

# Klimaat en klimaatveranderingen

## De belangrijkste feiten op een rij

### Inleiding

De laatste jaren was het erg warm, niet alleen in ons land maar ook wereldwijd. Het afwijkende weer roept veel vragen op, zeker ook over wat dit betekent voor de 21e eeuw. Op de belangrijkste vragen geven we op deze pagina's antwoord. Daarbij gaan we in op de waarnemingen, de oorzaken van klimaatveranderingen en de toekomst van het klimaat. We zullen zien dat het klimaat zowel van nature verandert als door de mens.

### 1. Waar gaat het om?

De mens zal volgens de huidige inzichten over deze eeuw een stijging van de gemiddelde temperatuur op aarde met 1,1 tot 6,4 graden veroorzaken. Wereldwijd gezien zal dit gepaard gaan met een neerslagtoename en een extra zeespiegelstijging van tussen de 18 tot 59 cm. (IPCC 2007) De klimaatverandering zal ook in Nederland steeds meer voelbaar worden.

Natuurlijke klimaatvariaties en klimaatveranderingen zijn van alle tijden. Zo hebben onder meer grote vulkaanuitbarstingen, El Niño's en variaties in zonneactiviteit invloed op de gemiddelde temperatuur op aarde. Tegenwoordig is het menselijk handelen een factor van toenemend belang.

De laatste eeuw zijn de concentraties van broeikasgassen, zoals CO<sub>2</sub>, in de atmosfeer sterk toegenomen door menselijke activiteiten. Dit heeft nu al invloed op de gemiddelde temperatuur op aarde. Die is in de afgelopen circa 100 jaar wereldwijd tussen 0,56 en 0,92 graad gestegen (IPCC 2007), de laatste decennia in versneld tempo.

In het grillige klimaat van Nederland is het broeikaseffect moeilijker aantoonbaar. Toch zijn er sterke aanwijzingen dat ook in Nederland een deel van de temperatuurstijging in de pas loopt met de wereldwijde opwarming. Welke verdere klimaatveranderingen Nederland te wachten staan is niet goed bekend. Gezien de complexiteit van het klimaatsysteem zou de verandering in Nederland wel eens anders kunnen uitvallen dan de toename van de gemiddelde temperatuur op aarde zou doen veronderstellen.

### 2. Wat is klimaat?

Het klimaat van een plaats of gebied is het gemiddelde weer. Meestal wordt het gemiddelde genomen over enkele tientallen jaren van temperatuur, vocht, luchtdruk, wind, bewolking en neerslag. Daarnaast wordt gekeken naar dagelijkse en jaarlijkse variaties en hoe vaak extremen voorkomen, zoals hittegolven en zware regen met wateroverlast of overstromingen. Soms worden ook aanverwante grootheden tot het klimaat gerekend, zoals de chemische samenstelling van de atmosfeer en de temperatuur van de diepe oceaan. De grens is moeilijk te trekken; om het klimaat te kunnen begrijpen moeten we eigenlijk het hele systeem aarde begrijpen.

### 3. Hoe komen we aan klimaatinformatie?

Meteorologische instituten, zoals het KNMI, doen sinds anderhalve eeuw dagelijks waarnemingen. Over het klimaat van vóór die tijd vinden onderzoekers aanwijzingen in oude documenten, jaarringen van bomen en boringen in gletsjers, ijskappen en

diepzeesedimenten. Deze geven informatie over het gemiddelde klimaat, maar ook over klimaatschommelingen en klimaatveranderingen. Veranderingen zijn er in alle soorten en maten. Sommige komen alleen in een klein gebied voor, andere zijn wereldwijd, sommige zijn relatief snel, andere langzamer. Om twee voorbeelden te noemen: El Niño komt eens in de drie à zeven jaar voor, terwijl IJstijden typisch zo'n honderdduizend jaar duren. Natuurlijk is ook de grootte van de veranderingen en de snelheid waarmee ze plaatsvinden van belang. De laatste jaren is de belangstelling voor klimaatmetingen sterk toegenomen door de aandacht voor de invloed van de mens op het klimaat. Daarom wordt er gewerkt aan verbetering van de waarnemingsnetwerken. Aardobservatie met satellieten speelt een belangrijke rol hierbij.

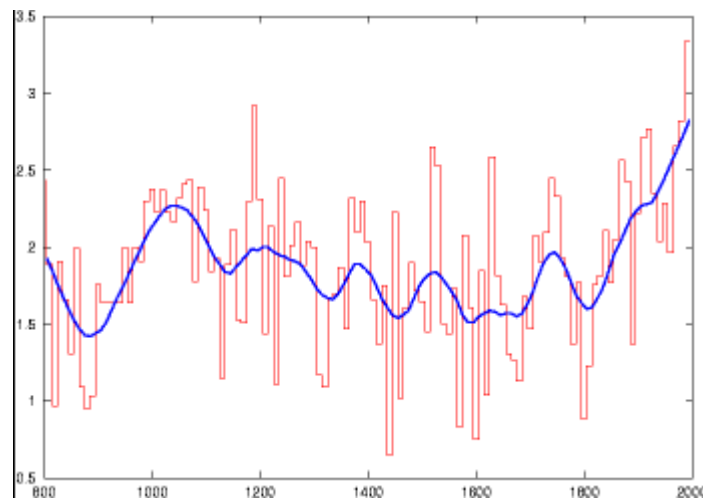
#### 4. Wat weten we over het klimaat in het verleden?

##### *IJstijden*

Het klimaat is een komen en gaan van koude tijden en warmere periodes. Zo'n 140.000 jaar geleden was Noord-Europa bedekt met een ijskap die zich tot aan de Utrechtse Heuvelrug uitstrekte. De zeespiegel lag zo'n 120 m onder het huidige niveau. Kort daarop eindigde deze IJstijd waarbij de temperaturen opliepen. Daarna volgde een nieuwe IJstijd, die bijna 100.000 jaar duurde. Zo'n 18.000 jaar geleden begon een snelle opwarming naar de warmere periode waarin we nu leven.

