

Een rapport van werkgroep I van het Intergovernmental Panel On Climate Change

Niet officiële vertaling: het IPCC draagt hiervoor geen verantwoordelijkheid

Samenvatting voor beleidsmakers

Auteurs van het ontwerp:

Richard B. Alley, Terje Berntsen, Nathaniel L. Bindoff, Zhenlin Chen, Amnat Chidthaisong, Pierre Friedlingstein, Jonathan M. Gregory, Gabriele C. Hegerl, Martin Heimann, Bruce Hewitson, Brian J. Hoskins, Fortunat Joos, Jean Jouzel, Vladimir Kattsov, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Mario Molina, Neville Nicholls, Jonathan Overpeck, Dahe Qin, Graciela Raga, Venkatachalam Ramaswamy, Jiawen Ren, Matilde Rusticucci, Susan Solomon, Richard Somerville, Thomas F. Stocker, Peter A. Stott, Ronald J. Stouffer, Penny Whetton, Richard A. Wood, David Wratt

Met bijdragen van:

J. Arblaster, G. Brasseur, J.H. Christensen, K.L. Denman, D.W. Fahey, P. Forster, E. Jansen, P.D. Jones, R. Knutti, H. Le Treut, P. Lemke, G. Meehl, P. Mote, D.A. Randall, D.A. Stone, K.E. Trenberth, J. Willebrand, F. Zwiers

Deze samenvatting voor beleidsmakers wordt geciteerd als:

IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental panel on Climate Change* [Solomon S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt; M. Tignor and H.L. Miller (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Als V.N. organisatie publiceert het IPCC de rapporten slechts in zes voertalen. Deze vertaling van de samenvatting voor beleidsmakers van het IPCC rapport 'Klimaatverandering in 2007: De fysisch wetenschappelijke basis' is daarom geen officiële vertaling door IPCC. Deze versie is ter beschikking gesteld (door het Nederlands en Belgisch IPCC Focal Point) met als doel zo nauwkeurig mogelijk de oorspronkelijke Engelse tekst weer te geven.

De officiële Engelse tekst vindt u op www.ipcc.ch

Deze vertaling is gerealiseerd door Roland Flipphi (Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Nederland) en Martine Vanderstraeten (IPCC Focal Point – POD Wetenschapsbeleid, België), met de hulp van Universit  catholique de Louvain (België).

Inleiding

In de bijdrage van Werkgroep I aan het vierde Assessmentrapport van het IPCC wordt beschreven hoe het inzicht is gegroeid in de natuurlijke en menselijke/ antropogene oorzaken van de waargenomen klimaatverandering¹, de waargenomen klimaatverandering, in de klimaatprocessen en het toewijzen ervan aan oorzaken en in de schattingen (op basis van projecties) van de toekomstige klimaatveranderingen. Het rapport bouwt voort vroegere ramingen van het IPCC en past nieuwe bevindingen in uit het onderzoek van de afgelopen zes jaar. De vooruitgang van de wetenschap sinds het TAR (Third Assessment Report) is gebaseerd op een groot aantal nieuwe en completere gegevens, een verfijnde analyse ervan, een beter inzicht in de processen en hun simulatie in modellen, en een uitgebreider onderzoek van de waarschijnlijkheidsintervallen.

Men vindt de basis voor deze Samenvatting voor Beleidsmakers in de paragrafen van de hoofdstukken in het achterliggende rapport zoals weergegeven tussen accolades.

Menselijke en natuurlijke oorzaken van de klimaatverandering

Veranderingen in de concentratie van broeikasgassen en aerosolen in de atmosfeer, in zonnestraling en in de eigenschappen de weerkaatsing van het aardoppervlak veranderen wijzigen de energiebalans van het klimaatstelsel. Die veranderingen worden uitgedrukt in termen van stralingsforcering² en die wordt gebruikt om de verschillende menselijke en natuurlijke oorzaken van klimaatverandering met elkaar te vergelijken. Sinds het derde Assessmentrapport (Third Assessment Report -TAR) hebben nieuwe waarnemingen en de daaraan gekoppelde modellering van broeikasgassen, zonnestraling, eigenschappen van de weerkaatsing van het aardoppervlak en sommige facetten van aerosolen geleid tot verbeteringen in de kwantitatieve ramingen schattingen van de stralingsforcering

De mondiale concentraties in de atmosfeer van koolstofdioxide, methaan en lachgas zijn fors gestegen als gevolg van de activiteiten van de mens sinds 1750 en overstijgen nu verre de pré-industriële waarden die bepaald werden aan de hand van ijskernen die gegevens bevatten over duizenden jaren (zie Figuur SMP.1). De mondiale toename van koolstofdioxideconcentratie is hoofdzakelijk een gevolg van het gebruik van fossiele brandstoffen en veranderingen in het landgebruik, terwijl de concentratie van methaan en lachgas in de eerste plaats worden veroorzaakt door de landbouw. {2.3, 6.4, 7.3}

- Koolstofdioxide is het belangrijkste door de mens uitgestoten broeikasgas (zie Figuur SPM.2). De mondiale atmosferische concentratie van koolstofdioxide is gestegen van pre-industriële waarden rond 280 ppm naar 379 ppm³ in 2005. De atmosferische concentratie van koolstofdioxide in 2005 overstijgt in grote mate de natuurlijke variabiliteit gedurende de laatste 650.000 jaar (180 tot 300 ppm), zoals afgeleid uit ijskernen. De jaarlijkse aangroei van de koolstofdioxideconcentratie was groter gedurende de laatste tien jaar (gemiddeld over de periode 1995-2005: 1.9 ppm per jaar) dan die was sinds het begin van de continue directe atmosferische metingen (gemiddeld over 1960-2005: 1.4 ppm per jaar), hoewel er een zekere jaarlijkse variatie is in het tempo van deze die groei. {2.3, 7.3}.
- De belangrijkste oorzaak van de toegenomen concentratie van koolstofdioxide in de atmosfeer sinds de pre-industriële periode is het gebruik van fossiele brandstoffen en daarnaast is er ook nog, in mindere mate het gewijzigde landgebruik. De jaarlijkse uitstoot van fossiele koolstofdioxide⁴ steeg van gemiddeld 6.4 [6.0 - 6.8]⁵ GtC (23.5 [22.0 - 25.0] GtCO₂) per jaar in de jaren negentig tot 7.2 [6.9 - 7.5] GtC (26.4 [25.3 - 27.5] GtCO₂) per jaar in 2000-2005 (de gegevens voor 2004 en 2005 zijn voorlopige schattingen).

¹ In IPCC documenten verwijst klimaatverandering naar elke verandering van het klimaat in de tijd, of die nu veroorzaakt wordt door de natuurlijke variabiliteit of die het gevolg is van menselijke activiteiten. In het Klimaatverdrag daarentegen wordt de klimaatverandering direct of indirect toegeschreven aan menselijke bedrijvigheid die wijzigingen aanbrengt in de samenstelling van de atmosfeer, bovenop de natuurlijke klimaatvariabiliteit die over vergelijkbare tijdsperiodes wordt waargenomen.

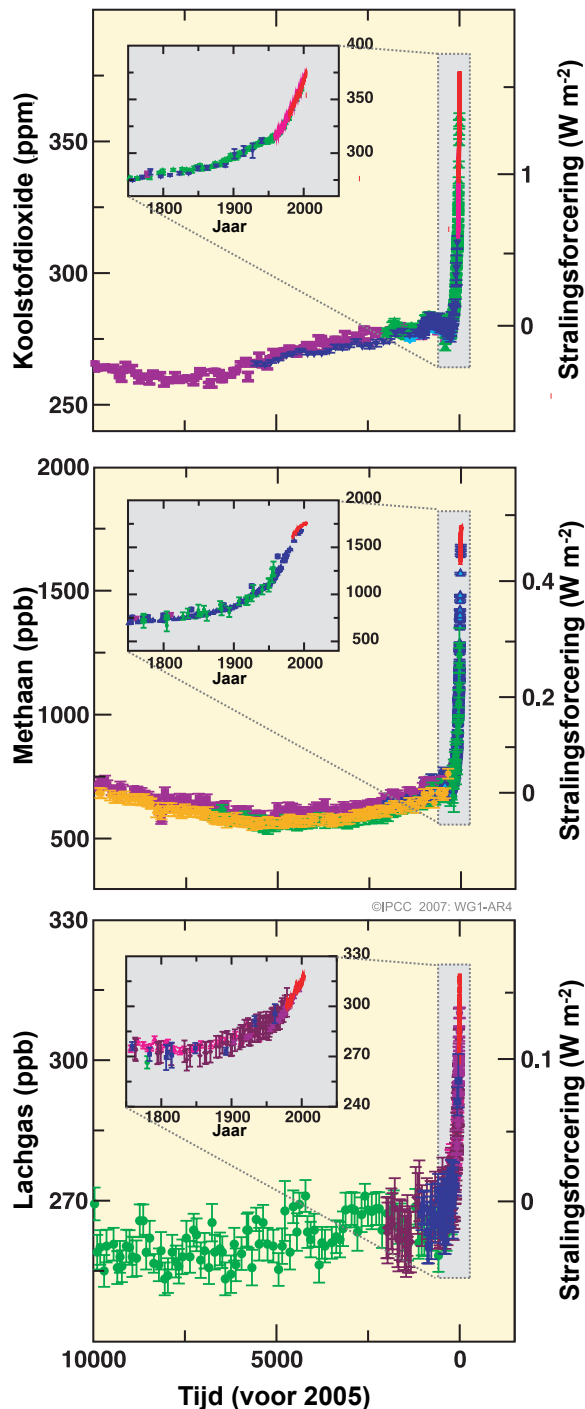
² Stralingsforcering is een maat voor de invloed die een factor heeft in het veranderen van de balans tussen inkomende en uitgaande energie in het aardatmosfeer systeem en is aan aanduiding van het belang van dergelijke factor als potentieel mechanisme van klimaatverandering. Positieve forcering leidt tot opwarming van het aardoppervlak terwijl negatieve forcering juist leidt tot afkoeling. In dit rapport worden waarden voor stralingsforcering opgegeven voor 2005 ten opzichte van het pre-industriële tijdperk (1750) en uitgedrukt in watt per vierkante meter (Wm⁻²). Zie paragraaf 2.2 voor meer details.

³ ppm (parts per million, deeltjes per miljoen) of ppb (parts per billion, deeltjes per miljard, 1 miljard = 1 000 miljoen) is de verhouding van het aantal broeikasgasmoleculen tot het totale aantal moleculen in droge lucht. Bijvoorbeeld: 300 ppm betekent 300 broeikasgasmoleculen per miljoen moleculen droge lucht.

⁴ De fossiele koolstofdioxide-emissies omvatten de uitstoot die gegenereerd wordt bij de productie, de distributie en het verbruik van fossiele brandstoffen en als afvalproduct bij de cementproductie. Een uitstoot van 1 GtC komt overeen met 3.67 GtCO₂.

⁵ Als regel worden in dit rapport de 90% onzekerheidsintervallen gegeven, tenzij expliciet anders is aangegeven. Er is dus 5% kans op overschrijding en 5% kans op onderschrijding van het aangegeven interval. De beste ramingen worden verstrekt waar mogelijk. De geschatte onzekerheid is niet altijd symmetrisch ten opzichte van de beste schatting. Merk op dat een aantal onzekerheidsmarges in de Werkgroep I bijdrage aan het TAR overeenkomen met 2σ (95%), veelal op basis van het oordeel van deskundigen.

