

MENS

DOSSIER

De valstrikken van het klimaatdebat



Beste MeNS lezer,

Karel Knip, klimaat specialist bij NRC, maakte onlangs in De Standaard¹ een aantal kritische bemerkingen. Sinds 2000 stijgt de mondiale temperatuur niet meer en was deze stagnatie niet voorzien. Dit toont volgens Knip aan dat de klimaatmodellen onbetrouwbaar zijn. Verder formuleert hij 7 bedenkingen bij rampscenario's waarvan je een beknopt overzicht vindt in het artikel in DS. Ik vermoed dat elke lezer na het verwerken van ons klimaatdossier ernstige bedenkingen kan maken op dit artikel. Immers, binnen de wetenschappelijke wereld bestaat er een zeer grote consensus omtrent een effectieve opwarming van het klimaat en de rol die de mens hierin speelt. Toegegeven, het is natuurlijk geen 99.9%, maar 'slechts' 97%.

Twee onderzoekers van het departement communicatie-wetenschappen van de Universiteit Antwerpen stelden in Knack² dat 'Het klimaatdebat moet gaan over politieke keuzes. Door deze keuzes niet meer te laten afhangen van klimaatmodellen, doen we de klimaatwetenschap een dienst'. Hierin verwijzen zij verder naar een studie in Nature dat 'bezorgdheid omtrent klimaatverandering niets te maken heeft met een gebrek aan wetenschappelijke kennis of rationaliteit, maar alles met de culturele en politieke normen en waarden van de groep waartoe mensen behoren'. Of anders gezegd: 'We hebben niet zozeer meer wetenschappelijke zekerheid en consensus nodig,

VOORWOORD

maar wel meer tegensprekelijk maatschappelijk debat'.

Het spreekt voor zich dat het een het ander niet mag en kan uitsluiten; een maatschappelijk debat over o.a. klimaatverandering kan niet gevoerd worden zonder een grondige en wetenschappelijk objectieve kennis. De discussies omtrent de klimaatproblematiek alleen overlaten aan beleidsmakers en politici lijkt me niet de juiste richting waarin we moeten gaan. Een pertinente vraag is of zij voldoende weerwerk kunnen bieden tegenover economische belangengroepen waar winsten op korte termijn belangrijker zijn dan het overleven van de planeet aarde. De exploitatie van bv. open steenkoolmijnen in het Australische Queensland's Bowin Basin dreigt een niet te overziene schade aan het Great Barrier Rif te veroorzaken, toch wel een topregio qua biodiversiteit, een toeristisch trekpleister én werelderfgoed.

Of kunnen we ons terugvinden in een uitspraak van Rex Tillerson, de CEO van ExxonMobil? "Laat klimaatverandering toch zijn gang gaan. Veranderende weerpatronen en een stijgende zeespiegel zijn een mooie uitdaging voor ingenieurs. Als mensen zijn we toch gewoon om ons aan te passen aan verandering. We vinden er wel iets op."

Ik vermoed van niet.

Prof. Dr. Roland Valcke
Gewoon Hoogleraar UHasselt
Voorzitter Bio-MENS vzw

1/ DS: "Klimaatconferentie Stockholm: 'Moet het klimaatdebat niet naar rustiger vaarwater?'" (tinyurl.com/mens90-knip)

2/ Knack: "Het klimaatdebat heeft minder wetenschap en meer ideologie nodig" (tinyurl.com/mens90-ua)

Inhoud



Kort en goed: het huidige model	4
De rol van de zon	11
El Niño: over een Kerstekindje en zijn zusje	18
En warmt de aarde nu ook echt op?	19
Wat we niet meer willen meemaken: het Paleoceen–Eoceen Thermaal Maximum	24
Kantelen of struikelen: hoe rampzalig is de foute keuze?	28
Meer lezen, kijken en luisteren?	29

De valstrikken van het klimaatdebat

Prof. Dr. Geert Potters (Hogere Zeevaartschool - Universiteit Antwerpen)

Het klimaat op aarde is de afgelopen jaren zeer snel beginnen veranderen. De wetenschap zoekt de oorzaak daarvan bij het gedrag van de mensheid, en dan vooral dat deel dat aan sneltreinvaart de voorraden fossiele brandstoffen blijft verbruiken en verspillen. De gevolgen van dit gedrag, volgens diezelfde wetenschap? De gemiddelde temperatuur op aarde neemt toe, de poolkappen smelten en het zeeniveau stijgt. Doordat de aarde opwarmt, verplaatsen ook de klimaatzones op aarde zich, wat leidt tot droogte en verwoestijning; het zeewater dringt binnen in vruchtbare rivierdelta's en vernietigt broodnodig landbouwland; er komen enerzijds meer storm en meer neerslag, en anderzijds meer droogteperiodes waarbij er doden kunnen vallen; dieren en planten zoeken een vluchtweg, komen onder druk en soorten

sterven uit. Geen mooie vooruitzichten voor het einde van deze eeuw.

Deze pessimistische voorspelling over de toekomst van de planeet wordt wel eens aangeduid met de term global change: onze aarde staat voor een allesomvattende verandering, waarbij de levensvoorwaarden voor al haar bewoners diepgaand zullen wijzigen. Als de wetenschap zich waagt aan een dergelijke voorspelling, zou je toch verwachten dat mensen met minder ervaring op het terrein van de klimaatwetenschappen zich bij die inzichten neerleggen. Niets is echter minder waar. Bij het brede publiek heersen er heel wat vragen en onrust over de bevindingen van de klimaatonderzoekers.



Nu hoeft de wetenschap zich niet boven kritische vragen verheven te voelen, ook als die vragen van niet-wetenschappers komen. Het kritisch kunnen bespreken en bevragen van elkaars gegevens en interpretaties is immers net één van de meest fundamentele rechten (en plichten) van elke wetenschapper. Overigens, er is geen wetenschappelijke publicatie van enig niveau die zal verschijnen zonder dat deze onder handen genomen is door een panel van (al dan niet volledig anoniem gebleven) specialisten in het onderwerp. Deze dames en heren worden geacht om de tekst die ze te lezen krijgen objectief en grondig door te nemen op zoek naar mogelijke fouten. Dit heet peer review. Ook via lezersbrieven naar wetenschappelijke tijdschriften, of door vragen te stellen op congressen, kan elke wetenschapper elk van zijn collega's op de rooster leggen, van de jongste doctoraatsstudent tot de meest eerbiedwaardige Nobelprijskandidaat. Kan het democratischer? Let wel, de waarheid laat zich natuurlijk niet bepalen door een eenvoudige stemming, en de meerderheid heeft niet altijd gelijk. Alles moet worden afgetoetst in het licht van de beschikbare gegevens en hun best mogelijke interpretatie. Maar wanneer een bepaald argument (pro of contra) weer-

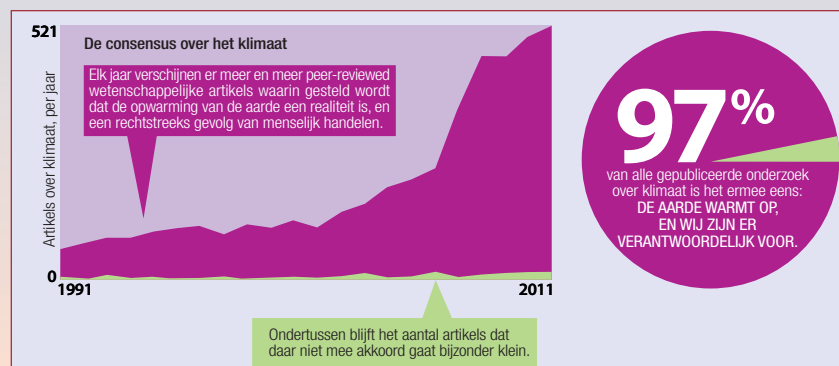
legd is, moet het ook als dusdanig behandeld worden. Het blijven herhalen van dezelfde foute redeneringen maakt ze niet juist.

Dat geldt even goed voor discussies op het publieke forum (bv. in de media). Alleen stellen we daar vast dat er niet enkel goed menende, bezorgde burgers de onderzoekers en hun resultaten bevragen. Een deel van het publiek verzet zich met hand, tand, blogpost en krantenforum tegen de theorie dat de aarde langzaam opwarmt, en vooral, dat de mens de hoofdschuldige is. Elk aspect van de huidige theorieën over klimaat wordt fijn gemalen, verketterd en afgeserveerd. Dit deel van het publiek staat vaak bijzonder vijandig tegenover de bijdrage van de klimaatexperts (zoals het IPCC), en is rotsvast overtuigd van het eigen gelijk. Volgens deze bijzonder luidruchtige minderheid zijn klimaatwetenschappers niet meer dan een stel incompetente leugenaars die meeheulen met de heersende opinie ("de aarde warmt op door de schuld van de mens") om hun eigen positie en loon te beschermen, een stel bandieten die een lauw afkooksel van echte wetenschap ("wat het publiek denkt") hoog in het vaandel dragen op de kap van de arme belastingbetaler. Mogelijk –

Tegenargument: de klimaatwetenschappers zijn het zelf niet eens over de opwarming van de aarde.

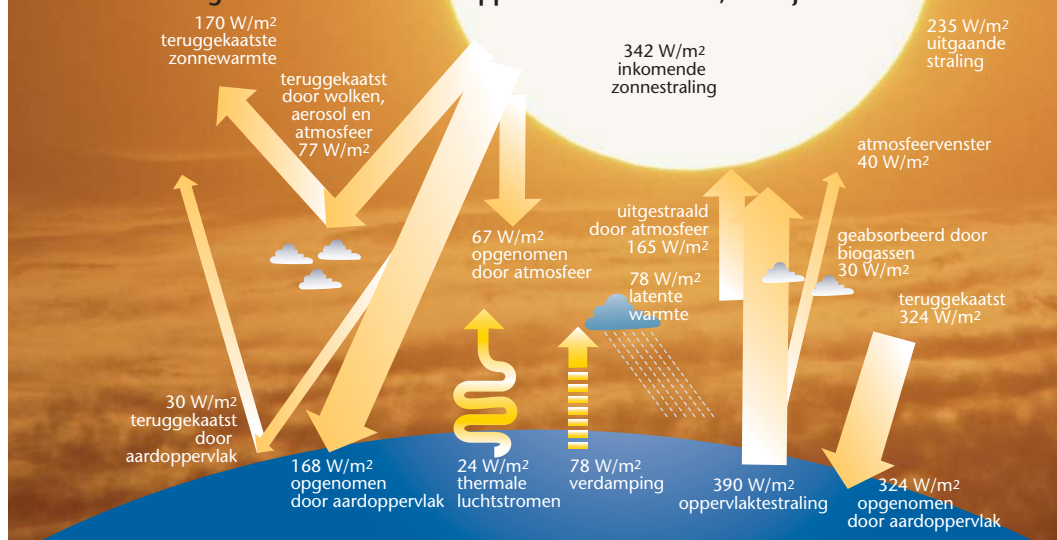
Kort antwoord: 97% van alle klimaatdeskundigen zijn overtuigd door de voorliggende data, en 99% van de publicaties over klimaat in de grote vakbladen baseert zich op de theorieën van het International Panel on Climate Change (IPCC), het Nobelprijswinnend internationaal instituut dat alle beschikbare wetenschappelijke gegevens rond de evolutie van het klimaat op aarde afweegt en omzet in beleidsaanbevelingen.

Bron: Cook et al., artikel op stacks.iop.org/ERL/8/024024



ipcc
climate change

De energiebalans aan het aardoppervlak. Tel maar na, we zijn in evenwicht.



ook omdat wij wetenschappers dat slagveld onte-
recht reeds lang hebben verlaten – neemt dit dis-
cours zelfs her en der de bovenhand.

Nochtans... er zijn weinig wetenschappelijke the-
orieën die zo diepgaand zijn bestudeerd, al jarenlang,
door knappe koppen over de hele wereld (zie kader-
tje). Heel wat argumenten hebben reeds lang een
eerlijk, helder antwoord gekregen. In dit dossier wil

MeNS dan ook zijn gewone rol spelen: we willen
weerwerk bieden aan de grootste flaters die over kli-
maat en global change verteld worden, zodat iede-
reen die klaarheid wil, snel de juiste en recente
informatie kan terugvinden in dit dossier. Als tegengif
tegen de stroom aan desinformatie die ons dreigt te
overspoelen, en als steuntje in de rug voor wie een
eerlijke poging wil doen het klimaatverhaal in het
juiste perspectief te zien.

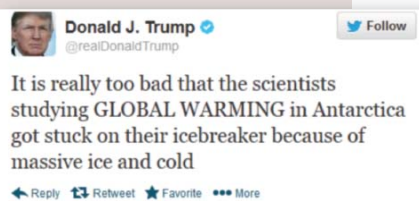
Tegenargument: U liegt.

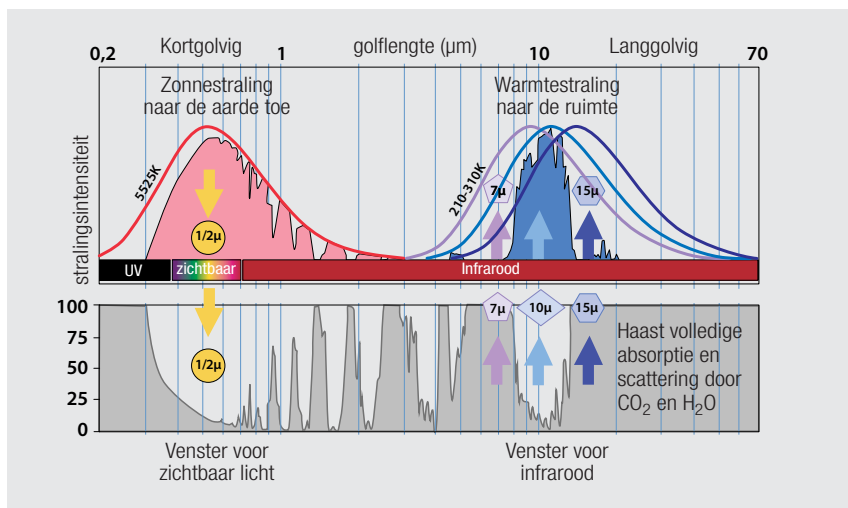
Kort antwoord: Op dat niveau debatteren we niet mee: met verdachtmakingen kan je elk debat vergiften.
Echte sceptici spelen trouwens de bal, niet de man.

