




april 2011

Een uitgave van het PCCC

# De Staat van het Klimaat 2010

Actueel onderzoek en beleid  
nader verklaard

 Koninklijk Nederlands  
Meteorologisch Instituut  
Ministerie van Verkeer en Waterstaat

 Planbureau voor de Leefomgeving

  
vrije Universiteit  
amsterdam

 Universiteit Utrecht

  
Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek

  
Deltares  
Enabling Delta

 TNO innovation  
for life

 WAGENINGEN UR  
For quality of life

 ECN  
Energieonderzoek  
Centrum  
Nederland



A photograph of a city skyline across a body of water, with a rainbow arching over the scene. The sky is blue with some clouds. The city features various buildings, including a prominent tall one on the left and a large crane-like structure on the right. The water in the foreground has several boats.

# *De Staat van het Klimaat 2010*

---

Actueel onderzoek en beleid  
nader verklaard

april 2011



# Verantwoording

Deze brochure is geschreven door en tot stand gekomen onder verantwoordelijkheid van de Wetenschappelijke Redactie van het Platform Communication on Climate Change (PCCC). De auteurs (zie colofon) hebben de hoofdstukken samengesteld met inbreng van experts afkomstig van Nederlandse kennisinstituten op het gebied van klimaatverandering, gevolgen, aanpassing (adaptatie) en emissiereductie (mitigatie). Deze brochure is mede ondersteund door het ministerie van VROM en uitgevoerd in samenwerking met het BSIK-programma Klimaat voor Ruimte.

Alvorens tot publicatie over te gaan is de inhoud aan een extra check onderworpen door wetenschappers van uiteenlopende disciplines (zie colofon). Wij zijn hen bijzonder erkentelijk voor de gemaakte opmerkingen en suggesties, die wij zoveel mogelijk hebben overgenomen. De wijze waarop wij de commentaren hebben verwerkt, is vervolgens gecontroleerd door Klaas van Egmond (UU) en Arthur Petersen (PBL). Zij hebben geconcludeerd dat de redactie de gemaakte op- en aanmerkingen in het algemeen goed en consciëntieus verwerkt heeft. In geval van twijfel zijn de reviewcommentaren verder in de plenaire eindredactievergadering besproken en afgehandeld.

Aan deze brochure kan als volgt worden gerefereerd: 'Rob van Dorland, Wieke Dubelaar-Versluis en Bert Jansen (red.), 2011, De Staat van het Klimaat 2010, uitgave PCCC, De Bilt/Wageningen.'

Rob van Dorland, Wieke Dubelaar-Versluis en Bert Jansen / april 2011



# Inhoudsopgave

Verantwoording 3

Inleiding 7

## 1. Inzichten Klimaatstelsel 9

- 1.1 Temperatuur in Nederland en de wereld 9
- 1.2 Opvallende weersgebeurtenissen in 2010 12
- 1.3 Eyjafjallajökull: effecten van vulkaanemissies 12
- 1.4 IJsonwikkeling en zeespiegelstijging 15
- 1.5 Effect stratosferisch waterdamp op mondiale temperatuur 16

## 2. Het klimaatdebat 19

- 2.1 Warmt de aarde op? 21
- 2.2 Wordt het warmer door meer CO<sub>2</sub>? 21
- 2.3 Hoe warm gaat het worden? 24
- 2.4 Hoeveel gaat het kosten om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen? 26

## 3. Broeikasgasemissies, scenario's en haalbaarheid tweegradendoelstelling 27

- 3.1 Trend in de emissies van broeikasgassen 27
- 3.2 Nieuwe IPCC-emissiescenario's 32
- 3.3 De haalbaarheid van de tweegradendoelstelling 33

## 4. Energie- en mitigatiebeleid 37

- 4.1 Ontwikkelingen energie en emissies 2010-2020 37
- 4.2 Nieuw regeerakkoord 40
- 4.3 Toekomstvisies duurzame energie 41
- 4.4 VN-klimaatonderhandelingen Cancun 42

## 5. Water, natuur en stad onder klimaatverandering 45

- 5.1 Veranderende rivierafvoeren: waterveiligheid, droogte en transport 45
- 5.2 Adaptatiepaden in het waterbeheer 47
- 5.3 Klimaatverandering en natuur 47
- 5.4 Stedelijk gebied 49
- 5.5 Conferentie: Deltas in Times of Climate Change 51
- 5.6 Beleidsontwikkeling nationaal, Europees en mondiaal 52

## 6. Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 55

- 6.1 Wat is het IPCC en hoe werkt het? 55
- 6.2 Onzekerheden in de IPCC-rapporten 58
- 6.3 Kritiek op het IPCC en de klimaatwetenschap 59
- 6.4 Voorbereidingen vijfde assessment rapport IPCC 60

Referenties en noten 61

Wat doet het PCCC? 69

Colofon 70



# Inleiding

Het onderwerp klimaatverandering is in 2010 veelvuldig in het nieuws geweest. Niet in de laatste plaats door de ophef, die is ontstaan door de inhoud van de openbaar gemaakte e-mails van de Climate Research Unit van de Universiteit van East Anglia. Hieraan werd de beladen term 'climategate' gegeven. Sommigen voerden deze e-mails aan als bewijsstuk van manipulatie van wetenschappelijk onderzoek. Daar bovenop kwamen enkele fouten in het laatste IPCC-rapport aan het licht. Nieuwswaardig werden de fout in de termijn waarop de gletsjers in de Himalaya zouden smelten en de fout in het percentage van het Nederlands grondgebied dat zich onder de zeespiegel bevindt. In Nederland kreeg de kritiek op het klimaatonderzoek een extra impuls door het sneeuwrijke en koude winterweer.

Deze gebeurtenissen leidden tot twijfel over de juistheid van de inhoud van onder andere de IPCC-rapportages, maar ook over de integriteit van de klimaatonderzoekers zelf. Die twijfel leek niet alleen te bestaan bij 'klimaatceptici', maar ook bij politici. Zo sprak voormalig minister en ex-wetenschapper Jacqueline Cramer, toen zij de vorige uitgave van 'De Staat van het Klimaat' officieel in ontvangst nam: "Ik ben diep verontrust. Het vertrouwen in de wetenschap heeft een deuk opgelopen". Ook zijn vanuit de Tweede Kamer veelvuldig vragen aan de minister gesteld over de stand van de klimaatwetenschap. Naar aanleiding van de diverse beschuldigingen zijn vele onderzoekscommissies ingesteld, waarvan de rapportages in 2010 naar buiten zijn gebracht.

Bovenstaande was voor de redactie van deze brochure aanleiding om dieper op de materie in te gaan. Daarom wijden we het tweede hoofdstuk aan een aantal veelgehoorde kritiekpunten van sceptici op de klimaatwetenschap. Deze zijn in Nederland onder andere onder de aandacht gebracht via een themanummer van Energy & Environment (juni 2010), waarin een aantal alternatieve klimaattheorieën van vooral Nederlandse sceptici beschouwd wordt en het in november 2010 verschenen boek 'De staat van het klimaat: een koele blik op een verhit debat' van wetenschapsjournalist Marcel Crok. Daarnaast gaan we in het laatste hoofdstuk in op het IPCC: wat is de werkwijze van het IPCC, welke procedures worden er gevolgd, hoe gaat men om met onzekerheden en welke conclusies zijn er getrokken naar aanleiding van de kritiek? Verder blikken we in dit hoofdstuk vooruit op het vijfde assessment rapport van het IPCC, dat in 2013-2014 wordt gepubliceerd.

Op meteorologisch gebied is 2010 een interessant jaar geworden. Wereldwijd hoort dit jaar tot de warmste drie in de metingen sinds 1854, maar in Nederland beleefden we juist een relatief koel jaar, zelfs kouder dan het klimatologische gemiddelde over de periode 1971-2000. Daarnaast schenken we in hoofdstuk 1 aandacht aan de uitbarsting van de vulkaan Eyjafjallajökull op IJsland en aan opvallende weersgebeurtenissen in de zomer, zoals de hitte en droogte in Rusland en de overvloedige regenval in Pakistan. Ook op klimaatwetenschappelijk gebied beschouwen we een aantal publicaties, waarvan een aantal de media heeft gehaald.

Hoofdstuk 3 handelt over emissies van broeikasgassen, de nieuwe emissiescenario's van het IPCC en de haalbaarheid van de tweegradendoelstelling. Ten gevolge van de economische crisis is de mondiale uitstoot van CO<sub>2</sub> in 2009 niet toegenomen. In Europa en de Verenigde Staten daalden de emissies zelfs fors, maar dat werd gecompenseerd door een sterke stijging in China en India. Door de snelle economische opkomst van China ligt de uitstoot per persoon daar nu op hetzelfde niveau als in Frankrijk. Om de temperatuurstijging te beperken tot twee graden Celsius, zoals op de top in Kopenhagen in 2009 opnieuw is afgesproken, moet de mondiale uitstoot in 2050 zo'n 35 tot 55 procent lager zijn dan in 1990. Dit kan alleen bereikt worden door een wereldwijde, fundamentele omslag in het energiebeleid.

Het nationale en internationale klimaatbeleid komt in hoofdstuk 4 aan de orde. Uiteraard worden de belangrijkste resultaten van de klimaatconferentie in Cancun behandeld. De te verwachten resultaten van verschillende beleidsalternatieven worden tegen het licht gehouden. Hierbij schenken we aandacht aan het Europese emissiehandelssysteem, dat een belangrijke rol speelt in het klimaatbeleid. Gegeven de voortgaande discussie wordt dit handelssysteem als beleidsinstrument kort vergeleken met een directe heffing op CO<sub>2</sub>. Het nieuwe kabinetsbeleid wordt besproken op basis van onder andere het regeerakkoord en een voorlopige analyse daarvan. Er wordt een blik op de toekomst geboden door enkele recente toekomstvisies/scenario's te bespreken over de mogelijkheden voor een duurzame energietransitie. De discussie hierover zal in 2011 een impuls krijgen als verschillende EU roadmaps over dit thema naar buiten worden gebracht.

De afgelopen decennia is het klimaat veranderd. Dat biedt kansen maar heeft ook negatieve gevolgen, onder andere voor de veiligheid. Het ligt voor de hand om ons aan de geconstateerde en verwachte veranderingen aan te passen. De effecten en mogelijke maatregelen van klimaatverandering verschillen per sector, schaalniveau en locatie. In hoofdstuk 5 beschrijven we een aantal voorbeelden en resultaten van adaptatie-onderzoeken op verschillende terreinen.

De toenemende publicitaire aandacht voor klimaatverandering heeft geleid tot een verhoogde belangstelling voor wetenschappelijke kennis op dit gebied. Door de open communicatie via media en internet is een sterke behoefte ontstaan om te weten 'hoe het nu eigenlijk zit'. Wetenschappelijke kennis, vertaald in toegankelijke informatie, is daarbij essentieel. Deze brochure, uitgegeven door het Platform Communication on Climate Change, wil hierin voorzien. Gegeven de talloze ontwikkelingen op natuurwetenschappelijk gebied, adaptatie en mitigatie en de kritiek op deze onderwerpen, is het onmogelijk deze thema's uitputtend te behandelen in de beperkte ruimte van deze brochure. Wel heeft de redactie van de Staat van het Klimaat 2010 geprobeerd in de selectie van onderwerpen het gehele spectrum te belichten op een neutrale en gebalanceerde manier, zoals van de wetenschap verwacht mag worden. We hopen hiermee een interessante en leesbare brochure te hebben samengesteld.

# Inzichten klimaatsysteem

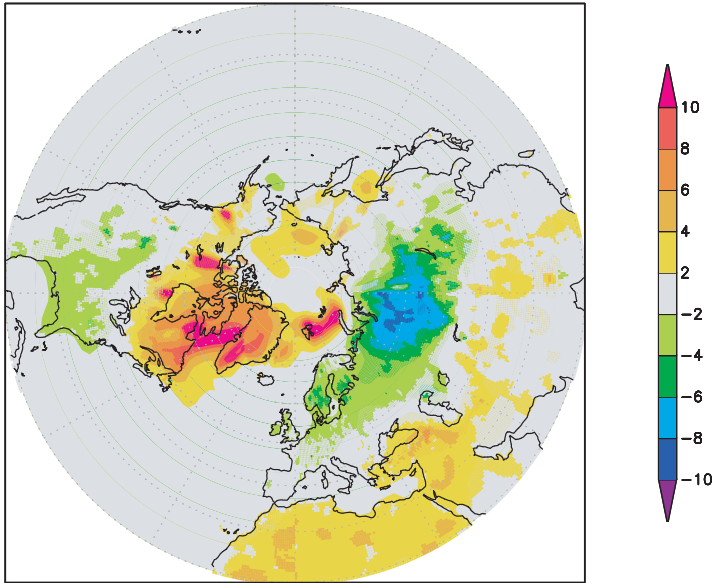
# 1

Mondiaal gemiddeld was 2010 één van de warmste jaren sinds het begin van de directe temperatuurmetingen, zo'n anderhalve eeuw geleden. In de meetreeks die de NASA hanteert (NASA/GISS) komt het temperatuurgemiddelde van 2010 vrijwel gelijk uit met dat van 2005 en is deze de hoogste ooit gemeten. In een aantal regio's, waaronder Nederland, lag de jaargemiddelde temperatuur juist beneden het gemiddelde over het tijdvak 1971-2000. Verder wordt in dit hoofdstuk een meteorologische verklaring gegeven voor een aantal opvallende weersgebeurtenissen in 2010, zoals de extreme hitte in Rusland, overstromingen in Pakistan en het orkaanseizoen in het gebied van de Atlantische Oceaan. De IJslandse vulkaan die Europa in april in zijn greep hield, waardoor veel reizigers strandden op luchthavens, heeft nauwelijks een mondiaal effect op de temperatuur. Tenslotte besteden we aandacht aan diverse publicaties die de belangstelling van de media hebben getrokken, zoals over de bijdrage van de onttrekking van het grondwater aan de zeespiegelstijging en de nieuwe interpretatie van de metingen van de Groenlandse ijskap.

## 1.1. *Temperatuur in Nederland en de wereld*

In Nederland was de winter van 2009-2010 gemiddeld ruim twee graden Celsius kouder dan normaal. Wat betreft sneeuwdek was er op veel plaatsen sprake van een sterke gelijkenis met de strenge winter van 1979. In de hele strook van Ierland tot Siberië was de winter kouder dan normaal; in Siberië was het zelfs tot acht graden Celsius kouder dan in de periode 1971-2000 (figuur 1.1). Het was ook kouder in het oosten van de Verenigde Staten. In Groenland daarentegen, was het op sommige plekken zo'n tien graden Celsius warmer dan gemiddeld over de periode 1971-2000. Ook in noordoostelijk Canada en het Midden-Oosten was het zacht. Uiteindelijk lag mondiaal gezien de gemiddelde jaartemperatuur hoger dan normaal, waarbij het dus alleen in een beperkt aantal regio's koud was. Deze lokale effecten behoren tot de normale natuurlijke variabiliteit. Het was vooral koud in de relatief dichtbevolkte gebieden (Europa, Verenigde Staten en China)<sup>1</sup>. Vanaf 26 november 2010 kreeg Nederland opnieuw te maken met winters weer. December 2010 werd zelfs met een temperatuur van 5,1 graden Celsius onder het gemiddelde van 1971-2000 de koudste in ruim veertig jaar. Vooral door de koude wintermaanden was heel 2010 in De Bilt 0,7 graden Celsius kouder dan het langjarig gemiddelde van 9,8 graden Celsius.

De temperatuurverdeling op het noordelijk halfrond, met name in de winter, wordt sterk beïnvloed door een patroon van wisselende luchtstromingen: de Arctische Oscillatie (AO). Het meest duidelijke effect van de AO is de positie van de straalstroom, een band met hoge windsnelheden op tien kilometer hoogte op de gematigde breedte. Onder de

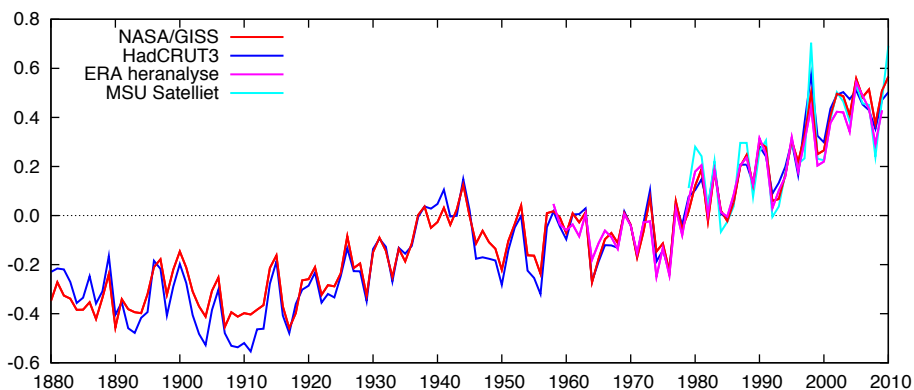


*Figuur 1.1 Temperatuurafwijking in graden Celsius ten opzichte van de periode 1971-2000 in de winter van 2010 (december, januari en februari). Bron: NCEP (land: GHCN/CAMS, zee(ijs), Groenland: NCEP/NCAR heranalyse).*

straalstroom ontwikkelen zich depressies. Hiermee bepaalt de AO dus de positie van hoge en lagedrukgebieden. In de winter van 2009-2010 evenals in december 2010 was de afwijking van de AO buitengewoon groot, waardoor in noordwest Europa koude continentale lucht uit het oosten werd aangevoerd. Gezien de afwijking van de AO had de winter in Nederland net zo koud kunnen zijn als de extreem koude winter van 1963. Dat dit niet is gebeurd, hangt waarschijnlijk samen met de mondiale opwarming die sindsdien heeft plaatsgevonden<sup>2,3</sup>. De drukverdeling behorend bij deze sterke afwijking van de AO leidde overigens ook tot hogere temperaturen in Groenland, Canada en de Noordelijke IJszee. In december 2010 werd de laagste ijsbedekking sinds 1979 gemeten, ruim tien procent onder het decemborgemiddelde in de periode 1979-2000.

Ondanks de kou in Nederland en andere gebieden was de wereldgemiddelde maandtemperatuur in januari 2010 één van de hoogsten ooit gemeten. Naast de langjarige trend van opwarming kwam dit door El Niño, de periodieke opwarming van de oostelijke tropische Stille Oceaan, die om de drie tot zeven jaar optreedt. Tijdens El Niño komt minder koud water aan het zeeoppervlak, waardoor de wereldgemiddelde temperatuur toeneemt. De effecten zijn het sterkst drie tot zes maanden na El Niño. Het omgekeerde fenomeen wordt La Niña genoemd en zorgt voor een daling van de wereldgemiddelde luchttemperatuur. In de loop van 2010 is een La Niña op gang gekomen.

Mondiaal gemiddeld is 2010 een zeer warm jaar geworden en wellicht het warmste sinds het begin van de metingen in 1854. Volgens de Wereld Meteorologische Organisatie (WMO)<sup>4</sup> lag de temperatuur gemiddeld 0,53 graden Celsius boven het gemiddelde in het tijdvak 1961-1990, de zogeheten normaal. Dat is 0,01 graad Celsius boven het



*Figuur 1.2. De wereldgemiddelde temperatuurafwijking ten opzichte van 1961-1990 op verschillende manieren gemeten of berekend. NASA/GISS (van het National Aeronautics and Space Administration in de VS) en HadCRUT3 (van het Hadley Centre for Climate Predictions and Research in Exeter en de Climatic Research Unit van de Universiteit van East Anglia, Groot-Brittannië) geven een combinatie van zeewatertemperatuur en luchttemperatuur op twee meter hoogte boven land. De ERA heranalyse geeft overal de twee meter temperatuur. Het zogenaamde 'Microwave Sounding Unit' (MSU) instrument op verschillende satellieten meet een gemiddelde temperatuur over de onderste acht kilometer van de atmosfeer.*

gemiddelde van 2005 en 0,02 graden Celsius boven het gemiddelde van 1998. Het verschil tussen de drie warmste jaren is volgens de WMO marginaal en ligt binnen de meetonzekerheid. De periode 2001-2010 was het warmste tijdvak in de metingen met een temperatuur van 0,46 graden Celsius boven normaal.

In 2010 is ook de nieuwe zonnevlekkencyclus op gang gekomen. Het aantal zonnevlekken blijft wel beduidend achter bij die van de vorige cycli, wat volgens astrofysici kan duiden op een zwakke cyclus. Het effect van een zeer rustige zon op de wereldgemiddelde temperatuur wordt geschat op hooguit een daling van 0,05 graden Celsius ten opzichte van het zonnevlekkenmaximum in 2001. Wanneer de zon enkele decennia lang nauwelijks activiteit zou vertonen, kan de temperatuurdaling op die termijn doorzetten tot circa 0,2 graden Celsius.

In 2010 verscheen een publicatie van Haigh et al.<sup>5</sup>, die juist melding maakte van een toenemende lichtkracht van de zon in de periode 2004-2007. Dit is gebaseerd op de metingen van de Solar Radiation and Climate Experiment (SORCE) satelliet. Een toenemende lichtkracht bij een afnemend aantal zonnevlekken suggereert een opwarmend effect sinds 2001. Andere metingen wijzen juist op het tegenovergestelde. Het ligt voor de hand dat over dit onderwerp meer publicaties zullen verschijnen die mogelijk helderheid verschaffen over deze discrepantie.

## 1.2 Opvallende weersgebeurtenissen in 2010

De watersnoodramp in Pakistan in de zomer van 2010 trof zeker twintig miljoen mensen en zette zo'n twintig procent van het land onder water. Ook China kampte met overstromingen en dodelijke modderstromen. Terwijl Rusland de heetste zomer sinds het begin van de metingen beleefde, had Midden-Europa te lijden van hevige regenval. Deze uitzonderlijke condities zijn meteorologisch gezien zeldzaam, maar zijn niet eenduidig terug te voeren op klimaatverandering. Het is echter, op basis van klimaatmodellen, wel de verwachting dat de kans op dit soort extremen groter zal worden.

De grote hitte in Rusland hing samen met een langdurig hogedrukgebied dat depressies op afstand hield. Die depressies lieten nu hun regen vallen in Midden-Europa. Door het gebrek aan regen droogde de bodem in Rusland uit, met extra temperatuurstijging (en natuurbranden) als gevolg. De regens in Pakistan en Zuid-China hingen samen met de Aziatische moesson. Deze was dit jaar zeer sterk vanwege een uitzonderlijk warme Indische Oceaan (nauwkeurig effect van El Niño bovenop de lange termijn opwarming) en een La Niña. La Niña heeft grote invloed op de luchtbewegingen in de tropen en intensificeert de Aziatische moesson. Een warme Indische Oceaan versterkt dit effect. De moesson in Pakistan werd daarnaast nog eens versterkt door de bijzondere atmosferische circulatie die samenhangt met het hogedrukgebied boven Rusland. De straalstroom op zo'n vijf kilometer hoogte (een gebied met uitzonderlijk hoge windsnelheden) vertoonde sterke slingerbewegingen. Boven Rusland lag de straalstroom zeer noordelijk met een anticyclonale kromming (met de klok mee). Dit veroorzaakt aan het oppervlak een hogedrukgebied. Boven het noorden van Pakistan was de situatie omgekeerd, met een uitzonderlijk zuidelijke positie en cyclonale kromming (tegen de klok in), wat daar een lagedrukgebied met hevige regenval veroorzaakte<sup>6</sup>.

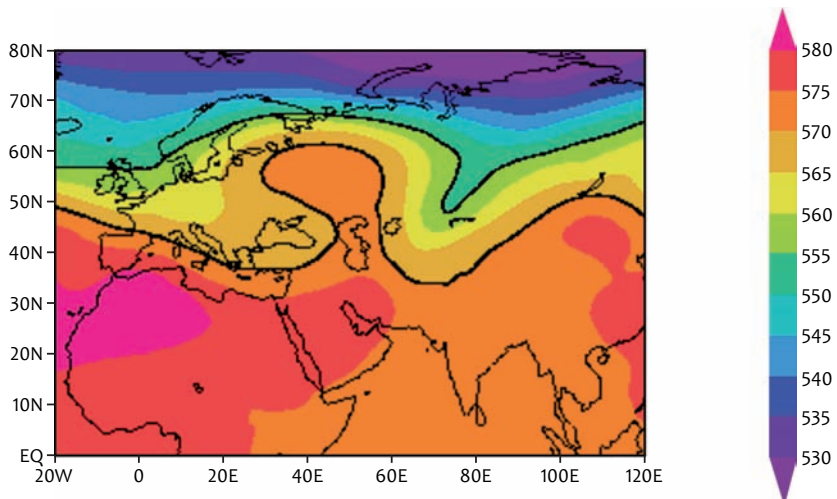
Opmerkelijk is ook de warmte op het noordelijk halfrond. Juli was gemiddeld boven land ten noorden van de twintigste breedtegraad de warmste sinds het begin van de metingen. Ook mei en juni waren hier uitzonderlijk warm. Mogelijk heeft de warmte een rol gespeeld in het extreme weer wereldwijd.

### Orkaanseizoen Atlantische Oceaan

De voorspelling van klimaatwetenschappers in maart 2010 dat de orkaanactiviteit in het gebied van de Atlantische Oceaan dit jaar groter zou zijn dan gewoonlijk, is uitgekomen. Gemiddeld komen daar van juni tot en met november zo'n tien tropische stormen voor waarvan er zes uitgroeien tot orkaankracht. In 2010 is dit aantal ongeveer verdubbeld, respectievelijk negentien en twaalf. De voorspellingen waren gebaseerd op twee factoren die beide tot meer orkanen leiden; de hoge zeevatertemperatuur in het equatoriale deel van de Atlantische Oceaan en La Niña.

