



mei 2007

Een uitgave van het PCCC

Het IPCC-rapport en de betekenis voor Nederland

IPCC
Working **Group I**
report
'The Physical
Science Basis'
(2007)

IPCC
Working **Group II**
report
'Impacts, Adaptation
and Vulnerability'
(2007)

IPCC
Working **Group III**
report
'Mitigation of
Climate Change'
(2007)



Het IPCC-rapport en de betekenis voor Nederland

IPCC
Working **Group I**
report
'The Physical
Science Basis'
(2007)

IPCC
Working **Group II**
report
'Impacts, Adaptation
and Vulnerability'
(2007)

IPCC
Working **Group III**
report
'Mitigation of
Climate Change'
(2007)

Verantwoording

Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), het klimaatpanel van de Verenigde Naties, brengt verspreid over 2007 in vier delen het vierde klimaatrapport uit (Fourth Assessment Report - AR4). Dit rapport geeft de nieuwste inzichten op het gebied van klimaatverandering in de wereld. Aan het AR4 hebben honderden gerenommeerde klimaatonderzoekers uit de hele wereld meegewerkt, waaronder verschillende uit Nederland. Inmiddels zijn de samenvattingen voor beleidsmakers van de rapportages van drie werkgroepen verschenen, de zogenoemde Summaries for Policymakers. Werkgroep I over de veranderingen in het klimaatsysteem (2 februari 2007), Werkgroep II over de mondiale en regionale gevolgen van klimaatverandering, de kwetsbaarheid van verschillende sectoren en adaptatie (6 april 2007) en Werkgroep III over maatregelen om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen (4 mei 2007). De hoofd rapporten met de wetenschappelijke onderbouwing komen dit jaar stapsgewijs beschikbaar. Eind november volgt het zogeheten 'synthesis report' van het IPCC. In dit rapport zullen de bevindingen en conclusies van de drie werkgroep rapporten in samenhang beschouwd worden om zo een integraal wetenschappelijk beeld te geven van ons huidige begrip van klimaatverandering.

De Summaries for Policymakers zijn veel in het nieuws geweest, ook al vanwege de felle discussies die voorafgingen aan de uiteindelijke goedkeuring door het IPCC. Zo is naar aanleiding van de samenvatting van Werkgroep I een 'Independent Summary for Policy Makers' (ISPM) uitgebracht. Hierin wordt vooral de nadruk gelegd op de modelbepalingen. Verder wordt in dit alternatieve rapport de antropogene invloed op het klimaat afgezwakt en krijgen natuurlijke invloeden een grotere waarschijnlijkheid. Politieke belanghebbenden en onafhankelijke wetenschappers rolden vechtend over de conferentievloeren, als we sommige media mogen geloven. Dat viel reuze mee, maar het is duidelijk dat de Summaries mede het resultaat zijn van politieke en beleidsmatige onderhandelingen en dat niet alle landen zich zonder slag of stoot schaarden achter alle wetenschappelijke conclusies. De definitieve teksten echter zijn wetenschappelijk volledig verantwoord, en worden onderbouwd in de achterliggende wetenschappelijke rapporten. Met de objectiviteit van het werk van het IPCC is dus niets mis, maar de formuleringen zijn zeer zorgvuldig gekozen, waarbij ook maatschappelijke complicaties zijn meegewogen. Ofwel, zoals een van de deelnemende wetenschappers het liet weten: 'We lost some things, but the main message was untouched, and that is uncompromising and as hard-hitting as you had intended it to be.'

Bij het schrijven van deze brochure hebben wij ons de gevoeligheden goed gerealiseerd. De brochure is, mede daarom, opgebouwd uit vier hoofdstukken. De eerste drie hoofdstukken geven een samenvatting van het werk van de drie IPCC-werkgroepen, waarbij wij zo dicht mogelijk bij de oorspronkelijke rapportages zijn gebleven. Deze hoofdstukken zijn tot stand gekomen onder de verantwoordelijkheid van de wetenschappelijke instituten KNMI (Hoofdstuk 1), Wageningen UR (Hoofdstuk 2) en MNP (Hoofdstuk 3), in samenwerking met UU, VU en ECN. Het vierde hoofdstuk is een interpretatie van de conclusies uit de IPCC-rapportages, met name gericht op de Nederlandse situatie. Dit hoofdstuk is geschreven onder verantwoordelijkheid van het Platform Communication on Climate Change, waarin de bovengenoemde Nederlandse kennisinstellingen op het gebied van klimaatonderzoek samenwerken.

Rob van Dorland en Bert Jansen

Inhoud

1. *Klimaatverandering: de natuurwetenschappelijke basis* 5
 - 1.1 Achtergrond
 - 1.2 Stijging broeikasgasconcentraties
 - 1.3 Stralingsforcering
 - 1.4 Directe waarnemingen van recente klimaatveranderingen
 - 1.5 Het temperatuurverloop in de afgelopen 1000 tot 2000 jaar
 - 1.6 Mogelijke oorzaken van klimaatverandering
 - 1.7 Klimaatprojecties
 - 1.8 Zeespiegelstijging

2. *De gevolgen van klimaatverandering en de kwetsbaarheid van systemen* 17
 - 2.1 Achtergrond
 - 2.2 Huidige effecten
 - 2.3 Toekomstige effecten
 - 2.4 Gevolgen voor de verschillende regio's
 - 2.5 Adaptatie en mitigatie

3. *Mitigatie: maatregelen om klimaatverandering te verminderen* 27
 - 3.1 Achtergrond
 - 3.2 Trends in uitstoot van broeikasgassen
 - 3.3 Het totale potentieel aan mitigatiemaatregelen tot 2030
 - 3.4 Beschikbare technologieën per sector om de uitstoot te verminderen
 - 3.5 Duurzame ontwikkeling en het voorkomen van klimaatverandering
 - 3.6 Beleidsinstrumenten om maatregelen te implementeren

4. *De betekenis van de IPCC-rapporten voor Nederland* 37
 - 4.1 Klimaatverandering in Nederland
 - 4.2 Mitigatie: vermindering van broeikasgassen in Nederland voor 2020
 - 4.3 Effecten en adaptatie: maatschappelijke sectoren en ecosystemen bestendiger maken tegen klimaatverandering

Referenties 50

Colofon 51

1. *Klimaatverandering: de natuurwetenschappelijke basis*

1.1 Achtergrond

Werkgroep I van het IPCC houdt zich bezig met het klimaatsysteem. Het rapport beschrijft de huidige inzichten in de oorzaken van klimaatverandering, de waargenomen klimaatveranderingen, de klimaatprocessen, de oorzaak-gevolgrelaties en klimaatscenario's voor de komende eeuw. Zowel natuurlijke als antropogene oorzaken van klimaatverandering worden beschouwd. De oorzaak-gevolgrelaties betreffen vooral processen die klimaatverandering kunnen versterken of verzwakken, de zogeheten terugkoppelingen. Van belang hierbij zijn allerlei cycli, zoals de koolstofcyclus en de waterkringloop. Het rapport maakt nadrukkelijk onderscheid tussen (1) het vaststellen van veranderingen en (2) het toeschrijven van die veranderingen aan bepaalde oorzaken. De mogelijke omvang van klimaatverandering in de toekomst, zowel mondiaal als regionaal, worden geschat op basis van emissiescenario's (zie Hoofdstuk 3). Het rapport borduurt voort op de vorige assessment rapporten van het IPCC en beschrijft de situatie zoals die was medio 2006. Publicaties van latere datum zijn niet meer verwerkt. Dit in verband met de strikte kwaliteitscontrole.

Het klimaatsysteem is bijzonder complex. Daardoor is het bijna nooit mogelijk om uitspraken te doen die 100% zeker zijn. Dit komt deels door het bestaan van interne variabiliteit (chaos), maar ook door de onvolledigheid van meetreeksen en de beperkingen van klimaatmodellen. Om redenen van consistentie en transparantie wordt in het IPCC-rapport een eenduidige terminologie met betrekking tot het begrip onzekerheid gehanteerd. Onzekerheden kunnen op verschillende manieren worden geclassificeerd aan de hand van de bron. Hoofdtypen zijn onzekerheid in de waarde van een grootheid en structurele onzekerheid. Waardeonzekerheid doet zich voor bij een onvolledige bepaling van een grootheid en wordt doorgaans bepaald met behulp van statistische methoden, zoals standaardafwijking. Structurele onzekerheid doet zich voor wanneer de onderliggende processen niet volledig begrepen worden. In de meeste gevallen zijn schattingen gemaakt van bovengenoemde onzekerheden door deskundigen, waarbij zij hun oordeel baseren op alle beschikbare informatie. Ondanks onvermijdelijk subjectieve elementen in deze benadering, wordt zo een goed onderbouwde schatting gemaakt van waarschijnlijkheden, die kan dienen als basis voor een risicobenadering bij besluitvorming. Daarbij is natuurlijk niet uit te sluiten dat nieuwe ontwikkelingen in de toekomst tot andere kansschattingen zullen leiden.

Daarnaast wordt bij de getallen van stralingsforcering (zie Hoofdstuk 1.3) de term 'Niveau van wetenschappelijk begrip' ofwel 'Level of Scientific Understanding (LOSU)' gebruikt. LOSU is gedefinieerd als het product van de mate van aanwijzingen voor een bepaalde forcering en de mate van consensus over de betreffende forcering.

Tabel 1.1 Beoordelingsterminologie. De termen 'laag' en 'zeer laag' zijn alleen gebruikt voor relevante aandachtsgebieden en daar waar een risico-gebaseerd perspectief is gerechtvaardigd.

Beoordelingsterminologie	Kans op correct oordeel
Zeer hoog	Minstens 9 van de 10 kans op correctheid
Hoog	Ongeveer 8 van de 10 kans
Medium	Ongeveer 5 op de 10 kans
Laag	Ongeveer 2 op de 10 kans
Zeer laag	Minder dan 1 op de 10 kans

Tabel 1.2 Waarschijnlijkheidsterminologie. De termen 'hoogst (on)waarschijnlijk' en 'om het even' zijn in het Fourth Assessment Report in gebruik om oorzaak-effectrelaties te duiden. Getallen en bandbreedtes hebben in het rapport een 90% waarschijnlijkheidsinterval, d.w.z. dat de bandbreedte is afgekapt op de 5- en 95-percentile.

Waarschijnlijkheidsterminologie	Waarschijnlijkheid van uitkomst
Nagenoeg zeker	> 99%
Hoogstwaarschijnlijk	> 95%
Zeer waarschijnlijk	> 90%
Waarschijnlijk	> 66%
Meer waarschijnlijk dan niet	> 50%
Om het even	33-66%
Onwaarschijnlijk	< 33%
Zeer onwaarschijnlijk	< 10%
Hoogst onwaarschijnlijk	< 5%
Bijzonder onwaarschijnlijk	< 1%

1.2 Stijging broeikasgasconcentraties

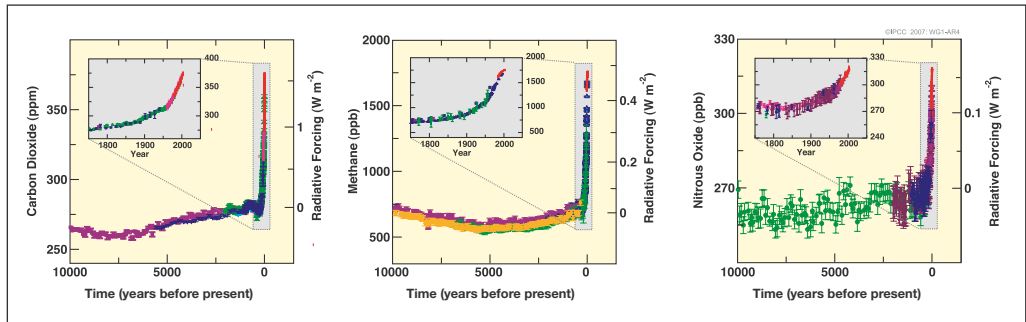
De wereldwijde atmosferische concentraties van kooldioxide, methaan en distikstofoxide zijn duidelijk toegenomen als een gevolg van menselijke activiteiten sinds 1750 en overtreffen in hoge mate de pre-industriële waarden zoals bepaald uit ijsboringen van de laatste vele duizenden jaren. De wereldwijde toename in de kooldioxideconcentratie is vooral het gevolg van het gebruik van fossiele brandstoffen en veranderingen in landgebruik, terwijl die in methaan en distikstofoxide vooral veroorzaakt is door de landbouw.

Kooldioxide is het belangrijkste broeikasgas waarvan de concentratie door menselijk toedoen is toegenomen. De concentratie hiervan in de atmosfeer is toegenomen van 280 delen per miljoen delen lucht (ppm, parts per million) in 1750 tot 379 ppm in 2005. De stijging van de concentratie kooldioxide in de atmosfeer was de afgelopen 10 jaar sneller dan ooit.

De concentratie van methaan in de atmosfeer is toegenomen van ongeveer 715 delen per miljard delen lucht (ppb, parts per billion) in 1750 tot 1774 ppb in 2005. De toename per jaar is sinds 1993 kleiner geworden. Uit onderzoek blijkt dat natuurlijke bronnen van methaan in de tropen meer aan de wereldwijde concentratie bijdragen dan oorspronkelijk werd gedacht. De gezamenlijke natuurlijke bronnen van methaan vormen ongeveer een derde deel van de totale uitstoot.

De concentratie van distikstofoxide, ook wel lachgas genoemd, is toegenomen van ongeveer 270 ppb in 1750 tot 319 ppb in 2005. De snelheid van de toename is sinds 1980 nauwelijks veranderd. Meer dan twee derde van de uitstoot van distikstofoxide is een gevolg van menselijke activiteiten, vooral in de landbouw.

Figuur 1.1 Atmosferische concentratie van kooldioxide, methaan en distikstofoxide in de afgelopen 10.000 jaar (grote figuren) en sinds 1750 (ingevoegde figuren). De waarden zijn afgeleid uit ijskernen (verschillende kleuren voor verschillende studies) of zijn direct in de atmosfeer gemeten (lijnen). De corresponderende stralingsforcering is aangegeven aan de rechterzijde.



1.3 Stralingsforcering

Het begrip van door de mens veroorzaakte opwarmende en afkoelende invloeden op het klimaat is verbeterd sinds het IPCC-rapport uit 2001. Dit heeft geleid tot een zeer hoog vertrouwen dat de menselijke activiteiten sinds 1750 mondiaal voor een netto opwarming van de aarde hebben gezorgd.

Broeikasgassen en landgebruik

De invloed van een verandering in een factor die het klimaat beïnvloedt, bijvoorbeeld een verandering in de concentratie van kooldioxide of een verandering in de sterkte van de zonnestraling, wordt beschreven met het begrip stralingsforcering. De stralingsforcering is de invloed die deze factor heeft op de balans tussen de ingaande en uitgaande stralingsenergie in het klimaatsysteem. De hierna gegeven waarden van de stralingsforcering gelden voor veranderingen in de factoren sinds 1750 en zijn uitgedrukt in Watt per vierkante meter (W/m^2). Een positieve stralingsforcering leidt tot een opwarming aan het aardoppervlak, terwijl een negatieve stralingsforcering tot een afkoeling leidt.

In de periode 1995-2005 is de stralingsforcering door kooldioxide met 20% toegenomen. Deze toename is groter dan in enige andere periode van tien jaar sinds 1750. De stralingsforcering door de gezamenlijke toename van kooldioxide, methaan en distikstofoxide is $+2,3 W/m^2$. Het tempo waarin de stralingsforcering sinds 1750 is toegenomen is hoogst waarschijnlijk hoger dan ooit in de afgelopen 10.000 jaar. De stralingsforcering tengevolge van de door de mens veroorzaakte toename van ozon in de troposfeer, de onderste circa tien kilometer van de atmosfeer, is $+0,35 W/m^2$.

Verandering in de teruggekaatste hoeveelheid zonnestraling aan het aardoppervlak, tengevolge van veranderingen in landgebruik en het neerslaan van roet op sneeuw, hebben een stralingsforcering veroorzaakt van, respectievelijk, $-0,2$ en $+0,1 W/m^2$.

Aërosolen

Aërosolen zijn kleine deeltjes in de atmosfeer, van natuurlijke of menselijke oorsprong. Aërosolen van natuurlijke oorsprong zijn bijvoorbeeld kleine (zee)zoutkristallen en woestijnstof. Aërosolen van menselijke oorsprong zijn bijvoorbeeld sulfaat en roet die vrijkomen bij het verbranden van fossiele brandstoffen. 'Witte' aërosolen, zoals sulfaat, kaatsen het zonlicht terug en koelen zo het klimaat in directe zin: hun directe stralingsforcering is negatief. Daarnaast wordt de waterdamp die bij wolkenvorming condenseert als het aantal aërosolen toeneemt, verdeeld over een groter aantal wolkendruppeltjes, waardoor de wolken meer zonlicht terugkaatsen. Dit zogeheten indirecte aërosoleffect veroorzaakt eveneens een negatieve stralingsforcering. 'Zwarte' aërosolen, zoals roet, absorberen zonlicht en zorgen voor lokale

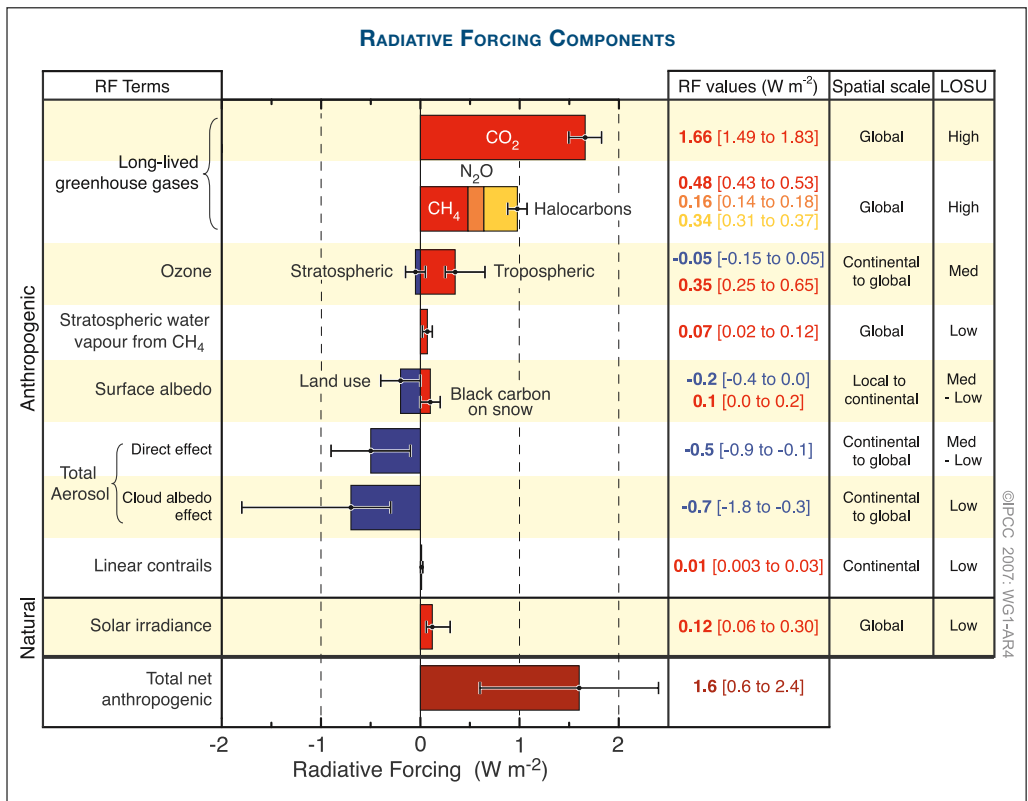
verwarming in de atmosfeer. Als indirect effect kan de absorptie van zonnestraling bovendien een wolk doen oplossen. Beide effecten veroorzaken dus een positieve stralingsforcering.

De directe stralingsforcering door aërosolen ten gevolge van menselijke activiteiten is $-0,5 \text{ W/m}^2$, en de indirecte forcering is $-0,7 \text{ W/m}^2$. Deze waarden compenseren dus voor een deel de forcering door broeikasgassen. Door verbeterde meetmethodes en meer nauwkeurige modellen worden deze forceringen nu beter begrepen dan in het vorige IPCC-rapport. Ze blijven echter de belangrijkste bron van onzekerheid in de totale stralingsforcering.

Natuurlijke factoren

Veranderingen in de sterkte van de zonnestraling sinds 1750 hebben een stralingsforcering veroorzaakt van $+0,12 \text{ W/m}^2$. Deze schatting is minder dan de helft van de waarde die in het vorige IPCC-rapport werd genoemd. Recent onderzoek laat zien dat onze zon een normale ster is en niet bovengemiddeld actief ten opzichte van andere zonachtige sterren, zoals eerder werd gedacht. De effecten van sterke vulkaanuitbarstingen zijn slechts van korte duur. Hoewel er in de laatste eeuwen wel perioden zijn geweest met verhoogde vulkaanactiviteit, met als gevolg decennialange temperatuurveranderingen, zijn er geen trends van betekenis sinds 1750.

Figuur 1.2 Wereldgemiddelde stralingsforcering (RF) in 2005 door kooldioxide (CO₂), methaan (CH₄), distokstofoxide (N₂O) en andere belangrijke broeikasgassen en processen. Ook aangegeven zijn de ruimtelijke schaal van de forceringen en een schatting van de mate waarin de forceringen worden begrepen (Level of Scientific Understanding).



©IPCC 2007: WG1-AR4

1.4 Directe waarnemingen van recente klimaatveranderingen

De opwarming van de aarde is onmiskenbaar, zoals duidelijk blijkt uit de toename van mondiaal gemiddelde lucht- en oceaantemperaturen, het smelten op grote schaal van sneeuw en ijs, en het stijgen van het mondiaal gemiddelde zeeniveau. Er zijn echter ook grootheden die niet veranderd zijn.

De wereldgemiddelde temperatuur is de afgelopen 100 jaar tussen de 0,56 en 0,92 graad gestegen. De stijging is niet gelijk over de wereld verdeeld: grote landmassa's en de poolgebieden zijn sneller opgewarmd, de oceanen en tropen minder snel. Sinds het IPCC-rapport uit 2001 is de wereld verder opgewarmd. De warmste 12 jaren sinds 1850 liggen in de afgelopen 13 jaar. De temperatuur stijgt sinds 1970 met ongeveer 0,2° C per 10 jaar.

