

3

Kantelpunten en mismatches in de ecologie

■ SARIAN KOSTEN & MARTEN SCHEFFER

DE WERELDWIJDE snelle verandering van het klimaat, met opvallende veranderingen in de natuur als gevolg, is op zichzelf niet bijzonder. Verschillende malen hebben natuurlijke periodes van grote klimaatverandering het leven op aarde op zijn kop gezet. Uitsterfgolven hebben soms de helft van alle soorten of meer doen verdwijnen. Telkens toonde het leven op aarde veerkracht door binnen pakweg een miljoen jaar weer met een even groot aantal nieuwe soorten of meer terug te komen. De huidige klimaatverandering is qua snelheid vergelijkbaar met de turbulente klimaatperiodes die voor de eerdere uitsterfgolven verantwoordelijk waren. Hoewel we ons over de veerkracht van de natuur op een tijdschaal van miljoenen jaren dus geen zorgen hoeven te maken, is het goed om stil te staan bij de vraag wat de gevolgen van klimaatverandering zijn op de voor de mens belangrijke termijn van decennia of eeuwen. De laatste jaren is hier door nieuw onderzoek veel over bekend geworden.

Allereerst is duidelijk dat er zoals bij elke verandering winnaars en verliezers in de natuur zullen zijn. Soms pakt het positief uit. Zo is het aantal soorten wilde planten in Nederland de afgelopen decennia toegenomen met de komst van soorten

uit warmere gebieden, terwijl veel soorten van een koeler klimaat (nog) niet uit ons land zijn verdwenen. Niet altijd zijn de winnaars van een veranderend klimaat welkome gasten. Zo neemt in een warmer klimaat de kans op giftige blauwalgen in het water toe. Anderzijds zijn er verliezers die we vanuit het oogpunt van de mens liever niet zien verdwijnen. Het risico dat koraal afsterft of regenwoud door periodes van uitzonderlijke droogte ten prooi valt aan bosbranden is natuurlijk zorgelijk. Gelukkig weten we inmiddels ook hoe door slim beheer de natuur in veel gevallen tegen zulke ongewenste veranderingen te wapenen is. Bovendien zijn onderzoekers steeds beter in staat om vroegtijdige waarschuwingssignalen op te pikken die op afnemende veerkracht duiden, zodat gericht kan worden ingegrepen. In dit hoofdstuk zetten we de nieuwe inzichten en de uitdagingen op een rijtje als het gaat om het behouden van veerkrachtige natuur in een veranderend klimaat.

Slechte timing

Om te beginnen is het belangrijk om vast te stellen dat klimaatverandering nu al een grote invloed heeft op de natuur. We zien niet alleen een systematische poolwaartse verschuiving van 'warme soorten' maar ook grote veranderingen in fenolo-

gie, dat wil zeggen het ritme van de jaarlijks terugkerende natuurverschijnselen. De steeds vroegere vinddatum van het eerste kievitsei en de relatie met het weer, haalde zelfs het achtuurjournaal.

Omdat niet alle soorten op dezelfde wijze reageren op veranderingen in klimaat kan dit grote gevolgen hebben voor hun onderlinge interacties. Wanneer de synchronie tussen belangrijke fenologische stadia van soorten verloren gaat spreken we van een mismatch. Mismatches zijn voor het eerst aangetoond in mariene systemen, waar de groei en overlevingskans van vislarven sterk afhankelijk van de gelijktijdige aanwezigheid van klein zoöplankton. Vislarven reageren sterker op opwarming dan zoöplankton, waardoor er in warme jaren weinig te eten is voor de larven. Zoöplankton op zijn beurt, graast op algen en is dus afhankelijk van de aanwezigheid van goed eetbare algensoorten. Uit onderzoek in meren is bekend dat onder warmere omstandigheden algen eerder gaan groeien, terwijl zoöplankton zoals de watervlo niet of nauwelijks reageert op warmere temperaturen. Hun timing lijkt meer samen te hangen met de daglengte. Tegen de tijd dat de watervlooien opkomen heeft hun favoriete voedsel al weer plaatsgemaakt voor andere algen. Hierdoor blijft de populatie watervlooien klein, wat weer ongunstig is voor watervlo-erende vissen.

