



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Samenvatting voor beleidsmakers

Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC), vijfde assessment cyclus, Werkgroep I



Samenvatting voor beleidsmakers

IPCC vijfde assessment cyclus, Werkgroep I

Drafting Authors:

Lisa V. Alexander (Australia),
Simon K. Allen (Switzerland/New Zealand),
Nathaniel L. Bindoff (Australia),
François-Marie Bréon (France),
John A. Church (Australia),
Ulrich Cubasch (Germany),
Seita Emori (Japan),
Piers Forster (UK),
Pierre Friedlingstein (UK/Belgium),
Nathan Gillett (Canada),
Jonathan M. Gregory (UK),
Dennis L. Hartmann (USA),
Eystein Jansen (Norway),
Ben Kirtman (USA),
Reto Knutti (Switzerland),
Krishna Kumar Kanikicharla (India),
Peter Lemke (Germany),
Jochem Marotzke (Germany),
Valérie Masson-Delmotte (France),
Gerald A. Meehl (USA),
Igor I. Mokhov (Russian Federation),
Shilong Piao (China),
Gian-Kasper Plattner (Switzerland),
Qin Dahe (China),
Venkatachalam Ramaswamy (USA),
David Randall (USA),
Monika Rhein (Germany),
Maisa Rojas (Chile),
Christopher Sabine (USA),
Drew Shindell (USA),
Thomas F. Stocker (Switzerland),
Lynne D. Talley (USA),
David G. Vaughan (UK),
Shang- Ping Xie (USA)

Draft Contributing Authors:

Myles R. Allen (UK),
Olivier Boucher (France),
Don Chambers (USA),
Jens Hesselbjerg Christensen (Denmark),
Philippe Ciais (France),
Peter U. Clark (USA),
Matthew Collins (UK),
Josefino C. Comiso (USA),
Viviane Vasconcellos de Menezes (Australia/Brazil),
Richard A. Feely (USA),
Thierry Fichefet (Belgium),
Arlene M. Fiore (USA),
Gregory Flato (Canada),
Jan Fuglestad (Norway),
Gabriele Hegerl (UK/Germany),
Paul J. Hezel (Belgium/USA),
Gregory C. Johnson (USA),
Georg Kaser (Austria/Italy),
Vladimir Kattsov (Russian Federation),
John Kennedy (UK),
Albert M. G. Klein Tank (Netherlands),
Corinne Le Quéré (UK),
Gunnar Myhre (Norway),
Timothy Osborn (UK),
Antony J. Payne (UK),
Judith Perlwitz (USA),
Scott Power (Australia),
Michael Prather (USA),
Stephen R. Rintoul (Australia),
Joeri Rogelj (Switzerland/Belgium),
Matilde Rusticucci (Argentina),
Michael Schulz (Germany),
Jan Sedláček (Switzerland),
Peter A. Stott (UK),
Rowan Sutton (UK),
Peter W. Thorne (USA/Norway/UK),
Donald Wuebbles (USA)

A. Inleiding

De bijdrage van Werkgroep I aan het Vijfde Assessment Rapport (AR5) van het IPCC beschouwt nieuw bewijs op het gebied van klimaatverandering gebaseerd op vele onafhankelijke wetenschappelijke analyses van waarnemingen van het klimaatsysteem, paleoklimaat-archieven, theoretische studies van klimaatprocessen en simulaties door klimaatmodellen. Het bouwt voort op de bijdrage van Werkgroep I aan het vierde assessment rapport (AR4) van het IPCC, en verwerkt de nieuwe bevindingen uit wetenschappelijk onderzoek. Het *IPCC Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX)* is als onderdeel van de vijfde assessmentcyclus een belangrijke basis voor informatie over veranderingen van weer- en klimaat-extremen.

Deze samenvatting voor beleidsmakers (SPM) volgt de structuur van het Werkgroep I rapport. De verhaallijn wordt ondersteund door een reeks overkoepelende gemarkeerde conclusies die, samen genomen, een beknopte samenvatting vormen. De belangrijkste onderdelen worden geïntroduceerd door een korte paragraaf in cursief waarin de methodologische basis van de evaluatie geschetst wordt.

De beoordeling van de mate van onzekerheid over de belangrijkste bevindingen is gebaseerd op evaluaties van de onderliggende wetenschappelijke kennis en wordt uitgedrukt in een kwalitatieve schaal van het vertrouwen (van zeer laag tot zeer hoog) en, indien mogelijk, is het niveau van waarschijnlijkheid weergegeven met een gekwantificeerde kans (van buitengewoon onwaarschijnlijk tot zo goed als zeker). Het vertrouwen in de juistheid van een bevinding is gebaseerd op het type, de hoeveelheid, de kwaliteit en de consistentie van het beschikbare materiaal (zoals waarnemingen, begrip van het systeem, theorie, modellen en expert judgments) en de mate van overeenstemming¹. Probabilistische schattingen van gekwantificeerde indicatoren van onzekerheid in een resultaat zijn gebaseerd op statistische analyse van waarnemingen of modelresultaten, of beide, en expert judgment². Waar mogelijk worden bevindingen ook geformuleerd als constatering van feiten, zonder een indicatie over de mate van onzekerheid. (Zie hoofdstuk 1 en Box TS.1 voor meer details over de specifieke taal die het IPCC gebruikt om de onzekerheid te communiceren).

¹ In deze Samenvatting voor Beleidsmakers, worden de volgende termen gebruikt om het beschikbare bewijs te beschrijven: beperkt, gemiddeld of sterk; en voor de mate van overeenkomst: laag, gemiddeld of hoog. Een mate van zekerheid wordt op vijf manieren kwalitatief uitgedrukt: zeer laag, laag, redelijk, hoog, en zeer hoog en wordt cursief weergegeven, bijvoorbeeld redelijke zekerheid. Voor een bepaalde mate van beschikbaarheid en consistentie van bewijs kunnen verschillende vertrouwen niveaus worden toegewezen, maar een toenemende mate en beschikbaarheid van overeenkomst van bewijs zijn gecorreleerd met een toenemende mate van zekerheid (zie hoofdstuk 1 en Box TS.1 voor meer details)

² In deze Samenvatting voor Beleidsmakers, worden de volgende waarschijnlijkheidsindicaties gebruikt om de waarschijnlijkheid van een uitkomst of een resultaat te beschrijven: zo goed als zeker: 99-100% waarschijnlijkheid, zeer waarschijnlijk: 90-100%, waarschijnlijk: 66-100%, ongeveer even waarschijnlijk als onwaarschijnlijk: 33-66%, onwaarschijnlijk: 0-33%, zeer onwaarschijnlijk: 0-10% en zo goed als uitgesloten: 0-1%. Aanvullende termen: (uiterst waarschijnlijk: 95-100%, waarschijnlijker wel dan niet > 50-100%, en uiterst onwaarschijnlijk 0-5%) kunnen indien nodig gebruikt worden. Waarschijnlijkheidsindicaties worden cursief weergegeven, bijvoorbeeld, zeer waarschijnlijk (zie hoofdstuk 1 en Box TS.1 voor meer details)

De teksten die de basis zijn voor de inhoudelijke paragrafen in deze Samenvatting voor Beleidsmakers zijn te vinden in de onderliggende hoofdstukken van het IPCC WG1 report en in de *Technical Summary*. Deze verwijzingen worden in het Engels gegeven in accolades, aangezien de onderliggende teksten niet vertaald zijn in het Nederlands.

B. Waargenomen veranderingen in het klimaatsysteem

De opwarming van het klimaat is ondubbelzinnig, en veel van de waargenomen veranderingen sinds de jaren 1950 zijn de afgelopen tientallen tot duizenden jaren niet eerder voorgekomen. De atmosfeer en de oceaan zijn opgewarmd, de hoeveelheid sneeuw en ijs zijn afgenomen, de zeespiegel is gestegen, en de concentratie van broeikasgassen is (zie Figuren 1, 2, 3, en 4). {2.2, 2.4, 3.2, 3.7, 4.2-4.7, 5.2, 5.3, 5.5-5.6, 6.2, 13.2}

Waarnemingen van het klimaatsysteem zijn gebaseerd op directe metingen en remote sensing vanuit satellieten en andere platforms. Waarnemingen op wereldwijde schaal uit het instrumentele tijdperk begonnen in het midden van de 19e eeuw voor de temperatuur en andere variabelen, met meer uitgebreide en gevarieerde sets van waarnemingen voor de periode vanaf 1950. Paleoklimaat reconstructies hebben gegevens gegenereerd die dateren van honderden tot miljoenen jaren geleden. Samen bieden deze datasets een uitgebreid overzicht van de variabiliteit en lange-termijn veranderingen in de atmosfeer, de oceaan, de cryosfeer, en het landoppervlak.