##### *De afgelopen duizend jaar*

Ook de afgelopen duizend jaar varieerde de temperatuur. Opvallend waren in Europa een aantal warmere zomers in de Middeleeuwen en het vaker voorkomen van koude winters in de vijftiende tot achttiende eeuw. Deze laatste periode wordt wel de 'Kleine IJstijd' genoemd.

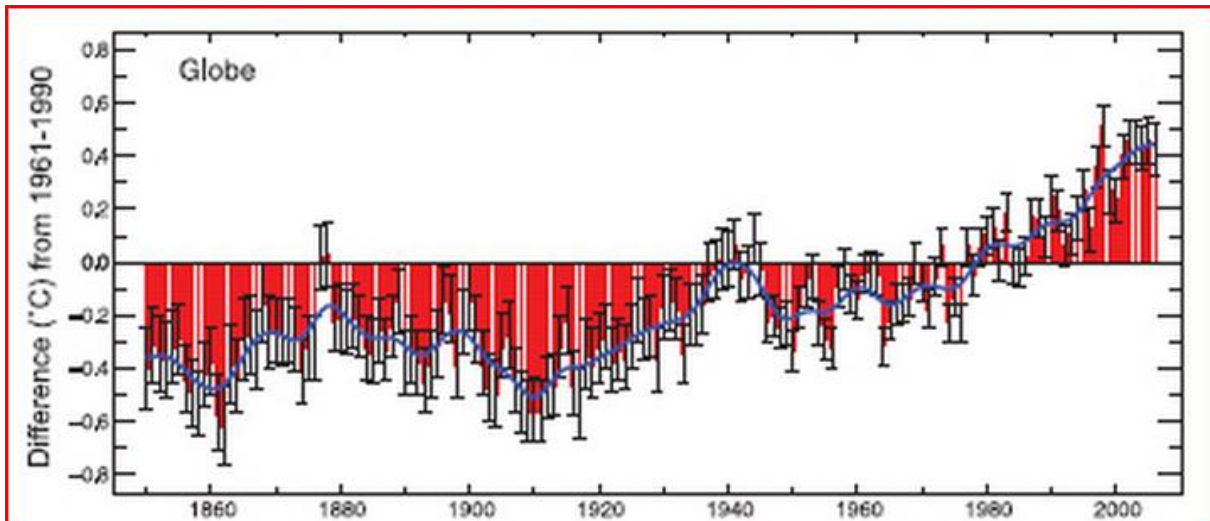


**Fig. 1:** Tien jaar gemiddelde wintertemperatuur 800-2000 voor de Lage Landen (de blauwe lijn is het lopend gemiddelde over 150 jaar) gereconstrueerd door Buisman, IJnsen en Van Engelen (Bron: de toestand van het klimaat in Nederland 1999, KNMI, 1999)

##### *Warmterecords in de 20e eeuw*

Het verloop van de wereldgemiddelde temperatuur van de laatste 150 jaar is bepaald op basis van temperatuurmetingen op land en op zee. Hierbij is veel moeite gedaan om voor alle mogelijke onnauwkeurigheden te compenseren, tot aan het effect van verstedelijking toe. Voor het eind van de negentiende eeuw wijken de bepalingen van de wereldgemiddelde temperatuur naar schatting niet meer dan 0,1 à 0,2 graad af van de

werkelijke waarden; in de twintigste eeuw is de wereldgemiddelde temperatuur nauwkeuriger gemeten. Er zijn duidelijke trends in temperatuur te zien, met daarnaast ook grote variaties van jaar tot jaar. Tussen de jaren 10 en 40 van de vorige eeuw is het warmer geworden, en ook weer vanaf 1979. Sinds 1983 is het record van de meetreeks herhaaldelijk bijgesteld. In 1998 was de wereldgemiddelde temperatuur 14,6 graden. Dat is 0,9 graden boven het gemiddelde van 1856-1899, en op basis van verscheidene aanwijzingen waarschijnlijk het warmste jaar van de afgelopen duizend jaar! In totaal is de wereldgemiddelde temperatuur in de twintigste eeuw met ongeveer 0,74 graden gestegen.



**Fig. 2:** Wereldgemiddelde jaarlijkse temperatuur, gecombineerd uit land- en zeewaarnemingen, en anomalieën (gradientekentje C) in rood van 1850 -2006 in vergelijking met het gemiddelde 1961-1990. De blauwe lijn laat de decade variaties zien. (Bron: IPCC2007)

#### *Temperatuur-en neerslagveranderingen in Nederland*

De recente periode met wereldwijd gemiddeld warme jaren valt deels samen met een serie warme jaren in Nederland. In ons land is de temperatuur sinds 1900 met gemiddeld 1,2 graad gestegen. Vooral sinds 1987 was het opmerkelijk warm: vrijwel alle jaren daarna horen tot de warmste van de twintigste eeuw. Het warmste jaar van de afgelopen honderd jaar was 2006 met gemiddeld 11,2 graden, daarna volgen 1990, 1999 en 2000, met gemiddeld 10,9 graden tegen 9,8 normaal. Voor een heel jaar is dat een enorme afwijking.

De jaarlijkse neerslag is in Nederland toegenomen, deels in samenhang met het warme weer; vanaf 1906 viel 18% meer regen: alle winterhalfjaren (nov-apr) met in De Bilt meer dan 500 mm neerslag kwamen na 1960 voor. Het jaar 1998 helemaal in het teken van de regen en wateroverlast: met 1240 mm in De Bilt was 1998 het natste jaar sinds het begin van de metingen.

