkzaamheden – van diepzeemijnbouw en olie- en gasboorplatforms tot windmolenparken – in rap tempo toenemen, is er weinig aandacht geweest voor de akoestische gevolgen ervan op het

plantenleven onder water. Hoewel er nog geen blootstellingsdrempels zijn bepaald, is het duidelijk dat deze groeiende kennis uiteindelijk een enorme invloed zal hebben op industriële activiteiten op zee, zowel qua vergunningen als qua uitvoering. Als elke plant en elk dier in de oceaan gevoelig is voor geluid, stelt Solé, dan is lawaaivervuiling niet het probleem van één specifieke soort, maar van het hele ecosysteem. Michel André zegt dat de uitdaging nu duidelijk is: 'In plaats van maatregelen in te voeren om specifieke soorten te beschermen, moeten we oplossingen bedenken om lawaaivervuiling in de oceanen in het algemeen te beperken.' Dat is geen goed nieuws voor de wereldwijde scheepvaart en mijnindustrie. Maar zoals André het omschrijft: de bioakoestische wetenschappers hebben de beleidsmakers nu 'in een boksring tegenover zich, met hun rug tegen de muur'.⁸⁵

André stelt voor om een ecoakoestische index te ontwikkelen om zowel biologische activiteit als de impact van lawaaivervuiling in de omgeving in kaart te brengen.⁸⁶ Een gebied dat rijk is aan biologische activiteit, heeft namelijk een rijk en divers geluidslandschap. Een dynamische ecoakoestische index (die veranderingen in een geluidslandschap door de tijd heen meet) kan veranderingen in de gezondheid van een ecosysteem opmerken, aan de hand van veranderingen in akoestische patronen – en veel nauwkeuriger én goedkoper dan visuele methoden.⁸⁷ Er bestaan al veel ecoakoestische indices. Die hebben de neiging nogal gecompliceerd te zijn, maar volgens André bestaat er hardware en software die robuust en betaalbaar genoeg is om ecoakoestische indices op grote schaal onderdeel te maken van milieu- en natuurmonitoring. Om zo'n ecoakoestische index goed te kalibreren is een enorme hoeveelheid data nodig, maar André wijst erop dat er meer dan honderdvijftig ecoakoestische observatieposten over de hele wereld al meer dan tien jaar lang non-stop, vierentwintig uur per dag, data vergaren.

Als André gelijk heeft, zou een universele ecoakoestische index de eenentwintigste-eeuwse, nieuwe standaard betekenen voor een gezonde omgeving.⁸⁸ Net zoals het Internationale Stelsel van Eenheden (zoals de meter en het kilogram) bijdroeg aan standaardisatie in de handel en een doorbraak betekende in de wereldwijde markten, zou de uitvinding van een wereldwijde ecoakoestische index kunnen fungeren

als de voorloper van een mondiaal systeem van ecologische monitoring, waarmee beleidsmakers een krachtige vuist zouden kunnen maken tegen industriële vervuiling.

Waarom zouden we een mondiale ecoakoestische index willen vinden, en waar zou die toe dienen? André legt uit dat gezondheidsrapporten van een ecosysteem data zouden combineren van veel verschillende observatieposten, om zo de gezondheid van de omgeving in kaart te brengen – een beetje zoals weersvoorspellingen data van duizenden meetstations (van neerslag en temperatuur) combineren. Nu we ons geconfronteerd zien met wereldwijde klimaatverandering, zouden we op deze manier beter kunnen begrijpen hoe ecosystemen veranderen en hoe dieren zich verplaatsen. Door elke opname te archiveren, zouden we bovendien een soort geheugenbank aanleggen van alle soorten van de wereld – een schatkist voor toekomstige wetenschappers. Maar de belangrijkste reden om een ecoakoestische index te creëren, stelt André, is dat lawaaivervuiling niet alleen een van de grootste bedreigingen voor het leven op aarde vormt, maar dat het ook een van de weinige soorten vervuiling is die we vrij eenvoudig kunnen inperken. Lawaaivervuiling komt van identificeerbare bronnen, en neemt snel af zodra die bron is uitgeschakeld. En in tegenstelling tot verhoogde CO_2 -gehaltes of hardnekkige chemicaliën (die pas na tientallen of zelfs honderden jaren verdwijnen), is lawaaivervuiling makkelijk terug te draaien. De effecten zouden dus onmiddellijk merkbaar zijn en veel impact kunnen hebben. Ecoakoestische indices zouden drempelwaarden voor omgevingsgeluid kunnen bepalen, waardoor we lawaaivervuiling binnen veilige grenzen zouden kunnen houden. Ook mensen zouden hiervan profiteren; zij ondervinden ook gevolgen van lawaaivervuiling, in de vorm van stress en een verhoogde kans op vroegtijdige geboortes, hartaanvallen, cognitieve beperkingen en dementie.⁸⁹ In mariene omgevingen, waar wezens bijzonder gevoelig zijn voor geluid, kunnen we een aantal zaken ondernemen om lawaaivervuiling terug te dringen. Veranderingen in de scheepvaart kunnen veel lawaai terugdringen: schepen kunnen om kwetsbare zones heen geleid worden, ze kunnen langzamer varen en ze kunnen voorzien worden van stillere schroeven en motoren. Seismische tests kunnen verboden worden; in plaats daarvan zouden andere apparaten ingezet