Ook in terrestrische systemen vinden verschuivingen plaats. Eén van de meest bestudeerde relaties is die tussen rupsen en koolmezen. Nederlandse koolmezen leggen hun eieren steeds vroeger, maar de rupsen die ze eten, pieken nog vroeger (zie ook de volgende paragraaf in dit hoofdstuk). Dit is niet alleen nadelig voor de koolmezen, maar ook voor de sperwer die jaagt op jonge koolmezen en voor de bomen die door de rupsen worden aangetast.

Naast mismatches tussen predatoren en hun prooi en tussen grazers en hun voedsel, zijn er ook mismatches op andere niveaus bekend, zoals tussen planten en hun bestuivers en tussen parasieten



Een eenzame ijsbeer op een schots is een soort icoon geworden van het veranderende klimaat.

en hun gastheren. Al deze voorbeelden laten duidelijk zien dat verstoring van de interactie tussen twee of meerdere soorten door kan werken op een heel ecosysteem.

Interactie tussen de 'dode' en de 'levende natuur'

Naast de min of meer directe invloed van klimaatverandering op organismen en hun interacties, spelen ook fysische en biogeochemische effecten een belangrijke rol. Het duidelijkst is wel de verminderde ijsbedekking in het Arctisch gebied. De iconische foto's van een ijsbeer op een ijsschots temidden van een grote open zee zijn daar een populair toonbeeld van geworden. Wrang genoeg gaat het met de ijsbeer op zichzelf relatief goed, met name door het afschaffen van de jacht. Maar ander onderzoek laat ook zien dat de conditie van al die extra ijsberen gemiddeld genomen wel degelijk achteruit gaat doordat ze minder eenvoudig kunnen jagen op hun favoriete prooi: vette zeehonden.



De klimaateffecten op de biogeochemische kringloop – de stroom van stoffen in de biotische en abiotische omgeving – spelen ook een grote rol. Zo blijkt uit een groot aantal studies dat klimaatverandering de vermisting van oppervlaktewateren versterkt. De opzet van deze klimaatstudies lopen sterk uiteen. In sommige studies worden rivieren en meren in verschillende klimaatzones met elkaar vergeleken, soms worden er meetgegevens van verschillende jaren vergeleken en gerelateerd aan meteorologische gegevens of er wordt gebruik gemaakt van natuurlijke temperatuurverschillen in gebieden met warmwaterbronnen. Ook worden er gecontroleerde experimenten uitgevoerd in veldsituaties, in kleinschalige nabootsing van de veldsituatie in proefopstellingen (*mesocosms*) en in laboratoria. Daarnaast worden modelsimulaties op de computer gebruikt. Vrijwel al deze studies laten zien dat de vermistingsproblematiek van oppervlaktewateren wereldwijd toeneemt als gevolg van klimaatverandering.

De gevolgen van vermisting variëren. Er kan sprake zijn van een toename van algen, van cyanobacteriën ('blauwalgen') of van drijvende planten zoals kroos, maar ook van verlies van ondergedoken waterplanten, zuurstofloosheid en veranderingen in de visgemeenschap. De oorzaken van deze achteruitgang in natuurwaarden en gebruikswaarden – cyanobacteriën zijn vaak giftig en zuurstoflooswater stinkt – zijn divers. Hevige buien, die naar verwachting steeds vaker voor zullen komen, zorgen voor een extra aanvoer van meststoffen van het land naar het oppervlaktewater. Hogere temperaturen doen er nog een schepje bovenop door de afbraak van organisch materiaal te bespoedigen. Hierdoor komen de vermestende stoffen die in dat organisch materiaal zaten weer beschikbaar voor (blauw)algen die in grote dichtheden de waterkwaliteit sterk verminderen.