## 1.3 Eyjafjallajökull: effecten van vulkaanemissies

Op 14 april 2010 werd de vulkaan Eyjafjallajökull op IJsland actief. In de weken daarna werd het vliegverkeer boven delen van Europa veelvuldig gehinderd. Duizenden passagiers kwamen vast te zitten. Op basis van de Lidar-metingen in Cabauw en het MSG dust-product (een satellietbeeld waarop de verspreiding van stof te herkennen is)



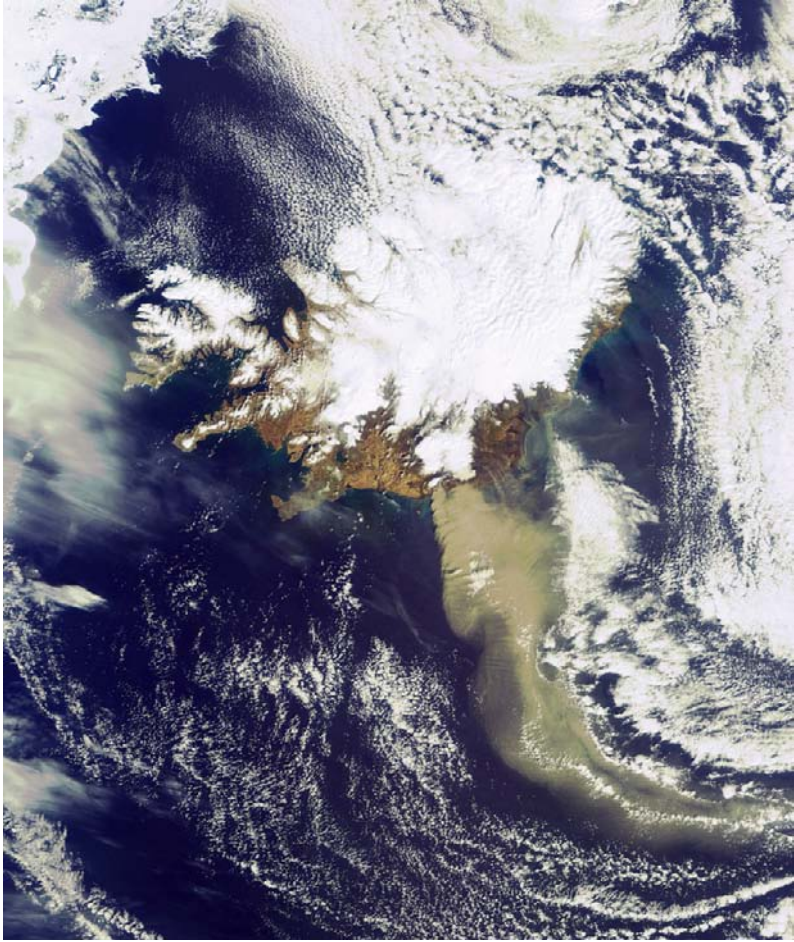
*Figuur 1.3 Hoogte van het 500 hPa drukvlak (decameters) voor de periode 20-27 juli. De positie van de straalstroom wordt gemarkeerd door het gebied omsloten door de twee dikke getrokken lijnen.*

hebben meteorologen en onderzoekers van onder andere het KNMI de uitgestrektheid van de vulkanische stofwolk in kaart gebracht. Gedurende de uitbarsting zijn modellen uitgerust met nieuwe berekeningen, die ook rekening hielden met de grootte en samenstelling van de asdeeltjes om de verspreiding van de aswolk nog beter te kunnen simuleren ten behoeve van het vliegverkeer.

De uitbarsting was voor het onderzoek een unieke kans om de relatie tussen vulkanische stofdeeltjes (aerosolen), wolken en zonnestraling te verkennen<sup>7</sup>. Het KNMI-meteorologisch meetstation Cabauw verzamelt permanent gegevens van de atmosfeer en speelt hierbij een belangrijke rol. Ook op andere plaatsen in Europa, zoals op het Jungfraujoch in Zwitserland, werden metingen verricht. Bij dit onderzoek komt veel kijken: de aerosolen, die door de wind worden meegevoerd, veranderen gaandeweg zowel in concentratie, deeltjesvorm als in deeltjesgrootte. Die informatie uit metingen wordt in de weermodellen ingebracht, doorgerekend en vervolgens weer vergeleken met de metingen. Zo'n extra set van berekeningen in weermodellen stelt ons in staat om bij volgende gevallen van vulkaanuitbarstingen in Europa met grotere precisie de aswolk te voorspellen.

In grote lijnen zijn de effecten van vulkaanuitbarstingen bekend. De aspluim van vulkanen kan lokaal voor de duur van de uitbarsting een verkoelend effect hebben doordat aerosolen een deel van de zonnestraling terugkaatsen. Daarnaast leveren meer aerosolen kleinere wolkeendruppeltjes op, waardoor de wolken witter worden, meer zonlicht terugkaatsen en dus afkoeling veroorzaken. Eyjafjallajökull stootte daarnaast eind april zo'n 150 tot 300 duizend ton CO<sub>2</sub> per dag uit<sup>8</sup>. Dat is ongeveer twee tot vier maal de dagelijkse CO<sub>2</sub>-uitstoot van wegverkeer in Nederland. Op wereldschaal is deze natuurlijke emissie hooguit 0,4 procent van de menselijke CO<sub>2</sub>-uitstoot. Vulkanen spelen dan ook een ondergeschikte rol bij de toename van de CO<sub>2</sub>-concentratie.





*Figuur 1.4: Satellietfoto van IJsland en omgeving op 19 april 2010. De contouren van IJsland en de bruine pluim van vulkanisch materiaal, afkomstig van de Eyjafjallajökull, zijn duidelijk zichtbaar (Bron: ESA, MERIS instrument aan boord van ENVISAT).*

### **Geen mondiale effecten**

Het effect van vulkaanuitbarstingen op het mondiale klimaat hangt af van de kracht en de locatie van de vulkaan. Erupties in de tropen die krachtig genoeg zijn en stof in de stratosfeer brengen, zoals de Pinatubo uitbarsting in 1991, hebben een duidelijk afkoelend effect op de gemiddelde temperatuur op aarde. Deze afkoeling is dan gedurende enige jaren merkbaar. Bij kleinere uitbarstingen in de tropen zal het effect korter duren en zullen wereldwijd geen merkbare gevolgen optreden. Ook bij grotere uitbarstingen op een hogere breedtegraad, zoals die op IJsland, zal het effect korter en eerder regionaal dan globaal merkbaar zijn. Het stof komt niet hoog genoeg, en als het al in de stratosfeer zou komen, dan zal het zich op deze breedtegraad niet over de gehele wereld verspreiden vanwege de circulatie in de stratosfeer. Het vulkanisch stof zal daarom relatief dichtbij en snel op aarde neerdalen in de vorm van droge of natte depositie.



Een tweede effect op mondiale schaal is dat de atmosferische circulatie kan veranderen als het stralingseffect groot genoeg is. Dit effect manifesteert zich vooral in de winter: door de reflectie van zonlicht zorgen de stofdeeltjes boven de subtropen voor een opwarming van de hoge atmosfeer, terwijl stofdeeltjes boven de pool in het donker geen effect hebben. Dit leidt tot een groter temperatuurverschil tussen de subtropen en de polen, hetgeen de westelijke luchtstroming versterkt. Dit effect kan zowel op het noordelijk als op het zuidelijk halfrond optreden. Na de uitbarsting van de Eyjafjallajökull is dit klimaateffect evenmin waargenomen. Dit versterkt het beeld dat de vulkaanuitbarsting op IJsland geen mondiaal effect teweegbrengt<sup>9</sup>.

## 1.4 IJsontwikkeling en zeespiegelstijging

### Cryosat-2 satelliet kijkt naar zeeijs en ijskappen

Op 8 april 2010 is de Europese CryoSat-2 satelliet gelanceerd, die de dikte van het zeeijs in het Noordpoolgebied en van de ijskappen op Groenland en Antarctica kan meten. Uit satellietmetingen van de ijsbedekking in het Noordpoolgebied sinds 1978 weten we dat het oppervlak van de ijsbedekking afneemt<sup>10</sup>. CryoSat-2 kan met een geavanceerde radarhoogtemeter ook de dikte van het zeeijs meten. Dit gebeurt met pulsen die de afstand tussen satelliet en ijs- en wateroppervlak tot op de centimeter bepalen. Daaruit blijkt hoe hoog het drijfijz boven het omringende water uitsteekt en kan het volume ervan bepaald worden.

Bij landijs wordt de hoogteverandering van het oppervlak gemeten. Veranderingen hierin vormen de basis voor berekeningen van de massa van de ijskappen en worden gebruikt om de actuele bijdrage van ijskappen aan zeespiegelstijging te schatten. Smeltend zeeijs heeft geen noemenswaardig direct effect op de zeespiegelstijging (Wet van Archimedes). Wel is het zo dat minder ijs betekent dat er minder zonlicht wordt gereflecteerd en bijgevolg de oceaan meer zonlicht absorbeert. Hierdoor zal de temperatuur in het noordpoolgebied stijgen en zal er enerzijds nog meer zeeijs afsmelten en anderzijds zal het warmere klimaat boven het noorden van Groenland mogelijk leiden tot extra afsmelting van de Groenlandse ijskap.

### Slinken van de Groenlandse ijskap

Het afsmelten van de ijskappen wordt sinds 2002 in kaart gebracht door twee GRACE-satellieten die kleine veranderingen in het zwaartekrachtveld van de aarde detecteren. Deze veranderingen hangen samen met de precieze verdeling van de massa van onder andere water en ijs op aarde. Als ijs smelt en in zee terechtkomt, heeft dit invloed op het zwaartekrachtveld. Op basis van dit principe kwamen eerdere schattingen voor de Groenlandse ijskap uit op een netto smelt van ongeveer 200 gigaton per jaar<sup>11</sup>. Dat resulteert in een gemiddelde mondiale zeespiegelstijging van ongeveer 0,75 millimeter per jaar.

Volgens een recente studie gepubliceerd in Nature GeoScience<sup>12</sup> zouden deze resultaten echter op een andere manier gecorrigeerd moeten worden voor 'glacial isostatic adjustment', het fenomeen dat de aardkorst nog steeds opveert na het afsmelten van de ijskappen van de laatste grote ijstijd, zo'n 20.000 jaar geleden. Ook deze

bewegingen veranderen de massaverdeling van de aarde en dus het zwaartekrachtsveld. Uit de recentelijk gepubliceerde studie volgt met de nieuwe correcties dat de ijskap van Groenland ongeveer half zo snel kleiner wordt dan geschat in eerdere studies met GRACE. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de eerdere studies met GRACE in overeenstemming waren met historische waarnemingen, regionale atmosfermodellen en schattingen van de uitstroom van ijs met behulp van INSAR meting en de nieuwe resultaten dus niet<sup>13</sup>. Onder andere impliceren de nieuwe resultaten een zeer sterke toename van de accumulatie gedurende de Kleine IJstijd die niet is gevonden in ijskernen. Verder onderzoek zal moeten aantonen waar de discrepanties tussen de verschillende studies vandaan komen.

### Bijdrage grondwaterwinning aan zeespiegelstijging

In het vierde IPCC assessment rapport kon het netto effect van alle veranderingen in 'terrestrial water storage' (grondwater, (stuw)meren, etcetera) niet goed geschat worden, omdat het de som is van een aantal onzekere positieve en negatieve bijdragen<sup>14</sup>. Omdat het 'zeeniveau budget' voor 1993-2003 bijna gesloten is (de som van alle bijdragen komt overeen met de gemeten stijging) leidde men af dat de bijdrage van de grondwaterwinning aan de zeespiegelstijging niet groot kan zijn, dan wel gecompenseerd wordt door andere (niet meegenomen) effecten. Het 'gat' in het 'zeeniveau budget' over 1993-2003 is  $0,3 \pm 1,0$  millimeter per jaar.

In 2010 verscheen een artikel<sup>15</sup>, waarin wordt geschat dat het oppompen van grondwater in de afgelopen veertig jaar heeft gezorgd voor een wereldwijde zeespiegelstijging van  $0,8 \pm 0,1$  millimeter per jaar. Dit is ongeveer een kwart van de huidige zeespiegelstijging, die  $3,1 \pm 0,7$  millimeter per jaar bedraagt. Oppompen van grondwater is echter maar één proces binnen de hydrologische cyclus dat de zeespiegel kan beïnvloeden. Het vasthouden van water door middel van stuwdammen leidt bijvoorbeeld tot zeespiegeldaling. Een recent artikel<sup>16</sup> schat dat de toename van de hoeveelheid water in stuwmeren over de afgelopen vijftig jaar heeft geresulteerd in een (bijna even grote) zeespiegeldaling van 0,55 millimeter per jaar. De netto verandering in 'terrestrial water storage' door deze twee processen zou dus voor een zeespiegelstijging in de orde van 0,25 millimeter per jaar (namelijk  $0,8 - 0,55$  millimeter per jaar) hebben gezorgd.

De netto veranderingen in terrestrial water storage worden sinds enkele jaren met zwaartekrachtmetingen (GRACE) bepaald. Uit deze metingen is afgeleid dat de netto verandering over de afgelopen vijf jaar ongeveer  $0,2 \pm 0,1$  millimeter per jaar bedraagt<sup>17,18,19</sup>. Dit betekent dat de recentelijk berekende getallen van het oppompen van grondwater en het vasthouden van water in stuwmeren in het beeld passen dat we al hadden van deze bijdrage.

## 1.5 Effect stratosferisch waterdamp op mondiale temperatuur

Voor het eerst is een schatting uit waarnemingen voorhanden met betrekking tot de fluctuaties in waterdamp in de luchtlagen boven de dertien kilometer (stratosfeer). Het is bekend dat meer stratosferisch waterdamp tot een hogere wereldgemiddelde oppervlaktetemperatuur leidt. Dit wordt veroorzaakt door de verandering van de

uitgestraalde infrarode energie naar de ruimte toe, de zogeheten stralingsforcering. Dit geldt ook voor variaties en trends in de concentratie van andere broeikasgassen en maakt vergelijking met de effecten van die broeikasgassen mogelijk. In een recente studie<sup>20</sup> wordt op basis van de waargenomen afname van stratosferisch waterdamp sinds 2000 berekend dat de stijging van de mondiaal gemiddelde oppervlaktetemperatuur door menselijke invloed hierdoor zou zijn afgeremd met 25 procent. In de periode van 1980 tot 2000 nam de hoeveelheid stratosferisch waterdamp juist toe, waardoor het de temperatuurstijging door menselijke invloed heeft versterkt met circa dertig procent.

In de literatuur worden als mogelijke oorzaken van de waargenomen langjarige (decadale) schommelingen in het stratosferisch waterdampgehalte aangevoerd: decadale variabiliteit van de stratosferische circulatie, zeewatertemperaturen boven de Grote Oceaan en/of tropische convectie gerelateerd aan de Pacific Decadal Oscillation (PDO)<sup>21,22</sup>.



# Het klimaatdebat

Het klimaatdebat van het afgelopen jaar heeft duidelijk gemaakt dat klimaatwetenschap en klimaatbeleid in een nieuw tijdperk opereren; een tijdperk dat gekenmerkt wordt door een hoge mate van politisering en een zeer dynamische interactie tussen wetenschap en publiek debat. Mondige burgers vragen zich af of alle voorgestelde beleidsmaatregelen echt nodig zijn of zijn juist van mening dat die voorgenomen maatregelen niet ver genoeg gaan. Deze nieuwe context stelt steeds hogere eisen aan de wijze waarop de resultaten uit de klimaatwetenschap worden beoordeeld en samengevat voor beleidsmakers (zie hoofdstuk 6 over het Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Ook is het van belang om systematischer dan tot nu toe de argumenten van 'klimaatseptici' te onderzoeken en te beoordelen op hun houdbaarheid. Dat houdt enerzijds de klimaatwetenschappers scherp en leidt anderzijds tot beleidsrelevante informatie over de diverse klimaatsceptische stellingnames versus de 'gevestigde' klimaatwetenschap.

Klimaatverandering is om een aantal redenen één van de meest complexe beleidsproblemen: het is moeilijk direct waarneembaar, waardoor beleidsmakers en het publiek afhankelijk zijn van experts voor de beschrijving van mogelijk negatieve en positieve gevolgen. De gevolgen van klimaatverandering worden wellicht pas over tientallen jaren duidelijk zichtbaar, terwijl preventieve maatregelen nu al genomen zouden moeten worden. Klimaatverandering is daarnaast een wereldwijd fenomeen dat alleen effectief kan worden aangepakt als alle landen meedoen (het is een klassiek voorbeeld van een 'meeliftprobleem'). Het tegengaan van klimaatverandering is geen kwestie van het beteugelen van één duidelijk vastgestelde bron - zoals het geval was bij de aantasting van de ozonlaag waar het ging om één industrietak -, maar van een veelvoud aan bronnen (auto's, huizen, kolencentrales, fabrieken, etcetera).

Deze eigenschappen maken dat klimaatwetenschap een centrale rol speelt in het beleidsdebat. Wat de zaak verder compliceert, is dat er voor een volledig inzicht in het klimaatprobleem zeer uiteenlopende wetenschappelijke disciplines nodig zijn, die onderling verschillen in opgebouwde kennis op het gebied van het meten en begrijpen van klimaatverandering, de gevolgen ervan en de maatregelen die er tegen genomen kunnen worden.

In deze context is het essentieel om duidelijk te zijn over hoe ver de kennis over klimaatverandering reikt: wat weten we zeker, wat weten we bijna zeker en wat is onzeker<sup>23</sup>. Zo staat vast dat het CO<sub>2</sub>-gehalte in de atmosfeer door toedoen van de mens sterk is toegenomen, dat CO<sub>2</sub> een opwarmend effect heeft en dat de gemiddelde wereldtemperatuur is gestegen met circa 0,8 graden Celsius sinds het begin van de industriële revolutie. Verder acht het IPCC het zeer waarschijnlijk (meer dan negentig

procent kans) dat het grootste deel van de opwarming van de laatste vijftig jaar aan door de mens uitgestoten broeikasgassen kan worden toegeschreven.

De onzekerheid over de omvang van de toekomstige mondiale opwarming is groot. Die onzekerheid wordt enerzijds veroorzaakt doordat we nog niet weten hoe sterk de toekomstige uitstoot van broeikasgassen zal toenemen (wat afhangt van toekomstig menselijk handelen), en anderzijds door onzekerheid in de manier waarop het klimaatstelsel daarop zal reageren (de zogenaamde klimaatgevoeligheid). Het eerste punt wordt in beschouwing genomen door uit te gaan van een brede range van toekomstige emissiescenario's en het tweede punt door een brede range van het temperatuurverloop bij elk van deze scenario's mee te nemen. Samen geeft dit een wijde range in uitkomsten als het gaat om de mogelijke opwarming in de komende eeuw: volgens de IPCC schattingen tussen de 1,1 en 6,4 graden Celsius.

Dit hoofdstuk gaat in op een aantal sceptische argumenten, omdat die in de afgelopen anderhalf jaar veel aandacht van de media en de politiek hebben gekregen. De kritiek van sceptici op de klimaatwetenschap richt zich voornamelijk op de klimaatgevoeligheid en de rol van natuurlijke factoren in de huidige klimaatverandering. Daarnaast valt de kritiek te horen dat de gevolgen van klimaatverandering mild of zelfs positief zijn en de gevolgen van klimaatbeleid juist ernstig. Dit staat in sterk contrast met de meer gangbare ideeën daarover. De klimaatgevoeligheid wordt door sceptici (veel) lager ingeschat dan de bandbreedte zoals die wordt gevonden door de meeste (overzicht) studies<sup>24,25,26</sup>, zowel op basis van klimaatmodellen als op basis van metingen en paleoklimatologisch onderzoek (studies die bijvoorbeeld gebruik maken van aanwijzingen in sedimenten van miljoenen jaren oud). Het bestaan van een positieve terugkoppeling (dat wil zeggen, processen die de opwarming versterken) door met name waterdamp en wolken, wordt door hen betwist. Maar ook de effecten van CO<sub>2</sub> op de stralingshuishouding worden door sommigen in twijfel getrokken. Als het gaat om de natuurlijke factoren, dan zien sceptici vooral dominante bijdragen van variaties in zonneactiviteit en/of natuurlijke variabiliteit, in het bijzonder de langjarige (temperatuur) schommelingen in de oceaan.

In Nederland is de kritiek op de klimaatwetenschap in 2010 vooral verwoord in twee publicaties. In juni verscheen het themanummer van Energy & Environment, waarin een aantal alternatieve klimaattheorieën van vooral Nederlandse sceptici beschouwd worden. In november 2010 verscheen het boek 'De staat van het Klimaat: een koele blik op een verhit debat' van wetenschapjournalist Marcel Crok<sup>27</sup>. Voor een uitgebreidere analyse van de belangrijkste hoofdstukken van dit boek wordt verwezen naar het klimaatportaal<sup>28</sup>. Beide documenten hebben aandacht getrokken bij politici en hebben direct of indirect de Nederlandse media gehaald. Vanuit die optiek heeft het PCCC gemeend aandacht te besteden aan een selectie van onderwerpen, die in bovengenoemde documenten ter sprake zijn gekomen. Behalve de discussie over de natuurwetenschappelijke fundamenten onder het klimaatbeleid, vindt er ook een intensief debat plaats over de kosten en de baten van het beleid, zowel in de wetenschappelijke literatuur als in de media en de politiek. In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk wordt daarom ingegaan op dit onderwerp.

## 2.1 *Warmt de aarde op?*

Uit metingen blijkt dat de aarde sinds het begin van de industriële revolutie is opgewarmd. Sommige klimaatsceptici trekken de waargenomen opwarming echter in twijfel door bijvoorbeeld te wijzen op problemen die bestaan rond de kwaliteit van de Global Historical Climate Network (GHCN) database. Ook het boek van Marcel Crok gaat hier uitgebreid op in. De GHCN-database bevat temperatuurmetingen door weerstations overal ter wereld en is een belangrijke bron voor de berekening van de mondiale oppervlaktetemperatuur door een drietal vooraanstaande instituten. Het is correct dat er problemen zijn met een aantal meetstations, met name doordat vaak onbekend is of de positionering van het station voldoet aan de eisen die de NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) stelt. Bijvoorbeeld in de Verenigde Staten is dat vaak niet het geval en ook is meestal niet goed vastgelegd of een station is verplaatst in de loop van de tijd en of de omgeving is veranderd, bijvoorbeeld door verstedelijking.

De mogelijke effecten van verstedelijking op lokale en mondiale opwarming worden door de gangbare wetenschap onderkend en in aanmerking genomen<sup>29</sup>. Over het geheel genomen lijken de analyses van de kwaliteitsproblemen voorsnog niet tot de conclusie te leiden dat ze gevolgen hebben voor de berekening van de mondiale of regionale temperatuur. Zo is bijvoorbeeld aangetoond dat als alleen de twintig procent beste stations in de Verenigde Staten worden gebruikt om een temperatuurtrend af te leiden, vrijwel exact dezelfde opwarming wordt gevonden als wanneer alle, ook mogelijk onjuist geplaatste stations, worden betrokken<sup>30</sup>. Zoals al eerder aangegeven zijn er daarnaast satellietmetingen die de temperatuur van de onderste acht kilometer van de atmosfeer als geheel meten. Die bevestigen, hoewel in iets mindere mate, de opwaartse temperatuurtrends (zie figuur 1.2).

Hier dient te worden opgemerkt dat klimaatverandering niet alleen gemeten wordt aan de hand van temperatuursignalen, maar in een groot aantal zeer verschillende grootheden, zoals neerslaghoeveelheden, uitgebreidheid van gletsjers, duur van de sneeuwbedekking, dikte en omvang van het ijs in de Noordelijke IJszee, ijskap op Groenland, migratie van plant- en diersoorten, ontdooien van permafrost, etcetera. Deze lijken allemaal te wijzen op een warmer wordende wereld.

## 2.2 *Wordt het warmer door meer CO<sub>2</sub>?*

Volgens klimaatwetenschappers is het zeker dat CO<sub>2</sub> in de atmosfeer ervoor zorgt dat de aarde opwarmt. Er zijn echter sceptici die beweren het tegendeel aan te kunnen tonen. Hier besteden we aandacht aan twee voorbeelden uit het genoemde themanummer van Energy and Environment.

### **De alternatieve broeikastheorie van Miskolczi**

Volgens een artikel van Miskolczi in het themanummer Energy and Environment<sup>31</sup>, dat in het klimaatdebat regelmatig door vooral Nederlandse sceptici wordt aangehaald, heeft een toename van de atmosferische concentratie van CO<sub>2</sub> geen effect op de wereldgemiddelde temperatuur. Zoals hieronder wordt beschreven, spreken Miskolczi's eigen berekeningen deze conclusie echter tegen. Daar komt nog bij dat hij zijn resultaten niet

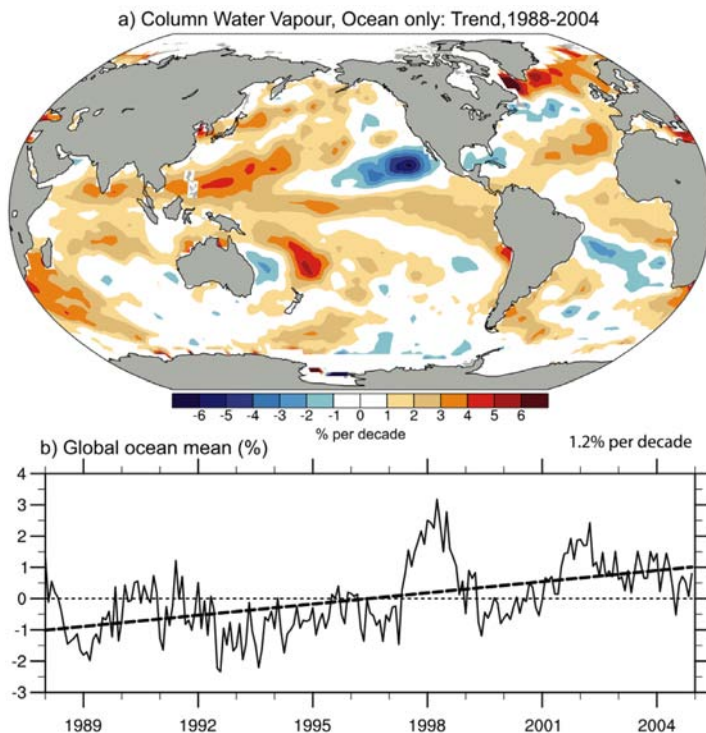
vergelijkt met waarnemingen, maar met de uitgaande warmtestraling van de atmosfeer en het waterdampgehalte zoals berekend door een model: de National Centers of Environmental Predictions (NCEP) reanalysis dataset<sup>32</sup>. Hiervan is echter bekend dat ze onbetrouwbaar en dus onbruikbaar zijn<sup>33</sup>. Ook is de conclusie van Miskolczi dat het broeikas effect constant is, in tegenspraak met de waarnemingen. Zo is uit satellietmetingen van de warmtestraling van de aarde<sup>34</sup> en uit grondmetingen van neerwaartse straling afkomstig van de atmosfeer<sup>35</sup> af te leiden dat het broeikas effect toeneemt. Dit wordt tevens bevestigd door de toename in de atmosfeer van de hoeveelheid waterdamp en CO<sub>2</sub>, beide belangrijke broeikasgassen<sup>36,37</sup>.