B.1 Atmosfeer

In de periode sinds 1850 waren de laatste drie decennia elk opeenvolgend warmer dan alle andere decennia (zie Figuur 1). Op het Noordelijk Halfrond was de periode 1983-2012 waarschijnlijk de warmste periode van 30 jaar in de afgelopen 1400 jaar. {2.4, 5.3}

- De wereldwijd land- en zeegemiddelde oppervlaktetemperatuur zoals berekend

met een lineaire trend, vertoont een opwarming van 0,85 [0,65 tot 1,06] °C³ in de periode 1880-2012, waarvoor meerdere onafhankelijk samengestelde datasets beschikbaar zijn. De totale toename tussen het gemiddelden van de periode 1850-1900 en de periode 2003-2012 is 0,78 [0,72 to 0,85] °C, gebaseerd op de langste beschikbare dataset⁴ (zie figuur SPM.1). {2.4}

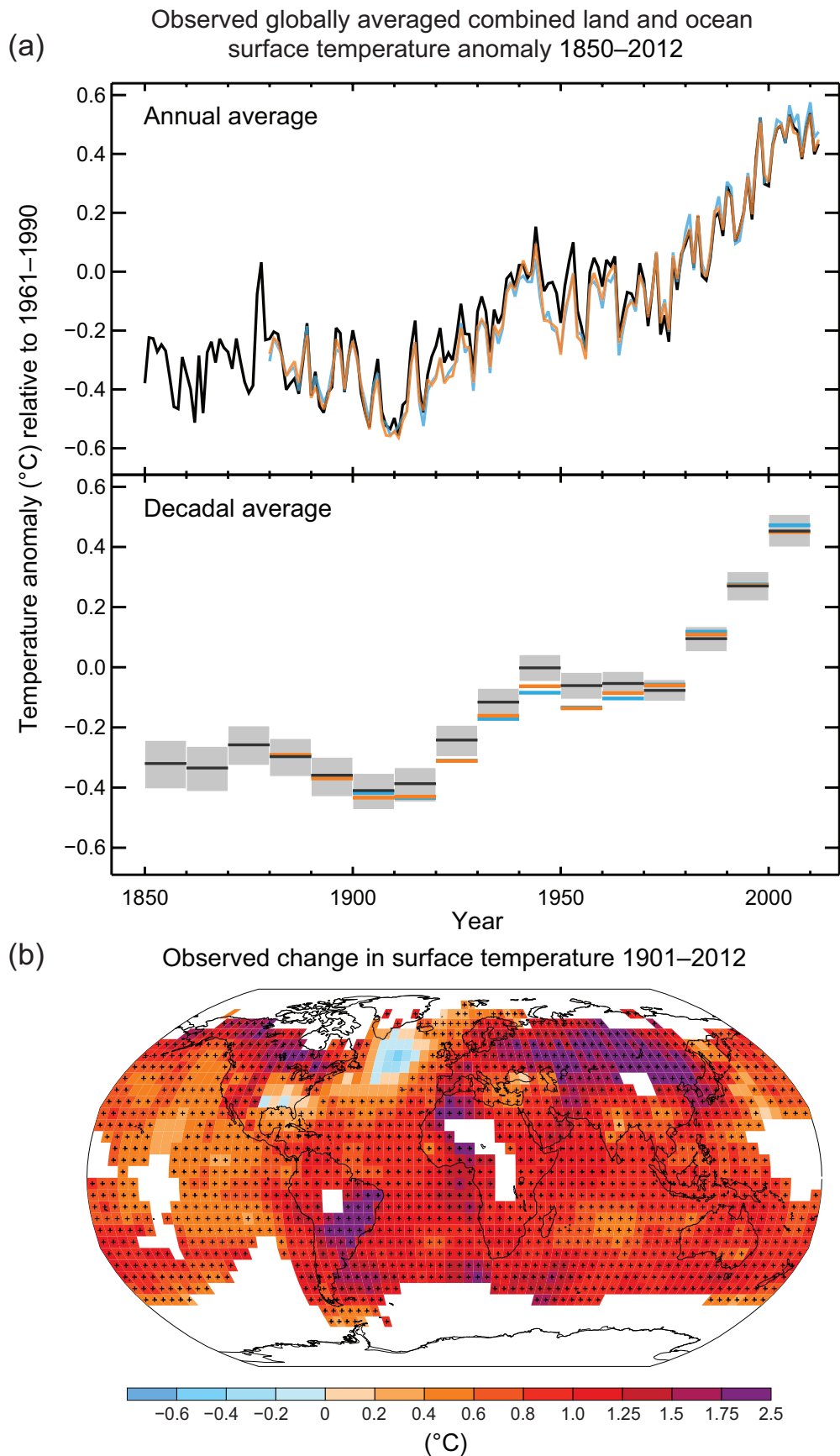
- Voor de langste periode waarvoor de berekening van regionale trends voldoende compleet is (1901-2012), is vrijwel de gehele aarde opgewarmd (zie Figuur SPM.1). {2.4}
- Naast robuuste opwarming over meerdere decennia, vertoont de wereldwijd gemiddelde oppervlaktetemperatuur aanzienlijke variabiliteit op de tijdschaal van jaren tot decennia. Door natuurlijke variabiliteit zijn trends indien gebaseerd op korte perioden zeer gevoelig voor de begin- en einddatum en geven in het algemeen niet de lange termijn klimaatrends weer. Bijvoorbeeld, het tempo van de opwarming in de afgelopen 15 jaar (1998-2012; 0,05 [-0,05 tot +0,15] °C per decennium), dat met een sterke El Niño begon, is kleiner dan het tempo sinds 1951 (1951-2012; 0,12 [0,08 to 0,14] °C per decennium)⁵. {2.4}
- Reconstructies van de temperatuur op continentale schaal vertonen, met hoge

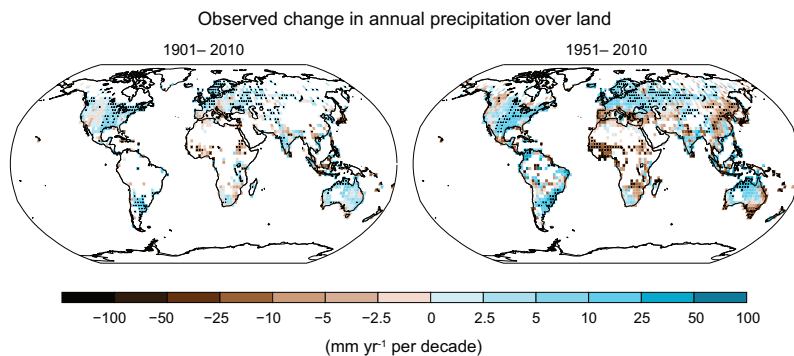
³ In de bijdrage aan de WGI AR5, wordt de onzekerheid gekwantificeerd met behulp van 90% onzekerheid intervallen, tenzij anders vermeld. Het 90% betrouwbaarheidsinterval, gemeld in vierkante beugels, heeft naar verwachting een 90% waarschijnlijkheid dat de geschatte waarde binnen het bereik ligt. Onzekerheid intervallen zijn niet noodzakelijk symmetrisch voor de bijbehorende beste schatting. Een beste schatting van die waarde wordt, indien beschikbaar, ook gegeven.

⁴ De beide methoden uit dit bulletpoint werden ook gebruikt in AR4. De eerste berekent het verschil met behulp van een best passende lineaire trend van alle punten tussen 1880 en 2012, de tweede berekent het verschil tussen de gemiddelden voor de twee perioden 1850-1900 en 2003-2012. Daarom zijn de resulterende waarden en de 90% onzekerheid intervallen niet direct vergelijkbaar. {2.4}

⁵ Trends voor een periode van 15 jaar vanaf 1995, 1996 en 1997 zijn respectievelijk 0,13 [0,02-0,24] °C per decennium, 0,14 [0,03-0,24] °C per decennium, en, 0,07 [-0,02 tot 0,18] °C per decennium.

Figuur SPM.1 | (a) Waargenomen wereldwijd gemiddelde gecombineerde land en zee temperatuur anomalieën, voor 1850 tot 2012 volgens drie datasets. Bovenste paneel: jaar-gemiddelde waarden, onderste paneel: 10 jaar-gemiddelde waarden inclusief een schatting van de onzekerheid voor één dataset (zwart). Anomalieën zijn ten opzichte van het gemiddelde voor 1961–1990. (b) Kaart van de waargenomen veranderingen in oppervlaktetemperatuur in de periode 1901–2012 afgeleid uit temperatuurtrends verkregen door lineaire regressie van één dataset (oranje lijn in paneel a). De trends zijn berekend waar voldoende data beschikbaar zijn voor een robuuste schatting (dat wil zeggen alleen voor roosterzellen met meer dan 70% data beschikbaarheid en meer dan 20% data beschikbaarheid in de eerste en laatste 10% van de periode). Andere gebieden zijn wit. Roosterzellen waar de trend significant is op een niveau van 10% zijn aangegeven met een + teken.