In de 20e eeuw is de zeespiegel wereldwijd gestegen met ongeveer 17 centimeter. In de periode 1993-2003 is de snelheid van zeespiegelstijging bijna verdubbeld ten opzichte van de periode 1900-1992. Het is nog onduidelijk of deze snelle stijging zal doorzetten of slechts tijdelijk van aard is.

Op continenten, in regio's en in oceaanbekkens zijn talrijke langetermijnveranderingen in het klimaat waargenomen. Het gaat hierbij om veranderingen in temperatuur en ijsmassa's in het Noordpoolgebied, grootschalige veranderingen in neerslag, het zoutgehalte van de oceanen, windpatronen en aspecten van extreem weer, waaronder droogte, hevige neerslag, hittegolven en de intensiteit van tropische cyclonen (zie kolom 2 Tabel 1.3).

Satellietmetingen laten zien dat de zeeijsbedekking in het Noordpoolgebied sinds 1978 met gemiddeld 2,1 tot 3,3% per 10 jaar is afgenomen. De zeeijsbedekking in het Noordpoolgebied bereikt jaarlijks een minimum in de nazomer. Deze minimum bedekking is sneller afgenomen dan het jaargemiddelde, met 5% tot 10% per 10 jaar.

In sommige aspecten van het klimaat zijn geen veranderingen waargenomen. Dit betreft bijvoorbeeld de dagelijkse gang van de temperatuur: in de periode 1979 tot 2004 is de minimumtemperatuur net zoveel gestegen als de maximumtemperatuur. Ook zijn geen veranderingen geconstateerd in de Warme Golfstroom. De hoeveelheid zeeijs nabij Antarctica is nagenoeg constant gebleven. Dat is in overeenstemming met de niet noemenswaardige temperatuurverandering in dat gebied. Tenslotte zijn in enkele kleinschalige fenomenen, zoals tornado's, hagel, onweer en stofstormen, geen significante veranderingen geconstateerd.

1.5 Het temperatuurverloop in de afgelopen 1000 tot 2000 jaar

Paleoklimaatinformatie ondersteunt de interpretatie dat de hoge temperaturen van de afgelopen 50 jaar ongewoon zijn voor ten minste de afgelopen 1300 jaar. Ongeveer 125.000 jaar geleden waren de poolgebieden gedurende langere tijd wel wezenlijk warmer dan nu. Dit veroorzaakte door het smelten van poolijs een zeespiegelstijging van 4 tot 6 meter.

Onderzoek naar het verloop van de gemiddelde temperatuur op het noordelijk halfrond tijdens de afgelopen 1000 tot 2000 jaar bevestigt het ongewone karakter van de recente opwarming. Sinds het vorige IPCC-rapport is een aantal nieuwe studies op basis van paleoklimaatdata verschenen, die wijzen op grotere temperatuurvariëaties dan eerder werd aangenomen. Het gaat vooral om een sterkere afkoeling tijdens de 12-14e, de 17e en de 19e eeuw, terwijl warme perioden binnen de aangegeven onzekerheidsmarges van het vorige IPCC-rapport liggen.

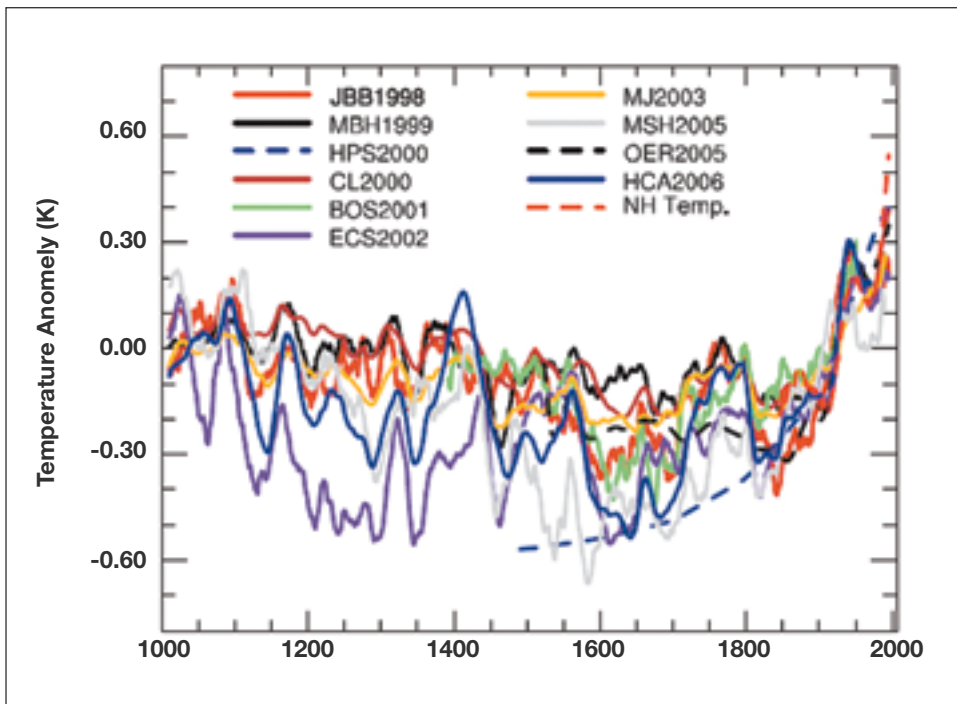
Tabel 1.3 Recente trends, aandeel van menselijke activiteiten in de trend en projecties van extreme weergebeurtenissen, waarin aan het einde van de 20e eeuw een trend is geconstateerd.

Fenomeen en richting van trend	Waarschijnlijkheid dat trend is opgetreden na 1960	Waarschijnlijkheid van menselijke invloed op trend	Waarschijnlijkheid van toekomstige trends, gebaseerd op klimaatmodellen
Meer hoge en minder lage temperaturen boven land	Zeer waarschijnlijk	Waarschijnlijk	Nagenoeg zeker
Warmere en meer voorkomende warme dagen en nachten boven land	Zeer waarschijnlijk	Waarschijnlijk met betrekking tot de nachten	Nagenoeg zeker
Warme perioden/ hittegolven: toename in frequentie	Waarschijnlijk	Meer waarschijnlijk dan niet	Zeer waarschijnlijk
Toename intensiteit neerslag en/of frequentietoename	Waarschijnlijk	Meer waarschijnlijk dan niet	Zeer waarschijnlijk
Toename gebied dat met droogte kampt	Waarschijnlijk in veel regio's sinds 1970	Meer waarschijnlijk dan niet	Waarschijnlijk
Toename intensiteit tropische cyclonen	Waarschijnlijk in enkele regio's sinds 1970	Meer waarschijnlijk dan niet	Waarschijnlijk
Toename van extreem hoog zeewatergebeurtenissen (excl. Tsunamis)	Waarschijnlijk	Meer waarschijnlijk dan niet	Waarschijnlijk

In het vorige IPCC-rapport werd een klein aantal reconstructies besproken van de gemiddelde temperatuur op het noordelijk halfrond tijdens de afgelopen 500-1000 jaar. Dergelijke reconstructies zijn gebaseerd op proxydata (indirecte indicatoren van klimaatvariabiliteit), zoals boomringen, schriftelijke bronnen, koralen en ijskernen. De nadruk lag op reeksen met een jaarlijkse resolutie. Sindsdien is er een aantal nieuwe studies verschenen. Deze gaan in het algemeen verder terug in de tijd (1000 tot 2000 jaar) en maken gebruik van uitgebreidere datasets met een betere geografische dekking.

Alle reconstructies laten een uitgesproken opwarming zien in de periode vanaf ongeveer 1800 na Christus, voorafgegaan door een langdurende, geleidelijke afkoeling. De mate van afkoeling is groter dan in het vorige IPCC-rapport en verschilt nogal tussen de diverse reconstructies (variërend van 0,3 tot 1 °C). Ook zijn er verschillen in de timing van koude intervallen. Sommige recente reconstructies laten een klein optimum zien in de 11e eeuw, maar dit blijft onder de gemiddelde temperatuur van de tweede helft van de 20e eeuw.

Figuur 1.3 Het temperatuurverloop op het noordelijk halfrond vanaf 1000 na Christus volgens 10 verschillende studies (21-jaar lopend gemiddelde, afwijkingen t.o.v. de gemiddelde temperatuur in de periode 1900-1960). De gemeten temperatuur is ook aangegeven (NH Temp, rood gestreept). Bron: Juckes et al., 2005



De onzekerheid in het temperatuurverloop, zoals die gereconstrueerd wordt op basis van paleoklimaatdata, is uiteraard groter dan die van instrumentele metingen. De onzekerheid wordt geschat aan de hand van de correlatie tijdens de instrumentele periode tussen de gereconstrueerde en gemeten temperatuur. De onzekerheid in de temperatuur van het noordelijk halfrond neemt in het algemeen toe naarmate men verder teruggaat in de tijd, omdat er voor de oudere periodes minder proxy datareeksen beschikbaar zijn. Vandaar dat er gesteld wordt dat het zeer waarschijnlijk is dat de temperatuur in de tweede helft van de 20e eeuw hoger was dan tijdens enige andere periode in de afgelopen 500 jaar, maar slechts waarschijnlijk dat dit het geval was in de afgelopen 1300 jaar.

In de samenvatting van het vorige IPCC-rapport werd gesteld dat het waarschijnlijk is dat de jaren '90 van de vorige eeuw op het noordelijk halfrond de warmste waren van het afgelopen millennium. Op deze uitspraak is veel kritiek geweest. Het nieuwe rapport bevestigt echter deze eerdere conclusie, hoewel de formulering iets anders is. De conclusie is gebaseerd op een groot aantal onafhankelijke studies, die met verschillende methoden en deels onafhankelijke datasets tot eenzelfde beeld komen. Verschillende van deze studies wijzen erop dat de berekende onzekerheden een ondergrens aangeven. Beperkingen die inherent zijn aan de gebruikte data en aan de statistische technieken zijn nu eenmaal niet eenvoudig te kwantificeren. Daarom wordt er in dit rapport met ruime (indicatieve) onzekerheidsmarges gewerkt. Een veel grotere terughoudendheid dus dan in het vorige IPCC-rapport, maar ondanks alle onzekerheid lijken deze temperatuurreconstructies toch het ongewone karakter van de recente opwarming te bevestigen.

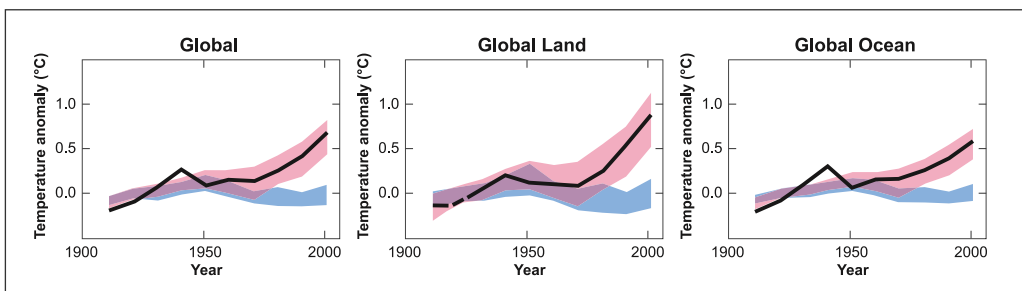
1.6 Mogelijke oorzaken van klimaatverandering

Het grootste deel van de toename van de mondiaal gemiddelde temperatuur sinds het midden van de 20e eeuw is 'zeer waarschijnlijk' het gevolg van de toename in antropogene broeikasgassen. Dit is een verscherping van de conclusie in het vorige IPCC-rapport dat 'het grootste deel van de waargenomen opwarming in de afgelopen 50 jaar 'waarschijnlijk' het gevolg is van de toename in broeikasgasconcentraties'. De onderscheidbare menselijke invloeden strekken zich nu uit tot andere aspecten van het klimaat (zie kolom 3 Tabel 1.3), waaronder het opwarmen van de oceanen, continentaal gemiddelde temperaturen, temperatuurextremen en windpatronen.

Klimaatmodellen waarin menselijke invloeden niet zijn meegenomen kunnen de waargenomen stijging niet verklaren. Als de invloed van broeikasgassen en stofdeeltjes wel wordt meegenomen is de overeenstemming tussen de berekende temperatuur en de waargenomen temperatuur goed (Figuur 1.4). Alleen rond 1940 was de aarde warmer dan berekend, maar in 100 jaar kan ook verwacht worden dat 10 jaren buiten de 5% en 95% onzekerheidsmarges van de natuurlijke variaties in het weer vallen. Voorts wordt de snellere opwarming van het land ten opzichte van de oceanen door de klimaatmodellen goed nagebootst.

Figuur 1.4 Veranderingen in de waargenomen (zwart) en gemodelleerde temperatuur in de periode 1906-2005 in de hele wereld, boven land en boven de oceanen. Blauw: 5% en 95% onzekerheidsmarges van 5 klimaatmodellen zonder menselijke invloeden, roze: hetzelfde met menselijke invloeden in 14 klimaatmodellen.

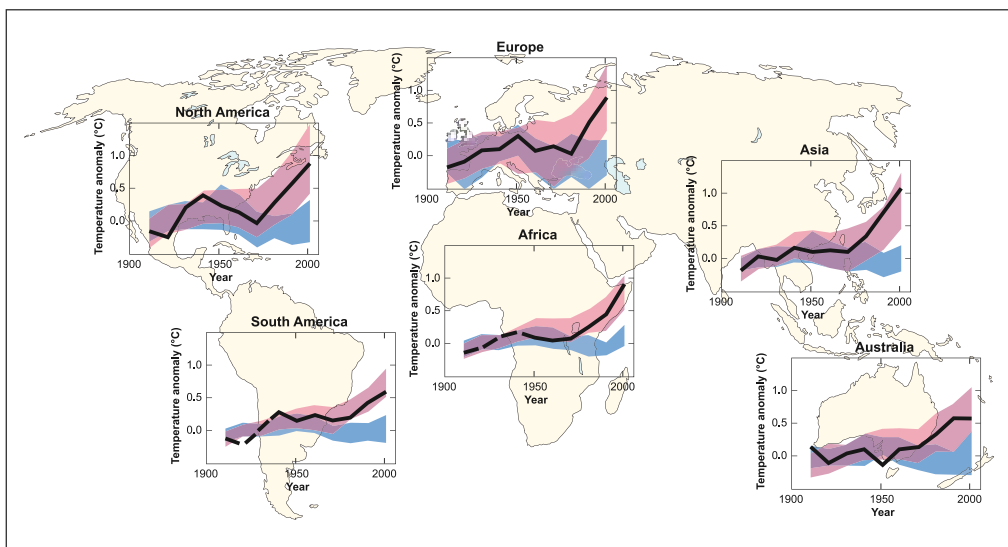
Bron: IPCC, 2007



De opwarming per continent (behalve Antarctica, waar te weinig metingen zijn) klopt ook goed met wat de klimaatmodellen aangeven (Figuur 1.5). Voor het eerst is nu de menselijke invloed ook op continentale schaal aannemelijk gemaakt. Dit is moeilijker vast te stellen dan in het wereldgemiddelde vanwege de grotere temperatuurvariaties door onder andere de mogelijke (langdurige) afwijkingen in overheersende windrichtingen.

Figuur 1.5 Veranderingen in de waargenomen en gemodelleerde temperatuur in de periode 1906-2005 per continent. Blauw: 5% en 95% onzekerheidsmarges van 5 klimaatmodellen zonder menselijke invloeden, roze: hetzelfde met menselijke invloeden in 14 klimaatmodellen.

Bron: IPCC, 2007



1.7 Klimaatprojecties

Het is nagenoeg zeker dat de mensheid het klimaat de komende tijd zal blijven beïnvloeden. Voor het eerst kan uit klimaatmodellen in combinatie met waarnemingen een bandbreedte van de klimaatgevoeligheid worden bepaald, waardoor het vertrouwen in de kennis van de respons van het klimaatstelsel op de klimaatverstorende factoren is toegenomen. Tot het eind van deze eeuw wordt een verdere wereldgemiddelde temperatuurstijging verwacht die waarschijnlijk tussen de 1,1 en 6,4 °C ligt (t.o.v. 1990). De grote bandbreedte wordt veroorzaakt door de onzekerheden in de uitstoot van broeikasgassen en onzekerheid over de terugkoppelingen in het klimaatstelsel, die het effect daarvan versterken of verzwakken. De poolgebieden warmen in de projecties het snelste op, ook woestijnen en grote landmassa's worden sneller warmer dan gemiddeld.

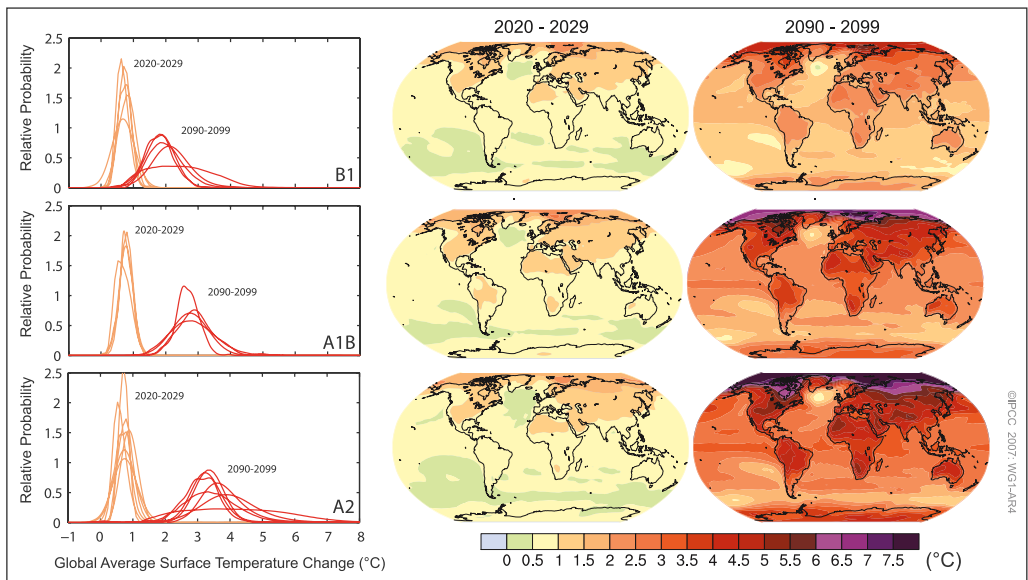
In dit IPCC-rapport wordt gebruik gemaakt van dezelfde scenario's voor de uitstoot van broeikasgassen als in het vorige rapport. Dit geeft dus een gelijke onzekerheidsmarge m.b.t. deze scenario's. Er is wel veel vooruitgang geboekt in de kennis van de gevoeligheid van de temperatuur op de toegenomen concentraties broeikasgassen, waardoor het nu mogelijk is om een kansverdeling van die gevoeligheid te maken. De beste schatting van de mondiale temperatuurstijging in 2100 (t.o.v. 1990) ligt tussen de 1,8 en 4 °C.

Voor de komende twee decennia wordt een opwarming van ongeveer 0,2 °C per decennium geprojecteerd voor een range van emissiescenario's. Zelfs als de concentraties van alle broeikasgassen en aerosolen zouden worden gestabiliseerd op het niveau van het jaar 2000, wordt een verdere opwarming van ongeveer 0,1 °C per decennium verwacht, omdat het klimaatstelsel traag werkt. Verdere uitstoot van broeikasgassen in het huidige tempo of sneller zullen verdere opwarming en veel veranderingen veroorzaken in het mondiale klimaatstelsel gedurende de 21e eeuw.

Bovendien is er nu meer bekend over de onzekerheden in delen van het klimaatsysteem die nog niet in de klimaatmodellen nagebootst worden, zoals de reactie van planten en dieren op de toegenomen temperatuur. De levende natuur beïnvloedt op haar beurt weer de hoeveelheid broeikasgassen. Een groot gedeelte van de CO₂-uitstoot wordt nu bijvoorbeeld door de oceanen opgenomen, maar dat kan afnemen doordat de oceaan door de opgenomen CO₂ verzuurt en warmer wordt. De resultaten van al deze studies naar de onzekerheden in de temperatuurstijging staan in Figuur 1.6 voor 2020-2029 (oranje) en 2090-2099 (rood). Omdat de onzekerheden beter bekend zijn, is de onzekerheidsmarge in de wereldgemiddelde temperatuurstijging groter dan in het vorige rapport.

Figuur 1.6 De opwarming in 2020-2029 en 2090-2099 ten opzichte van 1980-1999 in de B1 (boven), A1B (midden) en A2 (onder) scenario's. Links de kansverdeling van de temperatuur, rechts het gemiddelde van een groot aantal klimaatmodellen.

Bron: IPCC, 2007



De regionale verschillen in de projecties volgen in grote lijnen de waarnemingen tot nu toe, met de veel sterkere opwarming in de noordelijke poolgebieden. Ook de woestijngebieden van de aarde warmen duidelijk sneller op dan het gemiddelde, terwijl de oceanen achterblijven. Boven de Noord-Atlantische Oceaan en in iets mindere mate in de Zuidelijke Oceaan, is de opwarming zelfs veel minder dan het wereldgemiddelde. De koelere Noord-Atlantische Oceaan hangt mogelijk gedeeltelijk samen met de afzwakking van de Warme Golfstroom in de klimaatmodellen.

In beide poolgebieden neemt naar verwachting de hoeveelheid zeeijs in de loop van de 21e eeuw af. De uit de klimaatmodellen afgeleide snelheid waarmee de zeeijsbedekking afneemt is afhankelijk van de veronderstelde uitstoot van broeikasgassen en van wetenschappelijke onzekerheden over de werking van het klimaatsysteem. In sommige modelstudies verdwijnt het zeeijs in het Noordpoolgebied in de nazomer volledig vóór het eind van de 21e eeuw. Dit betekent dat er geen dik, meerjarig ijs meer over zal zijn in het Noordpoolgebied, maar alleen ijs dat is gevormd in de laatste winter.

Er is nu meer vertrouwen in de geprojecteerde opwarmingspatronen en andere verschijnselen op regionale schaal, inclusief de veranderingen in windpatronen, neerslag en sommige aspecten van extremen en van ijs (zie kolom 4 Tabel 1.3).

