

Klimaatverandering

Wie doet er wat aan?

Klimaatverandering is niet alleen lastig voor de mens. Ook planten en dieren staat heel wat te wachten als de aarde verder opwarmt. Tropische koraalriffen en amfibieën zullen het zwaarst worden getroffen. Krimp van leefgebieden treedt nu vooral op in poolgebieden en bergachtige streken. Sommige soorten sterven uit, anderen migreren. Maar klimaatverandering heeft ook positieve kanten. Op een langere tijdschaal bezien, is het een impuls voor de evolutie gebleken.

[Illustratie: Monika Wisniewska]

Volgens de Amerikaanse onderzoekster Camille Parmesan zijn de effecten van recente klimaatverandering op wilde planten en dieren al zichtbaar op alle continenten. Alle plant- en diergroepen worden getroffen, al is het nog niet met zekerheid te zeggen welke soorten precies het loodje zullen leggen. Parmesan, als biologieprofessor verbonden aan de Universiteit van Texas, rondde in 2006 een overzichtsstudie af waarin zij de resultaten van meer dan achthonderd onderzoeken naar de effecten van klimaatverandering op biodiversiteit en wildlife op een rijtje zette. Bijna de helft van die onderzoeken is heel recent (na 2003) uitgevoerd. De meeste gegevens zijn afkomstig uit Noord-Europa en Noord-Amerika; Afrika en Azië zijn onderbelicht gebleven. Van Antarctica zijn weer wel gegevens bekend terwijl in Australië vooral is gekeken naar de effecten van opwarming op de koraalriffen.

In poolgebieden en bergachtige streken zijn al soorten uitgestorven als gevolg van recente klimaatverandering, aldus Parmesan in het wetenschappelijke tijdschrift *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. Tropische koraalriffen en amfibieën krijgen het zwaar te verduren. Ook de interactie tussen sommige planten- en insectensoorten en tussen roof- en prooidieren is verstoord. Leefgebieden op het noordelijk halfrond zijn zes kilometer per tien jaar noordwaarts geschoven, constateert Parmesan. Veertig procent van de wilde soorten reageert al op een milde temperatuurstijging van een halve graad. Dankzij de landbouw zijn de data van zaaien en oogsten goed gedocumenteerd. Hieruit blijkt dat het groeiseizoen vooral op de noordelijke breedtegraden (boven de tweeënveertig graden noorderbreedte) langer is geworden.

Algenbloei piekt eerder

Parmesan haalde de laatste jaren vooral de pers met haar onderzoek naar vlindersoorten, die door opwarming nieuwe woongebieden opzoeken. Haar vlinderonderzoek werd ook door David Attenborough gebruikt in de BBC-productie 'State of the Planet'. Volgens Parmesan verschijnt tweederde van de Britse vlindersoorten vroeger in de lente; hetzelfde gaat op voor alle Spaanse vlindersoorten. Noord-Afrikaanse vlindersoorten zijn inmiddels ook in Spanje neer-

gestreken en sommige soorten zijn naar hoger gelegen gebieden gemigreerd. Tropische vogelsoorten overwinteren of vestigen zich in gebieden met een gematigd klimaat en in Siberië en de Canadese Rocky Mountains is de boomgrens hoger komen te liggen.

Ook in oceanen en meren zijn de effecten van opwarming zichtbaar. Algenbloei, een fenomeen waarbij fytoplankton (plantaardig plankton, de basis van de voedselketen) zijn groeipeik bereikt, vindt op sommige plaatsen op aarde ruim twee weken eerder plaats, zoals in Amerikaanse zoetwatermeren.

