

De klimaatgrens

Onderstaande tekst is integraal overgenomen (pp 64-73) uit:

Mark Lynas

De mens als god - hoe de aarde het Antropoceen kan doorstaan

978 90 6224 510 9, 300 p, 19,951

De mensheid zet de zaken naar zijn hand en botst op negen planetaire grenzen. De ecologische schuld hiervan is ernstiger dan de schulden crisis.

Uitgeverij Jan van Arkel, www.janvanarkel.nl, info@janvanarkel.nl

Dat klimaatverandering een planetaire grens is zal niemand verbazen. Maar wat misschien wel zal verbazen is dat de doelstelling die niet alleen door regeringen maar ook door milieuactivisten wordt nagestreefd, al jaren veel te zwak is. Onlangs is dat begonnen te veranderen: nu is er een bijzondere coalitie van meer dan honderd landen en tientallen activistische groeperingen die zich vierkant achter een veilige doelstelling voor het kooldioxidegehalte in de atmosfeer hebben gesteld, zoals bepaald door de expertgroep planetaire grenzen. Hoewel machtige landen als de Verenigde Staten en China de doelstelling nog lang niet onderschrijven – en de wereldeconomie er nog bij lange niet aan toe is om die te halen – is het feit dat zo'n cruciale planetaire grens zo'n krachtige steun heeft gekregen heel goed nieuws, waar we ons over moeten verheugen.

In de vorige hoofdstukken hebben we gezien hoe de mens dominant is geworden in de wereld door de exploitatie van fossiele energiebronnen. De menselijke beschaving is nu wereldwijd voor 80 procent afhankelijk van fossiele brandstoffen, en met het groeien van de economie neemt ook het tempo toe waarmee de kooldioxide die ontstaat uit de verbranding van kolen, olie en gas zich in de atmosfeer ophoopt. Gemiddeld stijgt de concentratie kooldioxide in de atmosfeer per jaar met 2 delen per miljoen (ppm, van het Engels *parts per million*), van een pre-industrieel niveau van 278 ppm tot 390 ppm tegenwoordig. Hoewel de precieze temperatuurstijging als gevolg van een hogere concentratie CO₂ altijd onzeker zal blijven, staat wel vast dat – bij verder gelijkblijvende omstandigheden - de aarde zal opwarmen als gevolg van de uitstoot van miljarden tonnen broeikasgassen die al meer meer dan een eeuw aan de gang is.

De discussie over wat een 'veilig' niveau van atmosferische CO₂ zou zijn woedt al tientallen jaren. In 1992 stelde het Raamverdrag

Klimaatverandering van de Verenigde Naties in zijn vaak aangehaalde artikel 2 dat de internationale politiek ernaar moet streven om ‘gevaarlijke antropogene interferentie’ met het klimaatsysteem te vermijden – maar zonder te specificeren wat ‘gevaarlijk’ eigenlijk betekent. De Britse regering kwam in haar *Stern Review on the Economics of Climate Change* uit 2006 met een stabilisatiedoelstelling van 550 ppm CO₂e (kooldioxide-equivalenten, een samenbundeling van alle broeikasgassen in plaats van alleen CO₂). Twee jaar eerder had de Europese Unie gesteld dat de temperatuur maar maximaal 2 graden Celsius mocht stijgen, wat een doelstelling van 450 ppm CO₂ impliceerde, zo werd gesteld. Die laatste doelstelling onderschreef ik in mijn boek *Zes graden* uit 2008, waarin ik stelde dat 2 graden en 450 ppm noodzakelijk waren om te voorkomen dat we op grootschalige gevaarlijke omslagpunten in het klimaatsysteem afstevenden. Grote milieugroepen stelden zich eveneens achter die doelen en ijverden er fanatiek voor op internationale conferenties.