kunnen worden. Tot voor kort was het terugdringen van het lawaai in de oceanen een vergezochte wensdroom. In 2011 stelde een groep wetenschappers een ingrijpend plan voor: leg de scheepvaart een jaar lang stil, zodat we de oceaan een jaar lang kunnen bestuderen, zonder menselijk geluid.⁹⁰ Oceanograaf Peter Tyack beschreef het poëtisch: het zou ons voor het eerst 'een glimp tonen van de oceaan zonder alomtegenwoordige menselijke activiteit ... alsof iedereen op aarde het licht uitdoet, en je dan naar de sterrenhemel kijkt'.⁹¹ Dit idee inspireerde een andere groep wetenschappers: zij beschreven hoe het International Quiet Ocean Experiment eruit zou kunnen komen te zien, voor het geval de kans zich ooit zou aandienen.⁹² Voor dat experiment zouden de oceanen slechts een paar uur lawaailoos hoeven te zijn – maar zelfs dat leek toen onhaalbaar.

En toen sloeg COVID toe. De mondiale scheepvaart lag plotseling stil, en onderzoekers documenteerden een enorme afname van lawaaivervuiling, zowel op het land als in de oceanen.⁹³ In sommige regio's, zoals aan de noordwestelijke kust van Noord-Amerika, was de zee in tientallen jaren niet zo stil geweest.⁹⁴ De pandemie leidde tot een soort Quiet Ocean Experiment en liet ons zien hoe snel de aarde profijt zou hebben van een afname van lawaaivervuiling.⁹⁵ De pandemische lockdown herinnerde ons eraan hoeveel we zijn kwijtgeraakt door de geluidslandschappen van de aarde te overstemmen met ons lawaai, en hoe de planeet weer kan opleven als we onszelf tot stilte manen en weer beginnen te luisteren.

HET RITME VAN DE AARDE DOORBREKEN

Zelfs als we de lawaaivervuiling weten terug te dringen, zien de geluidslandschappen van de aarde zich nog altijd geconfronteerd met een andere serieuze bedreiging: klimaatverandering. Hoewel de mens zich er over het algemeen nog niet van bewust is, is de klimaatverandering de natuurlijke geluidslandschappen van de aarde aan het veranderen. Organismen die gevoelig zijn voor geluiden, zowel onder water als op het land, zien grote verschuivingen in hun akoestische leefgebieden. Drie van de meest toonaangevende akoestische wetenschappers – Jérôme Sueur, Bernie Krause en Almo Farina – hebben klimaatver-

andering omschreven als 'het ritme van de aarde doorbreken': de sonische ritmes van het leven worden verscheurd, zowel de biofonie (de geluiden die dieren, planten en insecten maken) als de geofonie (de geluiden van regen, water, wind en de aarde zelf).⁹⁶

Hoe gebeurt dit precies? Wanneer er veranderingen optreden in het weer en in de oceanen, veranderen ook de geluidstransmissiepatronen in de omgeving, omdat de snelheid van geluid afhankelijk is van de temperatuur, de vochtigheidsgraad, de wind en zelfs de intensiteit van de regenval. In een opwarmende wereld, met steeds meer extreme weersomstandigheden, kunnen er enorme veranderingen optreden in het communicatiebereik van individuele organismen; geluiden dragen minder ver, waardoor dieren minder goed kunnen communiceren, socialiseren en paren – ze kunnen elkaar zelfs minder goed vinden. Het kan ook zijn dat het hun meer energie kost om te communiceren, wat uiteindelijk invloed heeft op hun overlevingskansen.

Ook de temperatuur heeft directe invloed, op de vocalisaties en het gehoor van veel soorten, van vogels en insecten tot amfibieën, vissen en schelpdieren. Zo worden bijvoorbeeld de frequentie, de toonhoogte en het volume van de vocalisaties van amfibieën, vissen en geleedpotigen beïnvloed door de temperatuur – zie ook de experimenten van Pierce aan Harvard, uit hoofdstuk 7, waaruit bleek dat krekels sneller of langzamer tjirpen bij veranderende temperaturen. De klimaatverandering heeft ook invloed op cyclische en seizoensgebonden natuurlijke fenomenen, waaronder akoestische fenomenen, die zo'n belangrijke rol spelen in zowel de ecologie als de evolutie. De klimaatverandering veroorzaakt verschuivingen in deze seizoensgebonden akoestische patronen door ofwel direct organismen te beïnvloeden, ofwel door de voorzieningen waar ze van afhankelijk zijn (zoals voedsel) te beïnvloeden. Als de roeipootkreeftjes verdwijnen uit grote delen van de opwarmende oceaan, zullen de walvissen daar wellicht niet langer komen zingen.