1.8 Zeespiegelstijging

Volgens het IPCC zal de zeespiegel gedurende de 21e eeuw wereldwijd met 18 tot 59 centimeter stijgen ten opzichte van het niveau van 1990. Dit is het gevolg van de uitzetting van het zeewater, het smelten van gletsjers en kleine ijskappen en het gestage slinken van de grote ijskappen op Groenland en Antarctica. Op sommige plaatsen is de afkalving aan de randen van de Groenlandse en de West-Antarctische ijskap de laatste jaren sterk toegenomen. Als deze versnelde afkalving doorzet in de 21e eeuw, kan de zeespiegel nog met nog 10 tot 20 centimeter extra stijgen. Het IPCC stelt dat op dit moment niet is in te schatten hoe groot de kans is dat deze trend inderdaad doorzet.

In het vorige IPCC-rapport werd uitgegaan van een wereldwijde zeespiegelstijging van 9 tot 88 centimeter. De bandbreedte in het nieuwe rapport is kleiner omdat de schattingen van de uitzetting van het zeewater zijn verbeterd en de bijdrage van gletsjers en kleine ijskappen met meer zekerheid geschat kan worden.

Oceanen en ijskappen reageren erg traag op veranderingen in de atmosfeer. Daarom zal de zeespiegelstijging nog eeuwen doorzetten, zelfs als de temperatuur na 2100 niet meer zou stijgen. Alleen al door de uitzetting van het zeewater zal het zeeniveau in 2300 ongeveer 30 tot 80 centimeter hoger zijn dan in de 20e eeuw.

De Groenlandse ijskap zal in dit warmere klimaat blijven slinken en dus bijdragen aan de zeespiegelstijging. Modelstudies suggereren dat bij een gematigde stijging van de temperatuur de ijskap in enkele eeuwen tot duizenden jaren vrijwel geheel zal verdwijnen. Dit zou een zeespiegelstijging van 6 à 7 meter tot gevolg hebben. De Antarctische ijskap blijft zó koud dat het oppervlak nauwelijks zal smelten. In modelstudies neemt de sneeuwval toe, waardoor deze ijskap de komende eeuwen gaat groeien. Echter, de ijskap kan netto massa verliezen wanneer blijkt dat de afkalving aan de randen dominant is. Als dit het geval is, dan heeft dit wereldwijd een zeespiegelstijging van 10-20 centimeter tot gevolg in 2100.

2. De gevolgen van klimaatverandering en de kwetsbaarheid van systemen

2.1 Achtergrond

Werkgroep II van het IPCC houdt zich bezig met de mondiale en regionale gevolgen van klimaatverandering en zeespiegelstijging, de kwetsbaarheid van verschillende sectoren, en de mogelijkheden tot aanpassing (adaptatie). Er is sinds 2001 met name veel aanvullend onderzoek gedaan naar veranderingen in de fysische en biologische systemen en hun relatie met (regionale) klimaatverandering. Er zijn veel meer kwantitatieve gegevens beschikbaar gekomen, waardoor de conclusies uit de huidige rapportage met veel meer zekerheid worden gepresenteerd dan in het IPCC-rapport van 2001.

Uit dit vele onderzoek blijkt dat vooral ecosystemen zoals toendra's, boreale bossen, berggebieden, mediterrane gebieden, kustgebieden, mangrovebossen, zoute kweldergebieden, oceanen, koraalriffen en gebieden met zeeijs grote gevolgen van klimaatverandering zullen ondervinden. Laagliggende delta's worden bedreigd door zeespiegelstijging, de watervoorraden in mediterrane landen en landen rond de evenaar lopen gevaar, evenals de landbouw in de tropen door een afname in beschikbaarheid van zoet water.

De voor klimaatverandering meest gevoelige regio's zijn de Noordpool, Afrika ten zuiden van de Sahara, de Aziatische megadelta's en de kleine eilanden. De temperatuurverandering, de zeespiegelstijging, de toename van hevige stormen en het geringe aanpassingsvermogen van deze gebieden zijn hiervan de oorzaak.

2.2 Huidige effecten

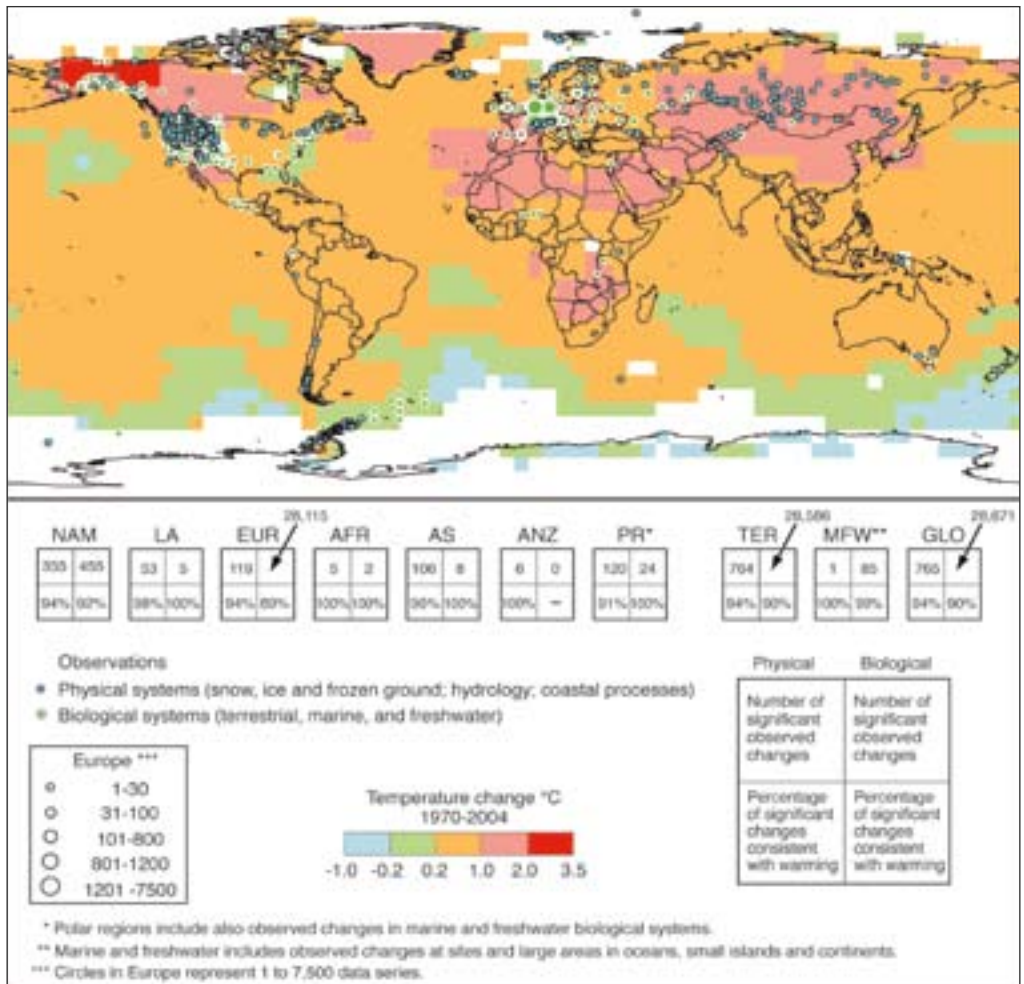
De opwarming van de aarde gedurende de laatste drie decennia heeft een duidelijk waarneembare invloed gehad op vele fysische en biologische systemen. Aan deze uitspraak kent het IPCC een hoge mate van betrouwbaarheid toe, met als kanttekening dat het merendeel van de studies betrekking heeft op de gematigde en hogere breedten van het noordelijk halfrond. Relatief weinig informatie is beschikbaar over waargenomen veranderingen in tropische gebieden en op het zuidelijk halfrond. Desondanks kan worden geconcludeerd dat voor alle continenten, inclusief Antarctica en sommige oceanen, effecten waarneembaar zijn.

Natuurlijke systemen

Er zijn de afgelopen periode grote veranderingen waargenomen in de cryosfeer (sneeuw, ijs, permafrost), zoals een toename in het afsmelten van ijs op de Noordpool, Groenland en het Antarctische schiereiland. Ook is de dooi van de permafrost in de poolgebieden en berggebieden toegenomen, met een afname van de bodemstabiliteit als gevolg. Ijskappen, sneeuwbedekking en gletsjers in berggebieden zijn verdwenen en het aantal sneeuw- en rotlawines is toegenomen. Dit alles heeft grote gevolgen voor de flora en fauna in die gebieden. Ook komen er steeds meer aanwijzingen dat veranderingen in rivieren en meren optreden. De piekafvoer van gletsjer- en smeltwaterrivieren wordt eerder in het voorjaar bereikt en de temperatuur van meren en rivieren neemt mondiaal toe, met alle gevolgen voor de waterkwaliteit van dien.

In sommige ongerepte kustgebieden wordt een verhoogde erosie van de kustlijn waargenomen, die kan worden toegeschreven aan een stijging van de zeespiegel, toegenomen golfhoogte en het vaker voorkomen van zwaardere stormen. Dit vormt ook een bedreiging voor wetlands en mangrovebossen. Bovendien neemt hierdoor de schade door overstromingen toe.

Figuur 2.1 Locaties van waargenomen veranderingen in fysische systemen (cryosfeer, hydrologie en kust) en biologische systemen (terrestrisch, marien, zoetwater), voor studies eindigend in 1990 of later met minstens twintig jaar resultaten, en temperatuurveranderingen in de periode 1970-2004. Resultaten uit 75 studies (waarvan zeventig nieuwe studies sinds het vorige IPCC-rapport (2001)) met meer dan 29.000 gegevensbestanden zijn verwerkt. Witte gridcellen: onvoldoende waarnemingen. De vierkanten bevatten gegevens voor i) regio's: NAM Noord-Amerika, SAM Zuid-Amerika, EUR Europa, AFR Afrika, AS Azië, AUS Australië, PR Polaire gebieden, en ii) TER terrestrische, mariene en zoetwater systemen (MFW), mondiale veranderingen in fysische en biologische systemen.



Voor een grote groep van soorten en levensgemeenschappen in terrestrische ecosystemen is aangetoond dat de opwarming gedurende de laatste decennia al tot effecten heeft geleid. Op het noordelijk halfrond worden op noordelijke plekken steeds meer soorten aangetroffen die van nature in meer zuidelijke, warmere gebieden voorkomen. Een dergelijke verschuiving vindt ook in de berggebieden plaats. Soorten die van nature in lager gelegen gebieden voorkomen, worden nu ook in hoger gelegen gebieden waargenomen. In de noordelijke gebieden van het noordelijk halfrond begint het voorjaar voor veel planten en dieren ook eerder dan vroeger. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de vogeltrek, het moment waarop vogels eieren leggen en het moment waarop planten en bomen in blad komen. Daarnaast begint de winter steeds later waardoor de lengte van het groeiseizoen langer wordt. Satellietwaarnemingen die sinds het begin van de jaren '80 worden gedaan, laten dit ook duidelijk zien.

Ook in aquatische systemen zijn steeds meer veranderingen zichtbaar. Het gebied met planktongroei in de Noord-Atlantische Oceaan is over een afstand van ongeveer duizend km in de richting van de Noordpool sterk toegenomen. Er is een toename van algen- en planktongroei geconstateerd in meren en zeeën in noordelijke gebieden en in hoger gelegen meren.

Ook zijn veranderingen waargenomen van de vistrek en de soortensamenstelling in rivieren en is er een toenemend bewijs dat klimaatverandering mede verantwoordelijk is voor het achteruitgaan van de ecologisch zo belangrijke koraalriffen.

Maatschappelijke sectoren

De effecten van klimaatverandering op menselijke systemen zoals landbouw en bosbouw zijn moeilijker vast te stellen dan bovengenoemde veranderingen in natuurlijke systemen, omdat ook economische en technische (management)factoren hierbij een rol spelen. Desondanks zijn ook hier duidelijke effecten waarneembaar. Tot op hogere noorderbreedte begint het plantseizoen eerder en het langere groeiseizoen draagt bij aan een toename van de oogst. Ook wordt enige toename van de bosproductiviteit waargenomen. In Noord-Amerika en in het Middellandse Zeegebied neemt de productiviteit in de land- en bosbouw af door te hoge temperaturen en droogte. Deze gebieden zijn ook kwetsbaarder geworden voor bosbranden.

Sinds kort wordt systematisch onderzoek gedaan naar gezondheidseffecten en sociaal-economische effecten van de opwarming van de aarde. Zo zijn er hogere sterftecijfers in stedelijke gebieden in Europa en Azië, die worden toegeschreven aan het feit dat het aantal dagen met extreem hoge temperaturen is toegenomen. Er zijn aanwijzingen voor veranderingen in verdelingspatronen van sommige ziekten en plagen in delen van Europa en Afrika. Er komen meer ziekten en plagen voor in gebieden die daarvoor voorheen ongeschikt leken. In gebieden op hogere en gematigde breedte neemt de overlast door pollenallergenen toe. Deze begint ook vroeger.

2.3 Toekomstige effecten

De mogelijke consequenties van klimaatverandering worden steeds duidelijker, zowel voor de natuur als de mens. Problemen zullen gaan ontstaan met de beschikbaarheid van zoet water en de voedselvoorziening, ecosystemen zullen verdwijnen of veranderen, kusten en laaggelegen gebieden lopen gevaar bij zeespiegelstijging en de economische schade kan groot zijn omdat juist de laaggelegen gebieden onze economische motor zijn.

Watertekorten en wateroverlast

De toename in temperatuur en verdamping, de toename in neerslagintensiteit en -variabiliteit, en de stijging van de zeespiegel heeft een grote invloed op de voorraden en beschikbaarheid van zoetwater. De watervoorraden in gletsjers en sneeuwgebieden nemen zeer waarschijnlijk af. Datzelfde geldt voor semi-aride en aride gebieden, waar nu al watertekorten heersen. De grondwaterstand in gebieden met waterstress herstelt zich niet of minder snel, mede als gevolg van een sterke toename van de vraag naar water.

De waterafvoer door rivieren en de beschikbaarheid van water nemen daarentegen toe in noordelijke gebieden en in sommige natte tropische gebieden. De stijging van de zeespiegel leidt tot een toename van de verzilting van grondwater in kustgebieden en estuaria en afname van beschikbaarheid aan zoetwater. Hogere watertemperaturen, zwaardere regenbuien en langere perioden met lage waterstanden in rivieren verslechteren de waterkwaliteit met gevolgen voor ecosystemen, menselijke gezondheid en de betrouwbaarheid van watersystemen. Tabel 2.1 laat zien dat, afhankelijk van de mate van klimaatverandering, er miljoenen tot zelfs miljarden mensen te maken krijgen met de gevolgen van klimaatverandering.

In komende decennia zullen de kustgebieden te maken krijgen met een verscheidenheid aan effecten gerelateerd aan klimaatverandering. Mondiaal zal de zeespiegel in de orde van 0,2 tot 0,6 meter of meer stijgen. Regionaal, zoals in de Noordzee, kan deze stijging oplopen tot 0,8 meter zijn. Stormen zullen heviger zijn, golfhoogtes hoger, de afvoer van rivieren zal veranderen en de zee zal zuurder worden. De gevolgen hiervan zullen worden versterkt door een toenemende bevolkingsdruk in kustgebieden. Belangrijke ecosystemen zoals wetlands, zoutmoerassen en mangrovebossen zullen achteruitgaan en koraalriffen zullen verder afsterven. De kans op overstromingen neemt toe wat in een scenario van een temperatuurstijging van meer dan 2 °C een bedreiging vormt voor honderden miljoenen mensen, vooral in dichtbevolkte en laaggelegen gebieden (zie Tabel 2.1).

Natuurlijke systemen

In de loop van deze eeuw zal de veerkracht van veel ecosystemen waarschijnlijk worden overschreden door een combinatie van een veranderd klimaat en daaraan gerelateerde verstoringen (bosbranden, insectenplagen). Ook andere mondiale verstoringen, zoals de effecten van de veel hogere CO₂-concentraties, spelen hierbij een rol. Vooral de ecosystemen van toendra's, boreale bosgebieden, berggebieden, het Middellandse Zeegebied, mangrovebossen, zoutmoerassen, koraalriffen en polaire gebieden lopen risico's. Zo'n 20-30% van de planten- en diersoorten loopt het risico uit te sterven, indien de mondiale temperatuur tot 2-3°C boven het pre-industriële niveau stijgt.

Tot nu toe fungeert de vegetatie als een belangrijke opslag voor koolstof. In de tweede helft van deze eeuw kan dit echter omslaan en worden terrestrische ecosystemen een netto bron voor koolstof, waardoor het broeikas effect wordt versterkt. Het versneld vrijkomen van opgeslagen koolstof uit veengebieden, toendra's, permafrostbodems, en bodems van boreale en tropische bosgebieden is nagenoeg zeker.

*Tabel 2.1 Mondiale effecten per thema ten gevolge van temperatuurstijging (rechts)
(blauw: temperatuurstijging omstreeks 2020, geel omstreeks 2050 en rood omstreeks 2080,
veranderingen gaan bij hogere temperaturen door tenzij anders vermeld).*

Temperatuurstijging °C >1990					
0	1	2	3	4	5
water	<p>toename irrigatievraag</p> <p>toename waterbeschikbaarheid in natte tropen en op hogere breedten</p> <p>afname waterbeschikbaarheid en droogte in gebieden dicht bij de evenaar</p> <p>honderden miljoenen mensen blootgesteld aan een toegenomen waterstress</p>				ca. 20% van de wereldbevolking heeft last van overstromingen
ecosystemen	<p>toename uitsterven amfibieën</p> <p>toename koraalverbleking</p> <p>toename verandering in soorten-samenstelling van leefgemeenschappen</p> <p>toename bosbranden</p>	<p>20-30% van de soorten loopt groot gevaar om uit te sterven</p> <p>meeste koraal verbleekt</p> <p>15% van oppervlak ondergaat veranderingen</p>	<p>wijdverbreid afsterven koraal</p> <p>terrestrische ecosystemen worden een netto koolstof-bron</p>		<p>verdwijning van soorten</p> <p>40% van het oppervlak ondergaat veranderingen</p>
voedsel	<p>gewasopbrengst neemt af op lagere breedten</p> <p>gewasopbrengst neemt toe op hogere breedten</p>			<p>adaptief vermogen van veel gewassen wordt op lagere breedten overschreden</p>	
kusten	<p>toename schade door overstromingen en stormen</p>	<p>miljoenen meer mensen lopen risico door overstromingen</p>		<p>30% verlies aan kust en wetlands</p>	
gezondheid	<p>verandering in verspreiding van ziekten en plagen en allergene pollen</p> <p>toename gevolgen van ondervoeding, diarree, hart- en vaatziekten en infectieziekten</p> <p>toename ziekte en sterfte door hittegolven, overstromingen en droogte</p>			<p>aanzienlijke belasting op gezondheidsdiensten</p>	
stijging zeespiegel	6-9 cm	15-24 cm	29-45 cm		
Temperatuurstijging °C >1861-1890					
1	2	3	4	5	

Maatschappelijke sectoren

Een mondiale temperatuurstijging van 1-3°C heeft een positief effect op de oogsten in gematigde klimaatstreken. In subtropische en tropische gebieden leidt een dergelijke temperatuurstijging waarschijnlijk tot een oogstdaling van de belangrijkste graangewassen. De mate van deze effecten in beide klimaatzones hangt af van waterbeschikbaarheid, de gewaskeuzen en management (adaptief vermogen). Een verdere opwarming zou tot oogstdalingen in alle regio's kunnen leiden. De gevolgen van lokale veranderingen in het klimaat zullen vooral voor kleine boeren en traditionele vissers in tropische gebieden van belang zijn, omdat hun adaptatievermogen gering is. De toename in frequentie en intensiteit van extreme weergebeurtenissen (hitte, droogte, overstromingen, zie Tabel 1.3) zullen significante negatieve gevolgen hebben voor de productie in de land- en bosbouw. Hetzelfde geldt voor de toename in risico voor het uitbreken van branden, ziekten en plagen.

Technologische en sociaal-economische effecten zijn op een termijn van vele decennia moeilijk in te schatten. Hierdoor is ook het maken van projecties van mogelijke gevolgen van klimaatverandering voor industrie, nederzettingen en samenleving een moeilijke opgave. Daarom heeft het IPCC hiervoor een andere benaderingswijze gekozen, waarbij de kwetsbaarheid of gevoeligheid voor mogelijke gevolgen van klimaatverandering in beeld is gebracht. Industrie, nederzettingen en samenlevingen zijn vooral gevoelig voor extreme weergebeurtenissen, meer dan voor geleidelijke klimaatverandering. De meest kwetsbare industrie, vestigingen en maatschappijen bevinden zich in kustgebieden en riviervlakten. Dit geldt vooral voor gebieden met een grote urbanisatiegraad en een sterke afhankelijkheid van klimaatgevoelige hulpbronnen. De economische schade ten gevolge van extreme weergebeurtenissen zal aanzienlijk toenemen in hiervoor kwetsbare gebieden.

2.4 Gevolgen voor de verschillende regio's

De gevolgen van klimaatverandering kunnen voor de diverse regio's verschillen, onder andere afhankelijk van het huidige klimaat. In Afrika komen de voedsel- en watervoorziening (nog) meer onder druk te staan. De dichtbevolkte Aziatische megadelta's lopen gevaar door overstromingen vanuit zee of door de rivieren. In Australië en Nieuw-Zeeland gaat waterschaarste een grotere rol spelen. In Europa zijn er grote verschillen te verwachten tussen het noorden en het zuiden, bijvoorbeeld ten aanzien van de kansen voor de landbouw. In Latijns Amerika hebben zich al veel extreme weersgebeurtenissen voorgedaan, en ook de Verenigde Staten zullen, ondanks hun grote adaptatievermogen, de gevolgen van klimaatverandering ondervinden, bijvoorbeeld in de watervoorziening.