#### *Veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer*

Sinds 1750 is de concentratie van kooldioxide ( $\text{CO}_2$ ) in de atmosfeer met zo'n 30% toegenomen. Deze verandering is toe te schrijven aan de mens die fossiele brandstoffen, zoals steenkool, aardolie en aardgas verbrandt. Ook de concentraties van andere broeikasgassen zijn onder invloed van de mens aanzienlijk toegenomen. De hoeveelheid methaan ( $\text{CH}_4$ ) is meer dan verdubbeld (145%), lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) is met 15% toegenomen

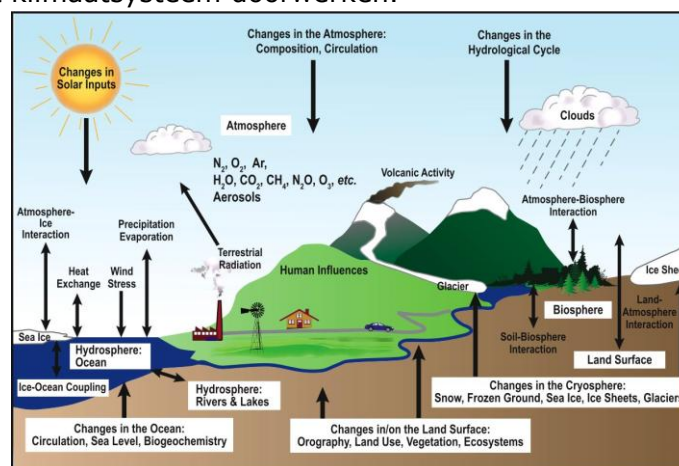
en alle chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) zijn door mensen geproduceerd. Er zijn ook meer stofdeeltjes (aërosolen) in de atmosfeer gekomen. De concentratie van ozon ( $O_3$ ) in de onderste tien kilometer van de atmosfeer (de troposfeer) is verdubbeld. In de stratosfeer daarentegen, op hoogtes tussen 10 en 40 km, is de hoeveelheid ozon juist afgenomen. Deze afname wordt veroorzaakt door chloorverontreinigingen die vrijkomen uit bovengenoemde CFK's.

### **Schommelingen, variaties en veranderingen**

Soms wordt een onderscheid gemaakt tussen de begrippen klimaatschommeling, klimaatvariatie en klimaatverandering, en wordt het begrip klimaatverandering bijvoorbeeld gereserveerd voor veranderingen die door de mensen veroorzaakt zijn. In het algemeen is het echter niet zo eenvoudig om een waargenomen klimaatvariatie aan één bepaalde oorzaak toe te schrijven. In deze publicatie worden de begrippen variatie, verandering en schommeling zonder onderscheid gebruikt.

## **5. Hoe werkt het klimaat?**

De aarde wordt verwarmd door de zon. Een deel van de zonnestraling wordt teruggekaatst; een ander deel wordt omgezet in warmte. Broeikasgassen zoals waterdamp en  $CO_2$  leggen een warme deken om de aarde: ze zorgen ervoor dat een deel van de warmtestraling van de grond wordt vastgehouden. Zonder dat warme-deken-effect zou de aarde veel kouder zijn. Wind en oceaanstromingen spelen een belangrijke rol bij de verdeling van de warmte over de aarde. Die warmtetransporten zorgen ervoor dat het temperatuurverschil tussen de tropen en de polen niet veel groter is dan waargenomen. De relatie tussen de atmosfeer, de oceaan, het landoppervlak, sneeuw en ijs, en de biosfeer (bomen, plankton, enz) is van groot belang. Om een paar voorbeelden te noemen: planten nemen  $CO_2$  op, de oceaan neemt warmte op, ijskappen en woestijnen weerkaatsen zonnestraling sterker dan bos en toendra en smeltend ijs maakt de oceaan minder zout. Deze processen kunnen elkaar versterken of verzwakken. Zo leidt een opwarming van de oceaan tot meer verdamping. Dat versterkt het broeikaseffect waardoor de oceaan nog warmer wordt. De extra verdamping, die optreedt als de oceaan warmer wordt, onttrekt anderzijds ook warmte aan de oceaan en heeft daardoor een koelende werking op het zeewater. Ook dit zijn maar voorbeelden; er zijn tal van effecten die elkaar beïnvloeden, wat het zo lastig maakt om te doorzien hoe verstoringen in het klimaatsysteem doorwerken.



**Fig.4:** Schematische weergave van de elementen, processen en onderlinge interacties van het klimaatsysteem

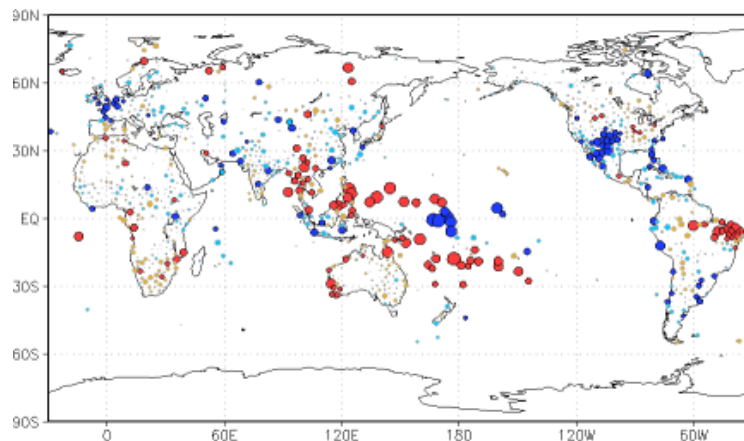
## 6. Hoe ontstaan klimaatveranderingen?

Klimaatonderzoekers proberen erachter te komen wat de oorzaken zijn van klimaatveranderingen, zowel de natuurlijke veranderingen als veranderingen veroorzaakt door de mens (antropogeen). Zij onderzoeken ook in hoeverre die veranderingen voorspelbaar zijn. Er zijn verschillende oorzaken voor variaties van het klimaat, zoals verschuivingen van continenten en zeestromen, inslagen op aarde van kometen of meteorieten, verhoogde vulkanische activiteit, variaties in de aardbaan, veranderende zonneactiviteit, het chaotisch gedrag van de atmosfeer, veranderend landgebruik en recent de door menselijke activiteiten toegenomen hoeveelheid kooldioxide en andere broeikasgassen in de atmosfeer. Een aantal mechanismen worden hieronder besproken en hierin is te zien hoe ze gekenmerkt worden door bepaalde tijdschalen en patronen.

