

Wat zijn de gevolgen?

Klimaatverandering

BIOWETENSCHAPPEN EN MAATSCHAPPIJ KWARTAAL 3 2015



Klimaatverandering

Dit cahier is een uitgave van Stichting Biowetenschappen en Maatschappij (BWM) en verschijnt vier maal per jaar. Elk nummer is geheel gewijd aan een thema uit de levenswetenschappen, speciaal met het oog op de maatschappelijke gevolgen ervan.

Stichting BWM is ondergebracht bij ZonMw.

BESTUUR

Dr. J.J.E. van Everdingen
(voorzitter)
Prof. dr. W.P.M. Hoekstra
(penningmeester)
Dr. L.H.K. Defize
Prof. dr. J.T. van Dissel
Prof. dr. E. van Donk
Prof. dr. W.A. van Gool
Prof. dr. ir. F.P.M. Govers
Prof. dr. B.C.J. Hamel
Dr. M.A. van der Hoven
Prof. dr. C.L. Mummery

RAAD VAN ADVIES

Prof. dr. P. van Aken
Prof. dr. J. van den Broek
Prof. dr. J.P.M. Geraedts
Prof. dr. J.A. Knottnerus
Prof. dr. J. Osse
Prof. dr. E. Schroten

REDACTIE

Prof. dr. Frank Berendse
Prof. dr. Ellen van Donk
Dr. J.J.E. van Everdingen
Ir. Rob Buiters (eindredactie)

BUREAU

Drs. Rianne Blok
Monique Verheij

BEELDREDACTIE

B en U international picture
service, Diemen

VORMGEVING

Studio Bassa, Culemborg

DRUK

Drukkerij Tesink, Zutphen

INFORMATIE,

ABONNEMENTEN EN

BESTELLEN LOSSE NUMMERS

Stichting Biowetenschappen en Maatschappij
Laan van Nieuw Oost-Indië
334, 2593 CE Den Haag
telefoon: 070-34 40 781
e-mail: info@biomaatschappij.nl
www.biomaatschappij.nl

© Stichting BWM

ISBN 978-90-73196-79-7
Stichting BWM heeft zich ingespannen om alle rechthebbenden van de illustraties in deze uitgave te achterhalen. Mocht u desondanks menen rechten te kunnen laten gelden, dan verzoeken wij u vriendelijk om contact met ons op te nemen.



**Biowetenschappen
en Maatschappij**

In memoriam Dick van Bekkum



Op 17 juli is prof. dr. Dick van Bekkum op 89-jarige leeftijd overleden. Hij heeft in 1969 samen met Prins Claus en anderen de Stichting Biowetenschappen en Maatschappij opgericht. Hem stond toen al voor ogen dat de wetenschappelijke ontwikkelingen in de biowetenschappen op

een wetenschappelijk verantwoorde manier journalistiek verspreid moesten worden naar het publiek. Voor zijn pionierswerk in deze ontving hij in 2009 de Van Walree Prijs voor beste journalistieke prestatie in het medisch onderzoek. Dick van Bekkum heeft zich tot aan zijn overlijden ingespannen om de doelstelling van de Stichting BWM te realiseren. Hij deed dat lange jaren als voorzitter van de Stichting en de laatste jaren als betrokken adviseur. Hij was niet alleen bestuurder, maar leverde ook talrijke bijdragen als redacteur dan wel als auteur van onze cahiers. Wij zijn hem veel dank verschuldigd voor de stimulerende, gewetensvolle en authentieke wijze waarop hij de Stichting heeft vormgegeven en tot bloei gebracht.

Dr. Jannes van Everdingen
Voorzitter Stichting Biowetenschappen
en Maatschappij

Inhoud

Voorwoord: Het tij keert 2
Inleiding: De gevolgen van klimaatverandering 4
De KNMI'14-klimaatscenario's 6

1 Back to the future 9

'Op 43 meter diepte zitten de mooiste fossielen' 14

2 Klimaatverandering rond de polen 17

Dagboek Kytalyk: klimaatonderzoek in de praktijk 26

3 Kantelpunten en mismatches in de ecologie 29

Een invasie van warmteminnende soorten 40

4 Warme landbouw 43

Natuur als buffer 50

5 Ziek door het veranderende klimaat 53

Klimaatvluchtelingen 66

6 Kosten en kansen van klimaatverandering 69

Epiloog: Wat nu? 76

'Dit was boven alles een rechtszaak van hoop' 80

Nadere informatie 82

Auteurs 83

Illustratieverantwoording 84

Voorwoord: Het tij keert

HET IS nu ruim dertig jaar geleden dat ik als jonge ingenieur kustwaterbouw in aanraking kwam met klimaatverandering. Op een conferentie in Washington werd een presentatie gegeven over de kans op een zeespiegelstijging van meerdere meters door het smelten van de West-Antarctische ijskap. Dat dit grote gevolgen zou hebben voor ons werk bij het toenmalige Waterloopkundig Laboratorium was vrij duidelijk. De wetenschappelijke achtergrond van klimaatverandering was, wat mij betreft, voldoende helder om er serieus mee aan het werk te gaan. Ook was toen al duidelijk dat het gebruik van fossiele brandstoffen verreweg de grootste bijdrage zou leveren aan de toename van broeikasgassen in de atmosfeer. Een betaalbaar alternatief voor fossiele energie was niet voorhanden. De opwarming van de aarde leek alleen te stoppen door een radicale verandering van de consumptiemaatschappij. En dat wereldwijd. Dat leek niet erg realistisch. Dit leidde destijds ook tot een soort verlamming en cultuurpessimisme. Aanpassen aan de veranderingen zou wel eens de enige haalbare optie kunnen zijn. Voor kustwaterbouwers misschien een interessante, maar voor mij persoonlijk een allerm minst bevredigend toekomstperspectief.

Drie decennia en twee banen later – via het Ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieu, kwam ik uiteindelijk in de academie terecht, bij het Instituut voor Milieuvraagstukken van de Vrije Universiteit – is de sfeer behoorlijk anders. Op het gebied van duurzame energie worden inmiddels geweldige slagen gemaakt. Bij openbare aanbestedingen voor de

levering van elektriciteit in de Verenigde Staten blijkt windenergie nu goedkoper te zijn dan kolenstroom, net als de stroom uit grote zonneparken in Nevada. Ook in Kenia wordt nu gebouwd aan een groot windpark dat goedkoper stroom gaat leveren dan fossiele alternatieven. Los van de problemen aangaande klimaat, begint duurzame energie dus economisch door te breken. Zelfs in China worden kolencentrales rondom Bejing gesloten. China investeert inmiddels meer in duurzame energie opwekking dan in fossiele elektriciteitsopwekking. Over enkele jaren is elektrisch auto rijden goedkoper dan rijden op diesel of benzine. Er komen batterijen op de markt die ineens betaalbaar blijken te zijn. Duurzame energie is nagenoeg eindeloos. Er komt iedere dag immers meer energie in de vorm van zonnestrallen op de aarde aan, dan wij als complete mensheid in een jaar verbruiken.

Daarmee hebben we dan 70 procent van de broeikasgassen te pakken. Grondgebruik, ontbossing, akkerbouw en veeteelt leveren het grootste deel van de overige 30 procent. Onze gigantische consumptie van vlees is vooralsnog een lastig probleem. Maar ook op dat front zien we het bewustzijn groeien. We worden daarbij geholpen door de gezondheidsaspecten van onze westerse manier van eten. We eten nu ronduit ongezond. Gezonder eten, vooral minder vlees, en verstandiger omgaan met bodemvruchtbaarheid leidt bijna automatisch tot een vermindering van broeikasgassen in die sector.

Kortom, klimaatverandering is niet alleen een probleem, maar ook een katalysator. Mijn aanvankelijke pessimisme is omgeslagen naar optimisme,



en daarin sta ik gelukkig niet alleen. Let wel: dat is een perspectief waar je niet naïef onder moet worden. Om het klimaatprobleem het hoofd te bieden moeten heel veel maatschappelijke sectoren en wetenschappelijke disciplines de krachten bundelen. Grote transitie op het gebied van energie, transport, landbouw en voedsel gaan plaatsvinden. Daarbij vallen ook slachtoffers, zoals in de mijnbouw en bij de oliemaatschappijen, en in vele chemische bedrijven en in de intensieve veehouderijen. Tegelijkertijd komt zeer veel werkgelegenheid terug in de nieuwe sectoren, maar dat zijn bij voorbaat niet dezelfde mensen en bedrijven.

Ondanks mijn toegenomen optimisme over een aanpak van het klimaatprobleem denk ik dat ons nog grote verrassingen te wachten staan. Het kli-

maat verandert niet lineair. Van nature schommelt het al, laat staan wanneer er ineens een enorme broeikasgasimpuls bij komt. Ik wil dan ook zeker het werk van de Amerikaanse klimaatwetenschapper James Hansen aanraden. Via zijn boeken, zoals *Storms of my grandchildren*, en ook via zijn ‘TED-talk’ die op youtube te zien is, waarschuwt hij terecht dat er zacht gezegd nog veel te doen staat.

Toch zie ik steeds meer momentum in de goede richting, met name vanuit de jongere generaties. Duurzaam is voor die generaties niet meer iets ‘alternatiefs’, het is de norm aan het worden. Wat dat betreft juich ik het zeer toe dat het cahier dat nu voor u ligt bijvoorbeeld via de website Kennislink ook op de jongere generaties wordt gericht. Wat hier wordt gepresenteerd zijn geen doemverhalen, het is de realiteit van vandaag. Het weer wordt extremer, de zeespiegel is aan het stijgen, de natuur verandert voor onze ogen ... Het zijn dit soort verhalen die ertoe bijdragen dat de slimste studenten van tegenwoordig geen banen meer ambiëren bij grote oliemaatschappijen met dito leaseauto's, maar een duurzame koers kiezen. Ik zou dan ook zeker aanraden om dit cahier na lezing door te geven aan kinderen, kleinkinderen of collega-studenten.

Professor Pier Vellinga

Wetenschappelijk directeur van het programma
Kennis voor Klimaat

Inleiding: De gevolgen van klimaatverandering

DE DISCUSSIE over de vraag of het klimaat wel of niet verandert is niet meer aan de orde. Het klimaat is veranderd en de gevolgen daarvan zijn voor iedereen te zien. De sneeuwkllokjes bloeien al in december en vlinders als dagpauwoog of kleine vos zie je weken eerder dan twintig jaar geleden. Zo'n tweehonderd plantensoorten zijn opgerukt van het zuiden naar het noorden van ons land. In de zomer is het geel van het Zuid-Afrikaanse bezemkruid een van de meest opvallende kleuren in Nederland geworden, niet alleen langs snelweg en spoorlijn, maar ook in de binnensteden. Door het warmere klimaat ziet Nederland er tegenwoordig anders uit. De gemiddelde jaartemperatuur en de zeespiegel zijn subtiel, maar structureel omhoog gegaan.

In dit cahier brengen we in kaart wat de consequenties zijn van de klimaatveranderingen die zich aan het voltrekken zijn. Voor een deel zijn dat positieve effecten, zoals al die plantensoorten die zich hebben uitgebreid. Er zijn ook negatieve consequenties voor de natuur, net als voor onze gezondheid en onze veiligheid. De cruciale vraag is: wat kunnen we daaraan doen? En kan klimaatverandering ook leiden tot zichzelf versterkende effecten, waardoor de veranderingen in een onomkeerbare stroomversnelling raken, wanneer eenmaal een kritische grens is overschreden?

Voordat je de toekomst kunt voorspellen, moet je op zijn minst het verleden begrijpen. In het diepe verleden van onze planeet zijn er eerder periodes geweest met hoge temperaturen en hoge concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer. Hoge broeikasgasconcentraties leiden tot hoge tempera-

turen, maar opwarming leidt ook tot productie van meer broeikasgas. Wat is dus de kip en wat het ei? Recent onderzoek heeft laten zien dat in sommige fasen van de geschiedenis van de aarde hoge vulkanische activiteit de oorzaak is geweest van sterk verhoogde broeikasgasconcentraties, en daarmee van de verschillende superwarme periodes die onze aarde heeft doorgemaakt. Dat accentueert nog eens de doorslaggevende rol van de verbranding van fossiele brandstoffen als oorzaak van de huidige opwarming, terwijl tegenwoordig de bijdrage van vulkanen aan de opwarming slechts klein is.

De snelste temperatuurstijging vindt momenteel plaats in het Arctisch gebied. De verspreiding van wilde planten- en diersoorten verandert hier het snelst doordat soorten zich naar de voorheen koudere, maar nu snel warmer wordende gebieden verplaatsen. Deze streken zijn ook om hele andere redenen van essentieel belang. Het gaat om zulke grote oppervlaktes dat veranderingen in begroeiing of ijsbedekking, die het gevolg zijn van de opwarming, doorslaggevende effecten kunnen hebben op het gehele systeem Aarde, en daarmee op verdere klimaatverandering.

Wanneer al het Antarctische landijs zou smelten, stijgt de zeespiegel met 55 meter. Zover zal het niet zo gauw komen, al was het maar omdat de Zuidpool om nog niet opgehelderde redenen een stuk minder snel opwarmt dan de Noordpool. Toch hebben de twee grootste gletsjers op Antarctica hun ijsafvoer naar de oceaan de afgelopen decennia verdubbeld tot meer dan 250 kubieke kilometer per jaar. Hier roept het warmer wordende klimaat gigantische krachten op, waarvan we de conse-



quenties nog nauwelijks kunnen overzien.

Wanneer de verspreiding van wilde planten- en diersoorten verandert, ontstaan nieuwe soorten-combinaties en verandert het netwerk van interacties binnen het ecosysteem. In sommige gevallen kan dat leiden tot het verdwijnen van soorten. Ook wanneer dezelfde soorten naast elkaar blijven bestaan, kunnen er grote problemen ontstaan, omdat verschillende soorten of soortengroepen verschillend reageren op een stijgende temperatuur. Dat ondervindt bijvoorbeeld een typisch Nederlandse weidevogel als de grutto. Door intensivering van de landbouw, maar ook door klimaat-

verandering, is de grasgroei steeds vroeger op gang gekomen. Voor de gruttokuikens is het essentieel dat de vegetatie nog half open is wanneer zij uit het ei kruipen, zodat zij zich jagend door het grasland kunnen begeven. In plaats daarvan treft de vogel een weiland vol hoog en dicht gras dat steeds sneller groeit en ook steeds eerder wordt gemaaid met steeds grotere en snellere maaimachines. De les voor natuurbeschermers is dat het mede door de klimaatverandering steeds moeilijker is de vogels van het Nederlandse weidelandschap te behouden dan zo'n dertig jaar geleden, zelfs wanneer je de landbouwintensivering op een aantal plekken terug kan draaien.

Behalve op de natuur heeft klimaatverandering vergaande gevolgen voor een groot aantal maatschappelijke sectoren. In dit cahier wordt beschreven hoe het opwarmende klimaat een aantal nieuwe economische mogelijkheden biedt en ook tot een rijkere natuur kan leiden, maar er zijn ook risico's, bijvoorbeeld voor de volksgezondheid. Tot nu heeft de Nederlandse maatschappij zich vooral geconcentreerd op de consequenties van de opwarming voor de bescherming tegen de zee en de grote rivieren. In de volgende bijdragen tonen diverse auteurs aan dat we zeer spoedig ook de andere gevolgen onder ogen moeten zien.

Namens de redactie: Professor Frank Berendse

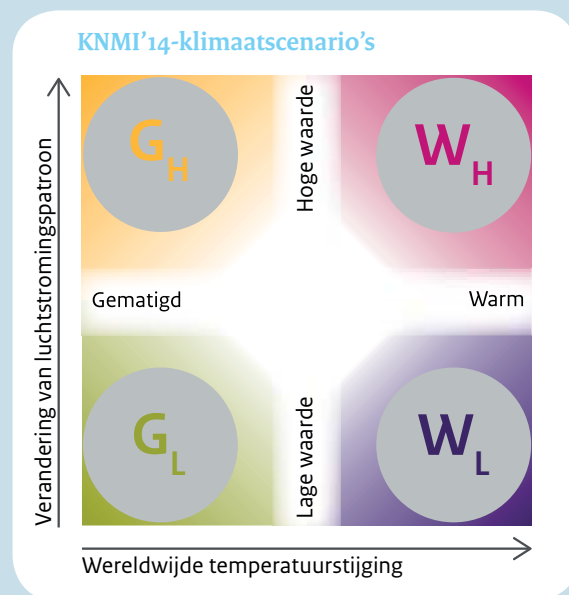
De KNMI'14-klimaatscenario's



HOGERE TEMPERATUREN, een sneller stijgende zeespiegel, nattere winters, heftiger buien en kans op drogere zomers. Daar moeten we volgens de jongste, zogeheten KNMI'14-klimaatscenario's in de toekomst in Nederland rekening mee houden. De KNMI'14-klimaatscenario's (uitgegeven in mei 2014) vertalen de onderzoeksresultaten voor het wereldwijde klimaat uit het IPCC rapport van 2013 naar Nederland. De KNMI'14-scenario's beschrijven samen de vier uitersten waarbinnen de klimaatverandering in Nederland zich, volgens de nieuwste inzichten, waarschijnlijk zal voltrekken. Ze geven de verandering rond 2050 en 2085 weer ten opzichte van het klimaat in de periode 1981-2010.

De vier KNMI'14-scenario's verschillen in de mate waarin de wereldwijde temperatuur stijgt ('Gematigd' of 'Warm') en de mogelijke verandering van het luchtstromingspatroon ('Lage waarde' of 'Hoge waarde').

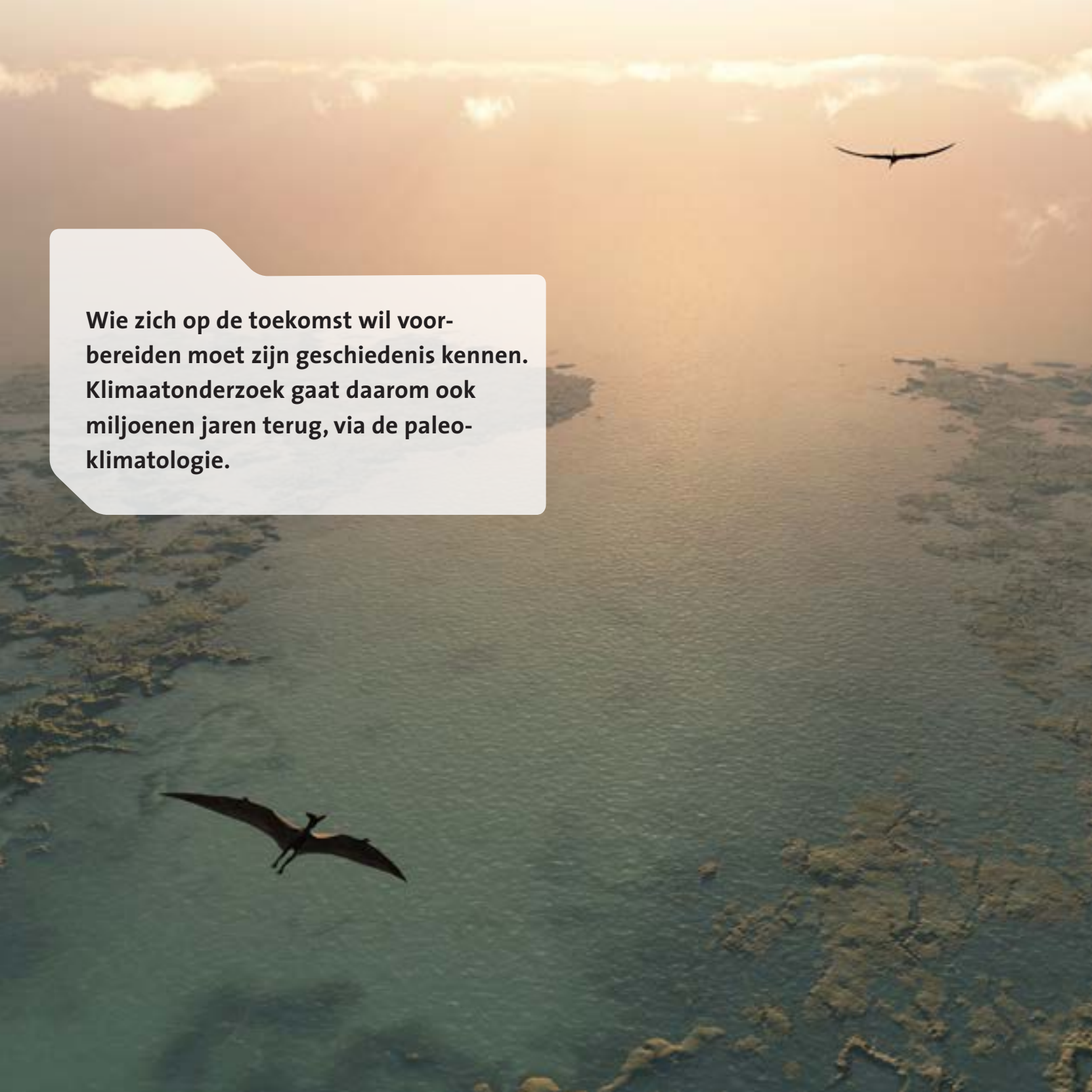
G_H	+ 1 graad wereldwijd in 2050, per jaar 105 dagen warmer dan 20 graden in NL, nog 2 à 3 ijsdagen per jaar, drogere zomers.
W_H	+ 2 graden wereldwijd in 2050, per jaar 120 dagen warmer dan 20 graden in NL, nog 1 ijsdag per jaar, drogere zomers.
G_L	+ 1 graad wereldwijd in 2050, per jaar 100 dagen warmer dan 20 graden in NL, hooguit 4 ijsdagen per jaar, enige scenario met nog 1 dag strenge vorst per jaar.
W_L	+ 2 graden wereldwijd in 2050, per jaar 112 dagen warmer dan 20 graden in NL, nog 2 ijsdagen per jaar.



De vier mogelijke extremen in de klimaatscenario's, met hoge of gematigde stijging van de temperatuur, en hoge of lage veranderingen in de luchtstroom. In de tabel hiernaast staan enkele belangrijke karakteristieken van de extreme scenario's.

Het klimaat in Nederland rond 2030, volgens een gemiddeld klimaatscenario

Seizoen	Variabele	Indicator	Klimaat 1981–2010 =referentieperiode	Gemiddelde verandering voor het klimaat rond 2030 (2016–2045)	Natuurlijke variaties gemiddeld over 30 jaar
Jaar	Zeespiegel bij Noordzeekust	absolute niveau	3 cm boven NAP	+10 tot +25 cm	± 1,4 cm
		tempo van verandering	2,0 mm/jaar	+1 tot +6 mm/jaar	± 1,4 mm/jaar
	Temperatuur	gemiddelde	10,1 °C	+1,0 °C	± 0,16 °C
	Neerslag	gemiddelde hoeveelheid	851 mm	+5%	± 4,2%
	Zonnestraling	zonnestraling	354 kJ/cm ²	+0,2%	± 1,6%
	Verdamping	potentiele verdamping (Makkink)	559 mm	+2,5%	± 1,9%
	Mist	aantal uren met zicht minder dan 1 km	300 uur	–100 uur	± 39 uur
Winter	Temperatuur	gemiddelde	3,4 °C	+1,2 °C	± 0,48 °C
	Neerslag	gemiddelde hoeveelheid	211 mm	+8,5%	± 8,3%
		10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden	89 mm	+9%	± 11%
		aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	55 dagen	+1,5%	± 4,7%
	Wind	gemiddelde windsnelheid	6,9 m/s	+0,5%	± 3,6%
		hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar	15 m/s	–1%	± 3,9%
		aantal dagen met windrichting tussen zuid en west	49 dagen	+2,5%	± 6,4%
Lente	Temperatuur	gemiddelde	9,5 °C	+0,8 °C	± 0,24 °C
	Neerslag	gemiddelde hoeveelheid	173 mm	+5,5%	± 8,0%
Zomer	Temperatuur	gemiddelde	17,0 °C	+0,9 °C	± 0,25 °C
	Neerslag	gemiddelde hoeveelheid	224 mm	+0,2%	± 9,2%
		dagelijkse hoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden	44 mm	+1,7 tot +10%	± 15%
		maximum uurneerslag per jaar	15,1 mm/uur	+5,5 tot +11%	± 14%
		aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	43 dagen	+0,5%	± 6,4%
	Zonnestraling	zonnestraling	153 kJ/cm ²	+1,9%	± 2,4%
	Vochtigheid	relatieve vochtigheid	77%	–0,6%	± 0,86%
	Verdamping	potentiele verdamping (Makkink)	266 mm	+3,5%	± 2,8%
	Droogte	gemiddeld hoogste neerslagtekort gedurende het groeiseizoen	144 mm	+4%	± 13%
Herfst	Temperatuur	gemiddelde	10,6 °C	+1,0 °C	± 0,27 °C
	Neerslag	gemiddelde hoeveelheid	245 mm	+5,5%	± 9,0%



Wie zich op de toekomst wil voorbereiden moet zijn geschiedenis kennen. Klimaatonderzoek gaat daarom ook miljoenen jaren terug, via de paleoklimatologie.

■ PETER BIJL

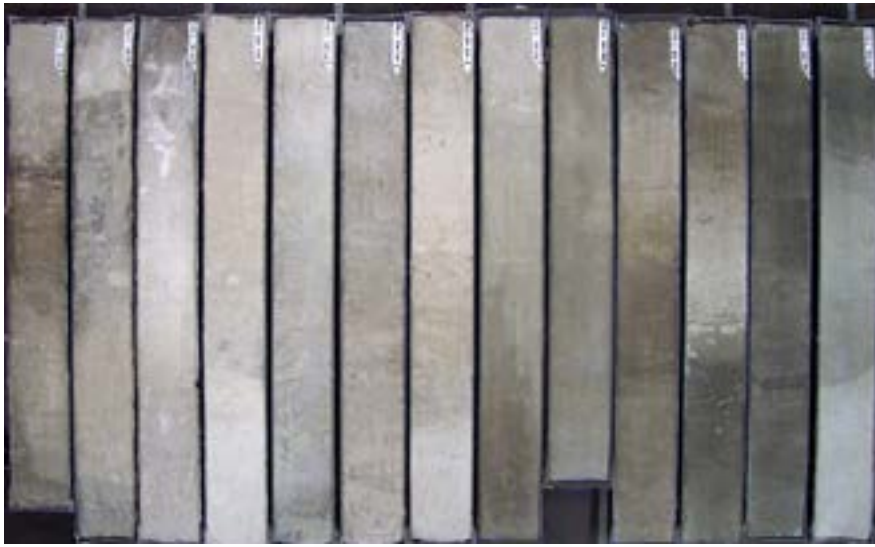
WE ZIJN er: 2015. Wat 1984 was voor George Orwell toen hij in 1948 zijn beroemde boek schreef, dat was 9 juni 2015 voor de film 'Back to the future'. Als je nu de datum '2100' zou invullen in de tijdreizende auto van deze film, zou je met angst en beven kijken hoe het klimaat op aarde er dan uit ziet. Nieuwsberichten over extreme natuurverschijnselen zijn nu al aan de orde van de dag: afsmeltende ijskappen, verzurende zeeën, droogtes en overstromingen, orkanen en bosbranden. Hoe zou het er over een krappe eeuw uit zien, in ons veranderende klimaat?

Toch zijn niet al deze fenomenen direct aan klimaatverandering te koppelen. De moeilijkheid zit hem in het feit dat het weer van jaar op jaar enorm kan verschillen. Nu eens hebben we een natte, warme winter, dan weer een koude, droge. Klimaat is iets heel anders dan weer: het is het gemiddelde weertype van tientallen jaren op een bepaalde plek. Klimaat middelt deze extremen uit. Klimaatwetenschappers maken zich niet zo zeer zorgen over een warm jaar, maar meer over de constatering dat de afgelopen jaren de temperatuur vaak boven het gemiddelde van de afgelopen eeuw uitstijgt. Ook maken zij zich zorgen over de grote snelheid waarmee op dit moment de poolgletsjers smelten.