Het is ieders recht om vragen te stellen over de legitimiteit van de gebruikte gegevens: zijn ze correct ver-
werkt, zit er geen verborgen vooroordeel in de manier waarop ze zijn opgemeten (d.w.z. stuurt de gebruikte
methode de interpretatie van de gegevens, gaat de studie uit van bepaalde vooroordelen zonder die hard
te maken, ...). Het is eveneens ieders recht om te zoeken naar alternatieve verklaringen voor de bekomen
gegevens in een bepaald onderzoek, zolang die verklaringen maar door alle waarnemingen worden onder-
steund. Het is zelfs prima om geruchten die de ronde doen voor te leggen aan de betrokken onderzoekers
en te vragen wat daarvan aan is ("Ik heb horen beweren dat de aarde de laatste jaren terug afkoelt; wat
denkt u daarvan?") en een tweede, derde, ... mening ernaast te leggen. Meer nog, dat is nu net de essentie
van onderzoek. In dit dossier tonen we trouwens heel wat gegevens, ook zeer recente, als antwoord op de
meest gestelde vragen en tegenargumenten.

Maar we spelen niet mee in de verdachtmakingen, de vervalste ge-
gevens, ..., het verhaal dat er een wereldwijde samenzwering van we-
tenschappers bestaat die manu militari één bepaald verhaal promoot.
Bij "Meer lezen en luisteren" geven we nog enkele voorbeelden van
dit soort nepdiscussies.

En dan zwijgen we nog over mopjes zoals deze. Met een hele lange
baard.





Onderaan (in het grijs) zie je wat de atmosfeer absorbeert aan inkomend en uitgaand licht. Bovenaan zie je (links) het zonnenspectrum zoals dat aan de buitenzijde van onze atmosfeer aankomt (rode lijn) en hoe dat op aarde wordt gezien. Het grootste gedeelte passeert zonder problemen door de atmosfeer. Rechts zie je het spectrum (paars en blauw) dat onze aarde produceert. Hiervan wordt het meeste geabsorbeerd door de broeikasgassen.

Kort en goed: het huidige model

We ontvangen op onze blauwe bol gemiddeld 342 joule per m² en per seconde. Staat de zon loodrecht boven je, dan ontvang je zelfs 1366 J/m² s oftewel 1366 W/m² (want 1 watt = 1 J/s). Nu zou je je kunnen afvragen waarom onze planeet dan niet allang veranderd is in een heteluchtoven, als er dan toch zoveel energie per seconde op de aarde invalt. De reden daarvoor kan je zien op de figuur: een groot deel van de invallende zonne-energie wordt teruggekaatst door de wolken. Nog een deel wordt dan weer geabsorbeerd door het aardoppervlak, dat dan zelf weer energie gaat afgeven. Alles bij elkaar genomen, wint of verliest de aarde netto nauwelijks energie.

Niet alles van die 342 W/m² van de zon komt effectief aan op het aardoppervlak. Ongeveer één derde van de straling (107 W/m²) die de zon in de richting van de aarde stuurt, wordt in de ruimte terugge-

kaatst. Een deel (67 W/m²) wordt geabsorbeerd door de atmosfeer (wolken, stofdeeltjes in de hogere luchtlagen). De resterende helft van de stralen (168 W/m²) komt effectief op het aardoppervlak (de oceanen inclusief) terecht. Een deel van die energie zorgt voor allerlei weersverschijnselen: wind (24 W/m²) en neerslag (78 W/m²). Dit is de energie die ervoor zorgt dat de waterkringloop (zie verder) op aarde in gang blijft.

Daarnaast zal elk oppervlak op aarde een deel straling terugkaatsen. Dit verschijnsel duiden we aan met de term 'albedo', en we drukken de grootte van dit albedo uit als de verhouding tussen de teruggekaatste en de ingestraalde straling. Hoe sterk dit albedo is, hangt af van het oppervlak zelf. De aarde heeft een gemiddeld weerkaatsingsvermogen van 37% tot 39%, de maan is door zijn oppervlak van vulkanische rots veel donkerder met een gemiddeld albedo van 7%. Venus heeft met zijn wolkendeek een albedo van 72%. De Saturnusmaan Enceladus is het helderste object in het zonnestelsel met een albedo van bijna 90%.

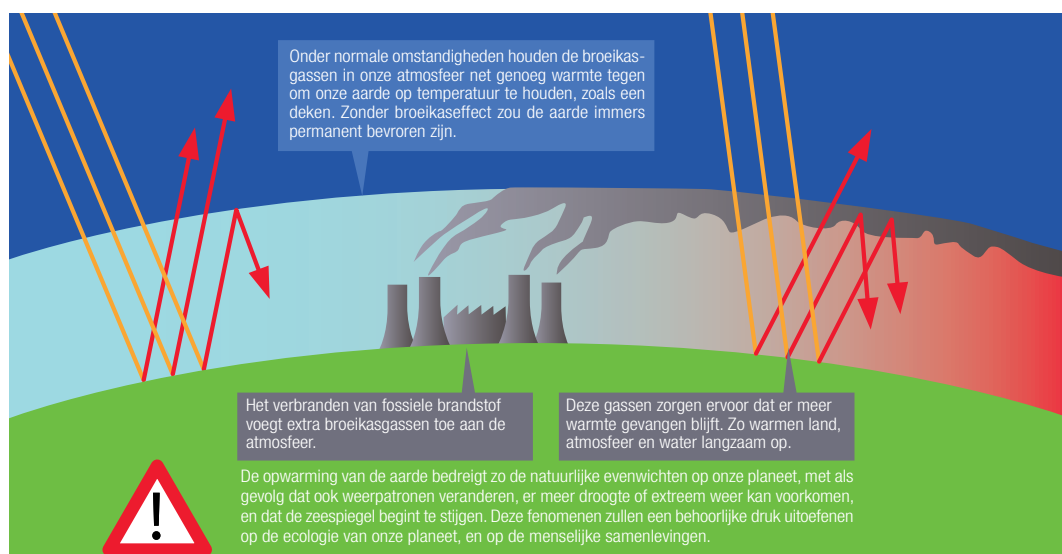
Het aardoppervlak zendt zelf ook een hoeveelheid straling terug uit (in totaal 390 W/m^2). Dat is niet verwonderlijk: de natuurkunde leert ons dat alle voorwerpen met een bepaalde temperatuur T (in K) een hoeveelheid energie uitstralen. Opgelet – wat de aarde van de zon ontvangt, is kortgolelige straling. Wat de aarde uitstuurt, is langgolelige infraroodstraling. Zo'n 235 W/m^2 daarvan gaat effectief de ruimte in. De atmosfeer kaatst echter weer een gedeelte terug, en geeft zelf ook geabsorbeerde warmte af.

En dan gebeurt er nóg iets. Bepaalde gasen in de atmosfeer (de zogenaamde broeikasgasen: waterdamp, koolstofdioxide, methaan en nog enkele minder belangrijke) absorberen deze infrarode straling. Hierdoor blijft er energie hangen in onze atmosfeer, die zo ook opwarmt (en daardoor zelf ook weer straling gaat uitzenden). Alles samen genomen bereikt er 324 W/m^2 aan energie de oppervlakte van de aarde vanuit de atmosfeer. Ze omhullen de aarde als één grote deken die weliswaar de kortgolelige zonnestralen doorlaat, maar tegelijk de langgolelige warmtestralen binnenhoudt. Die opwarming is niet overal in de atmosfeer even sterk: vooral de onderste lagen, waarin er meer broeikasgasen verzameld zitten, worden warmer. Er wordt dus meer warmte bijgehouden op aarde dan losgelaten in de ruimte.

Tegenargument: CO_2 en de andere broeikasgasen zijn slechts in zeer beperkte hoeveelheden aanwezig. Nu (2014) bevat de atmosfeer $400 \text{ ppm } \text{CO}_2 = 0,04\%$, bij de start van de Industriële Revolutie in 1750 was dit slechts $280 \text{ ppm} = 0,028\%$. De CO_2 -concentratie is dus slechts met $0,012\%$ gestegen.... Waarom zou dit minieme verschil zo een groot gevolg hebben?

Kort antwoord: In plaats van de absolute concentratie te geven, kan je ook kijken naar de relatieve toename ten gevolge van de menselijke activiteit (dus, vergeleken met de CO_2 -concentratie in de atmosfeer voor 1750, zijnde 280 ppm). En dan merken we dat die waarde met maar liefst 42% is toegenomen.

Daar komt nog het volgende bij. Normaal is de koolstofbalans tussen de grote compartimenten in de aardse ecologie (land, atmosfeer en oceanen) in evenwicht. Nu, hoewel onze jaarlijkse output van $29 \text{ gigaton } \text{CO}_2$ klein is in vergelijking met de 750 gigaton die zich jaarlijks door de koolstofcyclus beweegt, is ze toch significant, vermits het land en de zee niet al die extra CO_2 absorberen.



Voor meer achtergrond: lees MeNS 43, *Klimaat in de knoei*, en MeNS 64, *Een graadje warmer. Quo vadis, Aarde?*

Het broeikaseffect is overigens een natuurlijk proces. Ook op Venus heeft het een rol gespeeld bij het tot stand komen van het daar heersende klimaat (al is die planeet wel helemaal gaargekookt, met een gemiddelde temperatuur van 480°C, volgens de NASA). Op Mars is het dan weer nooit echt op gang gekomen. Op aarde kennen we reeds miljarden jaren een min of meer aangename temperatuur. Gemiddeld genomen heeft het broeikaseffect ervoor gezorgd dat onze planeet een gemiddelde temperatuur heeft van om en bij de 15°C, terwijl die temperatuur zonder broeikasgassen 20°C onder het vriespunt zou liggen.

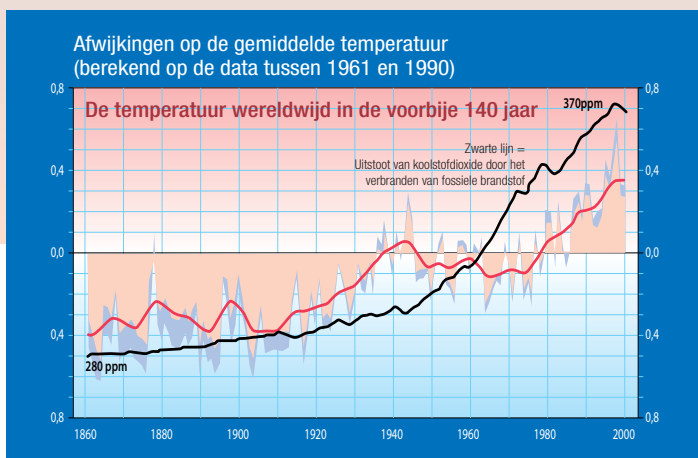
Nu, in principe is dit hele systeem in evenwicht: aarde, ruimte en atmosfeer ontvangen evenveel energie als ze afgeven, en geven evenveel af als ze ontvangen. In de figuur op p.3 hebben we de stralingsbalans van de aarde toegelicht. Dit is de 'boekhouding' van alle inkomende en uitgaande straling. Maar het is wel een dynamisch evenwicht: wanneer de zon actiever wordt, of wanneer de positie van de aarde ten opzichte van de zon verandert, zal dat een invloed hebben op de temperatuur (en het klimaat op aarde). En wanneer vulkanen stofdeeltjes in de atmosfeer blazen, of wanneer onze industrie een

Tegenargument: In de jaren 1970 voorspelde men nog een ijstijd... nu global warming. Weten die wetenschappers zelf wel wat ze willen?

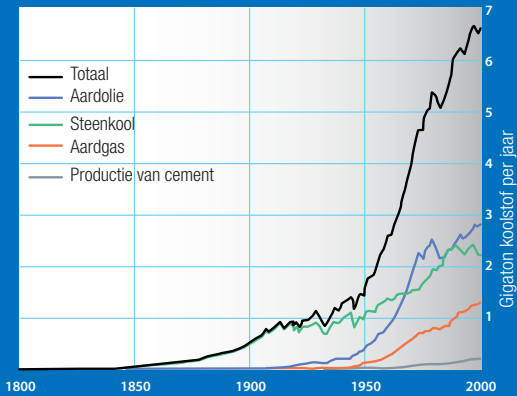
Kort antwoord: In de dertig jaren voorafgaand aan de jaren 1970 leken we op grond van bepaalde temperatuursmetingen af te stevenen op een afkoeling van de aarde, wat volgens sommige wetenschappers duidde op een nieuwe ijstijd. Deze koeling was er ook wel degelijk: de felle uitstoot van smog, stofdeeltjes en zwaveldioxide door transport en industrie leidde ertoe, dat er meer zonlicht werd weerkaatst door de atmosfeer. Diezelfde uitstoot van stikstof- en zwaveloxiden (NOx en SOx) was ook verantwoordelijk voor de zure regen die onze bossen en gebouwen aantastte.

Alleen bleek die koeling vooral beperkt tot het noordelijke halfrond met zijn sterke industrialisatie. Toen deze afkoeling dan ook nog eens verdween zodra de uitstoot van NOx en SOx werd teruggedrongen, bleek dat er van een naderende ijstijd absoluut geen sprake was. Op hetzelfde moment bleek overigens al dat er meer studies dit idee tegenspraken dan steunden. Tevens begon ook het idee van klimaatopwarming te verschijnen in verschillende publicaties, waarbij de onderzoekers toen al verwachtten dat die opwarming een veel grotere invloed op de wereldtemperatuur zou hebben dan dit eventuele afkoelingseffect.

Anderzijds dook het (spectaculaire) afkoelingsscenario bovenmatig veel op in de pers, waardoor het publiek verkeerdelijk de indruk kreeg dat Europa weldra weer tot aan de Belgische taalgrens onder een ijskap zou zuchten. Niets nieuws onder de zon dus.