Figuur SPM.2 | Kaarten van de waargenomen veranderingen in neerslag in de perioden 1901–2010 en 1951–2010 (bij het berekenen van de trends zijn dezelfde criteria gebruikt als bij Figuur 1). Zie voor technische details de technical summary supplementary material. {TS TFE.1, Figure 2; Figure 2.29}

zekerheid, perioden van enkele decennia tijdens het Middeleeuws klimaatoptimum (950–1250) waarin in sommige gebieden de temperatuur net zo hoog was als tegen het einde van de 20ste eeuw. Deze regionaal warme perioden kwamen niet zo duidelijk in de verschillende gebieden voor als de hoge temperaturen tegen het einde van de 20ste eeuw. (hoge zekerheid). {5.5}

- Zo goed als zeker is sinds het midden van de 20ste eeuw wereldwijd de troposfeer opgewarmd. Door beschikbaarheid van meer waarnemingen is het vertrouwen in de schattingen van temperatuurveranderingen in de troposfeer op de gematigde breedten van het Noordelijk Halfrond groter dan elders. Er bestaat *redelijke zekerheid* over het tempo van de opwarming en de verticale structuur daarvan in de troposfeer boven de gematigde breedtes van het Noordelijk Halfrond en lage zekerheid elders. {2.4}
- De *zekerheid* omtrent de neerslag boven land sinds 1901 is *laag* voor 1951 en *redelijk* daarna. Gemiddeld over land op de gematigde breedten van het Noordelijk Halfrond is de neerslag sinds 1901 toegenomen

(*redelijke zekerheid* voor 1951, *hoge zekerheid* daarna). Voor de gebiedsgemiddelde positieve of negatieve trends op andere breedten bestaat *lage zekerheid* (zie **Figuur SPM.2**). {TS TFE.1, figure 2; 2.5}

- Sinds halverwege de 20ste eeuw zijn veranderingen waargenomen in vele extremen op gebied van weer en klimaat (zie tabel SPM.1 voor meer details). Het is *zeer waarschijnlijk* dat wereldwijd het aantal koude dagen en nachten is afgenomen en het aantal warme dagen en nachten is toegenomen⁶. De frequentie van hittegolven is *waarschijnlijk* toegenomen in grote delen van Europa, Azië en Australië. Perioden met hevige neerslag zijn boven land *waarschijnlijk* in meer gebieden eerder vaker dan minder vaak voorgekomen. De frequentie van perioden met hevige neerslag in Europa en Amerika is *waarschijnlijk* toegenomen. Voor andere continenten is het vertrouwen in veranderingen in hevige neerslag op zijn best *redelijk*. {2.6}

⁶ Zie de Engelstalige verklarende woordenlijst (glossary) voor de definitie van deze begrippen: koude dagen / koude nachten (cold days/cold nights), warme dagen / warme nachten (warm days/warm nights), hittegolven (heat waves).

Fenomeen en richting van de trend	Beoordeling van opgetreden veranderingen (sinds 1950 anders aangegeven)	Beoordeling van een tenzij menselijke bijdrage aan waargenomen veranderingen	Waarschijnlijkheid van verdere veranderingen	
			Vroeg 21e eeuw	Late 21e eeuw
Warmer en/of minder koude dagen en nachten boven meeste land gebieden	zeer waarschijnlijk (2.6)	zeer waarschijnlijk (10.6)	waarschijnlijk (11.3)	Zo goed als zeker (12.4)
	zeer waarschijnlijk zeer waarschijnlijk	waarschijnlijk waarschijnlijk		Zo goed als zeker Zo goed als zeker
Warmere en/of meer warme dagen en nachten boven meeste land gebieden	zeer waarschijnlijk (2.6)	zeer waarschijnlijk (10.6)	waarschijnlijk (11.3)	Zo goed als zeker (12.4)
	zeer waarschijnlijk zeer waarschijnlijk	waarschijnlijk waarschijnlijk (alleen nachten)		Zo goed als zeker Zo goed als zeker
Warme perioden / hittegolven. Hogere Frequentie en/of duur boven de meeste land gebieden	Redelijk zeker op wereldschaal Waarschijnlijk in Europa, Azië en Australië (2.6)	waarschijnlijk ^a (10.6)	Niet formeel onderzocht ^b (11.3)	zeer waarschijnlijk (12.4)
	Redelijk zeker in de meeste regio's waarschijnlijk	niet formeel onderzocht waarschijnlijker wel dan niet		zeer waarschijnlijk zeer waarschijnlijk
Hevige neerslag. Verhoging van frequentie, intensiteit en/of hoeveelheid van hevige neerslag	Waarschijnlijk meer gebieden met verhoging dan verlaging ^c (2.6)	Redelijke zekerheid (7.6, 10.6)	Waarschijnlijk over veel landgebieden (11.3)	zeer waarschijnlijk (12.4) over het grootste deel van de mid-latitude landmassa's en natte tropische gebieden
	Waarschijnlijk meer gebieden met verhoging dan verlaging Waarschijnlijk bij de meeste landgebieden	Redelijke zekerheid waarschijnlijker wel dan niet		zeer waarschijnlijk over veel gebieden zeer waarschijnlijk over de meeste landgebieden
Verhoogde intensiteit en/of duur van droogte	Lage zekerheid op lange termijn Waarschijnlijke verandering in sommige regio's ^d (2.6)	Lage zekerheid (10.6)	Lage zekerheid ^g (11.3)	Waarschijnlijk (12.4) (redelijke zekerheid) op een regionale tot wereldwijde schaal ^h
	Redelijk zeker in sommige regio's Waarschijnlijk in veel regio's sinds 1970 ^e	Redelijke zekerheid waarschijnlijker wel dan niet		Redelijke zekerheid in sommige gebieden Waarschijnlijk ^e
Verhoogde intensiteit van tropische cycloonactiviteit	Lage zekerheid op lange termijn veranderingen Vrijwel zeker in Noord-Atlantische Oceaan sinds 1970 (2.6)	Lage zekerheid ⁱ (10.6)	Lage zekerheid (11.3)	Meer waarschijnlijk (14.6) dan niet in het West-Noord-Stille Oceaan en Noord-Atlantische Oceaan
	Lage zekerheid Waarschijnlijk in sommige regio's sinds 1970	Lage zekerheid waarschijnlijker wel dan niet		Meer waarschijnlijk dan niet in sommige bassins Waarschijnlijk
Verhoogde incidentie en/of mate van extreem hoge zeespiegel	Waarschijnlijk sinds 1970 (3.7)	waarschijnlijk ^k (3.7)	waarschijnlijk (13.7)	zeer waarschijnlijk ^l (13.7)
	Waarschijnlijk (late 20 ^e eeuw) Waarschijnlijk	waarschijnlijk ^k waarschijnlijker wel dan niet ^k		Zeer waarschijnlijk ^m Waarschijnlijk

Tabel SPM.1 | Extreem weer en klimaat gebeurtenissen: Wereldwijde evaluatie van waargenomen veranderingen, de menselijke bijdrage aan de veranderingen, en de verwachte verdere veranderingen voor de vroege (2016-2035) en late (2081-2100) 21e eeuw. Vet geeft aan waar de AR5 (zwart) een herziene* evaluatie biedt van de SREX (blauw) of AR4 (rood). Projecties voor de vroege 21e eeuw werden niet verstrekt in eerdere evaluatieverslagen. Projecties in de AR5 zijn ten opzichte van de referentieperiode van 1986-2005, en maken gebruik van de nieuwe RCP scenario's (zie Tekstbox SPM.1), tenzij anders aangegeven.

Notities bij tabel SPM.1

* De directe vergelijking van de bevindingen tussen de rapporten is moeilijk. Voor sommige klimaatvariabelen zijn verschillende aspecten beoordeeld, en de herziene handleiding over onzekerheden is alleen gebruikt voor SREX en AR5. De beschikbaarheid van nieuwe informatie, verbeterde wetenschappelijke kennis, analyses van data en modellen, en de specifieke verschillen in de methoden, dragen allemaal bij aan herziene bevindingen in de beoordeling.

^a Attributie is gebaseerd op beschikbare case studies. Het is waarschijnlijk dat door menselijke invloed meer dan een verdubbeling van de kans optreedt op het aantal waargenomen hittegolven op sommige locaties.

^b Modellen projecteren korte termijn verhoging van de duur, intensiteit en ruimtelijke omvang van hittegolven en warme periodes.

^c In de meeste continenten, is de zekerheid van trends niet boven *redelijk* behalve in Noord Amerika en Europa waar er *waarschijnlijk* een toename is in ofwel de frequentie of de intensiteit van hevige neerslag, met variatie tussen seizoenen en regio's. Het is zeer waarschijnlijk dat er toenames zijn geweest in Centraal en Noord Amerika.

^d De frequentie en intensiteit van de droogte is *waarschijnlijk* toegenomen in het Middellandse Zeegebied en West-Afrika, en *waarschijnlijk* gedaald in het centrum van Noord-Amerika en Noordwest-Australië.

^e AR4 onderzocht het door droogte getroffen gebied.

^f SREX evalueerde *redelijke zekerheid* dat antropogene invloed heeft bijgedragen aan een aantal veranderingen in de droogtepatronen die zijn waargenomen in de tweede helft van de 20e eeuw, op basis van toegeschreven invloed op veranderingen in neerslag en temperatuur. SREX evalueerde *lage zekerheid* in de attributie van veranderingen in droogte op regionale schaal.

^g Er is *weinig zekerheid* over de verwachte veranderingen in het bodemvocht.

^h Regionaal tot mondiaal schaal geprojecteerde dalingen in bodemvocht en de toegenomen agrarische droogte zijn *waarschijnlijk (gemiddeld vertrouwen)* in momenteel droge regio's tegen het eind van deze eeuw onder het RCP8.5 scenario. Het uitdrogen van de bodem in het Middellandse Zeegebied, Zuidwest-Amerikaanse en Zuidelijke Afrikaanse regio's is consistent met de verwachte veranderingen in Hadley circulatie en verhoogde oppervlaktetemperaturen, dus er is hoge zekerheid over de *waarschijnlijke* oppervlaktedroging in deze regio's tegen het einde van deze eeuw onder het RCP8.5 scenario.