In Nederland wordt sinds ongeveer honderd jaar de temperatuur dagelijks op een aantal plaatsen gemeten. Naast temperatuur hebben we sinds de jaren zestig een continue meetreeks van de hoeveelheid koolstofdioxide in de lucht. We zien in al deze klimaat- en weerdata verontrustende trends. De grote vraag is of deze trends onderdeel vormen van een cyclus die zich over honderden jaren voltrekt, of dat de veranderingen van de laatste jaren uniek zijn.

Rekenen met onzekerheden

Een belangrijke tak van de klimaatwetenschap houdt zich bezig met het berekenen van het mogelijke verdere verloop van de huidige klimaatverandering. Daarbij gaan de onderzoekers uit van enkele scenario's voor de uitstoot van broeikasgassen ('gaan we op dezelfde voet door, of gaan we de uitstoot afbouwen?'), prognoses van bevolkingsgroei ('planten we ons in hetzelfde tempo voort, of neemt de groei af?'), en niet in de laatste plaats ook aannames over de gevoeligheid van het klimaat voor een verdere toename van broeikasgassen. Deze klimaatgevoeligheid wordt vaak uitgedrukt in de temperatuurstijging op aarde door een verdubbeling van de hoeveelheid CO₂ in de lucht.



In dergelijke boorkernen zijn fossiel plankton en stuifmeelkorrels van palmbomen en apenbroodbomen gevonden, die destijds langs de Antarctische kustlijn groeiden.

Je zou verwachten dat de klimaatgevoeligheid van de aarde een vaste constante is, en dat klimaatwetenschappers daar goed grip op zouden hebben. Niets is minder waar. Klimaatwetenschappers weten na lang onderzoek dat de klimaatgevoeligheid nu tussen de 1,5 en 4,5 graden per CO₂-verdubbeling zit. De complexiteit van het klimaatstelsel zorgt ervoor dat de onzekerheid in dit getal erg groot is. Bij 1,5 graden klimaatgevoeligheid hebben we voorlopig nog niet veel te vrezen, maar bij 4,5 graden moeten we in West-Nederland in het jaar 2100 echt vrezen voor natte voeten.

De grote onzekerheid in voorspellingen van de toekomst zit hem dus in de beperkte hoeveelheid meetgegevens van het verleden, waardoor we niet goed weten hoe uniek de huidige trends zijn. Een bijkomstig probleem is dat we op basis van onze huidige kennis van het klimaatstelsel de klimaatgevoeligheid van de aarde niet goed kunnen vaststellen. Daarom zijn de berekeningen van de toekomstige klimaatverandering zo onzeker.

Leren van de geschiedenis

Een manier om deze berekeningen beter te maken

is om terug te kijken in de aardse geschiedenis. De aarde heeft namelijk in het verleden wel vaker tijden gekend met veel CO₂ in de lucht. Door deze periodes in het aardse verleden goed te bestuderen en te kijken hoe het klimaat, de ijskappen en de leefomgeving toen reageerden op zulke hoge concentraties broeikasgas, kunnen we het klimaatstelsel van nu beter begrijpen en betere voorspellingen doen voor de toekomst. Wat zou het dan ook geweldig zijn om met een teletijdmachine terug te kunnen naar het verleden om te kijken hoe de aarde toen heeft gereageerd op grote schommelingen in CO₂. Helaas kunnen we dat niet letterlijk, maar de paleoklimatologie komt wel dicht in de buurt van dit soort teleportatie. Binnen het klimaatonderzoek leveren paleoklimaatonderzoekers het inkijkje in het verleden dat we zo hard nodig hebben. Zij bestuderen de klimaatdynamiek van het verleden, met name van tijden waarvan geen directe meetgegevens zijn.

Voor paleoklimaatonderzoek zijn drie ingrediënten nodig: ten eerste een archief, vergelijkbaar met een geschiedenisboek. Het archief voor de paleoklimaatonderzoeker is de aarde zelf. Op aarde vindt op allerlei plekken opeenstapeling van informatie plaats: op de bodem van meren, zeeën en oceanen, en ook op ijskappen stapelen zand, klei en resten van leven zich op. Als bladzijden van een boek komt er elk jaar een laagje bij. In deze opeenstapeling zit een keur aan informatie over hoe het milieu is veranderd. Dit archief van afzettingen wordt verkregen door te monstern. Er worden bijvoorbeeld boringen verricht waarbij een buis in de oceaan- of meermodder wordt gestoken. In zo'n boorkern zit een stukje van elke laag op volgorde: van onder naar boven van oud naar jong.

Voor het onderzoek naar het klimaat in het verre verleden is het oceaanboorprogramma *Integrated Ocean Discovery Program* en haar voorgangers erg belangrijk geweest. Hiermee zijn duizenden meters oceaanbodembedder beschikbaar geko-

De huidige CO₂-concentratie is uniek voor de laatste 850 duizend jaar

men voor wetenschappelijk onderzoek naar het klimaat van het verleden.

Ten tweede moeten we weten in welke tijd dit archief is afgezet: bestrijkt de boorkern de laatste duizend jaar of de laatste miljoen jaar? Hiervoor worden allerlei methodes gebruikt om de boorkern te dateren. Eén methode is radiometrie, waarbij gebruik wordt gemaakt van de halfwaardetijd van allerlei elementen. Wanneer je weet hoe snel een radioactief element verval, je weet hoeveel er bij aanvang in het monster gezeten moet hebben en hoeveel er tijdens de bemonstering nog over is, dan kun je ook de ouderdom benaderen. Er zijn nog veel meer methodes om de ouderdom te bepalen, waarmee paleoklimaatonderzoekers goed inzicht krijgen in het tijdsbereik van de boorkern.

Als laatste moet je natuurlijk aan de boorkern kunnen bepalen hoe het milieu is veranderd in de loop van de tijd. Hiervoor zijn allerlei methodes ontwikkeld om bijvoorbeeld de temperatuur, de hoeveelheid CO₂ in de lucht, het zoutgehalte, of de voedselrijkdom te reconstrueren. Daarbij wordt gebruikt gemaakt van alle resten in de boorkern: van fossieltjes, zand en klei tot moleculen aan toe.

Veel van deze methodes hebben als basisprincipe dat natuurkundige wetten die in onze tijd zijn opgesteld (de Wetten van Newton bijvoorbeeld) ook in het geologische verleden golden. Het heden is de sleutel tot het verleden. Zo wordt bijvoorbeeld gekeken naar microfossielen in het archief die specifiek warmteminnend zijn, of soorten die we vandaag de dag kennen van de koude poolgebieden. Sommige microfossielsoorten komen alleen voor bij zoetwaterinvloed dicht bij de kust, bijvoorbeeld bij een riviermonding. Ook kunnen stuifmeelkorrels bijvoorbeeld iets zeggen over de vegetatie langs de kustlijn. Dit vergt veel microscoopwerk. Je maakt een microscopenpreparaat van de oceaانبodemmodder en kijkt wat voor fossieltjes erin zitten. Naast de fossielen zelf zitten er in een boorkern ook veel moleculaire resten van leven:

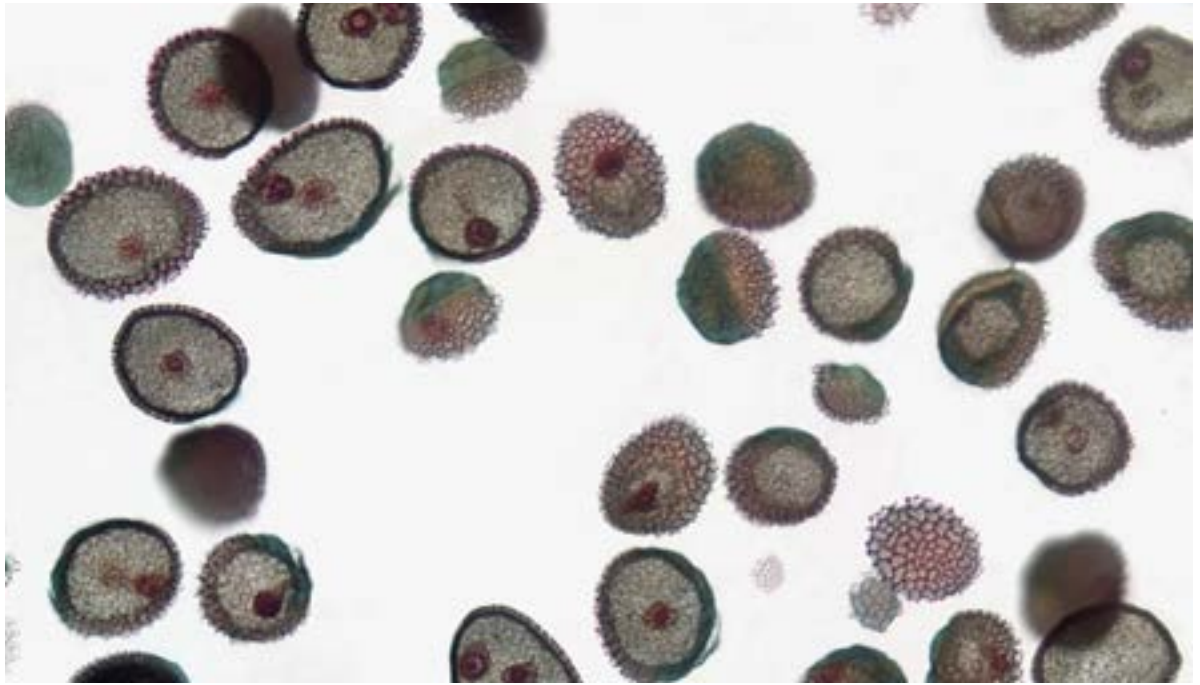
fossiele moleculen. Sommige soorten organismen maken heel specifieke moleculen aan. Als je deze moleculen vindt, weet je dus zeker dat die groep organismen daar leefde. Zo is er bijvoorbeeld een groep eencelligen die voorkomt in sterk zuurstofloos water. Deze organismen maken een heel apart soort celmembranen. Vind je die celmembranen in je boorkern, dan weet je zeker dat het water zuurstofloos was. Hartstikke handig!

Op een bepaalde manier wordt een boorkern een soort *crime scene*: er is in de oeroude zee iets gebeurd, bijvoorbeeld het werd zuurstofloos, maar de enige informatie die beschikbaar is, is het archief van neergeslagen bodemdeeltjes. Door de fossiele moleculen te bekijken kunnen we, zonder dat we echt een teletijdmachine hebben, toch bewijzen dat ooit de oceaan zuurstofloos is geworden!

Een beeld van het verleden op basis van de koolstofkringloop

Door het paleoklimaatonderzoek is er veel bekend geworden over het klimaat van het verleden, over ijskappen, temperatuur en CO₂. Uit boringen in de ijskappen weten we bijvoorbeeld dat de huidige CO₂-concentratie uniek is voor de afgelopen 850 duizend jaar! Om een wereld te bestuderen met een CO₂-concentratie die net zo hoog is als die van nu, en zeker zoals die wordt voorspeld voor de toekomst, moeten we verder terug in de tijd. De afgelopen jaren is veel onderzoek gedaan naar de klimaatsextremen van de afgelopen 100 miljoen jaar. Zo is door paleoklimaatonderzoek ontdekt dat gedurende het dinosaurustijdperk, er periodes waren van extreme warmte en zuurstofloze condities in grote delen van de oceaan. Ook later, toen de dinosaurussen al enkele miljoenen jaren waren uitgestorven, vonden periodes van extreme hitte plaats, met tropische bossen op Antarctica en rond de Noordpool, compleet ijsvrije condities en extreme hitte rond de evenaar. Niet verrassend was

Onder de microscoop is aan fossiel stuifmeel precies te herkennen welke planten ergens hebben gegroeid.



de concentratie broeikasgas in die periodes ook heel hoog.

Om te snappen hoe die warme broeikaswereld in het verleden is ontstaan, moeten we begrijpen hoe de koolstofkringloop in elkaar zit. Koolstof is het basiselement van leven en vormt ook een van de twee basiselementen van het broeikasgas CO_2 . Alle plekken waarin koolstof voorkomt noemen we reservoirs. De gesteentes samen zijn een reservoir, maar ook de oceanen, het landleven, de bodems en de lucht. Neem bijvoorbeeld het reservoir 'landleven'. Als bijvoorbeeld planten groeien, nemen ze koolstof op uit het reservoir 'atmosfeer'. Maar in de tijd dat er één plant groeit tot boom, gaat er ook één boom dood: hierbij komt de opgeslagen koolstof weer vrij. Zo vindt er dus tussen de reservoirs landleven, bodem, oceaan en atmosfeer voortdurend uitwisseling van koolstof plaats. Netto verandert er met die reservoirs niet zoveel: alles verkeert in een nauw evenwicht.

Op de langere termijn kunnen zich echter belangrijke verschuivingen voltrekken in dit evenwicht. Een van de meest sprekende voorbeelden is de uitstoot door vulkanen. Koolstof dat al lange tijd was opgeslagen in sedimenten komt via vulkanisme weer in het systeem. Zou er geen opname van koolstof op aarde zijn, dan zou door vulkanisme de hoeveelheid CO_2 in de atmosfeer langzaam maar zeker stijgen. Gelukkig heeft de aarde een eigen opnamesysteem voor de lange termijn ontwikkeld. Bij de verwerking van silicaatgesteente wordt namelijk CO_2 uit de lucht opgenomen. De producten van dit verweringsproces lossen op in rivierwater en stromen naar zee, waar organismen deze moleculen opnemen en in hun skeletjes inbouwen. Deze organismen gaan dood, en hun skeletjes komen in de oceaanbodemmodder terecht. Door voortdurende bewegingen van de aardkorst komt deze oceaanbodemmodder na lange tijd weer terug in diepe lagen, waarna

na lange tijd via vulkanisme deze CO₂ weer in de atmosfeer terecht komt. Opnieuw een evenwicht dus, al bestrijkt deze cyclus lange tijdschalen, terwijl de interactie tussen bijvoorbeeld planten en de atmosfeer heel snel verloopt.

Terug naar de oude broeikaswereld, want hoe kwam het nou dat in die tijdsperiodes in het verre verleden zo veel CO₂ in de atmosfeer zat? Dat kwam doordat er lange tijd geen balans was tussen de hoeveelheid vulkanen die CO₂ uitstootten en de hoeveelheid silicaatgesteente die verweerd werd. Er waren dus relatief veel meer vulkanen die CO₂ uitbraakten, dan dat er gesteente verweerde waarbij CO₂ werd opgenomen. De vorming van vele gebergtes zorgde vervolgens voor een langzame en stapsgewijze opslag van alle vulkanische CO₂, en daarmee een afkoeling op aarde.

Toen de daling van CO₂ een kritische grens passeerde, was het op Antarctica ineens koud genoeg voor de vorming van een grote ijskap. Deze ijskap was in het begin heel gevoelig voor klimaatverandering, en werd pas later stabiel. De laatste jaren wordt ook veel onderzoek gedaan naar de gevoelig-

heid van de ijskap voor klimaatverandering, vooral sinds de alarmerende berichten over versnelde afsmelt van ijs op Groenland en West-Antarctica. Uit deze nieuwe studies blijkt dat tijdens periodes van hoge CO₂-concentraties de ijskappen veel makkelijker konden afsmelten dan eerder gedacht. Dit onderzoek laat zien dat ijskappen in de toekomst waarschijnlijk ook veel sneller gaan smelten dan eerder aangenomen.

Voor de afsmelt van Oost-Antarctica is spannend. Tot voor kort werd dit deel van de ijskap als stabiel gezien, en dus relatief ongevoelig voor klimaatverandering. Bovendien is dit ook nog eens verreweg de grootste ijskap op aarde. Wanneer deze ijsmassa afsmelt zal de zeespiegel gemiddeld 55 meter stijgen. Dat betekent dat de Veluwe een kleine archipel van eilandjes in de Noordzee zou worden. Daarnaast is er veel bekend geworden over wat er gebeurt met al dat CO₂ in de lucht, en hoe lang het duurt voordat die CO₂ weer op natuurlijke wijze is opgeruimd. Het lijkt erop dat we nog wel 100.000 jaar 'plezier' hebben van onze extra broeikasgassen in de lucht: zo lang duurt het voordat het uitgestoten CO₂ weer is vastgelegd in sedimenten.

Nu we het geschiedenisboek van de aarde invullen komen we er ook achter dat er nog veel blanco pagina's zijn. Toch is er al veel geleerd over hoe de aarde werkt. Een van de hamvragen is: wanneer gaan die ijskappen nou smelten? Het paleoklimaatonderzoek heeft ons geleerd dat de klimaatgevoeligheid van de aarde heel erg afhankelijk kan zijn van kleine factoren. Er wordt met man en macht gewerkt om de gevoeligheid van de ijskappen voor klimaatverandering en de gevoeligheid van het klimaat voor CO₂-verandering in het verre, diepe verleden goed te begrijpen en met die kennis wellicht ook het klimaat van de toekomst te voorspellen.

Door vulkanisme keert CO₂ weer terug in de atmosfeer.



‘Op 43 meter diepte zitten de moois

ZIJN RECORD staat op meer dan honderd meter. Honderdzeven meter en twee centimeter om precies te zijn. ‘Dat was vooral om te kijken of ik misschien iets zou missen als ik niet dieper zou gaan. Maar tussen 66 en 85 meter gebeurde niets interessants. Omdat het wel een hels karwei was om honderd meter mantelbuis weer naar boven te takelen, ga ik tegenwoordig nooit verder dan 66 meter.’

Vandaag zit de bodem van de mantelbuis op 43 meter, oftewel een laag van ongeveer twee miljoen jaar oud. ‘Een goudlaag’, vindt Leen Hordijk. En hij weet waar hij het over heeft, want hij is na ruim veertig jaar ‘pulsen’ al bezig aan zijn veertiende boring. Iedere zaterdag – de wintermaanden uitgezonderd – gaat hij naar zijn eigen perceeltje in de polder Zuurland, vlakbij Brielle, op het Zuid-Hollandse eiland Voorne. Met een puls van een meter lengte neemt hij dan een paar happen uit de bodem, om die in de avonden daarop zorgvuldig te zeven en te controleren op muizentandjes, botjes of andere fossiele overblijfselen van dieren en planten. ‘Met ieder monster krijg je een beetje beeld van het landschap en de fauna uit het verleden, en daarmee van het bijbehorende klimaat.’ Twee miljoen jaar terug lag Voorne ook al in een delta. Ook de temperatuur was in die tijd niet wezenlijk anders dan nu. In jongere lagen, van iets meer dan honderdduizend jaar oud, vindt Hordijk zo nu en dan sporen die wijzen op een veel warmer klimaat. In het Eemien was het gemiddeld anderhalf tot twee graden warmer dan nu. In de lagen daarboven, uit het zogeheten Weichselien, komen weinig sporen, maar de fossielen die Hordijk vindt,

wijzen op een koude en droge periode. In die tijd lag er ook zoveel ijs opgeslagen aan de polen, dat de Noordzee droog lag!

Vóór er een bodemonster in de puls komt moet Hordijk de zware buis eerst een keer of tien, twintig op en neer laten ploffen in de mantelbuis. Als een soort klokkenluider trekt hij daarvoor ritmisch aan het touw, dat via een katrol in een hoge driepoot naar de bodem van de buis loopt. Van 43 meter diepte klinkt een gedempt ‘foemp ... foemp ... foemp ...’ Als Hordijk denkt dat er voldoende materiaal in de puls zit trekt hij hem in één beweging naar boven. Zodra de puls uit de mantel naar boven komt gooit Hordijk hem in een vloeiende beweging leeg in een gereedstaande zeef. In een grote bak water schudt hij het ergste zand uit zijn monster. De rest, een grote verzameling schelpengruis en wat ondefinieerbare donkere stukjes gaan in een oud emmertje. ‘Zo op het blote oog zie ik hier nog niet veel aan. Het enige dat ik nu al kan zeggen is dat die stukjes schelp een goed teken zijn. Het laat in ieder geval zien dat deze laag niet zo zuur is dat al het kalk is opgelost. De eventuele botjes en tandjes hebben het dus waarschijnlijk ook wel overleefd. En die kleine stukjes klei zijn ook gunstig. Klei sluit de fossielen af voor de lucht. Dat komt de houdbaarheid ook ten goede.’

Na een keer of zes pulsen heeft Hordijk een half emmertje vol met gruis. ‘Dat ga ik de komende avonden onder de microscoop bekijken, voor ik weer verder ga boren.’ Thuis, in Brielle, heeft hij al enkele ladekasten vol met bakjes, keurig gerubriceerd op boordatum, diepte en gevonden diersoort.

te fossielen'



Al meer dan veertig jaar boort Leen Hordijk iedere zaterdag een stukje uit de bodem onder de polder Zuurland bij Brielle. Veertien boorputten en tienduizenden bodemonsters later krijgt hij een steeds beter beeld van de Nederlandse fauna van de afgelopen twee miljoen jaar, en daarmee van het bijbehorende klimaat.

ten. 'Ik kan de geschiedenis van deze omgeving tot twee miljoen jaar terug nu vrij goed uittekenen', zegt hij. 'Het is in ieder geval duidelijk dat in die periode de zee hier nooit de overhand heeft gehad. De schelpjes die ik vind zijn allemaal landslakjes en zoetwaterschelpen. Op zijn best lag de kustlijn op dezelfde afstand waar hij nu ongeveer ligt, en in koude perioden een heel stuk verder. Het was altijd een delta van de Maas en de Rijn. Er werd steeds materiaal uit het achterland aangevoerd wat ook steeds weer door een kleilaagje werd afgedekt.'

Door de diameter van zijn puls vindt Hordijk vooral klein spul: heel veel muizentandjes en kiezen. 'Toch is het niet alleen klein grut wat ik naar boven haal. Ik heb rond 63 meter ooit een stuk van een kies naar boven gehaald. Mammoet-

deskundige Dick Mol heeft dat stuk onlangs met 100% zekerheid gedetermineerd als een zuidelijke mammoet. Moet je nagaan: een bewijs voor een vier meter hoog dier, uit een puls boring van nog geen 10 centimeter doorsnede!'

Die mammoetdeskundige Mol is net zo enthousiast over dit werk als Hordijk zelf. 'Leen heeft veel informatie verzameld over het kleine spul dat de afgelopen twee miljoen jaar tussen de mammoeten in deze omgeving liep. Die grote dieren, dat weten we nu eigenlijk wel. Daarvan vinden we zoveel bewijs via de vissers die botten van de Noordzeebodem omhoog halen. Maar als je écht wat wilt weten over de natuur en het klimaat uit die tijd, dan heb je juist dat kleine spul van Leen nodig. Veel van de dieren die hij vindt leven nog of hebben parallellen in onze tijd. Bij de vondsten kun je dus per laag het bijbehorende klimaat reconstrueren. Voor de paleontologie is het geweldig dat hij dat allemaal 'in situ', dus uit de laag van de juiste bijpassende ouderdom naar boven haalt. Google maar eens op 'zuurland borehole', dan komt er het nodige aan wetenschappelijke artikelen boven drijven.'

Rob Buiter

Het Arctisch gebied warmt twee keer zo snel op als de rest van de wereld. Dat heeft niet alleen gevolgen voor de Noordpool als nuttig 'koelelement' voor het noordelijk halfrond. Ook de ecologie van de Arctische gebieden wordt flink overhoop gegooid. Ondertussen dreigt een instabiel deel van het ijs op de Zuidpool de zeespiegel met enkele meters te verhogen.



Klimaatverandering rond de polen

■ STEFAN LIGTENBERG EN MICHIEL VAN DEN BROEKE

ARTICA EN Antarctica zijn zowel letterlijk als figuurlijk noord- en zuidpolen. Zeker geografisch zijn er grote verschillen tussen de beide gebieden. Rondom de geografische Noordpool (90° NB) bevindt zich de Noordelijke IJszee, die een groot deel van het jaar is bedekt met zeeijs en wordt omringd door de landmassa's van Europa en Azië in het oosten en Noord-Amerika en Groenland in het westen. Rondom de Zuidpool (90° ZB) daarentegen ligt geen zee maar een continent: Antarctica. Het land is vrijwel volledig bedekt met een kilometers dikke ijskap. Antarctica is omgeven door de Zuidelijke Oceaan, berucht om zijn stormwinden en hoge golven. De laatste decennia neemt de oppervlakte van het zeeijs in de Noordelijke IJszee sterk af, terwijl rondom Antarctica de zeeijsbedekking juist toeneemt. En hoewel ze beide massa verliezen, reageren ook de ijskappen van Groenland en Antarctica heel verschillend op het opwarmende klimaat.

Om de verschillen te begrijpen is het allereerst belangrijk om onderscheid te maken tussen landijs (gletsjers) en zeeijs. Zeeijs ontstaat als zeewater bevriest. Onder invloed van wind en stroming drijft het snel weg uit het ontstaansgebied, waardoor het zelden dikker wordt dan enkele meters. Doordat zeeijs drijft, leidt het smelten ervan niet tot zee-

spiegelstijging, in tegenstelling tot het smelten van landijs. Een smeltend ijsklontje in een glas drinken doet het niveau van de drank immers ook niet stijgen. Toch hebben veranderingen in zeeijsbedekking indirect grote gevolgen voor het poolklimaat. Zo reflecteert zeeijs het meeste zonlicht, terwijl open water juist het meeste zonlicht absorbeert.

Gletsjers vormen zich op bergpieken of hoogvlakten waar jaarlijks meer sneeuw valt dan er smelt. Hierdoor kan zich een accumulatiegebied met een laag meerjarige sneeuw vormen. Die meerjarige sneeuw wordt firn genoemd. Op een gegeven moment is de firnlaag zo dik geworden dat door het bovenliggende gewicht de luchtkanaaltjes tussen de ijskristallen worden afgesloten. Dit is het moment waarop gletsjerijs, met zijn karakteristieke luchtbelletjes ontstaat. Op Groenland en Antarctica hebben zich op deze manier kilometers dikke ijskappen gevormd, die meer dan 99% van al het landijs bevatten. Andere vergletsjerde gebieden zijn bijvoorbeeld Alaska, Arctisch Canada, de Himalaya, Spitsbergen, IJsland en Patagonia. In totaal ligt 70% van al het zoetwater op Aarde opgeslagen in honderdduizenden ijskappen en gletsjers. Als al het landijs smelt dan zal dit leiden tot een wereldwijde zeespiegelstijging van meer dan 60 meter.

Onder invloed van de zwaartekracht bewegen gletsjers langzaam naar beneden, waardoor ze in een warmer gedeelte van de atmosfeer terecht komen, waar de gletsjer steeds harder smelt. Op enig moment vormt zich een ablatiegebied. In een ablatiegebied komt er – in een constant klimaat – evenveel massa bij door sneeuwval als er door smelt verloren gaat. De gletsjer is dan in evenwicht met het heersende klimaat en zal niet meer van vorm veranderen. Als het warmer wordt, trekt de gletsjer zich terug naar hoger gelegen gebied, totdat een nieuw evenwicht is bereikt. Als het kouder wordt, breidt de gletsjer zich juist verder naar beneden uit. Omdat het klimaat van jaar tot jaar erg variabel is, zijn gletsjers eigenlijk nooit echt in evenwicht: onder invloed van natuurlijke veranderingen in sneeuwval en temperatuur passen ze voortdurend hun dikte en lengte aan.

Binnen deze algemene wetmatigheden rond land- en zeeijs zijn er op dit moment enkele belangrijke zorgen, of op zijn minst onduidelijkheden over de gevolgen van de klimaatverandering rond de polen.