Het blijkt dat we het allemaal mis hadden. Uit recente wetenschappelijke rapporten komt sterk naar voren, zoals we verderop in dit hoofdstuk zullen zien, dat de planetaire grens van 450 ppm te hoog is en dat we naar 350 ppm toe moeten, een concentratie die al in 1988 gepasseerd werd, het jaar waarin de klimatoloog van de NASA en lid van de expertgroep planetaire grenzen, James Hansen, voor het eerst in het Amerikaans Congres verklaarde dat de opwarming van de aarde een realiteit was. Hansen heeft meer dan welke wetenschapper ook zijn best gedaan om de grens van 350 ppm op de kaart te zetten. Hij was een van de eersten die beseften hoe belangrijk die was, en sindsdien is hij onvermoeibaar blijven pleiten voor maatregelen die nodig zijn om hem te halen. Het waren zijn gesprekken met de Amerikaanse auteur en activist Bill McKibben die leidden tot de wereldwijde beweging 350.org. McKibben noemt 350 ‘het belangrijkste getal in de wereld’, en hij heeft gelijk.

Trek je niets aan van de voortslepende controverse in de media over de opwarming van de aarde: dat zijn praatjes voor de vaak. De planetaire klimaatgrens is het best van alle bestudeerd en bekend en daarvan weten we het best hoe we die moeten halen. Bovendien is het halen van die grens een basisvereiste voor elk niveau van milieubeheer in de wereld: als de concentratie CO₂ blijft toenemen en de temperatuurstijging uit de hand loopt, dan halen we de biodiversiteitsgrens, de ozongrens, de zoetwatergrens, de landgebruiksgrens ook niet, en dan zijn ook de andere planetaire grenzen onzeker.

De klimaatgrens is de grootste test voor de mensheid: die zal uitwijzen of we echt in staat zijn onze impact op de natuur zodanig te sturen dat de capaciteit van de biosfeer om als zelfregulerend systeem te blijven werken niet wordt aangetast. Het is een blijk van onze intelligentie dat we onze wetenschappelijke kennis zo ver hebben verdiept dat we nu veel inzicht hebben in de werking van het klimaat en dat we met enige zekerheid de planetaire grens kunnen bepalen. Maar het is misschien ook een blijk van onze domheid dat ondanks tientallen jaren van onderzoek en adviezen over het klimaat, die allemaal wijzen op de noodzaak om onze productie van broeikasgassen in de hand te houden, de uitstoot onverminderd blijft stijgen.

Gelukkig zijn de technieken om binnen de klimaatgrens te blijven inmiddels bekend. We hebben alle benodigde instrumenten in handen om de economie wereldwijd te decarboniseren en om dit tot stand te brengen mét een stijgende welvaart én een toenemende bevolking in de ontwikkelingslanden. Maar ook de milieubeweging zal van karakter moeten veranderen. Veel zaken waar milieuactivisten voor pleiten helpen niet veel, als ze al niet een oplossing voor het klimaatprobleem in de weg staan. Het is tijd voor een nieuwe en pragmatische benadering die de kwestie van de klimaatverandering van een starre ideologie bevrijdt.

350: DE EVIDENTIE

Eerst moeten we vaststellen of 350 wel het juiste getal is dat door de wetenschap wordt onderschreven. Er zijn ruwweg drie poten waarop de conclusie steunt dat de concentratie CO₂ in de atmosfeer tot 350 ppm moet worden beperkt. De eerste is de snelheid waarmee de veranderingen in het systeem aarde zich voltrekken, veranderingen waarvan ik niet had kunnen dromen dat ik ze zo snel zou zien toen ik me meer dan tien jaar geleden met deze kwestie begon bezig te houden. Dat duidt op een naderend gevaar. De tweede poot is computermodellen die erop wijzen dat positieve feedbacks – of drempels, of omslagpunten, of hoe je ze ook wilt noemen – gevaarlijk dichterbij komen. De derde en meest afdoende is bewijs uit het verre verleden dat in vroegere geologische tijdperken de temperatuur gekoppeld was aan concentraties CO₂ in de atmosfeer.