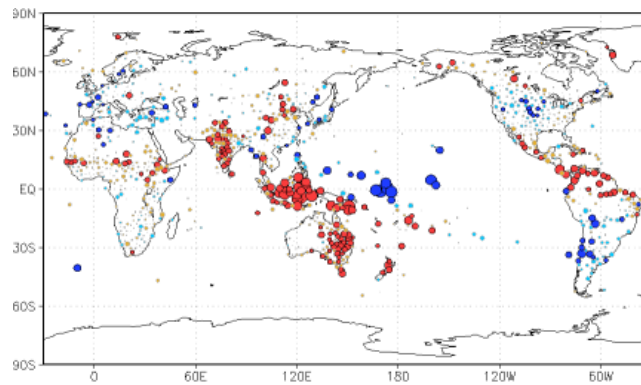
### *El Niño*

Vissers in Peru merkten eeuwen geleden al dat de vis in sommige jaren uitbleef en ze niets vingen. Oorzaak was het plotseling warmere water aan de kust dat dan veel armer is aan voedsel. Dat gebeurde meestal rond Kerst vandaar de naam El Niño, het Spaanse woord voor Kerstkind. Tegenwoordig bedoelen we met El Niño's periodes waarin warm water zich langs de kust en langs de evenaar over een groot deel van de Stille Oceaan uitstrekt. Een koelere tijd wordt La Niña (het meisje) genoemd.

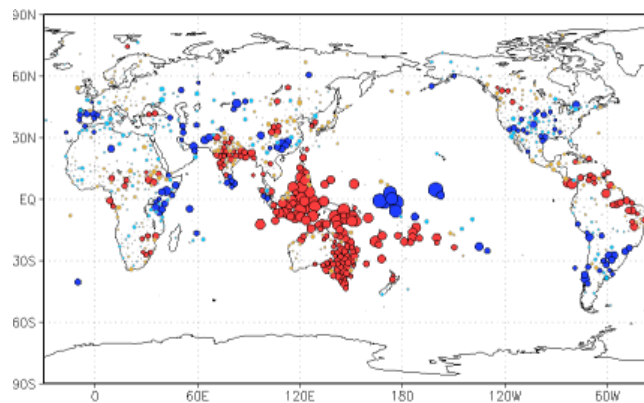
El Niño doet zich onregelmatig maar gemiddeld om de drie tot zeven jaar voor. Dan valt de passaat weg, die het warme water in de oostelijke Stille Oceaan normaal richting Indonesië blaast. De gevolgen van een El Niño voor het weer, met name de gevolgen voor temperatuur en neerslag, zijn tot in de wijde omtrek groot, bijvoorbeeld overvloedige regen in droge woestijnen en droogte waar het normaal veel regent.



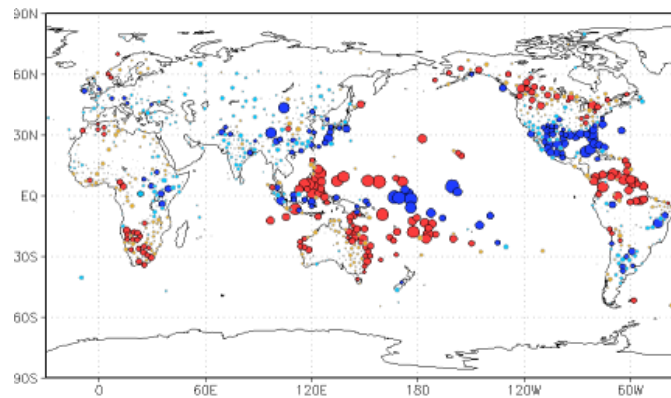
**Fig. 5a:** De effecten van El Niño op neerslag in Maart-Mei. Blauwe cirkels geven natter weer aan, rode droger; de grootte van de cirkels is een maat voor de sterkte van het effect. Bron: website KNMI, hier zijn ook de effecten op temperatuur en andere seizoenen te vinden.



**Fig. 5b:** Idem voor Juni-Augustus.



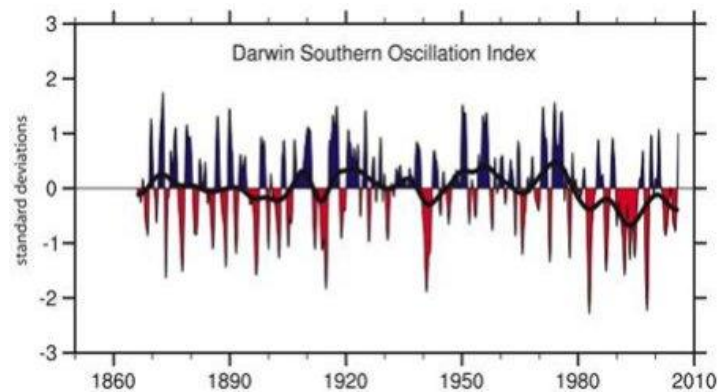
**Fig. 5c:** Idem voor September-November.