Naarmate de temperaturen veranderen, kunnen de cicaden en de krekels, de kikkers en de vissen hun gezang veranderen, of er zelfs helemaal mee ophouden. Er is een groep wetenschappers die stelt dat de langetermijneffecten van de veranderende oceanen kunnen inhouden dat we 'stille winters en rock-'n-rollzomers' tegemoetgaan, doordat vis-

sen stilvallen in reactie op steeds frequentere en intensere winterstormen.⁹⁷ Deze akoestische veranderingen zullen waarschijnlijk vooral tropische soorten raken, die een lage tolerantie hebben voor fluctuaties in de temperatuur en slechts beperkt in staat zijn tot acclimatisatie.⁹⁸

Zelfs de verste uithoeken van de planeet lopen grote kans te worden getroffen, waaronder het Noordpoolgebied en Antarctica. Een team onderzoekers van Columbia University, geleid door Ruth Oliver, gebruikte autonome opnameapparaten in het afgelegen Brooks Range in Alaska om de aankomsttijden en vocalisaties van migrerende vogelsoorten in traditionele broedgebieden te monitoren.⁹⁹ In tegenstelling tot onderzoeken waar vogels worden voorzien van tags – die arbeidsintensief zijn en slechts een klein deel van de vogels kunnen volgen – konden deze opnameapparaten over een periode van vijf jaar data genereren over veranderingen in de migratietiming van de vogels. Door machinelearning-algoritmes te gebruiken die ze afkeken van menselijke spraakherkenningssoftware, kwamen de onderzoekers erachter dat veranderingen in het klimaat niet alleen de aankomstdata van de vogels beïnvloedden, maar ook de vocale activiteiten van zangvogels, vooral voordat de vogels hun eieren begonnen te leggen. Net zoals de patronen van vogelzang veranderen, veranderen de gewoontes van veel andere soorten.

Sueur en zijn collega's schrijven dat veranderingen in de temperatuur en de vochtigheidsgraad natuurlijke geluiden 'vervormen' – een beetje zoals muziekinstrumenten ontstemd kunnen raken.¹⁰⁰ Wanneer de atmosfeer van de planeet verandert, veranderen de geluidslandschappen van het weer en het land onder invloed van cyclonen en tornado's, overstromingen en bosbranden, hittegolven en droogtes. Naarmate de klimaatverandering geluidslandschappen vervormt, worden de geluiden van de natuur moeilijker te herkennen en lastiger te horen, of verdwijnen ze zelfs in het geheel. De natuurlijke geluiden die dieren tot bepaalde handelingen aanzetten – paren, migreren, settelen – worden anders en verwarrend, of verdwijnen. De akoestische transformaties die het gevolg zijn van de klimaatverandering vormen dus een serieuze bedreiging voor soorten over de hele wereld. Het terugdringen van de klimaatverandering staat nu al hoog op de agenda, maar het besef dat klimaatverandering zulke ingrijpende sonische verstoring tot

gevolg heeft, biedt nog extra redenen om actie te ondernemen. Het is een urgente kwestie; zoals biosemioticus Gregory Bateson eens schreef, wordt elke grote instorting van een ecosysteem voorafgegaan door de ineenstorting van de communicatievormen van de natuur en het afzwakken van het natuurlijke gezang.¹⁰¹ Lawaaivervuiling kan net zo'n grote bedreiging voor de wereld zijn als chemische vervuiling.

In 2017 diende UNESCO een resolutie in over het belang van geluid in de hedendaagse wereld, waarin staat dat 'het geluidslandschap een belangrijk aspect is in het evenwicht van alle mensen in hun relatie tot anderen en tot de wereld'.¹⁰² Er zijn maar weinig overheden die actie hebben ondernomen, hoewel het Marine Strategy Framework Directive van de Europese Unie wel van haar lidstaten eist dat ze lawaaivervuiling monitoren en tegengaan. Gezien de enorme toename van het wetenschappelijke bewijs, is het waarschijnlijk dat er meer vergelijkbare regelgeving zal volgen.¹⁰³ Als dat het geval is, zou het kunnen dat bioakoestische technologieën en uitgebreide geluidsnormen op een dag over de hele wereld de standaard worden in de milieuwetgeving.

Maar Michel André gelooft dat deze technologieën niet slechts een instrument voor beleidsmakers zijn. In zijn eigen woorden: 'Dankzij digitale technologieën hebben we een nieuw zintuig ontwikkeld, een soort zesde zintuig, waarmee we naar onze omgeving kunnen luisteren. We kunnen naar de oceanen luisteren als een dolfijn of een walvis. Of eigenlijk nog beter dan een dolfijn of een walvis, omdat we in staat zijn om overal, tegelijkertijd en altijd kunnen luisteren. Uiteindelijk zou dit inzicht ons moeten helpen om ons opnieuw met de natuur te verbinden, om iets terug te vinden wat we zijn kwijtgeraakt.' Dit zijn geen nieuwe ontdekkingen, voegt hij eraan toe. 'Als we in het Amazonegebied werken, horen we veel raadselachtige geluiden door onze microfoons. We kunnen ze wel opnemen, maar we kunnen ze niet begrijpen. Lokale gemeenschappen kunnen ons die geluiden uitleggen; zij leven op die plek, zij hebben de wijsheid en de kennis om die geluiden te identificeren, en om hun ecologische context te begrijpen.'¹⁰⁴ Enerzijds pleit André voor een universele akoestische index om de staat van het milieu te bepalen en te reguleren; anderzijds zegt hij dat we nederig moeten blijven en moeten beseffen dat de wetenschap haar grenzen heeft. Hoewel we ervoor moeten waken ons de inheemse ken-

nis toe te eigenen en die te herkoloniseren, hebben we nog veel te leren (en opnieuw te leren) van traditionele wijsheid.