Miskolczi maakt voor zijn onderzoek gebruik van een correct stralingsmodel. Hierin wordt de hoeveelheid warmtestraling in opwaartse en neerwaartse richting berekend op verschillende hoogtes boven het aardoppervlak op basis van de temperatuur, de waterdamp en andere broeikasgassen. Dit worden verticale profielen genoemd. Miskolczi gebruikt als invoer 228 profielen over een tijdsperiode van 35 jaar, gemeten met weerballonnen boven land. Miskolczi leidt vervolgens uit zijn stralingsberekeningen vier nieuwe 'relaties' af, waaraan het wereldgemiddelde gedrag van warmtestraling zou moeten voldoen<sup>38</sup>. Echter, de afleiding van deze relaties is ondoorzichtig, waarbij bovendien twee van deze relaties in tegenspraak met elkaar zijn. Vervolgens stelt Miskolczi dat uit deze relaties zou volgen dat de gemiddelde 'optische dikte' (een maat voor de totale hoeveelheid broeikasgassen<sup>39</sup>) van de aardse atmosfeer altijd constant moet zijn en blijven. Ook deze claim is niet af te leiden uit de berekeningen in zijn artikelen en bovendien in tegenspraak met de berekeningen van hemzelf. Zijn eigen berekeningen laten duidelijk van jaar tot jaar schommelingen zien die in principe voldoende groot zijn om de temperatuurvariëaties tussen de jaren te verklaren. De schommelingen, bovenop een stijgende trend door CO<sub>2</sub> en waterdamp, in de gemiddelde mondiale optische dikte worden vooral veroorzaakt door schommelingen in de optische dikte van het waterdampgehalte van de atmosfeer. Deze samenhang is volledig in overeenkomst met de gangbare broeikasgastheorie<sup>40,41</sup>.

Om de mondiaal gemiddelde optische dikte constant te houden (in de onbewolkte atmosfeer, zoals Miskolczi beschouwt) moet de stijgende CO<sub>2</sub>-concentratie worden gecompenseerd door een dalend waterdampgehalte. Satellietwaarnemingen over de periode 1988-2004 laten juist een toename van de hoeveelheid waterdamp boven de oceanen zien (zie figuur 2.1). In de figuur zijn ook jaar-tot-jaar fluctuaties zichtbaar, die samenhangen met die in de temperatuur. Een voorbeeld van zo'n fluctuatie is het zeer warme jaar 1998, veroorzaakt door een sterke El Niño, waardoor het vochtgehalte van de atmosfeer ook hoger was. Uit andere metingen blijkt dat boven land, circa een derde van het aardoppervlak, de gemeten waterdamptoeename lager is dan boven oceanen, namelijk 0,9 procent per decennium, hetgeen samenhangt met het gebrek aan (bodem) waterbeschikbaarheid in enkele gebieden<sup>42</sup>.

Deze satellietdata bevestigen de gangbare broeikasgastheorie dat een toename van de temperatuur (door wat voor oorzaak dan ook) het waterdampgehalte van de atmosfeer doet stijgen<sup>43</sup>. Aangezien zowel de CO<sub>2</sub> als de waterdampconcentratie stijgt, neemt de wereldgemiddelde optische dikte toe. Dit is dus in tegenspraak met de theorie van Miskolczi.





Figuur 2.1: Lineaire trends in totale kolom waterdamp in % per decennium (boven) en maandgemiddelde tijdreeks van afwijkingen ten opzichte van het 1988 tot 2004 gemiddelde in % boven de oceanen met lineaire trend (onder), gemeten met satellieten. De lineaire trend laat een toename zien van de hoeveelheid waterdamp met 1,2 procent per decennium (bron: IPCC, 2007, bijgewerkt van Trenberth and Shea, 2005<sup>44</sup>).

### Koeling door verdamping

Op aarde zou klimaatverandering door het versterkte broeikaseffect te verwaarlozen zijn, omdat het aardoppervlak grotendeels uit water bestaat. Dit schrijft Thoenes in een artikel in hetzelfde themanummer van *Energy and Environment*<sup>45</sup>. De redenering is dat de toename van de neerwaartse warmtestraling aan het aardoppervlak, die het gevolg is van de toegenomen hoeveelheid broeikasgassen, vooral wordt gebruikt om extra water te verdampen. Dit kost veel energie. Wanneer de sterkte van de verdamping zou toenemen met de watertemperatuur volgens de zogeheten wet van Clausius Clapeyron, dan zou een kleine temperatuuroename inderdaad leiden tot een extra verdamping die de toename in de infrarode straling volledig compenseert.

De redenering van Thoenes houdt echter geen rekening met het feit dat de extra verdamping leidt tot extra warmte in de troposfeer (onderste circa dertien kilometer van de atmosfeer), die vrijkomt als de waterdamp op grotere hoogte weer condenseert. Hierdoor neemt de temperatuur in de atmosfeer toe, niet alleen op de hoogte waar de waterdamp condenseert, maar door verticale herverdeling van de warmte op alle hoogten. Als de condensatiewarmte wél wordt meegenomen, is de temperatuuroename

bij het aardoppervlak als gevolg van een toename van CO<sub>2</sub> enkele tientallen keren zo groot<sup>46</sup>. In de praktijk is de toename in de temperatuur nog groter als gevolg van processen die de opwarming versterken (positieve terugkoppelingen). Een van de sterkste positieve terugkoppelingen is juist waterdamp: in een warmer klimaat bevat de lucht meer waterdamp. En aangezien waterdamp een sterk broeikasgas is, wordt de opwarming door dit effect bijna dubbel zo groot.

De redenering van Thoenes kan wel worden toegepast als het gaat om extra verdamping in een klein gebied, bijvoorbeeld een meer. Ook dan is er sprake van extra vrijkomende condensatiewarmte, maar de bijbehorende temperatuurstoename wordt door de wind verdeeld over een gebied veel groter dan het meer en is daardoor verwaarloosbaar. Bij klimaatverandering treedt extra verdamping en condensatiewarmte echter op mondiale schaal op, waardoor de temperatuurstoename niet over een groter oppervlak kan worden verdeeld.

## 2.3 Hoe warm gaat het worden?

De wereldgemiddelde opwarming - zonder additioneel klimaatbeleid - ligt volgens het IPCC in het jaar 2100 tussen brede grenzen, namelijk 1,1 en 6,4 graden Celsius. Eén van de onzekerheidsfactoren is de klimaatgevoeligheid: hoe groot is de temperatuurstijging bij een verdubbeling van de CO<sub>2</sub>-concentratie? Klimaatsceptici stellen vaak dat mechanismen in het klimaat die de opwarming versterken veel zwakker zijn dan op basis van de gangbare literatuur geconcludeerd wordt. Zoals beschreven in het eerder genoemde boek van Marcel Crok zou hierdoor de klimaatgevoeligheid wel eens 0,5 tot 1 graad Celsius kunnen zijn in plaats van de 2 tot 4,5 graden Celsius die het IPCC als waarschijnlijk (dat wil zeggen met 66 procent zekerheid) aangeeft op basis van modellen en observaties in verschillende tijdperken.

Crok baseert zijn conclusie vooral op de stellingen dat 1) aerosolen (dit zijn deeltjes die vrijkomen bij onder andere het verbranden van fossiele brandstoffen) nauwelijks een koelend effect hebben en waaruit zou volgen dat het opwarmend effect van CO<sub>2</sub> dus kleiner moet zijn, 2) dat roet (dat óók vrijkomt bij de verbranding van fossiele brandstoffen) een veel sterker opwarmend effect heeft en dus CO<sub>2</sub> een lager opwarmend effect, en 3) dat de klimaatgevoeligheid van modellen veel te hoog is, met name doordat de feedback van waterdamp verkeerd wordt gemodelleerd.

Deze stellingen worden door hem onderbouwd met een beperkte selectie en eenzijdige interpretatie van referenties. Bijvoorbeeld de studie van Ramanathan<sup>47</sup>, die meer opwarmend vermogen toekent aan roet, maar die óók een groter koelend effect aan aerosolen toekent. Dat laatste wordt door Crok echter niet genoemd. Vervolgens haalt hij enkele studies aan van bekende critici zoals Lindzen<sup>48</sup> en Spencer<sup>49</sup>, maar ook van internetartikelen die niet zijn gepubliceerd in wetenschappelijke tijdschriften<sup>50</sup> en van internetblogs waaruit zou blijken dat feedbacks eerder leiden tot een dempend effect dan een versterkte opwarming.

De vele studies die op het tegendeel wijzen worden niet of nauwelijks besproken. Zo wordt niet uitgelegd hoe een dergelijk lage klimaatgevoeligheid tot grote klimaat-

schommelingen in het verleden heeft kunnen leiden. Daar komt bij dat de range van het koelend effect van aerosolen zoals ingeschat door het IPCC (en zoals ook weergegeven in afbeelding 8 in het boek van Crok) van dichtbij nul tot een mogelijk sterk koelend effect gaat. Hierdoor is in de inschatting van de klimaatgevoeligheid en de toekomst-projecties van het IPCC dus al rekening gehouden met de mogelijkheid dat het koelend effect van aerosolen zeer gering zou kunnen zijn. De conclusies van Crok werpen daarom geen nieuw licht op de door het IPCC geschatte range van 1,1 tot 6,4 graden Celsius in 2100.

## 2.4 Hoeveel gaat het kosten om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen?

Volgens het laatste IPCC-rapport uit 2007<sup>51</sup> leidt het halen van de twee graden-doelstelling tot een mondiale economie die in 2050 maximaal vijf en een half procent kleiner is dan hij zou zijn zonder klimaatbeleid. Dit komt neer op een lagere gemiddelde economische groei van maximaal 0,12 procent per jaar. De meeste studies laten een kleiner economisch effect zien. En uiteraard zijn voor minder ambitieuze doelen de kosten navenant lager of zelfs negatief: in het laatste geval is er dus sprake van netto opbrengsten ten gevolge van klimaatbeleid. Het IPCC-rapport laat tegelijkertijd ook zien dat de onzekerheid in de kostenschattingen groot is. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door onzekerheid in factoren als: 1) technologische ontwikkeling, 2) de groei van emissies zonder klimaatbeleid, 3) aannames over de mate waarin economische sectoren zich kunnen aanpassen, 4) het gebruik van eventuele opbrengsten van beleidsinstrumenten (zoals een CO<sub>2</sub>-belasting), 5) de mate waarin er zonder klimaatbeleid optimaal geïnvesteerd zou worden, dat wil zeggen in hoeverre de investeringen met het grootste rendement het eerst worden benut<sup>52</sup> en 6) de gebruikte 'discontovoet' om toekomstige kosten en baten te vertalen naar huidige waarden.

Een andere belangrijke onzekerheidsfactor wordt gevormd door de aannames over het klimaatbeleid zelf. Het overgrote deel van de studies gaat uit van deelname van alle belangrijke economieën in het klimaatbeleid en het gebruik van alle mogelijke technologieën. Recente studies besteden meer aandacht aan beperkte deelname door ontwikkelingslanden en verminderde beschikbaarheid van technologie (onder meer gebaseerd op de vraag welke technieken maatschappelijk aanvaardbaar zijn, zoals het opslaan van CO<sub>2</sub> in lege gasvelden of kernenergie). Deze studies laten aanzienlijk hogere kosten zien. Tavoni en Tol<sup>53</sup> hebben laten zien op basis van recenter werk dat de hierboven genoemde IPCC-uitkomsten voor ambitieuze doelstellingen worden gedomineerd door studies met optimistische aannames en dat afhankelijk van het gebruikte rekenmodel de kosten tot wel een factor twee kunnen variëren. Daar staat echter tegenover dat 'dure' studies vaak niet alle technieken meenemen of conservatief zijn wat betreft technologische ontwikkeling. Bio-energie in combinatie met de ondergrondse opslag van CO<sub>2</sub> is bijvoorbeeld een technologie die studies vaak niet meenemen, maar die op langere termijn en bij verregaande reductie tot lagere totale kosten kan leiden.

Maar zelfs als de kosten voor het halen van de twee gradendoelstelling beperkt zijn, betekent dit niet automatisch dat dit een juiste doelstelling is. Björn Lomborg<sup>54</sup>, die

regelmatig in de media van zich laat horen, heeft diverse malen benadrukt dat bij een beperkte hoeveelheid beschikbaar geld voor ontwikkeling en milieudoelen, andere maatregelen (zoals de bestrijding van AIDS) met een veel gunstigere relatie tussen kosten en baten prioriteit zouden moeten hebben. Anderen hebben aangegeven dat deze interpretatie veronderstelt dat er gekozen zou moeten worden enerzijds klimaatbeleid en anderzijds armoedebelief of AIDS-bestrijding. Dit is volgens critici maar zeer ten dele waar: de verschillende beleidsdoelen kunnen in hun visie uitstekend samengaan. Daar komt bij dat ook de kosten-baten berekeningen van Lomborg een zeer grote mate van onzekerheid in zich hebben. Dit heeft voornamelijk te maken met het belang van toekomstige generaties bij het beleid van vandaag. De baten van klimaatbeleid zullen voornamelijk ten goede komen aan toekomstige generaties en de meningen verschillen over hoeveel kosten je in het heden zou moeten maken om toekomstige generaties beter af te laten zijn. Lomborg gaat ervan uit dat toekomstige generaties rijker zullen zijn dan wij, en dat bovendien de gevolgen van klimaatverandering mee zullen vallen<sup>55</sup>, waardoor klimaatbeleid als weinig effectief wordt aangeduid. In een recente studie van Hof et al.<sup>56</sup> wordt aangetoond dat op basis van het voorzorgsbeginsel (uitgaande van pessimistische aannames ten aanzien van de gevolgen van klimaatverandering) verregaand klimaatbeleid voor de hand ligt, maar dat dit vooral afhangt van het belang dat gehecht wordt aan de welvaart en het welzijn van toekomstige generaties. Weitzman<sup>57</sup> beargumenteert dat bij een probleem zoals klimaatverandering, waarbij er een zeer kleine kans bestaat op grootschalige catastrofale gevolgen, een traditionele kosten-baten analyse niet toepasbaar is. Om die reden is dit onderwerp van een verhit debat tussen verschillende economen<sup>58,59,60</sup>.

# Broeikasgasemissies, scenario's en haalbaarheid tweegradendoelstelling

## 3.1 *Trend in de emissies van broeikasgassen*

### **Geen toename mondiale CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2009**

Volgens de gegevens uit EDGAR<sup>61</sup> daalde de uitstoot van CO<sub>2</sub> in de geïndustrialiseerde landen in 2009 met zeven procent ten opzichte van 2008, maar daartegenover stond een toename in China en India van respectievelijk negen en zes procent (figuur 3.1). Dit betekent dat, voor het eerst sinds 1992, de mondiale uitstoot van CO<sub>2</sub> in twee opeenvolgende jaren vrijwel gelijk is gebleven<sup>62</sup>. De atmosferische CO<sub>2</sub>-concentratie is in 2009 overigens 'gewoon' toegenomen met 1,8 ppm (delen per miljoen) tot 387,3 ppm (zie figuur 3.2) en steeg daarmee even hard als in 2008.

Eerder werd nog verwacht dat er een daling in de mondiale emissies zou optreden vanwege de economische crisis<sup>63</sup>. Hoewel veel productiecapaciteit door de crisis is stilgelegd, kan deze bij aantrekkende groei weer in bedrijf genomen worden, waardoor de emissies weer snel kunnen oplopen. Van 2002 tot 2008 bedroeg de jaarlijkse toename van de CO<sub>2</sub>-uitstoot circa 3,5 procent. In 2008 (kredietcrisis), nam de uitstoot met slechts ongeveer 1,5 procent toe. Ook bij eerdere gelegenheden stak de jaarlijkse groei van de CO<sub>2</sub>-uitstoot tijdelijk, zoals bij de recessies na de olieprijsstijgingen van 1974-1975 en 1980-1982.

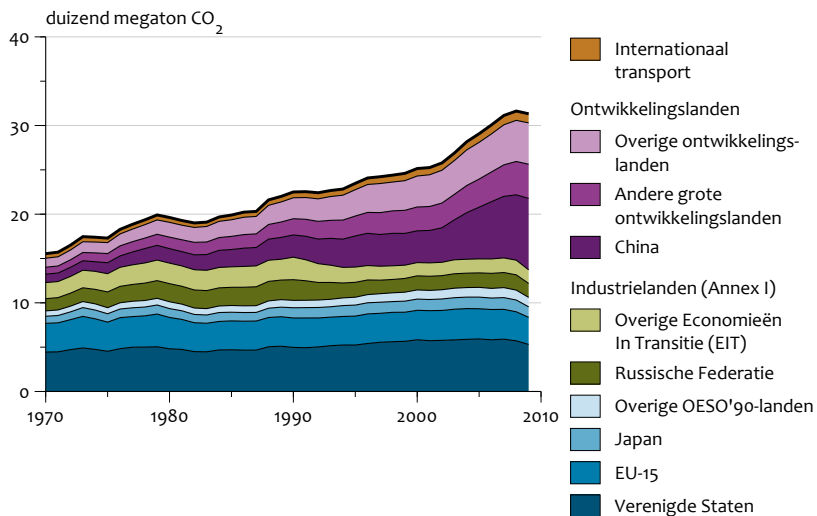
Op basis van een eerste schatting bestaat het vermoeden dat de mondiale CO<sub>2</sub>-emissies uit fossiele brandstoffen in 2010 ten opzichte van 2009 weer zijn gestegen met ongeveer drie procent<sup>64</sup>. Dit geeft aan dat de wereldeconomie wellicht terug is op het emissie-groei-pad van voor 2009 en dat het dempend effect van de financiële crisis voorbij is.

### **Grote regionale verschillen**

De recessie in de rijkere landen had een sterke daling tot gevolg van de productie van energie-intensieve industrieën, zoals de staalindustrie en basischemie, raffinaderijen en elektriciteitscentrales. Volgens EDGAR daalden de CO<sub>2</sub>-emissies in bijvoorbeeld de Verenigde Staten met zeven procent en in Europa met twaalf procent, hoewel dit laatste cijfer waarschijnlijk te hoog is ingeschat<sup>66</sup>. Zoals hierboven al aangegeven, stegen de emissies in China sterk met negen procent tot 8,1 miljard ton in 2009. Dit werd mede veroorzaakt door een groot economisch stimuleringspakket dat eind 2008

## Mondiale emissie koolstofdioxide per regio

Door gebruik fossiele brandstoffen en cementproductie



Bron: Olivier en Peters, 2010.

PBL/jun10/0533  
www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

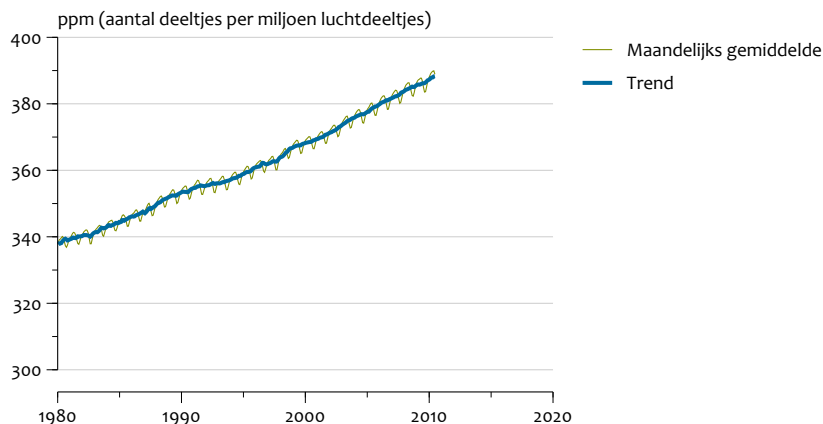
*Figuur 3.1 Mondiale emissies van CO<sub>2</sub> per regio volgens EDGAR<sup>55</sup>. In deze figuur ontbreken de emissies ten gevolge van bos- en veenbranden en door de afbraak van onverbrande biomassa en van veenlagen. Deze beslaan ongeveer twintig procent van het totaal, hoewel de uitstoot jaarlijks sterk kan fluctueren en ook een hoge mate van onzekerheid kent.*

werd ingezet, bestaande uit investeringen in de vervoersinfrastructuur en de wederopbouw van het in 2008 door een aardbeving getroffen gebied Sichuan. Hierdoor is China ook in 2009 de grootste emitter van CO<sub>2</sub> in de wereld. In India, waar de binnenlandse vraag driekwart is van het Bruto Nationaal Product (BNP) en dat daardoor relatief onaangestast bleef door de kredietcrisis, nam de CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2009 toe met zes procent tot 1,7 miljard ton CO<sub>2</sub>. Daarmee is India Rusland voorbijgestreefd in de wereldrangorde van CO<sub>2</sub>-emitters. In de overige landen is het beeld meer diffuus, variërend van stijging, zoals in Iran, Indonesië en Zuid-Korea, tot daling, zoals in Brazilië, Saoedi-Arabië, Zuid-Afrika en Taiwan. De totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van deze overige landen veranderde nauwelijks in 2009.

## CO<sub>2</sub>-uitstoot per persoon

De CO<sub>2</sub>-emissie per persoon (van de 24 landen met de grootste uitstoot) laat een heel andere volgorde zien dan de uitstoot per land (zie figuur 3.3). Zo steken de Verenigde Staten, Australië en Canada ver uit boven alle andere landen (uitgezonderd een aantal kleine landen zoals Koeweit of Luxemburg die zeer hoge emissies laten zien per hoofd van de bevolking, maar die niet horen bij de 24 landen met de grootste CO<sub>2</sub>-emissies). Ook is te zien dat de uitstoot in China per inwoner nog altijd veel lager ligt dan in deze drie landen, maar dat door de snelle economische ontwikkeling de uitstoot per persoon op een vergelijkbaar niveau ligt als in Frankrijk.

## Mondiale concentratie koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>)



Bron: NOAA/ESRL.

PBL/nov10/0216  
www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

Figuur 3.2: Mondiale concentratie van CO<sub>2</sub> in de periode 1980-2008.

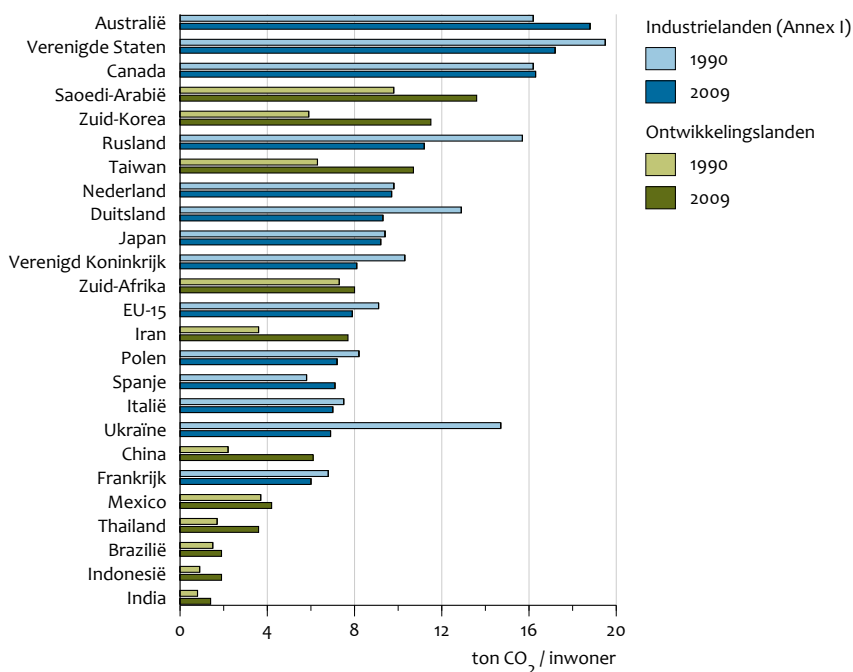
Figuur 3.3 laat ook zien dat de emissies in geïndustrialiseerde landen (Annex-1 landen) meestal zijn gedaald of gestabiliseerd ten opzichte van 1990. Dit kan voor een deel verklaard worden door het gevoerde klimaat- en energiebeleid zoals dat is voortgekomen uit het Kyoto-protocol. De ontwikkelingslanden, met hun snel groeiende economieën, laten over het algemeen een sterke stijging zien.