**Fig. 5d:** Idem voor December-Februari.

Voor de samenleving en voor de economie is dat van groot belang: denk aan de Peruaanse vissers, overstromingen, mislukte oogsten of juist overvloedige jaren voor de boeren. Met satellieten en boeien wordt de zeewatertemperatuur langs de evenaar gemeten, die aangeeft hoe sterk El Niño is. Ook wordt het luchtdrukverschil tussen Tahiti en Darwin in de gaten gehouden. Daaruit kan worden afgeleid hoe sterk de passaat is. Op basis van deze gegevens worden voorspellingen van de sterkte van El Niño en de gevolgen voor het weer over de wereld gemaakt, tot zo'n zes maanden vooruit (seizoensverwachtingen). De invloed van El Niño op het weer in Europa is relatief klein. Uit KNMI-onderzoek blijkt echter dat een sterke El Niño in de winter vaak wordt gevolgd door een nat voorjaar in ons land en omliggende landen. De hoge wereldgemiddelde

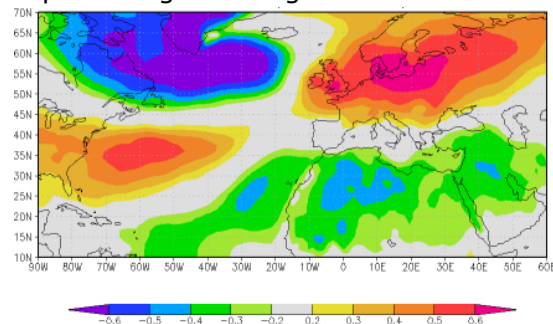
temperaturen van 1997 en 1998 worden voor een deel toegeschreven aan de zeer sterke El Niño.



**Fig. 6:** De Darwin SOI. In rood positieve luchtdruk anomalieën in Darwin en derhalve El Niño condities. (Bron: IPCC 2007)

### Noord Atlantische Oscillatie (NAO)

De recente warme periode in Nederland hangt deels samen met een ongewoon sterke en standvastigheid van de Noord Atlantische index, een maat voor het gemiddelde luchtdrukverschil tussen de Azoren en IJsland. Een groot drukverschil gaat gepaard met een karakteristiek patroon van sterkere westenwinden. In de winters geeft dit door zeewind warmer weer. Uit waarnemingen is bekend dat de Noord Atlantische index onregelmatige slingeren vertoont. Deze slingeren noemt men de Noord Atlantische Oscillatie (NAO). Het is een natuurlijke, onregelmatige slinging die vermoedelijk vooral te maken heeft met het chaotische karakter van de atmosfeer. Onderzoek suggereert dat het broeikaseffect de NAO zou kunnen beïnvloeden, maar duidelijkheid in hoeverre dit heeft bijgedragen aan de opwarming is er nog niet.



**Fig. 8:** Correlatie NAO index en wintertemperatuur (december-maart) voor het Atlantisch/Europees gebied over 1865-1994. In gebieden met positieve waarden is het warmer dan normaal wanneer de index positief is (Bron: de toestand van het klimaat in Nederland 1999, KNMI, 1999).

### De invloed van de zon

De activiteit van de zon vertoont een duidelijke cyclus van 11 jaar. Als de zon actiever is vertoont haar oppervlak zowel meer zonnevlekken als meer explosieve fakkels. Sinds 1979 zijn er nauwkeurige satellietwaarnemingen beschikbaar waaruit blijkt dat de intensiteit van de zonnestraling in de pas loopt met die 11-jarige cyclus van zonneactiviteit. Maar de 11-jarige variaties in de zonnestraling zijn klein en daarom verwacht men dat ze maar beperkte invloed hebben. In de waarnemingen zijn ze dan

ook niet of nauwelijks terug te vinden. Daarnaast zijn er aanwijzingen dat de activiteit van de zon ook langzame variaties vertoont. Deze langzame variaties zouden wel een merkbare invloed op het klimaat hebben en mogelijk hebben bijgedragen aan de lage wintertemperaturen in de zeventiende eeuw en aan de opwarming in de eerste helft van de twintigste eeuw. Verder onderzoek is echter gewenst. Ook wordt wel gesuggereerd dat de zon nog op een andere manier dan via de zonnestraling invloed zou kunnen hebben op het klimaat, maar dit is nogal speculatief.

#### *Vulkaanuitbarstingen*

Grote vulkaanuitbarstingen kunnen veel stof in de atmosfeer brengen. Dit stof reflecteert zonlicht en heeft daardoor een koelend effect. Gewoonlijk verdwijnt het stof binnen een paar jaar vanzelf weer uit de atmosfeer. Satellietwaarnemingen bevestigen dat sterke vulkaanuitbarstingen een flinke invloed kunnen hebben op de warmtebalans van de aarde. Zo wordt de tijdelijke onderbreking van de stijging van de wereldgemiddelde temperatuur in 1992 en 1993 toegeschreven aan de uitbarsting van de vulkaan Pinatubo op de Filippijnen in juni 1991.

#### *Abrupte veranderingen*

Een andere bron van variatie is de oceaan, bijvoorbeeld wanneer oceaanstromingen zich verleggen. We zagen al dat de oceaan bij het ontstaan van El Niño een belangrijke rol speelt. Ook elders op aarde hebben variaties in de oceaan invloed op het klimaat. Bepaalde oceaanstromingen zijn zeer gevoelig voor veranderingen in de atmosfeer. Het klimaat in Europa wordt sterk beïnvloed door de noordwaartse stroming in de Atlantische Oceaan die afkomt van de warme Golfstroom. Volgens sommige berekeningen stopt deze stroming als er meer zoet water komt in het noorden, bijvoorbeeld door meer neerslag of smeltwater van gletsjers of ijskappen. Dit lijkt ongeveer 12000 jaar geleden ook al eens gebeurd te zijn bij het afsmelten van het ijs van de laatste IJstijd. Zo'n verandering zou tot een abrupte regionale klimaatverandering kunnen leiden. Meteorietinslagen kunnen ook een abrupte klimaatverandering teweegbrengen. Het uitsterven van de Dinosauriërs (65 miljoen jaar geleden) zou veroorzaakt kunnen zijn door de inslag van een meteoriet. Dergelijke inslagen zijn echter niet voorspelbaar en daarom is het voor klimaatonderzoekers onmogelijk om er in klimaatvoorspellingen rekening mee te houden.