De beste manier om te onderzoeken of de aarde warmer wordt is niet het meten van de temperatuur aan de grond, maar van de energie-inbalans – het verschil tussen inkomende en uitgaande straling – boven in de atmosfeer. Daar tonen onze elektronische bewakers, de satellieten die

vierentwintig uur per dag geruisloos om de aarde wentelen, ondubbelzinnig aan dat de uitgaande langgolvige warmtestraling steeds meer vastgehouden wordt in exact die delen van het spectrum die corresponderen met de verschillende broeikasgassen die zich in de atmosfeer daaronder ophopen.¹ Natuurlijke schommelingen zijn belangrijk voor het bepalen van de gemiddelde temperatuur per jaar, maar de recente cijfers zijn onthullend: 2005 en 2010 hebben nu volgens de NASA een gedeelte eerste plaats als warmste jaar uit de geboekstaafde geschiedenis, en statistisch hangt het erom welke van de twee, 2007 of 2009, op de tweede en derde plaats staan.² Hoe de recordtemperaturen ook uitvallen, de ondergrens van het klimaat is duidelijk aan het verschuiven: elk jaar van de jaren 1990 was gemiddeld warmer dan het gemiddelde van de jaren 1980 en elk jaar van de jaren 2000 was warmer dan het gemiddelde van de jaren 1990.³

Er zijn nu aanwijzingen van verschillende kanten dat de aarde steeds warmer wordt. Sommige daarvan tonen aan dat wij op onvoorziene wijze de parameters van de atmosfeer veranderen. De distributie van de luchtdruk over de wereld verandert: hij stijgt in de subtropen en daalt aan de polen.⁴ De stratosfeer is afgekoeld doordat de troposfeer daaronder meer warmte vasthoudt,⁵ terwijl de grens tussen deze twee hoge en lage atmosferische strata zelf hoger is komen te liggen.⁶ Zelfs de positie van de tropische zones is verschoven door de veranderende atmosferische circulatie als gevolg van de temperatuurstijging.⁷

Een meer energetische atmosfeer betekent ook extremere regenval, omdat het gehalte aan waterdamp in de atmosfeer toeneemt – ook dat is waargenomen.⁸ De catastrofale overstromingen die Pakistan in 2010 en Australië in 2011 troffen zijn precies het soort hydrologische rampen die in een warmere wereld vaker dood en verderf zaaien. De mensen in de armere landen zijn kwetsbaarder voor overstromingen, maar elk land kan er op elk moment door getroffen worden: de zware regenval die in november 2009 het Engelse Lake District trof kende zijn weerga niet: de hoeveelheid neerslag overtrof alle vroegere records in 150 jaar van metingen.⁹

Wellicht de duidelijkste indicator voor het huidige gevaar – de Ground Zero van de opwarming van de aarde – is de snelle dooi aan de Noordpool. Nog maar weinig wetenschappers twijfelen aan het feit dat de ijskap over de Noordpool volledig zal smelten – de vraag is alleen wanneer. In de afgelopen jaren is de noordelijke ijskap een fase ingegaan die door Mark Serreze, een klimatoloog van het National Snow and Ice Data Center (NSIDC) in Boulder, Colorado, een ‘dodelijke spiraal’ wordt genoemd.¹⁰ De omvang van het ijs op de Noordpool neemt razendsnel af, en wat er nog ligt is dunner en kwetsbaarder voor smelten dan ooit tevoren. Wat volume

betreft is nog maar de helft van de ijskap van vóór 1980 over en meer dan 40 procent van het meerjarige ijs (het dikkere spul dat in de zomer blijft liggen) is sinds 2005 verdwenen.¹¹ Zelfs de laag winterijs gaat achteruit: in januari 2011 maakte het NSIDC bekend dat de omvang van het zeeijs in die maand het kleinst was sinds het begin van de satellietmetingen, waarbij de Labradorzee en het grootste deel van de westkust van Groenland ijsvrij bleven.¹² Het jaar van wat ik *A-Day* noem, de dag aan het eind van de zomer wanneer er geen ijsklontje meer in de Noordelijke IJszee drijft, zal volgens één modelstudie waarschijnlijk 2037 zijn, maar als we afgaan op de laatste jaren, zou het wel tien jaar eerder kunnen zijn.¹³