Uitstoot van fossiel koolstof, sinds 1800

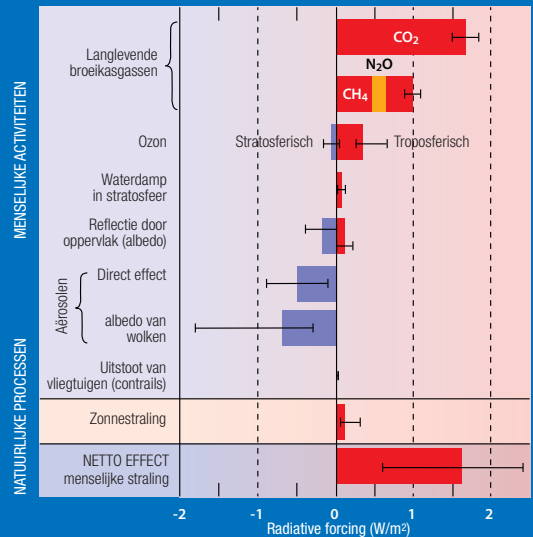


overmaat aan zwaveldioxide produceert (zoals tijdens de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw), dan geraakt het zonlicht moeilijker door de atmosfeer en koelt de aarde ook af.

En toen ontdekte de mens de fossiele brandstoffen, en begon hij deze op grote schaal te gebruiken. Na 250 jaar industrialisatie (en dan vooral na de voorbije 60-70 jaar, waarin die industrialisatie een zeer hoge vlucht heeft genomen – zie figuur linksboven) bleek de concentratie CO_2 in de atmosfeer te zijn toegenomen van 280 ppm tot 400 ppm. Ook andere gasen zoals methaan verdubbelden in concentratie in die tijdspanne. Tegelijkertijd stelden onderzoekers vast dat, geheel in de lijn van wat de theorie van het broeikas effect voorspelt, ook de temperatuur op aarde is toegenomen. En de hel brak los.



Radiative forcing tussen 1750 en 2005



Rekenen met klimaatbijdragen: de radiative forcing

Om de invloed van zowel natuurlijke als menselijke bijdragen aan deze stralingsbalans te kunnen uitdrukken, maken klimaatwetenschappers gebruik van het begrip radiative forcing: de mate waarin atmosferische verschijnselen een effect hebben op de stralingsbalans en daardoor op de temperatuur op aarde. De broeikasgassen in de atmosfeer zorgen zo voor een positieve effect: roet- en zwaveldeeltjes verzwakken het binnenkomende zonlicht en zorgen zo voor een afkoeling. Ook het albedo van het aardoppervlak kan worden uitgedrukt in termen van *radiative forcing*.

Bovenstaande figuur geeft enkele berekende waarden voor de radiative forcing tussen 1750 en 2005 voor verschillende aspecten van de stralingsbalans.

Broeikassen forceren mee

De temperatuurstoename dT (in Kelvin of in $^{\circ}\text{C}$) op aarde is recht evenredig met de toename in hoeveelheid straling dF die het aardoppervlak bereikt (de radiative forcing), en hangt verder nog af van een evenredigheidsconstante λ , de gevoeligheid van het klimaat.

$$dT = \lambda \cdot dF$$

Heel veel hangt dus af van het juist inschatten van deze parameters dF en λ . De bijdrage aan de verandering van de stralingsbalans is anders voor elk broeikasgas. Voor CO_2 komt het verband tussen beide uit op

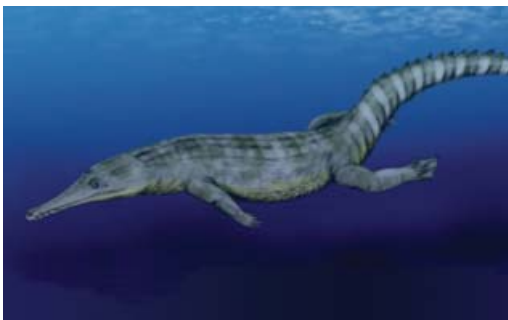
$$dF = 5,35 \cdot \ln(c/c_0)$$

waarbij dF de radiative forcing in Watt per m^2 is, c de concentratie CO_2 in de atmosfeer, en c_0 de referentieconcentratie van het CO_2 (en daarvoor gebruikt men normaal de concentratie in de atmosfeer van voor de Industriële Revolutie, 280 ppm).

Uit andere studies halen we een schatting voor λ . Het IPCC drukt deze waarde uit als de te verwachten

temperatuurstoename bij een verdubbeling van de CO_2 -concentratie in de atmosfeer. Anders gezegd, dit is de dT voor $dF = 5,35 \cdot \ln(2) = 3,7 \text{ W/m}^2$. Hiervoor gebruiken de modellen verschillende onafhankelijke datasets, die allemaal echter wijzen naar waarden tussen 2 en $4,5^{\circ}\text{C}$. Weinig rekenmethoden laten de mogelijkheid open voor een lagere waarde, terwijl meerdere methoden wel hogere waarden statistisch toelaatbaar achten. Waar steunen deze methoden zich dan zoal op?

- Sommige wetenschappers kijken naar het verleden (het **paleoklimaat**): hoe snel herstelde de planeet zich na een ijstijd, en hoe groot waren de klimaatveranderingen in het verleden? Een studie van 2009 bestudeerde het Paleoceen-Eoceen Thermaal Maximum (ongeveer 55 miljoen jaar geleden – zie p24). Hieruit konden de betrokken onderzoekers inschatten dat een verdubbeling van de CO_2 -concentratie wellicht leidt tot een opwarming van $1\text{--}3,5^{\circ}\text{C}$.
- Anderen steunen op gegevens van recente **vulkaanuitbarstingen**, zoals de Pinatubo in 1991. Ook hier vinden onderzoekers waarden voor λ tussen $1,5$ en $4,5^{\circ}\text{C}$.

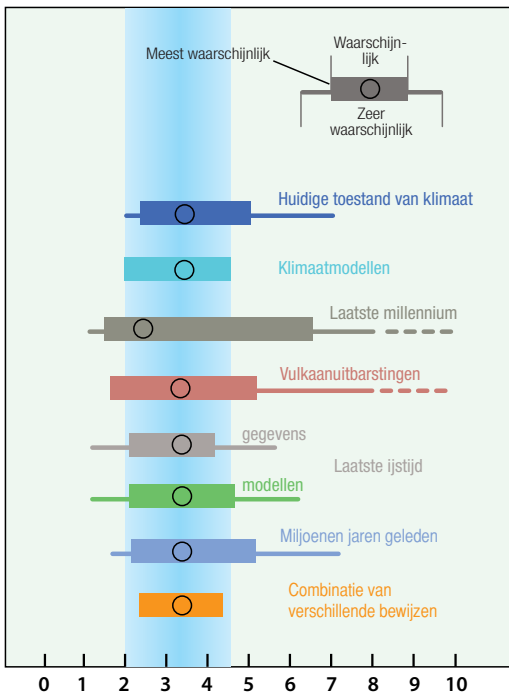




- Ook de **activiteit van de zon** (zie kader en verderop) wordt gebruikt om de klimaatgevoeligheid te berekenen. De jaarlijkse variatie van de zonne-activiteit zoals we die kunnen afleiden uit de zonnevlekken, blijkt ruwweg overeen te komen met een toename van 1% per jaar aan broeikasgassen. Dit leidt tot een gevoeligheid van 2,3-4,1°C.

En zo zijn er nog verschillende mogelijkheden, die allemaal dezelfde range aan waarden voor λ opleveren. De figuur geeft een overzicht. Het is duidelijk dat onderzoekers hier niet over één nacht ijs gegaan zijn, of er met hun pet naar gesmeten hebben.

Verskillende schattingen van de klimaatgevoeligheid



Willen we nu de impact van een verdubbeling van CO_2 op de stralingsbalans van de aarde kennen, dan kunnen we de volgende berekening maken:

$$\lambda = dT/dF = [2 \text{ tot } 4^\circ\text{C}] / [5,35 \cdot \ln(2) \text{ (W/m}^2\text{)}] = 0,5 - 1,1^\circ\text{C/(W/m}^2\text{)}$$

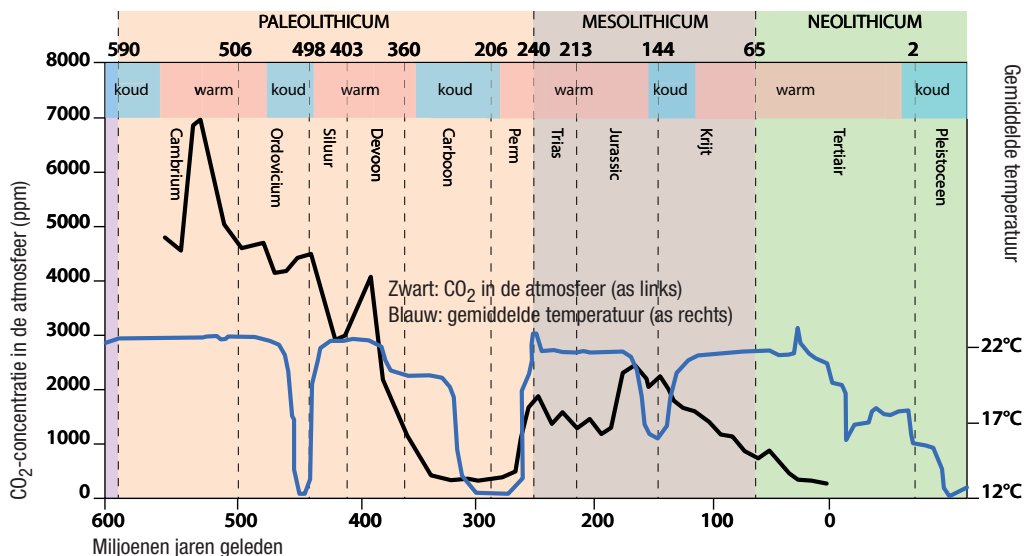
Komt dit nu overeen met de gemeten waarden? Nog niet. We kunnen voor de huidige toestand uitrekenen dat de temperatuur op aarde door de toename in CO_2 had moeten stijgen met gemiddeld

$$dT = [0,5 - 1,1^\circ\text{C/(W/m}^2\text{)}] \cdot 5,35 \cdot \ln(400/280) = 1 - 1,9^\circ\text{C}$$

Hierbij moeten we enkele bedenkingen maken. Om te beginnen levert bovenstaande vergelijking ons de temperatuur van het aardse klimaat in evenwicht. In de praktijk warmen de atmosfeer en de bovenste laag van de oceanen veel sneller op dan de diepzee (onder andere doordat water zo traag opwarmt). Hierover hebben we het verderop nog. Daarnaast komen we ook met de veel lagere gevoeligheid die sommige klimaatsceptici voorstellen (ter waarde van $0,27^\circ\text{C/(W/m}^2\text{)}$ uit op een opwarming van $0,5^\circ\text{C}$. Ook dan draagt de toename in CO_2 nog meer dan de helft bij tot de opgemeten opwarming van $0,8^\circ\text{C}$ aan het aardoppervlak.

Verskillende schattingen voor de klimaatsgevoeligheid. De cirkel geeft in elk geval de meest waarschijnlijke waarde weer. De blauwe zone geeft de range aan die het IPCC gebruikt in zijn modellen (2 tot $4,5^\circ\text{C}$).

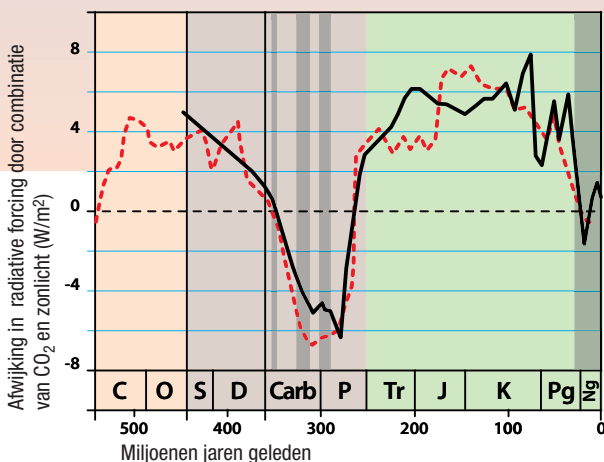
Temperatuur en CO₂ op aarde doorheen de voorbije 600 miljoen jaar.



Tegenargument: In het verleden waren de CO₂-concentraties tot twintig maal hoger dan vandaag. Waar maken we ons zorgen over?

Kort antwoord: Zoals we elders grif toegeven (en terecht ook), wordt het klimaat aangedreven door verschillende factoren. Vreemd eigenlijk, waar in andere argumenten wordt aangehaald dat de zon een zeer belangrijke drijvende kracht achter het klimaat op aarde is, wordt de invloed van onze ster hier volledig genegeerd. Inderdaad, de aarde had een atmosfeer met meer dan 5000 ppm CO₂ tijdens het Paleozoïcum. Alleen was toen de zon minstens 4% minder actief dan vandaag het geval is (ruwweg 1310 W/m² i.p.v. 1366 W/m²). Het netto-effect van zonnestraling en CO₂ samen zie je op de figuur onderaan (met de ijsstijden aangegeven als grijze zones).

Als we echt goede vergelijkingen willen maken, doen we dat dus beter met perioden waarin ook de andere variabelen die het klimaat op aarde aandrijven, van dezelfde grootteorde zijn als nu. Voor CO₂ hebben we het dan over concentraties tussen 365 en 410 ppm in het Pliocene. Ook de zon was even actief als vandaag. Het gevolg? De noordpool was 11 tot 16 graden warmer, de gemiddelde temperatuur van de aarde lag 3 tot 4 graden hoger dan vandaag, en de zeespiegel lag 25 m hoger. Als dat geen bewijs is voor de geldigheid van de klimaatmodellen...