Landijs: Destabilisatie van de West-Antarctische ijskap

De Zuidpool is extreem koud! Als vuistregel geldt dat de zomer in Antarctica even koud is als de winter in het noordpoolgebied. Het zuidelijke continent wordt daarom vrijwel volledig bedekt door een kilometers dikke ijskap, goed voor een equivalente zeespiegelstijging van ongeveer 55 meter. Met uitzondering van het Antarctisch schiereiland heeft deze ijskap geen ablatiegebied: nergens komt het ijs op Antarctica aan serieuze smelt toe. Het gevolg hiervan is dat langs ongeveer driekwart van de Antarctische kustlijn de ijskap de oceaan op stroomt, en daar grote drijvende ijsplaten vormt. De Ross ijsplaat en Filchner-Ronne ijsplaat zijn elk ongeveer even groot als Frankrijk! Deze ijsplaten zijn honderden meters dik. Aan de

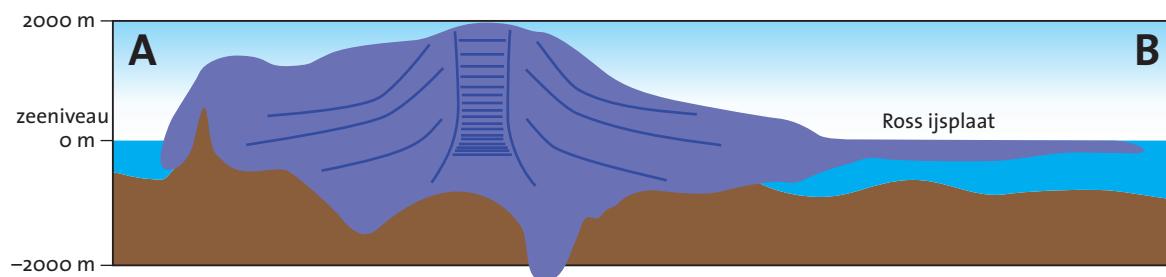
voorkant breken regelmatig de voor Antarctica zo kenmerkende tafelijsbergen af. Dit is één van de twee hoofdprocessen waarmee de Antarctische ijskap massa verliest. Het andere is het van onderaf smelten van dezelfde ijsplaten, die in relatief warm zeewater drijven.

Gedurende de laatste twintig jaar verloor de Antarctische ijskap jaarlijks gemiddeld ongeveer 70 km^3 meer ijs aan de oceaan dan er bij kwam door sneeuwval; de ijskap is dus uit balans. Vooral in West-Antarctica (het deel onder Zuid-Amerika) maakt warmer wordend zeewater de ijsplaten steeds dunner, lokaal zelfs met meerdere meters per jaar. Deze ijsplaten verliezen daardoor hun bufferwerking. Ze bieden steeds minder tegenwicht aan het 'duwende' ijs op het land, waardoor de ijskap steeds sneller de zee op stroomt.

De Thwaites en Pine Island gletsjers, de twee grootste gletsjers in dit gebied, verdubbelden in slechts veertig jaar tijd hun ijsafvoer tot meer dan 250 km^3 per jaar! Dit proces verloopt steeds sneller. Er zijn aanwijzingen dat het hedendaagse massaverlies wordt veroorzaakt door destabilisatie van de West-Antarctische ijskap. Een terugtrekkende ijskap die is verbonden aan een ijsplaat in het water, kan alleen een nieuw evenwicht vinden op een opwaartse helling van de zeebodem (bij A in de figuur hiernaast), terwijl het grootste deel van de West-Antarctische ijskap juist ver onder zeeniveau rust op een rotsbodem met een naar het centrum toe dalende zeebodem. Dit proces wordt in de glaciologie *marine ice sheet instability* genoemd (bij B in de figuur hiernaast). Het kan binnen enkele eeuwen leiden tot het geheel verdwijnen van de West-Antarctische ijskap en een zeespiegelstijging van meer dan drie meter veroorzaken. Sommige delen van de veel grotere Oost-Antarctische ijskap lijken inmiddels soortgelijk gedrag te vertonen.

Modelberekeningen laten zien dat in een warmer klimaat de sneeuwval op Antarctica zal toenemen, waardoor juist meer vocht wordt

Instabiliteit van de ijskap op Antarctica



Als de West-Antarctische ijskap verdwijnt, kan de zeespiegel drie meter stijgen

vastgelegd op de ijskap. Dat zou een deel van het boven beschreven massaverlies kunnen compenseren. Hoewel recent inderdaad een toename van de sneeuwval in Oost-Antarctica is waargenomen, zijn de tijdseries te kort en de onzekerheden te groot om dit toe te schrijven aan de recente klimaatverandering. Het is niet uitgesloten dat dit 'gewoon' een natuurlijke, langjarige klimaatschommeling betreft.

Het smeltende ijs van Groenland

Met een equivalente zeespiegelstijging van ongeveer zeven meter is de Groenlandse ijskap de grootste landijsmassa op het noordelijk halfrond. Toch bedekt de ijskap Groenland niet volledig, waardoor deze maar beperkt contact heeft met de oceaan. Er zijn op Groenland dan ook geen grote ijsplaten, waardoor de ijskap minder gevoelig is voor een opwarmende oceaan. Wel is de atmosfeer boven Groenland een stuk warmer dan boven Antarctica, en heeft de ijskap ook een significant ablatiegebied. Tot 1995, toen de ijskap bij benadering nog in evenwicht was, werd iets minder dan de helft van de jaarlijkse sneeuwval op de ijskap gecompenseerd door het wegstromen van smeltwater, en het andere deel door het afbreken van ijsbergen. Sinds 1995 is het op Groenland een stuk warmer geworden, waardoor de hoeveelheid smeltwater die elke zomer wegstroomt in twintig jaar tijd bijna is verdubbeld. In de extreem warme

zomer van 2012 kreeg bijna de gehele ijskap, dus ook de hoogste delen boven 3.000 meter, voor het eerst sinds het begin van de metingen te maken met smelt. Bovendien zijn op Groenland, net als op Antarctica, de grote gletsjers die wel in contact staan met de oceaan, zoals de Jacobshaven gletsjer, sneller gaan stromen. Die gletsjer stroomt nu met een ongekennde snelheid van dertig meter per dag. In combinatie met de toegenomen smelt heeft de Groenlandse ijskap de afgelopen twee decennia jaarlijks gemiddeld twee keer zoveel ijs verloren als die van Antarctica, ongeveer 140 km^3 .

Voor de toekomstige ontwikkeling van de Groenlandse ijskap zijn twee positieve terugkoppelingen belangrijk. Ten eerste is er de zogenaamde smeltalbedo terugkoppeling. Albedo is een maat voor de reflectie van licht door een object. Smeltende sneeuw is aanmerkelijk donkerder dan droge verse sneeuw, wat betekent dat sneeuw die eenmaal smelt meer zonnestraling absorbeert en daardoor nog sneller zal smelten. Luchtverontreiniging, bosbranden en een toenemende oppervlakte van ijsvrij land met bijbehorend stof kunnen het albedo van de ijskap verder verlagen.

Ten tweede is er de smelt-hoogte terugkoppeling: een smeltende ijskap wordt dunner, waardoor hij zich gemiddeld in steeds warmere lucht bevindt en daardoor nog sneller zal smelten. Op zeker moment kunnen deze terugkoppelingen leiden tot een onomkeerbaar massaverlies. Wetenschappers



**De West-Antarctische ijskap
brokkelt op steeds meer
plaatsen af.**

**De Groenlandse ijskap raakt
maar zelden het warme
oceanwater.**

denken dat dit omslagpunt rond de twee graden regionale temperatuurstijging ligt, maar ook hier zijn de onzekerheden groot en is meer onderzoek nodig.

Het totale massaverlies van de Antarctische en Groenlandse ijskappen is momenteel verantwoordelijk voor ongeveer een derde van de totale zeespiegelstijging, en deze bijdrage stijgt. De overige bijdragen komen van het smelten van kleinere gletsjers en ijskappen en het uitzetten van het opwarmende oceanwater.

Grote contrasten in het zeeijs

De afgelopen jaren neemt de hoeveelheid Arctisch zeeijs sterk af. Vooral de minimum bedekking aan het einde van de zomer, in september, beleefde laagterecord op laagterecord: eerst 2005, toen 2007 en als laatste 2012. Op 16 september 2012 lag er 3,4 miljoen km² zeeijs in de Noordelijke IJszee, wat slechts de helft is van het langjarig gemiddelde.

Zoals gezegd leidt het smelten van zeeijs niet direct tot zeespiegelstijging, maar er zijn wel degelijk belangrijke klimaateffecten. Oceanwater absorbeert twee tot zes keer meer zonlicht dan zeeijs, waardoor een ijsvrije oceaan sneller opwarmt. Ook isoleert zeeijs het relatief warme oceanwater van de koude atmosfeer, zodat bij een kleinere zeeijs-bedekking of dunner zeeijs de uitwisseling van warmte en vocht tussen de oceaan en atmosfeer toeneemt. Hierdoor koelt de oceaan af en warmt de atmosfeer op. Al met al is de temperatuurstijging in het Noordpoolgebied twee keer groter dan het wereldwijde gemiddelde.

Er is ook een neerwaartse trend zichtbaar in de gemiddelde leeftijd, en daarmee dikte, van het Arctische zeeijs. Twintig jaar geleden was een derde van het zeeijs ouder dan vijf jaar. Twee derde was tenminste drie jaar oud. Inmiddels is nog maar minder dan vijf procent ouder dan vijf jaar en slechts 20% ouder dan drie jaar. Omdat meerjarig

**Smeltend zeeijs heeft geen
invloed op de zeespiegel,
maar wel op andere
aspecten van het klimaat.**



zeeijs dikker is, is het Arctische zeeijs gemiddeld veel dunner geworden, waardoor het in de lente en zomer makkelijker opbreekt en smelt.

Voorspellingen van het tijdstip dat de Noordelijke IJszee aan het einde van de zomer voor het eerst ijsvrij zal zijn lopen uiteen van 2040 tot 2100. Dat het nog deze eeuw zal gebeuren lijkt zo goed als zeker. Dit heeft enorme implicaties voor de toegankelijkheid van het gebied, dat rijk is aan fossiele brandstoffen en delfstoffen. Het noordpoolgebied zal daarom de komende decennia volop in de geopolitieke schijnwerpers blijven staan.

Rondom Antarctica laten de waarnemingen een heel ander beeld zien. Over de afgelopen 30 jaar was de hoeveelheid zeeijs redelijk constant, maar de laatste jaren is sprake van een significante toename. In september 2014, het einde van de winter op het zuidelijk halfrond, was er voor het eerst sinds het begin van de satellietmetingen meer dan 20 miljoen km² zeeijs rond Antarctica, ongeveer 7% meer dan het langjarig gemiddelde. Voorlopig is er nog geen sluitende verklaring voor deze toename. De leidende theorie is het verschuiven van heersende winden, waardoor de vorming van zeeijs op bepaalde plaatsen wordt gestimuleerd. Een andere verklaring wijst op de toegenomen smelt van de Antarctische ijskap, waardoor zich meer zoetwater met een hoger smeltpunt in de bovenste oceaanelagen rond Antarctica bevindt. Tenslotte kan toegenomen sneeuwval een verklaring zijn, of een combinatie van deze factoren. Ook hier zal meer wetenschappelijk onderzoek het antwoord moeten geven.

Meer groen aan de polen

■ MONIQUE HEIJMANS

DE VERANDERING van het poolklimaat heeft niet alleen consequenties voor de smelt van ijskappen en zeeijs, inclusief de daarbij behorende terugkoppelingsmechanismen. Ook het ecosysteem op de noordelijke toendra's merkt de gevolgen. Onder invloed van de wereldwijde klimaatverandering is de toendravegetatie nu al zichtbaar aan het veranderen. Door de hogere temperaturen hebben de planten een langer groeiseizoen en kunnen ze meer biomassa produceren. Zelfs vanuit de ruimte is die toegenomen productiviteit zichtbaar. Satellietwaarnemingen laten zien dat in het hele noordpoolgebied de productiviteit van de toendravegetatie is toegenomen. Dit wordt *Arctic greening* genoemd. Ook op de grond is duidelijk dat de vegetatie aan het veranderen is. Amerikaanse onderzoekers gingen begin deze eeuw terug naar plekken waar eind jaren veertig in de vorige eeuw luchtfoto's waren gemaakt en zagen dat voornamelijk struikvegetatie zich had uitgebreid.

Gassen in de permafrost

Een belangrijk kenmerk van de Arctische ecosystemen is dat de grond er permanent bevroren is. Dit heet permafrost. Permafrost is over grote oppervlakken te vinden in Siberië, Canada en Alaska, en is vaak honderden meters dik. In de zomer dooit de bovenste laag van de permafrost. In het internationale jargon van Arctisch ecologen heet dit de *active layer*. In deze dooilaag wortelen de planten en moeten ze water en voedingsstoffen opnemen tijdens een kort groeiseizoen.

Met de opwarming van het klimaat ligt het voor de hand dat de permafrost meer gaat dooien in de zomer en dat de actieve dooilaag dikker wordt. Dat zou betekenen dat diepere bodemlagen, die

duizenden jaren bevroren zijn geweest, weer extra voedingsstoffen kunnen gaan leveren. En niet alleen voedingsstoffen. In de permafrost zitten tienduizenden jaren oude plantenresten die al die tijd als het ware in de diepvries bewaard zijn gebleven. Als die plantenresten ontdooien kunnen bacteriën en schimmels deze gaan verteren. Bij dit afbraakproces komen voedingsstoffen voor de planten vrij, maar worden ook de broeikasgassen kooldioxide (CO₂) en methaan (CH₄) geproduceerd. Er is dan ook grote zorg over het eventueel vrijkomen van grote hoeveelheden broeikasgassen uit deze voorheen permanent bevroren bodems, wanneer deze in een warmer klimaat ontdooien.

Naar schatting ligt er ruim 1.600 gigaton (één ton met negen nullen) koolstof in de permafrost opgeslagen. Dat kan potentieel de lucht ingaan bij dooi. Ter vergelijking, die 1600 gigaton is het dubbelde van de huidige totale hoeveelheid koolstof in de atmosfeer! Omdat deze uitgestrekte permafrostgebieden met veel organisch koolstof in de bodem zich juist bevinden in het gebied dat wereldwijd het snelst opwarmt, wordt dit gezien als een van de belangrijkste potentiële terugkoppelingen die de klimaatverandering kunnen versterken.

Struiken als warmtespons of isolator

Het is dus belangrijk om meer te weten te komen over het ontdooien van de permafrost. Klimaat speelt uiteraard een belangrijke rol bij het ontdooien van permafrost, maar het is niet de enige factor. Op een bepaalde locatie kan de dikte van de dooilaag gemakkelijk variëren tussen 20 en 60 cm. Vegetatiestructuur, bodemsamenstelling en water spelen hierin een belangrijke rol.

Met een onderzoeksgroep van Wageningen Universiteit is uitgezocht hoe de vegetatieveranderingen, in het bijzonder de uitbreiding van struikvegetatie, het ontdooien van de permafrost in de zomer beïnvloeden. In een groot veldexperiment is de vegetatiestructuur gemanipuleerd om de

Aanwezigheid van permafrost, permanent bevroren grond, in het Arctische gebied. Donkerblauw betekent dat het hele gebied permafrost heeft; lichtblauw dat er niet overal permafrost is, maar bijvoorbeeld alleen op noordhellingen.



In de permafrost ligt twee keer zoveel koolstof opgeslagen als in de hele atmosfeer

invloed van struiken op de bodem te onderzoeken. In ronde proefvlakken van 10 meter doorsnee zijn struikjes weggeknipt. Vervolgens werd de dooilaagdikte in deze proefvlakken zonder struikjes vergeleken met die in ongestoorde proefvlakken met struikjes.

Het onderzoeksgebied ligt in Noordoost Siberië, een gebied waar nog weinig onderzoek was gedaan, maar waarvan wel bekend was dat de permafrost grote hoeveelheden organisch koolstof bevat en dat er een sterke klimaatverandering gaande is. De onderzoek locatie ligt in het Kytalyk natuurreserveaat, dat is opgezet ter bescherming van de zeldzame en bedreigde Siberische kraanvogel. Kytalyk is het geluid en de lokale naam van deze bijzondere vogelsoort. Het terrein is vlak, met lage vegetatie, waarin interessante patronen te ontdekken zijn. Het is er vrij nat vanwege de permafrost die verhindert dat het regen- en smeltwater diep

in de grond kan wegzakken. De donkere vegetatie op de foto's op pagina 25 bestaat voornamelijk uit struikjes met dwergberk (*Betula nana*). Daar omheen is het natter met voornamelijk mos en gras. De dwergberk is een veelvoorkomende soort, ook in Noord-Amerika en Scandinavië. Het is een van de struiksoorten waarvan wordt verwacht dat deze zich uitbreidt onder invloed van de opwarming van het klimaat.

In het experiment werden de dwergberkstruikjes, die zo'n 20 cm hoog waren, weggeknipt in vijf proefvlakken. Wat resteerde in die proefvlakken waren wat grassen, een paar andere dwergstruikjes en vooral mossen. Mossen staan erom bekend dat ze een isolerende werking hebben. In de vijf ongestoorde controlevlakken werd de vegetatie gedomineerd door de dwergberk met daaronder ook een moslaag.

Een jaar na het weghalen van de struikjes was

al duidelijk dat dit zorgde voor een diepere dooilaag. Dit gebeurde dus ondanks de intact gebleven moslaag en ondanks de lichtere kleur van de vegetatie, die meer zonnestraling reflecteert. De ongestoorde struikvegetatie is relatief donker en absorbeert dus meer zonnestraling. Dit verschil in absorptie van zonnestraling konden we ook meten, maar desondanks gaat er toch meetbaar minder van die warmte de grond in. De vegetatie van lage struikjes lijkt dus een beschermende werking te hebben ten aanzien van het ontdooien van de permafrost. Op zichzelf is dat dus goed nieuws, want als juist deze vegetatie zich uitbreidt zou dat het ontdooien van de permafrost onder invloed van de opwarming kunnen vertragen. Tegelijk past hier een kanttekening. Modelstudies laten zien dat op grotere schaalniveaus de albedo-effecten (het meer of minder reflecteren van zonlicht) wellicht belangrijker kunnen zijn. Dat zou betekenen dat de dooi juist toeneemt bij een toename van de donkere struiken. Voor experimentele studies zijn deze atmosferische terugkoppelingen natuurlijk zeer lastig te meten.

Na één jaar was het verschil in dooilaagdikte nog niet zo groot, zo'n 5 cm, maar daar bleef het niet bij. Het verschil tussen controle en geknipte proefvlakken werd geleidelijk groter. Je zag dat sommige geknipte proefvlakken ook natter werden; het leek wel of ze aan het inzakken waren! Dit werd bevestigd door hoogtemetingen met landmeetapparatuur.

Inmiddels is het zeven jaar na de start van het experiment. In een aantal geknipte proefvlakken zijn zelfs poeltjes ontstaan, terwijl de controle proefvlakken niet zijn veranderd. Permafrost is permanent bevroren grond, maar in die bevroren grond zitten ook pure ijslagen. Als het dieper dooit, in dit geval door het weghalen van de beschermende struiklaag, kan dat pure ijs smelten en zakt de grond die er boven zit in. Vervolgens blijft water in die ingezakte grond staan en kunnen er perma-

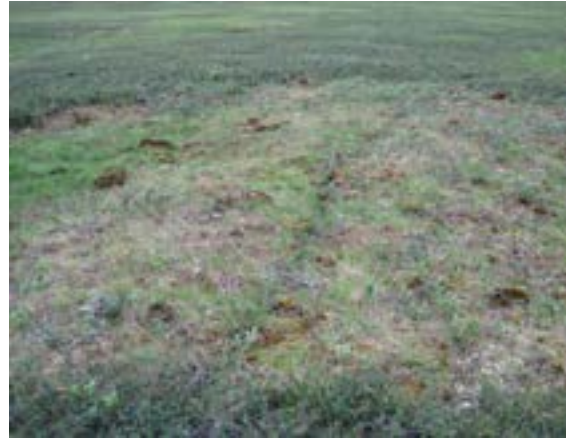
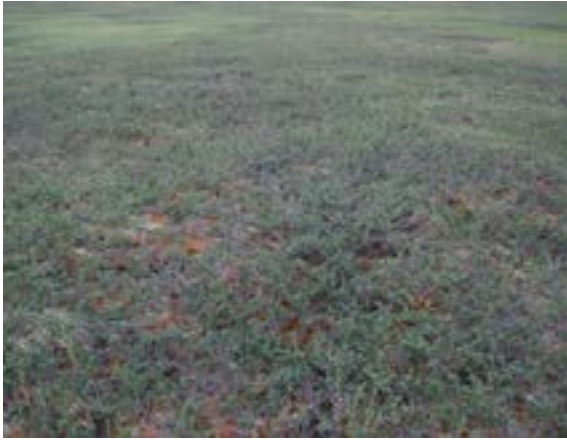
nente poeltjes ontstaan. Het water in die poeltjes is relatief donker en absorbeert veel zonnestraling, wat weer kan zorgen voor verdere dooi en uitbreiding van de poeltjes.

Al met al mag je concluderen dat het wegnippen van de struiken heeft gezorgd voor een bijna letterlijke instorting van het ecosysteem. Dit laat zien hoe kwetsbaar de toendravegetatie is en dat verstoring door menselijke activiteiten vergaande gevolgen kan hebben. De eerder genoemde foto's uit de jaren veertig bijvoorbeeld, waren genomen met het oog op mogelijke olie- en gaswinning in het gebied!

Er zijn ook consequenties van de lokale opwarming voor de broeikasgassen. In de nieuw ontstane meertjes, waarbij zo'n 30 cm permafrost ontdooit, kan methaan worden gevormd. Methaan is een ruim 30 keer sterker broeikasgas dan CO_2 . De metingen lieten zien dat er inderdaad methaan vrijkwam uit de natte, verder ontdooide, geknipte proefvlakken. Dit was niet het geval in de drogere controlevlakken.

Toevallig was er na de publicatie van dit onderzoek een debat in de Tweede Kamer over het klimaatbeleid van Nederland. Er werd een motie ingediend waarbij, geïnspireerd door dit onderzoek, aan de regering werd gevraagd om in de internationale klimaatonderhandeling te pleiten voor het vrijwaren van het noordpoolgebied van olie- en gaswinning, gezien de aantoonbare kwetsbaarheid van het gebied voor verstoring en de consequenties voor de broeikasgasbalans.

Het onderzoek laat verder zien hoe nauw vegetatie, permafrost, microreliëf en water met elkaar samenhangen. Deze verwevenheid is een belangrijk kenmerk van vlakke toendragebieden waarin water niet gemakkelijk wegstroomt en waar veel ijs in de permafrost aanwezig is. Het samenspel van vegetatie, bodem en permafrost beschermt die permafrost, maar maakt het ecosysteem ook kwetsbaar voor verstoring. In het onderzoek werd



De onveranderde dwergberkvegetatie in een controle proefvlak (links) en een proefvlak van 10 meter doorsnee (rechts) waarin de dwergberkjes zijn weggeknipt, in 2010 (boven) en in 2014 (onder) waarbij de grond inzakte en er een dooimeertje is ontstaan.



de vegetatie verstoord door het wegnippen van de dwergberkjes. Dat zette een kettingreactie in gang die binnen vijf jaar leidde tot het ontstaan van poelen die methaan uitstoten, versus struikvegetatie die de permafrost beschermde.

De nieuwe dooimeertjes in het experiment zijn niet uniek. Ook buiten het experiment zie je dooimeertjes waarin de dwergberkjes aan het verdrinken zijn en waarvan niet altijd duidelijk is waardoor die dooimeertjes zijn ontstaan. Ook in Alaska zijn nieuwe dooimeertjes aan het ontstaan, onder andere in een gebied waar oliewinning plaats vindt, en in West-Siberië is het oppervlak

dooimeertjes ook toegenomen. Zou het kunnen dat in een opwarmend klimaat vaker dit soort inzakkingen door permafrostdooi plaatsvinden, waardoor nieuwe dooimeertjes en moerassen ontstaan die methaan uitstoten? Dat zou enorme consequenties hebben voor de broeikasgasuitstoot van toendragebieden en daarmee potentieel ook voor het wereldwijde klimaat.

Dagboek Kytalyk: klimaatonderzoek in de praktijk

Donderdag 26 juni, 06.00

Samen met co-promotor Monique Heijmans en VU-collega's promovendus Frans-Jan Parmentier, universitair hoofddocent Ko van Huissteden en technicus Ron Lootens vliegen we vanaf Düsseldorf via Moskou richting Jakoetsk, hoofdstad van de Russische deelrepubliek Yakutië in Noord-oost Siberië: de koudste stad op Aarde. Tijdens de vlucht over de Siberische toendra zien we nog wat sneeuwresten en deels bevroren meren als herinnering aan de lange koude winter in dit machtige toendralandschap.

Zaterdag 28 juni

Het jaarlijkse midzomerfestival in Jakoetsk, waarbij de lokale bevolking in traditionele kostuums het einde van de lange winter viert. Het festivalterrein ligt op een enorme grasvlakte in het meandergebied van de brede rivier de Lena, gelegen aan de voet van het taigawoud. Het is zonnig en erg warm vandaag, 34 graden Celsius. Hoezo, koud in Siberië!?! Professor Trofim Maximov, onze locale onderzoekspartner in Jakoetsk, serveert gefermenteerde paardenmelk met gegrilde paardenmaag, een 'acquired taste'!

Zondag 29 juni

Inkopen voor een maand veldwerk in de toendra. Onze apparatuur staat nog vast staat op het vliegveld in Jakoetsk en moet eerst worden vrijgegeven door de douane voordat het op transport kan richting Chokurdakh. Het vervoer daarvan is nog onzeker, aangezien er net bericht is gekomen dat het wekelijkse vrachtvliegtuig van zaterdag is geannuleerd.

Maandag 30 juni

Naar Chokurdakh met een antiek Antonov An-24 toestel ... dachten we. Vlak voor vertrek wordt aangekondigd dat de vlucht wordt geannuleerd wegens slecht zicht in Chokurdakh. Het kleine vliegveld heeft geen radar waardoor er op zicht gevlogen moet worden. Morgen gaan we opnieuw proberen om ons einddoel, het Kytalyk reservaat, te bereiken.

Dinsdag 1 juli

Alsnog naar Chokurdakh. Ons gezelschap vormt ongeveer de helft van het aantal passagiers. Helder weer geeft ons een fantastisch uitzicht over de taiga, met veel meertjes, bergketens met besneeuwde dalen en uiteindelijk zien we ook de markante polygoon-toendra verschijnen. In Chokurdakh aangekomen blijken de weersomstandigheden flink anders dan in tropisch Jakoetsk. Harde wind, gecombineerd met temperaturen rond het vriespunt, dwingen ons in winterkleding. Het sneeuwt zelfs licht terwijl het inmiddels al juli is! Ex-politiefchef Sergej Ilitsj, tegenwoordig werkzaam als ranger in het Kytalyk reservaat namens de lokale tak van het Wereld Natuur Fonds, geeft ons een warm onthaal. Hij serveert ons rendierschotel en een selectie van de beste lokale vis, natuurlijk vergezeld van enkele glazen wodka.

Donderdag 3 juli

De locale afdeling van politie en leger heeft ons een vergunning gegeven voor toegang tot het Kytalyk reservaat, waardoor we vandaag met kleine speedboats verder mogen reizen naar ons onder-



zoeksgebied. Na een koude tocht van ruim twee uur in de open bootjes komen we dan eindelijk aan in het Kytalyk reservaat. Het water in de rivier staat enorm hoog dit jaar, ruim een meter hoger dan normaal. Dat is zeer uitzonderlijk volgens onze lokale assistenten. Dit heeft als voordeel dat we vlak bij de huisjes van het onderzoekskamp kunnen aanmeren en niet ver met onze bagage hoeven te sjouwen. Collega-promovendus Frans-Jan heeft echter pech: zijn proefvelden in het rivierrand staan nu compleet onder water. Nog geen uur na aankomst worden we verwelkomd door drie overvliegende Siberische witte kraanvogels, in de lokale Sacha-taal Kytalyk genoemd. De Siberische kraanvogel wordt hier beschouwd als een heilig dier en het zien ervan brengt geluk voor het leven zo zegt men. In ieder geval is het fantastisch om deze prachtige en sterk bedreigde vogel in zijn broedgebied te zien. Naar schatting zijn er wereldwijd slechts 3.000 individuen over.