Zonder kennis die is geworteld in bepaalde plaatsen, is de ecoakoestiek niets meer dan een soort oefening in verslaglegging: geluiden tellen zonder ze te begrijpen. Alleen door digitaal luisteren te combineren met deep listening – naar levende gemeenschappen van organismen op specifieke locaties – kunnen we de betekenis van de geluiden om ons heen begrijpen. En alleen als we de betekenis van de geluiden om ons heen begrijpen, zullen we de motivatie hebben om de organismen die ze maken te beschermen. Dat is waarom wetenschappers nu over de hele wereld akoestische monitoringsystemen aanleggen, van de dieptes van de oceanen tot in de meest afgelegen gebieden van de resterende regenwouden.¹⁰⁵ Alice Eldridge, een musicus en datawetenschapper, stelt zich een toekomst voor waarin dergelijke bioakoestische netwerken voorzien zijn van akoestische waarschuwingssignalen; dan documenteren ze niet slechts het verval van de aarde, maar komen ze in actie voordat het te laat is.¹⁰⁶ Ze herhaalt ook de oproep van inheemse leiders om de natuurlijke geluidslandschappen van de aarde te beschermen, en citeert een Kichwa-ouderling: ‘We horen de losse liederen als een symfonie, die gedurende miljoenen jaren is geschreven. Het is een unieke en onbetaalbare creatie. Die mag niet vernietigd worden, die mag niet verdwijnen.’¹⁰⁷

EEN SONISCHE MICROSCOOP

We beginnen nog maar net te begrijpen hoe belangrijk geluid is voor talloze soorten, overal aan de boom des levens. Van het bescheiden koraal tot de machtige walvis: de niet-menselijke wereld is gevoeliger voor geluid dan we vermoedden. Veel niet-menselijke wezens gebruiken geluid om met elkaar te communiceren, op veel complexere manieren dan wetenschappers tot voor kort dachten. Met behulp van digitale bioakoestische instrumenten kunnen we deze complexe communicatievormen opnemen; met behulp van artificial intelligence kunnen we ze ontcijferen.

De combinatie van de bioakoestiek en artificial intelligence biedt de mens een krachtig nieuw perspectief op betekenisgeving in de niet-

menselijke wereld. Jij en ik zullen nooit kunnen zingen als een walvis of zoemen als een bij, maar computers en biomimetische robots kunnen dat wel. Onze digitale apparaten hebben een nieuw tijdperk ingeleid: dat van digitale bemiddeling bij intersoortelijke communicatie. Dit zou niet alleen een revolutie binnen de natuurbescherming teweeg kunnen brengen, maar ook grote impact hebben op ons begrip van de natuur en van wat het betekent om mens te zijn. Hoe willen we ons bestaan op deze planeet vormgeven wanneer de stemmen van de creatie (weer) hoorbaar en betekenisvol voor ons zijn?

Laten we, om een goed beeld te krijgen van de mogelijke gevolgen van dergelijke veranderingen in ons denken eens terugblikken op de impact van een andere revolutionaire technologie, een aantal eeuwen geleden: de microscoop. De historicus Catherine Wilson stelt dat de microscoop een essentiële aanjager was van de wetenschappelijke revolutie, door zijn invloed op zowel de wetenschappelijke praktijk als op ons mensbeeld: hoe we onszelf en onze plek in de natuurlijke wereld beschouwden.¹⁰⁸ De bioakoestiek staat in de startblokken om eenzelfde invloed uit te oefenen op de relatie van de mens tot onze planeet, maar dan door middel van onze gehoorzin in plaats van ons zicht.

Toen de microscoop voor het eerst gepresenteerd werd door Antoni van Leeuwenhoek, een Delftse koopman zonder wetenschappelijke opleiding, was niet meteen duidelijk welke gevolgen dat zou hebben. Wat Van Leeuwenhoek zo geniaal maakte, was niet alleen dat hij microscopen kon bouwen – hij maakte er meer dan vijfhonderd, de ene nog beter dan de andere – maar ook zijn opvallende interesse in de dagdagelijkse wereld. Waar Galileo naar de hemel staarde, richtte Van Leeuwenhoek zijn blik op water uit een put, schimmel, luizen, gist, bloedcellen, moedermelk (van zijn vrouw) en sperma (van zichzelf). Toen hij zijn ogen tegen zijn zelfgemaakte glazen lenzen legde, zag hij iets onvoorstelbaars: dansende en kronkelende ‘animalcules’, microscopisch kleine organismen die stuk voor stuk verschilden qua vorm en omvang. De wereld bestond letterlijk uit piepkleine, kronkelende, fantastische wezens, zonder dat de mens daar ooit een vermoeden van had gehad.