VERANDERINGEN IN BROEIKASGASSEN VAN IJSKERN EN MODERNE GEVEGENS



Figuur SPM.1 Atmosferische concentraties van koolstofdioxide (CO_2), methaan (CH_4) en lachgas (N_2O) gedurende de laatste 10.000 jaar (grote figuren) en sinds 1750 (inzetfiguurtjes). Metingen in ijskernen (diverse kleuren voor diverse studies) en van stalen uit de atmosfeer (rode lijnen) zijn weergegeven. De schaal voor de corresponderende stralingsforceringen is rechts van de grote figuren weergegeven. {Figuur 6.4}

- De uitstoot van koolstofdioxide gelinkt aan het gewijzigde landgebruik in de jaren negentig wordt geraamd op 1,6 [0,5 tot 2,7] GtC (5,9 [1,8 tot 9,9] GtCO₂) per jaar. Over die ramingen hangt evenwel veel onzekerheid. {7.3}
- De mondiale concentratie in de atmosfeer van methaan is toegenomen van pre-industriële waarden rond 715 ppb tot 732 ppb in begin jaren negentig en bedraagt 1774 ppb in 2005. De concentratie in de atmosfeer van methaan overstijgt ruimschoots de natuurlijke variatie van de laatste 650.000 jaren (320 tot 790 ppb) zoals bepaald werd aan de hand van ijskernen. De concentratiegroei is sinds het begin van de jaren negentig afgenomen, wat overeenstemt met de totale uitstoot (de som van de antropogene en de natuurlijke bronnen) die vrijwel constant bleef gedurende deze periode. De waargenomen toename in de methaanconcentratie is *zeer waarschijnlijk*⁶ het gevolg van menselijke bedrijvigheid in hoofdzaak landbouw en het gebruik van fossiele brandstoffen. Maar de respectieve bijdragen van de diverse typen van bronnen zijn echter niet juist vastgesteld. {2.3, 7.4}
- De mondiale concentratie in de atmosfeer van lachgas steeg van pre industriële waarden van ongeveer 270 ppb tot 319 ppb in 2005. Die groei is ongeveer constant sinds 1980. Meer dan een derde van alle lachgas emissies zijn door de mens teweeg gebracht voornamelijk door landbouwactiviteiten. {2.3,7.4}

Het inzicht in de antropogene opwarmende en afkoelende invloeden op het klimaat is verbeterd sinds het Derde Assessment Rapport. Met een zeer groot vertrouwen⁷ kan gesteld worden dat het globaal gemiddeld netto effect van menselijke activiteit sinds 1750 er een is van opwarming, met een radioactieve forcering van + 1,6 (+0,6 - 2,4 Wm²) (zie Figuur SPM.2).{2.3,6.5,2.9}

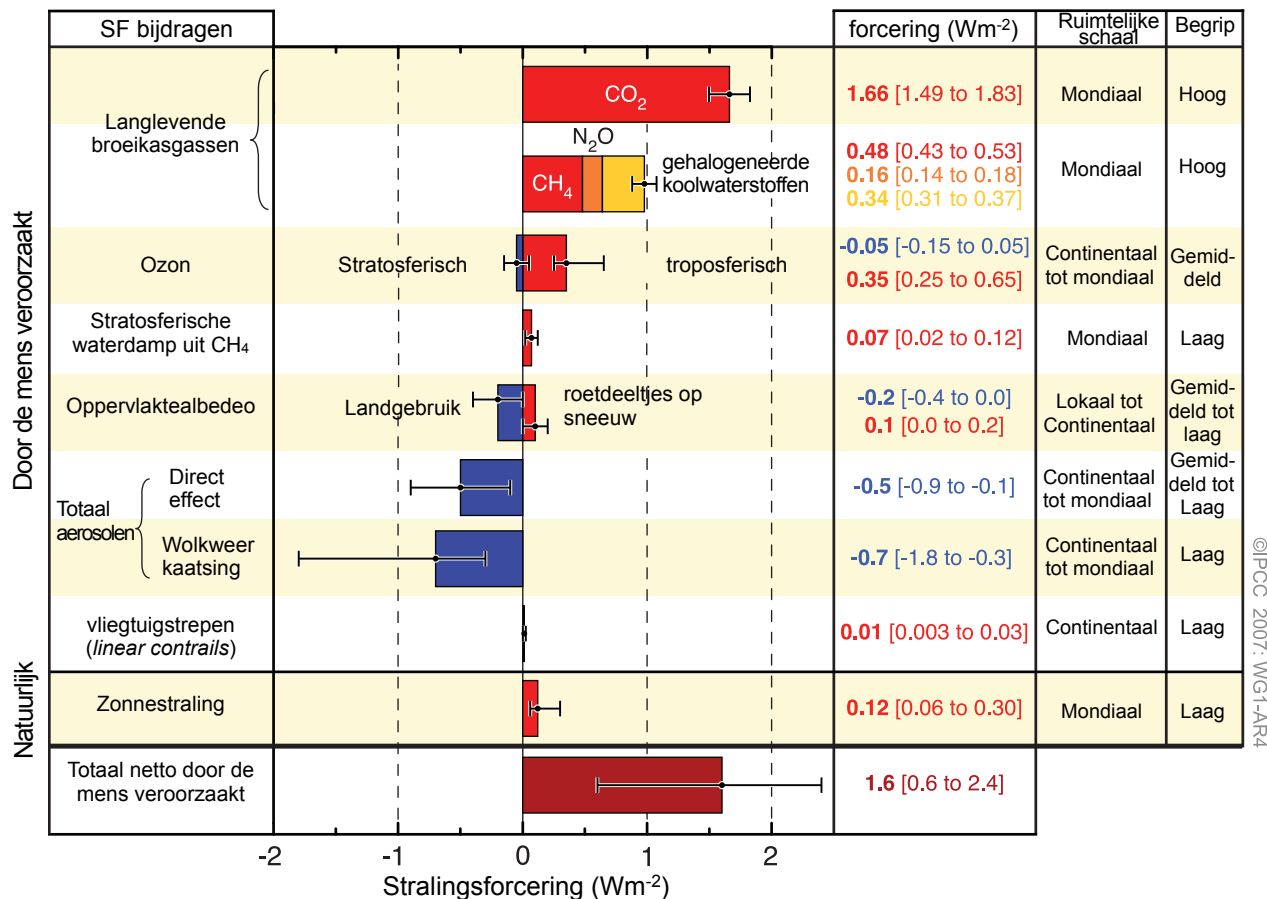
- De gecombineerde stralingsforcering als gevolg van toegenomen koolstofdioxide, methaan en lachgas is +2,30 [+2,07 tot +2,53] Wm⁻², en de snelheid van deze toename is zeer waarschijnlijk niet eerder voorgekomen in ten minste de laatste 10.000 jaar (zie Figuren SPM.1 en SPM.2). De stralingsforcering van koolstofdioxide is met 20% toegenomen tussen 1995 en 2005, de grootste tienjaarsverandering in ten minste de laatste 200 jaar. {2.3, 6.4}.

⁶ In deze Samenvatting voor Beleidsmakers worden voor gevolgen of resultaten gebruikgemaakt van de volgende graden van waarschijnlijkheid (gebaseerd op oordelen van experts: zo goed als zeker >99% kans, hoogstwaarschijnlijk >95%, zeer waarschijnlijk >90%, waarschijnlijk >66%, waarschijnlijker dan niet >50%, onwaarschijnlijk <33%, zeer onwaarschijnlijk <10%, extreem onwaarschijnlijk <5%. (zie kader TS.1 voor meer details)

⁷ In deze Samenvatting voor Beleidsmakers worden de volgende niveaus van vertrouwen gebruikt om het oordeel van de experts uit te drukken over de juistheid van het onderliggende onderzoek: zeer groot vertrouwen: een kans van minstens 9 van de 10 op correctheid, groot vertrouwen een kans van minstens 8 van de 10 op correctheid. (zie kader TS.1)

- Door de mens uitgestoten aerosolen (in hoofdzaak sulfaat, organische koolstof, roet, nitraat en stof) zorgen samen voor een afkoelend effect, met een totale directe stralingsforcering van $-0,5$ [$-0,9$ tot $-0,1$] Wm^{-2} . Deze forceringen worden nu beter begrepen dan in het TAR dankzij betere in situ, satelliet en oppervlaktewaarnemingen en meer completere modellen, maar aerosolen blijven de dominante onzekerheid in de stralingsforcering. Aerosolen beïnvloeden tevens de levensduur van wolken en de neerslag. {2.4, 2.9, 7.5}
- Aanzienlijke bijdragen van de mens tot de stralingsforcering zijn afkomstig van diverse andere bronnen. Veranderingen in het troposferisch ozon door de uitstoot van ozonvormende chemische stoffen (stikstofoxides, koolmonoxide en koolwaterstoffen) vertegenwoordigen $+0,35$ [$+0,25$ tot $+0,65$] Wm^{-2} bij. De directe stralingsforcering als gevolg van de wijzigingen in de concentratie van gehalogeneerde koolwaterstoffen⁸ is $+0,34$ [$+0,31$ tot $+0,37$] Wm^{-2} . Veranderingen in de reflectie van het aardoppervlak (albedo), door veranderingen in de bodembedekking en neergeslagen roetdeeltjes op sneeuw, geven respectievelijk forceringen van $-0,2$ [$-0,4$ - $0,0$] en $+0,1$ [$0,0$ - $+0,2$] Wm^{-2} . Enkele bijkomende forceringen kleiner dan ongeveer $0,1$ Wm^{-2} zijn te zien in Figuur SPM.2. {2.3, 2.5, 7.2}
- De veranderingen in de zonnestraling sinds 1750 veroorzaken naar schatting een stralingsforcering van $+0,12$ [$+0,06$ - $+0,30$] Wm^{-2} , wat minder dan de helft is dan de raming in het TAR. {2.7}

BIJDRAGEN AAN STRALINGSFORCERING



©IPCC 2007: WG1-AR4

Figuur SPM.2. Mondiaal gemiddelde schattingen van de waarschijnlijkheidsintervallen van de stralingsforcering (SF) in 2005 van de antropogene uitstoot van koolstofdioxide (CO_2), methaan (CH_4) en lachgas (N_2O) en andere belangrijke stoffen en mechanismen, samen met de typische geografische omvang van de forcering (ruimtelijke schaal) en het geraamde niveau van wetenschappelijk inzicht (LOSU: Scientific Level of Understanding). Ook de netto stralingsforcering als gevolg van de menselijke bedrijvigheid en het onzekerheidsmarge ervan worden getoond. Dit vereist het samennemen van de asymmetrische waarschijnlijkheidsverdelingen van de componenten en kan niet worden verkregen door een eenvoudige optelling van de samenstellende onzekerheidsmarges. Bijkomende forceringsfactoren waarvan de LOSU erg laag wordt geacht, zijn niet opgenomen. Aerosolen van vulkaanuitbarstingen voegen een natuurlijke bijdrage toe, maar zijn niet opgenomen in de figuur daar ze slechts sporadisch voorkomen. Het interval voor vliegtuigstrepen (contrails) is exclusief andere mogelijke effecten van de luchtvaart op de bewolking. {2.9, Figuur 2.20}

⁸ De forcering van gehalogeneerde koolwaterstoffen is recent in detail geëvalueerd in het IPCC Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System (2005).