Vrijdag 4 juli

Ruim een week na vertrek uit Wageningen kan dan eindelijk het echte veldwerk beginnen. Het is met temperaturen onder de 5 graden nog behoorlijk koud, wat als geweldig voordeel heeft dat er geen muggen zijn. Het wordt spannend om te meten hoe de dooilaag zich heeft ontwikkeld in het struikverwijderingsexperiment dat we vorige zomer hebben opgezet. Samen met co-promotor Monique heb ik vandaag de diepte van de dooilaag gemeten in de permafrost op de toendra, die het hele jaar bevroren is tot honderden meters diep. Alleen de rijke toplaag waar de planten in wortelen en waar microbiologische processen in plaatsvinden ontdooit gedurende de korte Arctische zomer. Onze eerste metingen laten zien dat deze actieve dooilaag iets dikker is in de proefvelden zonder struiken. Dit resultaat bevestigt onze hypothese dat toendrastruiken via beschaduwning de bodem kunnen koelen in de zomer, maar het verschil is nog heel klein zo vroeg in het groeiseizoen. We verwachten dat de verschillen nog zullen oplopen wanneer de temperatuur zal stijgen. Aan het einde van de dag hebben we ook temperatuurloggers geïnstalleerd die het temperatuurverloop in de bodem gedurende het hele jaar zullen meten, wat ons ook informatie geeft over de effecten van struikbedekking op de thermische eigenschappen van de bodem buiten het groeiseizoen. Ten slotte hebben we de vegetatiebedekking gemeten in de eerste paar proefvelden. Geen slecht resultaat voor een eerste veldwerkdag!

Daan Blok

Planten, dieren, mensen, ... alle organismen moeten zich steeds aanpassen aan hun omgeving. Als die omgeving sterk verandert, kunnen organismen dat soms lang opvangen, totdat de omgeving te veel is veranderd. Een veranderend klimaat kan er uiteindelijk ook voor zorgen dat bijvoorbeeld het voedsel niet meer op tijd op tafel komt.



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 achttuurnieuws.

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 overlevingskansen van vislarven sterk afhangen 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-etende 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 bommen 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 ijschots 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 vermesting 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 vermestingsproblematiek van oppervlaktewateren wereldwijd toeneemt als gevolg van klimaatverandering.

De gevolgen van vermesting 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 ecooloog 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. Uitgerend 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 Ninojaar’. 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 vermisting ervoor zorgt dat de fotosynthese van algen of waterplanten toeneemt. Deze vermisting, 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 kroossloot 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.

Vliegenvanger en rups uit de pas

■ CHRISTIAAN BOTH

TREKVOGELS ALS de bonte vliegenvanger, maar ook standvogels als de koolmees moeten het leggen van hun eieren in het voorjaar goed timen. Ze willen hun jongen liefst laten uitkomen op het moment dat er genoeg te eten is, bijvoorbeeld op het moment dat er veel rupsen zijn van de wintervlinder. Maar trekvogels hebben daarbij een extra probleem: als het klimaat verandert kunnen ze niet anticiperen op een vroeger voorjaar. Hoe moeten ze immers weten dat het voorjaar in Europa steeds vroeger begint als ze zelf de winter in Afrika doorbrengen? Toch lijken veel soorten trekvogels steeds eerder aan te komen in de broedgebieden. Ook bij de bonte vliegenvangers waar een team van de Rijksuniversiteit Groningen al jaren onderzoek aan doet, zien we dit gebeuren. Vooral de gemiddelde datum van het eerste ei is hier veelzeggend. De legdatum en de aankomstdatum van de vrouwtjes hangen sterk samen.

Er zijn drie manieren waarop bonte vliegenvangers hun aankomst- en eilegdatum kunnen vervroegen. De eerste is door flexibel gedrag, waardoor ze eerder gaan trekken en dus eerder kunnen broeden. Aanpassen kan ook in termen van (micro) evolutie: de individuen die iets vroeger trekken en broeden hebben betere overlevingskansen dan de individuen die later broeden. Als die neiging tot vroeg broeden in de genen zit, drukken de vroege individuen een zwaarder stempel op de populatie, waardoor het gedrag langzaam wordt aangepast. Een derde aanpassing is door het leefgebied op te schuiven. Als de vogels bij een veranderend klimaat iets verder naar het noorden doortrekken, waar het voorjaar later begint, komen ze alsnog 'op tijd' aan.

Het onderzoek richt zich op elk van deze mogelijke aanpassingen. De onderzoekers volgen ieder jaar heel veel nestkasten, waardoor ze de identiteit van heel veel ouders en jongen kennen. Ze ringen alle jongen en volwassen vogels, zodat ze een stamboom kunnen reconstrueren. In de afgelopen jaren is deze stamboom steeds verder uitgebreid. Daardoor kunnen ze ieder van deze drie mogelijke aanpassingen goed onderzoeken.

Evolutie in actie

Vogels leggen hun eieren in een warm voorjaar vroeger dan in een koud voorjaar. Vliegenvangers doen dat ook. In een koud voorjaar zit er meer tijd tussen de aankomst uit Afrika en de datum van het eerste ei. Toch is dit niet het hele verhaal. De voorjaren van 2010 en 2013 waren uitzonderlijk koud, of beter gezegd: ze waren zo koud als gebruikelijk was in de jaren tachtig. Als de vervroeging van de eileg van de afgelopen jaren inderdaad alleen maar veroorzaakt zou worden door een flexibel interval

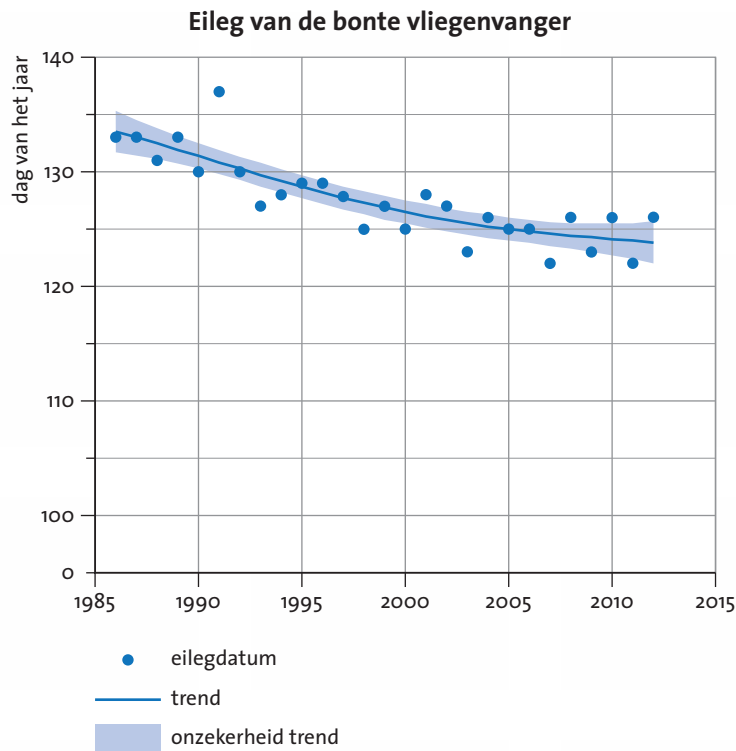
Christiaan Both:
'Vliegenvangers die vroeger trekken hebben betere kansen.'



tussen aankomst en eileg, dan zou je in zo'n koud voorjaar verwachten dat de vliegenvangers bovengemiddeld laat beginnen met leggen. Dit was zeker niet het geval. In de figuur hiernaast is te zien dat de bonte vliegenvangers in deze recente koude voorjaren ongeveer een week eerder begonnen met leggen dan bij dezelfde temperaturen 30 jaar terug. De vogels reageren nu dus anders op dezelfde voorjaarsstemperatuur dan vroeger. De vliegenvangers lijken dus zélf veranderd. Is dit de evolutie in actie?

Voor evolutie zijn twee zaken noodzakelijk. Ten eerste moet Moeder Natuur wat te kiezen hebben. Anders gezegd: er moet genetische variatie voor een bepaald kenmerk aanwezig zijn. Daarnaast moet een bepaald genetisch type ook echt voordeel opleveren: het ene genotype moet meer nakomelingen grootbrengen dan een ander. In het onderzoek wordt de genetische variatie bepaald door stambomen te onderzoeken. Als een kenmerk genetisch bepaald is, dan verwacht je dat kinderen op hun ouders lijken, iets minder op hun grootouders, en dat broers en zussen meer op elkaar lijken dan halfbroers en halfzussen. Al het ringwerk heeft al een mooie stamboom opgeleverd. Het kenmerk waar onze meeste interesse naar uitgaat is de aankomstdatum in het voorjaar. Je kunt dit meten voor mannetjes en vrouwtjes, en elk voorjaar lopen de onderzoekers dagelijks rond in het bos om te meten wie wanneer precies aankomt. Een eerste analyse laat zien dat variatie in deze aankomstdatum voor ongeveer 25% overerfbaar is, en dus waarschijnlijk (deels) door genen wordt bepaald. Dit lijkt geen heel hoog percentage, maar je moet bedenken dat er veel andere invloeden zijn die er onderweg voor kunnen zorgen dat een individu 'met vroege genen' toch later aankomt.

De onderzoekers kijken ook naar mogelijke natuurlijke selectie op aankomst- en broeddatum, door te meten hoeveel jongen uit een nest terugkeren als broedvogel. Ze zien dat vroege nesten meer



Gemiddelde legdatum van bonte vliegenvangers: sinds 1985 leggen de vogels gemiddeld tien dagen vroeger.

jongen grootbrengen dan late nesten. Er lijkt dus natuurlijke selectie te bestaan voor de eigenschap 'vroeg broeden'. Toch zit hier een mogelijk addertje onder het gras: misschien is het helemaal niet de broeddatum die er toe doet, maar zijn vogels die vroeg aankomen gewoon in betere conditie en kunnen ze daardoor meer jongen grootbrengen. Of misschien hebben vroeg aankomende vogels gewoon de eerste keuze voor de beste territoria, en hebben ze dus meer voedsel ter beschikking.

Om de werkelijke effecten van broeddatum en dit soort conditieverschillen tussen individuen te onderzoeken, is een aantal nesten op kunstmatige manier 'vertraagd'. Dit kan door de eieren een week 'koel te leggen', waardoor je het uitkomen zonder verdere problemen een week vertraagt. Dat koel leggen heeft een beperkte invloed op het uiteindelijke broedgedrag van de vogels die uit die

Vliegen- vangers evoluëren onder invloed van de klimaat- verandering

vertraagde eieren komen. Ook de genetica werkt nog mee. Uit dit experiment blijkt dan ook dat er in deze jaren nog steeds een beetje selectie is op de eigenschap vroeg broeden, maar dat dit effect niet heel sterk meer is.

Toch zijn er nog steeds goede aanwijzingen dat de veranderingen in broeddatum die de afgelopen 35 jaar hebben plaatsgevonden komen door evolutie. Er is genetische variatie in aankomst- en eilegdatum, en er is selectie op vroege broeders. Omdat ook de vervroeging niet direct wordt verklaard door een flexibele reactie van vrouwtjes die eerder gaan broeden als het warmer is, lijkt alles te wijzen op een evolutionaire aanpassing.

De aanpassing van de vliegenvangers lijkt helaas nog niet helemaal voldoende, want de rupsen waar ze deels van afhankelijk zijn voor hun jongen zijn nog sterker vervroegd door het opwarmende klimaat. Bovendien is niet duidelijk of er voldoende rek zit in de evolutie. Is de genetische variatie op een gegeven moment op, waardoor de aanpassing stopt? Of worden de omstandigheden in de Afrikaanse overwinteringsgebieden beperkend, en kunnen de vliegenvangers gewoon niet eerder vertrekken omdat ze bijvoorbeeld op de voorjaarsregens moeten wachten om voldoende te kunnen tanken voor de lange vlucht? Er zijn dus nog veel vragen onbeantwoord.

Een flexibele klok

Dieren zijn in staat om zich via gedrag aan te passen aan veranderende omstandigheden. Kan een lange-afstandstrekker als de bonte vliegenvanger dat ook? Trekgedrag wordt vooral door een interne klok gestuurd. Misschien kan deze interne klok worden verzet als vogels eerder uit het ei kruipen? Hier zijn wel aanwijzingen voor.

In een hierboven genoemd experiment is de geboortedatum van een aantal nesten wat vertraagd door de eieren een tijdje koud te zetten direct na de eileg. Vrouwtjes broeden dan een week

op kunsteieren voordat ze hun eigen eieren terugkrijgen. Deze eieren komen dus een week later uit. Wanneer de interne klok direct beïnvloed wordt door geboortedatum, verwachten je dat jongen uit deze experimentele broedsels later uit hun wintergebieden terugkeren dan jongen die niet gemanipuleerd zijn.

De eerste resultaten van dit experiment waren veelbelovend: het leek er inderdaad op dat jongen met een uitgestelde geboortedatum later in het voorjaar arriveren dan jongen die op de normale datum uitkomen. Helaas werden die resultaten in het volgende jaar niet bevestigd. Het is mogelijk dat eerder geboren worden wel leidt tot een eerder vertrek uit Afrika, maar dat omstandigheden onderweg maken dat dit soms wel, en soms helemaal niet tot een eerdere aankomstdatum leidt. Nog veel open vragen dus over de trek en overwintering.

Vertrekken of verrekken

De derde mogelijkheid van aanpassing is dat vogels die (te) laat in het voorjaar aankomen op zoek gaan naar een gebied waar de voedselpiek ook wat later valt. Dit kan lokaal zijn, maar misschien ook op veel grotere afstand. Op lokale schaal weten we dat bossen verschillen in het tijdstip waarop er veel rupsen zijn: rijke loofbossen hebben eerder rupsen dan arme loofbossen. Naaldbossen zijn nog later maar hebben ook veel minder rupsen.

Vogels die hier in het voorjaar aankomen, kunnen ook besluiten om verder naar het noorden te trekken, waar het voorjaar later begint. Vliegenvangers kunnen bijvoorbeeld in één nacht van de Veluwe naar Zuid-Zweden trekken, waar het voorjaar ongeveer tien dagen later begint dan in Nederland. Op zo'n manier zouden ze dus in staat zijn om negen dagen te winnen. Ze kunnen zo het voorjaar als het ware inhalen door op precies de juiste plek te landen waar ze maximaal van de voorjaarsvoedselpiek kunnen profiteren.

Met een 'loggertje' worden de gangen van een vliegenvanger op trek vastgelegd.



Helaas weten we niet of vliegenvangers naar het noorden opschuiven in een warmer jaar. Dit is nauwelijks te onderzoeken met ringen, omdat de kans astronomisch klein is om de geringde vogels in Scandinavië terug te vinden. Daarom is geprobeerd dit te onderzoeken via de chemische samenstelling van veren. Hiervoor gebruik je de verhouding tussen 'zware' en 'gewone' waterstofatomen die in veren is ingebouwd op het moment van groeien. Deze verhouding verschilt afhankelijk van de plek waar een veer is gegroeid. Je kunt al laten zien dat veren van verschillende plekken in Europa ook verschillen in chemische samenstelling. Dit verschil wordt nu gebruikt om verplaatsingen te schatten, maar het probleem is wel dat de foutenmarge misschien te groot is om hier werkelijk iets mee te kunnen doen.

Gedwongen verhuizing

Noordwaartse opschuiving als aanpassing zal alleen goed werken wanneer een individu in dat nieuwe gebied ook kan overleven. Er kunnen andere ziekten heersen, het kan er kouder zijn op het moment van aankomst, of dieren kunnen 'lokale kennis' missen. De mooiste manier om te onderzoeken of vertrek naar noordelijker gebieden inderdaad voordelig is, is wanneer je individuen kunt dwingen om daar te broeden en dan te vergelijken hoe goed ze het doen in vergelijking met vogels die in Nederland zijn gebleven. In 2010 zijn daarom enkele paartjes vliegenvangers gevangen die net waren aangekomen. Die zijn 's nachts naar Zuid-Zweden gebracht, waar ze onder natuurlijke omstandigheden hebben gebroed. Zowel in Drenthe als in Zweden hebben we ter controle ook

vliegenvangers over korte afstand verplaatst, zodat ze een vergelijkbare verstoring ondervonden.

De Nederlandse vogels die naar Zweden waren gebracht broedden gemiddeld een week eerder dan de Zweedse vogels. Hun reproductief succes was evenwel vergelijkbaar met zowel de Drentse als de Zweedse vogels. Dit wijst er op dat verplaatsing naar het noorden in dit jaar niet meetbaar voordelig was, maar ook niet nadelig. Helaas was 2010 een uitzonderlijk koud voorjaar, waardoor de consequenties van verhuizen naar noordelijker streken waarschijnlijk eerder na- dan voordelig kunnen zijn geweest. Het is dus niet verbazingwekkend dat de verplaatste vogels geen beter broedsucces hadden. Het is wel opvallend dat ze het niet slechter deden dan de lokale Zweedse paren. Dat wijst erop dat er weinig lokale aanpassing nodig is, waardoor het in warme jaren misschien wel voordeel oplevert om naar noordelijker streken te verhuizen.

Trek en overwintering

Wanneer we willen begrijpen waarom vliegenvangers wel of juist niet hun broeddatum kunnen vervroegen, moeten we ook veel meer te weten komen over hun trek van en naar Afrika. Immers, vroeger broeden vergt een eerdere aankomst, en dat kan alleen als vogels of eerder wegtrekken uit Afrika of sneller vliegen.

Nieuwe techniek maakt het mogelijk om de trek van kleine vogels van en naar Afrika te volgen met behulp van heel kleine dataloggertjes. Dit zijn apparaatjes van een halve gram die informatie opslaan over licht en donker, in combinatie met de tijd. De daglengte zegt iets over hoe noordelijk of zuidelijk een vogel zich bevindt (de breedtegraad), en het moment van licht of donker zegt iets over de lengtegraad. Als je die loggertjes na een jaar weer van een vogel kunt afhalen, kun je met een nauwkeurigheid van ongeveer 200 km zien waar de vogels van dag tot dag zijn geweest. Hierdoor is nu bekend dat 'Nederlandse' bonte vliegenvan-

gers niet uitwaaieren over een heel groot deel van het overwinteringsgebied, maar redelijk geconcentreerd zitten in de westelijke Ivoorkust. Ze vertrekken tussen eind juli en begin augustus uit Nederland, om dan via het Iberisch Schiereiland te trekken, en komen tussen begin september en half oktober aan in West-Afrika. Het meest spectaculair is dat in het voorjaar sommige bonte vliegenvangers in minder dan twee weken de 5.000 kilometer naar Drenthe trekken! Dit betekent dat vervroeging van aankomst door sneller te trekken nauwelijks mogelijk is. Alleen eerder vertrekken is een optie.

Condities in de overwintersgebieden veranderen sterk in de loop van het seizoen. Dit zou kunnen bepalen wanneer de vliegenvangers vertrekken. Wanneer de vogels aankomen loopt de regentijd op z'n eind. In het halve jaar dat ze dan voor de boeg hebben valt er nauwelijks regen. De natte tijd begint weer in april, en lijkt daarmee net te laat te komen voor onze vliegenvangers, die half maart al moeten opvetten om eind maart/begin april te kunnen vertrekken. Tijdens een bezoek aan Ghana is gemeten hoe de condities rond het moment van vertrek daar veranderen. In dat jaar kwamen de eerste schaarse regens al begin maart, en werd het in korte tijd heel groen. Voor vliegenvangers was dit mogelijk gunstig, want zo konden ze gebruik maken van alle insecten die weer actief werden. Maar ook in de ecologie is één meting géén meting. De komende jaren moet nog veel meer over het leven van 'onze' vliegenvangers worden geleerd in relatie tot het klimaat.

Een invasie van warmteminnende so

DE KOMST van de wolf haalde afgelopen voorjaar het landelijke nieuws. Ook de terugkeer van de wilde kat kon rekenen op de nodige media-aandacht. Maar in de afgelopen jaren zijn, veelal onopgemerkt, nog veel meer uitheemse dieren en planten ons land binnengedrongen. Het gegeven dat die nieuwe soorten overwegend vanuit het zuiden komen, doet vermoeden dat die soorten reageren op de klimaatverandering.

Zo deden begin 2015 medewerkers van de Zoogdierenwerkgroep Zuid-Holland een bijzondere ontdekking tijdens een inspectie van een voormalig complex van oorlogsbunkers in het duingebied bij Hoek van Holland. Hun aandacht werd getrokken door een aantal nachtvlinders die geen van hen bekend voorkwam. Navraag bij deskundigen leerde dat het om een voor Nederland geheel nieuwe soort ging: het dubbelstipsnuituiltje. Die nachtvlinder, onder de kenners ook wel bekend als *Hypena obsitalis*, komt van nature alleen voor rond de Middellandse Zee. Dat de soort nu voor het eerst is waargenomen in Nederland is daarom opmerkelijk, maar tegelijk ook weer niet heel verrassend. Er bestaan al jarenlang aanwijzingen dat de soort vanuit Frankrijk zijn leefgebied noordwaarts opschuift.

De komst van het dubbelstipsnuituiltje staat niet op zichzelf. Sinds enkele decennia heeft de Nederlandse natuur te maken met een ware invasie van nieuwe soorten. De precieze toedracht van die instroom is complex en soortafhankelijk. Toch denken onderzoekers te weten dat de invasie voor een groot deel is toe te schrijven aan klimaatver-

andering, en dat de instroom van nieuwe soorten feitelijk een uiting is van het meebewegen van plant- en diersoorten met de verschuivende klimaatzones. De nieuwe soorten dringen Nederland namelijk overwegend binnen vanuit het zuiden. Dat is de richting die je op basis van een opwarmende aarde zou verwachten.

Biologen Roy Kleukers en Menno Reemer, beiden werkzaam voor onderzoeksinstituut Naturalis, deden in 2003 al onderzoek naar de invloed van klimaatverandering op verspreidingsgebieden. De onderzoekers verzamelden gegevens over de geografische verspreiding van honderden Europese soorten ongewervelde dieren, en brachten veranderingen in verspreidingsgebieden van die soorten in kaart. In totaal bekeken ze 339 soorten waarvan de noordgrens van het verspreidingsgebied in Nederland of – op dat moment nog – ten zuiden van Nederland lag. Voor 101 soorten (30%) bleek het verspreidingsgebied in de afgelopen eeuw naar het noorden te zijn verschoven. Van zo'n 63 diersoorten (19%) was het verspreidingsgebied juist naar het zuiden verschoven.

Soortgelijke studies zijn ook buiten Nederland uitgevoerd, waaronder in Groot-Britannië. In 2006 bestudeerden Britse ecologen de noordgrenzen van de verspreidingsgebieden van Britse diersoorten in de periode 1960 tot 2000. Van de onderzochte 329 soorten bleek de noordgrens van 275 soorten (84%) noordwaarts te zijn verschoven. Van slechts 52 soorten (16%) schoof de noordgrens in zuidelijke richting, en bij 2 soorten kwam de grens niet van zijn plek. Een andere, internationaal georiënteerde studie concludeerde dat van in totaal 226

Binnen dertig jaar heeft de wespenspin heel ons land veroverd.



onderzochte distributiegrenzen bijna de helft in noordelijke richting was verschoven en 16% in de tegenovergestelde richting opgeschoven.

Het sterkste bewijs dat klimaatverandering een rol speelt in de waargenomen areaalverschuivingen werd geleverd door een onderzoeksteam van de universiteit van York, onder aanvoering van bioloog Chris Thomas. Aangezien de opwarming van de aarde sneller verloopt op hoge breedtegraden dan op lage breedtegraden, mag je verwachten dat de areaalverschuivingen sneller verlopen voor soorten die dicht bij de polen voorkomen dan voor soorten die verder van de polen vandaan

leven. Chris Thomas en zijn collega's publiceerden in 2011 in *Science* een wetenschappelijk artikel waarin ze inderdaad zo'n verband beschrijven. Uit een vergelijking van gegevens over in totaal 754 soorten kwam naar voren dat soorten die voorkomen op plekken waar de aarde het snelst opwarmt, sneller migreren dan soorten die leven op plekken waar de klimaatverandering nog minder sterk van zich doet spreken.

De gemiddelde snelheid van verschuiving waarop Thomas en zijn collega's uitkwamen, voor alle soorten langs alle breedtegraden samen, was iets meer dan 16,5 kilometer per decennium. Andere ecologen rapporteren gemiddelde migratiesnelheden variërend van 6,1 tot 25 kilometer per decennium.

Twee van de bekendste soorten die recentelijk vanuit het zuiden Nederland hebben veroverd, vermoedelijk daarbij geholpen door klimaatverandering, liggen ruim boven dat gemiddelde. De wespenspin werd in 1980 voor het eerst in Nederland waargenomen, aan de rivier Gulp in Zuid-Limburg. Nog geen dertig jaar later, in 2008, bleek de soort de oversteek te hebben gemaakt naar Rottumerplaat. Gedurende zijn opmars door Nederland legde de soort dus zo'n 100 kilometer per decennium af. De eikenprocessierups migreerde met 150 kilometer per decennium zelfs nog iets sneller. In 1991 werd de rups voor het eerst waargenomen in Noord-Brabant. Nog geen twintig jaar later, in 2010, trof men voor het eerst exemplaren aan in de provincie Groningen.

Menno de Jong



Ook de Nederlandse landbouw krijgt te maken met gemiddeld warmer, maar vooral extremer weer. Een verkenning van de risico's en kansen leert dat Nederlandse boeren nog aardig wat verandering kunnen hebben. 'Bovendien kunnen ze het nodige leren van de flexibiliteit van boeren in de tropen', zegt de Wageningse hoogleraar Ken Giller.

■ INTERVIEW: ROB BUITER

LOS VAN de klimaatverandering zelf, heeft een van de oorzaken van die verandering ook een direct effect op planten, en dus op verschillende landbouwgewassen. CO₂ houdt immers niet alleen warmte vast, het is ook een belangrijke bouwstof van planten. Meer CO₂ betekent meer plantengroei. Om die reden voeden veel glastuinbouwers hun gewassen ook met de ‘uitlaatgassen’ van hun eigen energiecentrales.

Wanneer de CO₂ concentratie verder stijgt, zal dat in ieder geval de kwantiteit van landbouwgewassen ten goede komen. Of de kwaliteit in hetzelfde tempo meestijgt is evenwel de vraag. Volgens een recent onderzoek dat werd gepubliceerd in het wetenschappelijk tijdschrift *Science*, zal de voedingswaarde per hoeveelheid product voor bepaalde gewassen afnemen bij een stijgende concentratie kooldioxide in de atmosfeer.

Behalve een lichte toename van de productie door de CO₂-stijging, stelt het Planbureau voor de Leefomgeving in het rapport ‘Effecten van Klimaatverandering’ dat ook het groeiseizoen door de temperatuurstijging zal verlengen. Nu al is er een waargenomen verlenging van het groeiseizoen van vijf weken vergeleken bij het begin van de vorige eeuw. Die trend zal nog verder doorzetten, verwacht het PBL. Daarmee komen er ook kansen

voor gewassen die tot nu toe alleen in zuidelijker streken verbouwd konden worden.

Klimaatkalender

Om te zien wat de mogelijke impact zal zijn van een veranderend klimaat op de Nederlandse landbouw, is door onderzoekers van Wageningen Universiteit en Researchcentrum een groot onderzoek uitgevoerd in Noord-Nederland. Voor 15 verschillende gewassen en twee veeteeltsystemen is bekeken wat de verschillende scenario’s van de klimatologen zullen betekenen voor het gewas of het dier. In zogenoemde ‘Klimaatkalenders’ is op een rijtje gezet wat de kritieke momenten zijn van de verschillende gewassen en dieren en wat dus de mogelijke impact kan zijn van de verschillende klimaatscenario’s van het KNMI.