## Europa

Tussen 1990 en 2008 namen de emissies van alle broeikasgassen samen in de vijftien EU-landen af met 6,5 procent. De broeikasgasemissie van alle EU-landen (EU-27) nam in die periode af met 11,3 procent. In de periode 1990 tot 2008 daalden de CH<sub>4</sub>-emissies met 31 procent N<sub>2</sub>O met 29 procent en de CO<sub>2</sub>-emissies met slechts één procent. De gefluorideerde gassen (F-gassen) namen toe met 34 procent in de EU-15. De belangrijkste reden voor geringe afname van de CO<sub>2</sub>-emissie was het groeiende wegverkeer. De afname van de CH<sub>4</sub>-emissies is vooral het gevolg van reducties bij stortplaatsen en kolenmijnen. De N<sub>2</sub>O-emissies daalden vooral door de reductiemaatregelen bij de productie van adipinezuur en recent die van salpeterzuur (vooral in Nederland).

Als gevolg van de economische crisis nam in 2009 de uitstoot van broeikasgassen in de EU-15 en die van de EU-27 met zeven procent af ten opzichte van 2008. De cijfers over 2009 zijn gebaseerd op voorlopige energie- en productiegegevens van de lidstaten en op berekeningen van het Europees Milieuagentschap (EAA). Door de crisis liggen de emissies in 2009 van de EU-27 ruim 17 procent onder het niveau van 1990. De emissies van de EU-15 liggen bijna dertien procent onder het niveau van het basisjaar, en voor het eerst onder de Kyoto-doelstelling van acht procent reductie<sup>68,69</sup>.

## Emissie koolstofdioxide per inwoner



Bron: Olivier en Peters, 2010.

PBL/dec10/0533  
www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

*Figuur 3.3 De CO<sub>2</sub> uitstoot per inwoner volgens EDGAR in 1990 en 2009 van de top 24 van landen met de grootste CO<sub>2</sub>-uitstoot<sup>67</sup>. Ter vergelijking is ook het gemiddelde van de gehele EU-15 opgenomen.*

## Nederland

### Koolstofdioxide

Nederland staat, per hoofd van de bevolking, hoog op de wereldranglijst van de 24 grootste CO<sub>2</sub>-emitters ter wereld en ruim boven het gemiddelde van de EU-15 (zie figuur 3.3). In de periode 1990-2004 nam de CO<sub>2</sub>-emissie jaarlijks met gemiddeld één procent toe door meer elektriciteitsgebruik en een toename van het personen- en goederenvervoer (uitgezonderd de emissies van de scheepvaart en de luchtvaart, zie box 1). Na 2004 daalde de CO<sub>2</sub>-emissie, met uitzondering van 2008. De afname in 2009 (drie procent) was duidelijk minder sterk dan het gemiddelde van de rijke landen. Onduidelijk is nog of het hier om een trendbreuk gaat<sup>70</sup>.



## BOX 1 De emissies van de luchtvaart en scheepvaart

Broeikasgasemissies van de zeescheepvaart en luchtvaart worden wel geschat en gerapporteerd binnen het klimaatverdrag maar niet toebedeeld aan individuele landen. Daarmee vallen zij buiten de reductiedoelstellingen van het Kyoto Protocol. Omdat Nederland de grootste Europese oliehaven en de daarbij behorende raffinaderijen heeft, is er een grote hoeveelheid zware stookolie beschikbaar die als scheepsbunker aan de internationale scheepvaart wordt geleverd. Deze raffinaderijen produceren ook grote hoeveelheden kerosine, die via een pijplijn naar Schiphol aan de internationale luchtvaart wordt verkocht (luchtvaartbunker). In 2008 vertegenwoordigde de bunkerafzet een equivalent aan CO<sub>2</sub>-emissie van circa 60 miljoen ton. Dat is ruim anderhalf keer zoveel als aan de Nederlandse sector verkeer en vervoer wordt toegerekend (36 miljoen ton). Omdat het beleid er op is gericht dat auto's steeds minder CO<sub>2</sub> uitstoten, zullen de luchtvaart en zeescheepvaart in de loop van de tijd een groter deel van de mondiale uitstoot van broeikasgassen voor hun rekening gaan nemen. Voor deze verkeerscategorieën hangt de vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot met name af van innovaties op het gebied van biobrandstoffen. Aandrijving op basis van elektriciteit en waterstof is voor zeescheepvaart en luchtvaart geen optie. Het PBL heeft recent geanalyseerd in welke mate innovatie voor deze 'vergeten sectoren' in ons land van de grond komt. Hieruit blijkt dat marktpartijen en overheid hun invloed meer dan nu kunnen aanwenden om de CO<sub>2</sub>-emissie van luchtvaart en zeescheepvaart te reduceren<sup>71</sup>.

De emissies van de andere broeikasgassen, methaan, lachgas en fluorbevattende gassen (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O en F-gassen) laten in Nederland een wisselend beeld zien:

### *Methaan*

De CH<sub>4</sub>-emissie nam in Nederland van 1990 tot 2007 af. Belangrijkste reden is het verminderde storten van afval, wat leidt tot een lagere CH<sub>4</sub>-emissie uit stortplaatsen. Daarnaast nam de CH<sub>4</sub>-emissie uit de landbouw af door krimp van de veestapel. Vanaf 2007 nam de totale emissie van CH<sub>4</sub> weer licht toe door een sterke toename van warmtekrachtinstallaties in de glastuinbouw. Bij de verbranding van aardgas in warmtekrachtinstallaties (dat is de gebruikelijke brandstof) is er namelijk sprake van 'methaan slip'. Dat houdt in dat niet alle aardgas wordt verbrand en in de atmosfeer terecht komt.

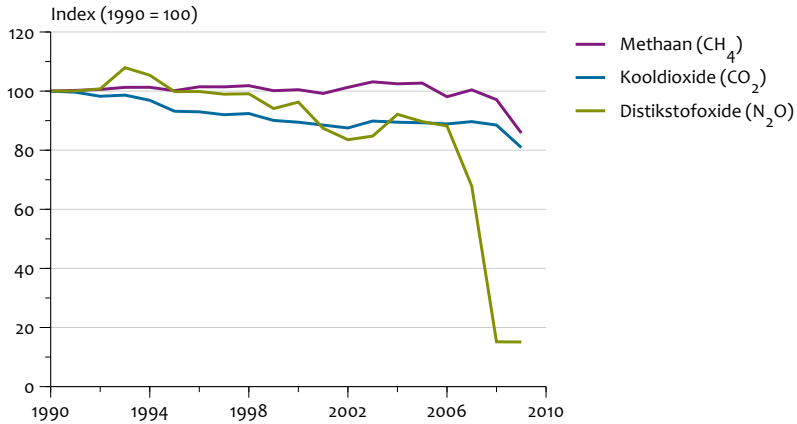
### *Lachgas*

De N<sub>2</sub>O-emissie neemt sinds 1995 af doordat minder mest wordt uitgereden en door minder kunstmestgebruik. Maar vooral de laatste twee jaar is de uitstoot zeer sterk gereduceerd door reductiemaatregelen bij salpeterzuurfabrieken (zie figuur 3.4). Sinds 2006 heeft dit geresulteerd in een afname van circa vijf miljoen ton CO<sub>2</sub>-equivalenten<sup>72</sup>.

### *Fluorbevattende gassen*

De emissies van F-gassen namen sinds 1998 af. Dit is grotendeels het gevolg van maatregelen in de industrie. Vanaf 2005 nemen de emissies van de F-gassen weer licht toe.

### Emissie broeikasgassen naar lucht door industrie



Bron: Emissieregistratie.

CBS/sep10/0112  
www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

*Figuur 3.4 De uitstoot van lachgas in Nederland door de industrie heeft de laatste jaren een sterke afname laten zien.*

## 3.2 Nieuwe IPCC-emissiescenario's

Sinds 2007 wordt gewerkt aan nieuwe emissiescenario's voor het vijfde Assessment Rapport van het IPCC: de 'Representative Concentration Pathways' of RCP's. In tegenstelling tot eerdere scenario's waarin geen klimaatbeleid werd verondersteld, ligt de focus hierbij op de effecten van verschillende ambitieniveaus van beleid overeenkomend met atmosferische broeikasgasconcentraties van 1400, 870, 650 and 450 ppm (delen per miljoen) CO<sub>2</sub>-equivalenten. In het afgelopen jaar is een grote hoeveelheid data van landgebruik en emissies en atmosferische concentraties van gassen en aerosolen over de periode 1850-2000 beschikbaar gemaakt voor onderzoek. Daarnaast zijn projecties gemaakt voor de 21<sup>e</sup> eeuw (2000-2100). In 2010 zijn de eerste berekeningen met klimaatmodellen uitgevoerd, inclusief die met de laagste emissieniveaus, in termen van stralingsforcering overeenkomend met 2,6 Watt per vierkante meter en 420 ppm CO<sub>2</sub> in het jaar 2100 (450 ppm CO<sub>2</sub>-equivalenten).

Tot op heden werd er nog maar weinig met deze lage emissieniveaus gerekend. De resultaten bevestigen eerdere schattingen van 'integrated assessment modellen' zoals IMAGE, die reeds in het beleid werden gebruikt: het laagste emissieniveau leidt met een redelijke waarschijnlijkheid tot een temperatuurverandering van minder dan twee graden Celsius ten opzichte van het pre-industriële tijdperk. De RCP-scenario's worden momenteel verder uitgebreid voor de lange termijn (tot 2300), zodat ook de gevolgen van langzame processen, zoals zeespiegelstijging, in kaart gebracht kunnen worden. De resultaten kunnen door iedereen worden bekeken en gedownload van het internet<sup>73</sup>.

Parallel aan de analyse van RCP's wordt door de wetenschappelijke gemeenschap

gewerkt aan het ontwikkelen van sociaal-economische scenario's, waarbij een belangrijke verbetering ten opzichte van de eerdere IPCC-scenario's is, dat er wordt samengewerkt tussen de gemeenschappen die zich bezighouden met respectievelijk mitigatie (het voorkomen van klimaatverandering) en adaptatie (het zich aanpassen aan klimaatverandering).

### 3.3 De haalbaarheid van de tweegradendoelstelling

Tijdens de klimaatop in Kopenhagen in december 2009 is vastgelegd dat de meeste landen de Europese doelstelling om de gemiddelde mondiale temperatuurstijging te beperken tot twee graden Celsius ten opzichte van het pre-industriële tijdperk ondersteunen. Om dit met meer dan vijftig procent kans te bereiken moet de atmosferische broeikasgasconcentratie stabiliseren onder de 450 ppm (delen per miljoen) CO<sub>2</sub>-equivalent (en ongeveer 400 ppm CO<sub>2</sub>, zie box 2). De mondiale uitstoot van broeikasgassen moet in 2050 dan zo'n 35 tot 55 procent lager zijn dan in 1990<sup>74</sup>. De industrielanden zouden hun gezamenlijke emissies in 2020 met 25 tot veertig procent moeten reduceren. De EU had zich al verplicht tot een reductie van twintig procent tussen 1990 en 2020 en zal dat doel aanscherpen op voorwaarde dat andere industrielanden zich willen binden aan een vergelijkbaar ambitieuze inspanning. De industrielanden die het Kopenhagenakkoord ondertekenden, hebben samen echter een emissiereductie van slechts vier tot 21 procent voorgesteld<sup>75</sup>. De range hierin is zo groot, omdat er nog geen afspraken zijn over bijvoorbeeld het meetellen van emissies door ontbossing, de vastlegging van CO<sub>2</sub> door bossen en de inzet van 'oude' emissierechten uit de Kyoto-periode. Desondanks werd de klimaatop in Kopenhagen door sommige waarnemers niet als een mislukking gezien, omdat voor het eerst belangrijke landen als China en de Verenigde Staten het probleem erkenden en zich committeerden er in principe iets aan te willen doen door een basis te leggen voor verdere onderhandelingen in november 2010 in Cancun, Mexico. In Cancun is vervolgens een aantal concrete afspraken gemaakt, die in meer detail worden besproken in hoofdstuk 4.

#### Grote maatschappelijke uitdaging

In de Staat van het Klimaat van 2009 gaven we aan dat het zowel in technisch als economisch opzicht nog steeds mogelijk is om aan de tweegradendoelstelling te voldoen en dat het vooral een politieke en maatschappelijke uitdaging is. Maar hoe groot is die uitdaging precies? Een recente studie<sup>76</sup> laat zien wat er zou gebeuren als je vanaf heden niets meer produceert dat CO<sub>2</sub> uitstoot (zoals auto's en elektriciteitscentrales). Dan neemt de CO<sub>2</sub>-concentratie nog enige tijd toe tot ongeveer 430 ppm in 2050 en gaat dan dalen. Elektriciteitscentrales gaan lang mee (zo'n 35 jaar) en ook auto's blijven gemiddeld tien jaar of langer op de weg. Vooral in China is de groei in kolencentrales gigantisch en het autopark neemt er toe met twintig procent per jaar. Voordat deze producten zijn afgeschreven zal China meer dan 180 gigaton CO<sub>2</sub> uitgestoten hebben (37 procent van het totaal in dit scenario). Uiteraard is het volstrekt onwaarschijnlijk om aan te nemen dat er geen auto's en elektriciteitscentrales meer worden bijgebouwd. De studie is vooral interessant omdat zij laat zien dat zelfs onder dergelijke extreme aannames de tweegradendoelstelling maar net wordt gehaald.

Het maximum van 430 ppm CO<sub>2</sub> is iets lager dan het maximum in het laagste RCP-scenario (zie paragraaf 3.2), 450 ppm, maar in dat scenario wordt dit gehaald zonder de extreme

aanname van bovengenoemde studie. Behalve dat er maximaal wordt ingezet op energiebesparing, wordt in dit scenario iedere nieuwe elektriciteitscentrale uitgerust met CO<sub>2</sub>-afvanginstallaties en vervolgens wordt die CO<sub>2</sub> opgeslagen in de diepe ondergrond, zoals in lege gas- of olievelden of waterhoudende lagen. Daarnaast wordt grootschalig overgestapt op brandstoffen die afkomstig zijn van biomassa. Hierdoor ontstaat een situatie waarbij zelfs CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer wordt verwijderd: elektriciteitscentrales worden gestookt op biomassa waarna dit wordt opgeslagen in de ondergrond. Uiteindelijk zijn in dit scenario de (vracht)auto's die blijven doorrijden op fossiele brandstoffen voor het overgrote deel verantwoordelijk voor de dan nog aanwezige CO<sub>2</sub>-uitstoot.

Het bovenstaande impliceert dat, om de tweegradendoelstelling te halen, er mondiaal, samen met ontwikkelingslanden, een uiterst strikt klimaatbeleid moet worden gevoerd. Afhankelijk van de precieze veronderstellingen maar uiterlijk vanaf 2020 zouden de mondiale emissies moeten gaan dalen. Gezien de omvang van emissies in landen als China en India zou een daling in emissies in deze landen niet veel later ingezet mogen worden. De bereidheid tot deelname kan echter alleen worden gegarandeerd als er voldoende vertrouwen is tussen landen, als iedereen bijdraagt aan de oplossingen en er geen freeriders zijn<sup>77</sup>.

## BOX 2 Wat zijn CO<sub>2</sub>-equivalenten?

Omdat het klimaatbeleid gaat over het reduceren van de uitstoot van de belangrijkste broeikasgassen die een sterk verschillende broeikaswerking hebben, is het zinvol om de bijdrage van verschillende broeikasgassen onder één noemer te kunnen brengen, zowel voor wat betreft de emissies als voor de atmosferische concentraties. Hiertoe wordt er onderscheid gemaakt tussen *CO<sub>2</sub>-equivalente emissies* en *CO<sub>2</sub>-equivalente concentraties*. Rekenkundig zijn dit volstrekt gescheiden begrippen. In het eerste geval gaat het om een poging om de bijdrage aan het broeikaseffect van een eenheid emissie van een broeikasgas in de komende 100 jaar uit te drukken in termen van CO<sub>2</sub>. In het tweede geval gaat het om de optelsom van alle broeikasgassen en aerosolen die op *dit moment* in de atmosfeer zijn. Het gaat dan dus om de CO<sub>2</sub>-concentratie die een broeikaseffect zou veroorzaken overeenkomend met de broeikaswerking van alle gassen tezamen.

### *CO<sub>2</sub>-equivalente emissies*

De stijging van het CO<sub>2</sub>-gehalte in de atmosfeer draagt het meest bij aan de door mensen veroorzaakte klimaatverandering. CO<sub>2</sub> is echter niet het enige broeikasgas: methaan (CH<sub>4</sub>), lachgas (N<sub>2</sub>O), al dan niet verzadigde chloorfluorkoolstofverbindingen (CFK's en HFK's), de gehalogeneerde fluorkoolwaterstoffen (HFKs) en andere gehalogeneerde koolstofverbindingen die chloor en/of fluor bevatten zijn gezamenlijk verantwoordelijk voor bijna veertig procent van het totale broeikaseffect door alle broeikasgassen tezamen, ondanks het feit dat de concentratie van deze stoffen in de atmosfeer veel lager is dan die van CO<sub>2</sub>. Het broeikaseffect van deze gassen per molecuul is namelijk tot duizenden keren krachtiger dan dat van CO<sub>2</sub>. Aerosolen (zoals sulfaat, organisch koolstof, zwarte koolstoffen, nitraat-aerosolen) hebben zowel een opwarmend als een koelend direct effect en waarschijnlijk een indirect koelend effect via veranderingen in wolken, al zijn de onzekerheden rondom deze effecten erg groot.

Om de bijdrage van de verschillende gassen aan de opwarming in één getal te kunnen uitdrukken worden de totale emissies van broeikasgassen uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten door gebruik te maken van de 'Global Warming Potentials' (GWP). Dit is een relatieve maat, die het aardopwarmend vermogen van één kilo van het gas aangeeft ten opzichte van één kilo CO<sub>2</sub> in een periode van honderd jaar. De waarde voor methaan is bijvoorbeeld 23, voor lachgas 298 en voor zwavelhexafluoride (SF<sub>6</sub>), dat veel wordt gebruikt in de elektrotechniek, meer dan 22.000. Dit is dan ook een van de meest krachtige broeikasgassen. Emissies van aerosolen kunnen niet worden uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten. Ten eerste, omdat de verblijftijd in de atmosfeer zeer kort is. Ten tweede, vanwege de grote regionale verschillen in de samenstelling van de aerosolen en de reflecterende eigenschappen van het aardoppervlak die bepalen of er sprake is van een afkoelende of opwarmende werking. Tenslotte zijn er ook indirecte effecten op onder andere wolken die erg onzeker zijn. Overigens is er een intensief debat gaande over de bruikbaarheid en de definitie van het begrip GWP. Zo is bijvoorbeeld de periode van honderd jaar nogal arbitrair. Een kortere periode van bijvoorbeeld vijftig jaar zou tot gevolg hebben dat het belang van methaan veel groter wordt vanwege de relatief korte levensduur van methaan in de atmosfeer. Een ander probleem is dat GWP niet goed passen bij het denken in termen van doelstellingen: voor het halen van de twee graden Celsius doelstelling is het bijvoorbeeld van weinig belang wat de huidige methaan-emissies zijn, aangezien alle methaan-moleculen die nu in de atmosfeer zitten tegen de tijd dat de aarde twee graden is opgewarmd zullen zijn afgebroken. Sommigen bepleiten daarom het gebruik van Global Temperature Potentials (GTP), die wel beter aansluiten bij het denken in termen van doelstellingen, maar deze maat kent weer andere praktische belemmeringen.

#### *CO<sub>2</sub>-equivalente concentraties*

De CO<sub>2</sub>-equivalente concentratie wordt berekend op basis van de momentane bijdrage ('forcing') van alle broeikasgassen samen. Daarbij kan in principe een keuze worden gemaakt welke gassen en andere bijdrages worden meegenomen, bijvoorbeeld alleen de gassen zoals opgenomen in het Kyoto Protocol of alle broeikasgassen al dan niet in combinatie met aerosolen. Als we uitgaan van de situatie met alle broeikasgassen en aerosolen, is het belangrijk te beseffen dat de relatie tussen de atmosferische CO<sub>2</sub>-concentratie en de equivalentenconcentratie niet constant is en afhangt van de mate waarin de concentraties van de verschillende gassen toenemen of afnemen in de tijd. Zo wordt in de meeste scenario's aangenomen dat tegen het einde van deze eeuw de hoeveelheid aerosolen in de atmosfeer sterk zal zijn afgenomen door versterking van het luchtkwaliteitsbeleid. Hierdoor zal de koeling door aerosolen afnemen en zal dus de CO<sub>2</sub>-equivalente concentratie toenemen. Ook de gevolgen van het beleid in het kader van het Montreal Protocol ter bescherming van de ozonlaag, namelijk de langzame afname van de concentratie van F-gassen gedurende de 21<sup>e</sup> eeuw, wordt hierbij in rekening gebracht. In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat de CO<sub>2</sub>-equivalente concentraties tien tot vijftien procent hoger liggen dan de CO<sub>2</sub>-concentratie zelf. Bij hogere CO<sub>2</sub>-concentraties is het verschil over het algemeen groter omdat dit meestal samengaat met lagere aerosol-concentraties<sup>79</sup>.



# 4

## Energie- en mitigatiebeleid

Het energiebeleid in Nederland en Europa is erop gericht om betrouwbare energie tegen zo laag mogelijke kosten te leveren, rekening houdend met de gevolgen voor milieu en klimaat. In dit hoofdstuk komen het nationale en internationale klimaatbeleid aan de orde en de gevolgen daarvan voor ons energiesysteem. In oktober 2010 trad een nieuw kabinet aan. Op basis van het regeerakkoord en een voorlopige analyse daarvan wordt het nieuwe kabinetsbeleid besproken. In het voorjaar van 2010 is er een grondige doorrekening verricht van de te verwachten effecten van het toenmalige Schoon en Zuinig beleid: de Referentieraming Energie en Emissies 2010-2020. Aangezien daarin de effecten van verschillende beleidsvarianten worden besproken is deze raming nog steeds relevant als benchmark. Enkele recent uitgekomen toekomstvisies over de mogelijkheden voor een duurzame energietransitie voor 2050 worden besproken. Eind 2010 kwam er een burgerinitiatief tot stand dat pleitte voor een 'Deltaplan nieuwe energie'. Tot slot worden de belangrijkste resultaten van de VN-klimaatonderhandelingen in Cancun behandeld.

### 4.1 *Ontwikkelingen energie en emissies 2010-2020*

In de Referentieraming Energie en Emissies 2010-2020<sup>90</sup> zijn de verwachte effecten van verschillende beleidsopties doorgerekend. De doelstellingen en de te verwachten boekhoudkundige emissiereducties zijn in tabel 4.1 weergegeven. Boekhoudkundig wil zeggen dat voor de emissies die onder het Europese Emissiehandelssysteem (ETS) vallen twintig procent reductie (ten opzichte van 1990) is ingeboekt, overeenkomstig de gemiddelde Europese reductie. Voor het al dan niet behalen van de ETS-gerelateerde emissiedoelstelling maakt het niet uit in welk land de emissiereductie wordt gerealiseerd: deze reducties moeten op Europese schaal gehaald worden<sup>91</sup>.

#### **BOX 3 Europees emissiehandelssysteem en CO<sub>2</sub>-heffing**

Het Europese emissiehandelssysteem (ETS) creëert een schaarste aan emissierechten voor CO<sub>2</sub> door middel van een emissieplafond, waardoor CO<sub>2</sub>-emissies een kostenpost worden en als zodanig meespelen in investeringsbeslissingen op bedrijfsniveau. Tot de ETS-sectoren behoren elektriciteitscentrales, raffinaderijen en de grote industrieën. De belangrijkste niet-ETS-sectoren zijn verkeer, de gebouwde omgeving en een deel van de landbouwsector. ETS- en niet-ETS sectoren zijn in Nederland elk voor ongeveer de helft van de broeikasgasemissies verantwoordelijk. De economische crisis

heeft tot een afname van CO<sub>2</sub>-emissies in geïndustrialiseerde landen geleid (zie 3.1), waardoor de CO<sub>2</sub>-prijs - en daarmee de prijsprikkel om tot verdere emissie-reductie te komen - laag bleef. Het ETS is in de Staat van het Klimaat 2008 uitgebreid besproken.

Naast een dergelijk systeem, dat stuurt op de totale hoeveelheid emissies ('cap and trade'), wordt er in de publieke discussie ook regelmatig gerefereerd aan een op prijs gestuurd systeem: een directe CO<sub>2</sub>-heffing ('carbon tax'). Bij een CO<sub>2</sub>-heffing wordt de prijs vastgelegd en varieert de uitstoot als gevolg van de marktwerking<sup>82</sup>. Een emissieplafond (gekoppeld aan emissiehandel) heeft als voordeel dat de totale hoeveelheid emissies vooraf bekend is (belangrijk voor bijvoorbeeld beleids-makers). Voordeel van een CO<sub>2</sub>-heffing is de stabiele prijs voor CO<sub>2</sub>-emissies die economisch houvast geeft (belangrijk voor bijvoorbeeld investerings-beslissingen)<sup>83,84,85</sup>. In het Amerikaanse voorstel voor een 'cap and trade' werd een hybride systeem voorgesteld: Een CO<sub>2</sub>-emissieplafond (de 'cap') in combinatie met een (in de tijd oplopende) minimumprijs voor emissierechten en een maximum-prijs, waarboven extra CO<sub>2</sub> rechten in de markt kunnen worden gebracht.

Het merendeel van de toekomstige emissiereductie komt van de voorgenomen vervanging van fossiele brandstoffen door hernieuwbare energie, gevolgd door een vermindering van de brandstofvraag in het verkeer en reducties van de overige broeikasgassen. De geraamde toename van hernieuwbare energie was grotendeels toe te schrijven aan de regeling Stimulering Duurzame Energieproductie<sup>86,87</sup>. Veranderingen in het gevoerde beleid beïnvloeden vanzelfsprekend deze toekomstverwachtingen.