Directe waarnemingen van recente klimaatverandering

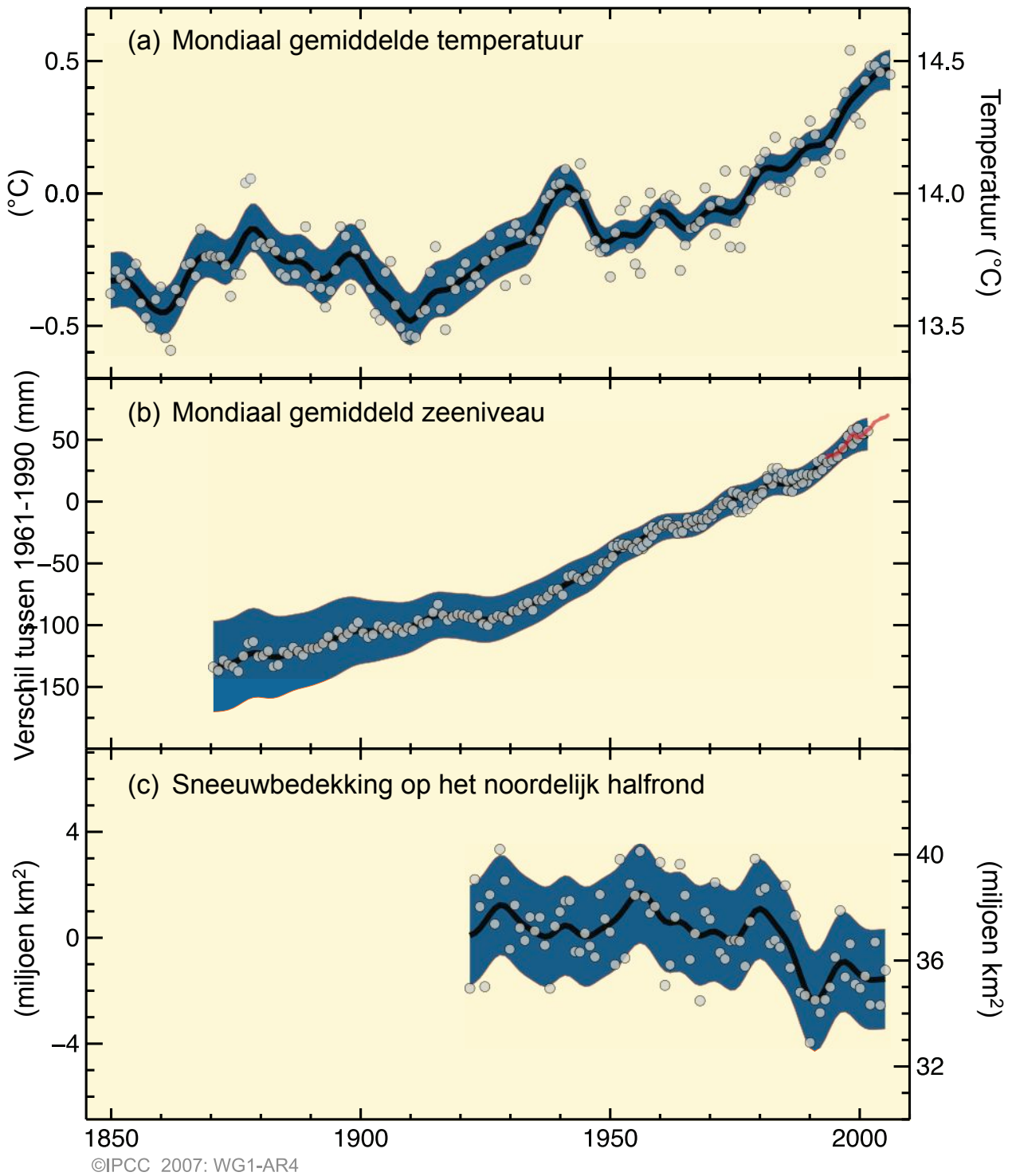
Sinds het TAR is er meer inzicht in hoe het klimaat in ruimte en tijd is veranderd, dankzij betere en veel omvangrijkere datareeksen en analyses, een grotere ruimtelijke dekking, een beter inzicht in de onzekerheden en een uitgebreider aantal metingen van meer factoren. Er zijn steeds meer en completere waarnemingen beschikbaar over gletsjers en sneeuwbedekking sinds 1960, en over de zeespiegel en ijskappen sinds ongeveer tien jaar. Voor sommige regio's blijven er evenwel weinig gegevens beschikbaar.

De opwarming van het klimaatsysteem is nu onmiskenbaar, wat blijkt uit de waargenomen stijging van de mondiale gemiddelde lucht- en oceaantemperatuur, van het wijdverspreide smelten van sneeuw en ijs en van de stijging van het gemiddelde zeeniveau (zie figuur SPM.3). {2.3, 4.2, 5.5}

- Elf van de laatste twaalf jaar (1995-2006) behoren tot de 12 warmste jaren sinds het begin van de instrumentele metingen van de mondiale oppervlakte-temperatuur⁹ (vanaf 1850). De geactualiseerde 100-jarige lineaire opwarmingstrend (1906-2005) van 0,74 [0,56 - 0,92]°C is zodoende groter dan de corresponderende trend voor 1901-2000 zoals aangegeven in het TAR van 0,6 [0,4 - 0,8]°C. De lineaire opwarmingstrend gedurende de afgelopen 50 jaar (0,13 [0,10 - 0,16]°C per tien jaar) is bijna dubbel zo groot als die voor de afgelopen 100 jaar. De totale temperatuurstijging van 1850 - 1899 tot 2001 - 2005 is 0,76 [0,57 tot 0,95]°C. De effecten van stedelijke warmte-eilanden zijn reëel maar lokaal en verwaarloosbaar (minder dan 0,006°C per decennium boven het land en nul graden boven de zee). {3.2}
- Nieuwe analyses van ballon- en satellietmetingen van de temperatuur in de lagere tot middelhoge troposfeer laten opwarmingssnelheden zien die vergelijkbaar zijn met hetgeen aan de oppervlakte wordt gemeten en die overeenstemmen met hun respectieve onzekerheidsmarges. Zodoende is het in het TAR geconstateerde verschil (in opwarmingssnelheid) grotendeels weggenomen. {3.2, 3.4}
- De gemiddelde waterdampinhoud van de atmosfeer is minstens, sinds de jaren tachtig, gestegen zowel boven land als over zee en in de hogere troposfeer. Die stijging stemt overeen met het grotere waterbevallend vermogen van warmere lucht. {3.4}
- Uit waarnemingen sinds 1961 blijkt dat de gemiddelde temperatuur van de wereldzeeën toegenomen is tot op dieptes van minstens 3000 m en dat de oceanen meer dan 80% van de aan het klimaatsysteem toegevoegde warmte hebben opgenomen. Die opwarming heeft het zeewater doen uitzetten en draagt zo bij tot de zeespiegelstijging. (zie Tabel SPM.1). {5.2, 5.5}
- Berggletsjers en de sneeuwbedekking zijn in beide hemisferen gemiddeld afgenomen. De wijdverbreide afname van gletsjers en ijskappen hebben bijgedragen tot de zeespiegelstijging (de ijskappen van Groenland en Antarctica niet meegerekend). (zie Tabel SPM.1.) {4.6, 4.7, 4.8, 5.5}
- Uit nieuwe gegevens sinds het TAR blijkt dat de afname van de ijskappen van Groenland en Antarctica *zeer waarschijnlijk* hebben bijgedragen tot de zeespiegelstijging tussen 1993 en 2003. (zie Tabel SPM.1). De stroomsnelheid van sommige gletsjers (outlet glacier), op Groenland en Antarctica, waarbij ijs uit de binnenkant van de ijskappen wordt afgevoerd, is toegenomen. Het overeenstemmende verlies aan ijsmassa volgt vaak op de verdunning, de reductie of verlies van ijsplaten of het verlies van drijvende gletsjertongen. Dit dynamische ijsverlies volstaat als verklaring voor het grootste gedeelte van het nettomassaverlies op Antarctica en voor ongeveer de helft op Groenland. Het overige ijsverlies op Groenland komt doordat de afsmelting groter is dan de aangroei door sneeuwval. {4.6, 4.8, 5.5}
- De mondiale gemiddelde zeespiegel steeg met een snelheid van gemiddeld 1,8 [1,3-2,3] mm per jaar tussen 1961 en 2003. Die snelheid lag hoger tussen 1993 en 2003 met ongeveer 3,1 [2,4-3,8] mm per jaar. Of die hogere snelheid tussen 1993 tot 2003 nu een variabiliteit over een decennium of een stijging op een lange termijn weergeeft is onduidelijk. Er is een *groot vertrouwen* dat het tempo van de waargenomen zeespiegelstijging is toegenomen van de 19de tot de 20ste eeuw. De totale stijging in de 20ste eeuw wordt geraamd op 0,17 [0,12-0,22] m. {5.5}
- De som van de bijdragen van het klimaat, tussen 1993 en 2003, valt binnen de onzekerheidsmarges van de totale direct waargenomen zeespiegelstijging (zie Tabel SPM.1). Deze schattingen zijn gebaseerd op de nu beschikbare, verbeterde satelliet en in-situ-gegevens. Voor de periode 1961-2003 wordt de som van de bijdragen van het klimaat kleiner geschat dan de waargenomen zeespiegelstijging. Het TAR rapporteerde al een vergelijkbaar verschil voor de periode 1910 - 1990. {5.5}

⁹ Het gemiddelde van de temperatuur nabij het landoppervlak en op het zeeoppervlak.