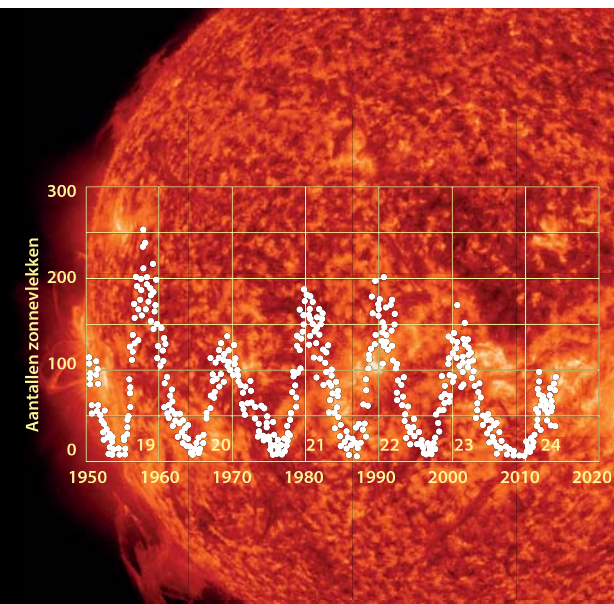
Deze figuur geeft aan hoe de radiatieve forcing doorheen de geschiedenis van de aarde werd beïnvloed door een combinatie van zonnestraling en CO₂-concentraties. Beide lijnen geven een inschatting met een andere dataset weer. Zo zie je hoe onafhankelijke data tot hetzelfde resultaat komen.

De rol van de zon

Ook de zon bepaalt mee hoe warm het op aarde is. Haar activiteit is redelijk variabel, zowel op korte termijn als op lange termijn. Om de impact van de zon duidelijk te kunnen onderscheiden van de impact van de broeikasgassen, kunnen we maar beter goed begrijpen hoe de relatie tussen de zon en ons klimaat juist in mekaar zit.

Zonnevlekken: weinig nieuws op korte termijn

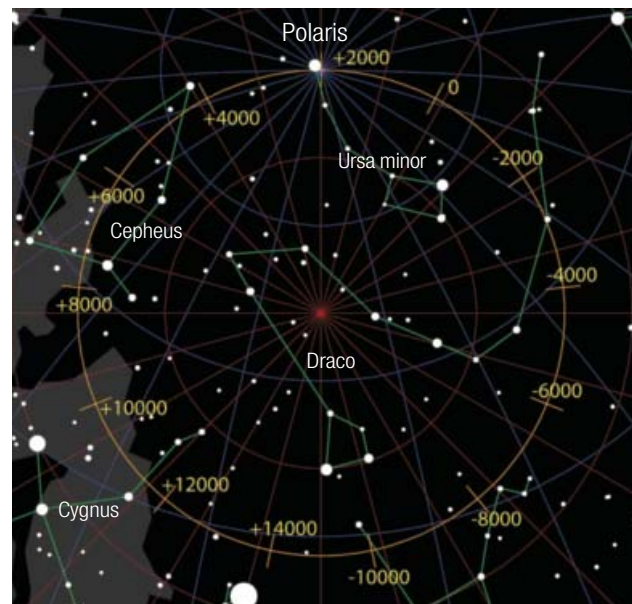
De zon kent een activiteitscyclus van 11 jaar (zie figuur), gekenmerkt door het voorkomen van zonnevlekken. Dit zijn plaatsen op het oppervlak van de zon waar de temperatuur minder hoog is dan elders: "slechts" zo'n 4500°C in plaats van 6000°C. Door het contrast met de veel helderdere omgeving lijken ze bruinachtig of zwart. Op dit moment zitten we aan de 24ste waargenomen cyclus. Het blijkt een cyclus te zijn met minder activiteit dan gewoonlijk, en met een piek in 2013 (met ook minder activiteit dan bij voorgaande maxima).



Zonnevlekkenactiviteit doorheen de laatste zestig jaar. Op dit moment zitten we midden in een cyclus en verwachten we een actieve zon, maar om een of andere nog onbekende reden is dit niet echt het geval.

We kunnen overigens gemakkelijk de impact van deze variatie in zonnestraling berekenen. In de tekst stelden we al dat de jaarlijkse variatie van de zonneactiviteit ruwweg blijkt overeen te komen met een toename van 1% per jaar aan broeikasgassen. In termen van zonnestraling is het verschil tussen minimum en maximum slechts 0,08% van de 1366 W/m² die onze planeet ontvangt als zonnestraling. Dit komt dan weer overeen met een maximaal verschil van 1,1 W/m² aan radiative forcing. Volgens Mike Lockwood van de Universiteit van Reading (UK) is een dergelijke waarde wel voldoende om de recente strenge Europese winters te verklaren: de zon zat de voorbije jaren op een minimale activiteit, en dat maakt dat de planeet minder directe zonnestraling ontvangt. Dit trekt tijdelijk de hele stralingsbalans naar beneden.

Een ander voorbeeld van die invloed van de zon is wellicht de periode 1645-1715 waarin de zonnevlekken vrijwel verdwenen en de zonneactiviteit sterk terugviel. We noemen deze het Maunderminimum. Deze periode viel middenin de zogenaamde Kleine IJstijd (15de-19de eeuw, met gemiddelde temperaturen in Europa van 1-2 graden lager dan nu, en wereldwijd 0,5-1 graad lager).

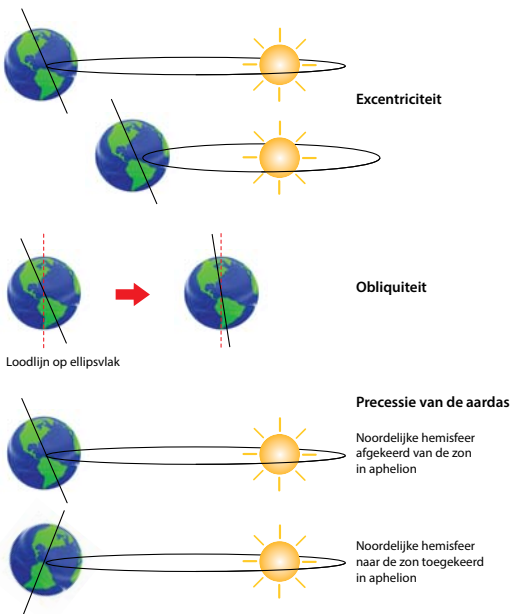


Hoe de precessie van de aardas ons zicht op de hemel verandert: nu zien we pal in het noorden nog de Polaris (poolster), maar de volgende 24000 jaar komen verschillende andere sterren(beelden) op die plaats te staan.

Milankovitch en de ijsstijden

Een zeer sterke manier om aan te tonen hoe groot de impact van de zon op het klimaat van onze planeet is op langere termijn, zijn de berekeningen van de Servische wetenschapper Milankovitch. Door een wiskundig model op te stellen van het invallende zonlicht op aarde in functie van de bewegingen van onze planeet, kon de man zeer nauwkeurig de ijsstijden voorspellen. Immers, doorheen de millennia ondergaat het traject van de aarde om haar as en om de zon een groot aantal cyclische veranderingen. Deze veranderingen zijn voldoende groot om de stralingsbalans van de aarde zo te verstoren, dat er op aarde een ijsstijd volgt.

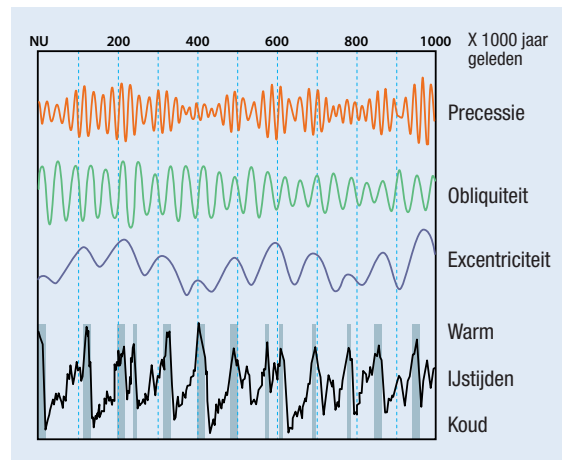
Milankovitch onderzocht in het bijzonder de orbitale excentriciteit, helling van de aardas en de precessiebewegingen van de aarde. Elk van deze fenomenen heeft een eigen periodiciteit (de tijdspanne nodig om opnieuw op dezelfde waarde uit te komen). We leggen deze drie termen even uit.



De drie periodieke bewegingen van de aardbaan in het model van Milankovitch.

Met excentriciteit bedoelt men de mate waarin de elliptische aardbaan afwijkt van een cirkel. Deze afwijking fluctueert tussen 0 en 5% en verandert met een periodiciteit van 100 000 jaar en met een tweede van 400 000 jaar. Op dit moment is de afwijking tussen het verste punt van de aardbaan van de zon (het aphelion) en het dichtste punt (perihelion) ongeveer 3%, en ontvangt de aarde ongeveer 6% meer zonnenergie op het perihelion. Wanneer de baan van de aarde echter het sterkst afwijkt van een cirkel, is het verschil tussen de inkomende zonnestraling 20-30% meer op het periheliumpunt, volgens het model van Milankovitch.

De helling of obliquiteit van de aardas verwijst dan weer naar de hoek tussen de aardas en het vlak van de baan van de aarde. Die bedraagt op dit moment $23,5^\circ$. Deze hoek varieert tussen $21,5^\circ$ en $24,5^\circ$ in 41 000 jaar tijd.



De synergie tussen de verschillende astronomische bewegingen van de aarde ten opzichte van de zon biedt een prima verklaring voor het voorkomen van ijsstijden.



Milutin Milankovitch

Dag enthousiaste leerkracht, gebruik jij **MeNS** in je lessen?

- + Hoe ga je met MeNS concreet aan de slag in je klas?
- + Gebruik jij de educatieve fiches bij MeNS?
- + Heb je een originele of creatieve aanpak?
- + Heb je al eens een uitdagende werkvorm uitgetoetst met je leerlingen?
- + Welke tips heb jij om een onderwerp aan te brengen?
- + Hoe zorg je ervoor dat de leerlingen de essentie van een tekst vatten?
- + Welke verwerkingsopdrachten geef je hen?

De redactie van MeNS wil het dolgraag weten! Stuur een mailtje met je ervaringen naar social@acco.be! Graag willen we van je ervaring leren en je ideeën delen met collega-MeNS-lezers.

De meest interessante inzender wint een jaarabonnement 2014-2015 van MeNS!

Dank voor je deelname!
de MeNS-redactie



LANDBOUW EN VOEDSEL, VERRASSEND ACTUEEL

ERIK MATHIJS EN JORIS RELAES

Vlaanderen behoort tot de topregio's in Europa wat landbouw betreft. Toch blijft de sector met een aantal fundamentele problemen kampen. Landbouw is immers een uitermate kwetsbare sector. De problemen zijn voor een groot stuk het gevolg van de aard van de sector zelf, vermits landbouwproductie erg gevoelig is aan de grillen van de natuur en een schoolvoorbeeld is van volledige mededinging. Technologische vooruitgang, globalisering en culturele en socio-demografische veranderingen in onze maatschappij zetten de sector verder onder druk.

Dit boek biedt een economische analyse van de problemen en uitdagingen waarmee de landbouw geconfronteerd wordt, en van de mogelijke oplossingen waarover de sector beschikt.

ISBN 978 90 334 8095 9 // 2012 // 120 blz. // 22,80 EUR

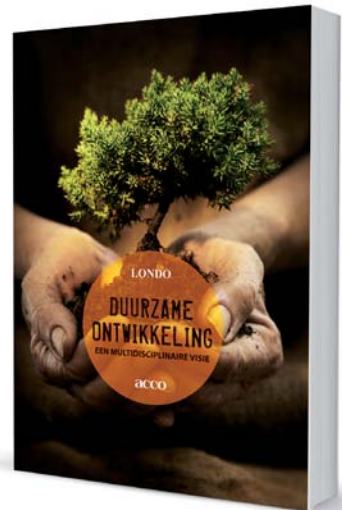


DUURZAME ONTWIKKELING EEN MULTIDISCIPLINAIRE VISIE

LEUVENS ONDERZOEKSNETWERK DUURZAME
ONTWIKKELING (LONDO)

In dit boek worden de sociale, economische en ecologische dimensies van duurzaamheid belicht vanuit verschillende wetenschappelijke disciplines. Naast een situering van het begrip duurzaamheid en een sociologische en juridische visie op het onderwerp, wordt daarbij aandacht besteed aan de impact en opportuniteiten verbonden aan belangrijke activiteiten in onze dagelijkse realiteit zoals bouwen en wonen, voedselproductie, transport, productontwikkeling, energieproductie en industriële processen.

ISBN 978 90 334 9171 9 // 2013 // 248 blz. // 45 EUR



Bestel dit boek via www.uitgeverijacco.be of mail uw bestelling, naam en adres naar bestelling@acco.be, met vermelding van de referentie "tijdschrift Mens" of kom naar één van onze boekhandels.

Acco Leuven
Maria-Theresiastraat 2-4
3000 Leuven
016/26 11 00

Acco Antwerpen
Prinsstraat 21
2000 Antwerpen
03/226 64 02

Acco Gent
Sint-Pietersnieuwstraat 105
9000 Gent
09/235 73 00

acco

VAN BOEKEN GA JE DENKEN

EXTRA

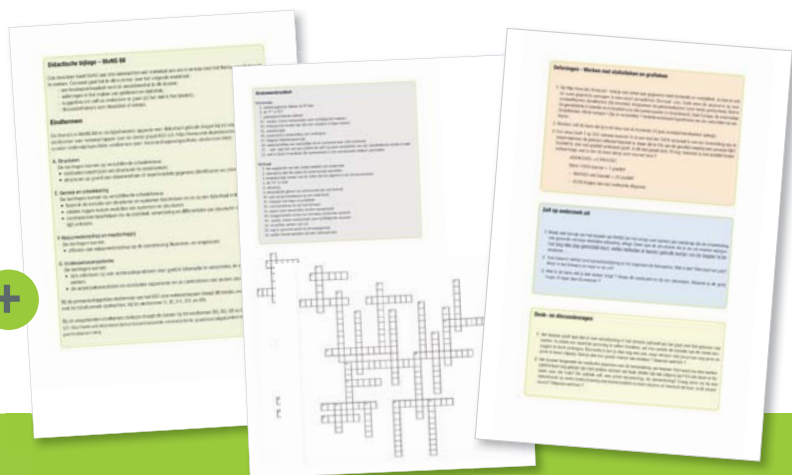
EEN AANVULLEND STUKJE **MENS**,

SPECIAAL VOOR GEBRUIK IN DE KLAS!

