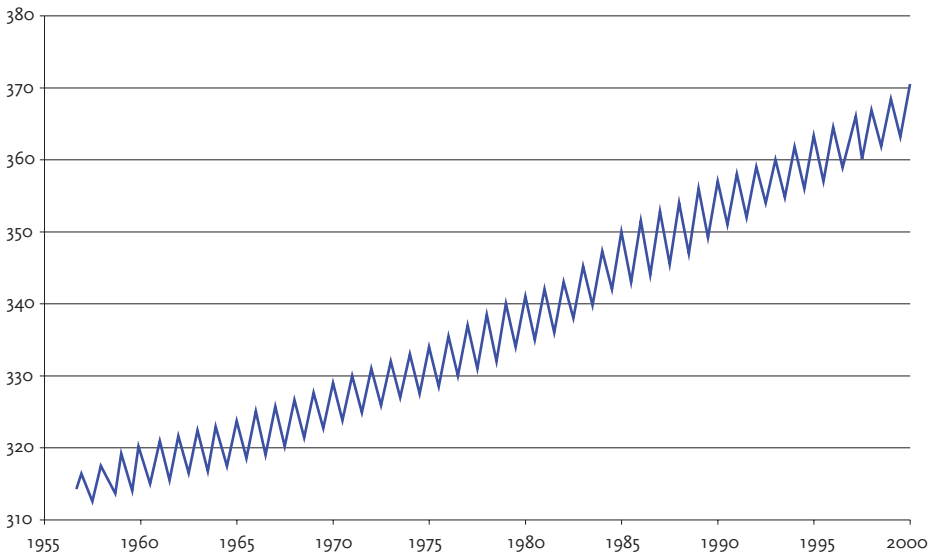


Signalen van klimaatveranderingen

John van Boxel

Klimaatwetenschappers waarschuwen dat de toenemende concentraties aan broeikasgassen een invloed zullen hebben op het klimaat op aarde. Gedurende de twintigste eeuw zijn de concentraties van enkele belangrijke broeikasgassen al aanzienlijk toegenomen. Zo is de CO₂-concentratie vanaf het begin van de industriële revolutie na 1750 met 35% toegenomen tot 380 ppm oftewel parts per million (380 ppm = 0.038%) in 2006, een concentratie die al een half miljoen jaar niet meer is voorgekomen (Petit et al., 1999) en waarschijnlijk al veel langer niet meer. Figuur 4.2 geeft een weergave van de concentraties van CO₂, gemeten op Mauna Loa, Hawaii USA vanaf het begin van de metingen daar.¹



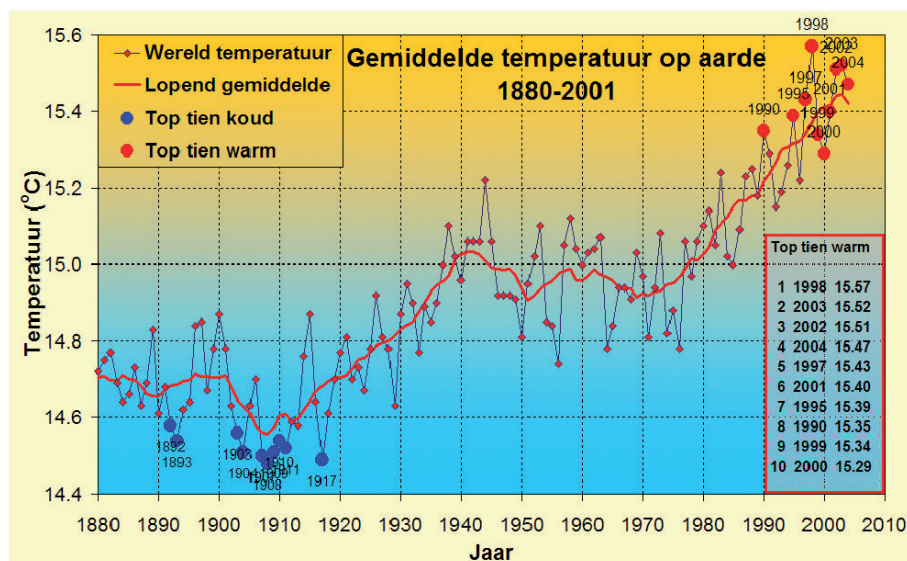
Figuur 4.2 CO₂-concentraties in de atmosfeer, zoals gemeten op Hawaii