VERANDERINGEN IN TEMPERAATUUR, ZEESPIEGEL EN SNEEUWBEDEKKING OP HET NOORDELIJK HALFROND



FIGUUR SPM.3. Waargenomen veranderingen in (a) mondiaal gemiddelde oppervlaktetemperatuur; (b) mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging, uit metingen met getijdenmeters (zwart) en met satellieten (rood); (c) sneeuwbedekking op het noordelijk halfrond in maart-april. Alle veranderingen zijn relatief ten opzichte van de overeenkomstige gemiddelden over 1961-1990. De lijnen zijn gemiddelde waarden over 10 jaar terwijl de grijze cirkeltjes de jaarlijkse waarden geven. De blauwe vlakken zijn de onzekerheidsmarges zoals geschat op basis van een analyse van bekende onzekerheden (a en b) en van de tijdserie (c). {FAQ 3.1, Figuur 1, Figuur 4.2, Figuur 5.13}

Op continenten, in regio's en in oceaانبekkenen werden talrijke lange- termijnveranderingen in het klimaat geobserveerd. Hierbij horen ook veranderingen van de temperaturen en van het ijs in het noordpoolgebied, de wijdverspreide veranderingen in de neerslaghoeveelheden, het zoutgehalte van het oceaanwater, de windpatronen en extreme weersomstandigheden met inbegrip van droogtes, zware neerslag, hittegolven en de intensiteit van tropische wervelstormen¹⁰. {3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 5.2}

- De gemiddelde temperaturen in het noordpoolgebied zijn bijna twee maal sneller gestegen als het mondiale gemiddelde in de afgelopen 100 jaar. Deze temperaturen vertonen een grote variabiliteit per decennium en tussen 1925 en 1945 heeft men er een ook warme periode waargenomen {3.2}
- Sinds 1978 laten satellietdata zien dat de jaarlijkse gemiddelde omvang van het zeeijs in het noordpoolgebied geslonken is met 2,7 [2,1 tot 3,3]% per decennium, met een grotere teruggang in de zomer van 7,4 [5,0 tot 9,8]% per decennium. Die waarden kloppen met die gerapporteerd in het TAR. {4.4}
- De temperaturen aan de bovenkant van de permafrost is in het noordpoolgebied over het algemeen toegenomen sinds de jaren tachtig (met zo'n 3°C). Het maximale bodemoppervlak dat seizoensmatig bevriest is sinds 1900 in het noordelijk halfrond met ongeveer 7% afgenomen, met in het voorjaar een afname tot 15%. {4.7}
- Uit de neerslaghoeveelheden over vele grote gebieden zijn langetermijntrends waargenomen in de periode 1900-2005. In het oosten van Noord- en Zuid-Amerika, Noord-Europa en Noord- en Centraal-Azië is de hoeveelheid neerslag fors gestegen. Verdroging is waargenomen in de Sahel, het Middellandse-Zeegebied, zuidelijk Afrika en delen van Zuid-Azië. Neerslag is erg variabel in ruimte en tijd, en voor sommige regio's zijn de gegevens schaars. Voor andere bestudeerde grote regio's¹¹ zijn er geen langetermijntrends waargenomen. {3.3, 3.9}
- Een ontzilting van de zeeën op gemiddelde en hoge breedtegraad en een toegenomen verzilting van de zeeën op lage breedtegraad suggereren veranderingen in de neerslag en de verdamping boven de oceanen. {5.2}
- Op de gemiddelde breedtegraden zijn de westenwinden op beide halfronden sinds de jaren zestig in kracht toegenomen.
- Sinds de jaren zeventig worden over uitgebreide gebieden, intensere en langere droge periodes waargenomen, in het bijzonder in de tropen en subtropen. De toegenomen uitdroging in combinatie met hogere temperaturen en minder neerslag hebben bijgedragen tot de veranderingen in de periodes met droogte. Veranderingen in de oppervlaktetemperatuur van het zeewater, gewijzigde windpatronen, een mindere dikke sneeuwlaag en een beperkter sneeuwoppervlak zijn ook gelinkt aan droogteperiodes. {3.3}

Tabel SPM.1. De waargenomen zeespiegelstijging en de geschatte bijdrages daaraan van de verschillende bronnen. {5.5, Tabel 5.3}

Oorzaak zeespiegelstijging	Snelheid zeespiegelstijging (mm per jaar)	
	1961-2003	1993-2003
Thermische uitzetting	0,42 ± 0,12	1,6 ± 0,5
Gletsjers en kleine ijskappen	0,50 ± 0,18	0,77 ± 0,22
Groenlandse ijskap	0,05 ± 0,12	0,21 ± 0,07
Antarctische ijskap	0,14 ± 0,41	0,21 ± 0,35
Som individuele klimaatveranderingbijdragen aan de zeespiegelstijging	1,1 ± 0,5	2,8 ± 0,7
Totale waargenomen zeespiegelstijging	1,8 ± 0,5 ^a	3,1 ± 0,7 ^a
Vershil (waarnemingen min som geraamde klimaatveranderingbijdragen)	0,7 ± 0,7	0,3 ± 1,0

Tabel noot:

^agegevens van voor 1993 zijn afkomstig van getijdenmetingen en -gegevens vanaf 1993 van hoogtemetingen vanuit satellieten.

¹⁰ Tropische wervelstormen omvatten orkanen en tyfoons.

¹¹ De bestudeerde gebieden zijn die welke ter sprake komen in het hoofdstuk Regionale projecties van het TAR en in hoofdstuk 11 van dit Rapport.

- In de meeste regio's boven land is de frequentie van zware neerslag toegenomen in overeenstemming met de opwarming en de waargenomen grotere concentratie aan waterdamp in de atmosfeer. {3.8, 3.9}
- In de laatste 50 jaar zijn er wijdverspreid veranderingen waargenomen in de extreme temperatuurpatronen. Koude dagen, koude nachten en vorst zijn minder frequent geworden terwijl er meer hete dagen, hete nachten en hittegolven voorkomen (zie Tabel SPM.2). {3.8}
- Uit waarnemingen blijkt duidelijk dat de intensiteit van tropische wervelstormen in de Noord-Atlanti-

sche oceaan is toegenomen, in overeenstemming met de toegenomen oppervlaktetemperatuur van de tropische zeeën. Er zijn ook aanwijzingen dat de intensiteit van tropische wervelstormen is toegenomen in enkele andere regio's waar de beschikbaarheid van betrouwbare gegevens een probleem is. Gelet op de variabele gegevens over verschillende decennia en op de kwaliteit van de waarnemingen van tropische wervelstormen voor er rond 1970 satellietwaarnemingen waren, is het moeilijk om langetermijntrends te identificeren. Er is geen duidelijke trend in het aantal tropische wervelstormen per jaar. {3.8}

Tabel SPM.2. Recente trends, schatting van de invloed van de mens op de trend en projecties voor extreem weer waarvoor er een trend is vastgesteld in de late 20ste eeuw. {Tabellen 3.7, 3.8, 9.4, paragrafen 3.8, 5.5, 9.7, 11.2-11.9}

Verschijsel ^a en richting van de trend	Kans op trend in de late 20 ^{ste} eeuw (typisch na 1960)	Kans dat mens heeft bijgedragen tot waargenomen trend ^b	Kans dat trend in 21ste eeuw optreedt volgens SRES scenario's
Warmer en minder koude dagen en nachten boven de meeste landgebieden	<i>zeer waarschijnlijk^c</i>	<i>waarschijnlijk^d</i>	<i>bijna zeker^d</i>
Warmer en meer hete dagen en nachten boven de meeste landgebieden	<i>zeer waarschijnlijk^e</i>	<i>waarschijnlijk^d (nachten)</i>	<i>bijna zeker^d</i>
Meer warme periodes/ hittegolven boven de meeste landgebieden	<i>waarschijnlijk</i>	<i>waarschijnlijker dan niet^f</i>	<i>zeer waarschijnlijk</i>
Zware neerslag grotere frequentie van (of groter aandeel in) de totale neerslag boven de meeste gebieden	<i>waarschijnlijk</i>	<i>waarschijnlijker dan niet^f</i>	<i>zeer waarschijnlijk</i>
Meer door droogte aangetaste gebieden	<i>waarschijnlijk in vele gebieden sinds 1970</i>	<i>waarschijnlijker dan niet</i>	<i>waarschijnlijk</i>
Toename intensiteit tropische wervelstormen	<i>waarschijnlijk in enkele gebieden sinds 1970</i>	<i>waarschijnlijker dan niet^f</i>	<i>waarschijnlijk</i>
Vaker extreem hoge zeespiegel (uitgezonderd tsunami's) ^g	<i>waarschijnlijk</i>	<i>waarschijnlijker dan niet^{f,h}</i>	<i>waarschijnlijkⁱ</i>

Table noten:

^aZie Tabel 3.7 voor meer gedetailleerde definities.

^bZie Tabel TS-4, Kader TS 5 en Tabel 9.4.

^cMinder koude dagen en nachten (koudste 10%).

^dOpwarming van de meest extreme dagen en nachten elk jaar.

^eMeer warmst dagen en nachten (warmste 10% toename).

^fDe omvang van de bijdrage van de mens is niet geëvalueerd. Toeschrijving voor deze verschijnselen is gebaseerd op oordelen van experts eerder dan op toeschrijvingstudies.

^gDe extreem hoge zeespiegel hangt af van het gemiddelde zeeniveau en de regionale weersystemen en wordt gedefinieerd als de hoogste 1% uurwaarden voor een in een station geobserveerd zeeniveau voor een gegeven referentieperiode.

^hVeranderingen in de extreem hoge zeespiegel houden nauw verband met het gemiddelde zeeniveau {5.5}. De mens draagt is zeer waarschijnlijk bij tot de gemiddelde zeespiegel stijging {9.5}.

ⁱIn alle scenario's wordt in 2100 een mondiaal gemiddeld zeeniveau geprojecteerd dat hoger is dan in de referentieperiode {10.6}. Het effect van veranderingen in regionale weersystemen op de extreme zeeniveaus is niet geëvalueerd.

Van sommige aspecten van het klimaat is niet waargenomen dat ze veranderen. {3.2, 3.8, 4.4, 5.3}

- In het TAR werd de daling van verschil tussen de maximale dag- en minimale nachttemperatuur (DTR – Diurnal Temperature Range) gerapporteerd, maar toen waren enkel gegevens beschikbaar voor de periode 1950-1993. Nu de waarnemingen zijn geactualiseerd blijkt dat dit verschil gelijk is gebleven tussen 1979 en 2004 daar zowel de dag- als nachttemperatuur ongeveer tegen hetzelfde tempo is gestegen. De trends verschillen sterk van regio tot regio. {3.2}
- Het oppervlak van het Antarctisch zeeijs blijft van jaar tot jaar variëren en lokaal veranderen, maar er zijn geen statistisch significante trends, wat overeenkomt met het ontbreken van opwarming te merken aan de gemiddelde temperaturen van de atmosfeer boven het over het gebied. {3.2, 4.4}
- Er zijn onvoldoende aanwijzingen om te bepalen of er trends zijn in de meridionale overturning circulatie van de wereldzeeën of in kleinschalige verschijnselen zoals wervelstormen, hagel, bliksem en stofstormen. {3.8, 5.3}
- De gemiddelde temperaturen op het noordelijk halfrond in de tweede helft van de 20ste eeuw lagen zeer waarschijnlijk hoger dan gedurende enig andere periode van 50 jaar in de laatste 500 jaar en waren waarschijnlijk het hoogst van de afgelopen 1300 jaar. Sommige recente onderzoeken geven een grotere temperatuursvariabiliteit aan op het noordelijk halfrond dan aangevoerd in het TAR, waarin in het bijzonder het bestaan van koelere periodes in de 12de tot 14de eeuw, de 17de en de 19de eeuw werd ontdekt. Warmere periodes voorafgaand aan de 20ste eeuw vallen binnen de onzekerheidsmarges aangegeven in het TAR. {6.6}
- De mondiaal gemiddelde zeespiegel gedurende het laatste interglaciaal (ongeveer 125.000 jaar geleden), lag waarschijnlijk 4 tot 6 m hoger dan gedurende de 20e eeuw, in hoofdzaak ten gevolge van de terugtrekking van het poolijs. Gegevens uit ijskernen geven aan dat de gemiddelde temperaturen in die periode 3 tot 5°C hoger lagen dan nu, als gevolg van een gewijzigde baan om de zon. Het is waarschijnlijk dat de Groenlandse ijskap en andere arctische ijskappen niet meer dan 4 m aan de vastgestelde zeespiegelstijging hebben bijgedragen. Antarctica zou ook kunnen hebben bijgedragen. {6.4}

Een paleoklimatisch perspectief

Paleoklimatische studies maken gebruik van veranderingen van sensitieve indicatoren om wereldomvattende klimaatveranderingen in het verleden af te leiden op tijdschalen die variëren van decennia tot miljoenen jaren. Zulke proxygegevens (zoals de breedte van boomringen) kunnen zijn beïnvloed door zowel de lokale temperatuur als andere factoren zoals neerslag, en zijn vaak representatief voor bepaalde seizoenen eerder dan voor volle jaren. Sinds het TAR hebben aanvullende gegevens een coherent beeld laten zien voor verschillende typen indicatoren uit verschillende delen van de wereld en hierdoor is het vertrouwen toegenomen in eerdere reconstructies. De onzekerheden worden evenwel over het algemeen mettertijd groter naar mate de gegevens ouder zijn en de ruimtelijke dekking beperkter is.