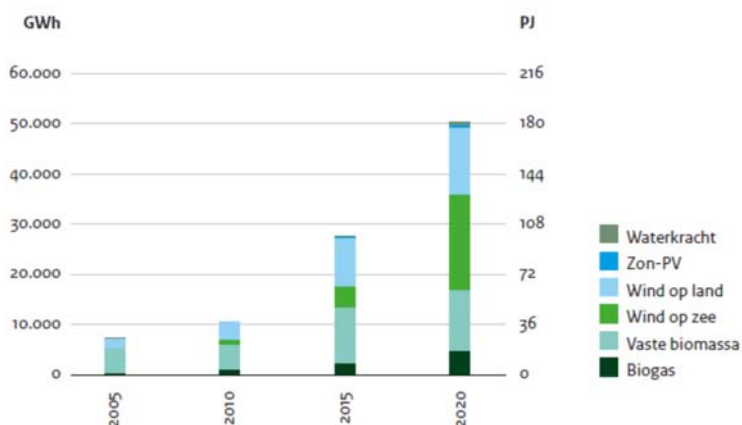
In het kader van Europese Richtlijn gaf de rijksoverheid in 2010 een Nationaal actieplan voor energie uit de hernieuwbare bronnen<sup>88</sup> uit. Dit actieplan geeft een tentatieve beschrijving<sup>89</sup> van de wijze waarop Nederland zal voldoen aan de doelstelling uit de Richtlijn voor hernieuwbare energie van veertien procent hernieuwbare energie in 2020. Volgens dit plan zal in 2020 37 procent (4,3 miljoen ton olie equivalenten<sup>90</sup>) van de

|  | EU doel voor NL | Zonder aanvullend beleid | 'Vaststaand' S&Z beleid |
|--|-----------------|--------------------------|-------------------------|
| Emissiereductie broeikas-gassen 2020 t.o.v. 1990 | 20%             | 11-18%                   | 14-21%                  |
| Aandeel duurzame energie 2020                    | 14%             | ~4%                      | ~7%                     |
| Energiebesparing per jaar                        | n.v.t.          | 0,7-1,2%                 | 1-1,5%                  |

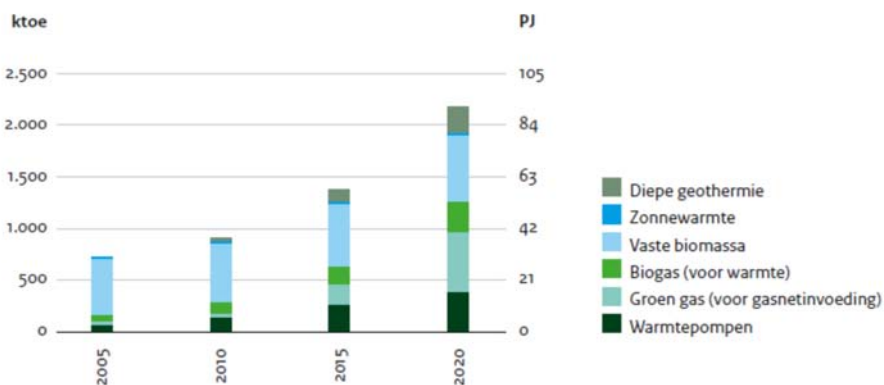
*Tabel 4.1 Doelstellingen van de Europese Unie (EU) op energie- en klimaatthema's vergeleken met de geraamde effecten van twee beleidsvarianten (voorjaar 2010): (1) zonder het nationale en Europese beleid sinds 2007; (2) bij het 'vaststaande' Schoon en Zuinig (S&Z) beleid van het vorige kabinet. Het nog nader in te vullen huidige kabinetsbeleid wordt in 4.2 besproken.*



## Hernieuwbare elektriciteitsproductie



## Hernieuwbare warmte



Figuur 4.1. Geplande ontwikkeling van hernieuwbare energie in de elektriciteitsproductie (37 procent van totaal; boven) en warmteproductie (negen procent van totaal; onder)<sup>91</sup>. Kleuren hebben niet dezelfde betekenis voor beide grafieken. GWh = GigaWatt uur; PJ = PetaJoules; ktoe = kiloton olie equivalent

geproduceerde elektriciteit hernieuwbaar zijn, net als acht procent (0,9 miljoen ton olie equivalenten) van de transportbrandstof (zonder dubbel telling) en negen procent (2,2 miljoen ton olie equivalenten) van onze warmtevoorziening.

De bijdrage van verschillende technologieën aan de geplande ontwikkeling van hernieuwbare energie in de elektriciteit- en warmteproductie wordt in figuur 4.1 weergegeven. Het grootste aandeel wordt geleverd door biomassa (51 procent), gevolgd door windenergie (36 procent) en aardwarmte en warmtepompen (negen procent). Hernieuwbare energie in de transportsector (niet in figuur 4.1 opgenomen) tot en met 2020 wordt volgens het Nationaal actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen gedomineerd door biomassa.

## 4.2 Nieuw Regeerakkoord

In het energiebeleid van het kabinet Rutte-Verhagen worden de Europese doelen leidend (zie tabel 4.1)<sup>92</sup>. Op het moment van schrijven van deze brochure, werkte het departement van Economie, Landbouw en Innovatie aan de concrete invulling van het beleid.

### SDE+

Voor de kortere termijn zet het nieuwe kabinet in op besparing en innovatie. De Stimuleringsregeling Duurzame Energieproductie (SDE) wordt in 2011 niet opnieuw geopend, maar wordt omgevormd tot een SDE+ regeling. Deze wordt medio 2011 geopend en wordt in de toekomst deels gefinancierd uit een opslag op de energierekening en mogelijk voor een deel uit een kolen- en gasbelasting voor grote stroomproducenten. Er komt een plafond aan de totale SDE+ uitgaven met een maximum van 1,4 miljard euro in 2015 en verdere jaren<sup>93</sup>. Voor 2011 zal de SDE+ een maximum van vijftien cent per kilowattuur hanteren voor de gesubsidieerde kostprijs van groene elektriciteit en één subsidieplafond voor alle categorieën. De consequenties voor duurdere vormen van energieopwekking, zoals zonnepanelen en wind op zee, is ten tijde van schrijven onduidelijk. Om de doelstelling voor duurzame energie te halen, beoogt Nederland in 2020 ruim 5000 miljoen Watt wind op zee opgesteld te hebben<sup>94</sup>. Het is voornamelijk onbekend of en hoe de SDE+ regeling opengesteld gaat worden voor wind op zee.

### Kernenergie en CO<sub>2</sub>-opslag

Aanvragen van vergunningen voor kerncentrales die voldoen aan de vereisten, zullen door dit kabinet worden ingewilligd. Voor ondergrondse opslag van CO<sub>2</sub> (CCS) wordt het aanwezig zijn van een lokaal draagvlak een vereiste. Daarnaast kan grootschalige CO<sub>2</sub>-opslag op land pas plaatsvinden, nadat een vergunning voor een nieuwe kerncentrale is goedgekeurd<sup>95</sup>. Dit kan op gespannen voet staan met het Europese beleidsvoornemen om CCS toe te passen zodra de technologie commercieel beschikbaar is, en de EU regels dat nieuwe kolencentrales 'CCS-ready' moeten zijn<sup>96</sup>. Het geplande proefproject voor CO<sub>2</sub>-opslag bij Barendrecht is intussen stopgezet. Demonstratieprojecten voor CCS (zoals wordt overwogen in de provincie Groningen) en opslag op zee kunnen in principe wel doorgang vinden<sup>97</sup>.

### PBL-analyse regeerakkoord

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) heeft op verzoek van het toenmalige ministerie van VROM het regeerakkoord geanalyseerd op mogelijke knelpunten in verband met bestaande Europese afspraken<sup>98</sup>. De precieze effecten van het voorgenomen beleid zijn afhankelijk van de nadere invulling van de aangekondigde maatregelen. Besluiten hierover moeten nog genomen worden. De voorlopige bevindingen op het gebied van klimaat en energie zijn als volgt:

- Het aandeel hernieuwbare energie neemt toe, maar het in het regeerakkoord genoemde budget is niet toereikend om aan de Europese verplichting voor hernieuwbare energie te voldoen (zie 4.1).
- De extra CO<sub>2</sub>-emissie door een snelheidsverhoging van 120 naar 130 kilometer per uur is beperkt (0,5 tot 1 miljoen ton CO<sub>2</sub>).
- Bij ongewijzigd beleid heeft het regeerakkoord geen gevolgen voor het voldoen aan de Europese doelstelling voor CO<sub>2</sub>-emissies (zie tabel 4.1).

### 4.3 Toekomstvisies duurzame energie

In de Europese Unie is een debat gaande over een eventuele aanscherping van de doelstelling voor emissiereductie van twintig naar dertig procent ten opzichte van 1990, mede afhankelijk van de inspanning die andere landen leveren. De EU streeft naar een emissiereductie van tachtig tot 95 procent in 2050. In 2011 komen er verschillende EU 'roadmaps' uit over de thema's klimaat en energie. Hieronder worden twee toekomstvisies besproken over een duurzame energietransitie die mede voeding geven aan het publieke debat hierover.

#### Burgerinitiatief 'Nederland krijgt nieuwe energie'

Het Duurzaamheidsoverleg Politieke Partijen, een partijoverstijgend initiatief met commissies van CDA, ChristenUnie, D66, GroenLinks, PvdA, SGP en VVD, heeft in 2010 een 'Deltaplan nieuwe energie' uitgebracht<sup>100</sup>. Het is een plan om de Nederlandse energievoorziening volledig te verduurzamen voor 2050, waarbij gebruik is gemaakt van de expertise bij bedrijven en kennisinstellingen. In december 2010 werden 45.000 handtekeningen aangeboden aan de Tweede Kamer als steunbetuiging aan dit plan, waarmee het een 'burgerinitiatief' is geworden dat het parlement verplicht tot agendering en bespreking.

Het plan voorziet een jaarlijkse energiebesparing van drie procent en een jaarlijkse groei in hernieuwbare energie van zeven procent. Hierbij dient opgemerkt te worden, dat de historische energiebesparing in Nederland tussen 1995 en 2007 0,9 procent per jaar bedroeg<sup>101</sup>. Als instrumenten om dit te bereiken worden onder andere genoemd stabiele, langjarige randvoorwaarden, een teruglevertarief voor duurzame energie, fiscale vergroening, een slimme energie-infrastructuur, een verplicht aandeel duurzame energie voor energieleveranciers en investeringen in innovatie.

Een meta-analyse van het Utrecht Centrum voor Aarde en Duurzaamheid (UCAD) heeft dit Deltaplan geanalyseerd op basis van een aantal bestaande studies<sup>102</sup>. Het UCAD concludeert dat 'in 2050 in de orde van tweederde deel van de Nederlandse energievoorziening duurzaam kan zijn'. Deze inschatting is gebaseerd op de technologische potentie, zonder de kosten en de vereiste beleidsinspanningen in beschouwing te nemen. Schattingen van het mogelijke toekomstige aandeel duurzame energie lopen sterk uiteen. Het UCAD verklaart dit door verschillen in de veronderstelde vermindering van de energievraag door besparing, de schaal waarop biomassa wordt ingezet en de uitwisseling van energie op grote geografische schaal middels smartgrids.

#### ECF Roadmap 2050

De European Climate Foundation (ECF) heeft een roadmap gepubliceerd om in 2050 tot tachtig procent lagere broeikasgasemissies te komen in vergelijking met 1990<sup>103</sup>. Hiertoe moet de elektriciteitssector zo goed als emissievrij worden en tegelijk sterk groeien. Op basis van de kostenschattingen van McKinsey<sup>104</sup> en een aantal aannames<sup>105</sup> wordt geconcludeerd dat dit mogelijk is met de huidige technologie en behoud van economische groei. Hoe langer er wordt gewacht met het in gang zetten van de energietransitie, hoe moeilijker en duurder deze wordt.

De ECF roadmap voorziet in emissiereducties in alle sectoren:

- energie-efficiëntie (tot twee procent efficiëntieverbetering per jaar);
- emissiearme elektriciteit op basis van technologie die commercieel beschikbaar is of die zich in een vergevorderd stadium van ontwikkeling bevindt: windenergie (op land en op zee), zonne-energie (fotovoltaïsch (PV) en thermisch (CSP)), biomassa, geothermische energie, hydro-electrische energie, kernenergie en kolen- en gascentrales met CO<sub>2</sub>-opslag;
- substitutie van olie (in de transportsector) en gas (in de gebouwde omgeving) door elektriciteit en tweede generatie biomassa;
- herbebossing, CO<sub>2</sub>-opslag in de industrie en andere opties.

De hogere kosten per kilowattuur van emissiearme elektriciteit wordt in deze visie gecompenseerd door de besparing als gevolg van de sterk toenemende efficiëntie en door de substitutie van olie en gas door elektriciteit, waardoor respectievelijk transport en ruimteverwarming efficiënter worden. De door ECF verwachte minimale effecten op de economische groei zijn sterk afhankelijk van het behalen van de beoogde energie-efficiëntie.

## 4.4 VN-klimaatonderhandelingen Cancun

De klimaatonderhandelingen van de Verenigde Naties vonden eind 2010 plaats in het Mexicaanse Cancun. In tegenstelling tot de aanloop naar de vorige Conference of Parties (COP) in Kopenhagen in 2009 waren de verwachtingen voor COP16 in Cancun niet hoog gespannen. De onderhandelingen vinden plaats op twee sporen: enerzijds het vervolg van het Kyoto Protocol<sup>106</sup> en anderzijds lange termijn gemeenschappelijke acties onder het klimaatverdrag (UNFCCC spoor)<sup>107</sup>. De mogelijkheid voor een tweede budgetperiode onder het Kyoto Protocol wordt open gehouden, maar er is geen overeenstemming over bereikt. Er zijn besluiten genomen die voor een groot deel overeenkomen met het akkoord waar in Kopenhagen tijdens de COP15 'kennis van was genomen'. In combinatie met de transparante manier van onderhandelen in Cancun heeft dit, na een dieptepunt vorig jaar, het vertrouwen in het multilaterale onderhandelingsproces versterkt<sup>108</sup>. De resultaten van beide sporen wordt hieronder kort toegelicht.

### Kyoto Protocol

De eerste budgetperiode van het Kyoto Protocol loopt in 2012 af. Het is niet gelukt om tot overeenstemming te komen over een invulling van de tweede budgetperiode. Landen in ontwikkeling, waaronder ook opkomende economieën zoals China, India en Brazilië, hebben onder het Kyoto Protocol geen verplichtingen tot emissiereductie. Deze scheiding in landen met en zonder emissiereductie-verplichting is een vaak terugkerende bron van onenigheid. Bovendien hebben de Verenigde Staten het verdrag niet geratificeerd en behalen niet alle landen hun doelstellingen.

Sommige geïndustrialiseerde landen zien een tweede budgetperiode niet zitten, terwijl ontwikkelingslanden zich er juist sterk voor maken. Er is besloten om de onderhandelingen hierover voort te zetten en te proberen een gat tussen de eerste en de tweede budgetperiode te voorkomen. Geïndustrialiseerde landen wordt gevraagd hun ambities voor emissiereductie te verhogen.

## Lange termijn gemeenschappelijke acties

Voortgang is er onder andere geboekt op de volgende thema's:

- *Emissiereducties en tweegradendoelstelling*: De emissiereducties, waar in Kopenhagen 'kennis van was genomen', zijn nu voor het eerst onder de VN-vlag 'verankerend'. Ontwikkelingslanden hebben geaccepteerd om hun emissies te gaan rapporteren en reduceren (via 'nationally appropriate mitigation actions'), met ondersteuning van geïndustrialiseerde landen door middel van geld, technologie en capaciteitsopbouw. De tweegradendoelstelling is bevestigd. Er bestaat echter een 'gigaton-gap' tussen de voorgenomen emissiereducties en de reducties die waarschijnlijk nodig zijn om de opwarming tot onder deze grens te beperken<sup>109</sup>.
- *Financiering*: In totaal moet er vanaf 2020 honderd miljard dollar (75 miljard euro) per jaar beschikbaar komen voor ontwikkelingslanden om hun emissies te reduceren en dertig miljard dollar in de periode 2010 - 2012 voor emissiereductie en adaptatie samen. Er is nog niet ingevuld hoe dit geld bij elkaar gesprokkeld gaat worden. Wel is er besloten dat een belangrijk deel via het Groen Klimaatfonds moet gaan. Dit fonds zal worden beheerd door afgevaardigden van twaalf rijke en twaalf arme landen.
- *REDD+ (reducing emissions from deforestation and forest degradation)*: Er is afgesproken dat ontwikkelingslanden zullen proberen om ontbossing zoveel mogelijk te voorkomen, als daar adequate steun voor wordt verleend. Duurzaam bosbeheer en het versterken van 'carbon sinks' vallen hier ook onder. Ontwikkelingslanden dienen hiervoor een nationale strategie op te stellen alsmede een transparant 'national forest monitoring system'.
- *Technologie-overdracht*: Besloten is om een mechanisme voor technologie-overdracht op te zetten, bestaande uit een 'Technology Executive Committee' en een 'Climate Technology Centre and Network'. Deze moeten inzicht en ondersteuning geven voor technologie- en kennisoverdracht naar ontwikkelingslanden en voor betere samenwerking zorgen op het gebied van onderzoek en implementatie van klimaatvriendelijke technologie.
- *Cancun Adaptation Framework*: Dit omvat een proces om ontwikkelingslanden te helpen met het identificeren van de risico's van klimaatverandering en de bijbehorende adaptatiemaatregelen. Een 'Adaptation Committee' gaat dit proces ondersteunen.

## De 'Cancun-overeenkomst'

De besluiten, zoals op beide bovengenoemde sporen genomen, vormen samen de Cancun-overeenkomst. Deze is door de klimaatconferentie in Cancun aangenomen, hoewel Bolivia zich hier tegen verzette, zich beroepend op de benodigde consensus voor een UNFCCC-akkoord. Conferentievoorzitter Espinoza hakte toen de knoop door met de woorden: "Consensus betekent niet unanimitéit", en gaf gelijktijdig aan dat Bolivia's standpunt beschreven staat in de notulen van de conferentie<sup>110</sup>. Bolivia heeft aangegeven de acceptatie van het akkoord aan te vechten bij het Internationaal Gerechtshof in Den Haag. Het is duidelijk dat het laatste woord over de verschillende interpretaties van de consensusregeling binnen de UNFCCC-procedures nog niet is gezegd.



# Water, natuur en stad onder klimaatverandering

Om de kansen die klimaatverandering biedt te benutten en de negatieve effecten van klimaatverandering op te vangen, is klimaatadaptatie nodig. De effecten en mogelijke maatregelen van klimaatverandering verschillen per sector, schaalniveau en locatie. Dit hoofdstuk bevat geen wetenschappelijke beschouwing over hoe adaptatie het best kan worden onderzocht en in de praktijk kan worden vormgegeven, maar beschrijft een aantal interessante voorbeelden en resultaten van verschillende adaptatieonderzoeken. Zo is er het afgelopen jaar meer inzicht verkregen in de kosten en baten van waterveiligheid. Deze inzichten kunnen doorwerken in de veiligheidsnormen. En er is onderzoek verricht naar de kosten voor de transportsector als de binnenvaart stil ligt als gevolg van te laag water. Verder is er een strategie ontwikkeld om de natuur meer klimaatbestendig te maken. Als voorbeeld van onderzoek in het stedelijk gebied wordt de omvang van het 'hitte-eiland effect' beschreven en mogelijke adaptatiemaatregelen om de stad te koelen. Tot slot gaat dit hoofdstuk in op enkele beleidsmatige ontwikkelingen rond klimaatadaptatiebeleid en op de internationale conferentie Deltas in Times of Climate Change. In de volgende Staat van het Klimaat zal verder worden ingegaan op de samenhang tussen onderzoeksthema's, uitvoeringsprojecten en beleidsontwikkeling gericht op klimaatadaptatie in Nederland.

## 5.1 *Veranderende rivierafvoeren: waterveiligheid, droogte en transport*

### **Klimaatscenario's en nieuwe normen voor waterveiligheid**

Scenario's zijn bij analyses en planvorming een gebruikelijk hulpmiddel voor het omgaan met onzekerheden. Voor de economisch optimale beschermingsniveaus - de som van de contante waarden van investeringen en de verwachte schade is minimaal - zijn vooral de onzekerheden in de economische ontwikkeling en in de toekomstige afvoer van de Rijn van belang. Bij de Rijnafvoer gaat het met name om veranderingen in het fysieke maximum dat Nederland kan bereiken, en dat is, naast klimaatvariabiliteit, ook afhankelijk van maatregelen bovenstrooms in Duitsland. Deze onzekerheden hebben een grotere invloed op het economisch optimale beschermingsniveau tegen overstromingen dan de onzekerheid in de omvang van de klimaatverandering<sup>111</sup>.

### **Een andere 'Kijk op waterveiligheid'**

Nederland is heel goed beschermd tegen overstromingen. Maar hoe klein de kans ook is, een overstroming is nooit geheel uit te sluiten. Er is in Nederland van oudsher aandacht



Figuur 5.1: Klimaatdijken in diverse vormen

voor het beperken van de gevolgen van een eventuele overstroming. Het nieuwe waterveiligheidsbeleid richt zich op meerlaagsveiligheid<sup>112</sup>. Preventie, het voorkómen van overstromingen, is en blijft de hoeksteen van het Nederlandse waterveiligheidsbeleid. Daarnaast is er evenwel een toenemende aandacht voor overstromingsbestendige ruimtelijke ontwikkeling en voor rampenbestrijding. Kennis van de factoren die het gedrag van burgers bepalen bij risico's op overstromingen is essentieel voor effectieve communicatie naar burgers met betrekking tot overstromingsrisico's en hun bereidheid om maatregelen te nemen<sup>113</sup>.

### Effecten van klimaatverandering op afvoer van de Rijn

In 2010 zijn de effecten van klimaatverandering op de rivierafvoer van de Rijn geanalyseerd aan de hand van een brede set van regionale klimaatmodellen<sup>114</sup>. Er wordt voor de extreem lage afvoeren (zevendags minimum) en gemiddelde zomerafvoeren tot 2050 zowel een lichte afname als een lichte toename mogelijk geacht, afhankelijk van het gekozen rekenmodel. Maar voor de periode daarna tot 2100 wordt een duidelijke afname verwacht. In het lage deel van het stroomgebied wordt verwacht dat de extreem hoge afvoeren licht toe zullen nemen (ruim vijf procent) tot 2050 en dat deze trend wordt voortgezet tot 2100 (ruim tien procent).

Volgens de KNMI-klimaatscenario's zullen halverwege deze eeuw hete en droge zomers, zoals die van 2003, vaker optreden. De gevolgen van drogere zomers voor de landbouw zijn beschreven in De Staat van het Klimaat 2009<sup>115</sup>. Eén van de andere gevolgen is dat het waterpeil in de rivieren daalt, waardoor het vaker zal voorkomen dat schepen alleen nog maar kunnen varen als ze minder lading meenemen. Recent economisch onderzoek<sup>116</sup> schat de maatschappelijke meerkosten van een 2003-zomer tussen 200 en 250 miljoen euro voor de scheepvaartsector op de Rijntakken. De kosten zullen hoger zijn voor transport van Rotterdam naar Duitsland dan andersom, omdat de belading richting Duitsland hoger is dan naar Rotterdam. De vraag naar transport over water zal in het W+ scenario met ongeveer vijf procent afnemen. Als de transportcapaciteit beperkend wordt, zullen treinen en vrachtwagens deels de plaats innemen van schepen, waardoor de CO<sub>2</sub>-emissies toenemen.

### Veengebieden

Bodemdaling als gevolg van inklinking door oxidatie in veenweidegebieden leidt tot een hogere waterveiligheidsopgave. Daarnaast is het beperken van bodemdaling een essentieel aspect van klimaatadaptatie vanwege de CO<sub>2</sub>-uitstoot. In Nederland is



gedurende de laatste 1000 jaar in totaal minimaal 3,6 gigaton aan CO<sub>2</sub> uitgestoten door landgebruik, blijkt uit een historische reconstructie<sup>117</sup>. Hiervan was circa vijftienvintig procent het gevolg van het gebruik van veen als brandstof, en de rest van ontwatering voor landgebruik. Volgens het Kyoto Protocol moet Nederland haar jaarlijkse uitstoot tot 2012 met zes procent reduceren ten opzichte van 1990. Het lijkt de moeite waard om veenoxidatie tegen te gaan, bijvoorbeeld door middel van doelgericht peilbeheer.

Verhogen van het waterpeil is een optie. Waar dit niet mogelijk is vanwege het landbouwkundige gebruik is het verhogen van de ondergrond mogelijk. In het 'Topsurf' concept<sup>118</sup> wordt gerijpte bagger met stromest uit de pot-vrijloopstal gebruikt om het bodemleven te stimuleren. Het aanbrengen van plantenresten op de venige ondergrond geeft een bodemstijging van één tot vijf millimeter per jaar, met een toename van de waterbergingscapaciteit van tien tot vijftig kubieke meter per hectare. Door het toepassen van drainage is een verdere vermindering van de maaiveldddaling mogelijk.