A-Day zal een gedenkwaardige dag zijn voor de aarde, want het zal de eerste keer zijn in de afgelopen vijfduizend jaar dat de Noordelijke IJszee in de zomer ijsvrij is.¹⁴ Dat zal op zijn beurt de warmtebalans van de aarde veranderen en de stromingen in de atmosfeer: zonder zijn glanzende ijskap absorbeert de Noordelijke IJszee in de zomer veel meer zonnewarmte en geeft in de winter veel meer warmte af, waardoor weerpatronen en orkaantrajecten veranderen. De prognose is niet dat het overal gewoon warmer wordt: uit een model van Duitse wetenschappers, dat in november 2010 gepubliceerd werd, bleek zelfs dat het verdwijnende zeeijs in de Noordelijke IJszee ten noorden van Scandinavië en Siberië voor koudere winters in Europa kan zorgen. De onderzoekers betoogden dat het warmere water in het noorden een verandering in het windpatroon tot gevolg kan hebben, waardoor koude oostenwinden vanuit Rusland over Europa zouden gaan waaien, en dat is misschien ook de oorzaak van de koudere winters van 2005-2006, 2009-2010 en 2010-2011 in Europa en Noord-Amerika, waar het vroom en waar sneeuwstormen woedden terwijl de winter aan de Noordpool warmer was dan ooit. ‘Onze resultaten wijzen uit dat de opeenvolgende strenge winters in het recente verleden niet in strijd zijn met het idee van een opwarmende aarde, maar die eerder aanvullen,’ besloten ze in het *Journal of Geophysical Research*.¹⁵

Door het verdwijnen van het ijs aan de Noordpool zal een volledig marien ecosysteem vernietigd worden. De algen die nu nog aan de onderkant van het drijfijz groeien zijn de basis van een unieke voedselketen: ze voeden het zoöplankton dat op zijn beurt grote populaties van de arctische kabeljauw voedt.¹⁶ Het snel smeltende ijs zal een ramp betekenen voor de soorten die van ijs afhankelijk zijn, zoals ringelrobben, walrussen, witte dolfijnen en natuurlijk ijsberen. Voor de laatste zal dat misschien niet betekenen dat ze voorgoed uitsterven, maar het zal minstens leiden tot een substantiële vermindering van hun aantallen.¹⁷ In mei 2008

werd de ijsbeer door de US Endangered Species Act als ‘bedreigd’ aangemerkt, dankzij de klimaatverandering.¹⁸

Gezien het huidige snelle tempo van afsmelting is er weinig hoop dat de dodelijke spiraal van de noordelijke ijskap doorbroken kan worden. Maar in theorie is het nog steeds mogelijk de bevroren Noordpool te redden of te herstellen, namelijk door subiet een stap terug te doen en binnen de klimaatgrens van 350 ppm te blijven, en, zoals ik in een later hoofdstuk uitleg, door een reductie van de uitstoot van andere opwarmingselementen, zoals roetstof. Zoals James Hansen van de NASA, tevens lid van de expertgroep planetaire grenzen, schrijft: ‘Stabilisatie van de ijskap in de Noordelijke IJszee vereist, als eerste stap, een herstel van de energiebalans van de aarde.’¹⁹ De concentratie kooldioxide terugbrengen tot een niveau van tussen de 325 tot 355 ppm zou daarvoor kunnen zorgen, denkt Hansen – maar een verdere reductie van CO₂ van tussen de 300 en 325 ppm ‘is wellicht noodzakelijk om de ijskap in zijn omvang van 25 jaar geleden te herstellen’.