Paleoklimatologische informatie staaft de verklaring dat het ten minste 1300 jaar geleden is dat het nog zo ongewoon warm is geweest dan in de afgelopen halve eeuw. De laatste keer dat de poolstreken over een langere periode (zowat 125.000 jaar geleden) duidelijk warmer waren dan nu, lag de zeespiegel 4 tot 6 m hoger gelet op de inkrimping van het polaire ijsvolume. {6.4, 6.6}

Klimaatverandering: inzicht en toeschrijving

Dit rapport, maakt in vergelijking met het TAR, gebruik van langere en verbeterde waarnemingsreeksen, meer typen waarnemingen, verbeterde simulaties van vele klimaataspecten en de variaties daarin. Het maakt ook gebruik van de resultaten van nieuwe studies naar de oorzaken van de klimaatverandering waarin geëvalueerd is of de waarnemingen kwantitatief overeenkomen met de verwachte reactie op externe stralingsforcering en niet stroken met alternatieve, natuurkundig plausible verklaringen.

Het grootste deel van de waargenomen toename van de mondiaal gemiddelde temperatuur sinds het midden van de 20ste eeuw is zeer waarschijnlijk een gevolg van de waargenomen toename van de concentratie van broeikasgassen en die door de mens is veroorzaakt¹². Dit is een aanscherping in vergelijking met het TAR waarin geconcludeerd werd dat “het grootste deel van de opwarming gedurende de afgelopen 50 jaar waarschijnlijk een gevolg is van de toegenomen broeikasgasconcentratie”. De invloed van de mens is nu herkenbaar in andere aspecten van het klimaat met inbegrip van de opwarming van de oceanen, de gemiddelde temperatuur van continenten, extreme temperaturen en windpatronen (zie Figuur SPM.4 en Tabel SPM.2). {9.4, 9.5}

- Het is waarschijnlijk dat enkel de toename van de broeikasgasconcentratie meer opwarming zou hebben veroorzaakt dan waargenomen aangezien een deel van de opwarming gecompenseerd werd door aerosolen afkomstig van vulkaanuitbarstingen en van menselijke activiteiten. {2.9, 7.5, 9.4}
- De waargenomen uitgebreide opwarming van atmosfeer en oceaan, in combinatie met het verlies van ijsmassa, staft de conclusie dat het uiterst onwaarschijnlijk is dat de mondiale klimaatverandering in de laatste 50 jaar kan worden verklaard zonder externe stralingsforcering. Het is zeer waarschijnlijk dat de klimaatverandering niet enkel het gevolg is van natuurlijke oorzaken. {4.8, 5.2, 9.4, 9.5, 9.7}
- De opwarming van het klimaatsysteem is waargenomen in de gewijzigde temperatuur van het aardoppervlak en de atmosfeer, de bovenste honderden meters van de oceaan en de bijdragen aan zeespiegel-

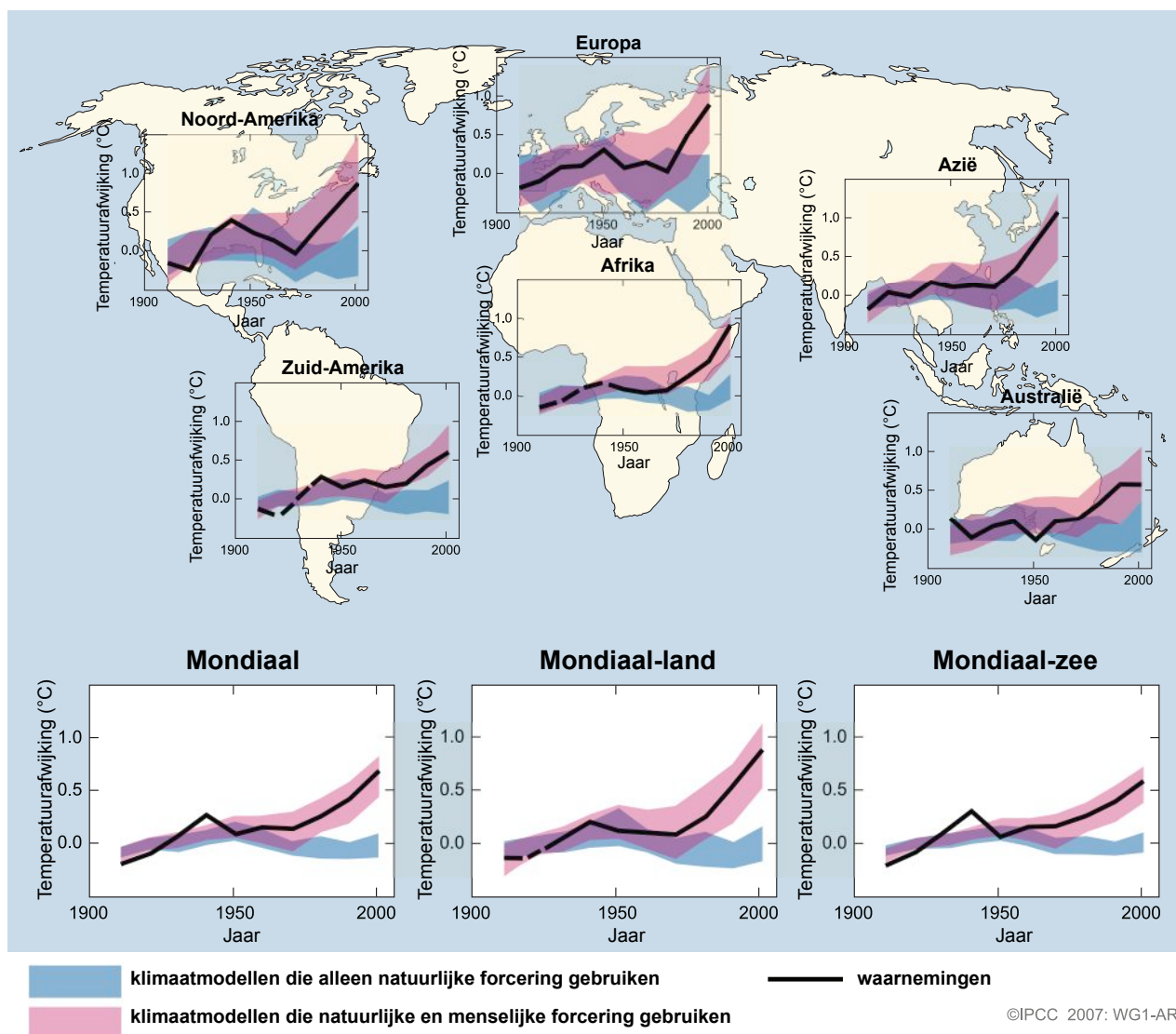
stijging. Studies naar de oorzaken van die klimaatverandering hebben aangetoond dat de mens heeft bijgedragen tot al deze veranderingen. Het waargenomen patroon van opwarming in de troposfeer en van afkoeling in de stratosfeer is zeer waarschijnlijk een gevolg van de gezamenlijke effecten van de toename van broeikasgassen en de afbraak van de ozonlaag. {3.2, 3.4, 9.4, 9.5}

- Het is waarschijnlijk dat in de laatste 50 jaar er op elk continent behalve op Antarctica een aanzienlijke gemiddelde opwarming heeft plaatsgevonden veroorzaakt door de mens (zie Figuur SPM.4). De waargenomen patronen, met inbegrip van een grotere opwarming boven land dan boven zee, en de veranderingen daarin mettertijd, worden alleen gereproduceerd door modellen die stralingsforcering door de mens inhouden. Het vermogen van gekoppelde klimaatmodellen om het waargenomen temperatuurverloop op elk van de zes continenten te simuleren, geeft meer overtuigende bewijzen van de menselijke invloed op het klimaat dan hetgeen beschikbaar was in het TAR. {3.2, 9.4}
- Het blijft moeilijk om op betrouwbare wijze de op kleinere schaal waargenomen temperatuurveranderingen te simuleren en aan de verschillende oorzaken toe te wijzen. Op die schaal is de natuurlijke klimaatvariabiliteit relatief groter, wat het moeilijker maakt om een onderscheid te maken met de verwachte veranderingen toe te wijzen aan externe stralingsforceringen. Ook onzekerheden in de lokale stralingsforcering en terugkoppelingen maken het moeilijk om de bijdrage van de toename van broeikasgassen tot kleinschalige veranderingen in de temperatuur in te schatten. {8.3, 9.4}
- Waarschijnlijk heeft de mens bijgedragen tot de veranderingen in de windpatronen¹³, wat stormbanen buiten de tropen en temperatuurpatronen op beide halfronden heeft beïnvloed. Maar, de waargenomen veranderingen op het noordelijk halfrond zijn groter dan uit simulaties van de reactie van het klimaatsysteem op externe forcering (20ste eeuw) blijkt. {3.5, 3.6, 9.5, 10.3}
- De temperaturen tijdens de meest extreem hete nachten, koude nachten en koude dagen zijn waarschijnlijk toegenomen als gevolg van de antropogene stralingsforcering. Het is waarschijnlijker dan niet dat antropogene stralingsforcering de kans op hittegolven heeft vergroot. (zie Tabel SPM.2). {9.4}

¹² De beoordeling van de resterende onzekerheid is gebaseerd op actuele methodologieën.