In veel Afrikaanse landen vormt de landbouw de voornaamste bijdrage aan de economie (gemiddeld 21%). Klimaatverandering zal dan ook grote gevolgen hebben voor de agrarische productie en voedselzekerheid in veel Afrikaanse regio's. De kans op honger zal toenemen door een afname van geschikte landbouwgrond, een afname van de lengte van het groeiseizoen en gewasopbrengst. Het aantal mensen dat te maken krijgt met waterschaarste zal sterk toenemen. Dit is te wijten aan zowel klimaatgerelateerde als niet-klimaatgerelateerde factoren zoals een gebrek aan samenwerking tussen landen bij het waterbeheer. De zeespiegelstijging vormt een bedreiging voor dichtbevolkte deltagebieden, zoals de delta's van de Nijl en de Niger. Mangrovebossen en koraalriffen zullen verder afsterven met gevolgen voor de visserij en toerisme. De visvangst zal verminderen door zowel overbevissing als stijging van de watertemperatuur in de grote meren. Dat heeft ingrijpende gevolgen voor de voedselvoorziening. Tot slot neemt het risico op malaria en andere infectieziekten toe.

Uit waarnemingen in Azië blijkt dat de opgetreden klimaatverandering in de afgelopen decennia al heeft geleid tot effecten in veel sectoren. Extreme weergebeurtenissen zijn toegenomen, de gewasoogst is in vele landen afgenomen, het terugtrekken van gletsjers wordt waargenomen, evenals een versnelde dooi van de permafrost in boreaal Azië. Het smelten van ijs in de Himalaya zal de kans op overstromingen en rotswalines doen toenemen en leiden tot een vernietiging van de watervoorraden. De kans op over-

stromingen door rivieren en de zee zal in kustgebieden, vooral in de dichtbevolkte megadelta's in Zuid-, Oost- en Zuidoost-Azië, toenemen. De snelle verstedelijking, industrialisatie en economische ontwikkeling hebben in veel Aziatische landen geleid tot een toename van de lucht- en waterverontreiniging, landdegradatie en andere milieuproblemen met grote gevolgen voor de bio-diversiteit, leefbaarheid en menselijk welzijn. De effecten van klimaatverandering zullen deze milieueffecten versterken, naar verwachting vooral in Zuid- en Oost-Azië. De toename in temperatuur en veranderingen in neerslag zullen waarschijnlijk leiden tot een afname in gewasproductiviteit, waardoor de kans op voedseltekorten toeneemt.

In Australië en Nieuw-Zeeland is de temperatuur sinds 1950 met 0,3-0,7°C toegenomen, met als gevolg meer hittegolven, minder perioden met vorst, meer regen in Noordwest-Australië en Zuidwest-Nieuw-Zeeland en minder regen in Zuid- en Oost-Australië en Noordwest-Nieuw-Zeeland. In Zuid- en Oost-Australië en in delen van Nieuw-Zeeland zullen de problemen met de watervoorziening toenemen. De biodiversiteit in de regio zal verder afnemen. Het gaat hier om ecologisch rijke gebieden zoals het Great Barrier Reef, Kakadu wetlands, The Queensland Wet Tropics, sub-Antarctische eilanden en de alpine nationale parken in beide landen. Veel van deze gebieden staan op de lijst van Werelderfgoed van UNESCO.

Kustgebieden zoals de Cairns regio, Zuidoost-Queensland en Northland to Bay of Plenty, waar de bevolking steeds meer toeneemt, zullen meer risico lopen door het vaker voorkomen van hevige stormen en overstromingen als gevolg van zeespiegelstijging. Sommige gebieden daarentegen, vooral in Nieuw-Zeeland en in delen van Zuid-Australië, zullen van een mondiale temperatuurstijging van 1-2°C profiteren. Het groeiseizoen zal langer zijn, er treedt minder vorstschade op, er is minder vraag naar energie, er is meer irrigatiewater beschikbaar alsmede een groter potentieel voor hydro-elektriciteit. Een nog verdere temperatuurstijging zal dit echter doen omslaan.

In Europa laten klimaatscenario's een aanzienlijke opwarming zien, tot wel 5,5°C, afhankelijk van het scenario. De gemiddelde neerslag zal in het noorden toenemen en in het zuiden afnemen. De neerslag zal echter duidelijker seizoensgebonden zijn: in de zomer zal deze afnemen, in het Middellandse Zeegebied zelfs met 30-45% in vergelijking met de huidige neerslag. De negatieve gevolgen van klimaatverandering zullen vooral in Zuid-Europa merkbaar zijn. Door het vaker voorkomen van hittegolven neemt het overlijdensrisico toe. Andere gevolgen betreffen de afname van de beschikbaarheid van water, minder mogelijkheden voor het opwekken van hydro-elektriciteit en afname in gewasopbrengsten. Bosbranden zullen daarentegen vaker optreden.

In Noord-Europa brengt het veranderende klimaat ook voordelen. De koudeperiodes nemen af en de potentiële opbrengsten in de landbouw, de bosbouw en de visserij nemen toe. Ook worden de omstandigheden gunstiger voor het opwekken van hydro-elektriciteit. In de nabije toekomst (rond 2020) neemt het risico op rivieroverstromingen in geheel Europa toe. Hetzelfde geldt voor overstromingen in kustgebieden ten gevolge van de zeespiegelstijging. Voor het laatste verwacht men dat rond 2080 zo'n 2,5 miljoen meer mensen dan tot op heden hiermee te maken krijgen, uitgaande van het A2-emissiescenario met een range in temperatuurstijging is 2,0 tot 5,4°C. Dit scenario behelst een sterke economische groei in een meer regionaliserende wereld. Natuurlijke systemen zoals gletsjers, permafrostgebieden, de Alpen en kustgebieden zullen aanzienlijk te lijden hebben. De biodiversiteit zal afnemen. Het grootste deel van de organismen en ecosystemen is namelijk slecht in staat om zich aan te passen aan een veranderend klimaat.

In de afgelopen jaren hebben extreme weergebeurtenissen ernstige gevolgen in de Latijns Amerikaanse regio gehad. Denk aan de extreem hoge neerslag (bijvoorbeeld in Venezuela in 1999 en 2005), overstromingen in de Argentijnse pampa's (2000, 2002), hagelbuien in Bolivia (2002) en in het gebied van Buenos Aires (2006) en de orkaan Katrina in de Zuid-Atlantische Oceaan (2004). Het jaar 2005 was recordjaar wat betreft orkanen in de Cariben. De gemiddelde opwarming tot aan het eind van de 21e eeuw kan tot 6°C bedragen, afhankelijk van het klimaatscenario.

In oost Amazonië zullen temperatuurstijging en afname van bodemwater leiden tot vervanging van

tropische regenwoud door savanne. In Noord-Brazilië en Noord-Mexico zullen semi-aride gebieden vervangen worden door vegetatie die in droge gebieden voorkomt. In tropische bossen zullen steeds meer soorten uitsterven. In droge gebieden leidt klimaatverandering tot verzilting en verwoestijning van landbouwgrond. De opbrengsten van sommige belangrijke gewassen zullen dalen en de productiviteit van vee zal afnemen. In gematigde gebieden zal de opbrengst van soja toenemen. De stijging van de zeespiegel veroorzaakt een verhoogd risico op overstroming in laag gelegen gebieden (bijvoorbeeld in El Salvador, Guyana en in het Rio de la Plata estuarium). De toename in watertemperatuur tot slot heeft negatieve gevolgen voor de Midden-Amerikaanse koraalriffen, met verplaatsing van de visgronden als gevolg.

Noord-Amerika heeft een enorme capaciteit om zich aan te passen, maar deze capaciteit is niet altijd in staat om de bevolking te vrijwaren voor de negatieve effecten van extreme weergebeurtenissen. In de westelijke berggebieden veroorzaakt de temperatuurstijging een verdere afname van de sneeuwbedekking, meer overstromingen in de winter en een verminderde waterafvoer in de rivieren in de zomer. Klimaatverandering zal waarschijnlijk de nu al intensief gebruikte watervoorraden verder belasten. In bosgebieden zullen bosbranden, ziekten en plagen vaker voorkomen. Het aantal hittegolven zal toenemen met negatieve gevolgen voor de gezondheid. De zeespiegelstijging en hevige stormen vormen een groter risico voor de bevolking in kustgebieden.

In het Noordpoolgebied zal de oppervlakte met zeeijs in 2080-2100 naar verwachting zijn afgenomen met circa 30%. Voor Antarctica variëren de voorspellingen van een lichte toename tot een volledig verdwijnen van het zeeijs in de zomer. Ook voorziet men een aanzienlijke afname in dikte en oppervlakte van de gletsjers en ijskappen in het Noordpoolgebied en een verder afsmelten van de Groenlandse ijsvlakte. In West-Antarctica gaat het dunner worden van de ijskap door, evenals de afbrokkeling van het Antarctisch schiereiland. De omvang van de permafrostgebieden zal in 2050 met 20-35% zijn afgenomen. Deze veranderingen hebben grote gevolgen voor de flora en fauna in deze gebieden. Zowel de Noord- als de Zuidpool bestaat uit specifieke ecosystemen en niche habitats die bijzonder gevoelig zijn voor de invasie van vreemde soorten.

Kleine eilanden vormen alleen al door hun geringe grootte een probleemgebied als het gaat om klimaatverandering. De stijging van de zeespiegel en het vaker voorkomen van hevige stormen leidt hier tot het verder afkalven van de kusten en een verhoogd risico voor overstroming. Voor veel kleine eilanden geldt dat de watervoorziening gevaar loopt door stijging van de zeespiegel en een vermindering in gemiddelde neerslag. Op eilanden die zich op gematigde en noordelijke breedten bevinden, neemt de invasie van vreemde soorten toe.

2.5 Adaptatie en mitigatie

De opwarming van de aarde is onontkoombaar en aanpassen is noodzakelijk om de gevolgen te verkleinen. De mogelijkheden voor adaptatie zijn echter beperkt. Mitigatie blijft noodzakelijk om de mondiale temperatuurstijging te verminderen, waardoor de gevolgen op langere termijn minder ernstig zullen zijn en adaptatie beter mogelijk is.

Vanouds heeft de mens geleerd om zich aan te passen aan veranderende weers- en klimaatomstandigheden om zo zijn bestaan veilig te stellen. Anticiperen op toekomstige klimaatomstandigheden (adaptatie) kan daar op voortbouwen. Vaak zijn aanpassingen aan klimaatverandering onderdeel van een groter pakket maatregelen, zoals bij integraal waterbeheer, het ontwerp van rampenplannen en de inrichting van gebieden en het ontwerp van infrastructuur. Er zijn nog maar weinig adaptatiemaatregelen die expliciet anticiperen op de mogelijk toekomstige gevolgen van klimaatverandering. Voorbeelden zijn: het aanpassen van de kustverdediging aan zeespiegelstijging, het gedeeltelijk draineren van gletsjermereen om overstromingen tegen te gaan, projecten in Australië om het water-

beheer te verbeteren en daarmee de gevolgen van droogte te verminderen, projecten in Europa om de rivieren meer ruimte te geven en de maatregelen van Europese overheden om de gevolgen van hittegolven te beperken.

Het vermogen tot adaptatie verschilt sterk, niet alleen tussen landen en regio's, maar ook tussen verschillende groepen binnen een maatschappij. Arme landen en arme groepen hebben slechts een gering adaptatievermogen. Een groot adaptatievermogen betekent echter niet automatisch dat er ook maatregelen worden genomen. Ondanks een groot adaptatievermogen blijft het sterftcijfer ten gevolge van hittestress in sommige Europese steden hoog. Voor het doorvoeren van adaptatiemaatregelen is er een groot aantal hindernissen te nemen, op het gebied van kennis en technologie, financiën, gedrag, maatschappij en cultuur. Veel maatregelen kunnen tegen relatief lage kosten worden uitgevoerd, maar eenduidige schattingen over kosten en baten ontbreken vooralsnog (zie ook Hoofdstuk 4).

De effecten van adaptatie en mitigatie verschillen in tijd en plaats. Adaptatie heeft vooral voordelen voor de lokale en regionale schaal. De effecten zijn op relatief korte termijn merkbaar. Mitigatie biedt vooral voordelen op mondiale schaal. Zowel adaptatie als mitigatie zijn nodig: het zijn complementaire strategieën om de gevolgen van klimaatverandering te verminderen. Hoe sneller en ambitieuzer de emissiereducties, des te groter is de kans dat de gevolgen milder zullen zijn, waardoor adaptatie beter mogelijk is.

Om de risico's te verminderen is een veelheid aan mitigatie- en adaptatiemaatregelen nodig. Heel belangrijk is het stimuleren van technologische ontwikkelingen en wetenschappelijk onderzoek om inzicht te krijgen in de effecten van mogelijke maatregelen. Bij de implementatie van maatregelen moeten verschillende actoren worden betrokken. Voor mitigatie heeft men te maken met een beperkt aantal sectoren zoals de energie- en transportsector, de industrie, huishoudens en de land- en bosbouwsector. Voor adaptatiemaatregelen is er sprake van een grote verscheidenheid aan actoren. Bijvoorbeeld uit de landbouw, volksgezondheid, toerisme en recreatie, drinkwatervoorziening, kustverdediging, stadsplanning en natuurbeheer.

Klimaatverandering kan de vooruitgang in de richting van duurzame ontwikkeling in de tweede helft van onze eeuw vertragen doordat het aanpassingsvermogen van landen dan sterk is afgenomen. Een tijdig ingezette koers op duurzame ontwikkeling kan het adaptatievermogen echter doen toenemen en daarmee bijdragen aan het verminderen van de kwetsbaarheid voor klimaatverandering. Het IPCC stelt dat vooral praktische ervaringen - 'learning-by-doing' - onze kennis van de effecten van maatregelen kan vergroten. Voor het bepalen van een optimale strategie is het daarbij van belang een beter beeld te krijgen van de kosten en baten van adaptatie- en mitigatiemaatregelen (zie Hoofdstuk 4).

3. *Mitigatie: maatregelen om klimaatverandering te verminderen*

3.1 Achtergrond

De bijdrage van Werkgroep III aan het IPCC-rapport gaat over de voortgang in de wetenschappelijke, technische en sociaal-economische kennis over mitigatie. Dit zijn maatregelen om de emissies van broeikasgassen te verminderen dan wel de opname van kooldioxide door vegetatie te vergroten. Hierdoor wordt de menselijke bijdrage aan klimaatverandering verminderd. De wetenschappelijke vraag naar maatregelen die nodig zijn om klimaatverandering tegen te gaan, is actueel sinds de Verenigde Naties in 1992 in het raamwerkverdrag over klimaatverandering (UNFCCC) als doel hebben gesteld de concentraties van broeikasgassen te stabiliseren, zodanig dat een gevaarlijke beïnvloeding van het klimaatsysteem wordt vermeden. Onderdeel van dit verdrag is het Kyoto-protocol, in werking getreden in 2005. Hierin zijn bindende afspraken gemaakt tussen een aantal industrielanden om, als eerste stap, de emissies van broeikasgassen in de periode 2008-2012 te verminderen met minimaal 5% ten opzichte van 1990.

Wat precies 'gevaarlijk' is, is uiteraard een politieke afweging gebaseerd op onder meer gegevens over klimaateffecten (zie Hoofdstuk 2). De Europese Unie heeft de algemene VN-doelstelling vertaald naar een maximaal toegestane stijging van de gemiddelde mondiale temperatuur van 2°C boven het niveau voor de industriële revolutie. Om de temperatuurstijging uiteindelijk binnen die 2°C-grens te houden, is het nodig de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer te stabiliseren. Daarvoor is het weer nodig om de uitstoot van broeikasgassen drastisch te verminderen.

Door de onzekerheid in klimaatgevoeligheid (zie Hoofdstuk 1) is niet exact aan te geven welk stabilisatieniveau van broeikasgasconcentraties precies overeenkomt met de 2 graden doelstelling van de EU, maar uit onderzoek blijkt dat er een redelijke kans is om die doelstelling te halen als de broeikasgasconcentratie wordt gestabiliseerd op een niveau van niet meer dan 450 ppm (parts per million) CO₂-equivalenten of daaronder (MNP, 2006). Deze CO₂-equivalente concentratie is een maat waarbij de werking van andere broeikasgassen wordt omgerekend naar het equivalent van de werking van CO₂. Hierbij is gebruik gemaakt van de gemiddelde 'radiative forcing' (zie Hoofdstuk 1) van elk molecuul broeikasgas. Een niveau van 550 ppm CO₂-equivalenten komt ongeveer overeen met een temperatuurstijging op een niveau van 3°C.

Voor het stabiliseren van broeikasgasconcentraties zijn forse reducties in de uitstoot noodzakelijk. Hoe lager het stabilisatieniveau, hoe eerder de vermindering van de uitstoot moet beginnen en hoe meer mitigatiemaatregelen nodig zijn. Er zijn scenarioberekeningen uitgevoerd variërend van 450 tot circa 1000 ppm CO₂-equivalent. In alle gevallen moeten de emissies wereldwijd sterk worden gereduceerd. Daarvoor is niet veel tijd. Zelfs voor het hoogste niveau (rond 1000 ppm CO₂-equivalent) moeten de emissies in absolute zin gaan afnemen voor 2100. Voor het bereiken van het meest strikte stabilisatieniveau (450 ppm) zou de mondiale emissie van broeikasgassen al voor 2015 van een stijgende naar dalende trend moeten worden omgebogen. In dat geval zouden in 2050 de emissies met 50-80% moeten zijn gereduceerd ten opzichte van 2000. De trend is op dit moment echter een stijging van de wereldemissies met ongeveer 2% per jaar.

3.2 Trends in uitstoot van broeikasgassen

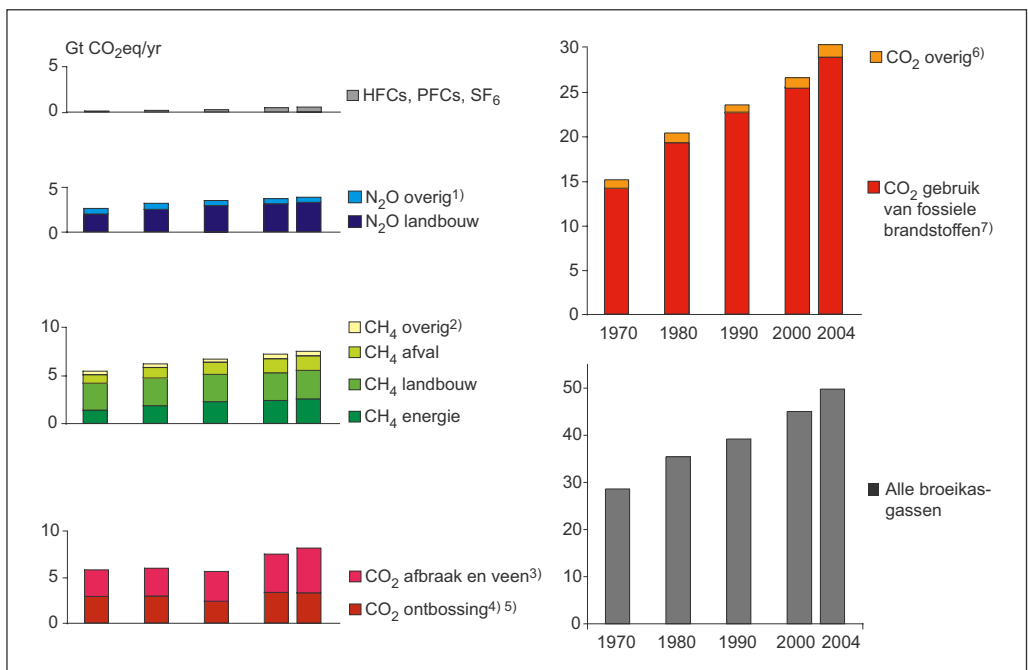
De emissies van broeikasgassen geven historisch gezien een stijgende trend en deze zet tot nu toe wereldwijd onverminderd door. Zonder additioneel klimaatbeleid en gerelateerde duurzaamheidsmaatregelen zal de uitstoot van broeikasgassen de komende decennia verder toenemen.

In de periode tussen 1990 en 2004 is de mondiale uitstoot van broeikasgassen die onder het Kyoto-protocol vallen (CO₂, methaan, lachgas, HFCs, PFCs en SF₆) met 24% gestegen. De CO₂-emissies zijn sinds 1990 met 28% omhoog gegaan. Toch zijn in deze periode in veel landen mitigatiemaatregelen genomen. Deze waren echter onvoldoende om de globale trend van stijgende emissies om te buigen (zie Figuur 3.1).

De verwachting is dat zonder additionele klimaatmaatregelen de emissies van broeikasgassen verder zullen stijgen. Scenario's geven aan dat - afhankelijk van de aannames over bevolkingsgroei, technologische en sociaal- economische ontwikkelingen - de emissies in 2030 tussen de 25 en 90% hoger kunnen zijn dan in 2000. Een dergelijke emissiegroei zou aan het eind van deze eeuw leiden tot een wereldgemiddelde stijging van de temperatuur tot uiteindelijk maximaal 6 °C boven het pre-industriële niveau.

Vergeleken met het vorige IPCC-rapport (2001) is de waaier van de emissieprojecties tot 2100 nauwelijks veranderd. De enige uitzondering vormen de emissieprojecties van aërosolen en stoffen die tot aërosolvorming kunnen leiden - deze zijn lager dan in vorige rapportages. Omdat aërosolen een netto afkoelend effect hebben (zie Hoofdstuk 1), zou de temperatuurstijging daardoor iets groter zijn dan in het vorige IPCC-rapport was voorzien. De aanpassingen in de schattingen van de klimaatgevoeligheid (zie eveneens Hoofdstuk 1) leiden ook tot een hogere verwachte stijging.

Figuur 3.1 Uitstoot van broeikasgassen 1970-2004.



Noten: de optelling van de verschillende gassen is gedaan met 100 jaar Global Warming Potentials.

1. Overig N₂O omvat industriële processen, ontbossing/savanne branden, afvalwater en afvalverbranding.
2. Overig CH₄ is emissies van industriële processen en savanne branden.
3. CO₂-emissies door de afbraak van biomassa die overblijft na boskap en ontbossing en CO₂ uit veenbranden en afbraak van gedraineerde veengrond.
4. Inclusief traditioneel gebruik van bio-energie.
5. Voor bosbranden zijn gemiddelde gegevens over 1997-2002 gebruikt gebaseerd op satellietwaarneming.
6. Cement productie en affakkelen van aardgas.
7. Gebruik van fossiele brandstoffen is inclusief emissies uit voorraden.