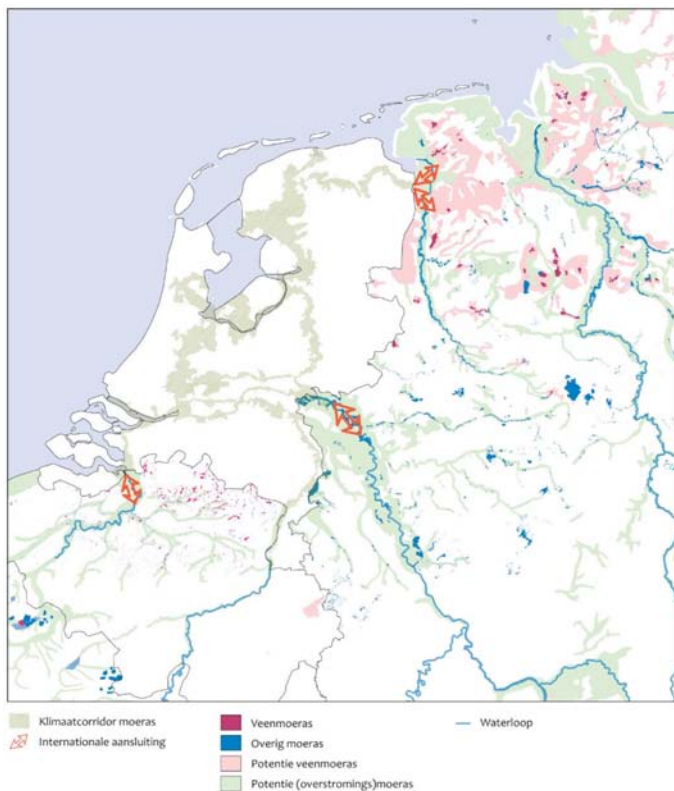
## 5.2 *Adaptatiepaden in het waterbeheer*

Het is onbekend hoe we ons in de loop van de tijd zullen gaan aanpassen aan een veranderend klimaat. Aanpassing kan via verschillende opeenvolgingen van maatregelen. Dergelijke series van opeenvolgende maatregelen in de tijd worden ook wel adaptatiepaden genoemd. Inzicht in de besluitvorming over de te volgen strategieën helpt bij het nemen van de uiteindelijke beslissingen. Om de besluitvorming te simuleren, en zo verschillende adaptatiepaden te volgen, is een spel gemaakt. In dit spel moet een imaginair riviereengebied klimaatbestendig worden gemaakt<sup>119</sup>. In een interactieve sessie kunnen deelnemers ervaren dat adaptatie een opeenvolging van maatregelen is en dat een keuze voor een bepaalde maatregel in het begin andere maatregelen voor later kan uitsluiten. Daarnaast laat het spel ervaren dat de interactie tussen watersysteembeheer en wensen vanuit de maatschappij een belangrijke rol speelt in een te volgen adaptatiepad. Het spel is nu diverse keren gespeeld door waterbeheerders, waaronder leden van de staf van de deltacommissaris. De ervaringen uit de spelsessies laten zien, dat het sluiten van compromissen uiteindelijk tot minder goede resultaten lijkt te leiden dan het duidelijk kiezen voor een bepaalde strategie. De huidige spelsessies bevestigen verder de conclusie uit eerdere simulaties<sup>120</sup> dat gedurende het adaptatietraject klimaatvariabiliteit minstens net zo belangrijk is als klimaatverandering.

## 5.3 *Klimaatverandering en natuur*

### **Adaptatiestrategie voor een klimaatbestendige natuur**

De natuur is kwetsbaar voor klimaatverandering. Temperatuurstijging leidt tot een afname van het geschikte areaal voor koudeminnende soorten in Nederland en een toename van het geschikte areaal voor warmteminnende soorten. Frequentere en heftiger fluctuaties in het weer leiden tot sterkere fluctuaties in populatiegrootte. Ook werkt klimaatverandering door in de standplaatsfactoren. Hierdoor kunnen soorten uitsterven en de geschiktheid van leefgebieden voor soorten en ecosystemen veranderen. Bij uitvoering van het huidige beleid blijft de natuur kwetsbaar voor de gevolgen van klimaatverandering. Het huidige beleid is sterk gericht op het laten



*Figuur 5.2: Klimaatcorridor moeras: adaptatiemaatregelen gericht op moerasnatuur kunnen het best genomen worden binnen de klimaatcorridor. Tevens is aangegeven hoe de klimaatcorridor kan aansluiten op internationale moerasgebieden (Bron: Vonk et al., 2010).*

voortbestaan van specifieke soorten op specifieke plaatsen. Met het oog op een veranderend klimaat zou het beleid erop gericht moeten zijn om het adaptief vermogen van de natuur te vergroten<sup>121</sup>. Het adaptief vermogen is het vermogen van een ecosysteem om ondanks verstoringen te blijven functioneren. Hiervoor is een strategie ontworpen voor natuur die is opgebouwd uit drie pijlers, die in combinatie het adaptief vermogen van ecosystemen en soorten vergroten. De eerste pijler richt zich op het (internationaal) met elkaar verbinden van natuurgebieden om het verschuiven van soorten mogelijk te maken en het vergroten van natuurgebieden zodat ze beter bestand zijn tegen weersextremen. De tweede pijler richt zich op het vergroten van de heterogeniteit in natuurgebieden en omringend landschap. De derde pijler richt zich op het verbeteren van de standplaatscondities in natuurgebieden en daarbij zo veel mogelijk gebruikmaken van natuurlijke landschapsvormende processen, zodat ecosystemen zich geleidelijk kunnen aanpassen aan het nieuwe klimaat. Deze strategie is ruimtelijk uitgewerkt voor verschillende natuurtypen, zoals moeras, bos, heide en duin en kust. De Ecologische Hoofdstructuur en de robuuste verbindingen zijn essentiële onderdelen in zo'n strategie van 'no regret' maatregelen. Een ruimtelijke uitwerking van deze strategie is het ontwikkelen van een internationale

‘klimaatcorridor moeras’ (zie figuur 5.2). Deze klimaatcorridor moeras verbindt de Nederlandse natte natuurgebieden onderling en met moerassen elders in Europa. De klimaatcorridor heeft als voordeel dat adaptatiemaatregelen geconcentreerd worden toegepast. Maatregelen kunnen daardoor kosteneffectiever worden uitgevoerd, omdat ze op de meest geschikte locaties worden ingezet en omdat ruimtelijk geconcentreerde maatregelen elkaar versterken.

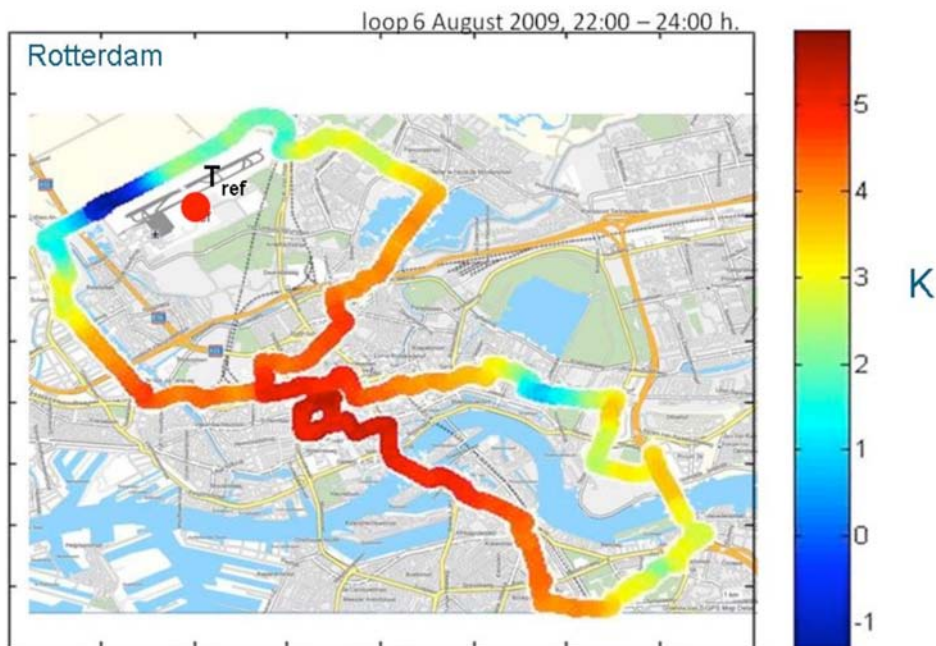
## 5.4 Stedelijk gebied

### Hitte in de stad

In steden lopen de temperaturen hoger op dan in rurale gebieden, omdat daar het zogenoemde hitte-eiland effect (Urban Heat Island) optreedt: de temperatuur in een stad is gemiddeld hoger dan in het omliggende gebied. De verschillen zijn vooral 's nachts groot. In een stad als Londen kan het verschil tussen stadscentrum en omgeving gedurende de nacht meer dan tien graden Celsius bedragen. Bovendien gaan perioden met hoge temperaturen in de stad veelal gepaard met verslechterde luchtkwaliteit en droogte. Dit alles heeft grote gevolgen voor de leefbaarheid van stedelijke gebieden en de gezondheid van de bevolking. In een groot aantal Europese en Aziatische landen en in Noord-Amerika wordt al decennialang onderzoek gedaan naar het hitte-eiland effect. Tot voor kort was hitte-eiland-effect geen 'issue' in Nederland. Door de ligging aan zee en het gematigde klimaat werd het hitte-eiland-effect voor Nederlandse steden gering geacht. De warme zomers van 2003 en 2006 waren aanleiding om ook in Nederland onderzoek te doen, omdat in vergelijking met andere Europese landen de extra sterfte in Nederlandse steden relatief hoog was.

Doordat de verstedelijking in Nederland en het aantal warme dagen in Nederland toenemen, kan het hitte-eiland-effect groter worden. Rotterdam en Arnhem vroegen zich af of het stedelijk hitte-eiland-effect een probleem is of kan worden, en welke adaptatiemaatregelen zij eventueel zouden kunnen nemen. Kwantitatieve gegevens over het stadsklimaat in Nederland ontbreken echter. Deze zijn noodzakelijk voor het ontwikkelen van effectieve adaptatiestrategieën.

In 2009 is het stedelijk hitte-eiland effect in Nederland voor het eerst in kaart gebracht. Dit gebeurde voor Rotterdam in het kader van het Klimaat voor Ruimte-project 'Heat stress in the city' en in het project 'Future Cities' in Arnhem. Het meetprogramma in Rotterdam bestaat uit verschillende meetmethodieken die het hitte-eiland effect aantonen. Met behulp van metingen met een bakfiets die is omgebouwd tot een mobiel meetplatform is het hitte-eiland effect op warme dagen voor de stad Rotterdam in kaart gebracht<sup>122</sup>. Uit de metingen blijkt dat het stedelijk hitte-eiland-effect vooral in de avond optreedt. In de ochtend waren er slechts geringe temperatuurverschillen tussen de stad en het KNMI-station Zestienhoven (referentie buiten de stad). In de middag was de temperatuur in het stadscentrum ongeveer twee graden Celsius hoger, hoewel er op een aantal locaties nabij groen en water een lagere temperatuur werd gemeten. In de avond liepen de temperatuurverschillen tussen stad en referentiestation op tot meer dan zeven graden Celsius. De temperatuurverschillen waren pas aan het einde van de nacht bijna verdwenen. Deze resultaten worden ondersteund door continuumetingen van nieuw geplaatste automatische weerstations. Vergelijkbare resultaten zijn ook



*Figuur 5.3 De twee routes van de bakfietsmetingen in Rotterdam op zes augustus 2009 verricht door Bert Heusinkveld e.a. (Wageningen Universiteit)<sup>122</sup>. Weergegeven zijn de verschillen tussen de luchttemperaturen (in graden Celsius) gemeten met de bakfietsen en die op het KNMI-station Zestienhoven na zonsondergang (22-24 uur).*

verkregen uit metingen in Arnhem en Utrecht<sup>123</sup> en de metingen van weeramateurs verspreid over negentien andere steden en dorpen<sup>139</sup>. De resultaten van de verschillende metingen bevestigen dat de omvang van het hitte-eiland effect van Nederlandse steden aanzienlijk kan zijn en vergelijkbaar is met dat van andere Europese steden. Er is geen duidelijke relatie tussen de omvang van het stedelijke hitte-eiland effect en stadsgrootte aangetoond. Met de meetgegevens is het ook mogelijk om de 'Physiologically Effective Temperature' (PET) te berekenen, een maat voor het door de mens ervaren thermisch comfort<sup>122</sup>. Onder vergelijkbare weersomstandigheden zijn in 2009 ook bakfiets metingen in Arnhem uitgevoerd. Het centrum van Arnhem laat een sterk hitte-eiland effect zien dat vergelijkbaar is met dat van Rotterdam.

Arnhem onderzoekt welke maatregelen het kan nemen om het hitte-eiland effect te beperken. Om te bepalen waar de problematiek het grootst is, is er in het kader van het Future City project samen met de universiteit van Kassel de eerste hittekaart van Nederland gemaakt. In Arnhem lijkt een aantal adaptatiemaatregelen kansrijk. Arnhem kan gebruik maken van de koele dalwinden die in de avond optreden. Een adaptatiemaatregel kan daarom zijn, om het open karakter van de dalen naar het stadscentrum te behouden en te versterken, zodat de dalwinden het centrum kunnen bereiken. Daarnaast werkt het vergroten van het aandeel groen en blauw in de stad verkoelend. De uiterwaarden kunnen als windcorridor dienen. Wind heeft geen effect op de temperatuur, maar verbetert het thermisch comfort van mensen gedurende de warme zomermaanden.

Steden kunnen zich ook richten op het reflecteren van zonlicht. Platte daken zijn veelal donker van kleur, en reflecteren maar tien tot twintig procent van het zonlicht. Door deze daken wit te maken kan de reflectiviteit (albedo) tot zestig procent verhoogd worden. Hierdoor neemt de temperatuur in de stad af. Vanwege de lokale effecten (afkoeling in de zomerse hitte) wordt dit vaak als een adaptatiemaatregel voorgesteld. De afkoelende werking heeft echter ook een mitigerende invloed op de opwarming als gevolg van het toegenomen broeikaseffect. Volgens een recente studie staat de afkoeling ten gevolge van het hoog reflectief maken van honderd vierkante meter donker dak gelijk aan het maskeren van het opwarmingseffect van vijf tot tien ton CO<sub>2</sub><sup>124</sup>.

## 5.5 Conferentie: *Deltas in Times of Climate Change*

In september is in Rotterdam de conferentie 'Deltas in Times of Climate Change'<sup>125</sup> gehouden. Deze conferentie met meer dan 1200 deelnemers was een groot succes. De focus lag op het uitwisselen van kennis, het versterken van de relaties tussen verschillende delta's en het ontwikkelen van een science-policy interface. De conferentie leverde interessante inzichten op voor klimaatadaptatie. Deltasteden wachten bijvoorbeeld niet op beleid, geld en richtlijnen van hun nationale overheden. Ze stropen zelf de mouwen op en zoeken elkaar op om ervaringen, kennis en ideeën uit te wisselen. Ook eisen ze een formele positie in de onderhandelingen over de toewijzing van adaptatiefondsen. De bouwsector begint ook meer interesse te tonen in klimaatadaptatie. Zij wijst erop dat er ruimte nodig is voor experimenten. In de slotsessie kwamen de volgende conclusies naar voren:

- Een integrale aanpak van klimaatadaptatie in delta's is essentieel
- Klimaatadaptatie biedt economische perspectieven, bijvoorbeeld bij herinrichting en innovatief bouwen
- Mega cities zijn extra kwetsbaar voor klimaatverandering
- We hebben de technieken en de kennis om adaptatie vorm te geven, we missen echter de toepassingen
- Gezondheidsrisico's worden genegeerd

Tijdens deze conferentie is de Delta Alliantie officieel gelanceerd. Dit is een samenwerkingsverband tussen deltagebieden in Nederland, Vietnam, Indonesië, Egypte, Californië en China<sup>126</sup>. Andere delta's in de Verenigde Staten, Bangladesh, Brazilië en diverse EU-landen willen zich aansluiten bij dit platform. De Delta Alliantie bevordert kennisuitwisseling over deltavraagstukken wereldwijd. Het gezamenlijke doel is om ontwikkeling en verspreiding van nieuwe en bestaande kennis te ondersteunen, zodat deltaregio's beter kunnen reageren op de problemen waarmee zij geconfronteerd worden door klimaatverandering. De Delta Alliantie is via het nationale programma 'Water Mondiaal' gekoppeld aan het internationale Nederlandse waterbeleid. Er wordt daarnaast nauw samengewerkt met de 'World Estuary Alliance' en het 'Connecting Delta Cities' stedennetwerk.

## 5.6 *Beleidsontwikkeling nationaal, Europees en mondiaal*

### Nationaal: het Deltaprogramma en regionale initiatieven

#### *Deltaprogramma*

In het Nationale Deltaprogramma<sup>127</sup> werken rijk en regio samen met inbreng van maatschappelijke organisaties en bedrijfsleven. Het doel is Nederland ook voor volgende generaties te beschermen tegen hoogwater en te zorgen voor voldoende zoet water. Het Deltaprogramma kan beleidswijzigingen agenderen en voorbereiden voor het volgende Nationaal Water Plan. Er worden vijf beslissingen voorbereid binnen het Deltaprogramma, die voor 2015 aan het kabinet worden voorgelegd: 1) de actualisatie en herijking van de veiligheidsnormen, 2) de zoetwaterstrategie voor een adequate watervoorziening, 3) het peilbeheer van het IJsselmeer op lange termijn, 4) het beveiligen van het Rijnmond- en Drechtstedengebied met behoud van economische waarde en 5) randvoorwaarden met betrekking tot water voor de (her)ontwikkeling van bebouwd gebied. Het Deltaprogramma is opgebouwd uit negen deelprogramma's voor veiligheid, zoetwater, nieuwbouw en herstructurering, het IJsselmeergebied, de Rijnmond-Drechtsteden, de Zuidwestelijke Delta, rivieren, de kust en het Waddengebied.

#### *Deltacommissaris*

De Deltacommissaris bevordert de totstandkoming en de uitvoering van het Deltaprogramma. Hij adviseert de coördinerend bewindspersoon over maatregelen en voorzieningen ter beperking van overstromingsrisico's en waterschaarste. De juridische grondslag voor het Deltaprogramma is beschreven in de ontwerp Deltawet. Hierin staan ook de taken en bevoegdheden van de Deltacommissaris en de instelling van het Deltafonds beschreven. Deze wet is nog niet behandeld in de Tweede Kamer. De basis voor het huidige Deltaprogramma ligt in het Instellingsbesluit Deltacommissaris, dat vooruitloopt op de wet.

#### *Regionaal*

In Nederland vinden ook op regionaal niveau tal van initiatieven plaats, zoals bij gemeenten, provincies en waterschappen. Voorbeelden zijn het Rotterdam Climate Initiative en het Gelders Klimaatprogramma 2008-2011. Binnen de nationale onderzoekprogramma's Klimaat voor Ruimte en Kennis voor Klimaat wordt intensief samengewerkt in multidisciplinaire workshops - zogenoemde klimaatateliers - om kennis over klimaatverandering en mogelijke adaptatiemaatregelen beschikbaar te maken voor verschillende overheden.

### Europa: adaptatiestrategie van vier pijlers

In 2013 moet de Europese Adaptatiestrategie gerealiseerd zijn. Deze bevat vier pijlers: 1) het vergroten van de wetenschappelijke kennis (kennisbasis), 2) het integreren van klimaatimpacts en adaptatie voor relevante sectoren, 3) het toepassen van beleidsinstrumenten en 4) het meenemen van klimaatadaptatie in buitenlands beleid, met name ontwikkelings samenwerking.

In de eerste pijler wordt een *Adaptatie Clearinghouse* gemaakt, een klimaatinformatiesysteem om kwetsbare groepen, sectoren en gebieden te helpen bij het evalueren van hun kwetsbaarheid en het formuleren van aanpassingsmaatregelen. De tweede pijler

gaat vooral over het klimaatbestendig maken van beleid op terreinen als gezondheid, land- en bosbouw, biodiversiteit, ecosystemen en water, zee en kustgebieden alsmede productiesystemen en fysieke infrastructuur. In steeds meer lidstaten wordt gewerkt aan het ontwikkelen van een Nationale Adaptatiestrategie en aan daarbij horende uitvoeringsplannen. Hierbij zoeken beleidsmakers en onderzoekers samenwerking op het gebied van klimaatadaptatie en rampenbeheersing. De pijlers drie en vier moeten nog worden ingevuld.

### **Mondiaal: adaptatiekosten**

De jaarlijkse mondiale adaptatiekosten van een temperatuurstijging van twee graden Celsius tot 2050 zijn ruw geschat op ongeveer honderd miljard US dollar<sup>128</sup>. Voor Oost-Azië, de Pacific, Noord-Afrika, het Midden-Oosten, Europa, Centraal-Azië en Noord- en Zuid-Amerika liggen die kosten vanaf circa 2030 beneden 0,2 procent van het BNP. Voor de Sub-Sahara blijft dit boven 0,4 procent van het BNP.

Ongeveer zeventig procent van de kosten zijn watergerelateerd en hebben te maken met bescherming van kustgebieden, infrastructuur, overstromingen van rivieren en drinkwater. De grootste mogelijkheden tot kostenreductie zitten in de watervoorziening en maatregelen tegen overstromingen. Het belang van watergerelateerde adaptatie wordt onder meer onderkend door de Mexicaanse regering, in 2010 gastheer van de klimaatconferentie. Zo wil de Mexicaanse overheid een alliantie initiëren van internationale organisaties (Wereldbank, GWP, IUCN, IWA, WWF, CPWC) en bilaterale partners om watergerelateerde adaptatie te stimuleren. De overheid van Zuid-Afrika, gastheer van de klimaatconferentie in 2011, heeft aangegeven een dergelijk watergerelateerd initiatief van harte te ondersteunen. UNFCCC heeft een voorstel voor een waterprogramma in beraad, nadat Ecuador, gesteund door vijf andere landen, dat verzoek in Cancun had ingediend. Nederland en de EU hebben dat verzoek overigens niet gesteund, omdat zij van mening zijn dat een dergelijk programma onder toezicht van UNFCCC de discussie over CO<sub>2</sub>-emissiereductie nog complexer zal maken. De 'Dialogues on Water and Climate Change' gehouden in Cancun zijn te vinden op [www.D4WCC.org](http://www.D4WCC.org).

In Cancun werd ingestemd met een voorstel om ontwikkelde landen hun emissies te laten reduceren door het opnieuw verzadigen van gedraineerde veengebieden. Dit is een stimulans om verlies aan wetlands te verminderen, want onder het huidige Kyoto Protocol werden deze emissies niet meegeteld. Verder werd er overeenstemming bereikt over het 'Cancun Adaptation Framework', dat bedoeld is om daadwerkelijke actie op het gebied van klimaatadaptatie te ondersteunen. Voor het 'fast-start-fund' is een bedrag van 7,2 miljard euro toegezegd.





# 6

## Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

In 2010 kreeg het IPCC veel aandacht. Het begon eind 2009 naar aanleiding van de openbaar gemaakte e-mails van de Climatic Research Unit van de Universiteit van East Anglia. Begin 2010 kwamen daar fouten uit de laatste IPCC (Werkgroep 2) rapportage bij. Dat leidde tot een oproep van Nederlandse politici om onderzoek te doen naar de wijze waarop IPCC-rapporten tot stand komen en een verzoek van voormalig minister Cramer aan het Planbureau voor de Leefomgeving om de regionale hoofdstukken van Werkgroep 2 aan een nader onderzoek te onderwerpen. Ook in Engeland en de Verenigde Staten werd vanuit de politiek om opheldering gevraagd en vanuit de VN werd de Interacademy Council uitgenodigd om een audit van het IPCC uit te voeren. Een groep Nederlandse klimaatonderzoekers schreef een open brief aan de Tweede Kamer waarin zij ingingen op de commotie en voorstellen deden om de kwaliteitsborging van het IPCC te verbeteren<sup>129</sup>. Aangezien de geloofwaardigheid van het IPCC niet eerder in deze mate ter discussie is gesteld, is in deze Staat van het Klimaat gekozen voor een hoofdstuk over het IPCC met een duiding van de kritiek vanuit de wetenschap.

### 6.1 *Wat is het IPCC en hoe werkt het?*

Het IPCC is in 1988 in het leven geroepen door twee VN-organisaties, de World Meteorological Organization en het United Nations Environment Programme. Het doel was om de VN te voorzien van solide wetenschappelijke assessments over klimaatverandering als kennisbasis voor de internationale klimaatonderhandelingen. Zo hebben de assessments mede aanleiding gegeven tot de oprichting van het klimaatverdrag van de VN (UNFCCC) en de totstandkoming van het Kyoto Protocol.

De taak van het IPCC is om de bestaande wetenschappelijke kennis over het klimaatstelsel en klimaatverandering te beoordelen, samen te vatten en toegankelijk te maken voor beleidsmakers en overheden. Het IPCC doet zelf geen onderzoek, maar rapporteert in 'assessment rapporten' over de stand van zaken van gepubliceerd wetenschappelijk onderzoek, waaraan wereldwijd vele duizenden onderzoekers meewerken. Het IPCC kent drie werkgroepen: Werkgroep I houdt zich bezig met het begrip van het klimaatstelsel, Werkgroep II met de gevolgen van en aanpassing aan klimaatverandering (adaptatie) en Werkgroep III rapporteert over de vermindering van de broeikasgasuitstoot (mitigatie). Naast de drie wetenschappelijke werkgroep-rapporten (enige duizenden pagina's in totaal) verschijnt er ook een Synthesis Rapport, waarin de conclusies van de werkgroep-rapporten worden geïntegreerd.

Het eerste assessment rapport stamt uit 1990. Het meest recente rapport, het vierde, verscheen in 2007. De rapporten verschijnen eens in de vijf à zes jaar. Op dit moment wordt gewerkt aan het vijfde rapport dat voor 2013-2014 gepland staat. De rapporten van het IPCC zijn belangrijk, omdat ze als gezaghebbende samenvatting van de meest recente wetenschappelijke kennis worden gezien en daarmee van invloed zijn op de politieke besluitvorming. Nederland is vertegenwoordigd in het panel van het IPCC via de ministeries IenM, BZ en ELenI en de kennisinstellingen KNMI en PBL. Het KNMI (ministerie van IenM) is nationaal 'focal point' van het IPCC (pervoerder namens Nederland) en de Nederlandse delegatie is onderverdeeld in aparte focal points voor de drie werkgroepen. De delegatie bestaat vaak ook uit experts of adviseurs, afhankelijk van de onderwerpen die aan bod komen tijdens de vergaderingen. Op de website [www.klimaatportaal.nl](http://www.klimaatportaal.nl) is meer informatie te vinden over het IPCC en de Nederlandse inbreng.