Het was zo opmerkelijk dat Van Leeuwenhoek zijn ontdekkingen

aanvankelijk voor zich hield, bang om niet serieus genomen te worden. Uiteindelijk schreef hij een brief aan de Royal Society in Londen, de toonaangevende wetenschappelijke instelling in die tijd.¹⁰⁹ De leden van de Society waren in eerste instantie sceptisch, waarmee ze bewezen dat mensen over het algemeen geloven dat wat ze niet kunnen zien ook niet bestaat. Maar Van Leeuwenhoek hield vol: uitvergroting onthulde een heel nieuwe wereld, vol wezens die in alle hoeken en gaten op aarde leefden, niet te zien met het blote oog.¹¹⁰ Brillen hielpen ons met het lezen van het geschreven woord, telescopen brachten de sterrenhemel dichterbij, maar de microscoop toonde ons volledig nieuwe, voorheen onvoorstelbare werelden. De Royal Society stuurde een delegatie wetenschappers naar Van Leeuwenhoek om zijn microscopen te inspecteren, waarna ze zijn bevindingen accepteerde.¹¹¹ Zijn onderzoeksrapporten werden in de toonaangevende wetenschappelijke publicatie van die tijd afgedrukt, waarin ook de bevindingen van onder anderen Sir Isaac Newton stonden.¹¹²

Naarmate microscopen meer gebruikt werden, openden ze nieuwe deuren voor zowel wetenschappers als filosofen en ontstond er hernieuwde interesse in onderzoeksgebieden als het atomisme en het mechanisme. Filosofen als Bacon, Descartes en Locke waren geïntrigeerd en beïnvloed door de microscopische wereld, en door het groeiende besef van de rol die animalcules speelden in zowel het creëren van leven als het verspreiden van besmettelijke ziekten. Toen microscopen het bestaan van ziektekiemen aantoonde, werden de heersende denkbeelden over ziekteverspreiding (zoals het idee dat ziektes het gevolg waren van nare geuren of zondes) in twijfel getrokken en uiteindelijk verworpen. Van Leeuwenhoek gebruikte de microscoop als een visuele prothese – kunstmatige ogen die de mensheid nieuwe dingen konden tonen, op nieuwe manieren – en legde daarmee de basis voor talloze toekomstige ontdekkingen, zoals die van de code van het leven zelf (DNA). De microscoop stelde mensen in staat om opnieuw te kijken, met zowel onze ogen als met onze verbeelding.

De digitale bioakoestiek is een ontdekking van dezelfde orde van grootte. Net als de microscoop functioneert ze als een wetenschappelijke prothese: ze vergroot niet alleen ons hoorvermogen, maar verlegt ook onze waarnemings- en conceptuele horizons. Wanneer we gecon-

fronteerd worden met nieuwe geluidslandschappen, overal op de wereld en van alle soorten van de boom des levens, leren we over de kracht van geluid. Geluid dat niet alleen informatie en betekenis kan bevatten, maar dat ook schade kan berokkenen en kan verwonden. En regelmatigertijd leren we ook hoe we deze nieuwe kennis kunnen inzetten om de aarde beter te beschermen.

Net als Van Leeuwenhoek die voor het eerst door zijn nieuw ontdekte microscoop tuurt, begrijpen we nog niet alles wat deze nieuwe digitale bioakoestiek aan het licht brengt. We horen nu dingen die we nooit hadden verwacht te horen. Dat is niet helemaal voor het eerst (binnen inheemse gemeenschappen bestaan al veel langer tradities van niet-menselijk luisteren), noch is het vrij van ethische problemen (digitale technologieën kunnen ook misbruikt worden). Maar met de juiste voorzorgsmaatregelen biedt de bioakoestiek de mensheid een krachtig perspectief op de niet-menselijke wereld. De bioakoestiek stelt ons in staat te leren over de universaliteit van betekenisgeving middels geluid, door alle wezens op aarde. Met een beetje hulp van artificial intelligence kunnen we zomaar dicht bij een doorbraak in intersoortelijke communicatie zijn. Als we onze oren openen, wacht ons een wereld vol wonderen.