Dieren en planten migreren meestal in de richting van de polen als de temperatuur stijgt, concludeert Parmesan. Maar volgens Rob Hengeveld van de Vrije Universiteit kun je niet in het algemeen stellen dat hele ecosystemen zich netjes poolwaarts verplaatsen. 'Per soort varieert de richting en snelheid,' beweerde Hengeveld tijdens het symposium 'Hoe reageren soorten op klimaatverandering', dat op 14 april jongstleden in Naturalis in Leiden plaatsvond. Tijdens verschillende levensfasen stellen planten en dieren hun eigen specifieke eisen, zodat migratieroutes veel ingewikkelder zijn dan een simpele verschuiving over de breedtegraden. Hengeveld toonde een aantal plaatjes met daarop migratieroutes van Noord Amerikaanse boom- en zoogdiersoorten. 'Individuele soorten gaan hun eigen gang. Het beeld van Darwin dat gemeenschappen in zijn geheel migreerden is nog steeds populair onder ecologen,' aldus Hengeveld, 'maar het klopt niet'. Hengeveld, werkzaam bij de afdeling dierecologie, benadrukt in zijn betoog dat klimaatmodellen die het aardoppervlak opdelen in 'blokken' van vijfhonderd bij vijfhonderd kilometer niet voldoen voor een bioloog. Dat is veel te grof om zinnige uitspraken te doen over de effecten op flora en fauna. Ook de tijdschaal die klimatologen hanteren staat ver af van de tijdschaal waarin biologen gewend zijn te denken. 'Tien jaar is al erg veel voor biologen, terwijl het voor klimaatwetenschappers niets voorstelt.' Hengeveld benadrukt dat gemeenschappen (ecosystemen) meestal uniek zijn in tijd en ruimte. 'Als je ver terug gaat in de tijd vind je diezelfde ecosystemen helemaal niet meer terug.'

[Ook de interactie tussen sommige planten- en insectensoorten en tussen roof- en prooidieren is verstoord]

Gevoelige insecten

Klimaatverandering is allesbehalve een nieuw onderwerp in de biologie. Vooral van insecten is al heel lang bekend dat ze erg gevoelig zijn voor temperatuurschommelingen en hier snel op reageren. Ook van vogels is goed gedocumenteerd

hoe zij zich in extreem warme seizoenen hebben gedragen. Bij klimaatverandering gaat het niet om een toevallig droog, nat, of extreem heet of koud seizoen, maar om het gemiddelde weer over een lange periode. Tot een jaar of vijftien geleden hebben biologen zich helemaal geen zorgen gemaakt over eventuele nadelige effecten van klimaatverandering op biodiversiteit. Dat is nu totaal anders, constateert Parmesan. Inmiddels bestaat er consensus onder ecologen dat wereldwijd, zowel op land als in de oceanen, het planten- en dierenleven wordt beïnvloed door opwarming van de aarde.

Ook het Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC), de klimaatorganisatie van de Verenigde Naties waarin honderden wetenschappers uit verschillende disciplines samenwerken en dat iedere zes jaar de balans opmaakt, kwam dit voorjaar met alarmerende berichten over het naderende verlies van biodiversiteit als gevolg van klimaatverandering. In februari presenteerde het IPCC de resultaten van het eerste rapport, dat de wetenschappelijke onderbouwing van de opwarming van de aarde bevat. Hierna volgde de tweede rapportage waarin de wereldwijde gevolgen werden beschreven. Deel drie werd in mei in Bangkok gepresenteerd en bevat mogelijke oplossingen. De boodschap van het IPCC aan het adres van de mens is harder dan in 2001: wij zijn schuldig aan de opwarming. De verwachting over de stijgende zeespiegel is iets milder geworden: het maximum in de komende eeuw is naar beneden bijgesteld van achtentachtig naar negenvijftig centimeter.

Doemscenario

Volgens het IPCC zal deze eeuw bij een oplopende temperatuur een kwart van alle planten- en diersoorten uitsterven. De kans dat dit doemscenario zich voordoet is echter niet groter dan vijftig procent. Dit slechte nieuws wordt ook afgezwakt door de discussie die de voorspellingen van het IPCC in brede kringen van ecologen