Bron: zie noot 1

De concentratie van methaan is zelfs verdubbeld in de twintigste eeuw (IPCC, 2001, 2007). Tegelijkertijd is de temperatuur in de twintigste eeuw gestegen, hetgeen gevolgen heeft, niet alleen voor de atmosferische circulatie en de daarmee samenhangende klimaatparameters, maar ook voor flora en fauna. Dit wordt hieronder toegelicht.

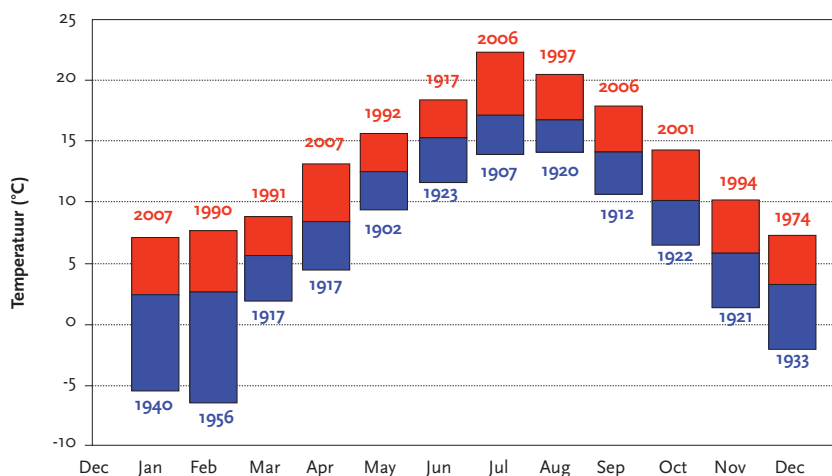
Temperatuur

Gedurende de twintigste eeuw is de gemiddelde temperatuur op aarde met 0,6 à 0,7 °C gestegen (IPCC, 2001, 2007, zie ook figuur 4.3). Daarover bestaat weinig discussie meer. De World Meteorological Organisation meldde zelfs dat het laatste decennium van de twintigste eeuw het warmste decennium van het millennium was (WMO, 1999).



Figuur 4.3 Gemiddelde temperatuur op aarde tussen 1880 en 2004

Bron: KNMI-website <http://www.knmi.nl>



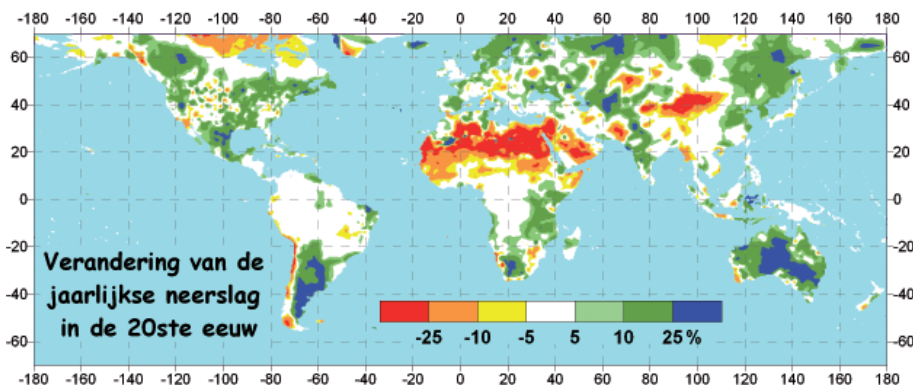
Figuur 4.4 Record warme en record koude maanden in De Bilt voor de periode 1901-2007

Bron: KNMI-website <http://www.knmi.nl>

In noordelijke streken is de temperatuurstijging veel groter dan gemiddeld. In Alaska bijvoorbeeld is het verdwijnen van de permafrost op veel plaatsen goed te merken door het verzakken van gebouwen en wegen (Lynas, 2003) en doordat de toendra groener wordt (Shein, 2006). Dat ook in Nederland de temperatuur toegenomen is, blijkt onder meer uit de maandextremen in De Bilt (figuur 4.4). De record warme maanden vallen op twee na allemaal na 1989, terwijl de record koude maanden op één na allemaal voor 1941 vallen.