Wintertarwe: droge zomers en kwakkelwinters

Het grootste risico dat boeren met wintertarwe op hun akkers lopen is een langdurig droge zomer. Droogte in de periode van juni tot augustus kan een 10 tot zelfs 50% lagere opbrengst geven. Tegenover dat nadeel staat ook een voordeel: op droger land is het makkelijker werken. Kwakkelweer in de winter kan in beperkte mate een probleem worden. Boeren kunnen de problemen voor een deel zelf opvangen, bijvoorbeeld door stro onder te werken in de grond. Daardoor wordt het 'vochtbergend vermogen' van de grond verbeterd.

Consumptieaardappelen: teveel mini's

Aardappels behoren tot de koplopers in gifgebruik. Met name vanwege de schimmelziekte *Phytophthora*. Het is goed denkbaar dat de problemen met deze schimmel zullen afnemen doordat er minder vaak lange periodes met vochtige omstandigheden zullen voorkomen. Goed nieuws dus.

Omgekeerd kunnen aardappeltelers ook extra problemen krijgen door hittegolven. Telde Nederland tussen 1976 en 2006 nog 'maar' acht hittegolven, de komende dertig jaar zullen dat er volgens het KNMI bijna dertig kunnen worden, dus gemiddeld ieder jaar één. Bij extreme temperaturen krijgen aardappels last van 'doorwas'. Dan groeien er veel kleine, onverkoopbare aardappeltjes aan een knol. Telers kunnen die problemen voorkomen door rassen te gebruiken met meer loof, en dus meer schaduw op de

grond. Uiteindelijk kan het ook lonend worden om zogeheten 'druppelirrigatie' toe te passen. Die koelt de grond geleidelijker en gaat efficiënter met water om, al is het systeem wel relatief duur in vergelijking met gewone irrigatie.

Pootaardappelen: ziekten

Behalve de problemen en kansen die telers van consumptieaardappelen hebben, moeten boeren met pootaardappelen extra beducht zijn op diverse ziekten. Pootaardappelen worden verkocht als 'basismateriaal' voor consumptieaardappeltelers, dus wordt er extra goed gelet op ziektevrrije knollen. Met name ziekten die de kop op kunnen steken bij warme en natte zomers, zoals de onder aardappelboeren gevreesde bacterie *Erwinia*, vragen om nieuwe, duurzame bestrijdingsmethoden.

Suikerbieten met meer suiker

Boeren met suikerbieten hebben op het eerste gezicht niet veel te vrezen van de klimaatverandering. Door mildere winters kunnen ze gemiddeld wat vroeger zaaien en neemt het suikergehalte en daarmee de financiële opbrengst van hun gewas toe. Wel kunnen de kansen op bepaalde plagen, zoals aaltjes, toenemen.

Uien zonder dorst

De telers van uien krijgen het advies van de Wageningse onderzoekers om na te denken over nieuwe uienrassen die beter kunnen omgaan met droogte. Ook schimmels en andere ziekten zouden kunnen toenemen, waardoor uientelers in de

toekomst vaker van gewas zullen moeten wisselen op een perceel.

Winterpeen in de modder

Over het algemeen hebben boeren met winterpenen op hun land niet veel te vrezen van het veranderende klimaat. De grootste problemen waar zij mee te kampen hebben zijn te nat land op het moment van poten. Die omstandigheden zullen de komende decennia niet noemenswaardig toenemen, verwacht het KNMI.

Lelies verregend

Door toename van hevige regen in de zomer, kunnen boeren met lelies op het land meer problemen krijgen met bacterie- en schimmelziekten. Ook hagelbuien op het verkeerde moment kunnen een grote schadepost vormen, al verwacht het KNMI de komende dertig jaar geen grote toename van dergelijke extreme hagelbuien.

Koolzaad ontwikkelt beter

Doordat er minder strenge winters zullen optreden, zal koolzaad over het algemeen beter ontwikkelen. Het belangrijkste risico voor dit gewas is harde wind op het moment dat de stengels lang zijn. Het gewas 'gaat dan liggen' en kan niet meer geoogst worden. Aan dat risico zal volgens het KNMI de komende decennia niet veel veranderen.

Meer gras

De opbrengst van grasland zal bij stijgende temperaturen in principe kunnen

toenemen: meer gras voor de koeien dus. Tegelijk neemt het risico op langdurige droogte in de zomer wel toe. De winst vroeg in het seizoen kan daarmee weer teniet worden gedaan. Dat probleem kunnen melkveehouders voor een deel ondervangen door meer hitteresistente grassoorten in het weiland te zetten.

Tomaat met airco

Je zou kunnen denken dat de glastuinbouw niet veel last heeft van het weer buiten. Tegelijk kunnen schades van een paar procent al een grote strop betekenen in deze sector waar de marges klein zijn. Een hittegolf kan betekenen dat er meer gekoeld moet worden. Er gebeurt op dit moment veel in de kassenbouw. Zo komen er steeds meer kassen die 's zomers warmte opslaan in de bodem om die 's winters weer te gebruiken. De technologie lijkt hier harder te gaan dan de klimaatverandering.

Artisjok als alternatief

De artisjok kan redelijk goed tegen een beetje zout en ook tegen droogte. Het lijkt dan ook een goed alternatief voor gewassen die problemen hebben met de toenemende verzilting. De plant is wel gevoelig voor vorst, maar die zal steeds minder voorkomen.

Zonnebloemolie van Hollandse bodem

Zonnebloemen worden op heel beperkte schaal geteeld in ons land, en dan alleen voor de sierteelt. De kansen voor grootschaliger teelt nemen iets toe door het veranderende klimaat. De plant kan

vrij goed tegen zowel hitte, droogte, en plensbuien, als ook tegen een beetje zout.

Druif rukt op

Minder nachtvorst in het voorjaar is goed nieuws voor druiventelers. Het belangrijkste probleem voor Nederlandse wijnboeren heeft te maken met de schimmelziekte meeldauw. Als er meer warme natte zomers komen, zullen de wijnboeren ook meer maatregelen moeten nemen tegen de schimmel.

Kers onder de paraplu

Op het eerste gezicht lijken de omstandigheden voor kersen iets te verbeteren: minder nachtvorst, iets hogere temperaturen. Toch luistert de teelt van kersen vrij nauw, bijvoorbeeld rond de bestuiving van de bloesem. Als de bloei uit de pas gaat lopen met het vliegen van bestuivende insecten kan de kersenteler problemen krijgen. Ook is een kersenboomgaard gevoelig voor hevige regen of hagel op het verkeerde moment. Dan kan het nodig zijn om de hele boom af te dekken onder regen- of hageldoek.

Melkkoeien met meer witte dan zwarte vlekken

Koeien kunnen bij stijgende temperaturen vaker last krijgen van hittestress. Veel boeren kiezen er mede daarom voor om de koeien in een geventileerde stal te houden in plaats van in de brandende zon in een kaal weiland. Toenemende stortbuien en de bijbehorende wateroverlast kunnen ook extra

problemen geven in de melkveehouderij. Zo gedijt de platworm die de ziekte leverbot veroorzaakt beter onder natte omstandigheden. Ook maagdarmpjes kunnen onder natte omstandigheden en bij milde winters vaker voorkomen.

Ziekten die door insecten worden overgedragen, zoals 'blauwtong', die door knutten (kleine, stekende insecten) worden verspreid, zullen toenemen.

Bij de fokkerij van melkkoeien moet meer rekening gehouden worden met het klimaat, zo adviseren de Wageningse onderzoekers. Dat varieert van koeien met minder zwart en meer wit op de huid, om gevoeligheid voor zonnehitte te verminderen, tot algemeen 'meer robuuste dieren', die tegen een stootje kunnen.

Varken oververhit

Varkens zullen vaker te maken krijgen met oververhitte stallen. Daardoor nemen de voordelen van biologische varkenshouderij, waar de dieren buiten de stal verkoeling kunnen zoeken, verder toe. Er zijn nog geen aanwijzingen voor varkensziekten die met de opwarming uit het zuiden oprukken, al zal de ziektedruk voor de varkens wel iets toenemen wanneer ze vaker naar buiten gaan. Net als bij de rundveefokkerij, adviseren de Wageningse onderzoekers om ook bij de varkensfokkerij meer te letten op de algemene weerbaarheid van de dieren.

Nedersoja en 'Appellation Hollandais'

De langzame opwarming van het klimaat maakt uiteindelijk ook teelten mogelijk die voorheen alleen in zuidelijker streken mogelijk waren. Zo zijn er nu al boeren die soja telen in ons land. Toch heeft dat niet alleen met de opwarming te maken, vertelt de Wageningse onderzoeker ing. Ruud Timmer van Praktijkonderzoek voor Plant en Omgeving van WUR in Lelystad. Al helpt het wel. 'Vroeger kon je in Nederland ook geen maïs telen, nu wel.'

Ondanks de hulp van het klimaat, zijn Nederlandse sojatelers nog wel op zoek naar sojarassen die eerder afrijpen, zodat de sojabonen niet in het nattere najaar geoogst hoeven worden. Bovendien zal de opbrengst per hectare nog wel flink omhoog moeten om op de dure Nederlandse grond te kunnen concurreren met bijvoorbeeld granen. Toch loont

de sojateelt nu al de moeite, zegt Timmer. 'Een belangrijke drijfveer is dat de Nederlandse consument steeds minder trek heeft in genetisch gemodificeerde sojaproducten uit Zuid-Amerika.'

Sinds enkele decennia is er ook wijnbouw op Nederlandse bodem; allereerst alleen in Limburg, maar tegenwoordig zelfs tot in Friesland aan toe. De teelt van geschikte druiven wordt ook zeker geholpen door een warmer klimaat, maar de belangrijkste horde die in de begintijden van de Nederlandse wijnbouw moest worden genomen was toch vooral het vinden van rassen die beter bestand waren tegen de schimmelziekte meeldauw. Nu daarbij ook de zonneschijn volgens het KNMI iets zal toenemen, zal ook het suikergehalte van de Nederlandse druiven verder omhoog kunnen gaan.



Zoute landbouw

Door de stijgende zeespiegel neemt op verschillende plaatsen in de wereld de verzilting van landbouwgrond toe. Dat is niet meteen verloren grond, stelde de Texelse ondernemer Marc van Rijsselberghe al in het cahier Foodtopia (2015-01). 'Veel variëteiten van landbouwgewassen kunnen best wel wat zout hebben, als je daar bij de veredeling maar op let.'



Leren van boeren in Afrika

BOEREN IN veel tropische regio's zullen de eersten zijn die de gevolgen van een veranderend klimaat aan den lijve ondervinden. 'Maar diezelfde boeren kunnen ons ook wat leren over de mogelijke aanpassingen aan een veranderend klimaat', zegt hoogleraar plant-aardige productiesystemen professor Ken Giller. In het project *Climate Change and Adaptation in Africa* kijken Giller en collega's naar de mogelijke manieren waarop de landbouw in de tropen zich kan aanpassen aan het veranderende klimaat. 'Je zou dan natuurlijk kunnen denken aan veredelingsprogramma's, waarmee planten gewapend kunnen worden tegen bijvoorbeeld droogte. Maar naast die technologische benadering kijken wij ook naar de strategieën die boeren in de regio zélf kennen om zich te wapenen tegen extra droge, extra natte of extra hete jaren', aldus Giller.

Voor het project hebben de onderzoekers onder andere boeren geïnterviewd in westelijk, ooste-

lijk en in zuidelijk Afrika. Giller: 'Je loopt natuurlijk altijd het risico dat de herinnering gekleurd is. Zelf denk je na zoveel jaren ook dat de winters vroeger veel kouder waren of de zomers juist veel warmer. "Vroeger was alles beter." Maar we hebben de verhalen van de lokale boeren ook naast de beschikbare meteorologische gegevens kunnen leggen, en daar komen opvallende overeenkomsten uit.'

Meer veeziekten

Net als de meteorologen merken ook de boeren in veel Afrikaanse regio's dat de temperatuur stijgt. In de meeste gevallen blijkt dat samen te gaan met moeilijker omstandigheden voor de landbouw. 'Er is evenwel een uitzondering', zegt Giller. 'In oostelijk Afrika lijkt het erop dat sommige regio's natter worden, waar ze eerst te weinig regen kregen. Daar zitten dus misschien de schaarse boeren die baat hebben bij de huidige veranderingen in het klimaat.'

De meeste boeren krijgen echter te maken met steeds moeilijker landbouwkundige omstandigheden. En niet alleen in de akkerbouw. 'Het blijkt dat perioden van droogte ook samengaan met hogere concentraties van dieren rond de schaarse plekken waar nog drinkwater te vinden is. Dat gaat dan niet alleen om vee, maar ook om wild. De boeren vertellen ons dan ook dat er in perioden van droogte een verhoogde ziektedruk is van wild richting het vee en ook verhoogde predatiedruk van wilde roofdieren.'

Slechte vruchtbaarheid

Behalve op het vee, heeft de droogte uiteraard ook grote gevolgen voor de gewassen van de boeren. Maar opvallend genoeg is dat niet het grootste probleem, stelt Giller. 'Droogte blijkt een complex probleem. Het hangt er bijvoorbeeld sterk vanaf in welke periode de droogte optreedt. Is dat rond het zaaien van de gewassen, is het midden in het

Droogte zorgt steeds vaker voor botsingen tussen wild en vee bij drinkplaatsen.



groeiseizoen, of is het juist tegen de oogst? Er is één factor die steeds terugkeert bij al die problemen, en dat is de bodemvruchtbaarheid. Uit onze analyses blijkt dat de landbouw in veel tropische regio's in eerste instantie het best gewapend kan worden tegen het veranderende klimaat door de bodemvruchtbaarheid te verbeteren, en niet op de eerste plaats door extra irrigatie. De problemen rond de vruchtbaarheid zijn feitelijk groter dan de problemen rond het klimaat.'

Toch zou er ook in directe zin het nodige kunnen gebeuren om de tropische landbouw te wapenen tegen extremere perioden van droogte. 'Je moet dan denken aan een uitgekiende mix van verschillende genetische lijnen van gewassen die beter of slechter tegen droogte kunnen, en aan de andere kant variatie in plantdata. Ervaringen van lokale boeren en wetenschappelijke kennis kunnen elkaar op dat punt versterken.'

Een van de belangrijkste lessen die we kunnen leren van tropenboeren draait om flexibiliteit, zegt Giller. 'Oké, het wordt gemiddeld genomen warmer, maar het weer wordt vooral onvoorspelbaar.

Afrikaanse boeren kiezen steeds vaker voor een 'modern' gewas als maïs, terwijl gierst of sorghum veel beter tegen wisselende omstandigheden kunnen.



Boeren in veel tropische regio's zijn beter gewend om met wisselende omstandigheden om te gaan dan bij ons. Toch worden die flexibele boeren ook weer beperkt door de vragen van de consument. Gewassen als sorghum en gierst kunnen beter tegen wisselende omstandigheden, zoals tijdelijke droogte, maar de bevolking van de groeiende steden in de tropen vindt die gewassen "ouderwets", en vraagt "modern voedsel" zoals maïs. Dat brengt de boeren in een spagaat.'

Boer verandert sneller dan klimaat

Los van het veranderende klimaat, waarschuwt Giller dat de boeren zelf nog sneller veranderen dan het weer. 'Niet alleen in ons land, ook in andere landen is er een enorme vergrijzing aan de gang onder boeren. Daarnaast zie je een enorme schaalvergroting. De landbouw ontwikkelt daarmee in een richting die de burger in veel gevallen helemaal niet ziet zitten. De "vrije markt" doet daar maar in beperkte mate wat aan. Mensen willen steeds meer biologische producten uit de regio, maar ze betalen vooralsnog voor grootschalige landbouw uit goedkope regio's.'

'De eerste zorg van de meeste regeringen is voldoende voedsel voor de bevolking', benadrukt Giller. 'In Europa wordt dat via subsidies gestuurd, maar ook in Afrika is de eerste zorg van de meeste regeringen om veel goedkoop voedsel te leveren voor de bevolking. In bijvoorbeeld Mozambique zag je in 2008 letterlijk voedselrellen in de steden ontstaan toen de voedselprijzen omhoog gingen. Daarmee mag je wat mij betreft concluderen dat de wereldvoedselmarkt feitelijk geen vrije markt is waar de wetten van vraag en aanbod helemaal op gaan.'

De stijgende vraag naar voedsel legt meer druk op het land dan het veranderende klimaat, stelt Giller. 'Door die druk op het land worden boeren meer richting marginale gronden gedrongen. Dat zijn ook de gebieden waar klimaatverandering



De schaalgrootte van Australische landbouw heeft als voordeel dat de boer niet veel energie per hectare kwijt is.

Klimaat- verandering dringt boeren naar marginale gronden

extra hard aankomt, bijvoorbeeld door verzilting of verdroging.’

Australische schaalgrootte

Een belangrijke les van boeren uit Australië is dat we in de toekomst – waar mogelijk – misschien niet altijd voor de maximale opbrengst per hectare moeten gaan, maar eerder voor minimale inspanningen en ook minimaal gebruik van energie en irrigatiewater. Giller: ‘Je hebt daar bedrijven van wel tienduizend hectare! Dat is twee keer het oppervlak van de Oostvaardersplassen! Ze maken daar gebruik van zogeheten directe zaaimethoden zonder al te grote grondbewerking. Enorme machines brengen in één beweging het zaad op een diepte van bijvoorbeeld 5 cm, de kunstmest op 8 cm en tegelijk brengen ze ook onkruidbestrijdingsmiddelen in de bodem, en dat op duizenden hectaren ineens. Het is een landbouw die weliswaar veel grond nodig heeft, maar die tegelijk weinig energie per kilo product vraagt. Er wordt daarbij nauwelijks water gebruikt. Wanneer er bovendien herbiciden worden gebruikt die niet langdurig in

de bodem achterblijven is dit volgens mij een vorm van landbouw die we steeds vaker zullen zien. Ik geloof dat het een illusie is dat we de wereld kunnen voeden met zuiver biologische landbouw. Natuurlijk is het risico van dit soort landbouw wel enorm. Er zijn genoeg voorbeelden bekend van Australische boeren die op dit soort bedrijven een miljoen dollar aan zaad in de grond stoppen maar dan worden geconfronteerd met extreme droogte. Als er dan niets opkomt, kan de bank je één of misschien twee seizoenen redden, maar uiteindelijk houdt dat een keer op.’

Hot topic

Giller realiseert zich dat onderzoek aan klimaatverandering zacht gezegd een *hot topic* is. Maar de geboren Britse onderzoeker waarschuwt ook voor wat hij noemt *bandwagoning*. ‘Climate Smart landbouw is een speerpunt in het beleid van zowel de Voedsel en Landbouworganisatie van de VN, de FAO, als ook van Nederland. Heel veel tropenonderzoekers willen nu dan ook ineens op die succesvolle trein springen. Maar die zogenaamde *smart* landbouw gaat ervan uit dat je de agrarische praktijk kunt aanpassen aan het veranderende klimaat en tegelijk de veranderingen zelf kunt aanpakken, bijvoorbeeld door met slimme methoden de uitstoot van CO₂ te beperken. Ik denk dat dat een ernstige misvatting is. Het getuigt niet alleen van overmoed om deze twee strategieën samen te nemen, het is ook oneerlijk. De boeren in de tropen hebben geen beslissende rol in het ontstaan van klimaatverandering. Ik vind dan ook dat we ze vooral moeten helpen om de gevolgen van het veranderende klimaat op te vangen en ze zeker niet moeten dwingen om ook nog eens compenserende maatregelen te nemen. En dan moeten we nog heel goed in het achterhoofd houden dat we minstens zo veel van de lokale boeren kunnen leren als zij van ons.’

Natuur als buffer

IN EEN moerasgebied aan de rand van het Zuidlaardermeer is het de afgelopen jaren tussen mei en augustus een komen en gaan van vogelaars en fotografen. Hun doel: de zeldzame witvleugelsterns en witwangsterns zien. 'Sinds 2011 broeden hier witwangsterns in het moeras. In 2014 is daar ook ineens een kleine kolonie witvleugelsterns bijgekomen', vertelt een opgetogen boswachter Alwin Hut van het Groninger Landschap.

Dat de witwangsterns het gebied hebben gevonden mag een klein wondertje heten: de dichtstbijzijnde broedgebieden van deze vogels lagen tot vorig jaar een dikke duizend kilometer verder naar het oosten, in Polen, of naar het zuiden in Frankrijk. 'Blijkbaar heeft dit gebied voldoende aantrekkingskracht op de sterns. We hebben met de 'witwang' en de 'witvleugel' en ook met de zwarte stern nu drie moerassterns die in het Zuidlaardermeergebied broeden', aldus een trotse Hut.

De zeldzame sterns zijn afgekomen op een bijzonder natuurontwikkelingsproject in het stroomdal van de Hunze. Halverwege de vorige eeuw werd dit riviertje voor een groot deel gekanaliseerd. Onderaan de Hondsrug werden ook brede sloten aangelegd om het regenwater zo snel mogelijk uit de landbouwgebieden af te kunnen voeren naar uiteindelijk de Waddenzee. Onder andere het Groninger Museum ondervond daarvan in 1998 de gevolgen. De verschillende waterlopen konden het overvloedige water niet op tijd kwijt, waardoor het water buiten het museum tot aan de vensterbanken kwam te staan.

De oplossing die door enkele natuurorganisaties werd bedacht: geef het stroomgebied van de Hunze

weer zijn oude functie als waterberging terug! In 2005 bedachten Kees de Pater van Vogelbescherming Nederland, de Vereniging Natuurmonumenten en Stichting Ark dat natuurgebieden een perfecte buffer kunnen zijn voor het wassende water van de klimaatverandering. De Pater: 'De reflex bij wateroverlast was altijd: bouw dammen en dijken om het water tegen te houden. Maar onder andere de overstroming in het Groninger Museum heeft laten zien dat dit niet altijd afdoende is. Als je de bufferende werking van de natuur gebruikt, zowel bij een overschot als bij een gebrek aan water, stimuleer je tegelijk de biodiversiteit.

De Provinciale Landschappen en de Natuur en Milieufederaties van Drenthe en Groningen hebben dit concept van natuurlijke klimaatbuffers in het stroomdal van de Hunze omgezet in een hele keten van natuurontwikkelingsprojecten. Ter hoogte van het Zuidlaardermeer heeft dat dus geleid tot een weer meanderende rivier en herstel van oude 'vloedvlaktes', die in vroeger tijden langs de rivieren het overtollige water opvingen.

De Pater van Vogelbescherming ziet alleen maar voordelen bij deze aanpak. Je ziet in deze gebieden een ware explosie van moerasvogels zoals die drie soorten sterns. Daarnaast krijg je een oud, natuurlijk landschap terug, én je verhoogt de veiligheid.'

Volgens De Pater kun je dit soort klimaatbuffers in veel meer natuurgebieden aanleggen. 'Ook in bossen kun je water bergen. In de buurt van Weert heeft de Stichting Ark een bos ingericht als waterberging. En op verschillende plaatsen langs de Noordzeekust wordt gewerkt aan dynamisch kust- en duinbeheer. Als je weer ruimte geeft aan



De Hunze werd eerst gekanaliseerd, maar mag nu als 'klimaatbuffer' weer meanderen.

natuurlijke duinvorming, in plaats van dijken van zand met helmgras erop, creëer je ook weer ruimte voor de bijbehorende biodiversiteit. Vogels als de tapuit zijn onder andere verdwenen bij gebrek aan open, dynamisch duin. En op brede stranden kan ook weer ruimte komen voor strandbroedende

vogels die je nu bijna nergens meer ziet langs de Nederlandse kust. Het omgaan met klimaatverandering biedt hier ontegenzeggelijk kansen voor de natuur.'

Rob Buiter

**Meer allergieën door nieuwe planten,
omvallen van de hitte, of gestoken
worden door een nieuwe muggensoort
die een exotisch virus bij zich draagt...
Op verschillende manieren kan het
veranderende klimaat ons ziek maken.**



Ziek door het veranderende klimaat

■ DIENEKE SCHRAM

REGELMATIG VERSCHIJNEN er berichten in de pers over honderden of zelfs duizenden extra doden door hitte, zoals recent nog in India en Pakistan. Ook in Nederland kan hitte leiden tot meer sterfte. Tijdens de 12-daagse hittegolf in 2010 stierven naar schatting 660 mensen meer dan normaal in die periode. Hittegolven zullen door klimaatverandering vaker voorkomen en langer aanhouden, volgens voorspellingen van het KNMI. Daar staat tegenover dat het aantal en de duur van extreme koudeperiodes, die ook tot meer sterfte leiden, zal afnemen. Door vergrijzing zal het aantal mensen dat gevoelig is voor hitte en kou juist weer toenemen.

Optimale temperatuur voor minimale sterfte

Meer sterfte is slechts één van de mogelijke effecten van warmere zomers met meer hittegolven. Er zijn meer effecten van hitte, maar het meeste onderzoek richt zich op de extra sterfte, wat nu eenmaal een gegeven is wat relatief makkelijk te meten is. De dagelijkse sterfte wordt namelijk standaard bijgehouden door het CBS. Maar onder hittestress vallen ook alle andere gezondheidsproblemen die kunnen ontstaan als mensen last krijgen van de hoge temperatuur. Dat kan variëren van huiduitslag tot luchtwegklachten of zelfs een

hitteberoerte. Hitte kan ook leiden tot slaapverstoring en verminderde alertheid en aandacht. Vooral kwetsbare mensen, zoals ernstig zieke ouderen en daklozen in de grote steden, hebben last van hittestress. In steden is het namelijk vaak enkele graden warmer dan in hun omgeving (zie ook het kader Hitte-eilanden op de volgende pagina).

De relatie tussen sterfte en temperatuur ziet er uit als de V-curves op pagina 56. De optimale temperatuur is 16 à 17°C. Bij dat gemiddelde is de sterfte het laagst in Nederland. Boven en onder dit optimum neemt de sterfte toe. In andere landen heeft de curve een soortgelijke vorm, maar de optimumtemperatuur hangt af van het klimaat. In landen met een warmer klimaat ligt de optimale temperatuur hoger. Mensen passen zich aan, bijvoorbeeld door witte huizen te bouwen, een siësta in te lassen of bomen te planten voor schaduw. We zullen ons in Nederland waarschijnlijk ook aanpassen aan klimaatverandering. De optimumtemperatuur kan dan wat hoger komen te liggen. Dat aanpassen gaat uiteraard geleidelijk en helpt dus niet tegen plotselinge schommelingen in de temperatuur. De kans op hittestress zal waarschijnlijk dus toch toenemen door de klimaatverandering.

Over het algemeen geldt in alle landen dat de sterfte met 1 tot 3 % toeneemt per graad Celsius

boven het optimum. In de winter is de sterfte juist hoger bij lage temperaturen door een toename van hart- en vaatziekten, luchtwegklachten en sterfte onder ouderen. Het is onbekend of de lagere sterfte door minder extreem koude periodes op wereldschaal zal opwegen tegen de hogere sterfte door toenemende hitte. Het zou ook kunnen dat de wintersterfte toeneemt in plaats van afneemt. Mensen raken misschien minder gewend aan kou door mildere winters en kunnen daardoor gevoeliger worden voor plotselinge extreem koude dagen. Door klimaatverandering zullen zulke temperatuurschommelingen waarschijnlijk vaker voorkomen in de toekomst.