Abrupte veranderingen

De achteruitgang in waterkwaliteit en de verarming van de levensgemeenschappen in het water, evenals de achteruitgang in veel terrestrische systemen gaan soms geleidelijk, maar vaak vindt er ook een abrupte omslag plaats. In eerste instantie zie je weinig veranderingen in een ecosysteem, totdat er een grenswaarde of een kantelpunt is bereikt waarna een kleine korte verstoring een ineenstorting van het ecosysteem tot gevolg kan hebben. Eenmaal ingestort is het erg lastig om het ecosysteem weer te herstellen. Dit komt omdat verschillende processen in een ecosystemen elkaar kunnen versterken. Deze zogenaamde positieve terugkoppelingen treden op in elke tuinvijver: als je eenmaal een troebele groene vijver hebt, is het lastig die weer helder te krijgen. Waterplanten kunnen immers niet groeien als ze geen licht hebben. De algen creëren een omgeving waarin ze het zelf goed doen, maar de groei van voedsel- en lichtconcurrenten verhinderen.

Ook verder van huis, in tropische regenwouden, vinden positieve terugkoppelingen plaats. Wanneer door houtkap het bladerdak minder dicht wordt, kunnen savannegrassen zich ontwikkelen. Deze grassen zijn erg brandbaar waardoor er tijdens droge perioden makkelijk brand ontstaat. De overgang van regenwoud naar savanne wordt hierdoor nog verder bespoedigd. Intacte regenwouden daarentegen verhogen de regionale neerslag wat de wouden zelf in stand houdt. Kappen van het woud leidt tot minder neerslag en ook hierdoor wordt het herstel van het woud bemoeilijkt.

Dit laatste laat zien dat er niet alleen terugkoppelingen binnen een ecosysteem optreden, maar ook tussen ecosystemen en het klimaat. Deze terugkoppelingen kunnen zowel positief als negatief zijn. Opwarming stimuleert bijvoorbeeld de noordwaartse verschuiving van boreale bossen. Deze bossen reflecteren minder zonlicht dan de sneeuw waarmee het gebied eerder bedekt was. In plaats

Kantelpunten

Het idee dat complexe ecosystemen zogenoemde kritische kantelpunten kennen tussen relatief stabiele situaties, werd door de Wageningse aquatisch ecooog professor Marten Scheffer voor het eerst beschreven in slootjes met kroos of met waterplanten. Kroos is een drijvend waterplantje dat zijn voeding uit het water moet halen, dus niet uit de bodem. Een sloot met veel voedingsstoffen in het water kan dus makkelijk bedekt raken met kroos. Maar ook een sloot waarin het kroos al heel veel voedingsstoffen uit het water heeft gehaald kan toch bedekt blijven met dat kroos. Het plantje ‘manipuleert’ het eigen milieu. Wanneer de worteltjes van het kroos al heel veel voedingsstoffen uit het water hebben opgenomen, zorgt het gesloten kroosdek er voor dat er niet voldoende licht op de bodem doordringt. Op die manier krijgen de zogenoemde ‘ondergedoken’ waterplanten alsnog geen kans. Pas als er een bepaald kritisch punt is bereikt kan een kroosloot omslaan naar een heldere sloot met waterplanten die in de bodem wortelen. Omgekeerd kan een sloot met waterplanten lang helder blijven. De waterplanten vangen ook zoveel voedingsstoffen uit het water, dat het kroos met zijn vrij bungelende worteltjes geen kans krijgt. Tot het moment dat er zó veel voedingsstoffen in het water zitten dat het kroos de boel kan overnemen. Het onderzoek aan kantelpunten, waar Scheffer in 2009 de Spinozapijs voor kreeg, is niet alleen relevant voor boerenslootjes, het gaat ook op voor andere complexe eco-