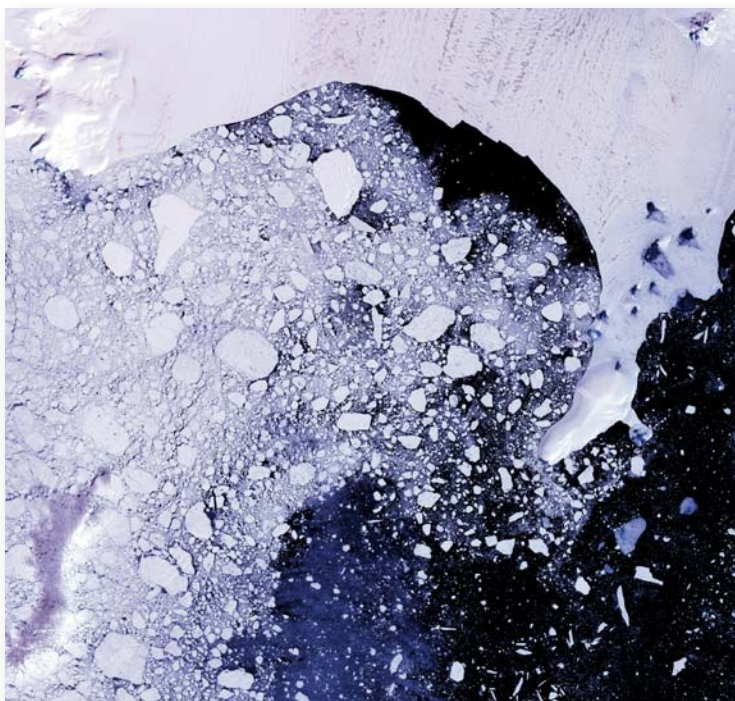


Bij bosbranden komt er veel kooldioxide in de atmosfeer. Ongeveer de helft van de geproduceerde broeikasgassen blijft in de atmosfeer hangen; een deel wordt opgenomen door de oceanen.

[foto: NASA, MODIS Rapid Response Team, Goddard Space Flight Center]

Door de druk van smeltwater breekt de Larsen B ijskap op Antarctica in stukken

[foto: NASA GSFC & Landsat 7 Science Team]



heeft losgemaakt. Hun kritiek richt zich vooral op de betrouwbaarheid van de voorspellingen. Tijdens de laatste IJstijd was het aantal soorten dat is uitgestorven ook niet erg groot, luidt de kritiek. Het hangt er maar net van af welk biologisch model je gebruikt om voorspellingen over biodiversiteit te

doen: sommige modellen rekenen met enkele planten- en diersoorten, andere met combinaties van soorten en weer andere met specifieke (klimaat-)eisen waar een habitat aan moet voldoen om bepaalde soorten te kunnen herbergen. Het IPCC zou te simpele modellen hanteren om de toekomstige flora en fauna onder andere klimaatcondities te voorspellen en de snelheid waarmee soorten uitsterven hierdoor overschatten.

Biodiversiteit is niet gemakkelijk te meten. Harde parameters, die wel voorhanden zijn bij fenomenen die in natuurkundige eenheden worden uitgedrukt, zoals temperatuur en vochtigheid, zijn immers niet voorhanden. Veel simpeler is het daarom om uitspraken te doen over temperatuurstijging, zeespiegelniveau, neerslag etcetera.

Het IPCC voorspelt verder dat de mondiale klimaatverandering met name de nu al kwetsbare Afrikaanse en Aziatische landen zal treffen. Vooral de tropen en subtropen zullen te maken krijgen met toenemende droogte. In gebieden die nu al droog zijn zal nog minder regen vallen.

Veengebieden

De aarde wordt warmer, dat is een ding dat zeker is. De oppervlaktetemperatuur (gemeten op land en in zee) is de afgelopen eeuw tussen 0,6 en 0,8 °C gestegen. De opwarming doet zich vooral voor op het noordelijk halfrond. De concentratie kooldioxide, 0,03% van de totale gashoeveelheid in de atmosfeer, is sinds de industriële revolutie toegenomen van tweehonderdtachtig ppm (parts per million) naar driehonderdtachtig op dit moment. Om een graad temperatuurstijging te bewerkstelligen moet de concentratie CO₂ verdubbelen, iets dat ons deze eeuw waarschijnlijk staat te gebeuren.

Jaarlijks brengt de mens zeven gigaton broeikasgassen (koolstofequivalenten) in de atmosfeer, wat neerkomt op ruim een ton per wereldbewoner. De uitstoot van kooldioxide neemt nog steeds toe en ligt met drie

procent toename hoger dan rond het jaar 2000, vooral vanwege de groei van de Chinese en Indiase economieën. Recente cijfers (uit mei 2007) geven zelfs aan dat het IPCC de emissies van broeikasgassen aan de lage kant heeft ingeschat.

De opwarming van de aarde is vooral het gevolg van de toename van broeikasgassen in de atmosfeer, vooral kooldioxide en methaan. CO₂ ontstaat in grote hoeveelheden bij de verbranding van fossiele brandstoffen; methaan komt vooral vrij in de landbouw en veeteelt en een enorm reservoir is aanwezig in (bevroren) veengebieden in zowel Arctische als tropische streken. Hoeveel kooldioxide er in de atmosfeer

blijft hangen hangt samen met de opname door oceanen en planten. Die 'koolstofreservoirs' nemen in de regel circa de helft van de geproduceerde CO₂ weer op. Het vervelende verschijnsel doet zich nu voor dat vooral de oceanen op het zuidelijk halfrond steeds minder CO₂ lijken op te nemen.