Neerslag

Als de temperatuur van de oceanen stijgt, zal ook de verdamping toenemen. Omdat de verblijftijd van waterdamp in de atmosfeer zeer kort is (circa 7 dagen), zal ook de gemiddelde neerslag op aarde toenemen. Gedurende de twintigste eeuw is de gemiddelde neerslag op aarde met 2,5% toegenomen (Van Boxel, 2001). Dit betekent echter niet dat de neerslaghoeveelheden overal in gelijke mate zijn toegenomen. In figuur 4.5 is te zien dat op 38% van het landoppervlak de neerslag met meer dan 5% is toegenomen, op 42% van het landoppervlak bedroeg de verandering minder dan 5% en op 20% van het landoppervlak nam de jaarlijkse neerslag zelfs met meer dan 5% af gedurende de twintigste eeuw.



Figuur 4.5 Verandering van de jaarlijkse neerslag gedurende de twintigste eeuw

Data: IPCC, 1999, zie ook New et al., 1999

Opvallend is dat de meeste aride en semi-aride gebieden op het noordelijk halfrond droger geworden zijn, terwijl de droge gebieden op het zuidelijk halfrond meer neerslag kregen. Waarschijnlijk heeft dit te maken met de geheel andere land-zeeverdeling op het zuidelijk halfrond. Ook het mediterrane gebied is droger geworden, terwijl de gematigde breedten op het noordelijk halfrond (40-60° NB) over het algemeen een toename van de jaarlijkse neerslag ondergingen. In Nederland is de jaarlijkse neerslag met meer dan 10% toegenomen (Van Boxel & Cammeraat, 1999).

Als de hoeveelheid waterdamp in de lucht toeneemt, kan niet alleen de gemiddelde jaarlijkse neerslag toenemen, maar kan ook de neerslagintensiteit toenemen. Er verschijnen steeds meer aanwijzingen dat dit ook

inderdaad het geval is (bijv. Karl & Knight, 1998; De Keijzer & Van Boxel, 2003). Een recent voorbeeld is de extreme neerslag in Centraal-Europa in augustus 2002 (Ulbrich et al., 2003), waardoor grote delen van Tsjechië en Duitsland overstromden. Ook Nederland kende in augustus 2002 extreme neerslag. Op 24 augustus viel in Weesp in korte tijd 100 mm neerslag. Het overdekte zwembad in Weesp stortte in, evenals het overdekte zwembad in Etten-Leur en het dak van een grote meubelzaak in Amsterdam (De Keijzer & Van Boxel, 2003). Met behulp van statistische analyses tonen De Keijzer en Van Boxel (2003) aan dat extreme neerslag aan het einde van de twintigste eeuw veel vaker voorkomt dan aan het begin.

Orkanen

Voor de ontwikkeling van een orkaan is het nodig dat het zeewater tenminste zo'n 27 °C is. Als de zeewatertemperatuur in de tropen een beetje toeneemt, zal een veel groter gebied aan deze voorwaarde voldoen. Dit zou kunnen leiden tot meer en zwaardere orkanen (Knutson & Tuleya, 2004; Emanuel, 2005). Toch kwam het orkaanseizoen van 2005 als een verrassing met een recordaantal van 28 tropische stormen op de Atlantische Oceaan, waarvan 15 zich ontwikkelden tot een orkaan en vier zelfs tot een categorie-5-orkaan (Emily, Katrina, Rita en Wilma). Nog nooit eerder waren er vier Atlantische orkanen van de zwaarste klasse in één jaar geweest. Toch is dit geen waterdicht bewijs dat de orkaanintensiteit toeneemt. Voor een gedegen statistische analyse zouden meerdere lange datareeksen nodig zijn. We hebben echter maar drie oceanen en er wordt pas sinds 1943 systematisch naar orkanen gezocht. Daarvoor werden voornamelijk de orkanen geregistreerd die aan land kwamen.