systemen, en zelfs voor complexe systemen buiten de ecologie, zoals in de sociologie of de economie. Ook de klimaatverandering is een belangrijke factor die een complex ecosysteem net wel of net niet over het randje kan duwen naar een nieuwe stabiele situatie. Onder andere in *Science* (2011) beschreef de groep van Scheffer hoe een droog gebied na extra regen niet automatisch vol groeit met bomen. Pas als er zoveel regen valt dat een systeem over de volgende natuurlijke drempel kan worden geduwd, groeit een kaal gebied wellicht vol. En omgekeerd kan het heel lang lijken of een tropisch bos verdroging wel aan kan. Totdat een regio blijkbaar zó droog is geworden dat het ogenschijnlijk in één klap terugvalt van een regenwoud in een savanne. Het onderzoek aan kantelpunten is niet alleen een theoretische exercitie, maar kent ook praktische kanten. Het onderzoek legt zowel risico's als kansen bloot. Uitgerekend in de meest fragiele gebieden van het Amazoneregenwoud worden volop bomen gekapt. Dat zijn dus bossen die tegen een negatieve omslag aan lijken te zitten. Door houtkap kunnen ze het laatste duwtje richting savanne krijgen. Tegelijk biedt het onderzoek ook kansen voor ‘eco-ingenieurs’. Gebieden die door houtkap of overbegrazing zijn veranderd in een kale vlakte kun je op het juiste moment een duwtje over de drempel in de goede richting geven. In Zuid-Amerika is bijvoorbeeld geëxperimenteerd met het strooien van boomzaden tijdens een nat ‘El Niñojaar’. Dergelijke experimenten bleken pas soelaas te bieden wanneer je in zo'n peri-

ode ook de grazers als geiten of konijnen uit zo'n gebied kon weghouden. Dan was de zet stevig genoeg om het ecosysteem over de kritische drempel te duwen naar een volgend stabiel niveau. De klimaatverandering heeft overigens ook consequenties voor de krooslootjes uit het begin van de onderzoekscarrière van Scheffer. Zijn onderzoeksgroep analyseerde de gegevens van waterbeheerders over kroosproblemen in relatie tot de temperatuurgegevens van het KNMI. Het bleek dat de kroosproblemen in het verleden duidelijk samenhangen met de wintertemperatuur. Een verhoging van de gemiddelde luchttemperatuur in de periode van november tot maart met 1 °C leidde er toe dat het kroosdek zo'n 14 dagen eerder opkwam. Wanneer de onderzoekers hun gegevens projecteren op de klimaatscenario's van het KNMI, voorzien zij dat in het meest extreme scenario de problemen met dichtgegroeide sloten gemiddeld drie weken langer zullen duren.



van gereflecteerd te worden, wordt het zonlicht nu geabsorbeerd waardoor het lokale klimaat nog verder opwarmt, wat verdere expansie van het bos bevordert. Aan de andere kant neemt het groeiende bos ook veel koolstofdioxide op, waardoor de atmosferische concentratie van dit broeikasgas afneemt.

Ook in aquatische systemen kan de terugkoppeling twee kanten op werken. Warme wateren stoten vaak meer koolstofdioxide uit door een verhoogde afbraak van organische stoffen, maar aan de andere kant neemt de opname van koolstofdioxide toe wanneer vermesting ervoor zorgt dat de fotosynthese van algen of waterplanten toeneemt. Deze vermesting, op haar beurt, wordt juist door klimaatverandering gestimuleerd. Naar de precieze balans tussen de verschillende ecosysteem-klimaat terugkoppelingen wordt veel onderzoek gedaan. Vooralsnog is ze nog niet altijd op te maken.

Een kroosloot kan zichzelf lange tijd in stand houden.