¹³ In het bijzonder de zuidelijke en noordelijke passaatwinden en de daarmee verbonden Noord-Atlantische oscillatie. {3.6, 9.5, Kader TS. 2}

MONDIALE EN CONTINENTALE TEMPERATUURVERANDERING



Figuur SPM.4. Vergelijking van de waargenomen continentale en mondiale veranderingen in oppervlaktetemperatuur met de resultaten van simulaties met klimaatmodellen die gebruik maken van een stralingsforcering van natuurlijke en menselijke oorsprong. De tienjarige gemiddelden voor de periode 1906-2005 (zwarte lijn) zijn uitgezet tegen het gemiddelde van de periode 1901-1950. Deze lijn is gestippeld waar de ruimtelijke dekking minder dan 50% bedraagt. De blauwe banden laten het 5-95% interval zien uit 19 simulaties met 5 klimaatmodellen die alleen gebruikmaken van de natuurlijke stralingsforcering als gevolg van de zonnestraling en vulkaanactiviteit. De rode banden laten het 5-95% betrouwbaarheidsinterval zien uit 58 simulaties met 14 klimaatmodellen die gebruikmaken van zowel de natuurlijke als de antropogene stralingsforcering. {FAQ 9.2, Figuur 1}

Analyses van klimaatmodellen in combinatie met waarnemingen maken het voor het eerst mogelijk een onzekerheidsmarge aan te geven voor de klimaatgevoeligheid en dit vergroot ook de betrouwbaarheid van het inzicht in de reactie van het klimaatsysteem op de stralingsforcering. {6.6, 8.6, 9.6, Kader 10.2}

- De klimaatgevoeligheid is een maat voor de reactie van het klimaatsysteem op aanhoudende stralingsforcering. Het is geen projectie maar wordt gedefinieerd als de mondiaal gemiddelde oppervlakteopwarming als gevolg van een verdubbeling van de CO₂-concentratie. De klimaatgevoeligheid ligt waarschijnlijk tussen de 2 en 4,5°C, met een beste schatting rond 3°C, en ligt zeer waarschijnlijk niet lager dan 1,5°C. Waarden merkkelijk hoger dan de 4,5°C kunnen niet worden uitgesloten, maar de overeenkomst van modellen met waarnemingen is minder goed voor zulke waarden. Veranderingen in de waterdampconcentraties zijn de grootste terugkoppeling die de klimaatgevoeligheid beïnvloedt en deze zijn nu beter begrepen dan in het TAR. Terugkoppelingen die samenhangen met bewolking zijn de grootste bron van onzekerheid. {8.9, 9.6, Kader 10.2}
- Het is zeer onwaarschijnlijk dat de klimaatveranderingen in ten minste de zeven eeuwen voorafgaand aan 1950 veroorzaakt zijn door interne variabiliteit in het klimaatsysteem alleen. Een significant deel van de gereconstrueerde tienjaarlijkse temperatuurvariabiliteit op het noordelijk halfrond gedurende deze eeuwen is zeer waarschijnlijk toe te schrijven aan vulkaanuitbarstingen en veranderingen in de hoeveelheid zonnestraling. Het is volgens deze gegevens waarschijnlijk dat de antropogene stralingsforcering heeft bijgedragen tot de opwarming in de eerste helft van de 20ste eeuw {2.7, 2.8, 6.6, 9.3}

Projecties van toekomstige klimaatveranderingen

Het grote aantal simulaties op basis van een breder scala aan modellen is een belangrijke vooruitgang sinds het TAR bij het beoordelen van projecties van klimaatverandering. Die vormen, samen met aanvullende informatie uit waarnemingen, een kwantitatieve basis voor het schatten van de waarschijnlijkheidsverdelingen van veel aspecten van toekomstige klimaatverandering. Modelsimulaties bestrijken een scala aan mogelijke toekomst, met inbegrip van geïdealiseerde emissie- of concentratieaannames. Hieronder bevinden zich de illustratieve SRES¹⁴ scenario's voor de periode 2000-2100 en modelexperimenten die aannemen dat de broeikasgas- en aerosolconcentraties constant blijven vanaf 2000 of 2100.

De komende twintig jaar wordt een opwarming met 0,2°C per decennium geprojecteerd voor een scala van SRES scenario's. Zelfs als de concentraties van alle broeikasgassen en aerosolen constant zouden blijven op het niveau van het jaar 2000, wordt een verdere opwarming van ongeveer 0,1°C per decennium verwacht. {10.3, 10.7}

- Sinds het eerste IPCC rapport in 1990 suggereren de geëvalueerde projecties toenames van de mondiaal gemiddelde temperatuur tussen ongeveer 0,15 en 0,3°C per decennium voor de periode 1990-2005. Dit kan nu vergeleken worden met de waargenomen toename van ongeveer 0,2°C per decennium, hetgeen de betrouwbaarheid versterkt in de korte termijn projecties. {1.2, 3.2}
- Modelexperimenten laten zien dat de opwarming in de komende twee decennia zich zal voortzetten met ongeveer 0,1°C per decennium, zelfs als de stralingsforceringcomponent constant gehouden wordt op het niveau van het jaar 2000. Dit is hoofdzakelijk het gevolg van de trage reactie van de oceanen. Ongeveer twee maal zoveel opwarming (0,2°C per decennium) wordt verwacht als de emissies zich binnen de marges van de SRES-scenario's zullen bevinden. De meest waarschijnlijke projecties van modellen laten zien dat, tot 2030, de gemiddelde opwarming boven elk van de bewoonde continenten ongevoelig is voor de keuze van SRES-scenario's en dat die opwarming zeer waarschijnlijk minstens twee maal groot zal zijn als de corresponderende modelschatting van de na-

¹⁴ SRES verwijst naar het IPCC Special Report on Emission Scenario's, SRES (2000). De groepen scenario's en illustratieve voorbeelden, die geen aanvullende klimaatinitiatieven omvatten, worden samengevat in een kader aan het einde van de Samenvatting voor Beleidsmakers. De broeikasgasconcentraties uitgedrukt in CO₂-equivalenten die overeenkomen met de berekende stralingsforceringen door antropogene broeikasgassen en aerosolen in 2100 (zie p. 823 van het TAR) voor de SRES B1, A1T, B2, A1B, A2 en A1F1 illustratiescenario's zijn respectievelijk rond 600, 700, 800, 850, 1250 en 1550 ppm. Modelvergelijkingen concentreren zich veelal op de scenario's B1, A1B en A2, en veel van dergelijke resultaten zijn geëvalueerd in dit rapport.

tuurlijke variabiliteit gedurende de 20ste eeuw. {9.4, 10.3, 10.5, 11.2-11.7, Figuur TS-29}

Verdere emissies van broeikasgassen op of boven het huidige niveau zou tot verdere opwarming leiden en veel veranderingen in het mondiale klimaatstelsel veroorzaken in de 21ste eeuw die zeer waarschijnlijk groter zijn dan die waargenomen in de 20ste eeuw. {10.3}

- Verbeteringen in het modelleren van klimaatveranderingen maken nu beste schattingen en waarschijnlijke onzekerheidsmarges mogelijk voor de geprojecteerde opwarming voor verschillende emissiescenario's. De resultaten voor verschillende emissiescenario's worden expliciet in dit rapport gepresenteerd om verlies aan beleidsrelevante informatie te voorkomen. De geprojecteerde mondiaal gemiddelde opwarming aan het oppervlak voor het laatste decennium (2090-2099) van de eeuw ten opzichte van 1980-1999 zijn weergegeven in tabel SPM.3. Die tabel illustreert het verschil tussen de hogere en lagere SRES emissiescenario's en de geprojecteerde opwarming en de onzekerheid die samenhangt met die scenario's. {10.5}
- De beste schattingen en waarschijnlijkheidsintervallen voor de mondiale gemiddelde opwarming van het aardoppervlak voor de zes SRES scenario's staan in de evaluatie en in tabel SPM.3. De meest waarschijnlijke waarde voor het lage emissiescenario B1 bijvoorbeeld bedraagt 1,8°C (waarschijnlijk tussen 1,1 en 2,9°C), en de meest waarschijnlijke waarde

voor het hoge emissiescenario A1F1 4,0°C (waarschijnlijk tussen 1,4 en 6,4°C). Hoewel die projecties over het algemeen overeenkomen met het interval uit het TAR, zijn die niet direct vergelijkbaar (zie Figuur SPM.5). De cijfers in dit vierde assessment zijn vooruitstrevend want zij geven de beste schattingen en waarschijnlijkheidsintervallen voor zes illustratieve scenario's geeft. De nieuwe beoordeling van de waarschijnlijkheidsintervallen is nu zowel gebaseerd op een groter aantal meer complexe en realistische klimaatmodellen als op de nieuwe informatie over natuurlijke terugkoppelingen in de koolstofkringloop en de beperkingen van de klimaatgevoeligheid door de waarnemingen. {10.5}

- De opwarming lijkt de opname van CO₂ door het land en de oceanen te verminderen, zodat het aandeel van de antropogene broeikasgassen dat in de atmosfeer achterblijft toeneemt. In het A2 scenario bijvoorbeeld leidt de klimaat-koolstofcyclus terugkoppeling tot een extra temperatuurstijging van meer dan 1°C. De geëvalueerde bovengrenzen van de temperatuurprojecties liggen hoger dan in het TAR (zie Tabel SPM.3), voornamelijk omdat de nu beschikbare bredere set modellen een sterkere klimaat-koolstofcyclus terugkoppeling suggereert. {7.3, 10.5}
- Model projecties van de mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging aan het einde van de 21^{ste} eeuw (2090-2099) staan in Tabel SPM.3. Voor elk scenario ligt het middenpunt van het interval in Tabel SPM.3 binnen 10% van het modelgemiddelde in het TAR.

Tabel SPM.3. *Geprojecteerde mondiaal gemiddelde opwarming van het aardoppervlak en stijging van de zeespiegel aan het einde van de 21ste eeuw. {10.5, 10.6, Tabel 10.7}*

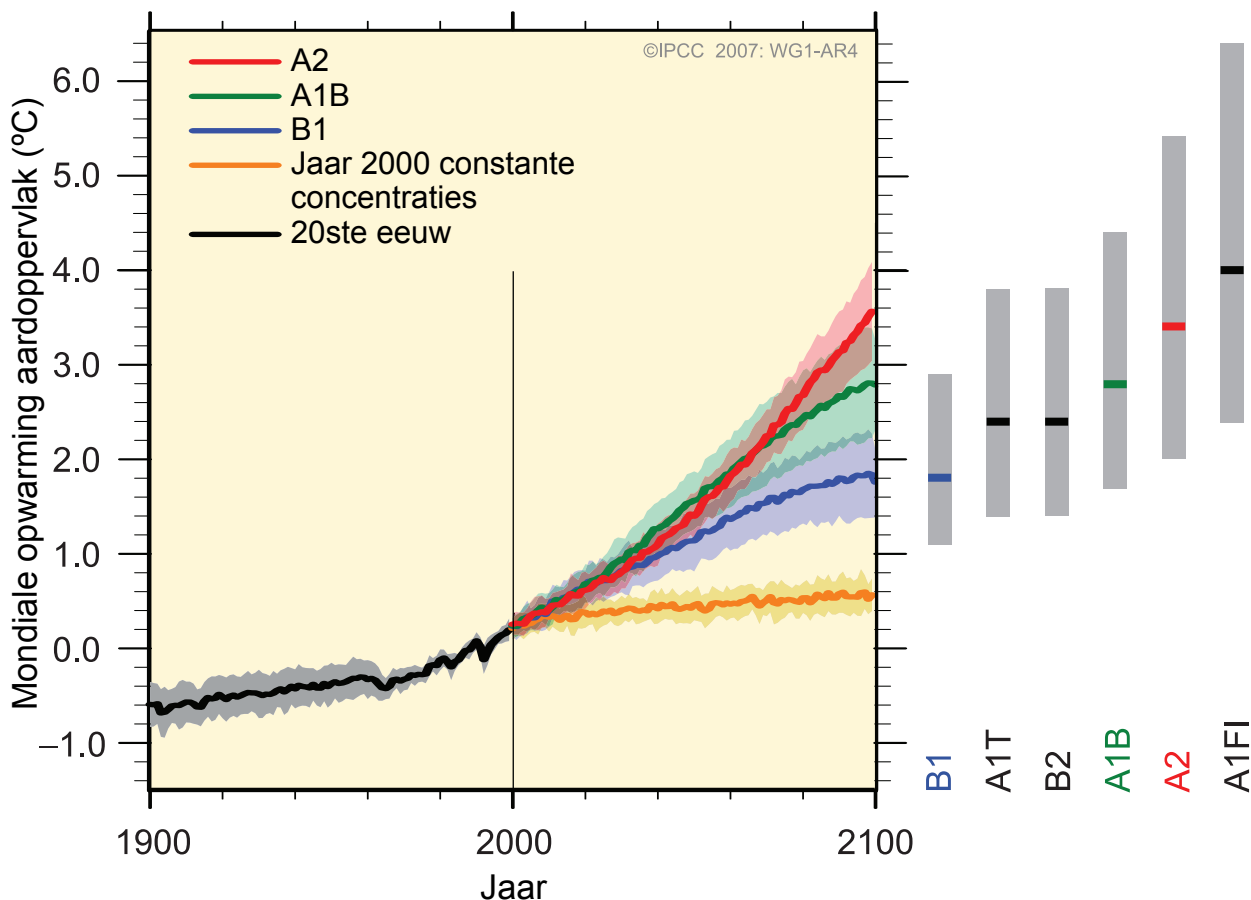
	Temperatuurverandering (°C in 2090-2099 t.o.v. 1980-1999) ^a		Zeespiegelstijging (m in 2090-2099 t.o.v. 1980-1999)
	Beste schatting	Waarschijnlijkheids-interval	Interval uit modelstudies uitgezonderd snelle dynamische veranderingen in ijsstromingen
Constante jaar 2000 concentratie ^b	6.00	0,3-0,9	NA
B1 scenario	18.00	1,1-2,9	0,18-0,38
A1T scenario	24.00	1,4-3,8	0,20-0,45
B2 scenario	24.00	1,4-3,8	0,20-0,45
A1B scenario	28.00	1,7-4,4	0,21-0,48
A2 scenario	34.00	2,0-5,4	0,23-0,51
A1FI scenario	40.00	2,4-6,4	0,26-0,59