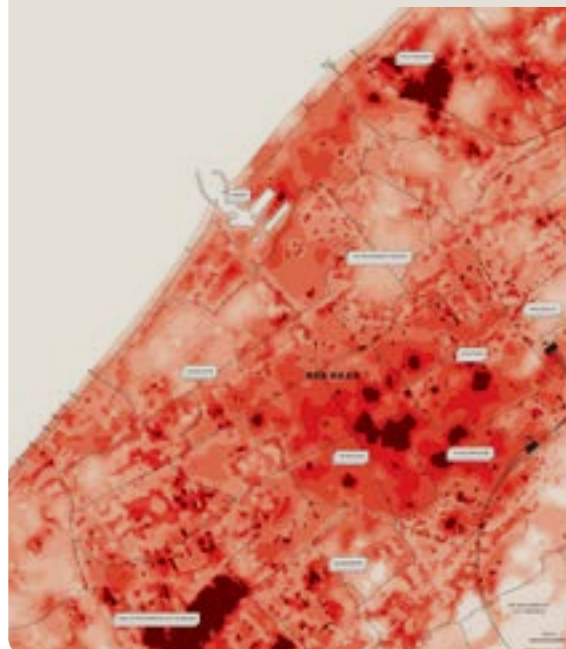
Verplaatste sterfte

De extra sterfte tijdens hittegolven bestaat deels uit personen bij wie het tijdstip van overlijden door de hitte 'slechts' een aantal dagen, weken of maanden is vervroegd. In de weken na een toename van de sterfte tijdens hittegolven is meestal een daling in de sterfte te zien. Dit wordt het oogsteffect genoemd. Het oogsteffect treedt niet altijd op en



Hitte-eilanden

In steden is het vaak enkele graden warmer dan in het omliggende landelijk gebied. Satellietbeelden tijdens de hittegolf van 2006 lieten zien dat het verschil in temperatuur overdag kan oplopen tot 9 graden Celsius. Er vindt in de stad meer absorptie van zonlicht plaats door de relatief donkere woningen en straten. Tegelijkertijd is er minder warmteverlies door de lagere verdamping en windsnelheden. Bovendien komt er in stedelijk gebied ook meer warmte vrij door menselijke activiteiten zoals verwarming, gemotoriseerd vervoer en airconditioning. Van oudsher meet het KNMI de temperatuur alleen op locaties buiten de stad, om verstoring van de metingen door de stad te voorkomen. Tegenwoordig kan iedereen het KNMI helpen met het verzamelen van meetgegevens buiten én binnen de stad via <https://wow.knmi.nl/>





Hitte vervroegt soms de sterfte van mensen die anders wat later toch zouden overlijden

schattingen met betrekking tot de omvang van het oogsteffect lopen zeer uiteen.

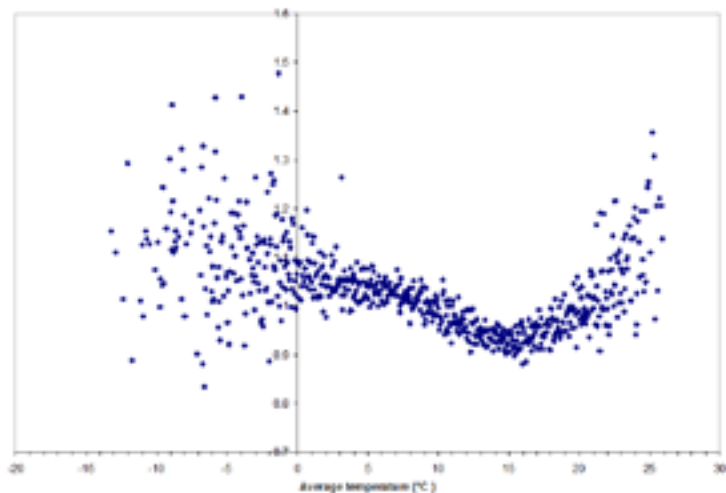
Slechts een klein deel van de totale sterfte tijdens hittegolven is het gevolg van een hitteberoerte, het merendeel is toe te schrijven aan hart- en vaatziekten en luchtwegklachten. Mensen met deze ziektes zijn extra gevoelig voor zowel hitte als kou. Het kan hun klachten zodanig verergeren dat ze overlijden. Enkele buitenlandse onderzoeken hebben hittegerelateerde ziekte in plaats van sterfte beschreven (in Nederland loopt zulk onderzoek nog). In Californië namen ziekenhuisopnames met gemiddeld 7% toe op de heetste dagen tijdens hittegolven in de periode 1999-2009. Vooral opnames vanwege luchtwegklachten, nierfalen en uitdroging bij ouderen namen toe. Het is lastig om vast te stellen hoeveel echte hitteberoertes optreden, doordat deze vaak onder één van de aandoeningen worden geregistreerd die het gevolg zijn van hitteberoerte, bijvoorbeeld nierfalen. Vaak wordt de meest duidelijke

aandoening geregistreerd, wat niet per sé de oorzaak hoeft te zijn van de klachten.

Luchtverontreiniging: zomersmog

Tijdens perioden met warm weer is er vaak meer ozon en fijnstof in de lucht. De weersomstandigheden rondom een hittegolf zijn vaak bijzonder gunstig voor het ontstaan van zo'n smogepisode. Waarschijnlijk komt een deel van de 'hitteproblemen' dan ook eigenlijk door smog. In de zeer warme zomer van 2003 bijvoorbeeld, was ca. 25 tot 40% van de extra sterfgevallen eerder het gevolg van luchtverontreiniging dan van hittestress. Tijdens een hittegolf is het effect van luchtverontreiniging op sterfte waarschijnlijk sterker dan op andere zomerse dagen. Dat betekent dat vooral de combinatie van luchtverontreiniging en hoge temperaturen kwetsbare mensen fataal kan worden. Volgens de klimaatscenario's neemt de kans op hittegolven sterk toe. Daarmee neemt mogelijk

Temperatuur en sterfte in Nederland



Het aantal sterfgevallen ten opzichte van het gemiddelde, bij verschillende temperaturen in Nederland.

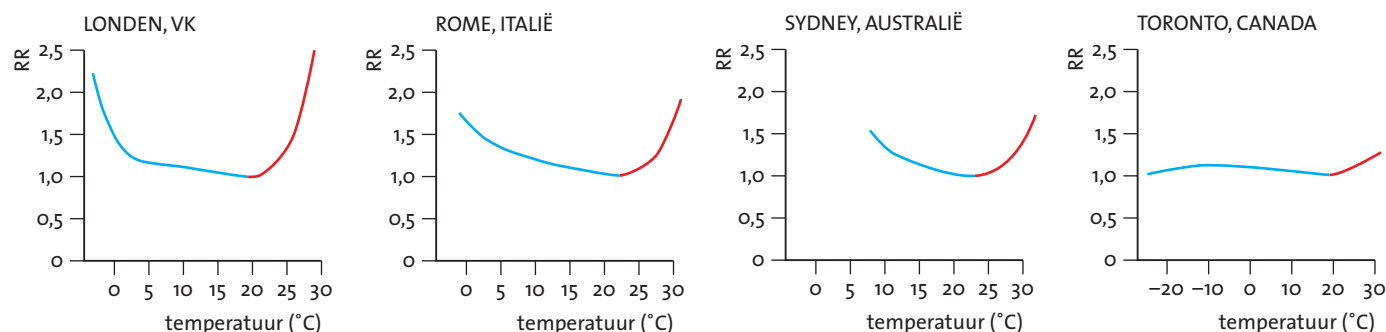
In andere steden ligt het optimum bij een andere temperatuur, afhankelijk van de gewenning van de burgers. ('RR' is Relatieve Risico op sterfte ten opzichte van de optimale temperatuur).

ook de kans op zomersmog toe. Tegelijk zou die kans ook weer kunnen afnemen, bijvoorbeeld door beleidsmaatregelen als minder zwaar verkeer in de stad, of minder vervuilende oude dieselauto's, zoals de Gemeente Utrecht onlangs heeft ingesteld. De laatste jaren is het aantal dagen waarop er sprake is van matige of ernstige smog door ozon in Nederland afgenomen.

Maatregelen

Om de gezondheidsrisico's van warm weer te beperken is in Nederland het Nationaal Hitteplan opgesteld. Dat wordt geactiveerd wanneer de voorspelde maximale temperatuur tenminste vier dagen hoger is dan 27°C. Er zijn ook richtlijnen voor zomerse omstandigheden. De GGD gebruikt die richtlijnen om adviezen te geven aan de bevolking. Ook bij ernstige smog wordt de bevolking geïnformeerd. Regel één tijdens warme dagen is: voldoende drinken. Daarnaast is het van belang voor voldoende verkoeling te zorgen door goed te ventileren en beschikbare verkoelende voorzieningen adequaat te gebruiken. In een aantal gemeentes wordt ook gewerkt aan het tegengaan van de hitte-eilanden door bijvoorbeeld de aanleg van beplanting en waterpartijen of een stratenplan waarbij de wind zich vrij door de stad kan verspreiden.

De relatie tussen temperatuur en sterfte in enkele buitenlandse steden



Nieuwe allergieën

■ LETTY DE WEGER

OP DE fiets naar school, in de bus of de auto naar het werk, in een kantoor of in huis en zelfs 's nachts in bed; de hele dag komen je huid, ogen en luchtwegen in aanraking met de meest uiteenlopende stoffen in de buitenlucht. Een deel van die stoffen zijn allergenen: stoffen die op zichzelf niet schadelijk zijn maar bij mensen die er gevoelig voor zijn een allergische reactie opwekken. In feite is dat een heftige en ongepaste reactie van het afweersysteem op deze allergenen. Zo'n allergische reactie kan zich uiten als uitslag op de huid, prikkeling van de luchtwegen, of als brandende, tranende ogen.

De afgelopen decennia is het aantal mensen met een allergie wereldwijd toegenomen. Uit Neder-

lands bevolkingsonderzoek blijkt dat tegenwoordig een derde van de mensen een vorm van neusallergie heeft, zoals hooikoorts. Van de kinderen zegt 7 tot 10 % astmatische klachten te hebben en onder volwassenen is dat 11 %. Allergieën ontstaan door een complexe wisselwerking tussen de genetische aanleg van personen en omgevingsfactoren, zoals bijvoorbeeld luchtverontreiniging en pollen. Die laatste twee worden ook beïnvloed door het klimaat.

Pollen, pollen en pollen

Stuifmeel – officieel: pollen – wordt geproduceerd door bloeiende planten en komt van januari tot november in de lucht voor. Na de kerst kunnen de eerste pollenkorrels van hazelaar en els al in de lucht verschijnen. De grootste elzenpollenpiek valt in februari/maart. In april/mei verschijnt het sterk allergene berkenpollen, en als dit verdwenen is staan de verschillende grassoorten te dringen om hun eveneens sterk allergene pollen gedurende drie maanden in de lucht te verspreiden. Ook het pollen van weegbree en zuring kan in de zomermaanden klachten veroorzaken. In augustus verschijnt het pollen van bijvoet in de lucht en tot slot kan in september/oktober het pollen van het relatief nieuwe onkruid ambrosia klachten veroorzaken.

De meeste mensen hebben geen last van al deze soorten pollenkorrels, maar een aanzienlijke minderheid wel. Zij kunnen een groot deel van het jaar last hebben van hun klachten. Omdat klimaatverandering invloed kan hebben op de hoeveelheid en de periode waarin allergene pollen in de lucht aanwezig is, kan het ook de ernst en de duur van klachten van allergiepatiënten beïnvloeden.

Het voorzichtigste klimaatscenario van het KNMI uit 2014 voorspelt dat rond 2030 de gemiddelde temperatuur over het gehele jaar met 1°C toeneemt, de hoeveelheid neerslag met 5 % en de hoeveelheid zonnestraling met 0,2%. Deze veran-

Meer dan negen van de twaalf maanden zweeft er stuifmeel door de lucht dat allergieën kan veroorzaken.



deringen kunnen uiteenlopende effecten hebben op de hoeveelheid, de timing en de soorten pollen die in de lucht voorkomen.

Nieuwe planten, nieuwe allergieën

Of een plant ergens wel of niet kan groeien hangt af van de heersende hoge en lage temperaturen en de neerslag. Neerslag is in ons natte land niet snel een beperkende factor, dus de verschuivingen die het KNMI daarin voorspelt, zullen niet snel tot grote veranderingen in onze flora leiden. Heel anders ligt dat voor de verwachte stijging in de temperatuur. Een gemiddelde stijging van de temperatuur van 1°C zou de groeiomstandigheden voor sommige 'zuidelijke' planten, zoals bijvoorbeeld olijfbomen, gunstiger kunnen maken. Olijfbomen produceren stuifmeel dat enigszins lijkt op het pollen van de es. Hierdoor zouden mensen die gevoelig zijn voor het essenpollen ook klachten kunnen ontwikkelen na contact met olijfpollen. Ook de plataan, een populaire stadsboom, zou van

De nieuwkomer ambrosia zorgt ook voor nieuwe allergieën.



een temperatuurstijging kunnen profiteren door meer pollen te produceren. Dat gebeurt nu al in de Mediterrane landen, waar het pollen van de plataan dan ook een belangrijk allergeen is.

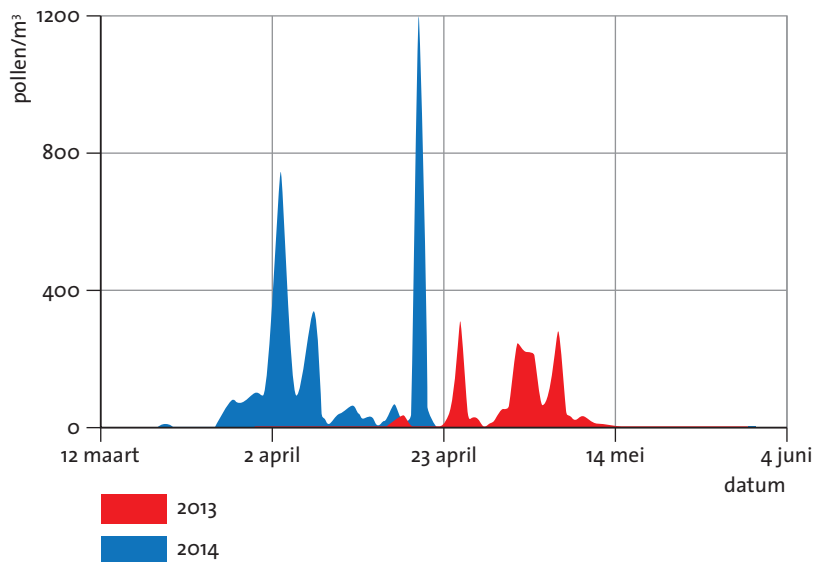
De klimaatscenario's spreken ook van een toename in de herfsttemperatuur. Dit kan vooral ten goede komen aan het onkruid ambrosia. Dit onkruid is onder andere via vogelvoer ons land binnengekomen, maar kan zich nu nog niet optimaal vestigen door de late bloei van de plant in september en oktober. Ook een herfst met nachtvorst geeft de plant niet genoeg tijd om zaad te ontwikkelen. Een zachtere herfst maakt de omstandigheden voor deze plant gunstiger. Dat zou kunnen leiden tot een toename van ambrosiapollen in september en oktober.

Hogere temperaturen, meer pollen

Hogere temperaturen en een verhoogde CO₂-concentratie in de buitenlucht kunnen plantengroei en daarmee ook de pollenproductie bevorderen. Een grote Europese en een Amerikaanse studie hebben de trends in de pollenaantallen in de afgelopen decennia bestudeerd. Beide onderzoeksgroepen zagen een verhoging in de hoeveelheid pollen die jaarlijks geproduceerd wordt, al bleken er ook locaties te zijn waar juist een afname te zien was. De Europese studie toonde aan dat de toenemende trend in pollenaantallen vooral in grote steden optrad. Daar profiteren planten van het 'warmte-eiland effect', waardoor er in steden een hogere temperatuur kan heersen dan in de omringende landelijke omgeving. Bovendien is in de steden het CO₂ gehalte in de lucht wat hoger, wat ook de pollenproductie kan bevorderen.

De toename in neerslag zou juist een afname in het aantal pollenkorrels in de lucht kunnen veroorzaken, omdat regen het pollen uit de lucht spoelt. De vraag is of de toename van 5 % in neerslag die in de klimaatscenario's wordt voorspeld opweegt tegen de andere effecten.

De Leidse berkenpollentellingen uit 2013 en 2014



Planten kunnen langer bloeien

Om tot bloei te komen hebben de meeste planten gedurende een periode een bepaalde hoeveelheid warmte nodig, de zogenaamde warmtesom. Uit een Britse studie uit 2002 blijkt dat vergeleken met de voorgaande tien jaar de eerste bloei van 385 plantensoorten met gemiddeld 4,5 dagen is vervroegd. Dit was vooral duidelijk voor voorjaarsbloeiers, die voor hun bloei erg worden beïnvloed door de temperatuur in de voorgaande maand. In de klimaatscenario's van het KNMI neemt de voorjaarstemperatuur met tenminste 0,8°C toe, waardoor de warmtesom die nodig is voor de bloei dus eerder wordt bereikt. In Nederland zien we dit effect nu al optreden bij de bloei van berkenbomen. Gemiddeld treedt de bloei van de berken tegenwoordig 10 dagen eerder op dan veertig jaar geleden. Deze gemiddelde verschuiving van 10 dagen zal een individuele patiënt met een berkenpollenallergie nauwelijks opmerken, want tussen het ene of het andere jaar kan al een

De periode waarin het berkenpollen in de lucht voorkomt in deze jaren verschilt ruim een maand.

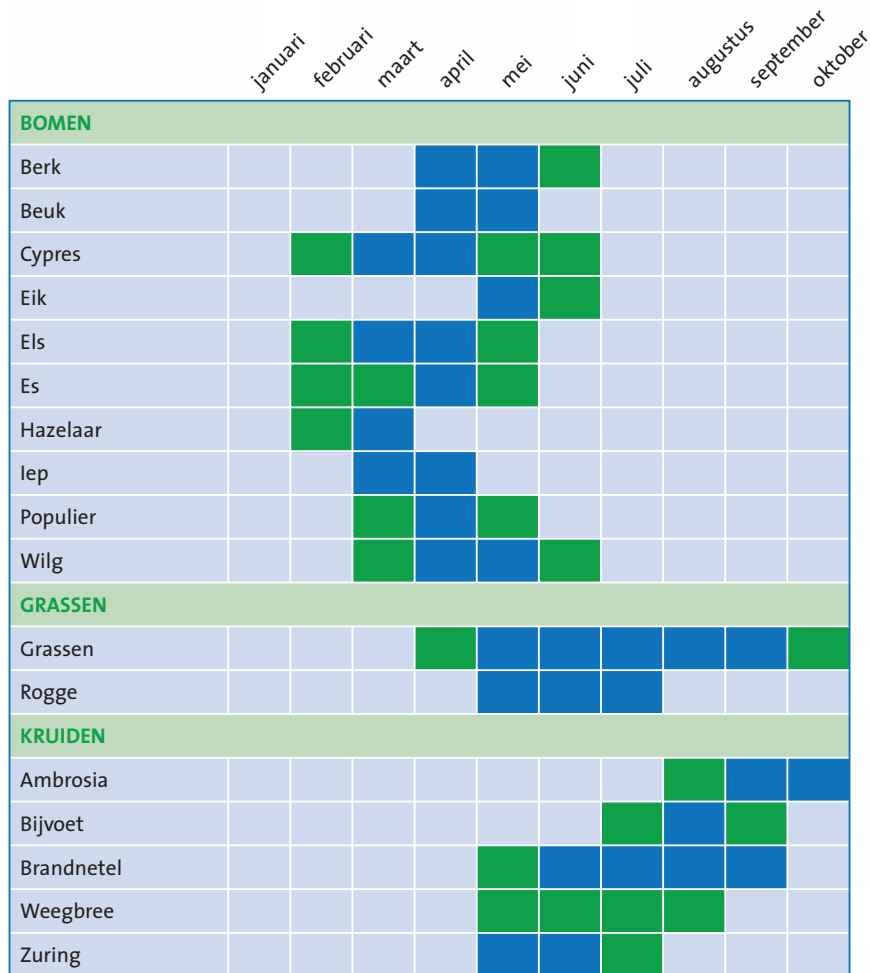
De 'pollenvanger' op het dak van het Leids Universitair Medisch Centrum.

hele maand verschil optreden in de start van het bloeiseizoen (zie de figuur hiernaast). Wat wel gunstig uitpakt voor deze patiënten is dat de periode dat de berkenbomen bloeien in de afgelopen veertig jaar met ruim 4 dagen is verkort. Eenzelfde verkorting in het bloeiseizoen van voorjaarsbloeiers werd ook gezien in de eerder genoemde Amerikaanse studie.

Voor de zomerbloeiers zijn de trends in het bloeiseizoen minder duidelijk. In de Amerikaanse studie bleek het graspollenseizoen bij iets meer dan de helft van de bestudeerde pollentelstations (54 %) verlengd te zijn. In Nederland is er geen consistent patroon: in de pollentellingen van het LUMC in Leiden (een van de twee pollentelstations in Nederland) is er een trend naar een korter seizoen, terwijl de pollentellingen van het andere Nederlandse pollentelstation, Helmond, juist een verlenging van het graspollenseizoen laat zien.



Pollenkalender



matige verspreiding

sterkte concentratie

Van januari tot en met oktober kunnen er pollen in de lucht zweven die hooikoorts kunnen veroorzaken. Bron: Natuurkalender.nl

Meer reactie op het stuifmeel

In kasexperimenten waarin ambrosiaplantjes bij verschillende CO₂-concentraties werden gekweekt, produceerden de planten die onder de hoogste CO₂-concentraties opgroeiden niet alleen de meeste pollen, maar ook nog eens de pollen met de hoogste concentratie van allergene eiwitten. Ook bij berkenbomen die opgroeiden bij hogere temperaturen is gevonden dat ze pollen produceren met verhoogde hoeveelheden van het berkenpollenallergeen. Het pollen dat geproduceerd wordt bij hogere temperaturen en/of CO₂ concentraties zou dan mogelijk eerder of sterkere reacties kunnen opwekken.

De toekomst

De invloed van het veranderende klimaat op het voorkomen van pollen en hun vermogen om een allergische reactie op te wekken kan zeer uiteenlopen voor de verschillende plantensoorten. Toch zijn er al overtuigende gegevens die laten zien dat de aantallen pollenkorrels in de lucht toenemen en dat er nieuwe allergene pollensoorten in de lucht verschijnen. Voorjaarsbloeiers lijken hun bloeiseizoen weliswaar te vervroegen maar tegelijkertijd lijkt er 'aan de achterkant' ook een verkorting van het seizoen op te treden. Voor de zomerbloeiers ligt dit wat ingewikkelder. Ook bestaat de mogelijkheid dat het pollen meer allergenen zal gaan bevatten. Meer hevige onweersbuien in het graspollenseizoen kunnen tot meer astma-aanvallen leiden. Door dit alles kan in de toekomst het aantal allergiepatiënten en de ernst van de klachten toenemen. Het behoudende klimaatscenario van het KNMI geeft als indicatie dat het klimaat in Amsterdam rond 2050 vergelijkbaar zal zijn met het klimaat in Nantes en Bordeaux van nu. Misschien kunnen we iets leren voor de toekomst door deze streek goed onder de loep te nemen.

Onweersallergie

In de klimaatscenario's van het KNMI wordt ook aangegeven dat er meer extreme neerslag en onweer zal optreden. Verschillende studies in Australië en Engeland hebben aangetoond dat na hevige onweersbuien tijdens het graspol-lenseizoen het aantal ziekenhuisopnames van astmapatiënten sterk toenam. Dit fenomeen staat bekend als *'thunderstorm asthma'*. Tijdens een onweersbui kunnen de pollen openbarsten, waarbij heel kleine deeltjes vrijkomen in de lucht. Deze deeltjes van hooguit 7 µm groot bevatten uitgerekend de allergene eiwitten. Ze kunnen ook dieper in de luchtwegen doordringen dan een intacte pollenkorrel, en dus juist een reactie uitlokken in de diepere luchtwegen.



Bij een hogere CO₂ concentratie in de lucht, maken planten en bomen meer allergenen aan

Nieuwe infecties en ook meer van de oude infecties

■ WILLEM TAKKEN

IN DE moderne volksgezondheid van West-Europa spelen vectorziekten nauwelijks een rol van betekenis. In de (sub)tropen is dat wel anders. Daar hebben infecties die worden overgedragen door insecten of teken nog altijd een belangrijk aandeel in ziekte en sterfte. De oorzaken van deze verschillen liggen, naast de biologische en ecologische factoren, vooral in het klimaat en de sociaal-economische ontwikkeling.

Vectorziekten zijn afhankelijk van insecten of teken voor hun transmissie tussen mensen of dieren. De ziekteverwekkers circuleren tussen gastheer (mens of dier) en insect of teek. In de gastheer worden ze aan een constante temperatuur blootgesteld, maar in het insect zijn ze afhankelijk van de omgevingstemperatuur. De groep insecten die betrokken is bij ziekteoverdracht behoort tot de hematofagen: bloedzuigende insecten. Tekenen – geen insecten maar spinachtigen – voeden zich uitsluitend met bloed van mens en dier, en zijn bij verschillende ziekten ook belangrijke vectoren. Door hun eigenschap bloed op te nemen als voedingsstof, kunnen al deze dieren besmet raken met een ziekteverwekker en deze doorgeven aan een nieuwe gastheer tijdens een volgende bloedmaaltijd.

Insect én ziekteverwekker afhankelijk van temperatuur

Bij de relatief lage temperaturen in West-Europa kunnen de ziekteverwekkers zich maar langzaam, of helemaal niet, ontwikkelen in het insect. In de (sub)tropen zijn de klimaatsomstandigheden zo dat zij in het insect uit kunnen groeien tot infectieuze stadia. Als insecten eenmaal infectieus zijn, blijven ze dat hun hele verdere leven. Ze kunnen

vanaf dat moment telkens als ze een bloedmaaltijd nemen de ziekteverwekkers overbrengen. Dat gebeurt via de zuigsnuit, waarmee ze een soort antistollingsmiddel in het bloed van de gastheer spuiten, voor ze een bloedmaaltijd nemen. De omgevingstemperatuur bepaalt dus in belangrijke mate of een geografisch gebied geschikt is voor de overdracht van vectorziekten.

De omgevingstemperatuur beïnvloedt ook het insect. Deze is voor zijn ontwikkeling afhankelijk van de omgevingstemperatuur omdat koudbloedige insecten niet hun eigen lichaamstemperatuur kunnen reguleren. In een (sub)tropische omgeving kunnen insecten snel tot ontwikkeling komen waarbij ze vele generaties per jaar produceren. In het gematigde klimaat van West-Europa ondergaan insecten een winterrust onder invloed van de voor hen ongunstige temperatuur, terwijl de zomertemperatuur bepaalt hoe snel de insecten kunnen groeien en zich voortplanten.

Malaria in Europa

Europa heeft tot aan de Tweede Wereldoorlog ernstig te lijden gehad van malaria. In de Middeleeuwen en de Renaissance kwamen ook de builenpest en vlektyfus nog voor. Malaria werd overgedragen door steekmuggen, builenpest door rattenvlooiën en vlektyfus door klierluizen. Door verbeterde hygiëne, woningbouw en algemene kennis over volksgezondheid, verdwenen builenpest en vlektyfus uit Europa. De ontdekking van synthetische insecticiden zoals DDT en dieldrin in de tweede helft van de twintigste eeuw zorgden voor relatief goedkope en effectieve manieren van insectenbestrijding, inclusief de bestrijding van de vectoren van infectieziekten zoals malaria. In 1970 is Europa officieel vrij verklaard van malaria.

De klimaatverandering leidt tot een geleidelijke opwarming van de aarde en een stijging van de zeespiegel. Dit proces zal naar verwachting ook ingrijpende veranderingen in de verspreiding en

populatiedynamiek van insecten veroorzaken, inclusief de vectoren van infectieziekten. Door verhoogde temperaturen zullen insecten vroeger in het jaar uit hun winterslaap komen en tot later in het najaar actief blijven. Steekmuggen, die vaak als volwassen mug in holle bomen of beschutte plekken overwinteren, worden in april actief, en leggen hun eitjes in oppervlaktewater. De watertemperatuur bepaalt de ontwikkelingssnelheid. Bij verhoogde watertemperaturen als gevolg van klimaatverandering, gaat de ontwikkeling van insecten sneller, en kunnen de muggen meer generaties per jaar produceren.