OVER 'WERKEN AAN EEN GROENER LAND' VALT NATUURLIJK NOG VEEL MEER TE VERTELLEN. EN DAT DOEN WE DAN OOK.

Leerkrachten die geabonneerd zijn op MeNS kunnen op www.acco.be/mens90 nog een extra katern vinden, met bijkomend didactisch materiaal aansluitend op de vooropgestelde eindtermen voor wetenschappen:

- + Een kruiswoordraadsel
- + Suggesties om zelf op onderzoek te gaan
- + Discussiethema's voor klasdebat of essays





MENS

MILIEU EDUCATIE NATUUR SAMENLEVING



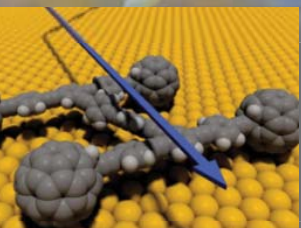
MeNS komt naar je school, vereniging of instelling met een bundeling van 8 lezingen. De lezingen worden gegeven door Christiaan Thoen, bioloog, ondervoorzitter van Bio-MENS vzw, coauteur van MeNS en wetenschappelijk medewerker van de Universiteit Antwerpen.



Biodiversiteit in de knoei: Overal krijgt de biodiversiteit zware klappen door klimaatopwarming, uitheemse soorten, habitatfragmentatie, vervuiling en overexploitatie. Deze lezing schetst een beeld van al deze bedreigingen die het leven op aarde zwaar hypothekeren.



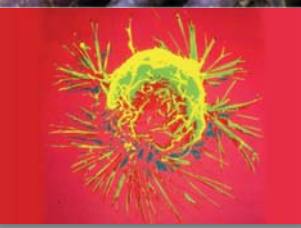
Eet je gezond!: Deze lezing geeft een wetenschappelijk antwoord op de nieuwste inzichten rond cholesterol en het hele atheroscleroseverhaal en bespreekt hierbij de actuele voedingsadviezen.



Exoten in opmars: Landbouwgewassen en vee verhuizen al decennia mee met de mens, maar ook allerlei andere vreemde soorten en ziekteverwekkers. Gelukkig worden er in ons land duurzame initiatieven opgezet om de meest agressieve invasieve soorten een halt toe te roepen.



Bijenzaken aan ons hoofd: Bijen spelen een cruciale rol in de voedselvoorziening van mens, plant en dier. De bijenpopulatie gaat echter aanzienlijk achteruit. Deze lezing geeft aan waarom dit insect zo belangrijk is in onze voedselketen en wat we kunnen ondernemen om de bijenpopulatie te behouden.



Technologie voorbij de grenzen van het kleine: Spelen met atomen en genen? Nano- en biotechnologie op volle toeren. Nieuwsgierig? Nodig MeNS uit en we nemen je mee naar een fascinerende technowereld in 2030 met talrijke innovatieve, duurzame en verrassende toepassingen.



Eerlijk eten: In 2010 waren bijna een miljard mensen ondervoed, tegelijkertijd worden we geconfronteerd met de welvaartsziekte obesitas en met een enorme verspilling van voedsel en water. In deze lezing tonen we aan hoe voedselproductie duurzaam moet worden, hoe we verantwoord omgaan met voedsel en hoe we daar zelf kunnen toe bijdragen.

Kanker: Kanker is de belangrijkste doodsoorzaak in de westerse wereld. Deze lezing geeft aan dat er echter ook goed nieuws is. Er wordt gezocht naar nieuwe inzichten in tumor-groei, opsporingsmethoden en behandelingen. Hierdoor worden de ontstaansmechanismen van kanker verder ontrafeld.

Biomimicry: Biomimicry probeert de slimheidjes in de natuur op te sporen en te vertalen naar technische innovaties. Klittenband, zelfhelende plastics, bionische auto's: drie van de ontelbare voorbeelden waarvoor de mens inspiratie zocht in de natuur.

Doelgroep: publiek vanaf 15 jaar

Kostprijs: 125 euro per lezing (excl. verplaatsingskosten)

Datum: vrij te kiezen in functie van beschikbaarheid

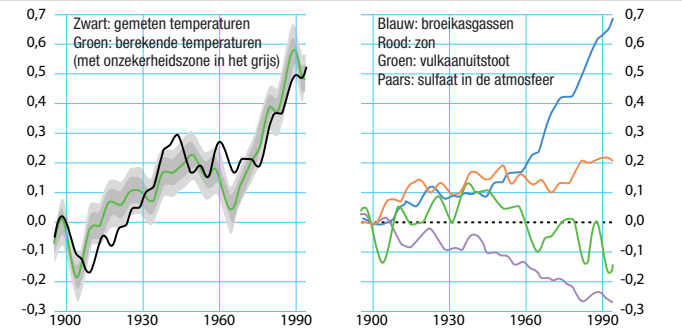
Duur: 2 uur

Info en inschrijvingen: www.biomens.eu | contact@biomens.eu

Tegenargument: “De zon heeft een veel grotere impact dan de mens.”

Kort antwoord: Weerom zal niemand ontkennen dat de zon een grote invloed heeft op ons klimaat. Ze is een belangrijke drijvende kracht achter al wat hier op aarde gebeurt, en dat wordt overtuigend aangetoond door de stralingscurves van Milankovitch. Desalniettemin is de zon niet de enige factor die ons klimaat bepaalt. De figuur hieronder toont de belangrijkste parameters die de temperatuur op aarde bepalen: de broeikasgassen in de atmosfeer, de zon, de ozonconcentratie, de activiteit van vulkanen en de hoeveelheid zwavelverbindingen in de lucht.

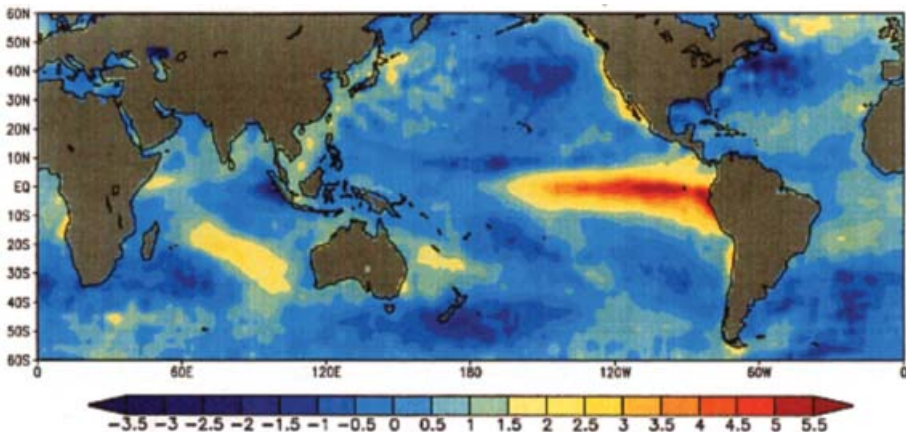
We kunnen zelfs eenvoudig inschatten wat het effect van de zonneactiviteit is.



Vergelijk de gemeten en berekende temperatuurswaarden links met de radiatieve forcing uitgeoefend door de belangrijkste factoren apart. Je merkt dat er enkel een goede correlatie bestaat met de broeikasgasconcentratie in de atmosfeer.

Tot slot is er nog precessie, oftewel de tolbeweging die de aarde maakt. Daarbij verandert ook nog de richting waarin de aardas wijst. Deze maakt een volledige cirkel op 24 000 jaar tijd, met bijkomende effecten met een periodiciteit van 19 000 en 22 000 jaar. Concreet wijst de aardas nu naar de poolster, maar over 2000 jaar richten we ons kompas op een heel ander hemellichaam.

Dergelijke veranderingen in de beweging en oriëntatie veranderen de hoeveelheid zonnestraling die de aarde bereikt. Ook de verdeling van land en water op onze aardbol speelt daarbij nog een rol: landmassa's reageren zoals geweten sneller op temperatuurveranderingen dan oceanen (water heeft immers een hogere warmtecapaciteit dan land). Het maakt dus ook uit, of het landrijke noordelijke halfrond, dan wel het waterrijke zuidelijke halfrond het meest naar de zon gekeerd staat.



Temperatuurschommelingen van het oceaanwater ten tijde van een El Niño: warm water stroomt naar de kusten van Zuid-Amerika en laat daar de temperatuur tot 5 graden stijgen (rode kleur).

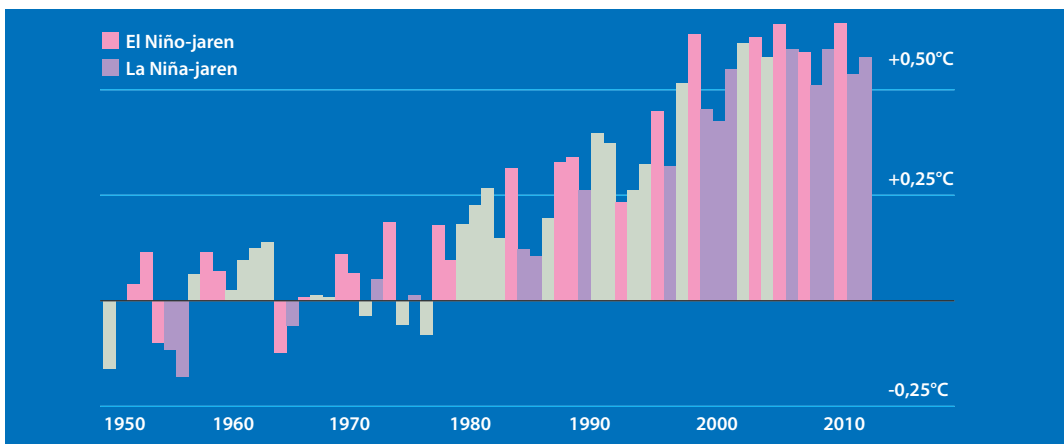
El Niño: over een Kerstekindje en zijn zusje

Naast deze astronomische en atmosferische effecten op ons weer en klimaat zijn er nog een aantal meer of minder belangrijke fenomenen die ons klimaat beïnvloeden. Het belangrijkste (op enkel de seizoenen na) is een complex verschijnsel, dat zich elke drie tot zeven jaar voordoet in de Grote Oceaan: El Niño. Het fenomeen was al lang bekend bij de vissers van Peru en Chili, die op die momenten zowat alle vissen in hun kustwateren zagen verdwijnen. Omdat het telkens plaatsvindt in de periode rond Kerstmis, spraken ze van het “Kerstekind”, in het Spaans “El Niño”.

Wat is daar gaande? De uitgestrekte Stille Oceaan ontvangt meer zonlicht dan enige andere regio ter wereld. Een groot deel van dit zonlicht wordt opgeslagen in de oceaan in de vorm van warmte. Langs heen de evenaar, waar El Niño zich afspeelt, bestaan er de zogenaamde passaatwinden. Deze komen uit het noordoosten (op het noordelijk halfrond) en uit het zuidoosten (op het zuidelijk halfrond), en dwingen het warme oppervlaktewater van de oceaan naar het westen te stromen, naar een plaats net ten oosten van Indonesië, en ten noordoosten van Australië. Ondertussen stijgt aan de oostzijde van de Stille Oceaan, tegen de kusten van Zuid-Amerika kouder water uit de diepte omhoog. Zo ontstaat er een oost-west temperatuurgradiënt langs de evenaar.

Bij het begin van de lente op het noordelijk halfrond nemen die passaatwinden tijdelijk af. Meestal neemt de Aziatische zomermonsoon de rol van de passaatwinden op dat moment tijdelijk over, zodat de gradiënt tussen west en oost gehandhaafd blijft. Soms blijft dit echter uit, en we weten nog steeds niet waarom. Daardoor verspreidt het warme water zich naar het oosten en vlak de gradiënt af. Gemiddeld worden de kustwateren hierdoor 3 tot 5°C warmer, maar op sommige plaatsen kan de temperatuur meer dan 10°C hoger liggen dan normaal. Bovendien zet het verwarmde water uit, waardoor de zeespiegel aan de oostkant enkele cm tot enkele tientallen cm kan stijgen, en aan de westzijde (waar het water afkoelt) daalt. Tijdens de El Niño van 1982-83 zorgde deze daling van de zeespiegel ervoor dat de bovenste lagen van koraalriffen rondom veel westelijke eilanden in de Grote Oceaan kwamen bloot te liggen en vernietigd werden.

De gevolgen van zo een El Niño zijn voelbaar over de hele wereld, met tragische en ingrijpende economische gevolgen. Zo zal een zware El Niño de straalstroom over de westelijke Stille Oceaan verschuiven naar het oosten, of zorgen voor sterkere winterstormen in Californië en het zuiden van de Verenigde Staten, met bijbehorende overstromingen en aardverschuivingen. Aan de andere kant kan El Niño ook leiden tot ernstige droogte in Australië, Indonesië en delen van Zuid-Azië. En terwijl tijdens een El Niño de



Wereldwijde temperatuurstoename over de voorbije 60 jaar.
El Niño-jaren zijn steeds iets warmer dan de andere.

Bekijk ook enkele video's over El Niño en La Niña:
<http://www.youtube.com/watch?v=7FVZrw7bk1w>
<http://video.nationalgeographic.com/video/environment/environment-natural-disasters/landslides-and-more/el-nino/>



kans op orkanen vermindert in de Atlantische Oceaan, verhoogt de kans op cyclonen en tyfoons in de Stille Oceaan.

El Niño heeft overigens een zusje: La Niña (letterlijk Het Meisje), in alle opzichten de tegenhanger van El Niño. Samen vormen ze het bredere El Niño - Southern Oscillation klimaatpatroon (ENSO). Gedurende een periode van La Niña zal de oppervlaktetemperatuur van het zeewater over de equatoriale oostelijke Atlantische Oceaan 3-5°C lager dan normaal liggen. Wanneer dit zich minimaal 5 maanden aan één stuk afspeelt, spreekt men van La Niña-condities.