Tabel noten:

^aDie schattingen zijn gebaseerd op een hiërarchie van modellen waaronder een simpel klimaatmodel, diverse matig complexe modellen (EMIC's) en een groot aantal mondiale circulatie modellen voor atmosfeer en oceaan (AOGCM's).

^bDe constante samenstelling op het niveau van 2000, is enkel afkomstig van AOGCM's.

MULTI-MODEL GEMIDDELDEN EN BESTE SCHATTINGEN VAN DE WAARSCHIJNLIJKHEIDSINTERVALLLEN VOOR OPWARMING AAN HET AARDOPPERVLAK



Figuur SPM.5. Volle lijnen zijn de beste schattingen gebaseerd op meerdere modellen (t.o.v. 1980-1999) voor de scenario's A2, A1B en B1, als voortzettingen van de simulaties van de 20ste eeuw. De banden daaromheen zijn de plus/min 1 standaarddeviatie intervallen van individuele jaarlijkse gemiddelden van de modellen. De oranje lijn is voor het experiment waarin concentraties constant zijn gehouden op het niveau van het jaar 2000. De grijze stroken geven de beste schatting en de waarschijnlijke intervallen voor alle zes de illustratieve scenario's. De beoordeling van de beste schatting en de waarschijnlijke intervallen maken gebruik van de AOGCM's in het linkerdeel van de Figuur en van de resultaten van een hiërarchie van onafhankelijke modellen en beperkingen die voortkomen uit waarnemingen. {Figuren 10.4 en 10.29}

De waarschijnlijkheidsintervallen zijn kleiner dan in het TAR voornamelijk als gevolg van verbeterde informatie over enkele onzekerheden in de geprojecteerde bijdragen¹⁵. {10.6}

- De huidige modellen bevatten noch de onzekerheden in de klimaat-koolstofcyclus-terugkoppeling, noch die van de volledige effecten van veranderingen in de afstroming van ijskappen omdat daarover niets is gepubliceerd. De projecties houden wel rekening met een bijdrage van de toenemende afstroming van de ijskappen van Groenland en Antarctica met de waargenomen snelheid in 1993-2003, maar deze afstroming zou in de toekomst zowel groter kunnen worden als afnemen. Wanneer bijvoorbeeld de afstroming lineair zou toenemen met de mondiaal gemiddelde

temperatuurverandering, zouden de bovengrenzen voor projecties op basis van de SRES scenario's uit Tabel SPM.3 0,1-0,2 m hoger liggen. Hogere waarden kunnen niet worden uitgesloten, maar het inzicht in die effecten is te beperkt om hun waarschijnlijkheid te kunnen bepalen of om een beste schatting voor de bovengrens van de zeespiegelstijging te kunnen bepalen. {10.6}

- De toenemende CO₂-concentratie in de atmosfeer leidt tot toenemende verzuring van de oceaan. Projecties op basis van de SRES-scenario's geven aan dat de gemiddelde wereldwijde zuurtegraad aan het oceaanooppervlak tussen de 0,14 en 0,35 zal afnemen terwijl de huidige pH¹⁶ al 0,1 lager ligt dan in het pre-industriële tijdperk. {5.4, Kader 7.3, 10.4}

¹⁵In het TAR betroffen het projecties voor 2100, maar in dit Rapport was de periode 2090-2099 aan bod. Het TAR zou vergelijkbare waarden hebben opgeleverd als die in Tabel SPM.2 indien het op dezelfde wijze met onzekerheden zou zijn omgegaan.

¹⁶Een toename in pH komt overeen met een toename van de zuurtegraad van een oplossing

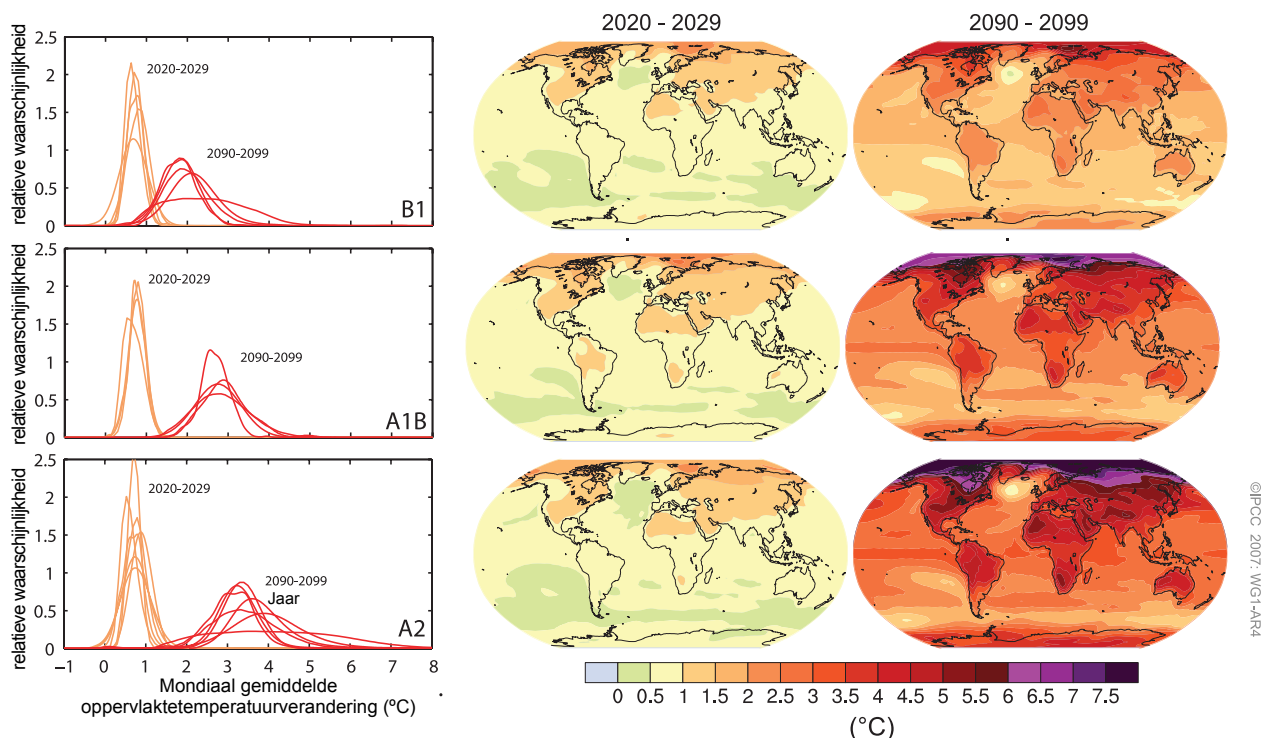
De geprojecteerde opwarming en andere verschijnselen op regionaal niveau zijn nu betrouwbaarder, waaronder veranderingen in windpatronen, neerslag, sommige typen extremen en in ijs. {8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 9.4, 9.5, 10.3, 11.1}

- De geprojecteerde opwarming in de 21ste eeuw toont ruimtelijke patronen die onafhankelijk zijn van de gebruikte scenario's, en die vergelijkbaar zijn met de waarnemingen in de laatste decennia. De grootste opwarming wordt verwacht boven land en nabij de Noordpool, en de kleinste boven de Zuidelijke Oceaan en delen van de Noord-Atlantische Oceaan (zie Figuur SPM.6). {10.3}
- De sneeuwbedekking is geprojecteerd af te nemen. Een sterke toename in diepte tot waar de permafrost jaarlijks smelt is geprojecteerd voor de meeste gebieden. {10.3, 10.6}
- Voor alle SRES-scenario's wordt, een afname van het zeeijs zowel in het Noordpoolgebied als in Antarctica geprojecteerd. In sommige projecties voor het einde

van de 21ste eeuw verdwijnt het zeeijs in het Noordpoolgebied in de late zomer vrijwel geheel. {10.3}

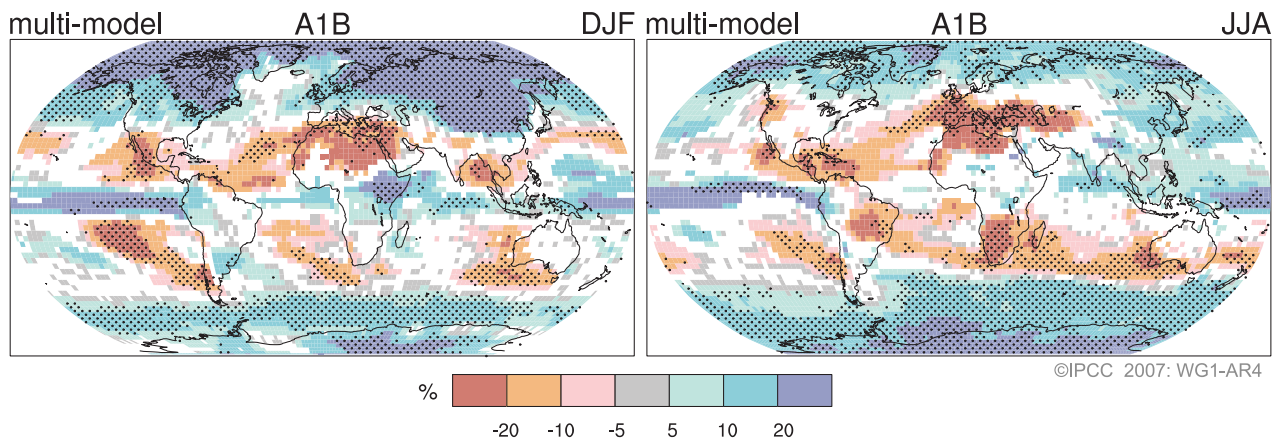
- Het is zeer waarschijnlijk dat extreme hitte, hittegolven en zware neerslag steeds frequenter zullen worden. {10.3}
- Op basis van een scala van modellen kan worden gesteld dat het waarschijnlijk is dat tropische wervelstormen (tyfoons en cyclonen) krachtiger zullen worden, met hogere pieksnelheden van de wind en intensievere neerslag, als gevolg van de voortdurende stijging van de oppervlaktetemperatuur van de oceaan (SST). Er is minder vertrouwen in de projecties dat het aantal tropische wervelstormen zal afnemen. De toename in het aandeel van zeer zware tropische wervelstormen sinds 1970 die zich in sommige regio's lijkt af te tekenen is veel groter dan wordt gereconstrueerd door de huidige modellen. {9.5, 10.3, 3.8}