10. Luisteren naar de boom des levens

1. Pershing et al. (2015).
2. Record et al. (2019).
3. Clark et al. (2010); Davis et al. (2017, 2020); Grieve et al. (2017); Meyer-Gutbrod en Greene (2018); Meyer-Gutbrod et al. (2018); Record et al. (2019); Scales et al. (2014); Simard et al. (2019); Woodson en Litvin (2015).
4. Almén et al. (2014); Grieve et al. (2017); Wishner et al. (2020).
5. MacKenzie et al. (2014).
6. Stokstad (2017).
7. Cijfers inzake walvissterfte worden separaat bijgehouden aan de Amerikaanse en de Canadese kanten van de grens; het totaal aantal aan geobserveerde sterfgevallen van noordkapers door de zeevaart en de visserij in 2017 werd geschat op 4 procent van de populatie: Davies en Brillant (2019); Daoust et al. (2017); Johnson et al. (2021); Koubrak et al. (2021); Sharp et al. (2019).
8. Davies en Brillant (2019); Department of Fisheries and Oceans (2017).
9. Gavrilchuk et al. (2021). Zie ook Williams (2019).
10. Davies en Brillant (2019).
11. De NOAA houdt gedetailleerde statistieken bij van de sterftecijfers van noordkapers: <https://www.fisheries.noaa.gov/national/marine-life-distress/2017-2021-north-atlantic-right-whale-unusual-mortality-event>.
12. Parks et al. (2011).
13. Davis et al. (2020).
14. CBC News (2020). Zie ook Gervaise et al. (2021).
15. Government of Canada (2021a).
16. Government of Canada (2021b).
17. Subsectie 38(1) van de Canada Shipping Act kan boetes van maximaal een miljoen dollar opleggen, of een gevangenisstraf van maximaal achttien maanden (of allebei) voor overtredingen van regelgeving die voortkomt uit internationale verplichtingen van Canada: Koubrak et al. (2021).
18. **Alle vissers die touwen gebruiken zijn ook verplicht om enkel zwakke touwen te gebruiken in plaatsgebonden visgerei, zodat die kunnen breken wanneer er een walvis in verstrikt raakt. Er is een grootschalig project gestart om 'spookgerei' te verzamelen; verloren netten, touwen en vislijnen zijn een groot gevaar voor walvissen.**
19. Durette-Morin et al. (2019). Zie ook <http://whalemap.org>.
20. Loran et al. (2021).
21. Carnarius (2018); International Chamber of Shipping (2020).
22. Channel Islands National Marine Sanctuary (n.d.).
23. Morgan Visalli, gesprek met de auteur, november 2020; zie ook Visalli et al. (2020).
24. Olson (2020).
25. Vergelijkbare systemen zijn al met enig succes gebruikt voor noordkapers in de noordelijke Atlantische Oceaan: National Geographic (2020); NOAA Fisheries (2020a, 2020b); Nrwbuoys.org (2020).
26. Baumgartner et al. (2019).
27. Abrahms et al. (2019).

28. De akoestische data van Whale Safe wordt voortdurend gemonitord, en er worden elke twee uur updates verstuurd. Visuele data wordt vergaard via Whale Alert (een burgerwetenschappers-app, die vooral gebruikt wordt in toeristische seizoenen, wanneer er veel walvisspotters en recreatieboten op het water zijn) en Spotter Pro (een app die door professionele naturalisten en wetenschappers wordt gebruikt). De data over gunstige omstandigheden van de oceaan voor walvissen wordt elke dag geüpdatet. De posities van schepen worden ook dagelijks bijgewerkt, met een vertraging van twee of drie dagen.
29. Fox (2020); Olson (2020); Simon (2020).
30. Zie <http://www.whalealert.org>.
31. CBC News (2019); Jeffrey-Wilensky (2019); Lubofsky (2019); Murray (2019).
32. Davies (2019); Durette-Morin et al. (2019).
33. Barlow en Torres (2021); Barlow et al. (2018, 2020, 2021); Torres (2013); Torres et al. (2020).
34. New Zealand Supreme Court (2021).
35. Barlow en Torres (2021).
36. Lavery et al. (2010); Pershing et al. (2010); Roman et al. (2014).
37. Chami et al. (2019).
38. IPCC (2019).
39. Poloczanska (2018).
40. Abecasis et al. (2018); Cooke et al. (2011); Cowley et al. (2017); Currier et al. (2015); Haver et al. (2018); Steckenreuter et al. (2017).
41. Proulx et al. (2019).
42. Jones et al. (2020); McWhinnie et al. (2018); Siders et al. (2016).
43. Cooke et al. (2017); Hays et al. (2016); Wilmers et al. (2015).
44. Het feit dat we nu kunnen kijken en luisteren naar dieren op plekken waar we voorheen niet konden komen, heeft geleid tot nieuwe bioakoestische methoden in de bewegingsecologie – een onderzoeksgebied dat zich richt op het begrijpen van de bewegingen van organismen, in tijd en ruimte. Zie Nathan et al. (2008) en Fraser et al. (2018).
45. Chalmers et al. (2021); Dodgin et al. (2020).
46. Burke et al. (2012).
47. Braulik et al. (2017); Showen et al. (2018); Woodman et al. (2003, 2004). Zie ook Gibbs et al. (2019).
48. Culik et al. (2017); Curé et al. (2013); Omeyer et al. (2020).
49. Zie bijvoorbeeld Todd et al. (2019).
50. Clark et al. (2009).
51. Chou et al. (2021).
52. Lindsay (2012).
53. Erbe et al. (2019).
54. Boyd et al. (2011).
55. Duarte et al. (2021).
56. Rolland et al. (2012).
57. Jariwala et al. (2017); Passchier-Vermier en Passchier (2000).
58. Ondanks deze bevindingen gaf de federale overheid een aantal gas- en oliebedrijven toestemming om seismische geluidskanonnen te gebruiken om de oceanbodem aan de oostkust in kaart te brengen, ter voorbereiding op eventuele boringen. Zie Struck (2014).
59. Jones et al. (2020).
60. Charifi et al. (2017); Erbe et al. (2018); Kaifu et al. (2007).
61. De Soto et al. (2013); Hawkins et al. (2015); McCauley et al. (2003); Popper en Hastings (2009); Richardson et al. (1995).