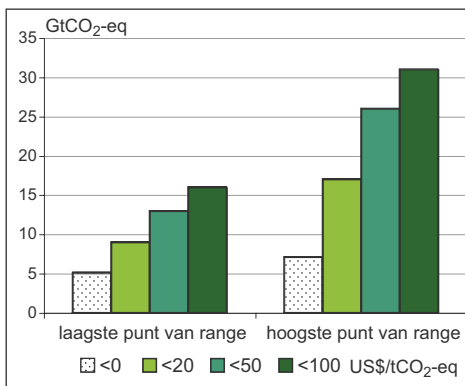
Omdat CO₂ uit de verbranding van fossiele brandstoffen de belangrijkste component van de broeikasgasemissies is, en naar verwachting ook wel zal blijven, gaat hier de meeste aandacht naar uit. Maatregelen die leiden tot een verminderd verbruik van fossiele brandstoffen bestaan enerzijds uit maatregelen in de energievoorziening en anderzijds uit maatregelen aan de verbruikerskant. Een belangrijke categorie in de energievoorziening betreft de maatregelen om de emissies te verminderen door verschuivingen in de brandstofmix, schone kooltechnologie en het afvangen en opslaan van kooldioxide. Aan de verbruikers kant wijst het IPCC rapport op de mogelijkheden om emissies te verminderen door veranderingen in gedrag, levensstijl en consumptiepatroon. De effecten hiervan kunnen echter niet gekwantificeerd worden. De land- en bosbouwsector hebben naast maatregelen om hun eigen emissies te verminderen, een belangrijk potentieel voor het vergroten van 'sinks'. Door het vastleggen van koolstof in de bodem of in hout kan de emissiegroei over tenminste een periode worden gecompenseerd. In onderstaande paragrafen wordt specifiek ingegaan op deze verschillende maatregelen.

3.3 Het totale potentieel aan mitigatiemaatregelen tot 2030

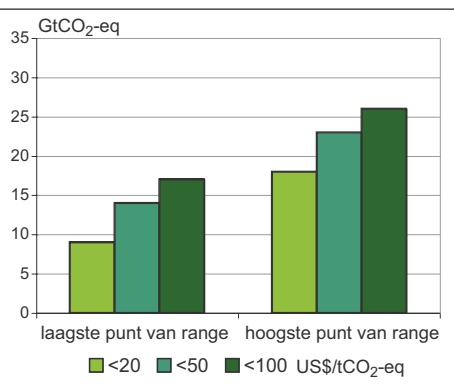
Beperking van de uitstoot van broeikasgassen tot een niveau van 550 ppm CO₂-equivalenten (wat ongeveer komt met 3 °C boven pre-industrieel niveau) leidt naar schatting tot een afname van 0,6% (met een bandbreedte van 0 tot 2,5%) van het Bruto Nationaal Product (BNP) in 2030. Voor lagere stabilisatieniveaus zijn weinig studies voorhanden, maar die laten zien dat de kosten beperkt kunnen blijven tot 3% van het totale BNP in 2030.

De wereldemissies van alle broeikasgassen in 1990 bedroegen ongeveer 40 Gt CO₂-equivalent. In 2004 waren de emissies opgelopen tot 50 Gt CO₂-equivalent. Volgens een middenscenario van het IPCC zullen deze in 2030 bij ongewijzigd beleid gestegen zijn tot ongeveer 60 Gt CO₂-equivalent. Het IPCC schat het totale potentieel aan maatregelen op 16-31 Gt CO₂-equivalent per jaar in 2030, bij een kostenniveau tot 100 US\$/tCO₂-equivalent. Dit is voldoende om op een pad te blijven dat leidt tot een uiteindelijke temperatuurstijging van 2 tot 3 °C boven het pre-industriële niveau. Voor 20 US\$/tCO₂-equivalent kan een mitigatie-potentieel van 8-12 GtCO₂-equivalent in 2030 worden gerealiseerd, voldoende voor een stabilisatieniveau van 550 ppm CO₂-equivalenten (of 3 °C) (zie Figuur 3.2).

Figuur 3.2A Geschat mitigatie potentieel voor de hele wereld in 2030 uit bottom-up studies



Figuur 3.2B Geschat mitigatie potentieel voor de hele wereld in 2030 uit top-down studies



De 'Bottom-up' gegevens zijn gebaseerd op een groot aantal individuele mitigatie-opties en geven aan hoeveel emissiereductie maximaal te behalen is tegen een bepaald kostenniveau in dollars per vermeden ton. 'Top-down' gegevens komen uit economische lange-termijn modellen.

Deze geven op macroniveau aan tegen welke kosten een bepaald stabilisatieniveau van broeikasgasconcentraties kan worden behaald. Ondanks de verschillen van de methodes, en tevens de verscheidenheid aan onderliggende aannames over technologische en sociaal-economische ontwikkelingen, geven beide benaderingen een zelfde orde van grootte van het mitigatie-potentieel.

De 'bottom-up' schattingen laten bovendien zien dat er ook een deel maatregelen is dat, op den duur, geld oplevert: in 2030 is er een potentieel van ongeveer 6 Gton CO₂-equivalent die uiteindelijk geld opleveren doordat ze energiekosten besparen. Voorbeelden zijn hoogrendement CV-ketels en spaarlampen. In de top-down modellen ontbreekt de negatieve kostencategorie als gevolg van principiële modelaannames.

De top-down modellen zijn in staat om de effecten van de mitigatiemaatregelen op het bruto nationaal product (BNP) op wereldschaal te berekenen. In 2030 wordt het effect van een pakket maatregelen dat voldoende is voor het beperken van de temperatuurstijging tot 550 ppm CO₂-equivalenten, geschat op een vermindering van het wereld BNP met 0,6% in 2030 (range 0,2 tot 2,5%). Dit komt neer op een maximale afname van de jaarlijkse groei tot 2030 van minder dan 0,1 procentpunt (dit betekent niet een groei van bijvoorbeeld 3% per jaar, maar een groei van 2,9% per jaar). Een beperkt aantal studies naar kosten van maatregelen om de temperatuurstijging nog verder te beperken (450 ppm CO₂-equivalenten), laat een welvaartsverlies zien van minder dan 3% op het wereld BNP in 2030.

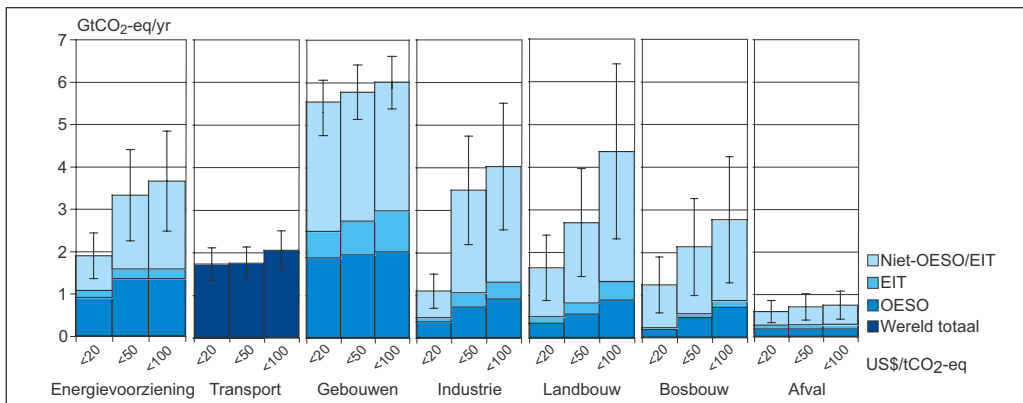
Kortom, er is voldoende capaciteit aan technische maatregelen die nu op de markt zijn, of naar verwachting beschikbaar komen voor 2030 om de groei in emissies van broeikasgassen te compenseren of de emissies terug te brengen tot beneden het huidige niveau of zelfs het niveau van 1990. De kosten van de maatregelen zijn beperkt in vergelijking met de investeringen die in ieder geval nodig zijn voor vernieuwing en uitbreiding van de energievoorziening voor een zich ontwikkelende wereld. De laatstgenoemde investeringen worden geschat op 20 triljoen (1012) US\$ tot 2030.

3.4 Beschikbare technologieën per sector om de uitstoot te verminderen

Om de beoogde reductie van 2 à 3 °C te realiseren, moeten alle maatschappelijke sectoren meewerken. Energiebesparing in gebouwen en woningen heeft wereldwijd het grootste potentieel tegen de laagste kosten. Daarnaast worden ook hernieuwbare energie, energiebesparing in andere sectoren, bevordering van alternatieve vervoersystemen, inzet van kernenergie en CO₂-afvang en -opslag in de diepere ondergrond genoemd. Ongeveer 60% van de mitigatie in 2030 kan in ontwikkelingslanden worden gerealiseerd.

Er is een scala van technologieën nodig om het beoogde mitigatiedoel te bereiken. Alle maatschappelijke sectoren zijn daarbij betrokken (zie Figuur 3.3 en Tabel 3.1). Ongeveer 60% van het potentieel in 2030 is beschikbaar in ontwikkelingslanden, 10% in landen met een overgang van een planeconomie naar een markteconomie en 30% in OESO-landen.

Figuur 3.3 Geschat mitigatiepotentieel per sector in 2030 afgeleid van bottom-up studies, vergeleken met de baselines die in de verschillende sector analyses zijn gebruikt.



Noten:

- De totalen omvatten alleen de categorieën waar gegevens voor beschikbaar zijn. Niet inbegrepen zijn: niet-CO₂-emissies in gebouwen en woningen; warmteproductie en warmte-krachtkoppeling in de energievoorziening; vrachtwagens, scheepvaart en openbaar vervoer; afvalwaterzuivering, en het grootste deel van de dure oplossingen in de bebouwde omgeving. Hierdoor wordt het economische potentieel met circa 10-15% onderschat en dit is ook niet inbegrepen in de onzekerheidsindicator in de figuur.
- EIT = Economies in Transition, de voormalige Oostbloklanden in Centraal en Oost Europe, de Kaukasus en Centraal Azië.

Mitigatiepotentieel in energievoorziening

De levensduur van installaties en systemen voor energievoorziening veroorzaakt een decennia-lange vertraging bij het verminderen van de uitstoot. Beslissingen van vandaag zijn daarom van cruciaal belang voor de emissies op lange termijn. Vooral de op handen zijnde investeringen in snel industrialiserende en ontwikkelingslanden bieden een unieke mogelijkheid voor de verbreiding van technologieën met lage kooldioxide-emissies. Hernieuwbare energie kan in de totale energievoorziening van 2030 een aandeel van 30 tot 35% bereiken (bij een kooldioxideprijs tot 50 US\$/tCO₂-equivalent). Vanwege de ruime beschikbaarheid van steenkool blijven kolencentrales belangrijk. De gevolgen voor de emissies van broeikasgas zullen afhangen van de snelheid waarmee het afvangen en opslaan van CO₂ in de diepere ondergrond kan worden geïmplementeerd.

Hogere prijzen voor fossiele brandstoffen betekent overigens niet automatisch dat milieuvriendelijke alternatieven belangrijker worden. In een dergelijke situatie wordt het ook economisch interessanter om olie-zanden en andere zwaardere olietypen te exploiteren. Gebruik hiervan zal juist tot hogere emissies leiden, tenzij er afvang en opslag van kooldioxide plaatsvindt.

Mitigatiepotentieel voor energiegebruikers: transport

Transportemissies stijgen overal over de wereld erg snel. In principe zijn er veel mogelijkheden om emissies te verminderen, maar er zijn ook veel barrières. Er is nog steeds een groot en betaalbaar potentieel voor efficiëntieverbeteringen aan voertuigen, maar het risico is groot dat de impact van deze maatregelen teniet wordt gedaan door het gebruik van grotere en zwaardere auto's. Het overlaten van dit proces aan de markt leidt waarschijnlijk niet tot emissiereducties. Biobrandstoffen kunnen in 2030 zo'n 3-10% van het brandstofverbruik vervangen bij een koolstofprijs van 25 US\$/tCO₂, maar het aandeel blijft naar verwachting beperkt door een relatief hoge prijs.

Afhankelijk van de lokale situatie bieden openbaar vervoer en ruimtelijke ordening aanzienlijke mogelijkheden om broeikasgassen te verminderen. Veel van deze maatregelen gaan hand in hand met het streven om files te verminderen en de luchtkwaliteit en zekerheid van de energievoorziening te verbeteren.

Mitigatiepotentieel voor energiegebruikers: gebouwde omgeving

Energiebesparing in woningen en gebouwen is de maatregel met wereldwijd het grootste potentieel en de laagste kosten. Een groot deel van de maatregelen, ongeveer acht procent van het wereldpotentieel in 2030, levert zelfs geld op. Dat komt doordat de besparing op energiekosten in dat geval meer dan opweegt tegen de aanpassingskosten van gebouwen of de aanschafkosten van installaties en apparaten. Dat er nog zo'n groot besparingspotentieel is, hangt samen met een veelheid van barrières. Hieronder horen de beschikbaarheid van financiering, een ont koppeling tussen baten en lasten (bijvoorbeeld tussen huisbazen en huurders) en fragmentatie van het ontwerpproces bij nieuwbouw. Met de toepassing van instrumenten als standaarden voor de bouw, energie-efficiëntie verplichtingen, belastingverlichting, 'demand side management' programma's en standaarden voor apparaten zijn goede ervaringen opgedaan.

Mitigatiepotentieel voor energiegebruikers: industrie

Het mitigatiepotentieel in de industrie wordt gedomineerd door de energie-intensieve bedrijven, waarvan meer dan de helft in ontwikkelingslanden gelegen is. Ook al is een deel van de industrie in ontwikkelingslanden in de laatste jaren opgebouwd met de nieuwste technologie en een laag energiegebruik, er zijn ook nog veel bedrijven waar oudere en niet-efficiënte installaties gebruikt worden. Zowel in ontwikkelde als in ontwikkelingslanden kunnen emissieverminderingen worden gerealiseerd door het vervangen van oude installaties. Zowel in ontwikkelingslanden als in de rest van de wereld verdient het midden- en kleinbedrijf aandacht, omdat deze bedrijven over het algemeen minder capaciteiten hebben en minder prikkels krijgen.

Mitigatiepotentieel in de landbouw en bosbouw

Een belangrijke manier om de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer te verminderen is het gebruik van de biosfeer (planten en vooral bomen) om koolstof uit de lucht te halen en in plantaardig materiaal vast te leggen. Als dit materiaal niet direct weer in de stofkringloop wordt afgebroken maar voor langere tijd behouden blijft, is er sprake van een koolstof 'sink'. Dat vastleggen gebeurt in hout en het toenemen van het koolstofgehalte in de bovenste bodemlaag. Land- en bosbouw hebben dan ook een belangrijke rol in mitigatie door het vergroten van 'sinks'. Een groot deel hiervan ligt in de tropen.

Hiernaast heeft vooral de landbouw mogelijkheden om emissies van methaan en lachgas terug te dringen. Het mitigatiepotentieel van land- en bosbouw samen wordt geschat op meer dan 10% van de totale emissies in 2030 (bij een koolstofprijs van minder dan 100 US\$/ton CO₂-eq). Er is een grote onzekerheidsmarge door grote verschillen in de beschikbare studies, mede veroorzaakt door verschillen in geografisch detail en in het pakket van maatregelen dat in beschouwing genomen is. Veel van de maatregelen in land- en bosbouw hebben aanvullende voordelen zoals het vergroten van het koolstofgehalte in de bodem, wat er tevens voor zorgt dat er meer water wordt vastgehouden en de uitspoeling van meststoffen en bestrijdingsmiddelen vermindert. Hierdoor vermindert de kwetsbaarheid voor droogte. Deze maatregelen passen daardoor goed binnen het streven naar een duurzame land- en bosbouw.

Mitigatiepotentieel voor de sector afvalbeheer

Afvalbeheer draagt weinig bij aan de mondiale emissie van broeikasgassen (minder dan 5%). Het is echter wel een sector waar voor weinig geld grote emissiereducties te realiseren zijn. Naast het verminderen van de hoeveelheid afval, is het afvangen en gebruiken van methaan uit afvalstortplaatsen wereldwijd de belangrijkste optie.

3.5 Duurzame ontwikkeling en het voorkomen van klimaatverandering

Er is een tweezijdig verband tussen duurzaamheid en klimaatverandering. Enerzijds kan klimaatverandering een duurzame ontwikkeling bedreigen door een verminderde beschikbaarheid van essentiële hulpbronnen zoals land en water. Anderzijds kan een beleid gericht op duurzaamheid de aanpassing aan klimaatverandering bevorderen en de kwetsbaarheid ervoor verminderen. Ook kan duurzaamheidsbeleid de uitstoot van broeikasgassen verminderen.

Een lange termijn-ontwikkelingspad voor duurzaamheid draagt over het algemeen enorm bij aan het verminderen van broeikasgasemissies bij bijvoorbeeld energievoorziening en transport. De hiermee samenhangende beslissingen op het gebied van macro-economisch beleid, internationale financiering, verzekeringen, hervorming van energiemarkten, energiezekerheid, bosbeleid, enzovoorts, staan op het eerste gezicht los van klimaatbeleid. Ze zijn echter wel belangrijk voor het klimaat van de toekomst. Door bij dergelijke beslissingen 'duurzaamheid' mee te wegen is het dus mogelijk de groei van emissies te beperken. Dit geldt ondermeer in de energievoorziening en in transport. Anderzijds versterken veel mitigatie-maatregelen een duurzame ontwikkeling. Maatregelen om energie te besparen zijn goed voor de economie, verhogen de zekerheid van de energievoorziening en verminderen de luchtverontreiniging. Verschuivingen in de wijze waarop energie geproduceerd wordt kunnen zo ontworpen worden dat ze lokale werkgelegenheid met zich meebrengen door gebruik te maken van lokaal geproduceerde technologie. Over het algemeen is hernieuwbare energie arbeidsintensiever dan energie gebaseerd op fossiele brandstoffen. Ook mitigatiemaatregelen in het afvalbeheer, transport en de bebouwde omgeving kunnen duurzaamheid versterken. En het leidt geen twijfel dat het voorkomen van ontbossing voordelen heeft voor de biodiversiteit en bodem- en waterbeheer, ook al is het op korte termijn economisch niet voordelig.

De overgang naar duurzame ontwikkeling vereist interactie van publieke en private besluitvormers, waarbij overheden, bedrijven en maatschappelijke organisaties betrokken zijn. Normaal worden veel van deze groepen niet direct aangesproken onder de noemer klimaatverandering, toch zijn ze van wezenlijk belang. Het beste resultaat wordt geboekt als iedereen op gelijke basis deelneemt en er een zekere coördinatie van de gedecentraliseerde besluitvorming plaatsvindt.

3.6 Beleidsinstrumenten om maatregelen te implementeren

De verscheidenheid aan technische en structurele maatregelen om broeikasgasemissies te verminderen vraagt om een grote variatie van nationale beleidsinstrumenten. Per land moeten voor- en nadelen van ieder instrument voor iedere toepassing worden beoordeeld. Internationaal gezien heeft het Kyoto-protocol geleid tot nationaal klimaatbeleid in verschillende landen, waarbij er een markt is ontstaan voor CO₂-emissies en waarbij nieuwe instrumenten als 'Clean Development Mechanism' de basis vormen voor technologieoverdracht naar ontwikkelingslanden en emissiereducties.

Zonder een echte of impliciete prijs voor de uitstoot van broeikasgassen zal het in de voorgaande paragrafen gegeven mitigatiepotentieel niet gerealiseerd kunnen worden. Zodra door beleidsinstrumenten aan de uitstoot van broeikasgassen een prijskaartje wordt gehangen, ontstaan prikkels voor producenten en consumenten om te investeren in producten, processen en technologie met minder klimaateffecten. Volgens modelberekeningen zou voor een stabilisatie rond 550 ppm CO₂-equivalent de emissieprijs 20-80 US\$/tCO₂-equivalent in 2030 moeten bedragen, welke met een mix van instrumenten bereikt kan worden. Voor 450 ppm ligt deze prijs rond de 100 US\$/tCO₂-equivalent.

Verschillende nationale instrumenten kunnen worden beoordeeld op de volgende overwegingen:

- Regulering en het vaststellen van standaarden voor producten of processen geeft in veel gevallen zekerheid over de te bereiken emissiereductie, en heeft voordelen in situaties waarin prijssignalen niet werken.
- Belastingen en heffingen zijn over het algemeen kosteneffectief, maar zijn politiek vaak moeilijk verkoopbaar.
- De effectiviteit van emissiehandel hangt af van het volume van de handel ten opzichte van de totale emissies. De verdeling van de nog toegestane emissies heeft implicaties voor de concurrentiekracht van de betrokken bedrijven.
- Convenanten tussen overheden en bedrijven zijn politiek aantrekkelijk, zijn belangrijk om de bewustwording te vergroten en hebben een rol gespeeld in het vormgeven van het nationale beleid in verschillende landen. De meerderheid van de overeenkomsten heeft echter weinig bijgedragen tot emissiereducties.
- 'Vrijwillige acties' zijn al die activiteiten van bedrijven, lagere overheden, milieu- en andere organisaties die broeikasgasemissies daadwerkelijk terugdringen. Ze kunnen een belangrijke rol spelen in het stimuleren van innovatief beleid, of in de inzet van nieuwe technologieën. Op nationaal niveau is het effect in termen van emissiereductie meestal beperkt.
- Financiële stimulansen worden vaak ingezet om de inzet van nieuwe technologie (zonneboilers bijvoorbeeld) te stimuleren. Het is een kostbaar instrument, maar soms belangrijk om consumenten en bedrijven een drempel over te helpen.

Ook in de nabije toekomst zijn er veel mogelijkheden om internationaal klimaatbeleid te voeren, zowel onder de UNFCCC en het Kyoto-protocol als daarbuiten. Ondersteuning van deze inspanningen door veel landen is belangrijk omdat klimaat een wereldwijd probleem is. Overeenkomsten die niet het grootste deel van de wereldemissies dekken, zijn duurder en minder effectief. Toekomstige internationale overeenkomsten als opvolgers van het Kyoto-protocol, dat in 2012 afloopt, kunnen rekenen op een bredere ondersteuning als ze voldoen aan criteria zoals kosteneffectiviteit, spreiding van lasten, gelijke behandeling van alle deelnemende landen en institutionele haalbaarheid.