Het IPCC brengt de huidige klimaatverandering in direct verband met de uitstoot van broeikasgassen door de mens en is de afgelopen zes jaar stelliger geworden in de overtuiging dat menselijk handelen verantwoordelijk is voor het grootste deel van de opwarming van de aarde; die kans wordt nu geschat op negentig procent. Hoewel het nu dus vrijwel zeker is dat de mens schuldig is, is het niet precies duidelijk in welke mate de mens precies schuldig is aan de opwarming. Deze en nog andere onzekerheden zijn weer koren op de molen van klimaatsceptici. Behalve broeikasgassen, zijn er ook andere verklaringen voor de opwarming van de aarde, zoals de toename van de zonneactiviteit.

Koffiedik kijken met computermodellen

In al het klimaatonderzoek wordt gebruik gemaakt van klimaatmodellen, computerprogramma's waarin de processen die zich op aarde afspelen in wiskundige of natuurkundige formules zijn weergegeven. Dergelijke klimaatmodellen zijn onmisbaar om situaties in het verleden te reconstrueren en om toekomstige klimaatrends te voorspellen. Naarmate je verder in de toekomst voorspellingen doet, wordt de betrouwbaarheid van die voorspellingen echter kleiner. Het resultaat is afhankelijk van de gegevens die je in het model stopt. Wetenschappers verbonden aan het Canadese Fraser Instituut bekritiseren

de beweringen van het IPCC omdat zij van mening zijn dat het klimaatstelsel op aarde te complex is om hierover harde uitspraken te doen. De aarde wordt weliswaar (lokaal) warmer, maar die toename valt binnen de natuurlijke variatie,



Vooraf van insecten is bekend dat ze erg gevoelig zijn voor temperatuurschommelingen

[foto: Cathy Keifer]

is hun visie. Zij zijn er ook niet van overtuigd dat de mens de oorzaak is van de opwarming en vinden klimaatverandering niet per definitie een goede of slechte zaak.

Een andere wetenschapper die grote vraagtekens stelt bij voorspellingen die een halve eeuw vooruit gedaan worden, is de oceanograaf Roger Pielke sr. Het tijdschrift *Natuurwetenschap & Techniek* liet de Amerikaan uitgebreid aan het woord in het maartnummer. Prognoses door klimaatmodellen zijn in zijn ogen onbetrouwbaar omdat natuurlijke processen die op aarde spelen onvoldoende nauwkeurig door wiskundige modellen weergegeven kunnen worden. Als de aarde altijd wolkeloos

zou zijn, zouden die voorspellingen al een stuk betrouwbaarder zijn, aldus Pielke. Je hebt bovendien te maken met allerlei feedbackprocessen die natuurlijke processen nog complex maken. Een voorbeeld: opwarming leidt tot verdamping en wolkenvorming. Wolken leiden op hun beurt weer tot afkoeling want zij weerkaatsen zonnestraling, terwijl waterdamp net als kooldioxide en methaan als broeikasgas functioneert en dus bijdraagt aan een verdere opwarming. Dergelijke feedbackprocessen zijn moeilijk te modelleren, vindt Pielke.

Het klimaat over een halve eeuw voorspellen wordt al snel koffiedik kijken, vinden kritische wetenschappers dan ook. Ook zouden oceanen als buffer voor warmte en landgebruik (bossen absorberen warmte) onvoldoende in de modellen een plaats krijgen. Het IPCC gaat vooral uit van een oplopende gemiddelde oppervlaktetemperatuur, terwijl de oceantemperatuur de afgelopen jaren is gedaald. Hoe valt dit te rijmen met een aarde die opwarmt?

Naderende ijstijd

Nederlandse geologen zijn zelfs van mening dat we op de lange termijn geen periode van opwarming, maar een periode van afkoeling tegemoet gaan. Dit speelt weliswaar pas op zeer lange termijn. Als de natuur z'n gang zou gaan, bevinden we ons over pakweg tienduizend jaar weer midden in een volgende ijstijd (zie ook de recensie van het boek *De menselijke maat* van geoloog Salomon Kroonenberg in *WM* mei-juni 2006). Dit lijkt science fiction, maar dat is het zeker niet. Het klimaat op aarde wordt deels beheerst door de

stand van de aardas ten opzichte van de zon en de aardbaan rond de zon. Die cyclus, waarin de mate van zoninstraling varieert, is al enkele miljoenen jaren aan de gang. Wij bevinden ons nu in een interglaciaal, een relatief warme periode tussen twee ijstijden. De door de mens veroorzaakte huidige opwarming zou het proces van

[Wij bevinden ons nu in een interglaciaal, een relatief warme periode tussen twee ijstijden]

geleidelijke afkoeling nog wel een paar eeuwen kunnen uitstellen.