62. Fewtrell en McCauley (2012); Kostyuchenko (1971); McCauley et al. (2017); Neo et al. (2015); Pearson et al (1992).
63. Di Franco et al. (2020); Dwyer en Orgill (2020); Erbe et al. (2018); Kavanagh et al. (2019).
64. Francis en Barber (2013); Kight en Swaddle (2011); McGregor et al. (2013).
65. Voor een overzichtsbespreking, zie Barber et al. (2010) en Duquette et al. (2021).
66. Dit staat bekend als het Lombardeffect. Zie bijvoorbeeld Brown et al. (2021).
67. Gomes et al. (2021).
68. Cinto Mejia et al. (2019); McClure et al. (2013, 2017); Ware et al. (2015). Vergelijkbare resultaten zijn verkregen uit onderzoeken met 'nagemaakte gasvelden' (waarbij opnames werden afgespeeld van allerlei machines die gebruikt worden bij gaswinning) – dat is verontrustend, aangezien er in Noord-Amerika in de afgelopen twintig jaar bij zeshonderdduizend nieuwe gasbellen wordt geboord.
69. Barber et al. (2011); Buxton et al. (2017).
70. Mariette et al. (2021). Zie ook Nedelec et al. (2014) en Rivera et al. (2018).
71. Jain-Schlaepfer et al. (2018).
72. Buehler (2019). Zie ook Fakan en McCormick (2019).
73. Boudouresque et al. (2006, 2016); Hemminga en Duarte (2000); Lamb et al. (2017); UNEP (2020).
74. Boudouresque et al. (2009); Capó et al. (2020); Edwards (2021); Green et al. (2021); Jordà et al. (2012); Krause-Jensen et al. (2021).
75. André et al. (2011); Solé et al. (2013a, 2013b, 2016, 2017, 2018, 2019, 2021a, 2021b).
76. Den Hartog (1970).
77. Arnaud-Haond et al. (2012).
78. Statocysten stellen mariene organismen in staat tot oriëntatie, balanceren, geluiddetectie en zwaartekrachtwaarneming. Ze werken op eenzelfde manier als het binnenoor van vissen, die bewegende deeltjes en druk in water kunnen waarnemen. In Cefalopoden, die geen oren hebben, bevinden de statocysten zich in het cephalische kraakbeen. Cefalopoden aan het begin van hun ontwikkeling hebben gevoelige haartjes in lijnen op hun hoofd en armen. Dat verklaart hoe octopussen zelfs zonder oren prooi- of roofdieren kunnen lokaliseren, vooral bij weinig licht; met hun statocysten en meerdere armen met gevoelige haarcellen, kunnen ze zelfs de zachtste geluiden opvangen door trillingen in het water.
79. Er werden twee soorten lawaai-frequenties gebruikt: scannen, en elektro-nentransmissie-microscopietechnieken. Zie Solé et al. (2013b).
80. Solé et al. (2018).
81. Solé et al. (2021a).
82. Amyloplasten zijn met zetmeel gevulde plastiden die de plant helpen oriënteren in het water, net zoals geluidsgevoelige statocysten ongewervelde zeedieren helpen om zich in de ruimte te oriënteren. Amyloplasten, een beetje zoals mitochondriën in menselijke cellen, zijn afzonderlijke organellen die omgeven zijn door een dubbel lipide membraan en die hun eigen DNA hebben. Terwijl ze zetmeel produceren en opslaan in de interne membraancompartimenten, bezinken amyloplasten in de cellen; terwijl ze dit doen, zetten ze zwaartekracht-sig-naaltransductie in de plant in wer-