Figuur 4.6 Ijskap op Mount Kilimanjaro in 1930 (boven) en in 2000 (onder)
Bron: foto Javed Jafferji

Gletsjers, poolijs en ijskappen

Veel gebergtegletsjers, overal op aarde, werden in de twintigste eeuw korter (IPCC, 2001; Oerlemans, 2005) en sommige smolten zelfs geheel (Lynas, 2003). Vooral tropische gletsjers zijn erg gevoelig voor klimaatveranderingen. Zo is gedurende de twintigste eeuw het oppervlak van de ijsbedekking op de Kilimanjaro met 80% afgenomen (Thompson et al., 2002). Enkele andere gletsjers groeien juist, ondanks de gestegen temperatuur. Dit treedt vooral op bij gletsjers op de gematigde breedte, redelijk dicht bij de oceaan, bijvoorbeeld de Engabreen-gletsjer en de Nigardsbreen-gletsjer in Noorwegen en de Franz Jozef-gletsjer op Nieuw-Zeeland (IPCC, 2001). Doordat de lucht meer waterdamp bevat, brengt de lucht die opstijgt tegen het gebergte meer sneeuw, wat de snellere afsmelting compenseert.

Het oppervlak van het poolijs op de Noordelijke IJszee is sinds 1979 met circa 20% afgenomen (Walker, 2006). De tocht die Barentsz en Van Heemskerck in 1596 wilden ondernemen en die strandde op Nova Zembla, kon in 2005 zonder ijsbreker gemaakt worden.

Klimaatmodellen voorspellen dat de ijskap op Antarctica de komende eeuw redelijk stabiel blijft, ook in een warmer klimaat (IPCC, 2001). De temperaturen zijn hier ook aan de kust zo laag dat er nauwelijks ijs afsmelt. Gregory et al. (2004) meldden dat de ijskap op Groenland weleens minder stabiel zou kunnen zijn (Gregory et al., 2004), maar ook al zou die ijskap afsmelten, dan zou dat in ieder geval vele eeuwen duren.

Zeespiegel

Sinds de laatste ijstijd is de zeespiegel ongeveer 100 meter gestegen door het afsmelten van de grote ijskappen op Noord-Amerika, Scandinavië en Siberië. De laatste eeuwen bedraagt de zeespiegelstijging ongeveer 10 cm per eeuw. Voor Nederland komt daar nog ongeveer 10 cm bij, omdat Nederland, als reactie op de laatste ijstijd, nog langzaam daalt. De verwachting is dat de stijgende temperaturen op aarde zullen leiden tot een toename van de stijging van de zeespiegel. Voor de komende eeuw zou dat dan vooral moeten gebeuren door de thermische expansie van het zeewater. Weliswaar bevat de ijskap op Groenland voldoende ijs voor een stijging van 7 meter en het afsmelten van de ijskap op Antarctica zou zelfs kunnen leiden tot een zeespiegelstijging van 61 meter. Volgens de meeste klimaatmodellen smelten deze ijskappen echter zo langzaam dat ze gedurende de huidige eeuw nog weinig bijdragen aan de zeespiegelstijging (IPCC, 2001).

Dat het zeeniveau een moeilijke parameter is om te modelleren, blijkt wel uit het feit dat de door de verschillende modellen berekende extra zeespiegelstijging uiteenloopt van 20 tot 80 cm per eeuw. Volgens het laatste IPCC-rapport (IPCC, 2007) steeg de zeespiegel in de periode 1992-2003 aanzienlijk sneller dan in de decennia daarvoor.

Thermohaline circulatie

Het zoutgehalte van het water van de Warme Golfstroom neemt tijdens de reis naar het noorden toe door verdamping. In de Noordelijke IJszee koelt dit water zo ver af dat het naar de bodem zakt en via de bodem van de Atlantische Oceaan naar de andere oceanen stroomt. Op verschillende plaatsen op aarde komt dit koude diepzeewater na honderden jaren weer aan het oppervlak, om via de Atlantische Oceaan weer naar de Noordelijke IJszee te stromen. Men noemt dit de thermohaline circulatie.