#### *De menselijke invloed: het versterkte broeikaseffect*

Door industrie, ontbossing, verkeer, energieverbruik in het huishouden, landbouw en veeteelt brengt de mens extra broeikasgassen in de atmosfeer. CO<sub>2</sub> is het belangrijkste broeikasgas. Niet alle CO<sub>2</sub> die uitgestoten wordt, blijft in de atmosfeer. Ongeveer de helft wordt opgenomen door de oceaan en de biosfeer. Hoe en waar precies is nog onduidelijk. Extra CO<sub>2</sub>, dat wel in de atmosfeer blijft, is herkenbaar afkomstig van fossiele brandstoffen. Andere broeikasgassen zijn methaan (CH<sub>4</sub>), lachgas (N<sub>2</sub>O), CFK's en ozon (O<sub>3</sub>, zie kader). Door de toename van de concentratie van broeikasgassen wordt het broeikaseffect van de dampkring versterkt. Dit versterkte broeikaseffect leidt tot een warmer klimaat en meer neerslag. Op grote schaal kunnen wetenschappers deze veranderingen veroorzaakt door de mens onderscheiden van natuurlijke klimaatveranderingen.

#### *Andere beïnvloeding door mensen*

De mens brengt niet alleen broeikasgassen maar ook aerosolen in de atmosfeer, bestaande uit zwevende druppeltjes en stofjes.





Evenals vulkanisch stof kaatsen ze het zonlicht terug en daardoor hebben ze een koelende werking. Op deze wijze maskeren ze de gevolgen van het versterkte broeikas effect. Aerosolen hebben daarnaast een effect op de wolkenvorming. Er is nog weinig bekend over de precieze aard van deze effecten. Tenslotte heeft ook verandering in landgebruik effect. Waar de mens grootschalige veranderingen aanbrengt kan dit leiden tot klimaatveranderingen.

### **Ozon en broeikas**

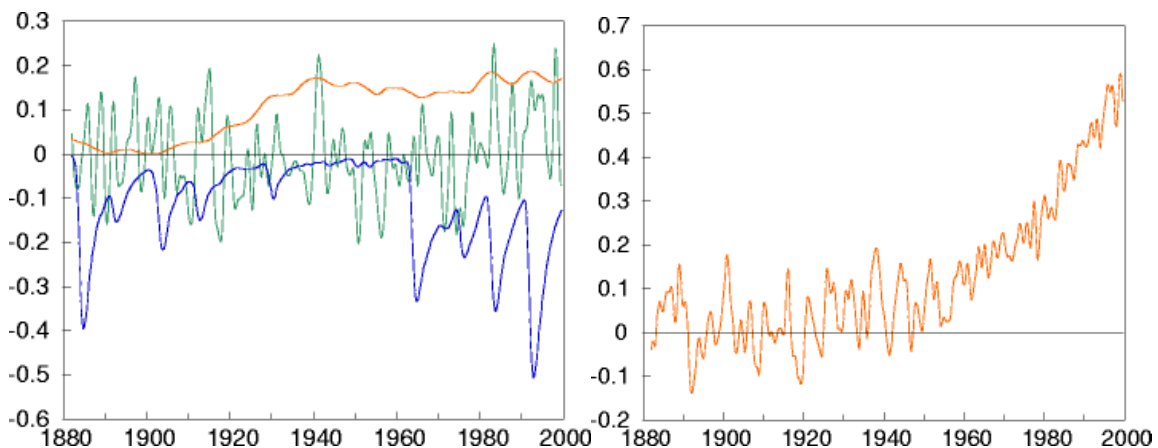
Ozon komt voor zowel in de troposfeer (ruwweg de onderste 10 km van de dampkring) als in de stratosfeer (de laag daarboven). De concentratie van troposferisch ozon, een broeikasgas, is toegenomen en dit draagt bij aan de opwarming van de aarde. De concentratie van stratosferisch ozon is juist afgenomen. Het stratosferisch ozon is echter van groot belang voor het filteren van schadelijke zonnestraling. De afname van stratosferisch ozon wordt veroorzaakt door chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's). Internationaal zijn maatregelen genomen om de productie van CFK's te beperken. Als de afspraken goed worden nageleefd, zal de ozonlaag zich langzaam herstellen, nadat de hoeveelheid ozonafbrekende stoffen naar verwachting rond de eeuwwisseling een hoogtepunt bereikt heeft. Het broeikas effect kan echter voor vertraging zorgen. Volgens de theorie van het versterkte broeikas effect gaat de opwarming van de troposfeer gepaard met een afkoeling van de stratosfeer. Dit kan het herstel van de ozonlaag vertragen.

### **7. Is de waargenomen opwarming toe te schrijven aan menselijke invloed?**

Het klimaat verandert van nature, maar ook de mens heeft er invloed op. Zoals we zagen schommelt de wereldgemiddelde temperatuur flink maar is er daarnaast sprake van een stijging. Onderzoekers hebben geprobeerd het opgetreden verloop te verklaren. Hun studies verschillen nogal in de details, maar ze hebben gemeen dat ze proberen om een of meerdere factoren van klimaatverandering in rekening te brengen. In een studie van het KNMI is gekeken naar het effect van variaties van de zonnestraling, van vulkaanuitbarstingen en van El Niño. Daaruit blijkt dat de waargenomen temperatuurstijging in de eerste helft van de 20e eeuw aan natuurlijke oorzaken kan worden toegeschreven: een afname van vulkaanactiviteit, nadat die aanvankelijk nogal sterk was, en een toename van zonneactiviteit. In de tweede helft van de 20e eeuw kunnen natuurlijke oorzaken de waargenomen snelle stijging niet verklaren: de zonneactiviteit nam nauwelijks verder toe, terwijl er sinds 1960 drie grote vulkaanuitbarstingen zijn geweest. Als we deze factoren aftrekken van de waarnemingen blijft een signaal over dat consistent is met de verwachte menselijke invloed. Andere studies komen tot vergelijkbare conclusies, ofschoon die studies onderling nog aanzienlijk verschillen in hun schattingen van de verschillende natuurlijke effecten.