PROJECTIES VAN OPPERVLAKTETEMPERATUREN



Figuur SPM.6. Geprojecteerde oppervlaktetemperatuurverandering voor het begin en het einde van de 21ste eeuw ten opzichte van de periode 1980-1999. De weergaven in het midden en rechts geven de gemiddelde waarden van de verschillende Mondiale Circulatie Modellen voor de Atmosfeer en Oceaan voor de B1 (boven), A1B (midden) en A2 (onder) SRES-scenario's gemiddeld over de decennia 2020-2029 (midden) en 2090-2099 (rechts). De weergaven links tonen de overeenkomstige onzekerheden als relatieve waarschijnlijkheden van de geschatte mondiale gemiddelde opwarming op basis van diverse AOGCM en EMIC (Earth System Model of Intermediate Complexity) studies voor dezelfde periodes. Sommige studies geven alleen resultaten voor een aantal van de SRES-scenario's, of voor verschillende modelvarianten. Het verschillend aantal curven in de linkse weergaven is uitsluitend een gevolg van het verschil in beschikbaarheid van resultaten. {Figures 10.8 en 10.28}

GEPROJECTEERDE VERANDERINGEN IN NEERSLAGPATRONEN



Figuur SPM.7. Relatieve veranderingen in neerslag (in procenten) voor de periode 2090-2099 vergeleken met 1980-1999. De waarden zijn de gemiddelden van vele modellen op basis van het SRES-scenario A1B voor december tot februari (links) en juni tot augustus (rechts). In de witte gebieden is er minder dan 66% overeenstemming tussen de modellen in de richting van de verandering en in de gestippelde gebieden is er meer dan 90% overeenstemming. {Figuur 10.9}

- De stormbanen buiten de tropen zijn geprojecteerd op te schuiven in de richting van de polen, met de daarmee samenhangende veranderingen in wind-, neerslag- en temperatuurpatronen, en dit vormt een voortzetting van het globale patroon dat blijkt uit de waarnemingen van de afgelopen halve eeuw. {3.6, 10.3}
 - Sinds het TAR is er meer inzicht in de geprojecteerde neerslagpatronen. Toenames in de neerslaghoeveelheid zijn zeer waarschijnlijk op de hogere breedtegraden, terwijl een vermindering waarschijnlijk is in de meeste subtropisch landgebieden (tot wel 20% in het A1B-scenario in 2100, zie Figuur SPM.7), in overeenstemming met de recentelijk waargenomen trends. {3.3, 8.3, 9.5, 10.3, 11.2-11.9}
 - Op basis van de huidige modelsimulaties is het zeer waarschijnlijk dat de meridionale overturning circulatie (MOC) zal vertragen in de 21ste eeuw. De gemiddelde afname in 2100 op basis van vele verschillende modellen is 25% (met een spreiding van 0 tot ongeveer 50%) voor SRES-scenario A1B. Temperaturen in het Atlantische gebied worden desondanks geprojecteerd te stijgen als gevolg van het veel grotere effect van de toename van de broeikasgasconcentraties. Het is zeer onwaarschijnlijk dat de MOC abrupt geheel zal stilvallen gedurende de 21ste eeuw. Langere termijn veranderingen in de MOC kunnen niet met vertrouwen beoordeeld worden. {10.3, 10.7}
- Antropogene opwarming en zeespiegelstijging zouden nog eeuwen doorgaan als gevolg van de tijdschalen die geassocieerd zijn met klimaatprocessen en met de terugkoppelingsmechanismen, zelfs als de broeikasgasconcentraties zouden worden gestabiliseerd. {10.4, 10.5, 10.7}**
- Er wordt verwacht dat wanneer de temperatuur stijgt er extra CO₂ in de atmosfeer zal komen, maar de omvang van deze terugkoppeling is onzeker. Dit vergroot de onzekerheid over de benodigde afname van de broeikasgasemissies om de concentratie van CO₂ op een gegeven niveau te stabiliseren. Op basis van het huidige inzicht in de klimaat-koolstofcyclus-terugkoppeling, suggereren modellen dat voor een stabilisatie op 450 ppm CO₂ de cumulatieve emissies in de 21ste eeuw worden beperkt van ongeveer 670 [630-710]GtC (2460 [2310-2600]GtCO₂) tot ongeveer 490 [375-600]GtC (1800 [1370-2200]GtCO₂) als gevolg van die terugkoppeling. Vergelijkbaar zou voor stabilisatie op 1000 ppm in plaats van ongeveer 1415 [13340-1490]GtC (5190 [4910-5460]GtCO₂) een beperking tot ongeveer 1100 [980-1250]GtC (4030 [3590-4580]GtCO₂) nodig zijn. {7.3, 10.4}
 - Indien de stralingsforcering in 2100 gestabiliseerd zou worden op het niveau van de B1 of A1B SRES-scenario's verwacht men dat de mondiale gemiddelde temperatuur nog met ongeveer 0,5°C stijgen, hoofdzakelijk tegen 2200. {10.7}

- Indien de stralingsforcering gestabiliseerd zou worden op het niveau van de B1 of A1B SRES-scenario's, zou de thermische expansie alleen al leiden tot 0,3-0,8 m zeespiegelstijging in 2300 (ten opzichte van 1980-1999). Die thermische expansie zou nog eeuwen doorgaan als gevolg van de tijd die nodig is voor de warmteoverdracht naar de diepe oceaan. {10.7}
- De afname van de Groenlandse ijskap zal volgens de projecties verder bijdragen aan de zeespiegelstijging na 2100. De huidige modellen suggereren dat bij hogere temperaturen de ijsmassa sneller zal afnemen dan toenemen door neerslag en dat daardoor de massabalans negatief zal zijn voor een temperatuurstijging die boven 1,9-4,6°C ligt. Indien deze negatieve oppervlaktebalans gedurende duizenden jaren in stand zou blijven, kan dit leiden tot het vrijwel geheel verdwijnen van de Groenlandse ijskap, wat op zijn beurt zou leiden tot een extra zeespiegelstijging van ongeveer 7m. De overeenkomende toekomstige temperaturen in Groenland zijn vergelijkbaar met die in de periode tussen de twee vorige ijstijden 125.000 jaar geleden, waar paleo-klimatologische informatie wijst op minder landijs en een 4 tot 6 m hogere zeespiegel. {6.4, 10.7}
- Dynamische processen gelinkt aan de uitstroming van ijs van de grote ijskappen maar niet zijn ingebed in de huidige modellen maar wel gesuggereerd worden door recente waarnemingen zouden de kwetsbaarheid van de ijskappen voor opwarming doen toenemen wat de zeespiegel zou doen stijgen. Het inzicht in zulke processen is beperkt en er is geen consensus over hun omvang. {4.6, 10.7}
- De huidige mondiale modelstudies projecteren dat de ijskap van Antarctica te koud zal blijven voor een wijdverbreide afsmelting en er wordt verwacht dat zij in massa zou toe nemen als gevolg van meer neerslag. Desondanks kan netto verlies aan ijsmassa optreden indien dynamisch ijsverlies de massabalans zou domineren. {10.7}
- De uitstoot van CO₂ door activiteiten van de mens, zowel in het verleden als in de toekomst, zal nog meer dan duizend jaar bij blijven dragen aan een hogere temperatuur en een zeespiegelstijging als gevolg van de tijd die nodig is voor het verwijderen van dit gas uit de atmosfeer. {7.3, 10.3}

DE EMISSIESCENARIO'S VAN HET IPCC SPECIAL REPORT ON EMISSION SCENARIOS (SRES)¹⁷

A1. De A1-verhaallijn en scenariofamilie beschrijft een toekomstige wereld met een zeer snelle economische groei, een wereldbevolking die z'n top bereikt in het midden van deze eeuw en daarna terugloopt, en de snelle introductie van nieuwe en meer efficiënte technologieën. Belangrijke onderliggende thema's zijn convergentie tussen de werelddelen, capaciteitsopbouw en toegenomen culturele en sociale interactie, met een substantiële vermindering van de regionale inkomensverschillen per capita. De A1 scenariofamilie heeft drie groepen scenario's die uitgaan van een andere technologische verandering van het energiesysteem: A1F1 op basis van fossiele energie, A1T op basis van niet-fossiele energie en A1B op een balans van alle energiebronnen (waarbij deze balans is gedefinieerd als geen overmatige afhankelijkheid van een specifieke bron en aangenomen dat vergelijkbare technologische vooruitgang wordt geboekt voor alle technologieën, zowel bij de energievoorziening als het energiegebruik).

A2. De A2-verhaallijn en scenariofamilie beschrijft een zeer heterogene wereld. Het onderliggende thema is zelfvoorziening en behoud van de lokale identiteit. Bevolkingsontwikkeling convergeert langzaam tussen de werelddelen, hetgeen resulteert in een voortgaande bevolkingsgroei. Economische groei is voornamelijk regionaal georiënteerd en de economische groei per capita en de technologische vernieuwing verschillen sterker en zijn trager dan in de andere verhaallijnen

B1. De B1-verhaallijn en scenariofamilie beschrijft een convergerende wereld met dezelfde populatieontwikkeling als A1, die zijn top bereikt in het midden van deze eeuw en daarna terugloopt, maar met een snelle ontwikkeling in de richting van een diensten- en informatie-economie, met vermindering van de materiaalintensiteit en de introductie van schone en zuinige technologieën. De nadruk ligt op mondiale oplossingen voor de economische, sociale en milieuaspecten van duurzame ontwikkeling, met inbegrip van meer gelijkheid, maar er is geen aanvullend klimaatbeleid...

B2. De B2-verhaallijn en scenariofamilie beschrijft een wereld waarin de nadruk ligt op lokale oplossingen voor de economische, sociale en milieuaspecten van duurzame ontwikkeling. Het is een wereld waarin de populatie zal blijven stijgen, hoewel minder snel dan in A2, een matige economische groei en een tragere maar meer diverse technologische verandering dan in de B1 en A1 scenariofamilies. Terwijl dit scenario ook streeft naar milieubescherming en sociale gelijkheid, legt het de nadruk op het lokale en regionale niveau.

Uit elk van de zes scenariogroepen (A1B, A1F1, A1T, A2, B1 en B2) is een voorbeeldscenario gekozen. Deze moeten allen als even robuust worden beschouwd.

De SRES-scenario's bevatten geen aanvullend klimaatinitiatieven, wat betekent dat er geen scenario's zijn meegenomen die expliciet de uitvoering van het Klimaatverdrag of de emissiedoelen uit het Kyoto Protocol meeneemen.

¹⁷ Emissiescenario's worden niet geëvalueerd in deze bijdrage van Werkgroep I aan het AR4 van het IPCC. Dit kader dat de SRES-scenario's samenvat is afkomstig uit het TAR en is eerder regel voor regel goedgekeurd door het Panel.