Er zijn natuurlijk ook buiten de poolstreken ernstige inbreuken op het klimaat geconstateerd. In een artikel voor *Science* van juni 2010 schreven de klimatologen Jonathan Overpeck en Bradley Udall (respectievelijk verbonden aan de universiteit van Arizona en Colorado) dat ‘de tekenen van klimaatverandering in het westen van Noord-Amerika onmogelijk over het hoofd kunnen worden gezien’. Die tekenen zijn onder andere ‘sterk stijgende temperaturen, een steeds dunner sneeuwdek aan het eind van de winter, noordwaarts verschuivende orkanatrajecten, toenemende neerslag, de ergste droogteperioden sinds het begin van de metingen, sterke daling van de waterstand in de Colorado River, wijdverbreide afsterving van vegetatie en een sterke toename van grote branden’.²⁰ Net als bij het smelten van de poolkap rapporteerden Overpeck en Udall dat de opwarming van de aarde in westelijk Noord-Amerika ‘sneller effect heeft dan was voorzien’ in standaard publicaties, zoals het rapport uit 2007 van het IPCC. In de Rocky Mountains betekenen hogere temperaturen dat het nu in de winter vaker regent dan sneeuwt en de weinige sneeuw die er valt eerder en sneller smelt. De piek in de afvloeiing van het oppervlaktewater valt nu in de gebergten van westelijk Noord-Amerika een maand eerder dan een halve eeuw geleden.²¹

Een van de zorgwekkendste aantastingen van het klimaat die Overpeck en Udall vermelden voor het westen van de Verenigde Staten is de snelle toename van boomsterfte: meer dan een miljoen hectaren met dennen zijn de laatste tijd afgestorven als gevolg van droogte en opwarming, en zelfs woestijnsoorten, die tegen extreem droog weer bestand zouden moeten

zijn, ‘vertonen tekenen van wijdverbreide sterfte als gevolg van droogte’. Die klimaatgerelateerde bossterfte schijnt deel uit te maken van een ernstige wereldwijde trend, waarbij in grote gebieden bomen sterven op zulke uiteenlopende plaatsen als Algerije en Zuid-Korea, en zelfs in beschermde gebieden zoals natuurparken wordt veel boomsterfte geconstateerd.²² In sommige gevallen is de directe oorzaak een insectenplaag: in British Columbia hebben keverplagen zo’n groot oppervlak bos vernield dat deskundigen schatten dat daarmee een koolstofput met een capaciteit van 270 miljoen ton verloren is gegaan.²³

Overall in de wereld lopen ecosystemen het risico weggevaagd te worden doordat de klimaatzones verschuiven, of geheel en al verdwijnen. Net zoals de fauna aan de Noordpool in feite door de toenemende warmte van de wereld af wordt geduwd, zo wordt het leefgebied van dieren in de bergen ook steeds verder ingeperkt tot eilandjes op de hoogste toppen. Ja, mogelijk het eerste slachtoffer onder de zoogdieren van de opwarming van de aarde – de Queenslandkoeskoes – is misschien al uit zijn leefomgeving van een paar geïsoleerde bergtoppen in tropisch Queensland, Australië verdwenen. ‘Het was heel deprimerend, ons laatste veldwerk van een paar weken geleden. Elke avond trokken we eropuit met de gedachte: “Oké, vannacht vinden we er een,”’ vertelde de bioloog Steve Williams aan de Australian Broadcasting Company. ‘Maar nee, we hebben er nog steeds geen een gevonden.’²⁴ Op Madagaskar, een andere ‘hotspot’ van de wereldwijde biodiversiteit, worden de soorten in de bergen al naar boven gedrongen en sommige soorten kikkers en hagedissen zijn inmiddels misschien al uitgestorven vanwege de klimaatverandering.²⁵