Noord-Europa zou ook vervroegd in een ijstijd kunnen belanden als de golfstroom, die warmte vanaf de evenaar naar de pool transporteert, tot stilstand komt. Tijdens de laatste ijstijd is dat ook gebeurd. Dit is een van de schrikbeelden van klimaatverandering. Het is zeer waarschijnlijk dat dit gebeurt als het ijs

op de Noordpool smelt en er veel zoet water, dat nu nog in het ijs ligt opgeslagen, in de oceaan terecht komt. De motor van de golfstroom – zout, zwaar water dat naar de bodem zakt – valt dan weg en de golfstroom komt tot stilstand.

Kwetsbare aarde

Ook wanneer computermodellen de toekomst niet nauwkeurig weten te voorspellen, is er uit alle studies die onder de paraplu van het IPCC zijn gepubliceerd wel een belangrijke conclusie te trekken, namelijk dat het klimaatstelsel op aarde kwetsbaar is. Het verandert naargelang er belangrijke veranderingen in de chemische samenstelling van de atmosfeer optreden en de mens is wel degelijk een factor van betekenis!

Ook is er door alle internationale afspraken, zoals het Kyoto-verdrag, of dit nu geldverspilling is of niet, een enorm bewustzijn op gang gekomen van de milieu-impact van menselijk handelen.

Dat de aarde kwetsbaar is en dat we niet onnodig risico's moeten nemen, is ook de boodschap van Al Gore geweest met zijn film en boek *An Inconvenient Truth*. Zijn boodschap is wereldwijd als een bom ingeslagen. Waarschijnlijk gebruikte hij het juiste communicatiemiddel: een wetenschappelijk onderbouwde documentaire in de vorm van een bioscoopfilm die een miljoenenpubliek wist te bereiken. Fictie met een wetenschappelijk tintje, zoals de bioscoopfilm *The*



Algenbloei aan de Australische kust bij Victoria. Als gevolg van opwarming van de aarde treedt algenbloei eerder op.

[foto: NASA]

Amfibieën krijgen het zwaar te verduren

[foto: Sebastian Duda]



Day After Tomorrow, waarin een plotselinge ijstijd New York treft, heeft waarschijnlijk door de ruime fantasie en onrealistische tijdschaal waarop de ramp zich voltrekt minder impact gehad.

Impuls voor evolutie

Of de mens nu wel of niet de hoofdoorzaak is van alle ellende, het klimaat verandert. Vanuit de geologie en paleontologie

(de studie van fossielen) weten we dat veranderingen in het klimaat in het geologisch verleden heel normale verschijnselen waren, zoals de ijstijden, waarvan de laatste nog maar tienduizend jaar geleden afliep. In de periode dat de dinosauriërs de aarde bevolkten waren er helemaal geen poolkappen en was het erg heet.

Klimaatverandering, zoals de ontwikkeling van een klimaat met duidelijke natte en droge seizoenen ongeveer acht miljoen jaar geleden, is zelfs een trigger voor de evolutie van de mens geweest. Het tropisch regenwoud, dat het Afrikaanse continent destijds grotendeels bedekte, maakte toen plaats voor een vegetatie die alleen tijdens het natte seizoen vruchten droeg. De apen, die toen in de bomen leefden, waren gedwongen om in de droge tijd op de grond voedsel te zoeken. Volgens een gangbare theorie is het ontstaan van een meer open landschap met savannen de reden

geweest dat onze aapachtige voorouders rechtgatingen lopen: ze zouden van de ene groep bomen naar de andere zijn gelopen - op twee benen - omdat dit hen minder energie kostte. De Amsterdamse bioloog José Jordens neemt deze populaire theorie met een korreltje zout. Jordens: 'Het is ook goed mogelijk dat waden in ondiep water, op zoek naar voedsel zoals waterplanten en schelpdieren, de apen ertoe heeft aangezet om rechtop te gaan lopen. Andere primaten die vandaag de dag regelmatig waden, zoals laaglandgo-

rilla's, bavianen en neusapen, doen dit ook op twee benen.'