Ook teken, die als eitje, larve of nimf overwinteren, worden steeds vroeger in het voorjaar actief en kunnen daardoor ook eerder bloed opnemen en hun ontwikkeling versnellen. Een eerste effect van klimaatverandering op insecten is dus een verandering in de timing van hun ontwikkeling – de zogenaamde fenologie – en hun voortplantingssnelheid. Insecten kunnen zich, kortom, goed aanpassen aan veranderingen in hun omgeving; ze profiteren er zelfs van door verhoogde reproductie en een toename in populatiedichtheid.

Nieuwe gasten

Een ander effect van klimaatverandering is de introductie en vestiging van exotische vectoren. Insecten die van nature voorkomen in de (sub)tropen, worden regelmatig aangetroffen in Europa, waar ze binnenkomen met handel, reizigersverkeer of zelfs met moessonwinden. Bekende voorbeelden hiervan zijn de vestiging van de Aziatische tijgermug, *Aedes albopictus*, en de knut *Culicoides imicola* in Italië. *Aedes albopictus* komt van oorsprong voor in Zuid-Oost Azië, maar heeft zich door handel in Zuid-Europa, Noord- en Zuid-Amerika gevestigd. Deze steekmug is niet alleen een ernstige plaag door haar bijtgedrag op mensen, maar is ook een vector van knokkelkoorts, chikungunya en andere vectorziekten. In Italië heeft deze



Door de opwarming schuiven knutten verder op naar het noorden. In Italië zorgen ze nu al regelmatig voor de uitbraak van de virusziekte blauwtong onder schapen.

mug zelfs een lokale epidemie van chikungunya veroorzaakt.

Culicoides imicola is een beruchte vector van het blauwtongvirus. Deze knut komt van nature voor in zuidelijk Afrika, maar kan met moessonwinden meegevoerd worden over de Middellandse Zee. Vanaf 1990 heeft deze mug zich in Italië gevestigd, waar het jaarlijks zorgt voor uitbraken van blauwtong onder schapen.

De vestiging van *Aedes albopictus* en *Culicoides imicola* in Zuid-Europa was mogelijk door het voor deze insecten gunstige klimaat: warme zomers en relatief milde winters. Onder het historische klimaat van Noordwest-Europa kunnen deze soorten zich niet handhaven in landen als Nederland, Denemarken of het Verenigd Koninkrijk. De voorspellingen uit de jongste klimaatmodellen suggereren dat dit in de toekomst wel eens zou kunnen veranderen, en dat ook in Nederland vestiging van exotische vectoren kan plaatsvinden.

Klimaatverandering kan dus leiden tot omstandigheden die de populaties van onze 'eigen', endemische bloedzuigende insecten gunstig zal beïnvloeden, maar die ook de introductie en vestiging van exotische vectoren mogelijk zal maken. Dat betekent niet automatisch dat de ziekteverwekkers die bij deze vectoren horen zich ook kunnen vestigen. Zij kunnen zich alleen in het insect ontwikkelen bij geschikte temperaturen. Een verhoging van de (zomer)temperatuur kan voldoende zijn voor de ontwikkeling van een ziekteverwekker in het insect, en een uitbraak van een vectorziekte. Voorbeelden hiervan zijn de uitbraak van blauwtong in Nederland en België in 2006 en chikungunya in Zuid-Frankrijk in 2011. Deze uitbraken waren mogelijk door een samenloop van omstandigheden die gunstig waren voor deze ziekten: aanwezigheid van relatief hoge populatiedichtheden van de vectoren, geschikte (hoge) temperatuur voor de ontwikkeling van het blauwtongvirus en het



De Aziatische tijgermug, een potentiële vector voor de virusziekte chikungunya.

chikungunya virus, en aanwezigheid van geschikte gastheren (schapen en koeien voor blauwtong; mensen voor chikungunya).

De voorbeelden van blauwtong en chikungunya tonen aan dat exotische vectorziekten zich onder gunstige klimaatsomstandigheden kunnen vestigen en verspreiden. Maar ook bestaande vectorziekten kunnen profiteren van klimaatverandering. De ziekte van Lyme, tekenencephalitis en het West Nile virus circuleren nu al in grote delen van Europa, waar ze lokaal, maar soms ook op grote schaal zorgen voor ernstige gezondheidsproblemen. Lyme en tekenencephalitis worden overgedragen door de schapeteek *Ixodes ricinus*. In ons land is deze teek overal aanwezig in natuurgebieden en tuinen. Ze is ieder jaar verantwoordelijk voor meer dan 25 duizend gevallen van de ziekte van Lyme. Tekenencephalitis komt voor in de Alpenlanden, Oost-Europa en Scandinavië, en wordt overgebracht door deze zelfde *Ixodes ricinus*.

Tekenovergedragen ziekten zijn dus endemisch in grote delen van Europa, maar het risico op overdracht is beperkt tot de zomermaanden. De vectorteken zijn inactief bij temperaturen beneden de 5 °C. Door de klimaatverandering zullen de risico's zich dus over een langere tijd in het jaar verspreiden.

Zelfs de 'gewone' huismug kan een grotere plaaggeest worden dan zij al is. De huismug *Culex pipiens* komt overal op het noordelijk halfrond voor, en overwintert vaak in woonhuizen, schuren en stallen. In Zuid-Europa is *Culex pipiens* de vector van het West Nile virus, dat is binnengekomen vanuit Oost-Afrika via trekvogels. Met virusgeïnfecteerde vogels besmetten steekmuggen, en deze muggen kunnen het virus vervolgens overbrengen op mensen. Uit recente onderzoeksresultaten blijkt dat het West Nile virus zich ook in Nederland kan vestigen, als de omstandigheden gunstig zijn.

Deze voorbeelden laten zien dat vectorziekten in Europa op grote schaal aanwezig zijn, en in enkele gevallen (ziekte van Lyme, tekenencephalitis, blauwtong) nu al grote problemen veroorzaken in de gezondheid van mens en dier. Bestrijding en preventie vindt nu – waar mogelijk – plaats met geneesmiddelen en vaccinaties. Voor de ziekte van Lyme is geen vaccin beschikbaar. Er wordt vooral gewerkt aan preventieve methoden die het contact tussen teek en mens verminderen en aan voorlichting die mensen er van doordringt zichzelf goed na te kijken op teken na bezoek aan natuurgebieden. Voor tekenencephalitis en blauwtong zijn vaccins beschikbaar, maar vaccinatie is kostbaar en moet periodiek herhaald worden.

Nieuwe vectorziekten

De (sub)tropen hebben een groot scala aan vectorziekten. Malaria is hiervan de belangrijkste, en de steekmuggen die malaria kunnen overbrengen komen ook in Europa voor. Toch is de kans dat malaria naar Europa terug zal keren niet heel groot.



Zowel de periode waarin teken actief zijn, als hun verspreiding en de mate van hun besmetting met de 'Lyme bacterie' *Borrelia* zijn in Nederland toegenomen.

De reden hiervoor is dat je een groot aantal mensen nodig hebt die met malaria besmet zijn om een epidemie mogelijk te maken. Bij het hoge niveau van de Europese gezondheidszorg worden patiënten met koorts snel opgespoord en behandeld. De kans dat malaria opnieuw endemisch zal worden in ons land is daardoor zeer klein.

Dat ligt anders voor ziekten die nooit eerder in Europa zijn aangetroffen. Het Rift Valley virus, het Oropouche virus en het Zika virus zijn hier voorbeelden van. Deze ziekten breiden zich buiten hun gebieden van natuurlijke oorsprong uit, en kunnen overspringen op nieuwe vectoren zoals steekmuggen of knutten als de omstandigheden gunstig zijn. Om uitbraken van deze nieuwe ziekten te voorkomen, is in Nederland een *early warning* systeem opgezet. Dit systeem wordt door het RIVM uitgevoerd en is erop gericht om snel exotische infectieziekten, inclusief vectorziekten, op te sporen en, indien mogelijk, te bestrijden.

Het is moeilijk te voorspellen hoe de inheemse hematofage insecten zich zullen gedragen onder klimaatverandering, maar simulatiemodellen voorspellen dat ze zich snel kunnen aanpassen en profiteren van de voor deze organismen gunstige omstandigheden. We moeten dus waakzaam zijn voor de binnenkomst van nieuwe vectorziekten, en tegelijk ook bestaande vectorziekten in de gaten houden. Klimaatverandering zal naar verwachting een groot effect hebben op inheemse en exotische vectorziekten en mogelijk voor een verandering in toekomstige gezondheidsrisico's gaan zorgen.

Klimaatvluchtelingen

SIGEO ALESANA en enkele leden van zijn familie uit Tuvalu, een eilandstaatje tussen Australië en Hawaï, zijn in 2014 de boeken in gegaan als de eerste officiële 'klimaatvluchtelingen' ter wereld. Dat wil zeggen: in de populaire pers. De online encyclopedie Wikipedia heeft inmiddels een lemma onder die titel, maar de officiële woordenlijst van de Nederlandse taal kent het woord klimaatvluchteling nog niet.

De betreffende mensen uit Tuvalu woonden al enige tijd in Nieuw Zeeland. Een deel van de familie had wel asiel gekregen, enkele andere niet. Bij een asielaanvraag in Australië kregen zij nul op het rekest, omdat klimaatvluchtelingen niet onder het Vluchtelingenverdrag van de VN vallen. In Nieuw Zeeland werd hun verzoek uiteindelijk

wel gehonoreerd. Klimaatverandering was één van de argumenten waarop zij hun aanvraag hadden ingediend, waarmee het novum was geboren.

Tuvalu is onderdeel van een atol in de Stille Oceaan. Veel van de eilanden in dit gebied liggen maar een paar meter of minder boven de zeespiegel. Het is dan ook de verwachting dat deze eilanden als eerste onleefbaar zullen worden wanneer de zeespiegel verder stijgt.

Los van de vraag of Alesano en zijn familie nu echt klimaatvluchtelingen waren, of dat zij slechts handig gebruik hebben gemaakt van een mogelijkheid tot gezinshereniging, zullen deze eerste klimaatvluchtelingen zeker niet de laatste zijn, verwacht onder andere de *Environmental Justice Foundation*. In hun rapport 'No Place Like Home.

Met de lage ligging, krijgt de archipel Tuvalu in de Grote Oceaan als een van de eerste landen problemen met de zeespiegelstijging.



Where next for climate refugees?, uit 2009, veronderstellen zij dat tussen nu en 2050 150 miljoen mensen ontheemd zullen raken. Het internationale klimaatpanel van de VN, het IPCC komt met vergelijkbare schattingen.

Juridisch kader

Waar het juridisch kader voor Alesano en zijn familie nog wat pragmatisch was, is het duidelijk dat na deze eerste klimaatvluchtelingen hoe dan ook nog velen zullen volgen. De Verenigde Naties zullen daar op de een of andere manier ook consequenties aan moeten verbinden. Nu is een vluchteling, zoals vastgelegd in het Vluchtelingenverdrag van de VN uit 1951, iemand die 'vanwege een gegronde vrees voor vervolging wegens zijn ras, godsdienst, nationaliteit, het behoren tot een bepaalde sociale groep of zijn politieke overtuiging zich buiten het land bevindt waarvan hij de nationaliteit bezit en niet in staat is of, vanwege deze vrees, niet bereid is een beroep te doen op de bescherming van dat land.' Naast vluchtelingen kent de VN ook 'ontheemden', bijvoorbeeld via de *Guiding Principles on Internal Displacement*. Als het internationaal niet haalbaar zou zijn om het vluchtelingenverdrag aan te passen, bieden die richtlijnen wellicht een handvat om de groeiende groep slachtoffers van overstromingen, orkanen, droogtes en ander extreem weer te hulp te schieten. Want de klimaatmodellen laten in al die gevallen een toename zien.

Niet nieuw

Overigens is de term 'klimaatvluchteling' voor organisaties als het internationale Rode Kruis en



ook de internationale Rode Halve Maan helemaal niet nieuw. In hun *Word Disaster Report* uit 2001 schatten zij het aantal mensen dat op de vlucht is voor extreem weer op dat moment al hoger in dan het aantal oorlogsvluchtelingen. In 2007 werd het aantal klimaatvluchtelingen geschat op 25 tot 50 miljoen.

Rob Buiter

Op Tuvalu komt nu al regelmatig wateroverlast voor.



Dat het klimaat verandert staat vast. Dat de zeespiegel stijgt en het Nederlandse weer grilliger wordt ook. Maar hoe lang nog kunnen we de gevolgen daarvan opvangen? ‘Voor ons land biedt de klimaatverandering ontegenzeggelijk ook kansen’, zegt drs. Willem Ligtvoet van het Planbureau voor de Leefomgeving. ‘In veel andere landen zal de verandering tot grotere problemen leiden’, benadrukt zijn collega ir. Marijke Vonk.

6 Kosten en kansen van klimaatverandering

■ INTERVIEW: ROB BUITER

OP VERJAARDAGSFEESTJES is het een veel gehoorde mening: 'Laat die klimaatverandering maar komen, het wordt er bij ons alleen maar lekkerder op!' We zien blijkbaar ook voordelen van de klimaatverandering. Ook in een recent rapport van het PBL (Planbureau voor de Leefomgeving, de overheidsinstantie die voor het Rijk het natuur-, milieu- en ruimtebeleid analyseert) schrijven de programmaleider Water, Ruimte en Klimaat, drs. Willem Ligtvoet en collega's opvallend nuchter over de gevolgen van het veranderende klimaat voor Nederland. 'Natuurlijk, Nederland zal als een typisch deltaland de nodige kosten moeten maken om bijvoorbeeld de stijgende zeespiegel bij te kunnen houden. Maar de klimaatverandering biedt ook kansen.'

De kansen waar Ligtvoet over spreekt zijn tweeledig. Nederland is een kennis- en exportland. Na de orkaan Katrina in 2005 werden bijvoorbeeld Nederlandse ingenieurs ingeschakeld in New Orleans om waterkeringen te bouwen. En ook na de orkaan Sandy, die New York in 2012 teisterde, kwamen Nederlandse ingenieurs in actie om klimaatbestendige maatregelen te bedenken. Maar de weg- en waterbouwers zijn niet de enigen die, Hollands gezegd, munt kunnen slaan uit de gevolgen van het veranderende klimaat. Ligtvoet: 'Ook voor

de landbouw zijn er extra kansen. Sommige teelten in zuidelijke landen zullen steeds moeilijker worden omdat het daar te droog of te warm wordt. Dat biedt dus extra mogelijkheden voor de Nederlandse agrarische industrie. Zo wordt er inmiddels ook al soja en druiven voor wijn geteeld in ons land. En ook het toerisme zou kunnen profiteren. De kansen op een Elfstedentocht worden weliswaar kleiner, maar de kansen op warme zomers lijken toe te nemen. Dat zou Nederland toeristisch gezien aantrekkelijker kunnen maken. Daarnaast zullen ook de kosten voor verwarming afnemen.'

Vooruitdenken

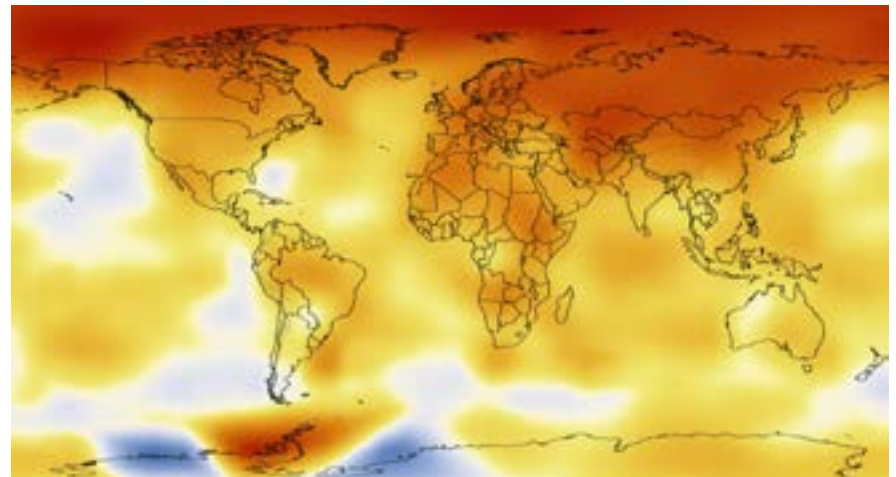
Ligtvoet benadrukt dat Nederland nu al moet nadenken over de risico's van klimaatverandering en hoe die te bestrijden. 'Wanneer je bouwt aan de infrastructuur van ons land, kun je rekening houden met de temperaturen en de neerslag van nu, of je kunt alvast vooruitdenken over het klimaat dat wordt voorspeld. Warmer weer vraagt misschien andere maatregelen vanwege het krimpende en uitzettende metaal van bijvoorbeeld bruggen, en extreme neerslag vraagt extra maatregelen bij het bouwen van tunnels. We hebben nú de kans om dat soort maatregelen te nemen bij de infrastructuur die nu wordt gebouwd of gepland. Dat soort

grote infrastructurele werken leg je voor tientallen jaren neer, dus dan moet je ook verder vooruitdenken.’

Ook in de steden- en huizenbouw moet anders worden gepland, stelt Ligtvoet. ‘Een van de belangrijke problemen daarbij is de toename van hittestress in de steden. We zullen goed moeten nadenken over het koelen van huizen, om pieken in de sterfte in de zomer te voorkomen. Ook onze steden zullen we anders moeten inrichten. Steden zijn zogenoemde ‘hitte-eilanden’, die al gauw enkele graden warmer zijn dan de omgeving. Dat soort effecten kun je voor een deel beperken door meer groen in de steden te plannen.’

Scenario's

Bij het plannen van het overheidsbeleid houdt ons land de klimaatscenario's van het KNMI in De Bilt aan. Die heeft in 2014 de scenario's voor het laatst geactualiseerd (zie box op p. 6). Daarbij wordt gewerkt met vier verschillende klimaatscenario's. Al die scenario's rekenen voor dat de winters in ons land minder koud en fors natter worden. De zomers worden volgens alle beschikbare modellen warmer en volgens de meeste waarschijnlijk ook droger. Er zullen meer en langere hittegolven



De gemeten opwarming tussen 1999 en 2008 ten opzichte van de gemiddelde temperatuur tussen 1940 en 1980 (rood = 2 graden opwarming, geel = 1 graad, blauw is 1-2 graden afkoeling).

Met zandsuppleties versterken wij onze kust.

optreden. Bovendien zal er vaker ‘extreem weer’ optreden: hevige regenbuien in de zomer met vaker hagel en onweer. De hoeveelheid zeespiegelstijging verschilt in de vier gebruikte scenario's, maar dát de zeespiegel stijgt staat in alle modellen als een paal boven water. Het Internationale Klimaatpanel van de VN, het IPCC, rekent nu met gemiddeld 2 tot 4 graden wereldwijde temperatuurstijging aan het eind van deze eeuw, waarbij de zeespiegel wereldwijd tot 82 centimeter zou kunnen stijgen.

Net als het weerbericht hebben alle klimaat-scenario's een aanzienlijke onzekerheidsmarge. ‘Maar’, zegt Ligtvoet, ‘tegelijk moet je je realiseren dat we de afgelopen decennia al een gemeten opwarming hebben en ook een gemeten zeespiegelstijging en toename van extreem weer. Het is dus zeker niet zo dat we alleen maar varen op onzekere toekomstvoorspellingen. De veranderingen die al langer werden voorspeld zien we nu ook concreet gebeuren.’

Risico's

Het grootste risico dat ons land als delta van Rijn en Maas aan de Noordzeekust loopt, heeft uiteraard te maken met water. In het ‘Deltaprogramma’

heeft de overheid beschreven wat zij wil doen om die risico's op te vangen. Een overstroming is uiteraard nooit voor 100% uit te sluiten, maar het Delta-programma stelt dat de kans nergens in Nederland

hoger zou moeten zijn dan eens in de 100.000 jaar om te overlijden als gevolg van een overstroming. Op plaatsen waar veel slachtoffers zouden kunnen vallen, of waar kostbare infrastructuur aanwezig is,

Dijken verhogen en 'steenbreken'

De Deltacommissie onder leiding van deltacommissaris Wim Kuijken adviseert de overheid wat te doen om ons land veilig te houden tegen het wassende water. Traditioneel is de reflex van ons land na problemen of 'bijna-problemen': dijken bouwen. Zo zijn na de watersnood van 1953 de deltawerken gekomen en is na een watersnood in 1916 de Afsluitdijk van de tekentafel gerold. Sinds 1995, toen de Betuwe dreigde vol te lopen met rivierwater, worden de plannen iets minder traditioneel. Toen kwam de overheid met het plan 'Ruimte voor de Rivieren'. In plaats van het water op te sluiten of buiten te houden, werd besloten het water meer natuurlijke ruimte te geven in het geval van extreem hoge afvoer van de Rijn of de Maas.

In het voorjaar van 2015 gaf Kuijken ook de aftrap voor een wellicht onverwachte strategie om waterproblemen te voorkomen: hij haalde bij de opening van de Nationale Tuinweek een tegel uit een tuin om daar een plant voor terug te zetten. De idee erachter is eenvoudig: tuinen met veel tegels of stenen nemen geen water op in de bodem, maar voeren het bij hevige buien meteen af naar het riool. Daardoor wordt dat riool bij de steeds vaker voorkomende stortbuien ook vaker overbelast, en lopen de straten vaker onder.

Die vergroening, of liever: die 'ontstening' van de Nederlandse tuinen is ook het idee achter de 'Operatie Steenbreek', een plan van de gemeenten Groningen, Leeuwarden, Den Haag, Amersfoort, Eindhoven en Maastricht. Uit onderzoek blijkt dat Nederland, grof geschat, 150 duizend hectare tuinen heeft.



Potentieel is dat een enorm areaal natuur, waar bij buien een hoop water in kan verdwijnen. Maar datzelfde onderzoek laat zien dat in sommige delen van die gemeenten tot meer dan een derde van die tuinen 'versteend' is.

Behalve overbelasting van het riool zorgen versteende tuinen ook voor extra opwarming van het stedelijk milieu. Steden zijn al notoire hitte-eilanden, die in de zomer meerdere graden warmer zijn dan de omliggende gebieden. Die extra opwarming kan worden bestreden door meer groen in de steden aan te leggen. Verder dragen groene tuinen bij aan de biodiversiteit in de steden. Bij het lichten van de tegel in de Tuinweek 2015 stelde Deltacommissaris Kuijken dat het vergroenen van tuintjes weliswaar per tuin een bescheiden bijdrage is, maar dat alle tuinen samen wel degelijk een substantiële bijdrage kunnen leveren aan het tegengaan van de negatieve effecten van de klimaatverandering.

daar wordt die kans zelf nóg lager gehouden, ofwel: daar wordt nóg meer geïnvesteerd om de mogelijke overstromingen en de klimaatverandering het hoofd te bieden.

De zeespiegel is de afgelopen eeuw al met circa 20 cm gestegen en er is voor de Nederlandse kust nog geen versnelling waargenomen. Als dit wel het geval zou zijn en de snelheid van de zeespiegelstijging zou substantieel toenemen, dan gaat dit forse extra investeringen vragen. 'Maar naar alle waarschijnlijkheid zijn die investeringen, zoals het er nu uitziet, voor Nederland te overzien', zegt Ligtvoet. 'In het Deltaprogramma van de overheid is becijferd dat ons land tot 2028 17 miljard moet investeren. Dat is natuurlijk een fors bedrag, maar als je het uitdrukt in kosten per hoofd van de bevolking per jaar, dan kom je uit op rond de vijftien euro per persoon per jaar. Dat is een bescheiden verzekeringspremie', stelt Ligtvoet met gevoel voor understatement. 'Het Nederlandse veiligheidsbeleid is inderdaad behoorlijk efficiënt.'

Behalve de investeringen van de rijksoverheid, moeten ook gemeenten en private partijen zoals projectontwikkelaars en grote internationale bedrijven investeringen doen om de klimaatverandering het hoofd te bieden. 'Binnen het onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat is eens voor een honderdtal uiteenlopende projecten geanalyseerd wat het rekening houden met klimaatverandering dan in de praktijk betekent. In veel gevallen bleek het budgettair helemaal geen of slechts geringe consequenties te hebben. Als al in de planning en het ontwerp van projecten rekening gehouden werd met klimaatverandering bleek dat in veel gevallen nauwelijks tot extra kosten te leiden.', aldus Ligtvoet.

Van woonboot naar watervilla

Wonen op het water is al eeuwenoud, maar dankzij de klimaatverandering heeft het een nieuwe impuls gekregen. Onder andere vanwege de verwachte toename van hevige regenval moeten planologen bij de stedenbouw meer en meer rekening houden met waterberging. Die berging kan in de vorm van bijvoorbeeld een min of meer natuurlijk meer worden aangelegd in nieuwe woonwijken, maar steeds meer steden ontdekken dat je 'op' die waterberging net zo goed huizen kunt bouwen. De zes 'drijvende kavels' in de Delftse wijk Harnaschpolder zijn daar een goed voorbeeld

van. Daar zijn complete villa's van meerdere verdiepingen op betonnen bakken gebouwd. 'De architectuur en de techniek zijn niet meer de beperking', zegt de Delftse ingenieur Rutger de Graaf van het adviesbureau Deltasync, dat onder andere adviseert bij drijvend bouwen. 'De belangrijkste beperking zit in het aantal beschikbare bouwlocaties. Gemeenten moeten er blijkbaar nog aan wennen dat je waterberging kunt combineren met woningen. Maar de noodzaak en ook de vraag worden alleen maar groter.'



Internationale klimaatsamenwerking

WAAR DE Nederlanders een 'verzekeringspremie van vijfenzeftig euro per persoon per jaar' moeten opbrengen, zijn de problemen elders op de wereld een stuk groter, beaamt ir. Marijke Vonk, beleidsonderzoeker bij de sector Water, Landbouw en Voedsel van het PBL. 'Weliswaar is de gemeten temperatuurstijging groter op meer noordelijke breedtegraden, maar tegelijk zijn de effecten in landen rond de evenaar vaak groter. Bovendien zijn veel van deze landen kwetsbaarder in termen van middelen, sociaal-economische ontwikkeling en stabiliteit. Dat bepaalt in hoge mate hoe mensen en landen op klimaatverandering

kunnen reageren'. De Wereldbank heeft al in 2010 een studie gedaan naar de economie van klimaatadaptatie (zie het kader op de volgende pagina). Uit die studie bleek heel duidelijk dat veel landen en regio's een tekort hebben op hun klimaatbalans. Zij kunnen de kosten nu niet opbrengen om de risico's af te dekken.

De grootste concrete zorgen voor de wereldgemeenschap spelen in delta's. Waar Nederland een deltaplan heeft opgesteld om de stijgende zeespiegel tegen te houden, wordt ook in internationale samenwerking een deltaplan opgesteld voor bijvoorbeeld Bangladesh. Ligtvoet: 'Zoals wij in de delta wonen van Rijn en Maas, ligt Bangladesh in de grootste delta van de wereld, die van de Ganges. Het spreekt voor zich dat de problemen die wij ondervinden in het niet vallen bij de

Wateroverlast in de delta van de Ganges is een stuk lastiger te voorkomen dan in de delta van Rijn en Maas.



De economie van de klimaatverandering

In het rapport *Economics of Adaptation to Climate Change*, beschreef de Wereldbank in 2010 de boekhouding achter het opvangen van de klimaatverandering. In 2007 hadden de leden van de VN op Bali al een plan opgesteld waarbij ontwikkelde landen werden opgeroepen om substantiële financiële middelen ter beschikking te stellen aan de ontwikkelende economieën, om hen te helpen bij het opvangen van de klimaatproblemen. Tegelijk constateert de Wereldbank dat er eigenlijk maar één echt goede manier is om de gevolgen te kunnen dragen, en dat is economische ontwikkeling. Het maakt extra middelen beschikbaar en maakt de meest kwetsbare landen ook minder afhankelijk van de sector die het hardst getroffen zal worden door de klimaatverandering: de landbouw. Wereldwijd schat de Wereldbank

dat er tussen 2010 en 2050 tot 100 miljard dollar per jaar nodig zal zijn om de wereld te wapenen tegen een temperatuurstijging van 2 graden. Een groot bedrag, maar tegelijk is dit minder dan 0,2 % van het Bruto Internationaal Product van de wereld-economie.