### Werkwijze assessment rapporten

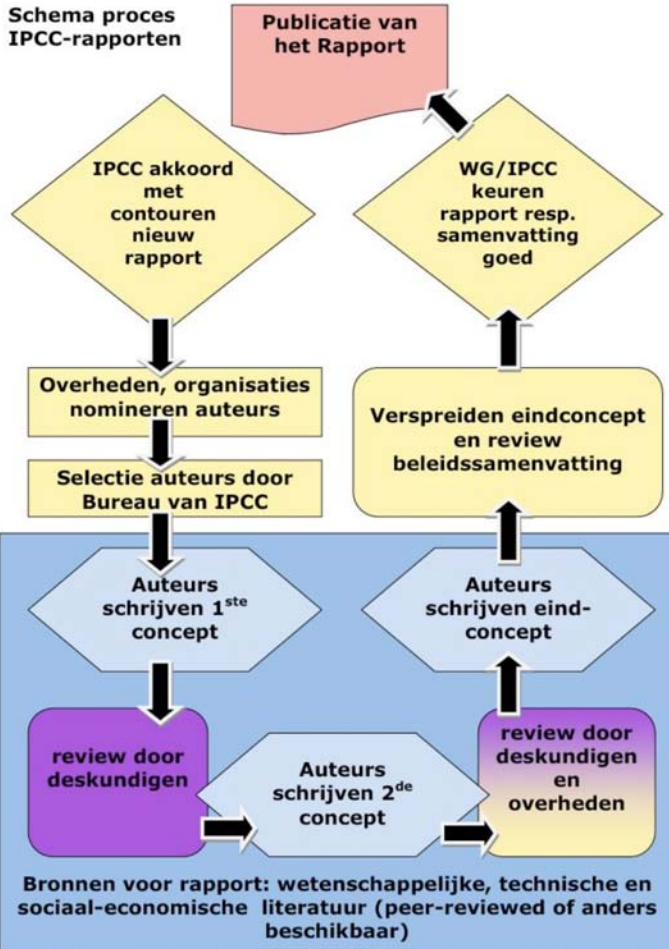
De landen die lid zijn van het IPCC besluiten over de structuur en globale planning van de rapportages. Vervolgens worden auteursteams samengesteld. In totaal gaat het hierbij om honderden wetenschappers. De auteurs worden door de regeringen van de 194 deelnemende landen en door de internationale onderzoekprogramma's zoals WCRP en IGBP genomineerd op basis van hun expertise. De voorzitters van de drie werkgroepen selecteren de auteurs uit alle genomineerde wetenschappers, waarbij gelet wordt op benodigde kennis, publicatielijst, ervaring met het schrijven van assessments (in teamverband) en een goede geografische spreiding van herkomst van auteurs. De benodigde expertisevelden hangen af van de inhoudsopgave per werkgroep. De inhoudsopgaven van de IPCC-rapporten worden door alle VN-landen tijdens plenaire vergaderingen van het IPCC vastgesteld.

De conceptrapporten, die door de auteurs in teamverband zijn opgesteld, worden uitgebreid commentariseerd door wetenschappelijke experts en regeringsvertegenwoordigers. Dit gebeurt in twee zogeheten review rondes. De commentaren worden zo zorgvuldig mogelijk verwerkt onder toezicht van onafhankelijke review editors. Zij moeten er voor waken dat de reviewcommentaren compleet en correct behandeld worden.

### Summary for Policy Makers: een geval apart

De afzonderlijke werkgroeprapporten worden voorzien van een 'Technical Summary' (TS) en een 'Summary for Policy Makers' (SPM). Op de TS hebben regeringen geen invloed, op de SPM van vijftien à twintig bladzijden wel. Afgevaardigden van de deelnemende landen moeten hieraan goedkeuring geven, maar kunnen ook wijzigingen voorstellen. Voor goedkeuring is consensus nodig van alle landendelegaties. De voorzitters van de werkgroepen en de hoofdauteurs van de individuele hoofdstukken hebben de taak om te bewaken dat de definitieve tekst van de op het beleid gerichte SPM evenwichtig is en in overeenstemming met het wetenschappelijke hoofdrapport. Zonder hun goedkeuring is vaststelling van de SPM de facto niet mogelijk.

Het lijkt vreemd dat er over wetenschappelijke conclusies in de SPM naar 'consensus' wordt gestreefd. Maar bij een rapport van meer dan duizend pagina's kunnen nu eenmaal verschillen van opvatting bestaan over de meest relevante punten. Als er



binnen de schrijversteams geen overeenstemming is kan er wel 'consensus' bestaan over het feit dat er een verschil van mening is. Dat moet dan ook gerapporteerd worden. De IPCC-procedures vragen om een rapportage van een 'broad range of views' dus niet om consensus over één bepaalde visie. Het consensusproces in de SPM geeft de mogelijkheid om tot een gezamenlijk geaccepteerde samenvatting te komen, zonder afbreuk te doen aan de wetenschappelijke juistheid.

In het kader van de huidige discussie over mogelijk teveel klimaatalarmisme in de IPCC assessments, is het belangrijk te vermelden dat het panel (alle VN-landen) is samengesteld uit zowel landen die verregaande maatregelen willen tegen klimaatverandering, als landen die dat niet of beperkt willen (bijvoorbeeld de olieproducerende landen). Hierdoor krijgen vele tegengestelde gezichtspunten aandacht en wordt de uiteindelijke beleidssamenvatting een neutrale weergave van de hoofdconclusies van onderliggende hoofdstukken. In die zin hebben politici invloed op de SPM. Maar juist omdat alle VN-landen bij de opstelling van de SPM zijn betrokken, blijken de landen de conclusies van de wetenschappers meestal grotendeels te accepteren.

## 6.2 Onzekerheden in de IPCC-rapporten

### Onzekerheden

Het klimaatsysteem is bijzonder complex. Daardoor is het onmogelijk om uitspraken te doen over (toekomstige) ontwikkelingen die 100 procent zeker zijn. Dit komt deels door het bestaan van interne variabiliteit (chaos) in het klimaatsysteem, maar ook door onzekerheden in de meetreeksen en de beperkingen van klimaatmodellen. Voor de toekomst komt daar de onzekerheid van uitstoot van broeikasgassen bij. In de assessments tot nu toe zijn door de drie werkgroepen verschillende terminologieën gebruikt voor de beschrijving van onzekerheden. In de volgende IPCC-rapporten zal een eenduidige terminologie voor alle drie werkgroepen worden toegepast.

Onzekerheden kunnen op verschillende manieren worden geclassificeerd. Hoofdtypen zijn 'onzekerheid over getallen' en 'structurele onzekerheid'. Getalonzekerheid wordt doorgaans bepaald met behulp van statistische methoden, zoals de standaardafwijking. Structurele onzekerheid doet zich voor wanneer de onderliggende processen niet volledig begrepen worden. In de meeste gevallen maken deskundigen schattingen van deze onzekerheden, die onvermijdelijk subjectieve elementen bevatten. Dat geldt in het bijzonder voor toekomstprojecties. Verder is het niet uitgesloten dat nieuwe inzichten in de toekomst tot andere schattingen van de klimaatveranderingen zullen leiden. Deze onzekerheden zijn slechts ten dele het gevolg van een gebrek aan kennis. Soms kunnen onzekerheden kleiner worden door meer onderzoek, maar meer kennis leidt niet altijd tot verkleining van de onzekerheidsmarges, wel tot het beter in kaart brengen van de bron van onzekerheden.

In een rapport van het Rathenau Instituut<sup>130</sup> wordt nog een derde vorm van onzekerheid onderscheiden. Deze wordt gegenereerd door verschillen van inzicht in de implicatie van de kennis. Zo kwamen er in het verleden alarmerende berichten uit de wetenschap over ernstige problemen als gevolg van het gebruik van fossiele brandstoffen. Anderen sloegen een gematigder toon aan. Daardoor konden beleidsmakers moeilijk inschatten hoe ernstig de problematiek was en op welke termijn actie moest worden ondernomen. Mede om die reden is ervoor gekozen om het IPCC op te richten. Op zichzelf is dat een goede manier om de verbinding tussen wetenschap en beleid vorm te geven. Lange tijd heeft dit ook gewerkt, er was draagvlak voor maatregelen en internationaal klimaatbeleid. In het huidige tijdsgewricht, waarbij particuliere meningen (veelal geuit via sociale media zoals blogs) door sommige politici op gelijk plan worden gezet met het oordeel van experts, loopt deze vorm van verbinding tussen wetenschap en beleid tegen beperkingen aan. Dit is in 2010 versterkt doordat de geloofwaardigheid van het IPCC een knauw heeft gekregen.

### Omgaan met onzekerheden

Het omgaan met wetenschappelijke onzekerheden blijkt voor niet-wetenschappers vaak lastig. Beleidsmakers willen zekerheden die de wetenschap (nog) niet of nooit kan leveren. Wetenschap kan immers geen eenduidig antwoord geven op alle vragen. Onzekerheid is een algemeen probleem dat zich op andere terreinen van de maatschappij ook voordoet. Economische modellen zijn immers ook niet vrij van onzekerheden. Om recht te doen aan de onvermijdelijke onzekerheden worden wetenschappelijke uitkomsten als 'bandbreedtes' gepresenteerd. Op basis daarvan kunnen door de politiek waardege laden risico-afwegingen worden gemaakt.

Bij complexe vraagstukken, zoals klimaatverandering, zijn de onzekerheden groot, vooral als het gaat om toekomstige veranderingen. In dat geval worden de talrijke onzekerheden gecombineerd en wordt de uiteindelijke ontwikkeling weergegeven door middel van verschillende scenario's. De KNMI-klimaatscenario's zijn hiervan een voorbeeld<sup>131,132</sup>. Hierbij worden niet één, maar meerdere mogelijke toekomstbeelden geschetst, die afhankelijk van de omstandigheden wel of niet uit kunnen komen. Hierbij wordt erkend dat er onzekerheden zijn (binnen bepaalde breedtes) maar wordt beleidsmakers wel zicht geboden op de mogelijke consequenties van de verschillende wijzen waarop klimaatverandering zich kan voltrekken.

## 6.3 Kritiek op het IPCC en de klimaatwetenschap

### Openbaar gemaakte e-mails

De duizenden verspreide e-mails van de Climatic Research Unit (CRU) van de universiteit van East-Anglia (onder andere van Phil Jones) hebben tot grote media-aandacht geleid. Vooral op klimaatblogs met een sceptische inslag wordt schande gesproken over de manier waarop sommige klimaatwetenschappers met andersdenkenden omspringen. Specifieke zinsneden uit de mailwisseling van de CRU werden hiervoor als illustratie aangevoerd. Diverse commissies vanuit zowel wetenschappelijke als politieke hoek (zoals Britain's Royal Society<sup>133</sup>, House of Commons<sup>134</sup>, Penn State University<sup>135</sup>, National Academy of Sciences<sup>136</sup>) hebben deze zaak onderzocht. Alle hebben geconcludeerd dat er geen sprake is geweest van malafide praktijken. Wel werd opgemerkt dat Jones en anderen transparanter hadden kunnen handelen met verzoeken tot openbaarmaking van bronnen, ook al had dit geen invloed op de kwaliteit van hun werk. Op dezelfde blogs werden deze uitspraken vervolgens als 'witwasoperaties' neergezet.

### Gevonden fouten in het vierde assessment rapport

Na de verschijning van de e-mails in de publiciteit werden er fouten gevonden in het vierde assessment rapport van het IPCC. De belangrijkste fouten die breed werden uitgemeten in de media, betroffen foutieve schattingen van het afsmelten van de gletsjers in het Himalayagebied en een foutief percentage landoppervlak in Nederland dat onder de zeespiegel ligt. De commotie die hieruit is ontstaan heeft in Nederland, maar ook in diverse andere landen, geleid tot bezorgdheid vanuit de politiek. In Nederland heeft de Tweede Kamer de minister van Milieu gevraagd een onderzoek in te stellen naar de gevonden fouten. De toenmalig minister heeft het Planbureau voor de Leefomgeving de opdracht gegeven om dit onderzoek uit te voeren. Op wereldwijd niveau is er op verzoek van diverse VN-landen door secretaris-generaal Ban Ki-moon van de VN en IPCC-voorzitter Rajendra Pachauri besloten een internationaal onderzoek in te stellen naar de processen en werkwijzen van het IPCC en voorstellen te doen voor toekomstige assessments. Hiervoor is de Inter Academy Council (IAC) gevraagd.

### PBL onderzoek

De gevonden fouten hadden betrekking op het tweede deel van het assessment (adaptatie en kwetsbaarheden) en specifiek op de regionale hoofdstukken in dit deel. Het PBL werd gevraagd deze hoofdstukken te onderzoeken en daarbij ook na te gaan in hoeverre de onjuistheden van invloed zijn geweest op de hoofdconclusies in het rapport. De Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW) heeft toegezien op de

kwaliteit van dit onderzoek. Begin juli 2010 rapporteerde het PBL<sup>137</sup> dat er geen fouten gevonden waren die de hoofdconclusies van het rapport ondergraven. Wel zijn enkele fouten gevonden in de onderliggende hoofdstukken en in sommige gevallen bleken conclusies onvoldoende gebaseerd op het onderliggende materiaal. Om onduidelijkheden en onzorgvuldigheden zo veel mogelijk te voorkomen moet het IPCC meer gaan investeren in de kwaliteitscontrole, zo luidde de conclusie. Ook wordt gepleit voor een publiek meldpunt voor mogelijke fouten in toekomstige IPCC-rapporten.

### IAC-onderzoek

Op 30 augustus 2010 presenteerde Harold T. Shapiro (voorzitter van de IAC-commissie) bij de VN in New York het rapport 'Climate change assessments, review of the processes and procedures of the IPCC'<sup>138</sup>. Het IAC concludeerde dat de processen die het IPCC gebruikt bij zijn assessment rapporten in het algemeen adequaat zijn gebleken. Maar het IPCC dient wel zijn managementstructuur fundamenteel te herzien, zijn procedures te versterken en de communicatie te verbeteren met het oog op de groeiende omvang en complexiteit van zijn werk en de toegenomen maatschappelijke consequenties en bijgevolg de steeds kritischer houding van het grote publiek.

De aanbevelingen van het IAC zijn besproken tijdens de algemene vergadering van het IPCC in oktober 2010 in Zuid Korea. De uitkomsten van het IAC-rapport waren het belangrijkste agendapunt en de meeste aanbevelingen zijn overgenomen. Een aantal aanbevelingen was al in het proces meegenomen voor het vijfde assessment rapport. Zo is door het IPCC een protocol opgesteld voor het omgaan met fouten, is besloten dat onzekerheden voortaan overal op een consistente manier worden weergegeven, worden de regels voor het omgaan met 'grijze literatuur' aangepast en zal er nog explicieter ruimte worden gegeven aan uiteenlopende wetenschappelijke visies. Voor de andere aanbevelingen zijn vier taakgroepen ingesteld die zullen rapporteren tijdens de volgende vergadering. Deze taakgroepen zijn gericht op governance en management, procedures, communicatiestrategie en het tegengaan van belangenverstrengeling. Nederland is vertegenwoordigd in de eerste drie taakgroepen. Deze taakgroepen moeten voorstellen uitwerken waarover de plenaire IPCC-vergadering in mei 2011 beslist. Deze besluiten zijn bedoeld voor directe implementatie in de vijfde assessment. Het gaat daarbij vooral om transparantie van het proces en verbetering van de kwaliteitscontrole op de inhoud.

## 6.4 Voorbereidingen vijfde assessment rapport IPCC

In april 2008 zijn de structuur en globale planning voor het vijfde assessment rapport vastgesteld en in oktober 2009 zijn de inhoudsopgaven van de wederom drie deelrapporten goedgekeurd door het panel. De auteursteams (in totaal 832 wetenschappers) zijn in het voorjaar van 2010 samengesteld en de inhoudelijke voorbereidingen zijn in gang gezet. De onderverdeling via de drie deelrapporten is dezelfde als in de vorige assessments. Ze rapporteren over de inzichten in het klimaatsysteem en klimaatverandering (fysische basis rapport verwacht in september 2013), de gevolgen voor natuur en mens en de mogelijkheden tot aanpassing (adaptatie en kwetsbaarheden, rapport verwacht in maart 2014) en de aanpak van broeikasgassen (mitigatie, april 2014). In september 2014 is het syntheserapport gepland, waarin een synthese wordt gemaakt van de hoofdconclusies van de drie deelrapporten. Daarnaast komen er twee speciale rapporten: over hernieuwbare energie (mei 2011) en over risicomanagement van extreme klimaatverandering (november 2011).

# Referenties

1. Van Oldenborgh, 2010, Een winter vol extremen: Koud in Europa, Siberië en VS, maar wereldwijd toch warm, 18 maart 2010, [http://www.knmi.nl/cms/content/77820/een\\_\\_winter\\_vol\\_extremen](http://www.knmi.nl/cms/content/77820/een__winter_vol_extremen)
2. Cohen, J., J. Foster, M. Barlow, K. Saito en J. Jones, 2010, Winter 2009-2010: A case study of an extreme Arctic Oscillation event, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L17707, doi:10.1029/2010GL044256
3. Cattiaux, J., R. Vautard, C. Cassou, P. Yiou, V. Masson-Delmotte en F. Codron, 2010, Winter 2010 in Europe: A cold extreme in a warming climate, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L20704, doi:10.1029/2010GL044613
4. [www.wmo.int/pages/mediacentre/news/index\\_en.html](http://www.wmo.int/pages/mediacentre/news/index_en.html)
5. Haigh, Joanna D., Ann R. Winning, Ralf Toumi en Jerald W. Harder, 2010, An influence of solar spectral variations on radiative forcing of climate, *Nature*, 467, pp. 696-699, doi:10.1038/nature09426
6. Haarsma, 2010, Extreme hitte in Rusland en overstromingen in Pakistan in de zomer 2010: Incidenten of klimaatsignaal?, 19 augustus 2010, [http://www.knmi.nl/cms/content/83339/extreme\\_weersituaties\\_incidenten\\_of\\_klimaatsignaal](http://www.knmi.nl/cms/content/83339/extreme_weersituaties_incidenten_of_klimaatsignaal)
7. Knap, W. en D. Vogelesang, 2010, Meten en traceren van vulkaanstof boven Nederland, 22 april 2010, [http://www.knmi.nl/cms/content/80104/meten\\_en\\_traceren\\_van\\_vulkaanstof\\_boven\\_nederland](http://www.knmi.nl/cms/content/80104/meten_en_traceren_van_vulkaanstof_boven_nederland)
8. Floor, G., 2010, Vliegtuigen versus vulkanen: wie is de grootste vervuiler?, *Zenit*, 37-6, 294-297
9. De Laat, J. en G.J. van Oldenborgh, 2010, Klimaateffecten van vulkaanuitbarstingen, 16 april 2010, [http://www.knmi.nl/cms/content/79812/klimaateffecten\\_van\\_vulkaanuitbarstingen](http://www.knmi.nl/cms/content/79812/klimaateffecten_van_vulkaanuitbarstingen)
10. Comiso, J.C., C.L. Parkinson, R. Gerten en L. Stock, 2008, Accelerated decline in the Arctic sea ice cover, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L01703, doi:10.1029/2007GL031972.2008
11. Velicogna I., 2009, Increasing rates of ice mass loss from the Greenland and Antarctic ice sheets revealed by GRACE. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L19503, doi:10.1029/2009GL040222
12. Wu, X., M.B. Heflin, H. Schotman, B.L.A. Vermeersen, D. Dong, R.S. Gross, E.R. Ivins, A.W. Moore en S.E. Owen, 2010, Simultaneous estimation of global present-day water transport and glacial isostatic adjustment, 15 august 2010, *Nature Geoscience* 3, 642 - 646, doi:10.1038/ngeo938
13. Bromwich, D.H. en J.P.Nicolas, 2010, Sea-level rise: Ice-sheet uncertainty, *Nature Geoscience* 3, 596 - 597
14. IPCC, 2007, Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor en H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
15. Wada, Y., L. P. H. van Beek, C. M. van Kempen, J. W. T. M. Reckman, S. Vasak en M. F. P. Bierkens, 2010, Global depletion of groundwater resources, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L20402, doi:10.1029/2010GL044571
16. Chao, B. F., Y. Wu en Y. Li, 2008, Impact of artificial reservoir water impoundment on global sea level, *Science*, 320, 212-214, doi:10.1126/science.1154580.
17. Cazenave et al., 2008, Sea level budget over 2003-2008: A reevaluation from GRACE



- space gravimetry, satellite altimetry and Argo, *Glob. and Planet. Ch.* 65, p.83-88
18. Ramillien, et al., 2008. Land water contributions from GRACE to sea level rise over 2002-2006. *Glob. Planet. Change* 60, 381-392
  19. Riva, R. E. M., J. L. Bamber, D. A. Lavallée en B. Wouters, 2010, Sea-level fingerprint of continental water and ice mass change from GRACE, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L19605, doi:10.1029/2010GL044770
  20. Solomon, S., K. H. Rosenlof, R. W. Portmann, J. S. Daniel, S. M. Davis, T. J. Sanford en G.K. Plattner, 2010, Contributions of Stratospheric Water Vapor to Decadal Changes in the Rate of Global Warming, *Science*, 327, no. 5970, pp. 1219-1223, doi:10.1126/science.1182488.
  21. Fujiwara, M., et al., 2010, Seasonal to decadal variations of water vapor in the tropical lower stratosphere observed with balloon-borne cryogenic frost point hygrometers, *J. Geophys. Res.*, 115, D18304, doi:10.1029/2010JD014179.
  22. Tselioudis, G., E. Tromeur, W. B. Rossow en C. S. Zerefos, 2010, Decadal changes in tropical convection suggest effects on stratospheric water vapor, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L14806, doi:10.1029/2010GL044092
  23. [www.pbl.nl/nl/publicaties/2009/veel-staat-vast-over-klimaatverandering.html](http://www.pbl.nl/nl/publicaties/2009/veel-staat-vast-over-klimaatverandering.html)
  24. Knutti, R. en G.C. Hegerl, 2008, The equilibrium sensitivity of the Earth's temperature to radiation changes, *Nature Geosciences*, 236-243.
  25. Annan, J. D. en J. C. Hargreaves, 2006, Using multiple observationally-based constraints to estimate climate sensitivity, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L06704, doi:10.1029/2005GL025259.
  26. Van Dorland, R., B.J. Strengers, H. Dolman, R. Haarsma, C. Katsman, G.J. van Oldenborgh, A. Sluijs en R.S.W. van de Wal, 2009, News in Climate Science since IPCC 2007, Topics of interest in the scientific basis of climate change, KNMI, PBL, VU, UU, [http://www.knmi.nl/samenw/cop15/News\\_in\\_climate\\_science\\_physical\\_basis.pdf](http://www.knmi.nl/samenw/cop15/News_in_climate_science_physical_basis.pdf)
  27. Crok, M., 2010, De staat van het klimaat: een koele blik op een verhit debat, Paradigma, Amsterdam, ISBN 978 90 499 6040 7
  28. [www.klimaatportaal.nl](http://www.klimaatportaal.nl)
  29. Parker, D.E., 2010, Urban heat island effects on estimates of observed climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. Volume 1, Issue 1, pages 123-133
  30. Menne, M.J., C.N. Williams Jr. en M.A. Palecki, 2010, On the reliability of the U.S. surface temperature record, *J. Geophys. Res.*, 115, D11108, doi:10.1029/2009JD013094
  31. Miskolczi, F.M., 2010, The stable stationary value of the Earth's global average atmospheric Planck-weighted greenhouse-gas optical thickness, *Energy & Environment*, 21, 4, 243-262
  32. NCEP = National Centers for Environmental Prediction, zie <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/reanalysis.shtml>
  33. Dessler, A.E. en S. M. Davis, 2010: Trends in tropospheric humidity from reanalysis systems, *J. Geophys. Res.*, 115, D19127, doi:10.1029/2010JD014192
  34. Chen, C., J. Harries, H. Brindley en M. Ringer, 2007, Spectral signatures of climate change in the Earth's infrared spectrum between 1970 and 2006
  35. Philipona, R., B. Duerr, C. Marty, A. Ohmura en M. Wild, 2004, Radiative forcing - measured at Earth's surface - corroborate the increasing greenhouse effect, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L03202, doi:10.1029/2003GL018765
  36. Mears, C., J. Wang, S. Ho, L. Zhang en X. Zhou, 2010, Total column water vapor [in "State of the Climate in 2009"]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91 (6), S79-S82
  37. IPCC, 2007, Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group