De thermische stress treft natuurlijk ook mensen, want onze steden worden steeds vaker door steeds intensere hittegolven getroffen. In de hittegolf van augustus 2010 in Moskou stierven honderden mensen. Tienduizenden (misschien wel 70.000 in totaal²⁶) bezweken in heel Europa tijdens de recordhitte in de zomer van 2003. Zeer warme zomers komen steeds meer voor op het Noordelijk Halfrond en het risico op een herhaling van de hiteramp in 2003 is nu dubbel zo groot, dankzij de opwarming van de aarde.²⁷ Volgens krantenberichten beleefde Japan in 2010 de warmste zomer in haar geschiedenis en in 17 verschillende landen werden hiterrecords gebroken.²⁸ Hittegolven komen ook steeds meer voor in de landen rond de Middellandse Zee: volgens de laatste studies zijn ze frequenter, langer en intenser.²⁹ Die warmte- en droogtetrend doet zich in vrijwel de hele wereld voor: in Australië, bijvoorbeeld, is de regenval sinds de jaren 1970 met een vijfde gedaald, waardoor er in Perth een watertekort heerst.³⁰

Al die aanwijzingen – stijgende temperaturen, dooiende ijskappen, veranderde weerpatronen en steeds gevaarlijker impacts – benadrukken dat het beperken van de concentratie CO₂ tot 350 ppm om een toekomstige aanzienlijke opwarming van de aarde te voorkomen de enige verstandige oplossing is. Terugkeren binnen die planetaire grens zou de Noordpool weer gezond kunnen maken en voorkomen dat de gletsjers in de Andes en de Himalaya, die mede miljoenen mensen van zoetwater voorzien, volledig afsmelten. Als we de snelheid en de hoogte van de temperatuurstijging kunnen beperken tot 1,5 graad in deze eeuw – de meest waarschijnlijke uitkomst van een grens van 350 ppm – dan zou de opwarming van de aarde traag genoeg verlopen om ecosystemen zoals de koraalriffen en de menselijke samenlevingen de gelegenheid te geven zich aan de klimaatverandering aan te passen.

Noten bij De klimaatgrens

¹ J. Harries e. a., 2001: 'Increases in greenhouse forcing inferred from the outgoing longwave radiation spectra of the Earth in 1970 and 1997', *Nature*, 410, 355–7.

² NASA, 'NASA Research Finds 2010 Tied for Warmest Year on Record', 12 januari 2011, www.nasa.gov/topics/earth/features/2010-warmest-year.html

³ Zie de brochure met de belangrijkste punten uit de 2009 *State of the Climate* op www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/cmb/bams-sotc/2009/bams-sotc-2009-brochure-lo-rez.pdf

⁴ N. Gillett e. a., 2003: 'Detection of human influence on sea level pressure', *Nature*, 422, 292–4.

⁵ V. Ramaswamy e. a., 2006: 'Anthropogenic and Natural Influences in the Evolution of Lower Stratospheric Cooling', *Science*, 311, 5764, 1138–41.

⁶ B. Santer e. a., 2003: 'Contributions of Anthropogenic and Natural Forcing to Recent Tropopause Height Changes', *Science*, 301, 5632, 479–83.

⁷ D. Seidel e. a., 2008: 'Widening of the tropical belt in a changing climate', *Nature Geoscience*, 1, 21–4.

⁸ Zie X. Zhang e. a., 2007: 'Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends', *Nature*, 448, 461–5, en R. Allan en B. Soden, 2008: 'Atmospheric Warming and the Amplification of Precipitation Extremes', *Science*, 321, 5895, 1481–4.

⁹ A. Sibley, 2010: 'Analysis of extreme rainfall and flooding in Cumbria 18–20 November 2009', *Weather*, 65, 287–92.