Het gezaghebbende Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), opererend onder de vlag van het United Nations Environment Program (UNEP) en van de Wereld Meteorologische Organisatie (WMO), stelt dat het zeer waarschijnlijk is dat het grootste deel van de opwarming sinds het midden van de twintigste eeuw door menselijk handelen is veroorzaakt. Recent onderzoek van het KNMI geeft aan dat de opmerkelijk warme periode aan het eind van de twintigste eeuw in Nederland deels samenhangt met de wereldwijde opwarming. Ongeveer de helft van de opwarming sinds de jaren '60 kan

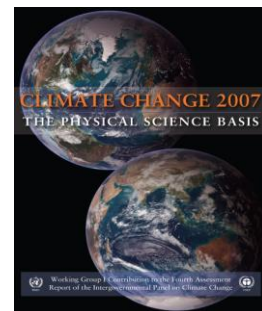
hiermee verklaard worden, de andere helft hangt samen met de grilligheid van het Nederlandse klimaat.



**Fig. 9** Temperatuurveranderingen in de twintigste eeuw volgens Van Ulden, A.P., and R. van Dorland, Natural variability of the global mean temperatures: contributions from solar irradiance changes, volcanic eruptions and El Niño, in *Proc. 1st Solar and Space Weather Euroconference: The Solar Cycle and Terrestrial Climate*, (ESA SP-463) 2000. Het linker paneel geeft een schatting van drie natuurlijke temperatuursignalen, ten gevolge van: 1. variaties in zonnestraling (rood); 2. vulkaanuitbarstingen (blauw); 3. El Niño (groen). Het rechter paneel toont de rest die overblijft als je de som van de drie natuurlijke processen aftrekt van de waarnemingen. Er blijft dan een signaal over dat consistent is met de verwachte menselijke invloed.

## Wat is de klimaatvoorspelling voor de komende eeuw(en)?

We zouden graag willen weten welk klimaat we in ons land en op andere plaatsen in de wereld in de toekomst kunnen verwachten. Voor de temperatuur gemiddeld over de hele aarde zijn voorspellingen voor de 21e eeuw redelijk goed te maken.



Zonder klimaatbeleidsmaatregelen verwacht het IPCC voor de komende eeuw:

- stijging van de wereldtemperatuur met 1,1 tot 6,4 graden,
- een toename van de hevigheid van regenbuien,
- een stijging van de zeespiegel met 18 tot 59 cm.

Een stijging van de wereldgemiddelde temperatuur met 1,1 tot 6,4 graden in honderd jaar is waarschijnlijk de afgelopen tienduizend jaar niet eerder voorgekomen.

De rekenmodellen van de atmosfeer zijn echter nog niet goed in staat om regionale klimaatvoorspellingen te doen, dus we kunnen daarover weinig met zekerheid zeggen. Een mogelijk scenario voor Nederland rond 2050 voor de rest van de 21e eeuw schetst het KNMI in haar KNMI'06 klimaatscenario's:

- de opwarming zet door, hierdoor komen zachte winters en warme zomers vaker voor;

- de winters worden gemiddeld natter en ook de extreme neerslaghoeveelheden nemen toe;
- de hevigheid van extreme regenbuien in de zomer neemt toe, maar het aantal zomerse regendagen wordt juist minder;
- de berekende veranderingen in het windklimaat zijn klein ten opzichte van de natuurlijke grilligheid;
- de zeespiegel blijft stijgen.

Aangezien de warmte in de recente jaren deels door toevallige oorzaken bepaald lijkt te zijn, zou een terugval naar gemiddelde waarden de temperatuurstijging de eerste tien jaar kunnen compenseren.

Over het klimaat (ruim) na de 21e eeuw kunnen we alleen maar speculeren. Volgens de scenario's van het IPCC zullen de effecten van verhoogde broeikasgasconcentraties nog lang merkbaar zijn. Zo zal de zeespiegelstijging in ieder geval honderden jaren doorgaan. Daarna, volgens sommigen pas over veertigduizend jaar, komt er misschien wel weer een ijstijd, maar dat is zelfs voor de generaties na ons nog erg ver weg.

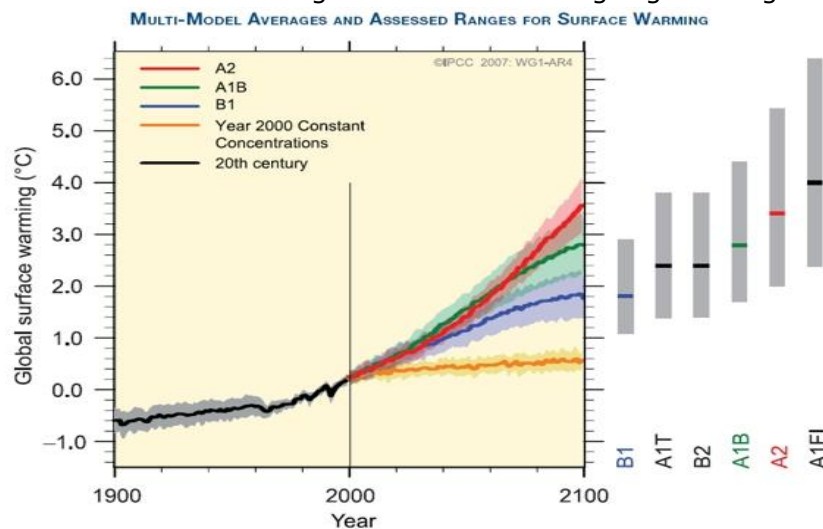


Fig.10: Het mondiale klimaat in de 21e Eeuw. Bron: IPCC, 2001 (Summary of policy makers).