ⁱ Er is *redelijke zekerheid* dat een verlaging van de *aerosol forcing* over de Noord-Atlantische Oceaan op zijn minst gedeeltelijk heeft bijgedragen aan de waargenomen toename van de tropische cycloonactiviteit sinds de jaren 1970 in deze regio.

^j Op basis van *expert judgement* en beoordeling van projecties, die een SRES A1 B (of soortgelijke) scenario gebruikten.

^k Attributie is gebaseerd op de nauwe relatie tussen de waargenomen veranderingen in extreme en gemiddelde zeeniveaus.

^l Er is *hoge zekerheid* dat deze toename van extreem zeeniveau voornamelijk het gevolg is van een verhoging van het gemiddelde zeeniveau. Er is *lage zekerheid* over de regio-specifieke projecties van stormen en bijbehorende stormvloed.

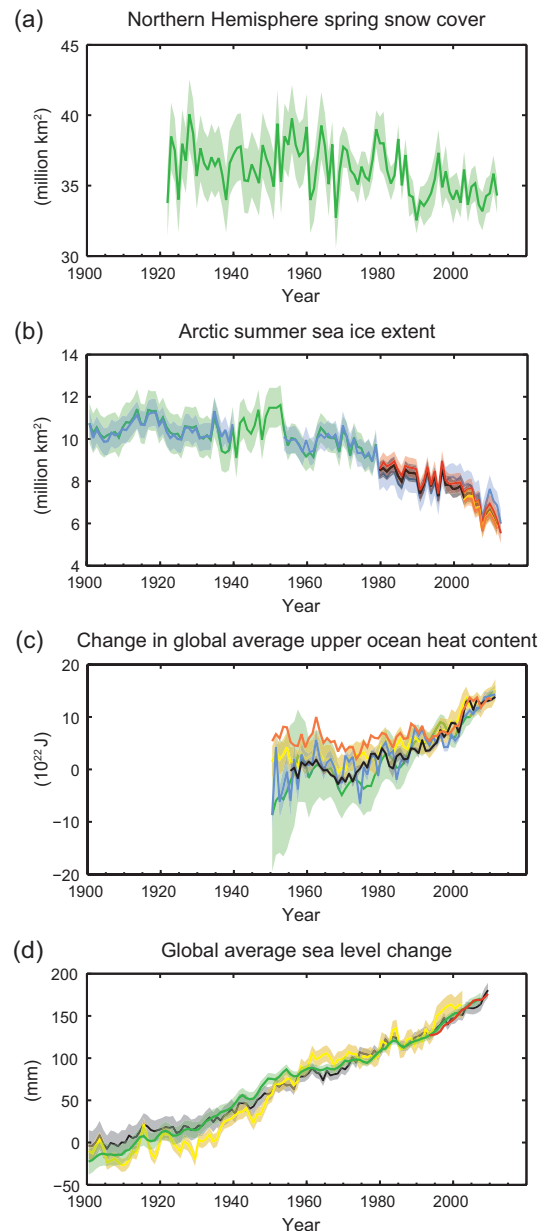
^m SREX beoordeelde dat het *zeer waarschijnlijk* is dat de zeespiegelstijging zal bijdragen aan de toekomstige stijgende trends in extreem hoge waterstanden langs de kust

B.2 Oceanen

De opwarming van de oceaan domineert de toename van de hoeveelheid energie die is opgeslagen in het klimaatstelsel. Deze is goed voor meer dan 90% van de toename van de hoeveelheid energie tussen 1971 en 2010 (hoge zekerheid). Het bovenste deel van de oceaan (0-700 m) is zo goed als zeker opgewarmd tussen 1971 en 2010, en is waarschijnlijk opgewarmd tussen de jaren 1870 en 1971. {3.2 box 3.1}

- Op globale schaal is de opwarming van de oceaan het grootst nabij het oppervlak; de bovenste 75 m is in de periode 1971-2010 opgewarmd met 0.11 [0.09 tot 0.13] °C per decennium. Sinds het vorige klimaatrapport uit 2007, zijn systematische meetfouten in de temperatuur van de bovenste laag van de oceaan geïdentificeerd en verkleind, waardoor het vertrouwen in de geschatte verandering is toegenomen. {4.3}
- De oceaan is *waarschijnlijk* opgewarmd tussen 700 en 2000 m tussen 1957 en 2009. Er zijn voldoende waarnemingen beschikbaar voor de periode 1992 tot 2005 om op wereldschaal veranderingen in de temperatuur op meer dan 2000 m diepte te bepalen. Er waren in deze periode *waarschijnlijk* geen waargenomen temperatuurtrends tussen 2000 en 3000 m. *Waarschijnlijk* is de oceaan in deze periode opgewarmd tussen 3000 m en de bodem, met de grootste waargenomen opwarming in de Zuidelijk Oceaan. {4.4}
- Meer dan 60% van de toename van de energie in het klimaatstelsel is opgeslagen in het bovenste deel van de oceaan (0-700 m) tijdens de relatief goed bemeten 40-jarige periode van 1971 tot 2010, en ongeveer 30% is opgeslagen in de oceaan dieper dan 700 m. De toename in de hoeveelheid warmte in het bovenste deel van de oceaan in deze periode geschat als een lineaire trend is *waarschijnlijk* 17 [15 tot 20] $\cdot 10^{22}$ J⁷ (zie figuur SPM.3). {3.2, box 3.1}
- Even waarschijnlijk als niet* nam de hoeveel-

⁷ Bij een constante toevoer van warmte aan de oceaan van 1 W/m^2 gedurende 1 jaar zou de hoeveelheid warmte in de oceaan toenemen met $1,1 \cdot 10^{22} \text{ J}$.



Figuur SPM.3 | Verscheidene waargenomen indicatoren van een veranderend klimaat wereldwijd: (a) maart-april (lente) gemiddelde sneeuwoppervlak op het Noordelijk Halfrond, (b) juli-augustus-september (zomer) gemiddelde zeeijsoppervlak in het Noordpoolgebied, (c) verandering in de wereldwijd gemiddelde hoeveelheid warmte in de bovenste laag van de oceaan, ten opzichte van het gemiddelde van alle datasets voor 1971, (d) wereldwijd gemiddelde zeespiegel, afwijking ten opzichte van het 1900-1905 gemiddelde van de langstlopende dataset. Alle tijdseries (gekleurde lijnen corresponderen met verschillende gebieden) tonen jaarlijkse waarden, en waar beschikbaar zijn de onzekerheden aangegeven met gekleurde banden.

heid warmte in de oceaan tussen 0 en 700 m in de periode 2003-2010 langzamer toe dan in de periode 1993-2002 (*zie Figuur 3*). De opname van warmte tussen 700 en 2000 m, waar de interjaarlijkse variabiliteit kleiner is, nam tussen 1993 en 2009 *waarschijnlijk* onverminderd toe. {3.2, box 9.2}

- Het is *zeer waarschijnlijk* dat sinds de jaren 1950 gebieden met een hoog zoutgehalte, waar de verdamping groter is dan de neerslag, zouter zijn geworden, terwijl gebieden met een laag zoutgehalte, waar de neerslag groter is dan de verdamping, zoeter zijn geworden. Deze regionale trends in het zoutgehalte van de oceaan geven indirect aan dat verdamping en neerslag boven de oceanen veranderd zijn (*redelijk zeker*). {2.5, 3.3, 3.5}
- Er is geen waargenomen trend in de grootschalige circulatie in de Atlantische oceaan (de Atlantic Meridional Overturning Circulation, AMOC). Dit is gebaseerd op een 10 jaar lange meetreeks van de gehele AMOC en langere reeksen van delen van de AMOC. {3.6}

B.3 Cryosfeer

In de afgelopen twee decennia is de massa van de ijskappen van Groenland en Antarctica afgenomen, gletsjers zijn wereldwijd verder gekrompen, en oppervlak van zeeijs in het Noordpoolgebied en van sneeuw op het Noordelijk Halfrond in de lente zijn verder afgenomen (hoge zekerheid) (*zie Figuur SPM.3*) {4.2-4.7}