Klimaat- onderzoek legt risico's en kansen bloot

Omslagen zien aankomen

Wat wetenschappers steeds beter in de vingers krijgen is de kunst om de omslag van een ecosysteem aan te zien komen. Op het eerste gezicht lijkt het kleurrijke koraalrif misschien onaangetast door de plaatselijke visserij, maar opeens wordt ze overwoekerd door algen en zeesterren. Eerst lijkt het heldere meer de bemesting door slapende en poepende ganzen goed op te kunnen vangen, maar opeens wordt het een groene soep. Als je beter kijkt naar de schijnbaar onaangetaste toestand, kun je echter waarschuwingssignalen oppikken die aangeven dat de veerkracht van het systeem achteruit gaat. Een voorbeeld van zo'n signaal is dat een systeem dicht bij het omslagpunt maar traag herstelt van kleine verstoringen. Ook het karakter van de fluctuaties, bijvoorbeeld in algenconcentraties, verandert op kenmerkende wijze.

Inzicht in de nabijheid van het omslagpunt stelt je in staat om op tijd maatregelen te nemen. Minder vissen, minder vervuilen of minder kappen zijn maatregelen die relatief eenvoudig te nemen zijn. Klimaatverandering tegengaan is lastiger. Toch kun je ook lokaal wat doen om het ecosysteem minder vatbaar te maken voor de negatieve effecten van klimaatverandering. Ontbossing en overbemesting kunnen de gevolgen van klimaatverandering namelijk versterken. Blauwalgen, bijvoorbeeld, doen het vooral goed onder mestrijke en warme omstandigheden. Dit is een interactief effect: om het aandeel blauwalgen gelijk te houden, moet voor elke graad temperatuurstijging de concentratie aan voedingsstoffen met 30 procent worden teruggebracht. Het gegeven dat je lokaal iets kunt doen om de negatieve effecten van een globaal probleem als klimaatverandering tegen te gaan, gaat voor meer typen ecosystemen op. Minder kappen en minder vissen kunnen ecosystemen ook minder kwetsbaar maken voor klimaatverandering.

Natuurlijk gaat dit niet overal op. Het smelten van zeeijs heeft grote ecologische gevolgen, wat



Walrussen rusten bij voorkeur op ijs. Bij gebrek aan ijs komen ze in grote aantallen op het strand bijeen.

bijvoorbeeld duidelijk werd toen afgelopen winter grote aantallen walrussen in Alaska het vasteland op kwamen. Maar zo'n groot fenomeen is niet aan te pakken door aanpassingen van het lokale beheer. Het verminderen van lokale stressfactoren is dan ook geen panacee voor alle negatieve invloeden van klimaatverandering, maar kan in veel gevallen wel helpen en heeft verschillende voordelen ten opzichte van de mondiale reductie van broeikasgasemissies. Lokale maatregelen kunnen unilateraal worden uitgevoerd waardoor er geen lange onderhandelingen nodig zijn. Bovendien is de onzekerheid over de effectiviteit van lokale maatregelen lager dan die van maatregelen die gericht zijn op het terugdringen van wereldwijde atmosferische concentraties.

Sociologisch onderzoek laat duidelijk zien dat de ervaren onzekerheid over de effecten van klimaatverandering mensen ervan weerhoudt actie te ondernemen. Hetzelfde geldt voor pessi-

mistische berichten. Sociale experimenten tonen aan dat berichten over catastrofale gevolgen van klimaatverandering een cognitieve dissonantie veroorzaken waardoor sommigen de neiging hebben om aan klimaatverandering als geheel te gaan twijfelen. Deze reactie verandert wanneer er mogelijkheden tot actie worden gepresenteerd. Deze paragraaf is daarom ook met opzet rooskleurig ingestoken. Ja, klimaatverandering heeft grote negatieve gevolgen voor de natuur en nog lang niet alle effecten zijn precies in beeld, maar we hebben ook vat op de veerkracht van de natuur. Een positieve, op actie georiënteerde benadering van de klimaateffecten op ecosystemen kan bijdragen aan het besef dat klimaatverandering nu al gaande is en er iets aan gedaan moet worden.