Tabel 3.1 Geschat mitigatiepotentieel in 2030 afgeleid van bottom-up studies (t.o.v. een baseline scenario) en belangrijke mitigatietechnologieën en -methoden per sector (rechts).

Noot: IEA World Energy Outlook (2004) baseline scenario voor energie en transport, SRES A1B voor afval en SRES B2 baseline scenario voor andere sectoren.

Sector	2030 economisch potentieel in Gt CO ₂ -eq/jr bij een koolstofprijs van onder US\$ 100/t CO ₂ -eq	Mitigatietechnologieën en -methoden met een belangrijk potentieel die nu op de markt zijn	Mitigatietechnologieën en -methoden met een belangrijk potentieel die op de markt verwacht worden voor 2030
Energievoorziening	2,4- 4,7	Efficiëntieverbeteringen bij energievoorziening en distributie; brandstofverschuivingen van kolen naar gas; kernenergie; vernieuwbare energie (waterkracht, zon, wind, geothermische energie en bio-energie); warmtekrachtkoppeling; vroege toepassingen van koolstofdioxide afvang en opslag	Afvang en opslag koolstofdioxide voor gas, bio-energie en kolencentrales, geavanceerde kernenergie, geavanceerde vernieuwbare energie, waaronder getijde- en golfenergie, geconcentreerde zonne-energie en elektrische zonnepanelen
Transport	1,6- 2,5	Efficiëntieverbeteringen voertuigen; hybride voertuigen; schone diesel voertuigen; biobrandstoffen; verschuiving van weg naar railtransport en openbaar vervoer; niet gemotoriseerd transport, ruimtelijke ordening	Tweede generatie biobrandstoffen, efficiëntere vliegtuigen, geavanceerde elektrische en hybride voertuigen met krachtiger en betrouwbaardere batterijen
Gebouwde omgeving	5,4- 6,7	Efficiënte verlichting, effectievere isolatie en ventilatie, passief ontwerpen voor het gebruik van zonne-energie voor verwarming, koeling en ventilatie, efficiëntere elektrische apparaten en verwarming en koeling, alternatieve vloeistoffen voor koelapparatuur, hergebruik van F-gassen uit apparaten en isolatiemateriaal	Geïntegreerd ontwerpen van bedrijfsgebouwen met gebruik van onder meer intelligente meetapparatuur voor controle en feedback aan gebruikers, geïntegreerde elektrische zonnepanelen
Industrie	2,5- 5,5	Efficiëntere elektrische apparatuur; hergebruik van warmte en kracht; hergebruik en substitutie van materiaal; beheersing van niet-CO ₂ -emissies en een breed spectrum van specifieke technologieën	Geavanceerde energie-efficiëntie; afvang en opslag koolstofdioxide voor cement, ammonia, kunstmest en staalindustrie; inerte elektrodes voor de aluminiumindustrie
Landbouw	2,3- 6,4	Verbeterd beheer van gras en akkerland om meer koolstof in de bodem op te slaan; herstel van gecultiveerde veengronden en gedegradeerd land; verbeterde technieken voor rijstverbouw, vee- teelt en mestbeheer; verbeterde toepassing van stikstofkunstmest; bio-energie gewassen om fossiele brandstoffen te vervangen; verbeterde energie-efficiëntie	Opbrengstverbetering van gewassen
Bosbouw	1,3- 4,2	Bebossing, herbebossing, bosbeheer, verminderde ontbossing; beheer van de geoogste houtproducten; gebruik van bosbouwproducten als bio-energie om fossiele brandstoffen te vervangen	Verbetering van boomsoorten voor hogere opbrengst van biomassa en vastlegging van koolstof, verbeterde "remote sensing" technieken voor de analyse van de vegetatie en het potentieel om koolstof vast te leggen en voor het in kaart brengen van landgebruiksveranderingen.
Afvvalbeheer	0,4-1,0	Gebruik van methaan uit afvalstortplaatsen; afvalverbranding met energie hergebruik; compostering van organisch afval; afvalwaterzuivering; vermindering van de hoeveelheid en hergebruik van afval	Bio-afdekking en biofilters om methaanoxidatie optimaal te laten verlopen
TOTAAL	15,8- 31,1		

4. De betekenis van de IPCC-rapporten voor Nederland

Hoe verandert het klimaat in Nederland? Wat betekenen de belangrijkste conclusies van het IPCC voor diverse sectoren en het beleid op het gebied van adaptatie en mitigatie in Nederland? Om die vragen te beantwoorden heeft het PCCC een eerste verkenning gemaakt die gebaseerd is op de drie IPCC-rapporten en op recente literatuur relevant voor de Nederlandse situatie. Het is inmiddels duidelijk dat de opwarming van de aarde onontkoombaar is en dat aanpassen (adaptatie) noodzakelijk is om de gevolgen van klimaatverandering te verkleinen. Tegelijkertijd blijft het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen (mitigatie) noodzakelijk om de temperatuurstijging binnen de perken te houden. Adaptatie en mitigatie zijn tot op zekere hoogte complementaire strategieën: hoe sneller en ambitieuzer de emissiereducties, des te groter is de kans dat de gevolgen milder zullen zijn, waardoor adaptatie beter mogelijk is.

4.1 Klimaatverandering in Nederland

Nederland krijgt de komende eeuw te maken met gemiddeld hogere temperaturen, veranderingen in neerslag en met een stijgende zeespiegel. Verder worden veranderingen in weersextremen verwacht. De kans op hittegolven in de zomer neemt toe en neerslagextremen zullen vaker voorkomen. Dit beeld wordt geschetst in de KNMI-klimaatscenario's (Van den Hurk et al., 2006) en is gebaseerd op hetzelfde bronmateriaal als het IPCC-rapport. IPCC geeft echter te weinig informatie op het detailniveau van Nederland.

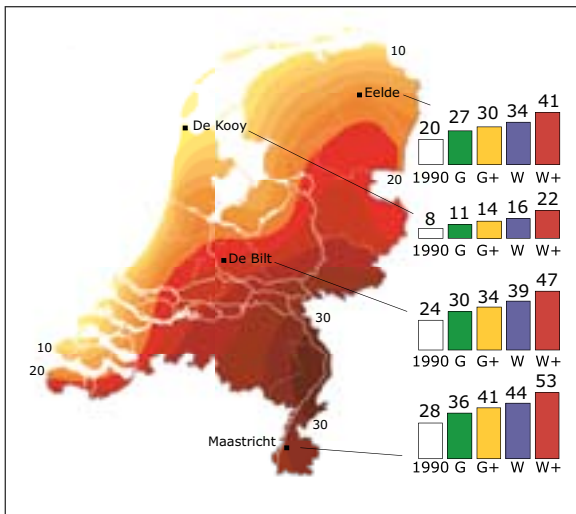
Temperatuurontwikkeling

De temperatuurstijging in de afgelopen decennia was niet overal op de wereld gelijk. De temperatuur in Nederland is duidelijk sneller gestegen dan de wereldgemiddelde temperatuur. Dat wordt onder meer veroorzaakt door een verandering van de atmosferische circulatie, zoals bijvoorbeeld de overheersende windrichting. Zuidelijke en westelijke stromingen hebben in de herfst en winter sterk bijgedragen aan de warmterecords. De atmosferische circulatie vertoont van nature grote schommelingen. Het versterkte broeikaseffect heeft waarschijnlijk invloed op de atmosferische circulatie, maar de mate waarin en de manier waarop zijn nog niet eenduidig vast te stellen. Om die reden heeft het KNMI in 2006 zowel scenario's met ongewijzigde circulatie ontwikkeld, als scenario's met gewijzigde circulatie, de zogeheten '+' scenario's.

Op basis van onderzoek concludeert het IPCC dat de wereldgemiddelde temperatuurstijging aan het eind van de 21^e eeuw waarschijnlijk tussen de 1,1 en 6,4°C ten opzichte van 1990 uitkomt. Het grootste gedeelte van de kansverdeling ligt, voor zo ver we die kennen, tussen de 1,8°C en 4°C (zie Hoofdstuk 1.7). De KNMI-scenario's voor Nederland omvatten deze kleinere bandbreedte van de mondiaal gemiddelde temperatuurstijging in 2100. Hierbij zijn dus de meest extreme scenario's buiten beschouwing gelaten. Alleen als de uitstoot van broeikasgassen sterk wordt teruggedrongen (B1-emissiescenario) zal de temperatuurstijging lager zijn. De KNMI-klimaatscenario's G (gematigd) en W (warm) corresponderen met een wereldgemiddelde temperatuurtoename van respectievelijk 1 en 2°C in 2050 (en het dubbele in 2100). In de '+' scenario's is sprake van een gewijzigde atmosferische stroming t.o.v. het huidige klimaat.

Voor de warmste zomerdagen en de koudste winterdagen neemt de temperatuur onevenredig sterk toe. Het samenspel van hogere temperaturen en het frequenter optreden van periodes met oostenwinden in de '+' scenario's geeft een sterke toename te zien van de kans op hittegolven in de zomer.

Figuur 4.1 Waargenomen gemiddeld aantal zomerse dagen (maximum temperatuur $\geq 25^{\circ}\text{C}$) per jaar aan het eind van de 20e eeuw (rond 1990) en het verwachte gemiddelde aantal zomerse dagen voor vier plaatsen in Nederland in de KNMI-klimaatscenario's rond het jaar 2050.



Neerslag

In de 20e eeuw is de jaarlijkse neerslaghoeveelheid in Noord-Europa gestegen met gemiddeld 5 tot 10%. In Nederland is de neerslag in die periode zelfs met zo'n 18% toegenomen, maar de natuurlijke grilligheid van de lokale neerslag maakt het signaal minder duidelijk. Ook de intensiteit van de extreme neerslag is toegenomen.

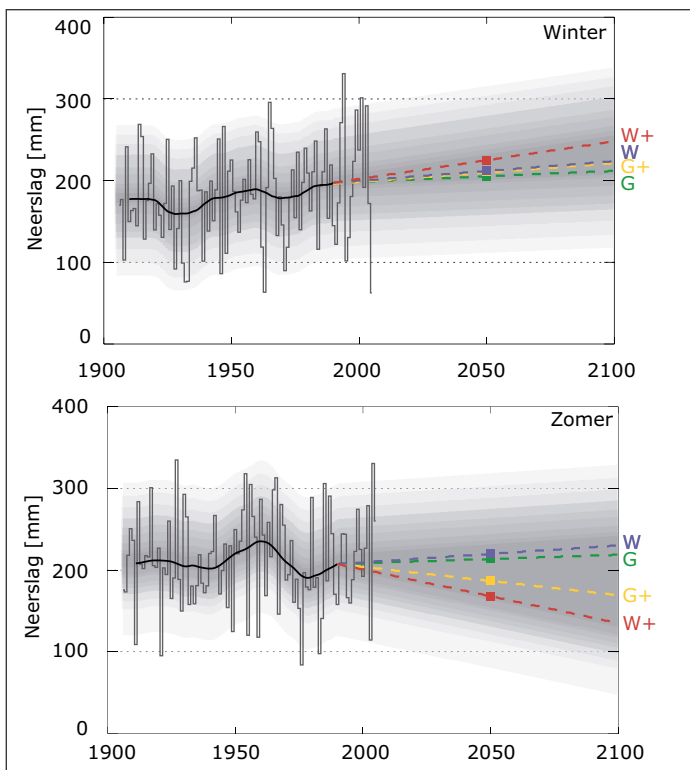
Volgens het IPCC zal de seizoensgemiddelde neerslag in Noord-Europa waarschijnlijk toenemen (het sterkst in de winter) en in Zuid-Europa afnemen (het sterkst in de zomer). In de samenvatting van de modelprojecties die het IPCC presenteert krijgt Nederland te maken met een lichte afname in de zomer en een toename in de winter. In de zomer ligt Nederland dicht bij de scherpe overgang tussen een kleine toename in het noorden en een sterke afname in het zuiden. De precieze ligging van dit overgangsgebied is bij verschillende berekeningen met klimaatmodellen anders en de veranderingen van de totale zomerneerslag voor Nederland zijn daarom relatief onzeker. Onder de '+' scenario's van het KNMI krijgt Nederland te maken met droogteproblematiek.

Neerslagextremen nemen volgens het IPCC zeer waarschijnlijk toe (zie Tabel 1.3). Alle KNMI-scenario's geven hetzelfde beeld. Dagelijkse neerslagextremen in de zomer nemen toe met 5 tot 27% in 2050. Voor de winter geldt in alle scenario's dat de hoeveelheden in langere periodes met veel neerslag (bijvoorbeeld de extreme 10-daagse winterneerslag) ongeveer evenveel veranderen als de de toename in de gemiddelde neerslagsom, namelijk 4 tot 14% in 2050. Deze neerslagsommen zijn van belang voor gemalen en de afvoer van rivieren zoals de Rijn. Voor 2100 wordt rekening gehouden met een verdubbeling van bovengenoemde percentages.

Zeespiegelstijging

Volgens het IPCC zal de zeespiegel gedurende de 21e eeuw wereldwijd met 18 tot 59 centimeter stijgen ten opzichte van het niveau in 1990. Voor een schatting van de te verwachten zeespiegelstijging gaan IPCC en KNMI uit van dezelfde modelstudies. Toch komt het KNMI uit op een grotere bandbreedte: 35 tot 85 centimeter zeespiegelstijging in 2100 ten opzichte van 1990. Bovengenoemde getallen betreffen de absolute zeespiegelstijging. Door inklinking van veengebieden kan de relatieve zeespiegelstijging in Nederland groter uitvallen. In de afgelopen eeuw was dit circa 10 centimeter.

Figuur 4.2 Winter- en zomerneerslag in Nederland (gemiddelde van 13 stations) tussen 1906 en 2005, en de vier klimaatscenario's voor 2050 (gekleurde lijnen). De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde in de waarnemingen. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie die is afgeleid uit de waarnemingen.



Het verschil tussen de cijfers van het KNMI en het IPCC, ruim 25 centimeter voor de bovengrens, is het gevolg van het in rekening brengen van twee effecten. In de periode 1993-2005 is een versnelling van de zeespiegelstijging en van afkalving aan de randen van de Groenlandse en West-Antarctische ijskap waargenomen. Deze waarnemingen hebben een belangrijke beperking van de huidige ijskapmodellen blootgelegd: de processen die deze versnelde afkalving veroorzaken ontbreken nog in de modellen. Het IPCC stelt daarom dat de gevoeligheid van de ijskappen voor opwarming van de atmosfeer deze eeuw nog 10 tot 20 centimeter meer zeespiegelstijging kan veroorzaken dan tot nu toe werd gedacht. Deze bijdrage wordt apart genoemd, en is niet opgenomen in de IPCC-schatting voor de totale zeespiegelstijging (zie Hoofdstuk 1.8). Gezien de grote betekenis van zeespiegelstijging voor Nederland acht het KNMI het verstandig om de bijdrage van versneld afkalven wel mee te nemen in de bepaling van de bovengrens.

Ten tweede zijn in de KNMI-scenario's ook regionale effecten meegenomen voor de uitzetting van het zeewater, terwijl de cijfers van het IPCC de wereldgemiddelde zeespiegelstijging representeren. Naar verwachting zal de zeespiegel in het noordoosten van de Atlantische Oceaan ongeveer 0 tot 15 centimeter meer stijgen dan het wereldgemiddelde, omdat klimaatmodellen in de 21e eeuw een langzame afname van de Warme Golfstroom laten zien van circa 25%. Hierdoor neemt het huidige niveauverschil van ongeveer 60 centimeter tussen equator en het noordoosten van de Atlantische Oceaan af met de bovengenoemde 0 tot 15 centimeter.

In de bandbreedte van zeespiegelstijging in de KNMI-klimaatscenario's is geen rekening gehouden met de meest extreme situaties. Op basis van reconstructies van het zeeniveau en de temperatuur in het (verre)

verleden en rekening houdend met het huidige ijsvolume op aarde is becijferd dat de maximale zeespiegelstijging in 2100 ten opzichte van 1990 1 tot 1,5 meter bedraagt (Rahmstorf, 2006; MNP, 2007). Hoewel zulke reconstructies geen garanties geven voor de toekomst, onderstrepen ze dat een stijging van meer dan 85 centimeter in deze eeuw mogelijk is. Op langere termijn bestaat een kans op volledige afsmelting van de Groenlandse ijskap. Dit zou ongeveer 6 à 7 meter aan de zeespiegelstijging bijdragen. Dit proces kan volgens het IPCC enkele eeuwen tot duizenden jaren in beslag nemen.

Wind en stormen

De huidige klimaatmodellen bieden nog onvoldoende basis om harde uitspraken te kunnen doen over verandering in de sterkte van de stormen op de gematigde breedten. Experts vermoeden wel dat deze veranderingen klein zullen zijn. Voor het lokale windklimaat is daarom een eventuele verandering van de ligging van de stormbanen belangrijker. De meeste modellen laten een poolwaartse verschuiving zien van de stormbanen met maximaal enkele honderden kilometers. Dit is in overeenstemming met de waarnemingen, die over de afgelopen 40 jaar een noordwaartse verschuiving van 100 kilometer over de Atlantische oceaan laten zien. Voor Nederland zijn de gevolgen hiervan beperkt. Volgens de KNMI-klimaatscenario's is er voor twee scenario's (W+ en G+) een toename in de hoogste daggemiddelde windsnelheid. Deze is echter niet meer dan 2% per graad temperatuurstijging. Dit is klein ten opzichte van de jaar-op-jaarvariaties en de natuurlijke schommelingen op langere termijn.

Hoewel de huidige kennis geen aanleiding geeft om grote veranderingen in het windklimaat van Nederland te verwachten, is voorzichtigheid geboden. Zware stormen, zoals bijvoorbeeld de Lothar-storm op Tweede Kerstdag van 1999, kunnen het gevolg zijn van kleinschalige depressies, die veel van hun kracht halen uit de warmte die vrijkomt bij de condensatie van waterdamp. Klimaatmodellen kunnen dit soort stormen nog niet goed simuleren. Dit is één van de onderzoeksthema's voor de komende jaren. Een tweede onderzoeksthema is de gevoeligheid van de Nederlandse veiligheid in termen van veranderingen in overstromingsrisico's voor kleine veranderingen in extremen, zoals de hierboven vermelde 2% per graad toename bij een deel van de scenario's.

4.2 Mitigatie: vermindering van broeikasgassen in Nederland voor 2020

De IPCC-rapporten geven aan dat wereldwijd de stijging van broeikasgasemissies binnen 30 jaar moet worden omgezet in een daling om klimaatverandering te beperken. De Europese Unie en Nederland willen in 2020 tot een vermindering van de uitstoot van broeikasgassen komen van respectievelijk 20 en 30% in vergelijking met het niveau van 1990. Daarnaast wil Nederland het tempo van energiebesparing verhogen naar 2% per jaar en in 2020 een aandeel van hernieuwbare energie bereiken van 20%.

Gevolgen voor de klimaatdoelstellingen van Nederland en de EU

Het IPCC-rapport geeft aan dat om met een kans van meer dan 50% de mondiale temperatuurstijging tot een niveau van maximaal 2 °C te beperken ten opzichte van het pre-industriële niveau, de concentratie van broeikasgassen zou moeten stabiliseren op een niveau van 450 ppm CO₂-equivalenten (zie ook Hoofdstuk 3). Het niveau van 450 ppm CO₂-equivalenten is hiermee een aanscherping van eerder beoogde stabilisatieniveaus van 550 ppm. Hierdoor is het nog belangrijker om op korte termijn reducties te bereiken. De wereldgemiddelde temperatuur is inmiddels al gestegen met 0,7 °C en vertoont een stijgende trend (zie Hoofdstuk 1). Ook de broeikasgasconcentratie is inmiddels opgelopen tot circa 430 ppm CO₂-equivalenten (op basis van de gassen CO₂, CH₄ en N₂O). Om na een periode van hogere waarden terug te keren tot het niveau van 450 ppm is in 2050 op mondiaal niveau een reductie van de uitstoot van broeikasgassen nodig van 25 tot 60% ten opzichte van 1990.

In die zin zijn de in 2007 afgesproken doelstellingen van de EU in lijn met het klimaatdoel: de EU verplicht zichzelf om in 2020 de uitstoot van broeikasgassen te hebben verminderd met 20% ten opzichte van 1990.

Als de rest van de wereld ook reductieverplichtingen op zich neemt, verhoogt de EU de ambitie tot -30%. Ook dit is in lijn met eerdere studies, waarin geconcludeerd is dat rijke landen hun emissies moeten verminderen in de orde van 10 tot 25% in 2020 om die 450 ppmv CO₂-equivalenten te halen (MNP: 'Van klimaatdoel naar emissiereductie', november 2006). Een reductie van 30% kan dus worden gezien als ambitieus, maar past bij een bijdrage van rijke landen om in 2050 een reductieniveau van 60 tot 90% te kunnen bereiken. De doelstellingen voor 2020 kunnen worden gezien als een belangrijke stap om de vereiste vermindering ook op de lange termijn van 2050 en daarna te kunnen halen. De EU bereidt zich voor op onderhandelingen voor het post-Kyoto regime. De wijze waarop de EU-lidstaten daarin deelnemen en emissiereductie doelstellingen die door de individuele lidstaten gehaald moeten worden ('burden sharing') zijn nog niet duidelijk.

Nederland gaat in het Regeerakkoord (CDA, PvdA, ChristenUnie, 2007) verder dan de EU: ongeacht acties van andere landen streeft Nederland naar een doelstelling van 30% reductie van broeikasgassen in 2020 ten opzichte van 1990. Het kabinet zal nog haar positie bepalen hoeveel van deze reductie Nederland in eigen land moet behalen. Zonder specifiek Nederlands beleid zal de uitstoot van broeikasgassen volgens ECN en MNP constant blijven of zelfs stijgen met 15% in 2020. Naast deze klimaatdoelstellingen streeft het kabinet naar een energiebesparing van 2% per jaar, en een verhoging van het aandeel duurzame energie tot 20% in 2020. Het Regeerakkoord vermeldt niet wanneer dit tempo van energiebesparing bereikt moet worden. Voor het aandeel biobrandstoffen in de transportsector streven zowel Nederland als de EU naar een aandeel van 10% in 2020.