- Het gemiddelde tempo van ijsverlies⁸ door gletsjers wereldwijd, gletsjers aan de rand van ijskappen niet meegerekend⁹, was *zeer waarschijnlijk* 226 [91 tot 361] Gton/jaar[4] in de periode 1971-2009, en

zeer waarschijnlijk 275 [140 tot 410] Gton/jaar in de periode 1993-2009¹⁰. {4.3}

- Het gemiddelde tempo van massaverlies door de Groenlandse ijskap is *zeer waarschijnlijk* fors toegenomen van 34 [-6 tot 74] Gton/jaar in de periode 1992-2001 tot 215 [157 tot 274] Gton/jaar in de periode 2002-2011. {4.4}
- Het gemiddelde tempo van massaverlies door de ijskap van Antarctica is *waarschijnlijk* toegenomen van 30 [-37 tot 97] Gton/jaar in de periode 1992-2001 tot 147 [72 tot 221] Gton/jaar in de periode 2002-2011. Dit verlies is *zeer waarschijnlijk* hoofdzakelijk afkomstig van het noordelijk deel van het Antarctisch Schiereiland en de Amundsen Zee sector van West Antarctica. {4.4}
- Het jaargemiddelde ijsoppervlak in het Noordpoolgebied nam in de periode 1979-2012 af met een tempo van *zeer waarschijnlijk* tussen 3,6 en 4,1% per decennium (tussen 0,45 en 0,51 miljoen km² per decennium) en *zeer waarschijnlijk* tussen 9,4 en 13,6% per decennium (tussen 0,73 en 1,07 miljoen km² per decennium) voor het ijsminimum in de zomer. De afname in het decennium-gemiddelde ijsoppervlak in het Noordpoolgebied was het grootst in de zomer (*hoge zekerheid*); het oppervlak is afgenomen in alle seizoenen en in alle opeenvolgende decennia sinds 1979 (*hoge zekerheid*) (*zie Figuur 3b*). Er bestaat op basis van reconstructies redelijke zekerheid dat in de afgelopen drie decennia de ijsafname in de zomer en de toename in de temperatuur van het zeeoppervlak groter waren dan ooit in ten minste de afgelopen 1450 jaar. {4.2, 5.5}
- Het jaargemiddelde zeeijs oppervlak in het Zuidpoolgebied nam in de periode

⁸ Alle verwijzingen naar 'ijsverlies' of 'verlies van massa' hebben betrekking op de netto-ijs verlies, dat wil zeggen, accumulatie minus het smelt en afkalven van ijsbergen

⁹ Om methodologische redenen omvat deze beoordeling van het ijs verlies uit de Antarctische en Groenlandse ijskappen ook verandering van de gletsjers in de periferie. Deze perifere gletsjers zijn dus mee genomen in de waarden voor de gletsjers

¹⁰ 100 Gton/jaar aan ijsverlies correspondeert met ongeveer 0,28 mm/jaar wereldwijde zeespiegelstijging.

1979-2012 toe met een tempo van *zeer waarschijnlijk* tussen 1,2 en 1,8% per decennium (0,13 tot 0,20 miljoen km² per decennium). Er bestaan met *hoge zekerheid* grote regionale verschillen in dit tempo, waarbij in sommige gebieden het ijsoppervlak is toegenomen en in andere gebieden het is afgenomen. {4.2}

- Er is *zeer hoge zekerheid* dat sinds het midden van de 20ste eeuw het sneeuwoppervlak op het Noordelijk Halfrond is afgenomen (zie Figuur 3). Het sneeuwoppervlak op het Noordelijk Halfrond nam in de periode 1967-2012 af met 1,6 [0,8 tot 2,4] % per decennium in maart en april, en 11,7 [8,8 tot 14,6] % per decennium in juni. Tijdens deze periode vertoonde het sneeuwoppervlak op het Noordelijk Halfrond in geen enkele maand een statistisch significante toename. {4.5}
- Er is *hoge zekerheid* dat de temperatuur van permafrost is toegenomen in de meeste gebieden sinds het begin van de jaren 1980. De waargenomen opwarming bedroeg tot 3 °C in delen van noordelijk Alaska (vroeg jaren 1980 tot het midden van de jaren 2000) en tot 2 °C in delen van noordelijk Europees Rusland. In dit laatste gebied is een aanzienlijke afname waargenomen in de dikte en het oppervlak in de periode 1975-2005 (*redelijke zekerheid*). {4.7}
- Meerdere tekenen wijzen op een zeer substantiële opwarming van het Noordpoolgebied sinds het midden van de 20ste eeuw. {box 5.1, 10.3}

B.4 zeespiegel

Het tempo van de zeespiegelstijging sinds het midden van de 19e eeuw is hoger dan het gemiddelde tempo in de afgelopen tweeduizend jaar (*hoge zekerheid*). In de periode 1901-2010 is wereldwijd gemiddeld de zeespiegel gestegen met 0,19 [0,17 tot 0,21] m (zie Figuur SPM.3). {3.7, 5.6, 13.2}

- Proxy en directe meetgegevens van de zeespiegel wijzen op een overgang rond het eind van de 19e en begin van de 20ste eeuw van een relatief laag tempo van de gemiddelde stijging in de afgelopen tweeduizend

jaar naar een hoger tempo van de stijging (*hoge zekerheid*). *Waarschijnlijk* is het tempo van de stijging van de wereldwijd gemiddelde zeespiegel sinds het begin van de 20ste eeuw verder toegenomen. {3.7, 5.6, 13.2}

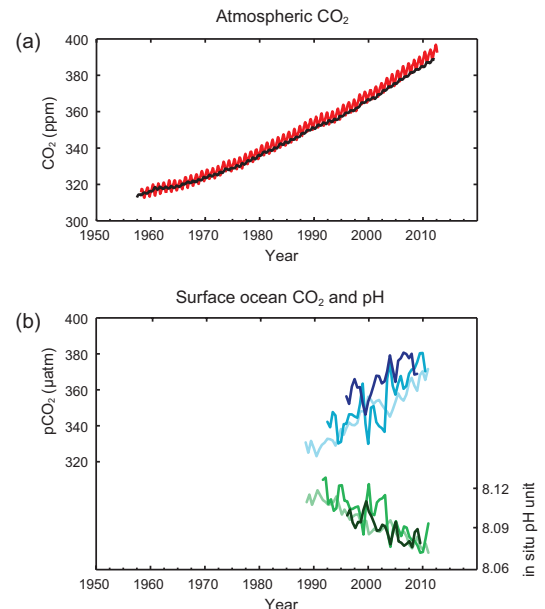
- *Ze*er *waarschijnlijk* was wereldwijd gemiddeld het tempo van de zeespiegelstijging 1,7 [1,5 tot 1,9] mm/jaar tussen 1901 en 2010, 2,0 [1,7 tot 2,3] mm/jaar tussen 1971 en 2010 en 3,2 [2,8 tot 3,6] mm/jaar tussen 1993 en 2010. De snellere stijging in de laatste periode volgt uit metingen met zowel peilschalen als vanuit satellieten. Een vergelijkbaar hoog tempo trad *waarschijnlijk* op tussen 1920 en 1950. {3.7}
- Sinds het begin van de jaren 1970 verklaren de bijdragen van het massaverlies door gletsjers en het uitzetten van de oceaan door opwarming tezamen ongeveer 75% van de waargenomen wereldwijd gemiddelde zeespiegelstijging (*hoge zekerheid*). Voor de periode 1993-2010 is, met *hoge zekerheid*, de wereldwijd gemiddelde zeespiegelstijging consistent met de som van de waargenomen bijdragen van het uitzetten van de oceaan door de opwarming (1,1 [0,8 tot 1,4] mm/jaar), van veranderingen in gletsjers (0,76 [0,39 tot 1,13] mm yr/jaar), de Groenlandse ijskap (0,33 [0,25 tot 0,41] mm/jaar), de ijskap van Antarctica [0,27 [0,16 tot 0,38] mm/jaar), en opslag van water op het land (0,38 [0,26 tot 0,49] mm/jaar. De som van deze bijdragen is 2,8 [2,3 tot 3,4] mm/jaar. {13.3}
- Er bestaat *zeer hoge zekerheid* dat de maximale wereldwijd gemiddelde zeespiegel gedurende duizenden jaren in laatste interglaciaal (129.000 tot 116.000 jaar geleden) minstens 5 meter hoger was dan tegenwoordig, en *hoge zekerheid* dat het niet meer dan 10 meter hoger was dan tegenwoordig. Tijdens het laatste interglaciaal droeg de Groenlandse ijskap *zeer waarschijnlijk* tussen 1,4 en 4,3 m bij aan de hogere wereldwijd gemiddelde zeespiegel, wat met *redelijke zekerheid* een bijdrage van de ijskap van Antarctica impliceert. Deze verandering in zeeniveau ging samen met een andere baan van de aarde om de zon en met oppervlaktetemperaturen op hoge

breedten die, gemiddeld over duizenden jaren, minstens 2 °C hoger waren dan tegenwoordig (*hoge zekerheid*). {5.3, 5.6}

B.5 Koolstofdioxide en andere bio-geochemische cycli

De concentraties in de atmosfeer van kooldioxide (CO₂), methaan en lachgas zijn toegenomen tot waarden die in tenminste de afgelopen 800.000 niet eerder zijn voorgekomen. De CO₂-concentratie is toegenomen met 40% sinds het pre-industriële tijdperk, vooral door verbranding van fossiele brandstoffen en ook door veranderingen in landgebruik. De oceaan heeft ongeveer 30% van de door de mens uitgestoten CO₂ geabsorbeerd, wat verzuring van de oceaan heeft veroorzaakt (*zie Figuur SPM.4*) {2.2, 3.8, 5.2, 6.2, 6.3}