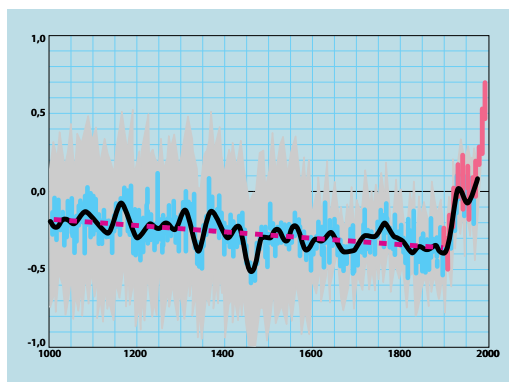
De ENSO is een belangrijke motor van ons klimaat. Ten getuige: de warmste jaren die we hebben gekend sinds het begin van de metingen, 2010 en 1998, hadden allebei te kampen met een El Niño. La Niña-jaren 2011 en 1997 waren dan weer aanmerkelijk koeler. 2011 en 1997 waren ex aequo slechts het elfde warmste jaar sinds de start van de metingen (binnen een verder bijzonder warm decennium).

En warmt de aarde nu ook echt op?

Rellen om een hockeystick

De best bekende voorstelling van de gemiddelde temperatuur op aarde over de laatste duizend tot tweeduizend jaar komt uit een publicatie van Mann uit 1999. Het is de zogenaamde hockeystick-figuur, die vooral beroemd en berucht werd door de documentaire *An Inconvenient Truth* van Al Gore. De curve reconstrueert de temperatuur op aarde over de voorbije duizend jaar, op basis van boomringen, isotopenverhoudingen in ijs en hout, afzettingen van koralen en dergelijke meer. Het resultaat is zonder meer spectaculair te noemen: na een zeer zachte duizendjarige afkoeling neemt de temperatuur op aarde zeer fel toe in de laatste decennia van de twintigste eeuw.

In 2004 kwam deze grafiek onder vuur te liggen: de gebruikte statistische methode was niet correct,



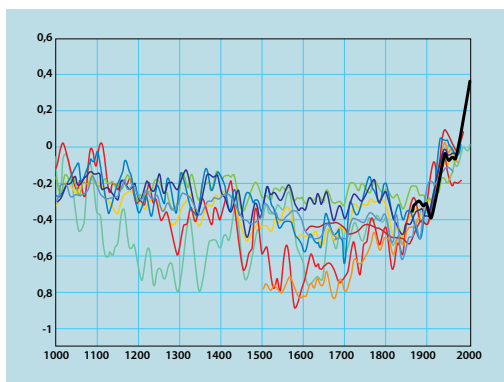
De hockeystick van Mann. In het blauw: afgeleide waarden voor de temperatuur in het verleden. In het rood: effectief gemeten waarden. De onzekerheid op de metingen is weergegeven in het grijs.

sommige datasets waren te beperkt en daarom onbruikbaar, en, het moet gezegd, er was ook weinig te merken van de warmere periode tijdens de middeleeuwen en van de Kleine IJstijd erna. De methoden van Mann werden dan ook wat nauwer bekeken door het Amerikaanse National Center for Atmospheric Research, waarbij verschillende (alternatieve en nieuwere) statistische methoden op de data werden toegepast. Op enkele licht gewijzigde waarden aan het begin van de 15de eeuw na, bevestigden deze analyses echter de oorspronkelijke conclusies - dat de opwarming en de temperaturen in de afgelopen decennia ongekend hoog zijn ten opzichte van de laatste 600-1000 jaar. Toevoeging van recentere gegevens rond het klimaat van de afgelopen 1000 jaar op basis van afzettingen in oceanen en meren, van ijsmonsters, stalagtieten, koralen en gletsjers versterkt dit beeld alleen nog maar.

Maar reken zelf maar een beetje: <http://www.skepticalscience.com/trend.php>



Al Gore, winnaar van de Nobelprijs voor de vrede omwille van zijn inspanningen voor ons klimaat.



De uitgebreidere datasets, opnieuw geanalyseerd leveren nog steeds de hockeystickgrafiek op.

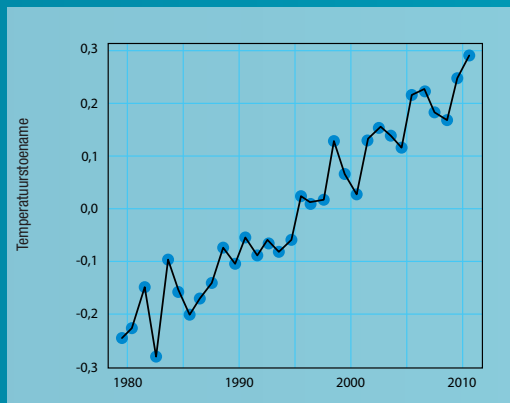
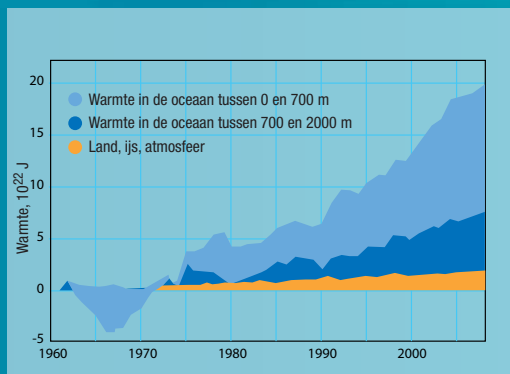
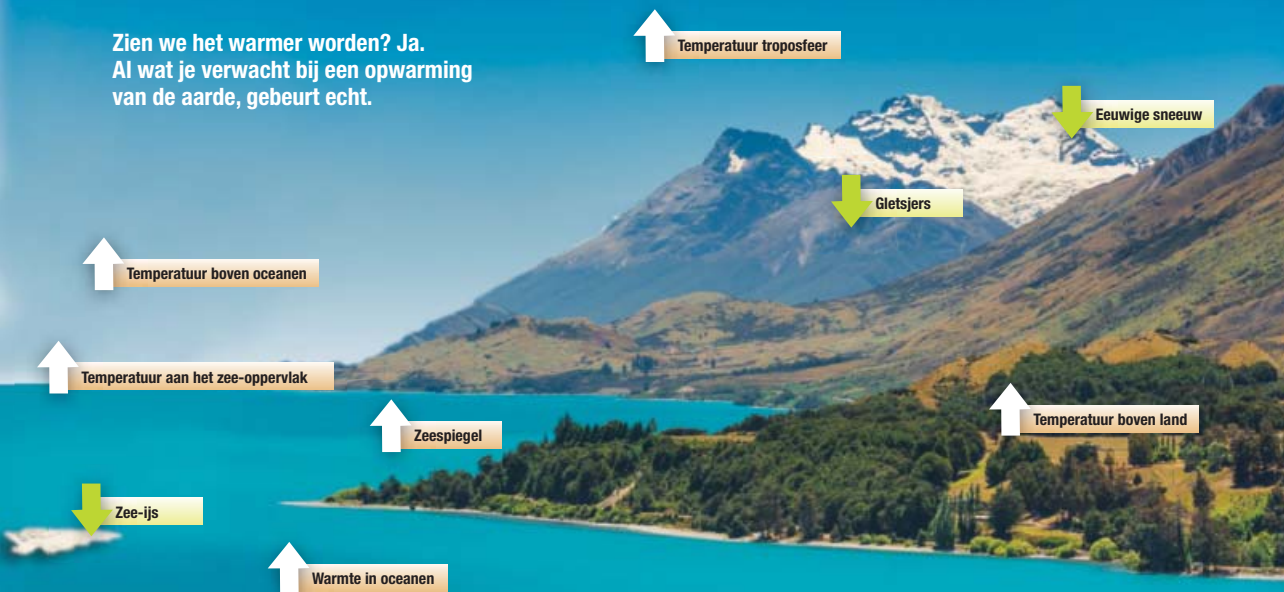
Maar het is de laatste jaren toch opnieuw koeler?

Wie enkel kijkt naar de temperatuur op het land, en daarbij enkel rekening houdt met de temperaturen van het laatste decennium, zou inderdaad tot de conclusie kunnen komen dat de aarde niet langer opwarmt. Alleen, klimaat beoordeel je niet op zo een korte tijdspanne, en ook niet op basis van slechts één parameter.

Om te beginnen hangt je conclusie af van welke data je bekijkt. Sommige datasets bestrijken niet de volledige planeet, en als je bv. de Arctische zone niet meeneemt in je analyse, onderschat je de temperatuur op aarde. Sommige satellietgegevens doen dit echter. Wil je dus een volledig beeld van de temperatuur op aarde, dan moet je alle bronnen van gegevens samenleggen.

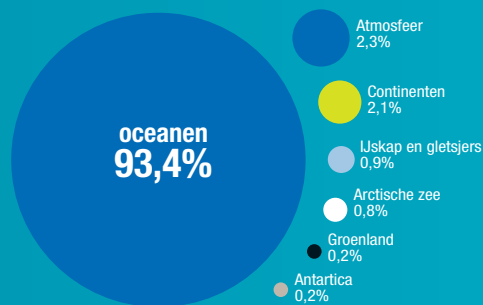
Daarnaast speelt de tijdsduur waarop je de data bekijkt een belangrijke rol. Hoe korter de termijn die je bestudeert, hoe belangrijker een aantal periodieke fenomenen gaan worden: het effect van de zonnactiviteit, El Niño en La Niña, een gebeurlijke vulkaanuitbarsting (de Pinatubo, de Eyjafjallajökull), het feit dat de laatste jaren erg veel warmte van de atmosfeer naar de oceaan is getransporteerd, ... Ook andere emissies dan broeikasgassen alleen kunnen

Zien we het warmer worden? Ja.
Al wat je verwacht bij een opwarming
van de aarde, gebeurt echt.



Kort en goed: wanneer we abstractie maken van de invloed van vulkanen, de ENSO en de zonne-activiteit, en we betrekken alle mogelijke meetwaarden in onze analyse, dan blijkt dat de temperaturen op aarde wel degelijk toenemen.

Waar gaat al die warmte naartoe?



Tegenargument: Klimatologen knoeien met de beschikbare data.

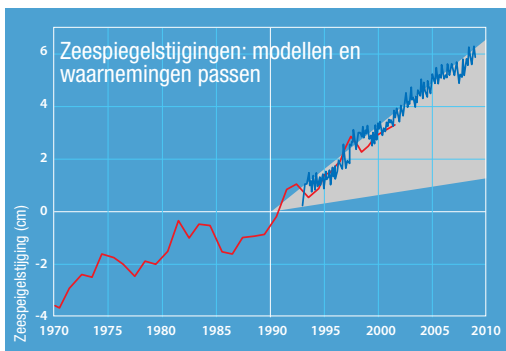
Kort antwoord: Op het eerste gezicht was dit af te leiden uit bepaalde bewoordingen in e-mailverkeer tussen klimaatwetenschappers. Hackers hadden de hand kunnen leggen op de correspondentie tussen een aantal grote namen in de klimaatwetenschap. Na de nodige controles bleek dat het taalgebruik van sommige wetenschappers wat los en informeel was geweest, maar zeker niet hun methodologische ernst en wetenschappelijke integriteit. Ze zijn vrijgepleit van alle aantijgingen.

meespelen, zoals het geval is voor de productie van (koelende) aerosolen in China, die de afgelopen 16 jaar sterk zijn gestegen. Filteren we dergelijke invloeden uit de data, dan warmt de planeet wel degelijk op, en zelfs niet eens minder dan vroeger. Kijk maar eens op http://www.skepticalscience.com/pics/FR11_All.gif voor een simulatie.

Laten we ten slotte ook eens naar wat andere parameters kijken. Ook in 2010 zagen wetenschappers tien sleutelwaarden in de studie van het aardse klimaat veranderen in de richting van een opwarmende planeet (zie figuur p21). En een studie van 2013 geeft aan dat de opwarming van de aarde zich de laatste vijftien jaar sterker heeft doorgezet dan de vijftien jaar ervoor. Dat we dat niet meteen voelen op het land, is te wijten aan het buffereffect van de oceanen. Meer dan 90% van alle overtollige warmte die de aarde te verwerken heeft gekregen, zit nu opgeslagen in de oceanen.

Tegenargument: *"...these global warming studies that now we're seeing (are) a bunch of snake oil science."* (Sarah Palin)

Kort antwoord: Kijk dan maar eens rond.

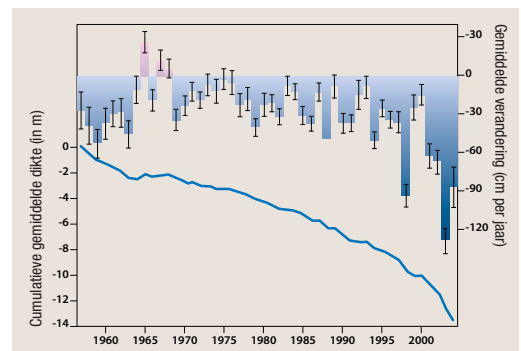


De rode lijn geeft de gemeten schommelingen van de zeespiegel aan op aardniveau, de blauwe lijn toont de satellietmetingen. De grijze zone duidt aan tussen welke waarden het IPCC in de vorige rapporten de zeespiegel zag stijgen.

Temperatuur is niet het enige bewijs...

Naast de directe metingen van de temperatuur op aarde zijn er nog een hele reeks duidelijke aanwijzingen dat er allerlei scheelt aan ons klimaat. Voor al deze waarnemingen bestaan er overigens wetenschappelijke publicaties (zie <http://www.skepticalscience.com/evidence-for-global-warming-intermediate.htm>)

- De bovengrens van de troposfeer stijgt, terwijl de bovenzone van de atmosfeer afkoelt (er komt minder warmte door van de onderzijde)
- De tropenzone wordt breder.
- De seizoenen verschuiven.
- Bij de weerstatistieken vinden we dubbel zoveel warmterecords dan kouderecords.
- De permafrost op aarde warmt op en begint te ontdooien.
- We meten een toename van het zeeniveau, in overeenstemming met de maximale voorspellingen van het IPCC (zie figuur linksonder).