Over de voorspelbaarheid van het klimaat is het laatste woord nog niet gesproken. Zo is de kleine kans op een abrupte klimaatverandering niet verwerkt in de IPCC prognoses, simpelweg omdat daarover nog onvoldoende bekend is. Zekerheid bieden de modellen dus niet, maar ze zijn eenvoudig het beste waarover we beschikken en dus van grote betekenis voor onze pogingen ons aan te passen aan klimaatverandering (adaptatie).

## 10. Is het erg?

Vaak wordt de vraag gesteld of het erg is dat de mens het klimaat verandert. Eigenlijk zou ieder voor zich die vraag moeten beantwoorden. Daarvoor moet men wel op de hoogte zijn van de verwachte risico's. Die zullen we niet bespreken, omdat het in deze brochure vooral gaat over de werking van het klimaatsysteem. Vast staat dat er wereldwijd grote ongerustheid is ontstaan over de gevolgen van de toename van de wereldtemperatuur en de stijging



van de zeespiegel, zoals het IPCC die voor het eind van de 21e eeuw voorziet. Daarom hebben meer dan 100 landen in Kyoto bindende afspraken gemaakt om de emissies van broeikasgassen wereldwijd terug te dringen.

### **11. Hoe kunnen we de menselijke invloed beperken?**

De belangrijkste maatregel die iedereen kan nemen is minder energie verbruiken of overschakelen op schone energie, zoals groene stroom. Ook regeringen proberen tot afspraken te komen om de uitstoot van broeikasgassen te beperken. In 1991 begonnen de eerste internationale klimaatonderhandelingen die hebben geleid tot de ondertekening in 1992 van het klimaatverdrag in Rio de Janeiro. Het uiteindelijke doel van het klimaatverdrag is om gevaarlijke menselijke beïnvloeding van het klimaat te voorkomen. Zo moeten ecosystemen zich nog aan kunnen passen aan de veranderingen, mag de voedselproductie niet in gevaar komen en moet de economische ontwikkeling op duurzame wijze plaats kunnen vinden. In de Europese Unie is afgesproken dat op basis daarvan de temperatuur uiteindelijk niet meer dan 2 graden mag stijgen boven het gemiddelde van voor het industriële tijdperk, rond 1750. Om dat te bereiken zijn wereldwijde reducties van meer dan 50% nodig in de komende eeuw. Door de verwachte economische groei van de ontwikkelingslanden zou dat wel eens kunnen uitkomen op een reductie van 80% voor de rijke landen.

Het RIVM vergelijkt dat met een veilige landing van een vliegtuig. "Het toestel mag de grond niet te vroeg raken, omdat het dan verongelukt, maar ook niet te laat, zodat er nog voldoende remweg over is." De vergelijking met het klimaat gaat volledig op. "De uitstoot mag niet te snel afnemen want dat zou de economie schaden, maar ook niet te langzaam omdat we dan het risico lopen van een te grote en te snelle klimaatverandering en zeespiegelstijging".

### **Kyoto Protocol**

De afspraken in het klimaatverdrag bleken al gauw niet voldoende om het uiteindelijke doel te halen. Probleem was onder andere dat de afspraken niet bindend waren. Na twee jaar moeizaam onderhandelen werden een groot aantal landen het in 1997 in Kyoto eens over de tekst van het Protocol, ter aanvulling van het klimaatverdrag. Het verplicht de geïndustrialiseerde landen de uitstoot van broeikasgassen in 2010 gemiddeld 5% onder het niveau van 1990 te brengen. Voor Nederland is dat 6%. De maatregelen om dat te bereiken staan in de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid van de Nederlandse Regering. In die nota is ook vastgesteld dat de Kamer het voorzorgsprincipe hanteert: ook al zijn er onzekerheden, de mogelijke gevolgen zijn zo ingrijpend dat we wel maatregelen moeten nemen. Als het Kyoto Protocol door alle betrokken landen wordt uitgevoerd is dat een eerste stapje op weg naar het beperken van klimaatveranderingen. Zichtbare resultaten kunnen pas verwacht worden als er nog vele stappen volgen.



## **Klimaatonderzoek**

Er vindt overal ter wereld onderzoek plaats naar klimaat en klimaatveranderingen. Ook in Nederland houden veel wetenschappers zich bezig met klimaatonderzoek. Onderzoeksinstituten en universiteiten in Nederland doen onderzoek naar de oorzaken en effecten van klimaatverandering voor ons land en naar mogelijke oplossingen en beleidsstrategieën voor de lange termijn. Het KNMI is voor Nederland kenniscentrum op het gebied van klimaat en klimaatveranderingen. In internationaal verband brengt het IPCC om de vijf jaar een rapport uit over de stand van zaken met betrekking tot klimaatveranderingen. Daaraan werken tal van Nederlandse onderzoekers mee. In 2007 heeft het IPCC haar vierde assessmentrapport uitgebracht. Dit factsheet gaat niet in op de verwachte gevolgen en mogelijke oplossingen voor het klimaatprobleem. Wie daarover meer wil weten kan de rapporten van het IPCC lezen. Meer op Nederland gerichte informatie is onder andere te vinden in de rapporten en fact-sheets van het Platform Communication on Climate Change (PCCC). Het klimaatonderzoek is volop in beweging. Deze publicatie is een momentopname. We kunnen ervan uitgaan dat sommige inzichten nog zullen veranderen.

Oorspronkelijke uitgave (1999): NOP in samenwerking met het KNMI

Redactie: Harry Geurts en Gerbrand Komen

Met bijdragen van: Marc Allaart, Fons Baede, Gerrit Burgers, Arie Kattenberg, Günther Können, Karin Obdeijn, Geert Jan van Oldenborgh, Maresa Oosterman, Peter Siegmund, Aad van Ulden en Nanne Weber.

Deze versie is in 2007 door het KNMI geanonimiseerd en geactualiseerd (zie <http://bit.ly/ds3IjO>). Daarbij is de titel veranderd van "Klimaat en klimaatveranderingen" in "Klimaat en klimaatverandering".