Joordens, van oorsprong mariene bioloog, werkt aan de Vrije Universiteit aan een promotieonderzoek naar het klimaat ten tijde van de *Homo erectus*, zeer waarschijnlijk een voorouder van de mens. De oudste fossielen van de erectus zijn gevonden in het Turkanabekken in Kenia, onderdeel van de Afrikaanse Rift Valley. De evolutie van *Homo erectus* wordt vaak in ver-

band gebracht met de aanvang van een relatief droge periode, die zo'n 1,8 miljoen jaar geleden begon. De fossielen van *Homo erectus* zijn inderdaad rond de 1,8 miljoen jaar oud, maar voor een bioloog die de evolutie van de vroege menssoorten (hominiden) onderzoekt is dat een slordig getal. Jordens: 'Bepaalde erectus-fossielen uit het Turkanabekken zijn 1,89 miljoen jaar oud en mogelijk zelfs nog wat ouder. Dat scheelt maar liefst ten minste negentigduizend jaar.'

Joordens onderzoekt de precieze klimaatomstandigheden waarin de *Homo erectus* destijds in Kenia geleefd moet hebben. 'Het lijkt erop dat het klimaat 1,9 miljoen jaar geleden veel natter was dan vaak wordt gedacht. Dat zou betekenen dat erectus, die nu vooral wordt gezien als jager of aaseter, bijvoorbeeld ook veel aquatische voedselbronnen zoals schelpdieren en vis tot zijn beschikking had. Omdat dieet een sturende factor is in de evolutie heeft zo'n vetrijke dieet mogelijk bijgedragen aan een toename in hersenomvang en een verdere evolutie in de richting van de moderne mens.'

In het gebied is ook een fossiele pijlstaartrog gevonden uit de tijd van *Homo erectus*. Jordens: 'Dit duidt op de aanwezigheid van een rivier die het Turkanabekken tijdelijk met de Indische Oceaan verbond. Dat is intrigerend: mogelijk is *Homo erectus* langs die rivier en vervolgens verder langs de kust richting Azië getrokken om de droogte die 1,8 miljoen jaar geleden inzette te ontlopen.'



Smeltend ijs legt een nieuw eiland bloot voor de kust van Groenland. In de afgelopen vijf jaar trok het ijs zich ongeveer tien kilometer terug.

[foto: Jesse Alan / NASA Landsat 7]

De ijsbeer: een mooi voorbeeld van evolutie door dieetverandering, voortkomend uit klimaatverandering.

[foto: Peter van Wagner]



Bruine en witte beren

Klimaat heeft dus invloed op vegetatie en dieet en zo indirect ook gevolgen voor de evolutie van mens en dier. Je zou zeggen dat de natuur daarom wel bestand is tegen een beetje klimaatverandering. Jordens bevestigt dit. 'Het biologische aanpassingsvermogen is heel groot. Een mooi voorbeeld, dat ik altijd aan mijn studenten vertel, is het verhaal over de evolutie van de ijsbeer. Twintigduizend jaar geleden, toen tijdens de laatste ijstijd de temperatuur steeds verder daalde, de vegetatie verdween en het pakijns zich uitbreidde, heeft de ijsbeer zich waarschijnlijk uit een kleine populatie bruine beren, die op een eiland voor de kust van Alaska leefden, ontwikkeld als jager op de pakijnsvlakte. Dit is een mooi voorbeeld van evolutie door dieetverandering, dat weer voortkomt uit klimaatverandering. Wij onderschatten vaak hoe belangrijk voeding is in de evolutie. Zonder dat er veranderingen in de basenvolgorde van het genoom optreden, leidt een ander voedingspatroon tot een verandering in de genregulatie. Sommige genen worden dan aan- of uitgezet, of krijgen meer of juist minder invloed. Bij de ijsbeer heeft een ander dieet – de consumptie van zeehonden in plaats van bessen en vis – waarschijnlijk ook geleid tot veranderingen in de schildklierfunctie. De embryonale ontwikkeling is hierdoor gewijzigd en het dier heeft een ander uiterlijk gekregen, terwijl hij genetisch nog steeds erg op de bruine beer lijkt. Evolutie kan daardoor heel snel gaan. De natuur heeft veel veerkracht.'

Dat zou wellicht nog een troost zijn, maar veel meer een fascinerende gedachte. Als 'onze' ijsbeer uitsterft omdat door ons toedoen het noordpoolgebied is gesmolten, dan staat er wellicht over enkele tienduizenden jaren, middenin een volgende ijstijd, weer een nieuwe ijsbeer op..._