- De concentraties in de atmosfeer van de broeikasgassen kooldioxide (CO₂), methaan (CH₄) en distikstofoxide (lachgas, N₂O) zijn sinds 1750 alle toegenomen door menselijke toedoen. In 2011 waren de concentraties van deze broeikasgassen respectievelijk 391 ppm¹¹, 1803 ppb en 324 ppb. Deze waarden zijn, respectievelijk, 40%, 150% en 20% hoger dan de pre-industriële waarden. {2.2, 5.2, 6.1, 6.2}
- De concentraties van CO₂, CH₄ en N₂O zijn nu wezenlijk hoger dan de hoogste concentraties gedurende de afgelopen 800.000 jaar, zoals vastgelegd in ijskernen. Het tempo van de stijging van de concentraties, gemiddeld over de afgelopen eeuw, is met *zeer hoge zekerheid* hoger dan ooit in tenminste de afgelopen 22.000 jaar. {5.2, 6.1, 6.2}
- De jaarlijkse uitstoot van CO₂ door verbranding van fossiele brandstoffen en cementproductie was 8,3 [7,6 tot 9,0] GtC¹²/jaar gemiddeld over de periode 2002-2011 (*hoge zekerheid*), en was 9,5 [8,7 tot 10,3] GtC/jaar in 2011, 54% boven het niveau van 1990. De jaarlijkse netto uitstoot van CO₂ door



Figuur SPM. 4. Verscheidene waargenomen indicatoren van een veranderende koolstofcyclus: (a) de kooldioxide-concentratie in de atmosfeer op Mauna Loa (19°32'N, 155°34'W - rood) en bij de Zuidpool (89°59'S, 24°48'W - zwart) sinds 1958; (b) De partiële druk van opgelost kooldioxide aan het oceaanoppervlak (blauwe lijnen) en de pH ter plekke (groene lijnen), een maat voor de zuurgraad van het zeewater. De metingen zijn afkomstig van drie stations in de Atlantische Oceaan (29°10'N, 15°30'W - donkerblauw/donkergroen; 31°40'N, 64°10'W - blauw/groen) en de Grote Oceaan (22°45'N, 158°00'W - lichtblauw/lichtgroen).

veranderingen in landgebruik was 0,9 [0,1 tot 1,7] GtC/jaar gemiddeld over de periode 2002-2001 (*redelijke zekerheid*). {6.3}

- In de periode 1750-2011 bedroeg de uitstoot van CO₂ in de atmosfeer door verbranding van fossiele brandstoffen en cementproductie 375 [345 tot 405] GtC, en door ontbossing en andere veranderingen in

¹¹ ppm (parts per million = delen per miljoen) of ppb (parts per billion = delen per miljard) is de verhouding tussen het aantal moleculen van een gas en het totaal aantal moleculen droge lucht. Bijvoorbeeld, 300 ppm betekent 300 moleculen van een gas per miljoen moleculen lucht.

¹² 1 Gigaton koolstof = 1 GtC = 10¹⁵ gram koolstof = 1 Petagram koolstof = 1 PgC. Dit komt overeen met 3,67 GtCO₂.

landgebruik 180 [100 tot 260] GtC. Dit geeft een totale uitstoot door de mens van 555 [470 tot 640] GtC. {6.3}

- Van deze totale uitstoot van CO₂ door de mens heeft 240 [230 tot 250] GtC zich opgehoopt in de atmosfeer, 155 [125 tot 185] GtC is opgenomen door de oceaan, en 160 [70 tot 250] GtC is opgenomen door natuurlijke ecosystemen op het land. {figure TS.4, 3.8, 6.3}
- De verzuring van de oceaan wordt uitgedruk in afname van pH¹³. De pH aan het oppervlak van de oceaan is sinds het begin van het industriële tijdperk afgenomen met 0,1 (*hoge zekerheid*), wat overeenkomt met een toename van 26% in de concentratie

¹³ pH is een dimensieloze maat voor de zuurgraad: een afname in pH betekent een toename van de zuurgraad, oftewel verzuring.

C. Aanjagers van klimaatverandering

Natuurlijke en antropogene stoffen en processen die het energiebudget van de aarde veranderen zijn aanjagers van klimaatverandering. Radiative forcing¹⁴ (RF) kwantificeert de verandering in energiestromen veroorzaakt door veranderingen in deze aanjagers voor 2011 ten opzichte van 1750, tenzij anders aangegeven. Positieve RF leidt tot opwarming van het aardoppervlak, negatieve RF leidt tot afkoeling. RF is geschat op basis van in-situ en remote observations, eigenschappen van broeikasgassen en aerosolen, en berekeningen met behulp van numerieke modellen die waargenomen processen beschrijven. Sommige uitgestoten stoffen zijn van invloed op de atmosferische concentratie van andere stoffen. De RF kan worden beschreven voor concentratieveranderingen van elke stof¹⁵. Als alternatief kan de op emissie gebaseerde RF van een verbinding worden gemeld, wat voorziet in een meer directe link met menselijke activiteiten. Het bevat de bijdragen van alle stoffen die door die emissie beïnvloed worden. De totale antropogene RF van de twee benaderingen zijn identiek als alle aanjagers overwogen worden. Hoewel beide benaderingen worden gebruikt in deze Samenvatting voor Beleidsmakers, zijn emissie- gebaseerde RFs benadrukt

De totale stralingsforcering is positief, en heeft geleid tot een netto opname van energie door het klimaatstelsel. De grootste bijdrage aan de totale stralingsforcering is die van de toename van de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer sinds 1750 (zie Figuur SPM.5). {3.2, Box 3.1, 8.3, 8.5}

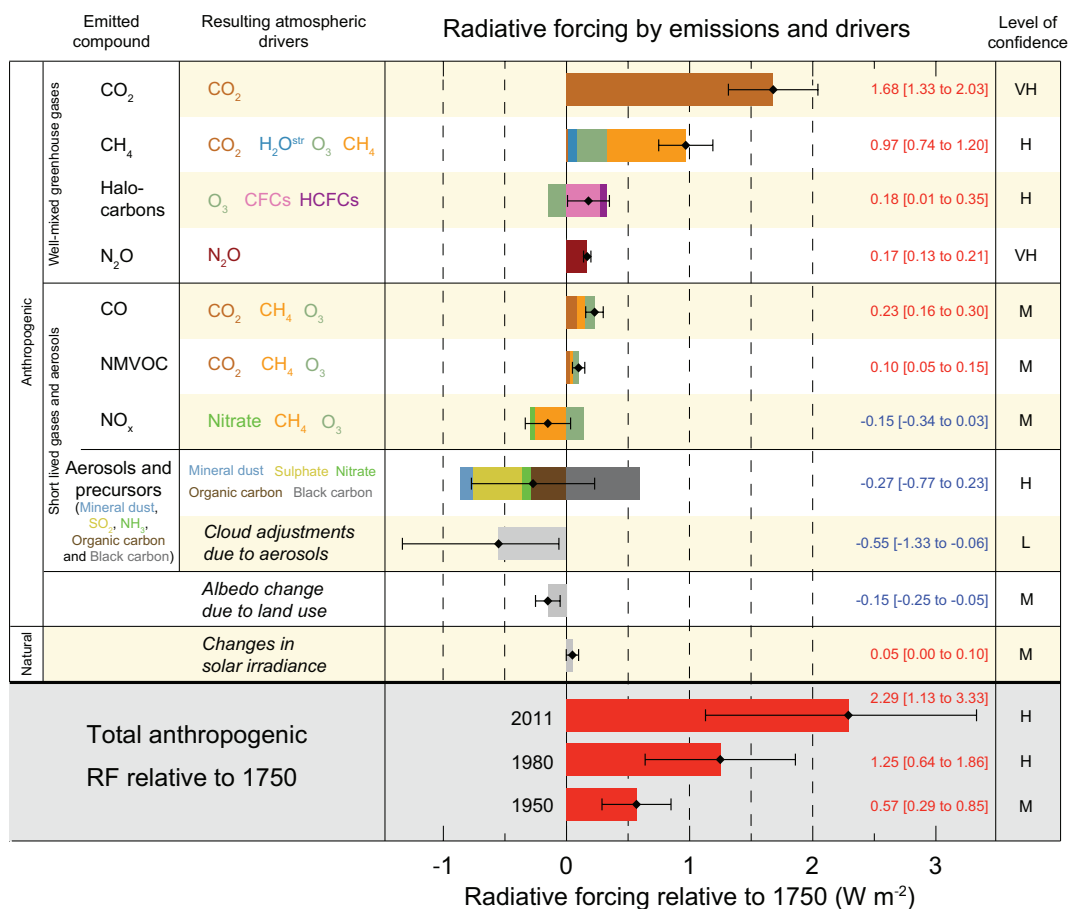
- De totale RF door menselijk toedoen in 2011 ten opzichte van 1750 is 2,29 [1,13 tot 3,33] W m⁻² (zie Figuur 5), en is sinds 1970 sneller toegenomen dan in de decennia daarvoor. De beste schatting van de totale RF door menselijk toedoen in 2011 is 43% hoger dan de waarde genoemd in het AR4-

rapport voor het jaar 2005. Dit is het gevolg van een combinatie van verdere toename in de concentratie van de meeste broeikasgassen en verbeterde schattingen van de RF door aerosolen die wijzen op een kleiner netto koelingseffect. {8.5}