- king (ze sturen een boodschap naar specifieke delen van de wortel, waardoor die zich naar beneden kan richten). Zie Solé et al. (2021a). Zie ook Hashiguchi et al. (2013); Kuo (1978); Pozueta-Romero et al. (1991); en Yoder et al. (2001).
83. Solé et al. (2021a).
 84. Idem.
 85. Michel André en Mara Solé, gesprek met de auteur, oktober 2021.
 86. Een ecoakoestische index is een wiskundig concept dat een aantal sleutelaspecten van de akoestiek in een 'auditieve scène' vat. Indices kunnen op een aantal manieren werken; ze kunnen de ratio signalen/ruis berekenen, of de ruimtelijke verspreiding van energie, of dergelijke data verdelen in verschillende patronen die gekoppeld kunnen worden aan akoestische gebeurtenissen. Barchiesi et al. (2015); Kholgi et al. (2018).
 87. Een ecoakoestische index is een dynamische meting; omdat de aarde dynamisch in evenwicht is, altijd in beweging door tijd en ruimte, ontwikkelen ecoakoestische indices zich ook dynamisch.
 88. Zie bijvoorbeeld Bohnenstiehl et al. (2018).
 89. Barzegal et al. (2015); Basner et al. (2017); Bates et al. (2020); Cantuaria et al. (2021); Dutheil et al. (2020); Thompson et al. (2020).
 90. Boyd et al. (2011).
 91. Tamman (2020).
 92. Zie voor meer informatie over het International Quiet Ocean Experiment (of IQOE) <https://www.iqoe.org>. Zie ook Tamman (2020).
 93. Basan et al. (2021); Denolle en Nissen-Meyer (2020); Derryberry et al. (2020); March et al. (2021); Nuessly et al. (2021).
 94. Čurović, zie ook Coll (2020); Cooke et al. (2021); Ryan et al. (2021).
 95. Asensio, Aumond et al. (2020); Asensio, Pavón et al. (2020); Lecocq et al. (2020); Silvia-Rodríguez et al. (2021); Vishnu Radhan (2020).
 96. Sueur et al. (2019).
 97. Siddagangaiah et al. (2021).
 98. Burivalova et al. (2019); Chen et al. (2011); Francis et al. (2017); Gibbs en Bresich (2001); Larom et al. (1997); Narins en Meenderink (2014); Oliver et al. (2018); Parmesan en Yohe (2003); Sugai et al. (2019).
 99. Oliver et al. (2018).
 100. Sueur et al. (2019). Zie ook Krause en Farina (2016).
 101. Harries-Jones (2009).
 102. UNESCO (2017).
 103. Chou et al. (2021); Duarte et al. (2021).
 104. Michel André en Marta Solé, gesprek met de auteur, oktober 2021.
 105. Zie bijvoorbeeld Williams et al. (2018); Zwart et al. (2014).
 106. Elridge (2021).
 107. Elridge (2021, 4).
 108. Wilson (1997).
 109. Coghlan (2015).
 110. Poppick (2017).
 111. Royal Society (n.d.).
 112. Ford (2001).

© 2023 Karen Baker | uitgeverij Noordboek

Omslagontwerp: RAZA Creative Direction – Daphne van Langen

Boekverzorging: Elgraphic

Omslagbeeld: istockphoto

© 2022 by Princeton University Press

Oorspronkelijke titel: *The Sounds of Life: How Digital Technology*

Is Bringing Us Closer to the Worlds of Animals and Plants

Vertaling: Irwan Droog

ISBN 978 94 6471 090 8

NUR 910

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van uitgeverij Noordboek, postbus 234, 8400 AE Gorredijk, Nederland – info@noordboek.nl.

De uitgeverij stelt alles in het werk om op milieuvriendelijke en duurzame wijze met natuurlijke bronnen om te gaan. Bij de productie van dit boek is gebruikgemaakt van papier dat het keurmerk van de Forest Stewardship Council (fsc) mag dragen. Bij dit papier is het zeker dat de productie niet tot bosvernietiging heeft geleid.

Noordboek is onderdeel van
20 leafdesdichten en in liet fan wanhoop bv

www.noordboek.nl

notes:

ily cere- cahiers is a collection of texts (fragments). it is a branch of the collective *it is part of an ensemble*. these texts function as starting points for dialogues within our practice. we also love to share them with guests and visitors of our projects.

the first copy of *ily cere- cahier 33* was printed in september 2025

1	the artist as producer in times of crisis	okwui enwezor
2	the carrier bag theory of fiction	ursula k. le guin
3	arts of noticing	anna lowenhaupt tsing
4	whatever & bartleby	giorgio agamben
5	notes toward a politics of location	adrienne rich
6	the intimacy of strangers	merlin sheldrake
7	the zero world	achille mbembe
8	why do we say that cows don't do anything?	vinciane despret
9	nautonomat operating manual	raqs media collective
10	on plants, or the origin of our world	emanuele cocchia
11	hydrofeminism: or, on becoming a body of water	astrida neimanis
12	the gift and the given	eduardo viveiros de castro
13	the three figures of geontology	elizabeth a. povinelli
14	what lies beneath	george monbiot
15	sculpture not to be seen	elena filipovic
16	the onion	kurt schwitters
17	tentacular thinking	donna j. haraway
18	toward a symbiotic way of thought	vincent zonca
19	living with birds	len howard
20	why look at animals?	john berger
21	quantum listening	pauline Oliveros
22	politics of installation	boris groys
23	some notes on drawing	amy sillman
24	depiction, object, event	jeff wall
25	cyber-teratologies	rosi braidotti
26	love your monsters	bruno latour
27	arts of living on a damaged planet	multiple authors
28	what is it like to be a bat?	thomas nagel
29	dazzling diversity: the biology of chiroptera	tessa laird
30	what is an owl?	stephen moss
31	the gender of sound	anne carson
32	the euphio question	kurt vonnegut
33	listening to the tree of life	karen bakker

www.ilycere-cahiers.com

www.blyisnokino.com

www.itispartofanensemble.com

www.peelrealoynoun.com

www.naipatttaofficial.com

www.onarynornotice.com