Tabel 4.1 Doelstellingen klimaat- en energiebeleid Europese Unie / Europese Commissie en Nederland volgens het Regeerakkoord.

DOELSTELLING	EU/EC	NEDERLAND
Klimaat: Reductie broeikasgassen in 2020 t.o.v. 1990	-30%, indien andere grote industrielanden als V.S. meedoen aan post-Kyoto overeenkomst -20%, unilateraal	-30%, unilateraal
Energiebesparing tot 2020	20% energiebesparing in 2020, bovenop 'business as usual' (dus 2,7% per jaar)	Tempo van energiebesparing naar 2%/jaar
Hernieuwbare energie in 2020	20% aandeel in totale energievoorziening (karakter: streefwaarde)	20% aandeel in totale energievoorziening
Biobrandstoffen in transportsector	2010: 5,75% aandeel (EC Biofuels Directive) 2020: 10% aandeel	2010: 5,75% aandeel (EC Biofuels Directive) 2020: 10% aandeel
CO ₂ -afvang en -opslag bij energiecentrales	12-tal grootschalige demo's in 2015; tegen 2020 alle nieuwe kolencentrales met CO ₂ -afvang en kort nadien geleidelijk alle bestaande centrales	(Nog) Geen doelstelling

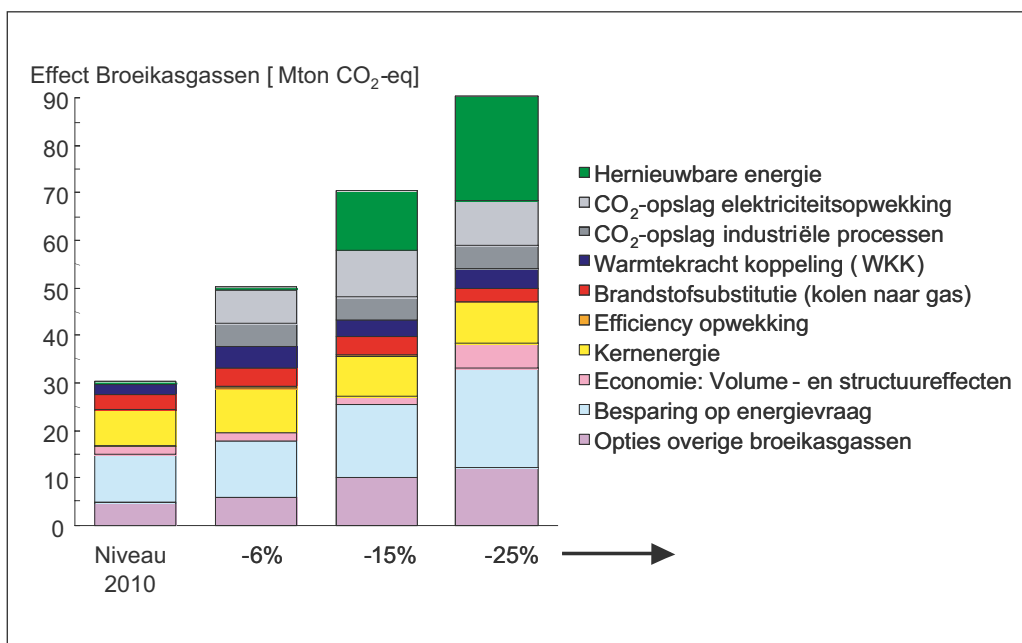
Mogelijkheden voor vergaande binnenlandse vermindering van broeikasgassen in 2020

Het IPCC-rapport besteedt veel aandacht aan het ruime potentieel en de relatief lage kosten van energiebesparing en verbeterde energie efficiency. Hernieuwbare energie en afvang en opslag van CO₂ bieden een substantieel potentieel aan reductiemogelijkheden voor de termijn tot 2030 en daarna. Ook kernenergie wordt als optie genoemd evenals het vergroten van sinks (zie ook Hoofdstuk 3, Tabel 3.1). Het IPCC ziet, in vergelijking met het vorige IPCC-rapport (2001), en na een uitgebreide aparte analyse, een grotere rol weggelegd voor afvang en opslag van CO₂ (bijvoorbeeld bij kolencentrales). Inmiddels is bekend dat het huidige kabinet CO₂-afvang en -opslag ziet als een belangrijke en onmisbare optie¹. Het kabinet wil deze optie binnen de EU extra stimuleren.

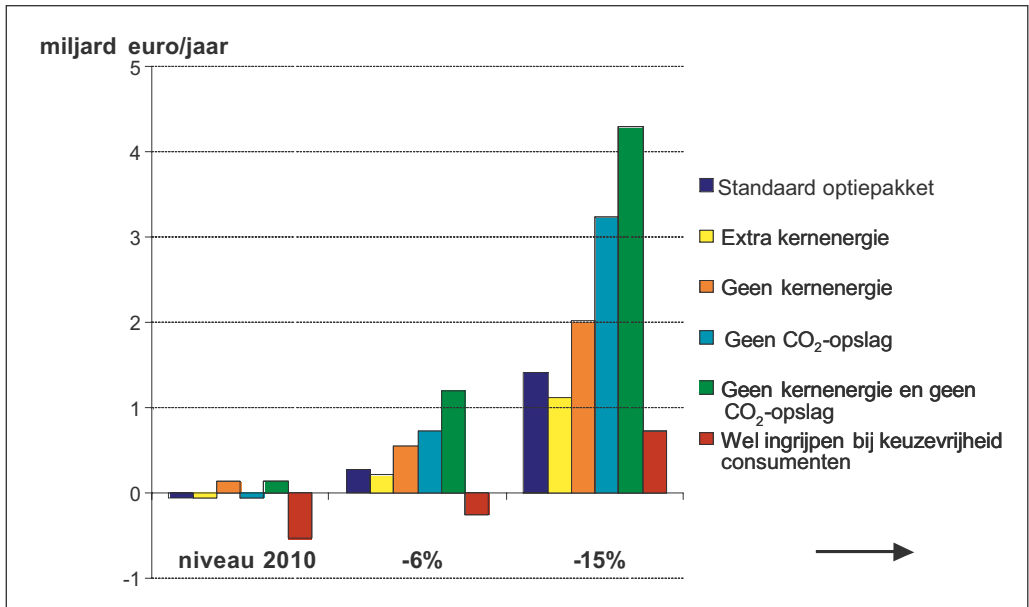
De afgelopen 1,5 jaar zijn verkenningen uitgevoerd naar deze en andere mogelijkheden om in Nederland voor het jaar 2020 tot een forse vermindering van broeikasgassen te komen. Het 'Optiedocument' (ECN/MNP, 2006) schetst aan de hand van verschillende scenario's de technische mogelijkheden en de daarbij behorende kosten voor vermindering van het energieverbruik en de uitstoot van broeikasgassen, en van verzurende en luchtverontreinigende stoffen tot 2020. Voor een reductiedoelstelling van 30%, zoals aangegeven in het Regeerakkoord, zal een beroep moeten worden gedaan op vrijwel alle beschikbare mogelijkheden.

Energiegerelateerde CO₂-emissies leveren in totaal verreweg de belangrijkste bijdrage. Er zijn voldoende technische mogelijkheden beschikbaar om de binnenlandse uitstoot van broeikasgassen in 2020 te verminderen tot zelfs 30% onder het niveau van 1990, maar bij dergelijke doelen wordt het uitsluiten van minder gewenste of maatschappelijk omstreden opties mogelijk zeer kostbaar. Energiebesparing, kernenergie, hernieuwbare energiebronnen en CO₂-opslag zijn de belangrijkste maatregelen op basis van nationale kosteneffectiviteit en het potentieel om over ruim 10 jaar bij te dragen aan CO₂-reductie. Rond de gehanteerde potentiëlen en kosten bestaan nog belangrijke onzekerheden. Bovendien moet nog rekening worden gehouden met mogelijke baten van bijvoorbeeld verbeterde energievoorzieningszekerheid en lagere uitstoot van verzurende stoffen en fijn stof.

Figuur 4.3 Kosteneffectieve oplossingsrichtingen 2020 bij verschillende reductiedoelstellingen (gebaseerd op ECN/MNP, 2006).



Figuur 4.4 Nationale kosten oplossingsrichtingen 2020 bij verschillende reductiedoelstellingen (gebaseerd op ECN/MNP, 2006).



In een eerste analyse van het Regeerakkoord (MNP, 2007) zijn de mogelijkheden voor een 30% reductie van broeikasgassen onderzocht (zie ook Figuur 4.5). Een conclusie is dat het zeer belangrijk wordt hoeveel Nederland van haar doelstelling in het buitenland wil behalen. Bij een mix van eigen maatregelen en aankoop van reducties in het buitenland, die streeft naar zo laag mogelijke kosten, kan de 30% worden gehaald tegen nationale kosten van ongeveer 1 tot 4 miljard euro (afhankelijk van onder meer de olieprijs en de mate waarin de doelen voor energiebesparing en hernieuwbare energie worden gehaald). Als echter een vast aandeel van 20% van de verplichtingen in het buitenland wordt aangekocht, zullen de jaarlijkse nationale kosten waarschijnlijk stijgen met ruim 1 miljard. Het Regeerakkoord doet geen uitspraken over het aandeel dat in het buitenland kan worden aangekocht.

Beleid voor verhogen tempo van energiebesparing naar 2% per jaar

Zoals eerder gesteld heeft het Regeerakkoord ook een doelstelling van 2% energiebesparing per jaar opgenomen. Energiebesparing kan worden gezien als een langetermijninvestering, niet alleen om broeikasgasemissies te verminderen, maar ook om het beslag op fossiele voorraden en de afhankelijkheid van de import van olie en gas te verminderen. Het tempo bij de het huidige beleid is circa 1% per jaar. Nader onderzoek (ECN, 2006) geeft aan welke beleidsinstrumenten kunnen worden ingezet om die extra energiebesparing te halen. Hierbij is ook geïnventariseerd welke kosten en knelpunten voor implementatie overwonnen moeten worden.

Het 2%-besparingsdoel maakt een vrijwel volledige benutting van de technische potentiën noodzakelijk. Deze doelstelling is zeer ambitieus. Weliswaar is het Europese doel van 2,7% nog hoger, maar voor Nederland is een aanscherping van 1% naar 2% veel lastiger door de meestal toch al hoge energie-efficiëntie van Nederland ten opzichte van andere EU-landen (met name in Centraal-Europa). De nationale kosten zullen fors omhoog gaan en kan bij strikte uitvoering leiden tot een substitutie in het brandstofgebruik van kolen naar aardgas. Een gasgestookte centrale is namelijk efficiënter dan een kolencentrale. Hierdoor wordt Nederland echter in nog grotere mate afhankelijk van gas, dat op termijn steeds meer van buiten Europa moet worden geïmporteerd.

Aandeel hernieuwbare energie naar 20% in 2020

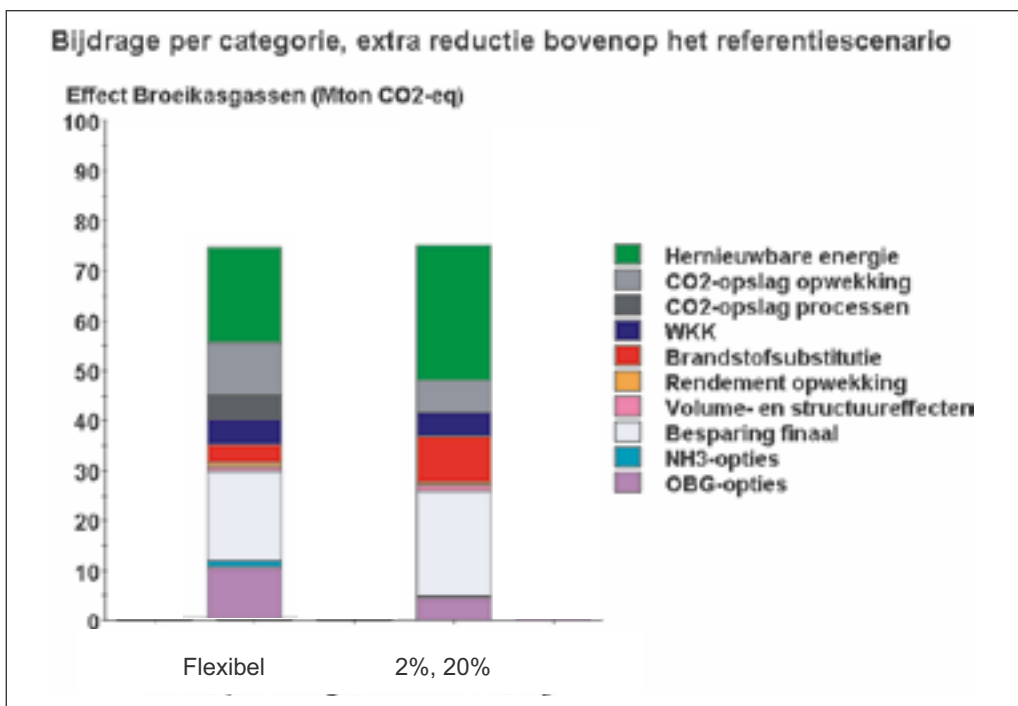
In het Regeerakkoord is een derde doelstelling opgenomen: een aandeel van hernieuwbare energie van 20% in 2020. Dit is gelijk aan 20% hernieuwbaar zoals de EU dit wil, hoewel dit doel voor de EU een streefwaarde is en geen hard doel. De EU wil dit doel overigens halen door de hernieuwbare energie-doelen naar 'vermogen' binnen de EU te verdelen; Nederland loopt in die zin dus vooruit op deze verdelingskwesitie van de EU. Voor Nederland is de sprong naar 20% groter dan voor de EU als geheel: in 2005 was het aandeel hernieuwbaar 2,4%; voor de gehele EU was het aandeel in 2005 6,4%.

Uit analyses blijkt dat bij een trendmatige ontwikkeling het aandeel hernieuwbare energie in 2020 ongeveer 7% zal zijn. Als er kostenoptimaal wordt ingezet op de emissiedoelstellingen, lijkt dat aandeel maximaal 16% te worden. Die laatste 4% vergen een forse extra inspanning, zo blijkt uit recent onderzoek (door ECN en MNP). Daarbij komt dat er door het energiebesparingsdoel minder wordt ingezet op hernieuwbare energie in de elektriciteitssector. Hierdoor moet een groter beroep op de transportsector worden gedaan, een extra inzet van biobrandstoffen dus, omdat in de transportsector alleen dit alternatief op korte termijn voorhanden is. Gevoegd bij inzet in de elektriciteitsopwekking betekent dit op zeer korte termijn een forse inzet van extra biomassa. Een energiebron die buiten Nederland (en deels buiten de EU) moet worden gehaald, in competitie met andere landen. Het is de vraag of een dergelijke forse uitbreiding van biomassa in regio's als Latijns-Amerika en Afrika kan worden bijgestuurd om niet te conflicteren met de voedselvoorziening en biodiversiteitsdoelstellingen die Nederland ook heeft onderschreven. Duurzaamheidscriteria voor biobrandstoffen zijn thans nog in ontwikkeling. Een forse en snelle groei van windenergie op zee is onderdeel van het pakket om het aandeel hernieuwbare energie in 2020 op het vereiste niveau te krijgen. Concreet betekent dit het realiseren van 6000 MW of meer windenergievermogen op zee. In de periode 2010-2020 is dat een gemiddelde groei van meer dan 500 MW per jaar. Een dergelijk groot aandeel windvermogen heeft consequenties voor de inpassing in het elektriciteitsnet en voor de opbouw van het totale elektriciteitspark om een betrouwbare elektriciteitsvoorziening te kunnen blijven garanderen.

Consequente en gelijktijdige realisatie van bovengenoemde drie doelstellingen (-30% reductie broeikasgassen, 2%/jaar energiebesparingstempo, 20% aandeel hernieuwbare energie) leidt tot nationale kosten (ten opzichte van het referentiescenario) van jaarlijks mogelijk 8 à 9 miljard per jaar. In een meer flexibele aanpak (een wat lager tempo voor energiebesparing, een kleiner aandeel hernieuwbare energie, wat meer ruimte voor opslag van CO₂) kunnen deze kosten waarschijnlijk worden verlaagd tot 4 à 5 miljard Euro per jaar. De onzekerheid in deze getallen is overigens groot. In het Regeerakkoord is voor de komende kabinetsperiode voorzien in een extra investering door de overheid van 500 miljoen per jaar. Bovendien is een overall beeld pas mogelijk als ook de baten van bijvoorbeeld verbeterde energievoorzieningszekerheid en lagere uitstoot van verzurende stoffen en fijn stof (luchtkwaliteit), nog niet in kaart gebracht zijn.

In overleg met de maatschappelijke sectoren wordt momenteel door de Nederlandse overheid onderzocht wat voor beleid en instrumenten er concreet moeten worden ontwikkeld om de doelen uit het Regeerakkoord te halen (zie ook Hoofdstuk 3.6).

Figuur 4.5 Bijdrage per categorie aan de vermindering van broeikasgassen als alleen wordt ingezet op een 30% emissiereductie (Flexibel) en de bijdrage als ook de doelen energiebesparing (2%) en aandeel hernieuwbaar (20%) bereikt moeten worden.



4.3 Effecten en adaptatie: maatschappelijke sectoren en ecosystemen bestendig maken tegen klimaatverandering

Het IPCC laat in haar nieuwe rapportage zien dat er een veel betere inschatting kan worden gemaakt van mogelijke consequenties van klimaatverandering voor natuur, mens en maatschappij, ook al zijn de onderzoeksgegevens en documentatie nog lang niet volledig. Het (wetenschappelijk) bepalen van het adaptieve vermogen van maatschappelijke en natuurlijke systemen en van de kosten en baten van adaptatiemaatregelen in ruimte en tijd is nog steeds heel moeilijk. Dit zijn juist aspecten waar overheden in Nederland nader geïnformeerd over willen worden, zoals onder andere blijkt uit de initiatie van het nationale beleidsprogramma Adaptatie Ruimte en Klimaat (ARK) in Nederland.

Wat schrijft IPCC over de effecten van klimaatverandering voor Nederland?

In het IPCC-rapport worden de gevolgen beschreven per werelddeel. Voor Nederland zijn de beschreven gevolgen voor Europa dus van betekenis. Nederland moet in de toekomst rekening houden met grote kans op grotere en extreme neerslag die kan leiden tot meer wateroverlast en schade. Ook zeespiegelstijging en mogelijke verandering van stormpatronen zijn van groot belang voor Nederland. Dit vergt grote investeringen in het beheer van rivieren en de kust om Nederland op lange termijn bewoonbaar en veilig te houden. Warmere en drogere zomers zullen aanpassingen vergen in de gebouwde omgeving, en in de zoetwatervoorziening voor landbouw, natuur en energiesector. Klimaatverandering heeft grote en nog deels onbekende gevolgen voor plant- en diersoorten: het komen en verdwijnen van soorten gaat niet alleen door, maar dat proces versnelt zich ook nog eens en voltrekt zich bovendien op een weinig voorspelbare wijze. In Noord-Europa brengt het veranderende klimaat ook voordelen. De koudeperiodes nemen af en de potentiële opbrengsten in de landbouw, de bosbouw en de visserij nemen toe. Ook worden de omstandigheden gunstiger voor het opwekken van hydro-elektriciteit.

Er zijn in de periode 2004-2006 veel rapporten verschenen die de inzichten over de effecten van klimaatverandering voor Nederland bijeen hebben gebracht, zoals het MNP-rapport *Effecten van Klimaatverandering in Nederland* (Bresser et al., 2005) en *De Staat van het Klimaat* (PCCC, 2006). Hiernaar verwijzen wij de lezer die meer details wil weten over de effecten voor Nederland, in dit hoofdstuk willen wij ons beperken tot de betekenis van het IPCC-rapport voor het adaptatiebeleid.

Wat schrijft IPCC over de betekenis van adaptatie (voor Nederland)?

Het IPCC constateert in haar nieuwe rapportage dat het aanpassend vermogen in de wereld ongelijk verdeeld is. Juist die landen en bevolkingsgroepen die over beperkte financiële en technologische middelen beschikken en sterk afhankelijk zijn van landbouw, bosbouw en visserij, zijn kwetsbaar. Na de totstandkoming van het Kyoto-protocol bleek het in verschillende landen moeilijk te zijn om invulling te geven aan het begrip adaptatie; bij mitigatie was dat veel eenvoudiger. Dit kwam onder andere door de onzekerheid over de aard en snelheid van klimaatverandering. Ook de geopolitieke complexiteit van zaken als verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid en de notie van 'winnaars en verliezers' speelde daarbij een rol. Een nog onbeantwoorde vraag is of met het nieuwe IPCC-rapport wel mogelijk is om adaptatie in te bedden in het nationale en internationale klimaatbeleid.

Nederland behoort, gezien haar ligging in een delta, tot de landen, waar de effecten van klimaatverandering relatief groot zullen zijn. Niettemin behoort Nederland ook tot de landen met een groot potentieel technisch en maatschappelijk aanpassend vermogen. Nederland kan zich aanpassen stelt het IPCC impliciet. Het maatschappelijke debat gaat er in ons land dan ook niet over óf we ons kunnen aanpassen, maar over hoeveel we willen investeren om ons land klimaatbestendig te maken en welke gevolgen van de klimaatverandering we accepteren. Hierbij wordt ook soms mitigatie- en adaptatiebeleid met elkaar vergeleken, hoewel wetenschappelijk gezien mitigatie en adaptatiebeleid niet uitwisselbaar zijn. Denk bijvoorbeeld aan de totstandkoming van de 2°C-doelstelling van de EU (zie Hoofdstuk 4.2).

Het IPCC stelt in haar nieuwe rapport ook dat vooral praktische ervaringen - 'learning-by-doing' - ons inzicht over adaptatie moet gaan vergroten. Voor het bepalen van een optimale strategie is het daarbij van belang een beter beeld te verkrijgen van de kosten en baten van adaptatie- en mitigatiemaatregelen. Hierbij zijn de volgende kennislacunes geconstateerd door het IPCC:

- de gevolgen van een breder scala aan scenario's voor sociaal-economische en technologische ontwikkelingen;
- de potentiële kosten van de gevolgen van klimaatverandering, met en zonder adaptatie- en mitigatie maatregelen;
- de veerkracht van systemen; wanneer drempelwaarden worden overschreden of in hoeverre een 'point of no return' al is bereikt;
- interacties met andere effecten veroorzaakt door bijvoorbeeld mondialisering, armoede en institutionele ontwikkelingen;
- synergie tussen duurzame ontwikkeling en adaptatie.