- De RF door uitstoot van goed gemengde broeikasgassen (CO₂, CH₄, N₂O en Halocarbonen) voor 2011 ten opzichte van 1750 is 3,00 [2,22 tot 3,78] W m⁻² (zie Figuur 5). De RF door veranderingen in de concentratie in deze gassen is 2,83 [2,26 tot 3,40] W m⁻². {8.5}
- Uitstoot van alleen CO₂ heeft een RF veroorzaakt van 1,68 [1,33 tot 2,03] W m⁻² (zie Figuur 5). Als ook de uitstoot van andere koolstof bevattende gassen wordt meegenomen, die ook hebben bijgedragen aan de toename van de CO₂-concentratie, bedraagt de RF 1,82 [1,46 tot 2,18] W m⁻². {8.3, 8.5}
- Uitstoot van alleen CH₄ heeft een RF veroorzaakt van 0,97 [0,74 tot 1,20] W m⁻². (zie Figuur 5) Dit is veel meer dan de geschatte 0,48 [0,43 tot 0,53] W m⁻² die alleen op de concentratie is gebaseerd (geen verandering sinds AR4). Het verschil tussen deze twee waarden wordt veroorzaakt door veranderingen in de concentraties van ozon en van waterdamp in de stratosfeer ten gevolge van de uitstoot van CH₄ en van andere stoffen die direct CH₄ beïnvloeden. {8.3, 8.5}
- Uitstoot van stratosferisch ozon-afbrekende halocarbonen hebben een netto positieve RF veroorzaakt van 0,18 [0,01 tot 0,35] W m⁻² (zie Figuur 5). Hun eigen positieve RF

¹⁴ De sterkte van oorzaken van klimaatverandering wordt gekwantificeerd als stralingsforcering (radiative forcing, RF), met als eenheid W/m². De RF is de verandering in de energiestroom door een bepaalde oorzaak, en wordt berekend aan de tropopauze of aan de top van de atmosfeer

¹⁵ Deze benadering is gebruikt om RF te rapporteren in de SPM van AR4, het vorige IPCC rapport, uit 2007.



Figuur SPM. 5. De wereldwijd gemiddelde stralingsforcering in 2011 ten opzichte van 1750 voor de belangrijkste oorzaken van klimaatverandering, inclusief de onzekerheden daarin. De beste schatting van de stralingsforcering is aangegeven met een zwarte ruit met bijbehorende onzekerheidsinterval; de numerieke waarden zijn weergegeven rechts in de figuur, samen met de mate van zekerheid (VH - zeer hoog, H - hoog, M - redelijk, L - laag, VL - zeer laag). Kleine forceringen door vliegtuigsporen, HFCs, PFCs en SF₆ zijn niet weergegeven. De totale stralingsforcering door menselijke toedoen sinds 1750 is weergegeven voor drie verschillende jaren.

is groter dan de magnitude van de negatieve RF door de ozonafbraak die zij hebben veroorzaakt. De positieve RF van alle halocarbonen tezamen is vergelijkbaar met de waarde in AR4, met een afname in de RF door CFKs maar een toename in de RF door veel van hun vervangers. {8.3, 8.5}

- De uitstoot van kortlevende gassen draagt bij aan de totale RF door de mens. De uitstoot van koolmonoxide heeft zo goed als zeker een positieve RF veroorzaakt, terwijl de uitstoot van stikstofoxiden waarschijnlijk een negatieve RF heeft veroorzaakt (zie **Figuur SPM.5**). {8.3, 8.5}

- De RF door aerosolen in de atmosfeer, inclusief het effect van aerosolen op wolken, is -0,9 [-1,9 tot -0,1] W m⁻² (redelijke zekerheid), en is een gevolg van een negatieve forcering door de meeste aerosolen en een positieve forcering door absorptie van zonlicht door roet. Er bestaat hoge zekerheid dat aerosolen de forcering door goed gemengde broeikasgassen voor een groot deel teniet doen. Aerosolen blijven de grootste bron van onzekerheid in de geschatte totale RF. {7.5, 8.3, 8.5}
- De forcering door aerosolen in de stratosfeer van vulkanische oorsprong kan een groot effect op het klimaat hebben

gedurende enkele jaren na vulkaan-uitbarstingen. Verscheidene kleine uitbarstingen hebben een RF veroorzaakt van $-0,11$ $[-0,15$ tot $-0,08]$ W m^{-2} voor de jaren 2008-2011, wat ongeveer het dubbele is van de vulkanische forcering in de jaren 1999-2002. {8.4}

- De RF door veranderingen in de sterkte van de zonnestraling is $0,05$ $[0,00$ tot $0,10]$ W m^{-2} . Satellietwaarnemingen van veranderingen in de sterkte van de zonnestraling in de periode 1978-2011 geven aan dat het laatste zonneminimum dieper was dan de twee voorafgaande minima. Dit geeft een RF van $-0,04$ $[-0,08$ tot $0,00]$ W m^{-2} tussen het meest recente minimum in 2008 en het minimum in 1986. {8.4}
- De totale natuurlijke RF door veranderingen in de sterkte van de zonnestraling en door aerosolen in de stratosfeer van vulkanische oorsprong geven slechts een kleine bijdrage aan de netto stralingsforcering gedurende de afgelopen eeuw, uitgezonderd kleine perioden direct na grote vulkaanuitbarstingen. {8.5}

D. Begrip van het klimaatsysteem en recente veranderingen daarin

Het begrijpen van de recente veranderingen in het klimaatsysteem is het resultaat van het combineren van waarnemingen, onderzoek naar terugkoppelprocessen, en modelsimulaties. Bij de evaluatie van het vermogen van klimaatmodellen om de recente klimaatveranderingen te simuleren moet rekening worden gehouden met de toestand van alle gemodelleerde klimaatsysteemcomponenten aan het begin van de simulatie en met de natuurlijke en antropogene forcing die wordt gebruikt om de modellen aan te drijven. Vergeleken met AR4, is het door de meer gedetailleerde en meer langdurige waarnemingen en de verbeterde klimaatmodellen mogelijk om aan meer aspecten van de waargenomen klimaatverandering een menselijke oorzaak toe te kennen.

De invloed van de mens op het klimaatsysteem is evident. Dit volgt uit de toegenomen concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer, de positieve stralingsforcing, de waargenomen opwarming, en het begrip van het klimaatsysteem. {2-14}

D.1 Kwaliteit van klimaatmodellen

Klimaatmodellen zijn verbeterd sinds het vorige IPCC-rapport uit 2007. Modellen reproduceren de waargenomen patronen in de oppervlaktetemperatuur en de trends daarin gedurende vele decennia, inclusief de snellere opwarming sinds het midden van de 20ste eeuw en de afkoeling direct na grote vulkaanuitbarstingen (zeer hoge zekerheid). {9.4, 9.6, 9.8}

- De lange termijn simulaties met klimaatmodellen vertonen een trend in de wereldgemiddelde oppervlaktetemperatuur van 1951 tot 2012 die overeen komt met de waargenomen trend (zeer hoge zekerheid). Er zijn echter verschillen tussen de gesimuleerde en waargenomen trends voor korte periodes van 10 tot 15 jaar (bijvoorbeeld 1998 tot 2012). {9.4, Box 9.2}
- De waargenomen afname van de opwar-

mende trend aan het aardoppervlak in de periode 1998-2012 vergeleken met de periode 1951-2012, is in ongeveer gelijke mate het gevolg van een afname van de trend in de stralingsforcing en van een koelende bijdrage van interne variabiliteit, met een mogelijke herverdeling van warmte in de oceaan (redelijke zekerheid). De afname van de trend in de stralingsforcing is vooral het gevolg van vulkaanuitbarstingen en de timing van de neerwaartse fase van de 11-jarige zonnecyclus. Er bestaat echter lage zekerheid over de grootte van de bijdrage van de verandering in de stralingsforcing aan de verminderde trend in de opwarming.

Er is redelijke zekerheid dat de interne variabiliteit op de tijdschaal van decennia het verschil tussen de waarnemingen en de simulaties in belangrijke mate verklaart; van klimaatmodellen kan niet worden verwacht dat ze de timing van interne variabiliteit reproduceren. Er kan ook een bijdrage zijn van tekortkomingen in forcingen en, in sommige modellen, een overschatting van de respons op de forcing door toenemende broeikasgasconcentraties en door andere menselijke activiteiten (in hoofdzaak aerosolen). {9.4, Box 9.2, 10.3, Box 10.2, 11.3}