Als het oppervlak van het poolijs afneemt, zal het water in de Noordelijke IJszee langzamer afkoelen. De sneeuw op het ijs reflecteert namelijk een groot deel van de zonnestraling, terwijl water juist de meeste zonnestraling absorbeert. Als het water in de Noordelijke IJszee minder snel afkoelt, zal er ook minder van dit koude water afzinken naar de diepzee. Het is juist dit water dat de thermohaline circulatie en de Warme Golfstroom op de At-

lantische oceaan aandrijft. Een warmere wereld zou op die manier weleens kunnen betekenen dat West-Europa juist afkoelt.

Vrijwel alle klimaatmodellen voorspellen dat in een warmer klimaat de thermohaline circulatie verzwakt (IPCC, 2001). De mate waarin dit gebeurt verschilt van model tot model. Er zijn ook al aanwijzingen dat de thermohaline circulatie reeds in sterkte afgenomen is (Bryden et al., 2005).

Flora en fauna

De veranderingen in temperatuur en neerslagregime komen ook tot uiting in veranderingen in flora en fauna. Het boek *Opgewarmd Nederland* (Roos, 2004) laat zien hoe in Nederland allerlei organismen reageren op het veranderende klimaat. Een aantal soorten vlinders en libellen reageert duidelijk op het veranderende klimaat. Soorten waarvoor Nederland aan de zuidgrens van hun verspreidingsgebied ligt dreigen te verdwijnen, terwijl nieuwe soorten verschijnen die vroeger alleen in landen ten zuiden van Nederland voorkwamen. Zo werd de wespenspin in 1980 voor het eerst waargenomen in Zuid-Limburg en kwam ze tot 1990 vrijwel alleen in Limburg voor. Tussen 2000 en 2003 is de wespenspin echter in bijna alle provincies waargenomen. Een ander voorbeeld van een soort uit het zuiden die zich in Nederland aanzienlijk heeft uitgebreid is de gehakkelde aurelia (een vlinder; zie figuur 4.7).

Ook ontrollen veel bomen hun bladeren nu weken eerder dan in het begin van de twintigste eeuw en bloeien veel planten eerder. De lengte van het groeiseizoen is aanzienlijk toegenomen.



Figuur 4.7 Verspreidingsgebied gehakkelde aurelia 1976-1980 (links) en 2000 (rechts)

Bron: Roos, 2004; Opgewarmd Nederland/Vlinderstichting

Temperatuurstijging door broeikaseffect of zonneactiviteit.

Dat de temperatuur op aarde gedurende de twintigste eeuw is toegenomen is goed vast te stellen en daarover is nauwelijks discussie meer. Er zijn ook

tallose andere gevolgen waar te nemen, zoals afsmelten van gebergtegletsjers, afname van het oppervlak aan poolijs en veranderingen in flora en fauna. De overgrote meerderheid van meteorologen en klimatologen is het erover eens dat dit voor een groot deel het gevolg is van de gestegen concentraties van broeikasgassen.

Er zijn ook wetenschappers die van mening zijn dat dit zou kunnen samenhangen met marginale variaties in de hoeveelheid straling die de zon uitzendt. Deze theorie berust voornamelijk op waargenomen correlaties tussen zonneactiviteit en klimaat. Een gedegen natuurwetenschappelijke verklaring ontbreekt echter. De variaties in de hoeveelheid uitgezonden straling zijn echter te klein om deze correlaties te verklaren.

Het is duidelijk dat de temperatuur op aarde gedurende de twintigste eeuw toegenomen is en dat dit velerlei gevolgen heeft gehad. De meest aannemelijke verklaring tot dusverre is dat dit veroorzaakt is door een versterking van het broeikaseffect (IPCC, 2007).

Websites

- <http://www.ipcc.ch> Intergovernmental Panel on Climate Change
- [http://www.opgewarmdnederland.nl/Opgewarmd Nederland](http://www.opgewarmdnederland.nl/Opgewarmd+Nederland)
- <http://weather.unisys.com/hurricane/atlantic/>Atlantic Tropical Storm Tracking by Year

Noot

- 1 Afkomstig uit: http://www.knmi.nl/klimaatverandering_en_broeikaseffect/factsheets/klimaat_en_klimaatverandering.html#klimaatveranderingen; zij gebruikten de data van het Scripps CO₂ programma geïnitieerd door David Keeling zie <http://scrippsco2.ucsd.edu/home/index.php>