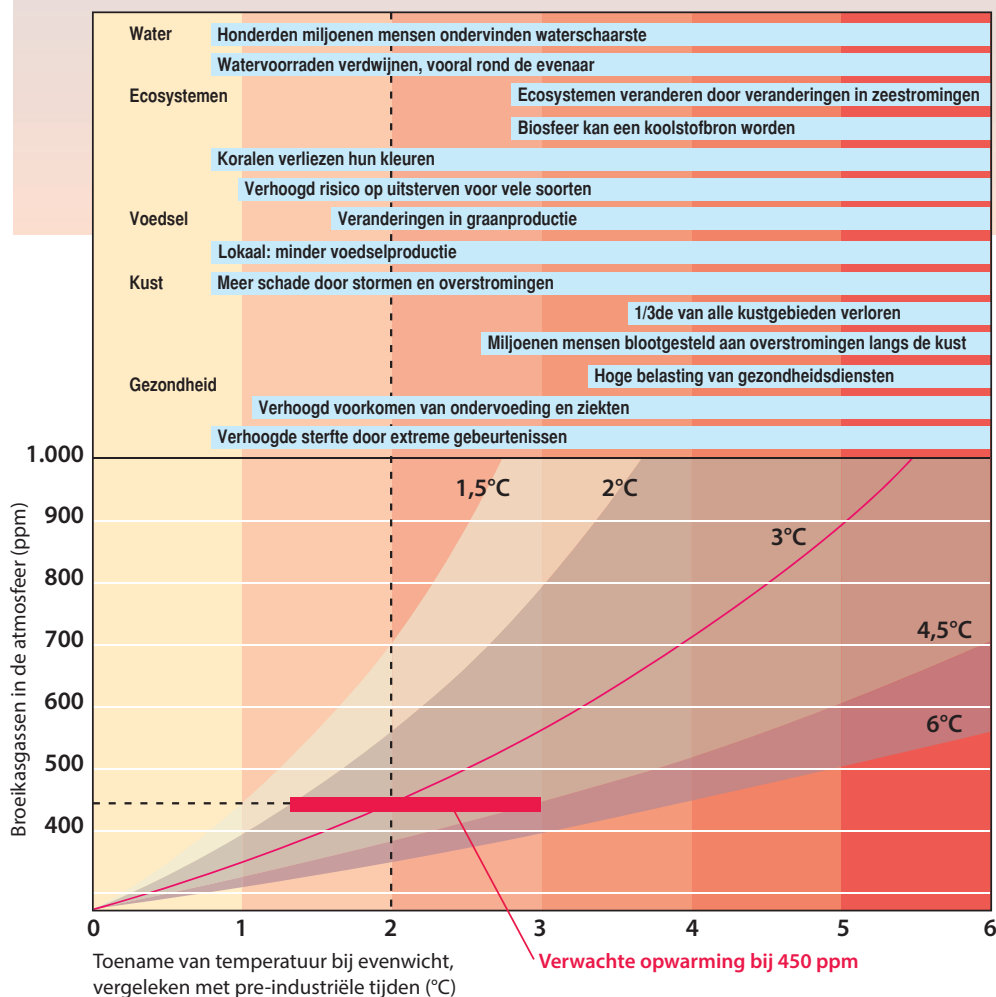
De balkjes geven de jaarlijkse toename (in roze) of afname (in blauw) van de gemiddelde gletsjerdikte aan (af te lezen op de rechteras). De blauwe lijn (af te lezen op de linkerass) geeft ons een totaal (cumulatief) resultaat.

Tegenargument: de gevolgen van de opwarming voor de aarde worden sterk overdreven.

Kort antwoord: Jammer genoeg zitten de gevolgen van global warming netjes op schema, zoals vooropgesteld door het IPCC... Vergelijk onderstaande figuur maar met het lijstje hiernaast.

Voor alle duidelijkheid – het onderste deel geeft aan welke opwarming we mogen verwachten wanneer we een bepaalde concentratie CO₂ in de atmosfeer bereiken. De donkergrijze zone geeft de meest waarschijnlijke variatie aan. Bij 450 ppm CO₂ zal de temperatuur op aarde bv. evolueren naar een evenwichtspunt dat 1,3 tot 3°C warmer is. Elke graad die er op aarde bijkomt, heeft gevolgen. Die staan bovenaan opgesomd: de grijze balkjes die tot in het lichtgele deel reiken, vertellen je wat er bij een temperatuurstoename van één graad kan gebeuren, enz. ...

Belangrijkste gevolgen van de opwarming



- Zowel aan de noordpool als aan de zuidpool smelt het ijs weg. Ook gletsjers smelten wereldwijd steeds sneller weg. (Al moet het gezegd, die voorspelling in het IPCC rapport van 2007 dat de gletsjers in de Himalaya tegen 2035 verdwenen zouden zijn, sloeg nergens op. Dat krijg je als je wetenschappelijke teksten leest die geen peer review hebben ondergaan.)
- Dieren en planten beëindigen steeds vroeger hun winterslaap, en hun groeiseizoen wordt langer en langer.
- Dieren en planten migreren waar mogelijk steeds verder richting de polen of richting bergtoppen.
- Landbouwers in Afrika en Azië krijgen steeds meer te kampen met droogte en hittegolven. Dit brengt hun voedselproductie en voedselzekerheid in gevaar.

Zie ook <http://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/cmb/bams-sotc/2009/bams-sotc-2009-brochure-lo-rez.pdf>

Wat meer is, er heeft zich in het verleden reeds een gelijkaardige klimaatcatastrofe voorgedaan. De moeite waard om er in een laatste deeltje even naar te kijken.

Wat we niet meer willen meemaken: het Paleoceen–Eoceen Thermaal Maximum

Een opvallende periode in de klimaatgeschiedenis van de aarde viel ongeveer 55 miljoen jaar geleden, tijdens het Paleoceen en het Eoceen. Tijdens die periode (van ongeveer 200 000 jaar lang) onderging onze planeet een opwarming van 5 tot 9 °C. De periode wordt dan ook zeer prozaïsch het Paleoceen–Eoceen Thermaal Maximum (PETM) genoemd.

Bij de start van het PETM was de wereld al veel warmer dan nu. De poolgebieden waren min of meer ijsvrij, en werden bewoond door een diverse verzameling van planten en dieren: tijdens het Eoceen kwamen alligators voor tot binnen de poolcirkel!

Het klimaat in het zuiden van Noord-Amerika (op ongeveer dertig graden noorderbreedte) was zo goed als tropisch, met hoge temperaturen en veel neerslag, en met enkel kleine verschillen tussen zomer en winter. Deze warme fase was begonnen in het Krijt, en bleef in voege tot het einde van het Eoceen. De continenten lagen in het vroege Tertiair reeds op de posities zoals we die vandaag kennen, met dien verstande dat de Atlantische Oceaan minder breed was, en het subcontinent India nog maar net was begonnen botsen met de rest van Azië. Qua biodiversiteit was de aarde zich nog maar net aan het herstellen van de klap van de meteoriet aan het einde van het Krijt, die verschillende dieren- en plantengroepen, waaronder de dinosauriërs, de pterosauriërs, de ammonieten en de belemnieten, evenals vele groepen vogels, tweekleppigen, brachiopoden en mariene reptielen had uitgeroeid.

En dan, zo'n tien miljoen jaar na de start van het Tertiair, stijgt de temperatuur wereldwijd met 5-6 graden op 20 000 jaar tijd. Vermits de chemie van zeewater (en de organismen die daarin leven) gedeeltelijk wordt geregeld door de omgevingstemperatuur, dragen sedimenten en fossiele schelpen een merker die ons tot op de dag van vandaag kan vertellen hoe warm het was toen ze gevormd werden. Meer bepaald kijken we naar de verhouding tussen twee zuurstofisotopen, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. Hoe meer ^{18}O we terugvinden (ten opzichte van ^{16}O), hoe kouder het moet geweest zijn: elke stijging van 0,22 promille aan $\delta^{18}\text{O}$ komt overeen met een afkoeling van 1°C, waarbij



Tegenargument: CO₂-verhoging volgde in het verleden op stijgingen in temperatuur. Waarom zou een verhoogd niveau aan CO₂ nu dan wel leiden tot een verhoogde temperatuur?

Kort antwoord: zoals het verhaal over de PETM aangeeft, is dit een vraag over de kip of het ei. Door allerlei nog onbekende omstandigheden ging de aarde door een reeds zeer warme periode. Dit veroorzaakte het vrijkomen van het methaangas in de methaanhidraten, en de toevloed van dit broeikasgas in de atmosfeer zorgde voor een nog veel hogere temperatuur op aarde. De broeikasgassen versterken dus in dit geval de reeds aanwezige opwarming.

$$\delta^{18}O = \left(\frac{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{\text{staal}}}{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{\text{standaard}}} - 1 \right) * 1000 \text{ ‰}$$

en de standaardverhouding ¹⁸O/¹⁶O gelijk is aan de hedendaagse verhouding van 2005,20 ± 0,43 ppm.

We kunnen ons dus een redelijk goede voorstelling maken van hoe deze zeer ingrijpende klimaatwijziging zich heeft doorgezet over alle breedtegraden heen. Er is een prominente daling (van meer dan 1‰) in δ¹⁸O van foraminiferenafzettingen, en tegelijk zien we veranderingen in hun mineralensamenstelling, in bepaalde organische verbindingen en in de samenstelling van hun gemeenschappen – en al deze data wijzen in dezelfde richting: een eerste scherpe stijging, en daarna een geleidelijke daling, gedurende 150.000 – 200.000 jaar, van de temperatuur tot het niveau van tevoren.

Koolstofprobleem avant la lettre

Hoe deze klimaatwissel er gekomen is, begrijpen we echter veel minder goed. De meest waarschijnlijke verklaring is een massaal vrijkomen van methaan uit sedimenten op de zeebodem, waar het gas was opgeslagen (zoals ook vandaag het geval is) onder de

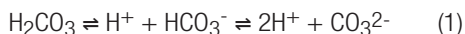
Tegenargument: Oceaanverzuring is geen ernstig probleem.

Kort antwoord: Oceaanverzuring is ook vandaag reeds meetbaar en zet zich steeds verder: Nu al wordt een verminderde calcificatie vastgesteld bij deze organismen.

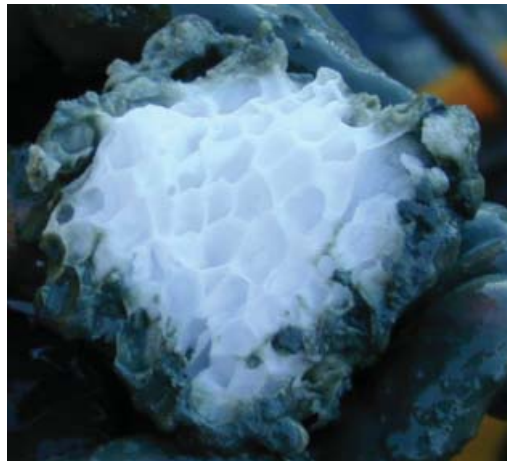
Moment	pH	pH verandering	Bron
Pre-industrieel (1750)	8.179	0.000	metingen
± Millenniumwissel (1994)	8.104	-0.075	metingen
2050 (2×[CO ₂] = 560 ppm)	7.949	-0.230	model
2100 (volgens schattingen van het IPCC)	7.824	-0.355	model

vorm van de vaste stof methaanhyaat. Hoe warmer het water immers wordt, hoe minder stabiel deze hydraten zijn. Eenmaal in de atmosfeer zou dit methaan snel zijn geoxideerd tot koolstofdioxide. Beide gassen zijn echter broeikasgassen (methaan is overigens 21 maal effectiever op dit vlak dan CO₂). In totaal schat men dat er tussen 1050 en 2100 gigaton (miljard ton) koolstof in de atmosfeer moet zijn terechtgekomen. Als bewijs geldt, dat dergelijk methaan redelijk arm is aan het isotoop ¹³C omdat het van methaanproducerende bacteriën afkomstig is. Bij het berekenen van de factor δ¹³C in afzettingen om en rond het PETM vonden wetenschappers dat dit isotoop in zeer geringe mate aanwezig moest geweest zijn in de atmosfeer vanaf de aanvang van deze warme periode. Bacterieel methaan is daarom een zeer waarschijnlijke bron van al die koolstof.

Naast een sterke opwarming van de planeet veroorzaakte de grote hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer ook een sterke verzuring van de oceanen. Wanneer er zich koolzuurgas oplost in het oceaانwater, gebeurt dat door de vorming van H₂CO₃. Welnu, dit is een zuur, en zal zich ook als dusdanig gedragen:



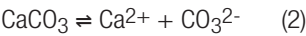
Era	Periode	Etage	Ouderdom (in miljoen jaren)
CENOZOÏCUM	Kwartair	Holoceen	nu - 0,0115
		Pleistoceen	0,0115 - 0,128
			0,128 - 2,588
	Neogeen	Plioceen	2,588 - 5,332
		Pleistoceen	5,332 - 23,03
	Paleogeen	Oligoceen	23,03 - 33,9
		Eoceen	33,9 - 55,8
		Paleoceen	55,8 - 65,5
MESOZOÏCUM	Krijt	Laat	65,5 - ...



Methaanhhydraten



Langzamerhand verzuurden de oceanen en dit heeft een pH daling tot gevolg. Evenwicht 1 verschuift naar links om die hoeveelheid zure H^+ -ionen weg te werken en daardoor gaat ook het carbonaatgehalte dalen en zal evenwicht 2 ook naar rechts verschuiven om dat tekort aan carbonaten op te vangen. Dit betekent dat calciumcarbonaat moet oplossen:



En ook dit vonden onderzoekers terug: in de geologische afzettingen uit het PETM was calciumcarbonaat inderdaad niet of bijna niet aanwezig. Deze verhoogde oplosbaarheid van calciumcarbonaat is een catastrofe voor de ongewervelden en eencelligen die een externe bescherming uit $CaCO_3$ opbouwen, zoals koralen, coccolithofoeren, foraminiferen, schelpen van weekdieren en van schaaldieren, ...