De achilleshiel van dit verhaal zit volgens de Wereldbank niet eens zozeer in het bouwen van bescherming tegen de stijgende zeespiegel, maar vooral in de beschikbaarheid van voldoende zoetwater. En dat is een probleem dat maar voor een deel samenhangt met de klimaatverandering. Zelfs als het klimaat niet verder verandert zal een eerlijke verdeling van zoetwater al zoveel politieke problemen kunnen veroorzaken, dat dit de mogelijke samenwerking bij het aanpakken van de klimaatproblemen ernstig zal bemoeilijken.

problemen in die regio. Niet alleen is de waterafvoer daar vele malen groter, ook de internationale samenwerking tussen landen als India en Bangladesh is zacht gezegd niet zo soepel als die tussen de landen in het stroomgebied van de Rijn en de Maas, om nog maar te zwijgen van de economische mogelijkheden om problemen het hoofd te bieden.'

Behalve uit internationale solidariteit, is samenwerking op het gebied van klimaatadaptatie ook een nuchtere kwestie van eigenbelang, stelt Vonk. 'De globalisering heeft geleid tot intensieve internationale handelsrelaties. Wanneer regio's

elders in de problemen komen, zal dat vroeg of laat de rest van de wereldgemeenschap ook raken. Of dat nu in humanitaire of economische zin is. Het World Economic Forum stelt in zijn recente analyse van de wereld-economie dat het falen van adaptatie aan klimaat op mondiale schaal één van de grootste risico's voor het economisch systeem is (zie het kader rechts). Ook vanuit dat oogpunt is het belangrijk om internationaal samen te werken op het gebied van klimaatverandering.'

Hoe lang gaat het goed?

Hoe lang de wereldgemeenschap nog in staat zal zijn om de gevolgen van het veranderende klimaat op te vangen hangt van veel factoren af, zeggen de PBL-onderzoekers. Allereerst hang het af van concrete veranderingen van het klimaat in de komende eeuwen. Gaat dit om twee of vier graden tot het eind van deze eeuw? En wat gebeurt daarna? 'Met technologie valt in principe een hoop op te lossen', stelt Vonk vast. 'Alleen de vraag is: welke risico's vinden we acceptabel en in hoeverre zal de internationale samenleving in staat zijn de benodigde maatregelen te financieren en te organiseren?'

'Daarnaast moet je ook de effecten van bodemdaling niet uitvlakken', stelt Ligtvoet. 'Behalve een stijgende zeespiegel door het opwarmende klimaat, hebben veel deltagebieden ook te maken met een dalende bodem door het onttrekken van water voor drinkwaterproductie en ontginning van veengebieden. Die bodemdaling gaat soms vele malen harder dan het stijgen van de zeespiegel.'

Het World Economic Forum stelde in 2015 twee lijstjes op van mondiale risico's; één top-tien naar waarschijnlijkheid en één naar impact.



Waarschijnlijkheid

1. Internationale conflicten
2. Extreem weer
3. Falend nationaal bestuur
4. Falende staat
5. Werkeloosheid
6. Natuurrampen
- 7. Falende aanpassing aan klimaatverandering**
8. Watercrises
9. Datadiefstal
10. Cyberaanval

Impact

1. Watercrises
2. Besmettelijke ziekten
3. Massavernietigingswapens
4. Internationale conflicten
- 5. Falende aanpassing aan klimaatverandering**
6. Energieprijsschok
7. Uitval cruciale informatie-infrastructuur
8. Belastingcrises
9. Werkeloosheid
10. Biodiversiteitsverlies

Epiloog: Wat nu?

De tragedie van de meent toegepast op klimaatverandering

IN DIT cahier zijn diverse gevolgen van klimaatverandering in kaart gebracht. De achttiende-eeuwse verlichtingsfilosoof Immanuel Kant onderscheidde vier vragen die elke volwassen mens zou moeten beantwoorden: Wat kan ik weten? Wat moet ik doen? Wat mag ik hopen? Wie is de mens? De eerste drie vragen van Kant kunnen ook worden gesteld bij de verandering van het klimaat.

Wat kan ik weten?

Vanuit wetenschappelijk gezichtspunt bezien is klimaatverandering een uitzonderlijk ingewikkeld en interdisciplinair probleemveld. Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), in 1988 opgericht door de Verenigde Naties en de World Meteorological Organization, heeft evenwel goede en onbevooroordeelde overzichten geproduceerd van de stand van de wetenschap. Zogenoemde klimaatsceptici beschuldigen het IPCC nog wel van allerlei vooroordelen, maar in feite is het IPCC terughoudend in zijn formuleringen.

Buiten kijf staat dat het huidige CO₂-gehalte in de lage atmosfeer van ongeveer 400 ppm (deeltjes per miljoen) aanzienlijk hoger is dan het in de afgelopen 800 duizend jaar is geweest. Tot 1850 kwam het niet boven de 300 ppm. Deze stijging van het CO₂-gehalte is grotendeels veroorzaakt door menselijke activiteiten, zoals het opstoken van fossiele brandstoffen door een snel groeiende wereldbevolking, ontbossing en veeteelt. De toename van CO₂ is volgens het IPCC de belangrijkste oorzaak van de gemiddelde temperatuurstijging van inmiddels bijna 1 graad bij het aardoppervlak

sinds 1880. Het causale verband kan niet worden omgekeerd. De temperatuurstijging van de afgelopen eeuw is zowel te klein als te kortdurend om een aanzienlijke toename van het CO₂-gehalte te kunnen veroorzaken. Ook de oceanen warmen meetbaar op en verzuren door CO₂-opname.

Op grond van de verschillende klimaatscenario's wordt verwacht dat, wanneer de menselijke uitstoot van broeikasgassen niet drastisch wordt verminderd, de gemiddelde temperatuur op aarde in 2100 tussen de 2,5 en 7,8 graden gestegen zal zijn ten opzichte van het gemiddelde tussen 1850 en 1900. Ter vergelijking: de gemiddelde temperatuur tijdens de laatste ijstijd was slechts 5 tot 6 graden lager dan nu. Relatief kleine gemiddelde temperatuurverschillen kunnen dus een totaal andere toestand op aarde veroorzaken. Volgens recente voorspellingen zou de huidige opwarming rond 2065 een stijging van het zeeniveau van drie meter kunnen veroorzaken.

Wat moeten we doen?

Tijdens de – grotendeels mislukte – klimaatconferentie te Kopenhagen in 2009 werd op het laatste moment het 'akkoord' bereikt dat de mensheid de opwarming van de aarde zou moeten beperken tot maximaal 2 graden. Volgens nogal wat wetenschappelijke experts is deze limiet aan de hoge kant en houdt ze grote risico's in, met name van zeespiegelstijging. Toch vraagt ook deze beperking al om een snel en fundamenteel afscheid van de *business as usual*.

Kant formuleerde zijn tweede filosofische hoofdvraag als 'Wat kan ik doen?'. Maar zoals de



'Zolang de producenten van fossiele brandstoffen niet financieel worden gecompenseerd voor klimaatmaatregelen, zal de winning van die brandstoffen door blijven gaan.'

Amerikaanse econoom William Nordhaus al eens opmerkte is het niet alleen voor individuele personen lastig iets te doen aan aardse opwarming. Zelfs individuele landen kunnen relatief weinig uitrichten wanneer het er om gaat klimaatverandering te voorkomen. Voor die individuen en individuele landen past slechts aanpassing aan klimaatveranderingen wanneer die onvermijdelijk zijn geworden: de zogenaamde adaptatie. Voor veel landen en bevolkingsgroepen zal adaptatie echter ondoenlijk zijn wanneer de productie van broeikasgassen en daarmee de opwarming niet snel en grotendeels wordt voorkomen. Uiteindelijk kan dat zelfs voor

rijke landen gaan gelden. Wij Hollanders zijn misschien goed in het bouwen van dijken, maar wanneer het zeeniveau tientallen meters zou stijgen heeft ook dijkbouw voor ons geen zin meer.

Omdat het opstoken van fossiele brandstoffen diep geworteld is in de economieën van alle geïndustrialiseerde landen, zullen deze landen hecht moeten samenwerken om opwarming van de aarde te voorkomen. De enige manier om dit te bereiken is een spoedige en drastische reductie van de uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen. Gemiddeld produceert elke burger van de VS nu per jaar meer dan twintig ton CO₂-equivalenten.

Dit zou wereldwijd moeten worden gereduceerd tot hoogstens twee ton per persoon per jaar in 2050.

Economen als Stern en Nordhaus hebben in kaart gebracht hoe de wereldbevolking de uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen drastisch kan beperken en hoe dit het beste kan gebeuren. De schade door CO₂-uitstoot is nu niet in de marktprijs van die brandstoffen verrekend. In abstracto is de oplossing van dit probleem eenvoudig: hef wereldwijd een bronbelasting van tussen de 40 en 100 euro per ton uitstoot, of voer een goed werkend systeem van emissiehandel in, waarbij elk land emissierechten krijgt die gemiddeld aanzienlijk minder zijn dan de huidige uitstoot. Daardoor zullen niet-fossiele vormen van energieopwekking goedkoper worden dan het opstoken van fossiele brandstoffen. De kosten hiervan zijn waarschijnlijk niet hoger dan zo'n 1 tot 5 procent van het wereldwijde BNP. Ook technisch gesproken zijn fossiele brandstoffen vervangbaar voor de energieproductie. Maar gaan deze maatregelen ook genomen worden, bijvoorbeeld later dit jaar tijdens de klimaatop in Parijs?

Wat mogen we hopen aangaande klimaatverandering?

Het lijkt extreem onwaarschijnlijk dat de mensheid erin zal slagen een rampzalige opwarming van het klimaat te voorkomen. De moeilijkheden om de genoemde maatregelen effectief en wereldwijd in te voeren zijn namelijk immens. Het recente initiatief van Obama is weliswaar bemoeigend, maar van de benodigde écht buitensporige inzet is tot op heden niets te merken bij Poetin, Narendra Modi, Xi Jinping of Rutte. Ook de track-record van de klimaatonderhandelingen in het verleden, van Kyoto tot Kopenhagen geeft weinig hoop.

Er zijn verschillende moeilijkheden en obstakels. Het wordt immers onwaarschijnlijker dat we een

uitdaging het hoofd kunnen bieden naarmate we haar meer onderschatten. Het gebruik van fossiele brandstoffen is diep verweven met onze economie. Dit was anders bij de drijfgassen die de ozonlaag aantastten. De productie van die cfk's vond slechts plaats in een beperkt aantal fabrieken en kon daarom gereguleerd worden door één, relatief eenvoudig internationaal verdrag: het Montreal Protocol van 1989. Door de diepe economische verwevenheid is het veel moeilijker het gebruik van fossiele brandstoffen terug te dringen dan dat van cfk's. Bovendien worden fossiele brandstoffen wereldwijd nu nog gesubsidieerd met 400 tot 600 miljard dollar per jaar. De groei van de wereldbevolking en het toegenomen gebruik van steenkool hebben de emissies van CO₂ ook de afgelopen jaren sterk doen stijgen.

Voorts is de relatie tussen oorzaak en gevolg bij klimaatverandering ten gevolge van uitstoot van broeikasgassen gefragmenteerd en indirect, waardoor mensen zich zelden verantwoordelijk voelen voor dit probleem. Elk individu draagt slechts een minuscule fractie bij aan klimaatverandering door auto te rijden, vlees te eten of op vliegvakantie te gaan. Bovendien is er een grote afstand in tijd en plaats tussen oorzaak en gevolg. Wij verstoken hier en nu fossiele brandstoffen, maar de gevolgen zijn misschien pas merkbaar voor onze (klein)kinderen en misschien ook vooral aan de andere kant van de wereld. Tenslotte bemoeilijkt de verdeling van de rijkdom een oplossing van het probleem. De rijke landen veroorzaakten de grootste uitstoot van broeikasgassen tot nu toe, terwijl op relatief korte termijn arme landen de grootste schade lijden. De rijke landen zullen dit nooit officieel erkennen uit angst verantwoordelijk gesteld te worden voor de schades. En de arme landen willen uiteindelijk net zo rijk worden als de rijke.

Individueel versus algemeen belang

Met zijn Tragedy of the Commons, liet de Ame-



‘De tragedie van de meent’ beschrijft hoe een individu, zoals één koeienboer, overmatig kan profiteren van gemeenschappelijke voorzieningen, terwijl hij daar de gemeenschap als geheel mee schaadt.

rikaanse ecooloog Garret Hardin in 1968 zien dat het voor elk individu of land op korte termijn veel winstgevender is om te profiteren van gemeenschappelijk bezit, dan bij te dragen aan het behoud ervan op langere termijn. De boer die te veel koeien laat grazen op de ‘meent’, de gemeenschappelijke dorpswei, maakt uiteindelijk die wei kapot door overbegrazing. Op korte termijn profiteert de boer hiervan. Op langere termijn lijden alle dorpsgenoten. Doordat de afstand tussen oorzaak en gevolg bij klimaatverandering in tijd en plaats nog groter is wordt het probleem nog moeilijker oplosbaar. Het gaat hier niet om dorpsbewoners die elkaar kennen en kunnen aanspreken, maar om de anonieme wereldbevolking in haar geheel. Het wordt voor elk land en elke generatie uiterst verleidelijk zelf te profiteren van de voordelen van het fossiele brandstofgebruik. De kosten van mitigatie schuiven we makkelijk door naar een ander land of naar een volgende generatie. Dergelijk profiteren van publiek bezit zonder bij te dragen

aan de kosten ervan is een groot probleem in de klimaatdiscussie. De bestaande klimaatverdragen bevatten geen effectieve strafbepalingen voor profiteurs, om de eenvoudige reden dat vrijwel alle onderhandelingspartners zulke profiteurs zijn.

Maar stel nu eens dat een redelijk aantal verstandige landen besluit de consumptie van fossiele brandstoffen drastisch te verminderen. Zal dit helpen ter voorkoming van de opwarming? Niet of nauwelijks, zegt de Duitse econoom Hanns-Werner Sinn in zijn boek *Das grüne Paradoxon*. De reden is relatief eenvoudig. Landen die fossiele brandstoffen produceren, zoals Rusland, zullen niet graag zien dat hun aanzienlijke inkomsten door vraagvermindering wegvallen. Daarom zullen ze, zodra de vraag ergens minder wordt, de prijs zoveel verlagen dat de vraag elders weer aantrekt. Toen de Europese Unie bijvoorbeeld aankondigde het gasgebruik te verminderen, besloot Poetin onmiddellijk meer gas te gaan leveren voor een wat lagere prijs aan China. Sinn concludeert dat de aankondiging van de EU de klimaatverandering aan te pakken impliciet de verandering daarmee alleen maar heeft versneld: de ‘groene paradox’. Een houdbaar en effectief klimaatverdrag zal de fossiele brandstofproducerende landen dan ook schadeloos moeten stellen, omdat deze landen het verdrag anders niet zullen ondertekenen.

Er zijn nog diverse andere problemen op de weg naar een effectieve aanpak van het klimaatprobleem: van het kortetermijndenken van politici tot de scepsis die wordt gevoed door bedrijven en hun lobbyisten. Laten we hopen dat de belangrijkste landen op zeer korte termijn effectief gaan samenwerken om de productie van broeikasgassen drastisch te verminderen. Het is de grootste uitdaging waarvoor de mensheid nu staat.

Herman Philipse

‘Dit was boven alles een rechtszaak van hoop’

VÓÓR 24 juni 2015 gaf bijna niemand een cent voor de kansen van actiegroep Urgenda. Met een rechtszaak wilden Urgenda en bijna 900 particuliere mede-eisers de staat dwingen om meer te doen tegen de uitstoot van broeikasgassen. Maar sinds die bewuste woensdag liggen de kaarten ineens anders. De rechter stelde, tegen de verwachtingen van vriend en vijand in, dat Urgenda helemaal in haar recht staat om van de staat te eisen dat er meer moet gebeuren om de klimaatverandering aan te pakken. Vóór 2020 moet de staat dan ook tenminste 25% minder broeikasgassen uitstoten dan in 1990, stelde de rechter.

‘Dit was geen zaak over de wetenschap achter de klimaatverandering’, zegt Urgenda-directeur Marjan Minnesma. ‘Beide partijen waren het namelijk eens over de uitgangspunten. Sterker nog, 195 landen, én het Intergovernmental Panel on Climate Change zijn het sinds 2007 al eens over de rol van onze uitstoot van broeikasgassen in de opwarming van ons klimaat! Nederland heeft eerder al aanvaard dat we fors minder broeikasgassen zouden moeten uitstoten. De kans dat een beperking van 25 tot 40 % in 2020 ten opzichte van 1990 genoeg is om de opwarming tot 2 graden te beperken is twee derde. Moet je nagaan: zou jij over een brug lopen als de ingenieurs daar een bordje bij hebben gezet dat er een kans is van een derde dat die brug instort? Of anders gevraagd: zou je je kind er overheen laten lopen?’

Het juridische handvat dat Urgenda met 900 paar handen aanpakte was dat van de ‘onrechtmatige daad’. De rechter gaf de staat op dit punt echt een enorme draai om de oren, stelt Minnesma. ‘De landsadvocaat betoogde onder andere dat het maar een minimaal effect heeft op de wereldwijde uitstoot, als Nederland minder gaat uitstoten. Maar de rechter stelde dat geen enkel land, klein of groot – zeker niet de landen die tot nu toe het meest hebben uitgestoten en het meest hebben geprofiteerd van de fossiele brandstoffen – zich





kan verschuilen achter dat argument. Ieder land zal zijn eigen deel moeten doen. Dat was ooit de reden om een klimaatverdrag te sluiten. Vandaar dat de rechter dus tenminste 25% reductie oplegde.'

Naast applaus en tranen in de rechtszaal barstte daarbuiten ook kritiek los. Had het democratisch gekozen parlement niet eerder een motie om tot meer maatregelen te komen met een ruime meerderheid verworpen? Minnesma trekt op die kritiek een boude vergelijking. 'In de jaren dertig van de vorige eeuw werd ook Hitler democratisch gekozen. Met onze trias politica hebben wij ervoor gezorgd dat de rechter ons kan en moet beschermen, ook tegen de staat wanneer die aantoonbaar niet voldoende doet om haar burgers te beschermen.'

Sneeuwbal

Het eerste grote effect van de uitspraak in deze 'Klimaatzaak' lijkt de internationale sneeuwbal die aan het rollen is geslagen. Minnesma: 'Van mensen bij de bakker bij mij op de hoek, tot mails uit Australië aan toe, van iedereen krijgen we felicitaties en

bedankjes dat we deze zaak hebben aangespannen. En belangrijker nog: er zijn nu veel meer actiegroepen over de hele wereld die nu zaken aanspannen tegen hun regering. Alle stukken die wij hebben gebruikt hebben we dan ook in het Engels vertaald op onze website gezet. Die mag iedereen gebruiken om een civiele zaak te beginnen tegen zijn of haar regering wegens onrechtmatig handelen.'

Inmiddels is duidelijk geworden dat het kabinet in beroep gaat tegen de uitspraak in de Klimaatzaak, vooral omdat zij wil weten hoe ver de macht van de rechter nu eigenlijk reikt. Wel zal de staat gehoor geven aan de eis van de rechter om 25% te reduceren voor 2020. 'En dat is natuurlijk ook prima haalbaar', benadrukt Minnesma. 'Tot 2010, onder minister Cramer, gold nota bene nog een doel van -30% in 2020. De inzet van Nederland binnen de EU is zelfs -40% in 2030. Wij hebben in 2014 een rapport uitgebracht waarin we laten zien dat het zelfs heel goed mogelijk is om in 2030 100% beperking te bereiken. Je kunt huizen energie-neutraal maken, het vervoer elektrisch maken, windenergie opschalen, kolencentrales eruit ...'

'Los van de getallen was dit vooral een rechtszaak van hoop', stelt Minnesma. 'Heel veel "gewone mensen" hebben zich door deze uitspraak gerealiseerd dat er wel degelijk vooruitgang mogelijk is. Wie wil helpen de volgende generaties te beschermen tegen de gevolgen van klimaatverandering heeft met deze uitspraak ineens iets tastbaars in handen.'

Rob Buiter

Nadere informatie

Hoofdstuk 1

Meer informatie over oceaanboringsprogramma's staat op www.joidesresolution.org.
Kijk voor meer inzicht in het klimaat van het verleden op www.broeikaswereld.nl.

Hoofdstuk 2

Op <http://www.jpl.nasa.gov/video/details.php?id=1301> staat een animatie van de instabiliteit van de West-Antarctische ijskap.

Hoofdstuk 3

Over de kantelpunten in de ecologie (en in de maatschappij) schreef Marten Scheffer het boek *Critical Transitions in Nature and Society* (ISBN 9780691122045)

Meer informatie over mismatches is onder andere te zien op <https://vimeo.com/61793002>

Hoofdstuk 4

In een recent artikel in *Environmental Research Letters* beschrijven de Wageningse onderzoekster Pytrik Reidsma et al. een onderzoek naar de effecten van klimaat op de Nederlandse landbouw: <http://tinyurl.com/nlumbu8>

Hoofdstuk 5

Op Kennislink verscheen eerder dit overzichtsartikel over klimaat in relatie tot ziekte: <http://www.kennislink.nl/publicaties/ziek-van-het-klimaat>

Hoofdstuk 6

Het Planbureau voor de Leefomgeving geeft op <http://www.pbl.nl/onderwerpen/klimaatverandering> een helder overzicht van de kennis over het klimaat.

Verdere recente boeken:

Nicholas Stern, *A Blueprint for a Safer Planet* (Vintage, 2010)

William Nordhaus, *The Climate Casino* (Yale UP, 2013).

Op de website www.urgenda.nl is onder 'thema's' alle informatie te vinden over hun klimaatzaak.

In *Revolutie met Recht* (via www.revolutiemetrecht.nl) beschrijft advocaat Roger Cox hoe je via de rechter actie kunt afdwingen om iets te doen tegen de klimaatverandering.

Auteurs

Prof. dr. ir. Pier Vellinga is natuurwetenschappelijk directeur van het programma Kennis voor Klimaat.

Dr. Peter Bijl is onderzoeker aan de vakgroep Geowetenschappen van de Universiteit Utrecht.

Dr. Stefan Ligtenberg is post-doctoraal onderzoeker, en

Prof. dr. Michiel van den Broeke is hoogleraar Polaire meteorologie, beiden aan het Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek, Universiteit Utrecht (UU/IMAU).

Dr. ir. Monique Heijmans is Universitair Docent aan de vakgroep Natuurbeheer en planteneologie van Wageningen Universiteit en Researchcentrum.

Dr. ir. Daan Blok is post-doctoraal onderzoeker aan het Center for Permafrost in Kopenhagen.

Dr. ir. Sarian Kosten is assistent universitair docent aan de vakgroep Aquatische ecologie van de Radboud Universiteit in Nijmegen.

Prof. dr. Marten Scheffer is hoogleraar Aquatische ecologie aan Wageningen Universiteit en Researchcentrum.

Prof. dr. ir. Christiaan Both is hoogleraar Dier-ecologie aan de Rijksuniversiteit Groningen.

Prof. dr. Ken Giller is hoogleraar Plantproductiesystemen aan Wageningen Universiteit en Researchcentrum.

Dr. Dienneke Schram is epidemioloog bij het RIVM in Bilthoven.

Dr. Letty de Weger is epidemioloog aan het Leids Universitair Medisch Centrum.

Prof. dr. ir. Willem Takken is hoogleraar Entomologie aan Wageningen Universiteit en Researchcentrum.

Drs. Willem Ligtvoet is programmaleider Water, Ruimte en Klimaat bij PBL in Den Haag.

Ir. Marijke Vonk is beleidsonderzoeker bij de sector Water, Landbouw en Voedsel van PBL in Den Haag.

Prof. dr. mr. Herman Philipse is Universiteits-hoogleraar aan het Onderzoeksinstituut voor Filosofie en Religiewetenschap van de Universiteit Utrecht.

Prof. dr. Frank Berendse is hoogleraar Natuurbeheer en planteneologie aan Wageningen Universiteit en Researchcentrum.

Prof. dr. Ellen van Donk is hoofd Aquatische Ecologie bij Nederlands Instituut voor Ecologie, NIOO-KNAW en hoogleraar Aquatische Ecologie aan de Universiteit Utrecht.

Dr. Jannes van Everdingen is voorzitter van de Stichting Biowetenschappen en Maatschappij.

Ir. Rob Buiter is freelance wetenschapsjournalist.

Illustratieverantwoording

Beeldresearch: B en U International Picture Service, Amsterdam
Illustratie omslag: iStock
ANP, Den Haag: p. 1, p. 46 (l.o.)
Bart de Gouw, Wageningen: p. 3
Wikimedia Creative Commons: p. 5, p. 10, p. 13, p. 33, p. 41, p. 55, p. 63
KNMI: p. 6 2x
Studio Bassa, Culemborg: p. 7
Shutterstock: p. 8, p. 12, p. 28, p. 30, p. 47, p. 48, p. 52, p. 54 (l.), p. 57, p. 58, p. 61, p. 64, p. 65, p. 71, p. 77, p. 79
NASA: p. 13, p. 20, p. 21 (2x), p. 70 (b.)
Rob Buiter, Heemstede: p. 15, p. 35, p. 38, p. 46 (r.)
Sittrop Grafisch Realisatie Bureau, Nijmegen: p. 19, p. 36, p. 56 (o.), p. 59 (b.), p. 60
Brown, J., Ferrians, O.J.J., Heginbottom, J.A. and Melnikov, E.S.: p. 23
Monique Heijmans, Wageningen: p. 25 (4x)
Daan Blok, Kopenhagen, Denemarken: p. 27
US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA): p. 34
123 RF: p. 42, p. 49
TOPFOTO: p. 51
Arlen Poort / NRC media, Amsterdam: p. 54 (r.)
Huynen et al., The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population
Environ. Health Perspect. 2001;109:463-70:
p. 56 (b.)
Letty de Weger, Leiden: p. 59 (o.)
Hollandse Hoogte, Den Haag: p. 66, p. 67, p. 68
Dreamstime: p. 70 (o.)
Delta Sync, Delft: p. 72
Image Select, Wassenaar: p. 73
UN climate change conference 2015: p. 75
Chantal Bekker, Amsterdam: p. 80, p. 81

Stichting Biowetenschappen en Maatschappij
werkt samen met:

Dit cahier is mede tot stand gekomen door:

kennislink.nl
maakt nieuwsgierig



In dit nummer:

- **Klimaatveranderingen in het verleden**
- **Opwarming rond de polen**
- **Invloed van klimaat op de ecologie**
- **Kosten en kansen voor de landbouw**
- **Meer en andere ziekten**
- **De tragedie van de meent**

Redactie:

Professor Frank Berendse

Professor Ellen van Donk

Dr. Jannes van Everdingen

Rob Buiters (eindredactie)

Met een voorwoord van professor Pier Vellinga,
directeur van het onderzoeksprogramma
Kennis voor Klimaat

**Biowetenschappen
en Maatschappij**

De temperatuur loopt heel langzaam op, de zeespiegel stijgt en de natuur om ons heen verandert mee. Het klimaat verandert, zoveel is duidelijk. Maar wat doet die verandering met ons en met onze leefomgeving? Wat is er al veranderd en wat staat ons nog te wachten?

In dit cahier beschrijven toonaangevende Nederlandse wetenschappers voor hun vakgebied wat de belangrijkste veranderingen zijn. Zo wordt duidelijk dat de veranderingen rond de Noordpool harder gaan dan elders. Maar ook de ijskap op het continent Antarctica brokkelt harder af dan wetenschappers tot voor kort dachten. Voor Nederlandse boeren, en ook voor ingenieurs biedt de klimaatverandering nog wel kansen. Tegelijk grijpen ook exotische insecten hun kans.

Een westerse maatschappij als de onze kan de gevolgen van het veranderende klimaat waarschijnlijk nog wel opvangen, maar hoe zit dat met de minder rijke landen?