¹⁰ R. Boswell, 2010: 'Another big-ice Arctic thaw, say experts', *The Vancouver Sun*, 8 september 2010, www.vancouversun.com/technology/Another+Arctic+thaw+experts/3496268/story.html

¹¹ R. Kwok e. a., 2009: 'Thinning and volume loss of the Arctic Ocean sea ice cover: 2003–2008', *Journal of Geophysical Research*, 114, C07005

¹² NSIDC, 'Arctic Oscillation brings record low January extent, unusual mid-latitude weather', 2 februari 2011, nsidc.org/arcticseaicenews/2011/020211.html

¹³ M. Wang en J. Overland, 2009: 'A sea ice free summer Arctic within 30 years?', *Geophysical Research Letters*, 36, L07502.

¹⁴ T. Cronin e. a., 2010: 'Quaternary Sea-ice history in the Arctic Ocean based on a new Ostracode sea-ice proxy', *Quaternary Science Reviews*, in press.

¹⁵ V. Petoukhov en V. A. Semenov, 2010: 'A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents', *J. Geophys. Res.*, 115, D21111.

- ¹⁶ M.A. Moline e. a., 2008: 'High Latitude Changes in Ice Dynamics and Their Impact on Polar Marine Ecosystems', *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1134, 267–319.
- ¹⁷ G. Durner e. a., 2009: 'Predicting 21st-century polar bear habitat distribution from global climate models', *Ecological Monographs*, 79, 25–58.
- ¹⁸ Zie www.doi.gov/news/08_News_Releases/080514a.html. De ondertitel van het persbericht luidt: 'Rule will allow continuation of vital energy production in Alaska'.
- ¹⁹ J. Hansen e. a., 2008: 'Target Atmospheric CO₂: Where Should Humanity Aim?', *Open Atmospheric Science Journal*, 2, 217–31.
- ²⁰ J. Overpeck en B. Udall, 2010: 'Dry Times Ahead', *Science*, 328, 5986, 1642–3.
- ²¹ Zie 2007 IPCC Fourth Assessment Report, WGII, p. 622.
- ²² C. Allen e. a., 2010: 'A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests', *Forest Ecology and Management*, 259, 4, 660–84.
- ²³ H. Adams e. a., 2010: 'Climate-Induced Tree Mortality: Earth System Consequences', *Eos, Transactions*, 91, 17.
- ²⁴ D. Biello, 2008: 'Global warming's first mammal victim?', News Blog, *Scientific American*, 4 december 2008, www.scientificamerican.com/blog/60-second-science/post.cfm?id=global-warmings-first-mammal-victim-2008-12-04
- ²⁵ C. Raxworthy e. a., 2008: 'Extinction vulnerability of tropical montane endemism from warming and upslope displacement: a preliminary appraisal for the highest massif in Madagascar', *Global Change Biology*, 14, 8, 1703–20.
- ²⁶ J.-M. Robine e. a., 2008: 'Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003', *C. R. Biologies* 331.
- ²⁷ G. Jones e. a., 2008: 'Human contribution to rapidly increasing frequency of very warm Northern Hemisphere summers', *Journal of Geophysical Research*, 113, D02109.
- ²⁸ 'Japan endures hottest summer on record', *Washington Post*, 2 september 2010.
- ²⁹ F. Kuglitsch e. a., 2010: 'Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960', *Geophysical Research Letters*, 37, L04802.
- ³⁰ K. Petrone e. a., 2010: 'Streamflow decline in southwestern Australia, 1950–2008', *Geophysical Research Letters*, 37, L11401.

Mark Lynas

De mens als god - Hoe de aarde het Antropoceen kan doorstaan

978 90 6224 510 9, 300 p, 19,95

De mensheid zet de zaken naar zijn hand en botst op negen planetaire grenzen. De ecologische schuld hiervan is ernstiger dan de schulden crisis.