De grote les van het PETM

Wetenschappers zijn het eens dat het smelten van de methaanhydraten op de zeebodem en het ontdooien van de permafrost op hoge breedtegraden een belangrijke bijdrage geleverd hebben aan het tot stand komen van het PETM. Dit kan ons nu ook gebeuren. We schatten dat er 500 tot 10 000 miljard ton koolstof als methaanhydraat opgeslagen ligt in mariene sedimenten, en nog eens 7,5-400 miljard ton in de permafrost. Mocht de huidige opwarming net zoals die in het Paleoceen voldoende zijn om die voorraden te mobiliseren, dan zou ons klimaat op-

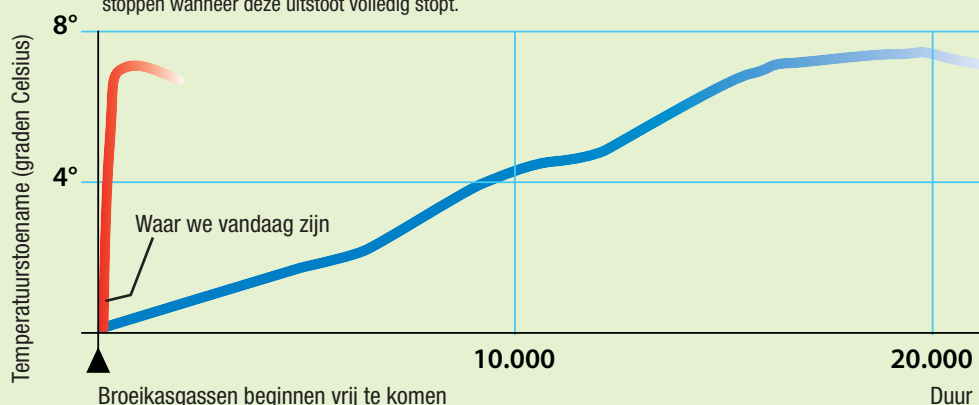
nieuw een angstaanjagende sprong kunnen maken richting een opwarming van 5, 6... graden (en mogelijk meer).

De meest ontwrichtende impact tijdens het PETM was waarschijnlijk de uitzonderlijke verzuring van de oceanen en de bijbehorende vernietigende impact op calcificerende wezens zoals foraminiferen, weekdieren en koralen. Toch zien we geen massaal uitsterven (zoals bv. op de overgang van Krijt naar Tertiair, 10 miljoen jaar tevoren), waarschijnlijk omdat de veranderingen geleidelijk genoeg plaatsvonden voor het leven om zich aan te passen aan de nieuwe omgeving (bv. door naar koudere streken te migreren). De enige soorten waar we met zekerheid van weten dat ze zijn uitgestorven, waren enkele foraminiferen die leefden op de zeebodem. Er wordt verondersteld dat deze foraminifera zich niet kunnen aanpassen aan de nieuwe warmte op zo'n grote diepte (bodemwater verwarmt 4 tot 5°C). Op het land bleek de verhoogde temperatuur de biologische evolutie te sturen richting kleinere individuen, waarschijnlijk omdat het gemakkelijker is voor kleinere dieren om warmte af te voeren. Ook de verhoogde niveaus van CO_2 zouden hier een rol in gespeeld hebben. Hoefdieren en schildpadden kwamen voordien slechts voor in de tropen, maar trokken richting Noord-Amerika en Europa tijdens het PETM. In de nasleep van het PETM ontwikkelden zich trouwens enkele van de huidige orden van zoogdieren: de evenhoevigen, de onevenhoevigen (en dan vooral de paarden) en de primaten.

	PETM	Hedendaagse opwarming
Oorzaak	Continentendrift, smelten van methaanhydraten, smelten van permafrost, mogelijk een bijdrage van vulkanen	Verbranden van fossiele brandstoffen door de mens
CO_2 -uitstoot	2 Gton per jaar	Minstens 30 Gton per jaar
Snelheid van opwarmen	0.025°C per 100 jaar	1 tot 4°C per 100 jaar

Heden: hoge uitstoot van koolstof: tot 25 Pg per jaar (25 petagram, ofwel $25 \cdot 10^{15}$ g per jaar of ook wel 25 miljoen miljard gram per jaar). Dit leidt tot een snelle toename van de temperatuur op aarde, en deze zal enkel stoppen wanneer deze uitstoot volledig stopt.

PETM: trage maar voortdurende uitstoot : tot 1,7 Pg koolstof per jaar (lees $1,7 \cdot 10^{15}$ g per jaar of ook wel 1,7 miljoen miljard gram per jaar). Dit leidde tot een geleidelijke opwarming van de planeet 56 miljoen jaar geleden.



Is global warming dan toch louter een natuurfenomeen...

Niet helemaal: het verhaal over de PETM toont vooral aan dat global warming OOK een natuurlijk fenomeen kan zijn. Er is immers nog een belangrijk verschil tussen beide fenomenen: de snelheid waarmee de koolstof zich opbouwt in de atmosfeer en, tegelijkertijd, de snelheid waarmee de opwarming zich doorzet. Die is de dag van vandaag tientallen keren hoger dan toen EN loopt perfect parallel met de toename aan broeikasgassen van menselijke oorsprong.

Kantelen of struikelen: hoe rampzalig is de foute keuze?

Zijn onze modellen compleet? Neen. Een van de grote vraagtekens die er nog liggen te wachten, gaat over het bestaan van tipping points, punten in de evolutie van het aardse klimaat die leiden tot onomkeerbare veranderingen. Het voorbeeld van het PETM leert ons, dat we dit soort kantelpunten niet mogen onderschatten, en dat we best tijdig actie ondernemen om ze vooralsnog te vermijden. Bij een te hoge temperatuur zou het immers best wel eens kunnen zijn dat de grote boreale bossen van het noorden en de tropische wouden van de Amazone door droogte en te hoge temperaturen beginnen afsterven. Een te warm klimaat kan ook leiden tot het vrijkomen van het methaan op de bodem van de Noordpool en in de permafrostlagen in

Eurazië. Wat er dan gebeurt met de aarde, kan geen enkel model vandaag de dag voorspellen.

Desalniettemin zal de aarde als planeet ook deze veranderingen overleven, en zal, na een biodiversiteitscrisis die ook zonder opwarming reeds op het punt stond om uit te breken, het leven haar weg wel vinden en floreren als nooit tevoren. Of de mensensoort nog aanwezig blijft, is een andere vraag. Maar ook onze soort is niet zo makkelijk uit te roeien. Zeker niet de hoogtechnologische beschavingen in het Noorden die immers geld genoeg hebben om zich in te dekken tegen de ergste gevolgen van de klimaatsveranderingen (denk maar aan de Deltawerken in Nederland). Of ook de miljarden mensen in het Oosten en het Zuiden, die nu reeds te lijden hebben van droogte en hongersnood, dat geluk zullen hebben, is een andere vraag. Je kan je natuurlijk altijd verschuilen achter het loze praatje dat het tijd wordt dat de menselijke bevolking begint te dalen (altijd gemakkelijker gezegd dan gedaan, natuurlijk).

Zoals gewoonlijk is ons verhaal op het einde van dit dossier nog onaf. Er zijn nog heel wat vragen niet beantwoord, al vindt de geïnteresseerde lezer wellicht nog veel meer informatie in de vroeger verschenen dossiers 43, Klimaat in de knoei, en 64, Een graadje warmer. Quo vadis, Aarde?, beide te downloaden op www.biomens.eu. In dit dossier trokken we vooral de harde wetenschappelijke kaart: hoe stevig is de wetenschappelijke basis van onze kennis over

het klimaat, en hoe ernstig zijn de meest opgeworpen tegenargumenten? Alleszins lijkt het ons dat de theorieën van het IPCC een sterk onderbouwd beeld geven van hoe het klimaat op onze planeet eraan toe is. Wie een eerlijke vraag dienaangaande stelde, kreeg van ons een eerlijk antwoord. En laten we nu samen op zoek gaan naar duurzame oplossingen.

Tegenargument: De aarde is al eerder warmer (en kouder) geweest. Wat is dan nu het probleem?

Kort antwoord: Dat ontkent niemand. Het klimaat van onze planeet is nu eenmaal een zeer complex geheel van reacties en feedback loops (wat het trouwens zo moeilijk maakt om het te bestuderen). In dit dossier staan trouwens heel wat voorbeelden over hoe het vroeger warmer of kouder was (en hoe de bestaande modellen bijdragen tot een beter begrip van het verloop van het klimaat in het verleden).

Het grote probleem is de snelheid waarmee de aarde deze keer opwarmt. De natuur heeft geen tijd om zich aan te passen: dieren en planten kunnen niet snel genoeg migreren naar streken waar ze optimaal kunnen groeien, de dieren in de zee evolueren niet snel genoeg om de verzuring van de oceanen de baas te kunnen.

Meer lezen, kijken en luisteren?

www.stthomas.edu/engineering/jpabraham/

Voor wie met eigen ogen wil zien hoe sommige sceptici er ofwel niets van begrijpen, ofwel actief op zoek gaan naar misleidende informatie, valse quotes enz. . .

palaeo.gly.bris.ac.uk/ocean/Index.html

Over verzuring van de oceanen.

www.realclimate.org

www.skepticalscience.com

www.skepticalscience.com/docs/Guide_Skepticism_Dutch.pdf

eoswetenschap.eu/topics/Klimaatverandering

Oreskes, Naomi en Conway, Erik M., Merchants of Doubt: How a Handful of Scientists Obscured the Truth on Issues from Tobacco Smoke to Global Warming, Bloomsbury Paperbacks (7 Jun 2012), ISBN-10: 1408824833

En ook eens een sceptisch boek:

Delingpole, James, Watermelons: How Environmentalists are Killing the Planet, Destroying the Economy and Stealing your Children's Future, Biteback Publishing (11 Sep 2012), ISBN-10: 1849544050



© 2014 Uitgeverij Acco
MeNS wordt uitgegeven door Uitgeverij Acco, de inhoud, wetenschappelijke correctheid en popularisatie wordt verzorgd door Bio-MENS vzw.

www.uitgeverijacco.be
www.biomens.eu

Academische begeleiding

Prof. Dr. Roland Caubergs, Universiteit Antwerpen
roland.caubergs@uantwerpen.be

Hoofdreductie

Dr. Ing. Joeri Horvath, Universiteit Antwerpen
joeri.horvath@uantwerpen.be

Kernredactie

Lic. Karel Bruggemans, VRT
Prof. Dr. Roland Caubergs, Universiteit Antwerpen
Dr. Guido François, Universiteit Antwerpen
Prof. Dr. Geert Potters, Hogere Zeevaartschool
Dr. Lieve Maesele, Hogeschool Gent
Lic. Els Grieten, Universiteit Antwerpen
Lic. Chris Thoen, middelbaar onderwijs
Ir. Marjolein Vanoppen, Universiteit Gent
Ir. Ariane Ooms, middelbaar onderwijs en Universiteit Antwerpen
Prof. Dr. Diane Van Strydonck, Universiteit Antwerpen
Ludwig Callaerts, ActUA vzw/UA

Communicatiecoördinator Bio-MENS

Kaat Vervoort
Herrystraat 8b, 2140 Antwerpen
Tel. +32 (0)3 609 52 30
Fax +32 (0)3 609 52 37
contact@biomens.eu

Algemene coördinatie

Dr. Sonja De Nollin
Tel. +32 (0)495 23 99 45
sonja.denollin@uantwerpen.be

Abonnementenadministratie

Voor België en Nederland:
Uitgeverij Acco
Blijde Inkomststraat 22, 3000 Leuven
Tel. 016 62 80 00
Fax 016 62 80 01
uitgeverij@acco.be
Abonnementen worden stilzwijgend voor één jaargang verlengd. Opzeggen doet u uitsluitend via mail naar uitgeverij@acco.be, uiterlijk op 31 januari van de lopende jaargang.

Abonnementsprijzen (4 nummers):

Gewoon jaarabonnement: € 35 incl. btw
Educatief jaarabonnement: € 25 incl. btw
Losse nummers: € 9,95 incl. btw per nummer

Advertentietarief:

Voor meer informatie neemt u contact op met uitgeverij Acco.

Omslagontwerp en vormgeving:

Peter Faes - www.odvie.com
Uitgeverij Acco

Losse nummers

t.e.m. MeNS 81 te bestellen bij Bio-MENS vzw.



Loterie Nationale Loterij

ALLES IS MOGELIJK. DANKZIJ U.

2014 DE JONGE BAEKELAND

Biomimicry, de natuur als laboratorium voor duurzame innovaties

De vleugels van een vlinder die ons helpen in de strijd tegen valsmunterij en de koffervis als inspiratiebron voor een energieuze auto: twee van de ontelbare voorbeelden van biomimicry of hoe de natuur ons inspireert om te innoveren.

De 6de editie van De Jonge Baekeland staat in het teken van biomimicry. Op vrijdag 9 mei strijden 5 groepen om de eerste plaats in de finale van De Jonge Baekeland in de Nationale Plantentuin in Meise. De jongeren uit de derde graad secundair onderwijs presenteren er niet enkel hun inzending, ze nemen ook deel aan een themagericht debat met jury en publiek.

In de prijzenpot zit o.a. 2500 euro, geschenken door de Nationale Loterij.



MENS 91

Dossier op komst: Genetisch Gemodificeerde Organismen

- ...
- 55 Muizenissen en knaagzangen
 - 56 Schoon verpakt, lekker gegeten
 - 57 Brein
 - 58 Illusies te koop
 - 59 Je sigaret of je leven
 - 60 Luchtvervuiling
 - 61 Griep, een doderoep op de loer?
 - 62 Vaccinatie, reddingslijn of dwaallicht?
 - 63 Boordevol energie
 - 64 Een graadje warmer. Quo vadis, Aarde?
 - 65 Energie in het zonnetje
 - 66 ADHD, als chaos overheerst
 - 67 Duurzaam... met kunststoffen
 - 68 Aspecten van evolutie
 - 69 Seksueel overdraagbare aandoeningen
 - 70 Groene Chemie
 - 71 Invasieve soorten
 - 72 Jongeren durven innoveren
 - 73 Op weg naar Mars
 - 74 Waarheen leidt het spoor?
 - 75 Als het bloed niet meer stroomt
 - 76 PVC: harmonie van duurzaamheid en design
 - 77 Mariene biodiversiteit

- 78 Systeembio
- 79 Bijen
- 80 (Over)Bevolking
- 81 Overbevissing
- 82 Eerlijk eten
- 83 Bamboe
- 84 Kanker, de vijand binnenin
- 85 Biomimicry
- 86 Gehoor en gehoorproblemen
- 87 Geneesmiddelen
- 88 Kankerbehandeling
- 89 Kwantummechanica