In 2006 zijn de resultaten van wetenschappelijk onderzoek naar de kosten van adaptatie op mondiaal niveau bekend gemaakt (het 'Stern-rapport'). Ook voor Nederland is er in 2006 een eerste verkennende studie uitgevoerd naar de kosten van adaptatie (de 'Routeplanner'). Deze onderzoeken zijn nog niet meegenomen in het nieuwe IPCC-rapport omdat ze te recent zijn verschenen. Beide onderzoeken zijn uitgevoerd in het grensgebied tussen beleid en wetenschap. Mede omdat het de eerste onderzoeken zijn op het terrein van adaptatiekosten, hebben deze studies tot veel maatschappelijk en wetenschappelijk debat geleid. Hierbij zijn veel verbeterpunten naar boven gekomen voor dergelijke studies in de toekomst. Omdat deze onderzoeken en de discussies belangrijke aanvullingen op het assessment van het IPCC zijn bespreken we ze hierna.

De kosten en baten van adaptatie en mitigatie: het Stern-rapport

De 'Stern Review on the Economics of Climate Change' (Stern, 2006) geeft als een van de eersten op mondiaal niveau een overzicht van de kosten van klimaatverandering zonder adaptatiebeleid en de economische gevolgen van de omschakeling naar een samenleving die veel minder afhankelijk is van fossiele brandstoffen. Stern benaderde adaptatie- en mitigatiebeleid integraal met een kosten-batenanalyse. Het rapport geeft een raming van de kosten van klimaatverandering, of beter de kosten van 'niets doen aan emissiereductie'. Stern stelt dat elke ton CO₂-equivalenten die we uitstoten voor minstens 67 euro schade veroorzaakt, terwijl het vermijden van het grootste deel van deze emissie minder dan 20 euro per ton kost. De kosten van emissiereducties zijn in lijn met de conclusies van IPCC-Werkgroep III (zie Hoofdstuk 3.3).

De kosten voor klimaatstabilisatie zijn volgens Stern 'aanzienlijk, maar niet onoverkomelijk'. Uitstel van maatregelen zou dan ook riskant en kostbaar zijn omdat klimaatverandering gevolgen kan hebben voor de economische groei. In het Verenigd Koninkrijk bijvoorbeeld stijgen, zonder adaptatiemaatregelen, de jaarlijkse kosten van overstromingen van 0,1 naar 0,2-0,4% van het Bruto Binnenlands Product (BBP) als het 3 à 4 °C warmer wordt. Deze bedragen worden veel kleiner wanneer tijdig de juiste investeringen worden gedaan in waterbeheer en -bescherming tegen overstroming. Voor Nederland zijn geen projecties beschikbaar voor de jaarlijkse kosten van overstromingen met inbegrip van klimaatverandering, wel voor de kosten van adaptatie. Stern schat dat de additionele kosten voor klimaatbestendige infrastructuur en gebouwen in alle OESO-landen opgeteld 11-110 miljard euro per jaar bedragen (0,05-0,5% van het BBP). De Routeplannerstudie schat de kosten voor het klimaatbestendig maken van gebouwen op 23 miljard Euro over 50 jaar (circa 0,1% van het BBP in Nederland).

Maar er is ook kritiek op het Stern-rapport. Het tijdschrift 'The Economist' vatte in december 2006 de reacties op dit rapport samen en deelde de critici in drie kampen in:

- In het maatschappelijke veld stellen sommige groeperingen dat Stern een gebrek heeft aan politiek realisme met zijn roep tot urgente maatregelen.
- Sommige wetenschappers stellen dat Stern zich in zijn economische analyse teveel baseert op klimaatstudies die uitgaan van de meer pessimistische klimaatscenario's, en dat adaptatie in sommige gevallen autonoom zal gebeuren.
- Een derde type commentaar dat The Economist onderscheidt, betreft de gebruikte discontovoet van 0,1%. Normaal gesproken is deze in dit soort economische analyses 3-5%. Het gevolg van de lage discontovoet is dat de baten van klimaatmaatregelen en de kosten van schade in de toekomst worden overschat.

De kosten en baten van adaptatie voor Nederland: de Routeplanner studie

Eind 2005 werd door de ministeries die werkzaam zijn op het gebied van Ruimtelijke ordening (VROM, LNV, V&W) het Nationaal Programma Ruimte en Klimaat (ARK) geïnitieerd. ARK heeft eerst de ruimtelijke consequenties van klimaatverandering geïnventariseerd. De Routeplannerstudie was verantwoordelijk voor de wetenschappelijke onderbouwing daarvan. De tweede stap betreft het opstellen van een klimaat-adaptatieagenda in 2007.

De Routeplannerstudie (Van Drunen et al., 2007; Van Ierland et al., 2007) concludeert, net als het IPCC, dat er tot op heden betrekkelijk weinig bekend is over de kosten en baten van mogelijke adaptatieopties in Nederland. In totaal zijn er in de Routeplannerstudie 96 adaptatie opties beschreven die zijn verdeeld over de categorieën (a) waterbeheer, (b) natuur en ecosystemen, (c) landgebruik (landbouw, bosbouw, visserij), (d) transport en infrastructuur, (e) energie en (f) gezondheid.

De adaptatieopties zijn eerst kwalitatief beoordeeld door wetenschappers en beleidsmakers aan de hand van vijf gewogen beoordelingscriteria: belang, urgentie, no-regret (ook gunstig zonder klimaatverandering), bijkomende effecten, mitigatie effect en complexiteit. Op basis van deze eerste kwalitatieve analyse zijn de 46 opties met de hoogst gewogen som nader bekeken. In slechts 17 van de 46 bestudeerde opties zijn überhaupt gegevens bekend over de kosten van adaptatie en voor maar zeven zijn de baten gemonetariseerd. Tabel 4.1 toont deze 17 opties.

Tabel 4.1 Kosten en baten van de adaptatieopties, voor zover bekend, in miljoenen € van 2006 voor een planperiode van 50 jaar. Kleurcode: (blauw) waterbeheer, (groen) natuur en ecosystemen, (geel) landgebruik (landbouw, bosbouw, visserij), (roodbruin) infrastructuur.

Bron: Routeplannerstudie, Van Drunen et al., 2007

ADAPTATIEOPTIE	Netto Contante Waarde Kosten (miljoen €)	Netto Contante Waarde Baten (miljoen €)
Meer ruimte voor water		
- regionaal watersysteem	19000	Onbekend
- rivierverruimende maatregelen	>7000	Onbekend
Ruimtelijke ordening gestuurd door risico's	0-10	Onbekend
Voorkomen hitte-eilanden, zorgen voor koelcapaciteit in steden	65-65€/m ²	>2200€/m ²
Constructie klimaatbestendige nieuwe gebouwen	23000	Onbekend
Creëren Ecologische Hoofdstructuur	7000	>7000
Bebossen met verscheidene soorten	0,43/ha	>0,43/ha
Verbreden kustverdedigingstrook	1000	Onbekend
Versterken rivier- en zeedijken	>5000	Onbekend
Reviseren rioleringsstelsels	3000-5000	Onbekend
Natuurmonitoring	340	>340
Verplaatsen innamepunten voor drinkwaterbereiding	50-100	Onbekend
Wateropslag en -retentie in stedelijke gebieden	3300	Onbekend
Verlagen discontovoet investeringsprojecten	0	Onbekend
Ontwikkeling koeltorens	275-500	6,6-11
Wateropslag op landbouwgrond	15-50	Onbekend
Verhogen peil IJsselmeer	>500	Onbekend
Intensiveren zandsuppletie kusten	750-1500	Onbekend

De kosten en baten zijn in de Routeplanner uitgedrukt in de netto contante waarde van 2006. Er is gerekend met een discontovoet van 4% voor een planperiode van 50 jaar (vergelijk: de gebruikte discontovoet door Stern was 0,1%). Verder is aangenomen dat de kosten van klimaatverandering gelijk zijn aan het verschil tussen de welvaart van de huidige samenleving en de onaangepaste samenleving in de toekomst. De netto baten van adaptatie zijn het verschil tussen de welvaart van de aangepaste en de onaangepaste samenleving in de toekomst. De kosten van klimaatverandering na adaptatie is het verschil in welvaart tussen de aangepaste samenleving en de huidige samenleving. Bij het bepalen van de baten die in de toekomst worden gerealiseerd wordt een hogere netto contante waarde toegekend naarmate de discontovoet lager is. Het verlagen van de discontovoet stimuleert derhalve investeringen die baten opleveren in de verre toekomst, zoals geldt voor adaptatiemaatregelen. Daarom is het verlagen van de discontovoet meegenomen als een adaptatieoptie in de Routeplanner (zie Tabel 4.1).

De kosten van genoemde adaptatieopties, voor zover bekend, uit Tabel 4.1 tellen op tot >73 miljard Euro over een planperiode van 50 jaar. Deze optelsom is verleidelijk om te maken en om te komen tot een eerste orde schatting van de kosten van adaptatie in Nederland. Echter, de optelsom geeft een onjuist beeld: als de adaptatiemaatregelen in samenhang worden uitgevoerd zullen de totale kosten veel lager uitvallen. Voorts zijn de onzekerheden nog heel groot bij de monetaarisatie van de kosten en zijn zij bovendien sterk locatiegebonden.

De meeste inschattingen over kosten van adaptatie zijn gemaakt in Nederland voor aanpassingen aan de waterkeringen en waterberging in Nederland (Ruimte voor de Rivier). Dit zijn ook de duurste maatregelen: zo worden de investeringen voor waterberging en waterkering tot 2050 geraamd op meer dan €26 miljard en de kosten voor aanpassingen van de zee- en rivierdijken op meer dan €5 miljard (Tabel 4.1). Dit is bij elkaar een gemiddelde investering van 620 miljoen per jaar tot 2050. De adviescommissie Financiering Primaire Waterkeringen (Vellinga et al., 2006) heeft na afloop van de Routeplannerstudie deze schatting nader beschouwd. De adviescommissie schat in dat een investering in de orde van 500 tot 800 miljoen euro per jaar tot 2025 (prijzen 2006) noodzakelijk is, afhankelijk van de snelheid van klimaatverandering, de stijging van de zeespiegel en de toename van de waarde van het te beschermen gebied (deze kosten zijn inclusief de kosten van Ruimte voor de Rivier). Bij deze investering wordt de kans op overstroming gelijk gehouden aan de huidige. Vernieuwing van bestaande onderdelen van de waterkeringen is in deze schatting niet opgenomen. Voor de periode na 2025 leiden economische groei en klimaatverandering samen tot een jaarlijkse investering in het Nederlandse beleid om overstromingen te voorkomen van 0,1 tot maximaal 0,2% van het BBP stelt de Adviescommissie Financiering Primaire Waterkeringen.

Tabel 4.1 illustreert tot slot dat er over de baten van adaptatie in de Nederlandse context nog nauwelijks wat te zeggen valt. In navolging van het IPCC concluderen ook de Nederlandse studies dat nog veel onderzoek nodig is naar de kosten en baten van adaptatie.

Referenties

- Bresser, A.H.M. et al. (eds.) (2005), Effecten van klimaatverandering, Bilthoven, Milieu- en Natuurplanbureau, MNP-rapport 773001034, ISBN 90 69 60132
- CDA, PvdA, ChristenUnie (2007), Coalitieakkoord tussen de Tweede Kamerfracties van CDA, PvdA en ChristenUnie, 7 februari 2007
- Daniëls, B.W. en Farla, J.C.M. (coörd.) (2006), Potentieelverkenning klimaatdoelstellingen en energiebesparing tot 2020 - Analyses met het Optiedocument energie en emissies 2010/2020, ECN-C--05-106/MNP 7730001039, Petten/Bilthoven, februari 2006
- Daniëls, B.W. en Farla, J.C.M. (coörd.) (2006), Optiedocument energie en emissies 2010/2020, ECN-C--05-105/MNP 7730001038, Petten/Bilthoven, maart 2006
- Daniëls et al., (2006), Instrumenten voor energiebesparing - Instrumenteerbaarheid van 2% energiebesparing per jaar, ECN, ECN-C-06-057, Petten, december 2006
- Dorland, Rob van, en Jansen, Bert (red.) (2006), De Staat van het Klimaat 2006, uitgave PCCC, De Bilt/Wageningen
- Dorland, R. van, Drijfhout S., Haarsma, R., Hazeleger, W., Hurk, B. van den, Katsman, C., Kattenberg, A., Komen, G., Oldenborgh, G.J. van, Siegmund, P. en Weber, N. (2007), De menselijke invloed op het klimaat is onmiskenbaar, KNMI/Weermagazine brochure IPCC WG I
- Drunen, M. van (red.) (2007), Naar een klimaatbestendig Nederland - Samenvatting routeplanner, Nationaal Programma Adaptatie Ruimte en Klimaat (ARK), www.programmaark.nl, 32 pp.
- EC, An energy policy for Europe, COM (2007), 1 final, European Commission, Brussels, January 2007
- EC (2007), Een energiebeleid voor Europa, Brussel, 10.1.2007 COM (1) definitief, {SEC(2007) 12}
- Hove, B. van, Verhagen, J., Veraart, J.A, Jansen, B. (eds) (2007), Klimaatverandering, gevolgen, adaptatie en kwetsbaarheid in beeld gebracht. Brochure naar aanleiding van de presentatie van het IPCC Working Group II Fourth Assessment Report, Ministerie van LNV, Wageningen UR
- Hurk, B. van den, Klein Tank, A., Lenderink, G., A. van, Ulden, A. van, Oldenborgh, G.J.van, Katsman, Brink, C.H. van den, Keller, F., Bessembinder, J., Burgers, G., Komen, G., Hazeleger, W. and Drijfhout, S. (2006), KNMI Climate Change Scenario's 2006 for the Netherlands, WR 2006-01, KNMI
- Ierland, E.C. van, Bruin, K. de, Dellink, R.B., Ruijs, A.J.W., Bolwidt, L., Buuren, A. van, Graveland, J., Groot, R.S. de, Kuikman, P.J., Nillesen, E.E.M., Platteeuw, M., Reinhard, S., Tassone, V.C., Verhagen, A., Roetter, R.P., Verzandvoort-van Dijk, S.J.E. (2006), A qualitative assessment of climate adaptation options and some estimates of adaptation costs, Lsg Milieu-economie en natuurlijke hulpbronnen, pp. 183
- IPCC Working Group I Fourth assessment report 'The Physical Science Basis' (2007)
- IPCC Working Group II Fourth assessment report 'Impacts, Adaptation and Vulnerability' (2007)

IPCC Working Group III Fourth assessment report 'Mitigation of Climate Change' (2007)

IPCC Third assessment report, Climate Change 2001 (2001)

Juckes, M.N, Allen, M.R., Briffa, K. R., Esper, J., Hegerl, G. C., Moberg, A., Osborn, T. J., Weber, S. L. and Zorita, E. (2006), Millennial temperature reconstruction intercomparison and evaluation, *Climate of the Past Discussions*, 2, 1001-1049

Klimaat in de 21e eeuw, 2006: vier scenario's voor Nederland, KNMI brochure

Milieu en duurzaamheid in regeerakkoord 2007, MNP Rapport 500085003/2007

Rahmstorf, S. (2006), A semi-empirical approach to projecting future sea level rise, *Scienceexpress*, 14 december 2006

Stern, N. (eds.) (2006), *Stern Review: The economics of climate change*. Cambridge University Press

Vellinga, P., Stive, M.J.F., Vrijling, J.K., Boorsma, P.B., Verschuuren, J.M., Ierland, E.C. van (2006), *Tussensprint naar 2015, Advies over de financiering van de primaire waterkeringen voor de bescherming van Nederland tegen overstroming op verzoek van de Staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat en de Voorzitter van de Unie van Waterschappen*, Klimaatcentrum Vrije Universiteit Amsterdam

Vuuren, Detlef van, Marcel Berk, Jacco Farla en Rolf de Vos, MNP(2006), *Van klimaatdoel naar emissie-reductie, Nieuwe inzichten in de mogelijkheden voor beperking van klimaatverandering*, MNP-publicatienummer: 500114001/2006, Bilthoven

Colofon

Aan deze brochure kan als volgt worden gerefereerd: 'Rob van Dorland en Bert Jansen (red.), 2007, Het IPCC-rapport en de betekenis voor Nederland, uitgave PCCC, De Bilt/Wageningen'

Uitgave

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

mei 2007

Hoofdstuk 1 Auteurs

Rob van Dorland (KNMI)

met medewerking van:

Henk van den Brink, Sybren Drijfhout, Bas Eickhout, Hein Haak, Rein Haarsma, Wilco Hazeleger, Bart van den Hurk, Caroline Katsman, Arie Kattenberg, Gerbrand Komen, Geert Lenderink, Geert Jan van Oldenborgh, Mieke Reijmerink, Peter Siegmund en Nanne Weber (KNMI)

Hoofdstuk 2 Auteurs

Bert van Hove, Jeroen Veraart (Wageningen UR)

met medewerking van:

Bert Jansen, Pavel Kabat, Rik Leemans, Jan Verhagen (Wageningen UR), Frans Berkhout, Laurens Bouwer (Vrije Universiteit), Bas Eickhout (MNP), Hayo Haanstra, Martijn Tak (Ministerie LNV)

Hoofdstuk 3 Auteurs

Bas Eickhout, Leo Meyer, Detlef van Vuuren (MNP), Ad Seebregts (ECN), Peter Bosch (Ecofys)

met medewerking van:

Bert Daniëls en Remko Ybema (ECN)

Hoofdstuk 4 Auteurs

Rob van Dorland (KNMI)

Michiel van Drunen (Vrije Universiteit, Klimaatcentrum)

Bert Jansen (Wageningen UR, Alterra)

Bas Eickhout (MNP)

Nicoline Meijer (Universiteit Utrecht, Darwin Centrum voor Biogeologie)

Ad Seebregts (ECN)

Jeroen Veraart (Wageningen UR, Alterra)

Hoofdstuk 4 Reviewers

Hans de Boois (NWO)

Michiel van den Broeke (Universiteit Utrecht)

Bert Daniëls (ECN)

Douwe Dillingh (RIKZ)

Jan Willem Erisman (ECN)

André Faaij (Universiteit Utrecht)

Arnout Feijt (KNMI)

Ekko van Ierland (Wageningen UR, Leerstoelgroep Milieu-economie en Natuurlijke Hulpbronnen)

Pavel Kabat (Wageningen UR, Alterra)

Arie Kattenberg (KNMI)

Albert Klein Tank (KNMI)

Gerbrand Komen (KNMI)

Joop Oude Lohuis (MNP)

Wim Turkenburg (Universiteit Utrecht)

Pier Vellinga, (Wageningen UR en Vrije Universiteit)

Remko Ybema (ECN)

Samenstelling en redactie

Rob van Dorland (KNMI)

Bert Jansen (Wageningen UR, Alterra)

Productiebegeleiding

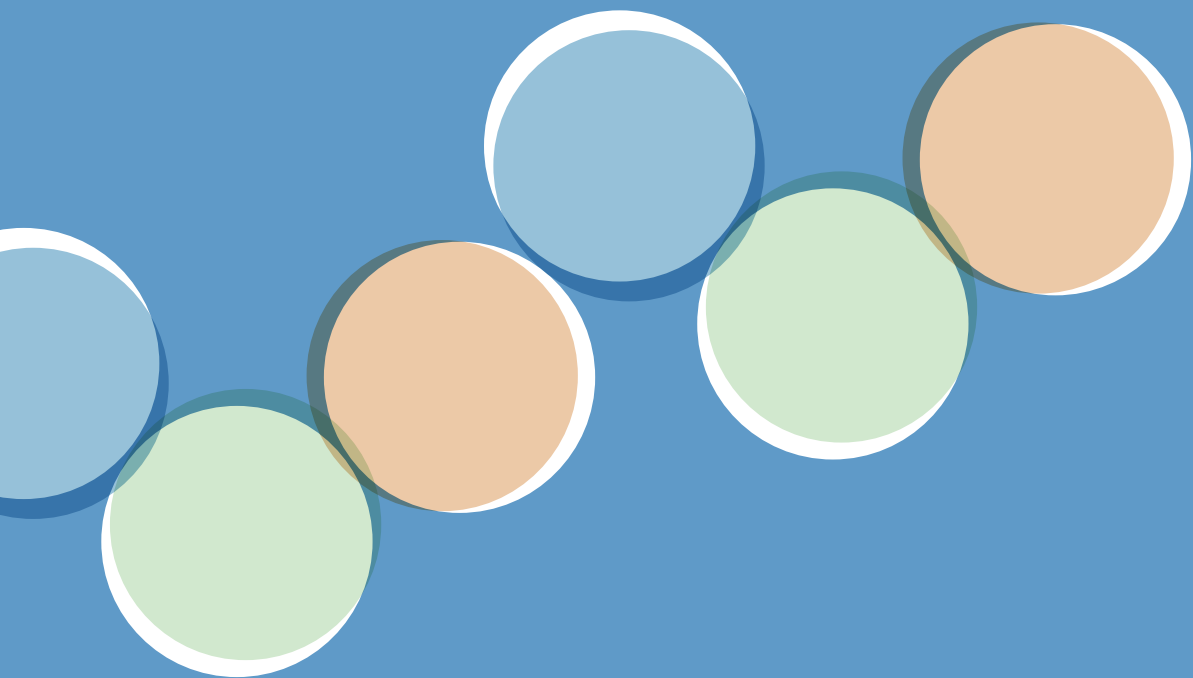
Ottelien van Steenis (Wageningen UR, Alterra)

Vormgeving en druk

Uitgeverij RIVM



Deze brochure is gedrukt op FSC gecertificeerd papier.



Meer exemplaren van deze brochure zijn gratis verkrijgbaar bij ottelien.vansteenis@wur.nl

Voor meer informatie:
p/a Alterra (Wageningen UR)
Ottelien van Steenis
Postbus 47, 6700 AA Wageningen
0317 48 6540
ottelien.vansteenis@wur.nl
www.klimaatportaal.nl