- 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor en H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
38. Miskolczi, F.M., 2007, Greenhouse effect in Semi-transparent Planetary Atmospheres, *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 111(1), 1-40
39. Dit is een maat voor de ondoorzichtigheid van de atmosfeer door broeikasgassen in het infrarood en is gedefinieerd als een functie (de negatieve logaritme om precies te zijn) van dat deel van, in dit geval, de infrarode straling of warmtestraling afkomstig van het aardoppervlak die niet wordt geabsorbeerd door de atmosfeer
40. De Bruin, H.A.R., 2010, Comments on "Greenhouse effect in Semi-transparent Planetary Atmospheres" by F.M. Miskolczi, *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 114(4), 319-324
41. Van Dorland, R. en P.M. Forster, 2010, Rebuttal of Miskolczi's alternative greenhouse theory [http://www.realclimate.org/wiki/index.php?title=Ferenc\\_Miskolczi](http://www.realclimate.org/wiki/index.php?title=Ferenc_Miskolczi). (ook beschikbaar op [www.klimaatportaal.nl](http://www.klimaatportaal.nl))
42. IPCC, 2007
43. Dessler, A. E., P. Yang, J. Lee, J. Solbrig, Z. Zhang en K. Minschwaner, 2008, An analysis of the dependence of clearsky top-of-atmosphere outgoing longwave radiation on atmospheric temperature and water vapor, *J. Geophys. Res.*, 113, D17102, doi:10.1029/2008JD010137
44. Trenberth, K.E. en D.J. Shea, 2005, Relationships between precipitation and surface temperature. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L14703, doi:10.1029/2005GL022760
45. Thoenes, D., 2010, The stabilising effect of the oceans on climate, *Energy & Environment*, 21, 4, 237-240
46. Siegmund, P., 2010, What goes up must come down (a commentary), *Energy & Environment*, 21, 4, 241-242
47. Ramanathan, V. en G. Carmichael, 2008, Global and regional climate changes due to black carbon. *Nature Geoscience*. Vol 1. April 2008
48. Lindzen, R.S., et al., 2001, Does the earth have an adaptive infrared iris? *Bull Am Meteorol Soc.*, 82:417-432
49. Spencer, R.W., W.D. Braswell, J.R. Christy en J. Hnilo, 2007, Cloud and radiation budget changes associated with tropical intraseasonal oscillations. *Geophys. Res. Lett.*, 34:L15707, doi:10.1029/2007/GL029698
50. Kininmonth, W., 2009, A Natural Limit to Anthropogenic Global Warming. Heartland Institute. International Conference on Climate Change. 8-10 March 2009. Zie: <http://www.auscsc.org/images/PDF/naturallimittowarming.pdf>
51. IPCC, 2007, Summary for policymakers. In B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave & L.A. Meyer (Eds.), *Climate change 2007: Mitigation. Contribution of working group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge en New York: Cambridge University Press
52. Kann, A. en Weyant, J.P., 2000, Approaches for performing uncertainty analysis in large-scale energy/economic policy models. *Environmental Modeling and Assessment* 5 (1)p. 29-46
53. Tavoni, M. en R. Tol, 2010, "Counting only the hits: the risk of underestimating the costs of stringent climate policies", *Climatic Change* 100:769-778
54. Lomborg, B., 2007, Cool it! Zin en onzin in het debat over klimaatverandering. Uitgeverij het Spectrum

55. <http://www.lomborg-errors.dk/>
56. Hof, A.F., M.G.J. den Elzen en D.P. van Vuuren, 2010, A quantitative minimax regret approach to climate change: Does discounting still matter? *Ecological Economics* 70 (1), p. 43-51
57. Weitzman, M.L., 2009, On modeling and interpreting the economics of catastrophic climate change. *The Review of Economics and Statistics* 91 (1), p.1-19
58. Nordhaus, W.D., 2008, A question of balance: Weighing the options on global warming policies. New Haven: Yale University
59. Stern, N., 2006, The economics of climate change, the Stern review. Cambridge: Cambridge University Press
60. van den Bergh, J.C.J.M., 2009, Safe climate policy is affordable-12 reasons. *Climatic Change* 101 (3), p. 339-385
61. Emissions Database for Global Atmospheric Research, zie <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/index.php>
62. Olivier J.G.J en J.A.H.W. Peters, 2010, No growth in total global CO<sub>2</sub> emissions in 2009. Planbureau voor de leefomgeving (PBL), Bilthoven, juni 2010. PBL publicatie nummer: 500212001. Zie: [http://www.pbl.nl/en/publications/2010/No-growth-in-total-global-CO<sub>2</sub>-emissions-in-2009.html](http://www.pbl.nl/en/publications/2010/No-growth-in-total-global-CO2-emissions-in-2009.html) en [http://www.pbl.nl/nl/publicaties/2010/Geen-groei-van-totale-mondiale-CO<sub>2</sub>-emissies-in-2009.html](http://www.pbl.nl/nl/publicaties/2010/Geen-groei-van-totale-mondiale-CO2-emissies-in-2009.html)
63. Staat van het Klimaat 2009
64. Friedlingstein, P., R.A. Houghton, G. Marland, J. Hackler, T.A. Boden, T.J. Conway, J.G. Canadell, M. R. Raupach, P. Ciais en C. Le Quéré, 2010, Update on CO<sub>2</sub> emissions. *Nature Geoscience*. 21, november 2010
65. Voor de industrielanden zijn tot 2008 ook meer betrouwbare getallen beschikbaar die door de landen zelf worden aangeleverd aan het UNFCCC in het kader van het Kyoto-protocol (zie <http://unfccc.int/di/FlexibleQueries.do>). In deze brochure is gekozen voor EDGAR omdat die ook getallen geeft voor 2009 en omdat de emissies voor alle landen volgens een identieke methode worden berekend (Zie: Compendium voor de leefomgeving. Mondiale CO<sub>2</sub>-emissies door gebruik van fossiele brandstoffen en cementproductie per regio, 1990-2009)
66. Volgens het European Topic Centre (EEA, 2010), die zich baseren op de cijfers van het UNFCCC, was de reductie in 2009 ongeveer 7%
67. Compendium voor de leefomgeving. Mondiale CO<sub>2</sub>-emissies door gebruik van fossiele brandstoffen en cementproductie per regio, 1990-2009. Zie: <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0533-Koolstofdioxide-emissie-door-gebruik-van-fossiele-brandstoffen%2C-mondiaal.html?i=9-20>
68. EEA, 2010, Tracking progress towards Kyoto and 2020 targets in Europe, EEA report No 7/2010, EEA, Kopenhagen.
69. Compendium voor de leefomgeving. Emissie broeikasgassen in Europa. <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0434-Broeikasgasemissies-in-Europa.html?i=5-20>
70. CBS, PBL, Wageningen UR, 2010, Broeikasgasemissies in Nederland, 1990 - 2009 (indicator 0165, versie 16, 16 september 2010). <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0165-Broeikasgasemissies-in-Nederland.html?i=9-20>. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen
71. Hoen, A., Wortman, S. en Farla, J., 2010, De vergeten transportsectoren - Vermindering CO<sub>2</sub>-emissie luchtvaart, vrachtvervoer en scheepvaart. Milieu, dossier 2010-3

72. Compendium voor de leefomgeving. Emissies naar lucht door de industrie, 1990-2009 <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0112-Emissies-naar-lucht-door-de-industrie.html?i=5-164>
73. <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tnt/RcpDb/dsd?Action=htmlpage&page=about>
74. Olivier J.G.J en J.A.H.W. Peters, 2010, No growth in total global CO<sub>2</sub> emissions in 2009. Planbureau voor de leefomgeving (PBL), Bilthoven, juni 2010. PBL publicatie nummer: 500212001. Zie: [http://www.pbl.nl/en/publications/2010/No-growth-in-total-global-CO<sub>2</sub>-emissions-in-2009.html](http://www.pbl.nl/en/publications/2010/No-growth-in-total-global-CO2-emissions-in-2009.html) en [http://www.pbl.nl/nl/publicaties/2010/Geen-groei-van-totale-mondiale-CO<sub>2</sub>-emissies-in-2009.html](http://www.pbl.nl/nl/publicaties/2010/Geen-groei-van-totale-mondiale-CO2-emissies-in-2009.html)
75. Elzen, den M.G.J., A.F. Hof, M.A. Mendoza Beltran, M. Roelfsema, B.J. van Ruijven, J. van Vliet, D.P. van Vuuren, N. Höhne en S. Moltmann, 2010, Evaluation of the Copenhagen Accord: Chances and risks for the 20C climate goal. Planbureau voor de Leefomgeving. PBL-publicatienummer 500114017. Zie <http://www.pbl.nl/nl/publicaties/2010/Evaluation-of-the-Copenhagen-Accord-Chances-and-risks-for-the-2degreeC-climate-goal.html>
76. Davis, S.J., K. Caldeira en H.D. Matthews, 2010, Future CO<sub>2</sub> Emissions and Climate Change from Existing Energy Infrastructure. *Science*, vol 329, pp1330-1333, 10 september 2010
77. Bakker, S., A. De Vita en J. Olivier, 2010, SCIENTIFIC ASSESSMENT AND POLICY ANALYSIS. Monitoring emissions and actions in the post-2012 climate regime. WAB-Report 500102034. August 2010
78. Voor een uitgebreidere discussie over dit onderwerp zie bijvoorbeeld: "Monitoring Climate Change Impacts: Metrics at the Intersection of the Human and Earth Systems" geschreven door het Committee on Indicators for Understanding Global Climate Change of the National Research Council, available from: [http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=12965](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12965)
79. PBL, 2009, Meeting the 20C target. From climate objective to emission reduction measures. Zie: <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/500114012.pdf>
80. Daniels, B. en Kruitwagen, S. (eds.), Referentieraming energie en emissies
81. Voorbeeld: Een efficiënte gascentrale in Nederland, die een inefficiënte kolencentrale in een ander land overbodig maakt, leidt in Nederland weliswaar tot hogere emissies, maar op Europese schaal tot lagere emissies. Dit heeft geen effect op het al dan niet behalen van de Nationale doelstelling. Voor verificatie van de Kyoto doelstellingen wordt het effect van emissiehandel op de Nationale emissies verdisconteerd (zie: International Transaction Log under the Kyoto Protocol.)
82. Aldy, J., 2007, Cap-and-Trade vs. Emission Tax: An Introduction, ClimatePolicy - An American Meteorological Society Project. <http://www.climatepolicy.org/?p=46>
83. Pizer, W. (1999), Choosing price of quantity controls for greenhouse gases, Climate Issues Brief No. 17, Resources for the Future
84. Putting a Price on Carbon: An Emissions Cap or a Tax? Yale Environment 360 asked eight experts to discuss the merits of a cap-and-trade system versus a carbon tax, 2009 <http://e360.yale.edu/content/feature.msp?id=2148>
85. Aldy, J., 2007, Cap-and-Trade vs. Emission Tax - Differences, ClimatePolicy - An American Meteorological Society Project. <http://www.climatepolicy.org/?p=48>
86. Planbureau voor de Leefomgeving PBL, Balans van de Leefomgeving 2010
87. Rijksoverheid, Nationaal actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen. Richtlijn 2009/28/EG
88. Rijksoverheid, Nationaal actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen. Richtlijn

- 2009/28/EG
89. Aangezien dit actieplan is opgesteld door het vorige kabinet heeft de invulling ervan “een tentatief karakter. Besluitvorming over de meest wenselijke mix van duurzame opties of de inzet van extra middelen voor het realiseren van het Europese doel is aan volgende kabinetten.” (zie Rijksoverheid, Nationaal actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen. Richtlijn 2009/28/EG)
90. Mtoe = Miljoen ton olie equivalenten. 1 Mtoe ≈ 42 GJ (Gigajoules)
91. Rijksoverheid, Nationaal actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen. Richtlijn 2009/28/EG
92. Regeerakkoord VVD-CDA, Vrijheid en verantwoordelijkheid, 2010
93. Financieel kader, bijlage Regeerakkoord VVD-CDA, 2010
94. Rijksoverheid, Nationaal actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen. Richtlijn 2009/28/EG
95. Minister van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, M.J.M. Verhagen. Toespraak, Duurzame stroom en kernenergie gaan hand in hand, 30 november 2010
96. Analyse regeerakkoord voor energie, mobiliteit, natuur en water, Planbureau voor de Leefomgeving, 12 oktober 2010
97. Minister van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, M.J.M. Verhagen. Toespraak, Duurzame stroom en kernenergie gaan hand in hand, 30 november 2010
98. Analyse regeerakkoord voor energie, mobiliteit, natuur en water, Planbureau voor de Leefomgeving, 12 oktober 2010
99. Council of the European Union. Preparation for the 16th Conference of the Parties, Council conclusions, 2010
100. Nederland krijgt nieuwe energie voor welvaart en welzijn in de 21e eeuw. Een partijoverstijgend voorstel voor een Deltaplan Nieuwe Energie, 2010.
101. Energiebesparing in Nederland 1995 - 2007, ECN 2009.
102. Duurzame energievoorziening in 2050, met de kennis van nu. Utrecht Centrum voor Aarde en Duurzaamheid, 2010
103. European Climate Foundation, Roadmap 2050, Practical guide to a prosperous, low-carbon Europe, 2010
104. McKinsey & associates, Pathways to a low carbon economy: Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve
105. Deze aannames zijn: - Algemeen geaccepteerde leercurves (waardoor nieuwe technologie langzaam goedkoper wordt); - Toenemende emissiereductie in de rest van de wereld; - Marktvraag naar lage emissie investeringen; - International Energy Agency (IEA) projecties voor de evolutie van fossiele brandstofprijzen; - Interconnectie van de Europese elektriciteitsnetten; - Gemiddelde CO<sub>2</sub> prijs van €20-30 per ton CO<sub>2</sub> over 40 jaar
106. Draft decision -/CMP.6 Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol at its fifteenth session, Cancun 2010
107. Draft decision -/CP.16 Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on long-term Cooperative Action under the Convention. Cancun 2010
108. International Institute for Sustainable Development (IISD) Earth Negotiations Bulletin Vol. 12 No. 498 (2010). Summary of the Cancun climate change conference: 29 november - 11 december 2010 <http://www.iisd.ca/climate/cop16/>
109. Om de opwarming van de aarde waarschijnlijk (66% kans) te beperken tot 2 graden (t.o.v. pre-industrieel) mag de emissie van CO<sub>2</sub> equivalenten (zie hfst 3) volgen

- modelberekeningen maximaal 44 gigaton per jaar bedragen in 2020 (zie: United Nations Environment Programme (2010), The emissions gap report. Are the Copenhagen Accord Pledges Sufficient to limit Global Warming to 2 °C of 1,5 °C?). Een strikte toepassing van de maatregelen zoals in Cancun overeengekomen zou leiden tot een jaarlijkse emissie van 52 gigaton per jaar (zie: Climate Action Tracker (2010), Cancun Climate Talks - Keeping options open to close the gap); minder dan in een 'business as usual' scenario, maar er blijft een 'reduction-gap' van 8 gigaton per jaar bestaan
110. Climate Action Tracker, 2010, Cancun Climate Talks - Keeping options open to close the gap.
  111. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Kengetallen Kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21e eeuw, 1 september 2008, rapportnummer WD 2008.044
  112. Most, H. van der, S. de Wit, B Broekhans en W. Roos, 2010, Kijk op waterveiligheid; Eburon, Delft, ISBN 9789059723566
  113. Terpstra, T. , Flood preparedness, Thoughts, feelings and intentions of the Dutch public, PhD Thesis, University of Twente, 2009, ISBN: 978-90-365-2954-9
  114. Görgen, K. et al., 2010, Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 Project, Report No. I-23 of the CHR
  115. Dorland, R. van, W. Dubelaar-Versluis en B. Jansen (red), 2010, De Staat van het Klimaat 2009, uitgave PCCC, De Bilt/Wageningen
  116. Jonkeren, O.E., M. Sabir en P. Rietveld, 2010, Syntheserapport A8 - Gevolgen van klimaatverandering voor de transportsector, Klimaat voor Ruimte, Vrije Universiteit Amsterdam
  117. Erkens, G., M.J. van der Meulen, H. Middelkoop (in prep), Coastal peatlands under long-term human impact
  118. Olie, J. J., F. Lenssinck, T.J.C. Grotenhuis en H.M. Rijnaarts, 2010, How old traditions lead to sustainable answers for climate change adaptation/mitigation in Dutch rural areas. In: Proc. 1<sup>st</sup> Int. Conf. on Frontiers in Shallow Subsurface Technology, Delft 2010, p47-50
  119. Haasnoot, M., H. Middelkoop, A. Offermans, E. van Beek en W.P.A. van Deursen (in prep), Exploring pathways for sustainable water management in river deltas in a changing environment
  120. Haasnoot, M. et al., 2009, Afwegingen en ruimtelijke planvorming, In: R. van Dorland, W. Dubelaar-Versluis en B. Jansen (red.), 2010, De Staat van het Klimaat 2009, uitgave PCCC, De Bilt/Wageningen, pp. 37-39
  121. Vonk, M, C.C. Vos en D.C.J. van der Hoek, 2010, Adaptatiestrategie voor een klimaatbestendige natuur, rapport 500078002, PBL, Den Haag/Bilthoven
  122. Heusinkveld, B.G., L.W.A. van Hove, C.M.J. Jacobs, G.J. Steeneveld, J.A. Elbers, E.J. Moors, A.A.M. Holtslag, 2010. Use of mobile platform for assessing urban heat stress in Rotterdam. Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology. Alberts-Ludwigs-University of Freiburg, Germany, 12-14 April 2010, 433-438 (<http://edepot.wur.nl/136841>)
  123. Brandsma, T., 2010, Warmte-eiland effect van de stad Utrecht, Zenit, 37(11), 500-504
  124. Akbari, H., S. Menon<sup>2</sup> en A. Rosenfeld, 2009, Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO<sub>2</sub>, Climatic Change 95, doi 10.1007/s10584-008-9515-9
  125. [www.climatedeltaconference.org](http://www.climatedeltaconference.org)
  126. [www.delta-alliance.org](http://www.delta-alliance.org)
  127. Werk aan de Delta, Investeren in een veilig en aantrekkelijk Nederland, nu en morgen, Deltaprogramma 2011, ministeries van V&W, LNV en VROM, sept 2010
  128. Anonymus, 2010, The Economics of Adaptation to Climate Change, Synthesis Report, WorldBank, Washington (76 pp)
  129. <http://www.sense.nl/openbrief>

130. Van der Sluijs, J.P. R. van Est en M. Riphagen (red.), Ruimte voor klimaatdebat: zicht op interactie tussen klimaatpolitiek, - wetenschap en - media, Technology Assessment, Rathenau Instituut.
131. Van den Hurk, B., A. Klein Tank, G. Lenderink, A. van Ulden, G.J. van Oldenborgh, C. Katsman, H. van den Brink, F. Keller, J. Bessembinder, G. Burgers, G. Komen, W. Hazeleger en S. Drijfhout, 2006, KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands, KNMI Scientific Report WR 2006-01
132. Klimaatverandering in Nederland: aanvullingen op de KNMI'06 scenario's, 2009, <http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/documents/brochure09.pdf>
133. Russell, sir M., G. Bolton, P. Clarke, D. Eyton, en J. Norton, 2010, The independent Climate Change E-mails Review, Britain's Royal Society
134. House of Commons, Science and Technology Committee, 2010, The disclosure of climate data from the Climatic Research Unit at the university of East Anglia, Eighth Report of Session 2009-10
135. H.C. Foley, A.W. Scaroni en C.A. Yekel, 2010, RA-10 Inquiry Report: Concerning the Allegations of Research Misconduct Against Dr. Michael E. Mann, Department of Meteorology, College of Earth and Mineral Sciences, The Pennsylvania State University
136. Report of the International Panel set up by the University of East Anglia to examine the research of the Climatic Research Unit, 2010, National Academy of Sciences
137. PBL, 2010: Assessing an IPCC assessment: An analysis of statements on projected regional impacts in the 2007 report
138. IAC, 2010, Climate Change Assessments, Review of the Processes and Procedures of the IPCC
139. Steeneveld, G.J.; Koopmans, S.; Hove, L.W.A. van; Holtslag, A.A.M. (2010): Urban Heat Island Effects and Human Comfort in a Mild Cfb Climate: Exploring Long Term Observations by Hobby Meteorologists in The Netherlands; 9th Symposium on the urban environment, Amer. Meteorological Society, 2-6 August 2010, Keystone, Colorado, USA. - American Meteorological Society, 9th Symposium on the urban environment, Amer. Meteorological Society (<http://edepot.wur.nl/144638>)

# Wat doet het PCCC?

Het Platform Communication on Climate Change (PCCC) is een initiatief van een aantal Nederlandse onderzoekorganisaties op het gebied van klimaat en klimaatverandering en heeft als doel om de kwaliteit, efficiëntie en effectiviteit van de communicatie van het Nederlandse klimaatonderzoek te verbeteren.

## De activiteiten van het PCCC zijn o.a.:

1. Verstrekking van actuele en achtergrondinformatie over klimaatverandering, de gevolgen, aanpassing en vermindering van de uitstoot van broeikasgassen via de gezamenlijke website [www.klimaatportaal.nl](http://www.klimaatportaal.nl).
  - Uitleg en duiding vanuit de wetenschap over actuele vragen vanuit de maatschappij via rubriek 'veel gestelde vragen'
  - Klimaatinformatie voor scholieren als startpunt voor een profielwerkstuk
  - Informatieverstrekking over internationale activiteiten op klimaatgebied
  - Bijhouden en weergave van een klimaatagenda
2. Materiaal en kennis beschikbaar stellen ten behoeve van wetenschappelijke communicatie over klimaat en klimaatverandering door:
  - Opstellen van populair-wetenschappelijke rapportages
  - Opstellen van een periodieke Staat van het Klimaat
  - Organiseren van symposia en dialoogworkshops naar aanleiding van de actualiteit
3. Publieksvoorlichting via contacten met media

## De organisaties achter het PCCC zijn:

- PBL: Planbureau voor de Leefomgeving
- KNMI: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
- Wageningen UR: Climate Change and Biosphere Centre en Alterra
- ECN: Energieonderzoek Centrum Nederland
- Vrije Universiteit
- Universiteit Utrecht
- Deltares
- TNO
- NWO: Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek

Voorzitter Wetenschappelijke Redactie PCCC: dr. R. van Dorland (KNMI)

## Correspondentie:

Secretariaat PCCC

p/a Faculteit der Aard- en Levenswetenschappen, Vrije Universiteit  
Anita Bleiksloot

De Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam

T: +31 (0)20 5989515

E: [A.Bleiksloot@programmabureauklimaat.nl](mailto:A.Bleiksloot@programmabureauklimaat.nl)

W: [www.klimaatportaal.nl](http://www.klimaatportaal.nl)

# Colofon

## Uitgave

Dit is een uitgave van het PCCC, het Platform Communication on Climate Change. De organisaties achter het PCCC zijn: PBL, KNMI, Wageningen UR (CCB en Alterra), ECN, Vrije Universiteit, Universiteit Utrecht, Deltares, TNO en NWO.

februari 2011

ISBN/EAN 978-94-90699-02-4

## Auteurs

Rob van Dorland, KNMI  
Michiel van Drunen, VU  
Cees van de Guchte, Deltares  
Bert Jansen, Wageningen UR  
Leo Meyer, PBL  
Kaj van de Sandt, Alterra, Wageningen UR  
Bart Strengers, PBL  
Bart Verheggen, ECN

## Mede-auteurs

Laurens Brandes, PBL  
Theo Brandsma, KNMI  
Bert Daniels, ECN  
Gilles Erkens, Deltares  
Reindert Haarsma, KNMI  
Marjolijn Haasnoot, Deltares  
Dirk-Jan van der Hoek, PBL  
Anco Hoen, PBL  
Bert van Hove, Alterra, Wageningen UR  
Cor Jacobs, Alterra, Wageningen UR  
Otto de Keizer, Deltares  
Frans Klijn, Deltares  
Wouter Knap, KNMI  
Jos de Laat, KNMI  
Gerda Lenselink, Deltares  
Michiel van der Meulen, TNO  
Herman van der Most, Deltares  
Geert Jan van Oldenborgh, KNMI  
Jaap Olie, Deltares  
Florrie de Pater, VU  
Arthur Petersen, PBL  
Tinus Pulles, TNO  
Piet Rietveld, VU  
Peter Siegmund, KNMI

Henk van Schaik, CPWC  
Rob Swart, Alterra, Wageningen UR  
Frans van de Ven, Deltares  
Daan Vogelezang, KNMI  
Detlef van Vuuren, PBL  
Michiel van Weele, KNMI  
Anne Wiersma, Deltares  
Dirk Wolters, KNMI



## Reviewers

Stefan Bakker, ECN  
Eelco van Beek, Deltares  
Frans Berkhout, Vrije Universiteit  
Janette Bessembinder, KNMI  
Bram Bregman, KNMI  
Floor Brouwer, Alterra,  
Wageningen UR  
Marcel Bruggers, Deltares  
Peter Bultjes, TNO  
Peter Driessen, Universiteit Utrecht  
Job Dronkers, Deltares  
Klaas van Egmond, UU  
Jan Willem Erisman, ECN  
Arnout Feijt, KNMI  
Ronald Flipphi, IenM  
Harry Geurts, KNMI  
Henny Hooghiemstra, Universiteit van Amsterdam  
Monique Hoogwijk, Ecofys  
Ad Jeuken, Deltares  
Arie Kattenberg, KNMI  
Jaap Kwadijk, Deltares  
Sander Lensink, ECN  
Marc Londo, ECN  
Leo Meyer, PBL  
Herman van der Most, Deltares  
Jos Olivier, PBL  
Florrie de Pater, VU  
Margriet Roukema, Deltares  
Jos Sijm, ECN  
Rob Swart, Wageningen UR  
Xander van Tilburg, ECN  
Pier Vellinga, Wageningen UR  
Kees Verbogt, LNV  
Roderik van de Wal, UU  
Michiel van Weele, KNMI  
Bernard Westerop, NWO

## Foto omslag

Sjors de Graaf

## Productiebegeleiding

Anita Bleikslot, managementassistente PCCC

## Vormgeving en druk

Uitgeverij RIVM

Meer exemplaren van deze brochure zijn gratis te bestellen via:  
[www.klimaatportaal.nl/publicaties/PCCC\\_brochures](http://www.klimaatportaal.nl/publicaties/PCCC_brochures)







**Voor meer informatie:**

Secretariaat PCCC

p/a Faculteit der Aard- en Levenswetenschappen, Vrije Universiteit

Anita Bleiksloot

De Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam

T: +31 (0)20 5989515

E: [A.Bleiksloot@programmabureauklimaat.nl](mailto:A.Bleiksloot@programmabureauklimaat.nl)

W: [www.klimaatportaal.nl](http://www.klimaatportaal.nl)