- Voor de regionale schaal is het vertrouwen in het vermogen van modellen om de oppervlaktetemperatuur te simuleren kleiner dan voor de grotere schalen. Er is echter hoge zekerheid dat de oppervlaktetemperatuur op regionale schaal beter wordt gesimuleerd dan ten tijde van AR4. {9.4, 9.6}
- Er is sinds AR4 wezenlijke vooruitgang geboekt in het schatten van weer- en klimaatextremen. Gesimuleerde wereldgemiddelde trends in de frequentie van extreem warme en koude dagen en nachten in de tweede helft van de 20ste eeuw komen

in het algemeen goed overeen met waarnemingen. {9.5}

- De simulatie van grootschalige neerslagpatronen is sinds AR4 enigszins verbeterd. Op regionale schaal wordt neerslag niet zo goed gesimuleerd, en het beoordelen van de modelsimulaties wordt bemoeilijkt door onzekerheden in de waarnemingen. {9.4, 9.6}
- Enkele belangrijke verschijnselen van het klimaat worden nu beter door de modellen nagebootst. Er is *hoge zekerheid* dat de statistiek van moessons en van El Niño-Zuidelijke Oscillatie gebaseerd op simulaties met meerdere modellen is verbeterd sinds AR4. {9.5}
- Klimaatmodellen beschrijven processen met betrekking tot wolken en aerosolen nu in meer detail dan ten tijde van AR4, maar er blijft *lage zekerheid* bestaan over de representatie en de kwantificering van deze processen. {7.3, 7.6, 9.4, 9.7}
- De neergaande trend in zeeijs in de zomer in het noordpoolgebied sinds 1979 wordt nu door meer modellen nagebootst dan ten tijde van AR4, waarbij ongeveer een kwart van de modellen een trend vertoont zo groot, of groter dan, waargenomen trend. De meeste modellen simuleren een kleine neerwaartse trend in het oppervlak van zeeijs in het zuidpoolgebied, ofschoon met grote verschillen tussen de modellen, terwijl de waarnemingen een kleine opwaartse trend vertonen. {9.4}
- Veel modellen reproduceren de waargenomen veranderingen in de hoeveelheid warmte in de bovenste laag (0-700 m) van de oceaan in de periode 1961-2005 (*hoge zekerheid*), waarbij de over de modellen gemiddelde tijdserie voor het grootste deel van de periode binnen van waarnemingen ligt. {9.4}
- Klimaatmodellen die de koolstofcyclus

bevatten (aardsysteemmodellen) simuleren het wereldwijde patroon van CO₂-uitwisseling tussen de oceaan en de atmosfeer, met het afstaan van CO₂ door de oceaan aan de atmosfeer in de tropen en opname door de oceaan op gematigde en hoge breedten. {9.4}

D.2 De respons van het klimaatstelsel

Onderzoek met waarnemingen en modellen van de verandering in de temperatuur, terugkoppelingen in het klimaat en veranderingen in het energiebudget van de aarde geven tezamen vertrouwen in de juistheid van de geschatte opwarming van de aarde door forceringen in het verleden en in de toekomst. {Box 12.2, Box 13.1}

- De totale terugkoppeling door veranderingen in waterdamp en door verschillen in opwarming tussen de atmosfeer en het aardoppervlak is *uiterst waarschijnlijk* positief en versterkt daardoor veranderingen in het klimaat. De netto stralings-terugkoppeling voor alle typen wolken tezamen is *waarschijnlijk* positief. De onzekerheid in het teken en de grootte van de terugkoppeling door wolken ontstaat vooral door de onzekerheid in de gevolgen van de opwarming voor lage bewolking. {7.2}
- De evenwichts-klimaatgevoeligheid is een maat voor de respons van het klimaatstelsel op een constante stralingsforcering op de tijdschaal van eeuwen. Deze is gedefinieerd als de verandering in de wereldwijd gemiddelde oppervlaktetemperatuur in de evenwichtssituatie door een verdubbeling van de CO₂-concentratie. De evenwichts-klimaatgevoeligheid ligt *waarschijnlijk* in de tussen 1,5 °C en 4,5 °C (*hoge zekerheid*), is *uiterst onwaarschijnlijk* kleiner dan 1 °C (*hoge zekerheid*), en *zeer onwaarschijnlijk* groter dan 6 °C (*redelijke zekerheid*)¹⁶. De ondergrens van de waar-

¹⁶ Er kan, anders dan in AR4, geen 'beste schatting' voor de evenwichts-klimaatgevoeligheid worden gegeven, door gebrek aan overeenstemming tussen de verschillende schattingen.

schijnlijke is dus lager dan de $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ in AR4, maar de bovengrens is niet veranderd. Dit resultaat is het gevolg van beter begrip, de langere temperatuurreeks van de atmosfeer en de oceaan, en nieuwe schattingen van de stralingsforcering. {TS TFE.6, figure.1; Box 12.2}

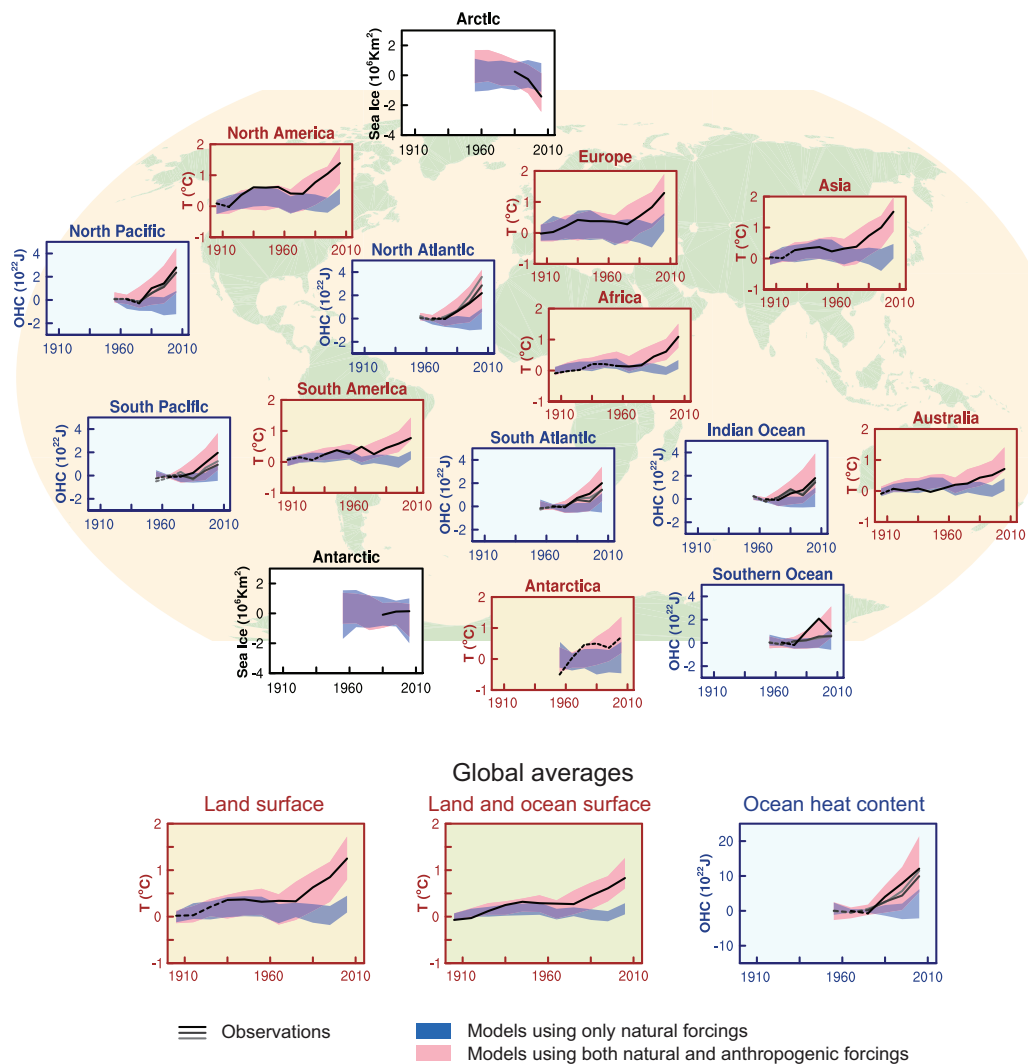
- Het tempo en de grootte van de wereldwijde klimaatverandering wordt bepaald door stralingsforcering, klimaat-terugkoppelingen en de opslag van energie in het klimaatsysteem. Schattingen van deze grootheden voor de afgelopen decennia zijn *waarschijnlijk* consistent met de geschatte evenwichts-klimaatgevoeligheid binnen de geschatte marges, wat de juistheid van ons begrip van door de mens veroorzaakte klimaatverandering sterk ondersteunt. {Box 12.2, Box 13.1}
- De tijdelijke klimaatrespons is een maat voor de respons van het klimaatsysteem op een in de tijd toenemende stralingsforcering op de tijdschaal van een decennium tot een eeuw. Deze is gedefinieerd als de wereldwijd gemiddelde verandering in de temperatuur aan het aardoppervlak op het moment dat de CO_2 -concentratie in de atmosfeer is verdubbeld, in een scenario waarin de concentratie toeneemt met 1% per jaar. De tijdelijke klimaatrespons ligt *waarschijnlijk* tussen $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ en $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (*hoge zekerheid*) en in *uiterst onwaarschijnlijk* groter dan $3\text{ }^{\circ}\text{C}$. {Box 12.2}
- Een gerelateerde grootheid is de tijdelijke klimaatrespons op de uitstoot van kool-dioxide (TKRU). Deze is een maat voor de tijdelijke klimaatrespons op de in de tijd geaccumuleerde uitstoot van CO_2 . De TKRU is gedefinieerd als de verandering in de wereldwijd gemiddelde temperatuur per 1000 GtC uitstoot naar de atmosfeer. De TKRU ligt *waarschijnlijk* in de $0,8\text{ }^{\circ}\text{C} - 2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ per 1000 GtC en is van toepassing op uitstoot tot ongeveer 2000 GtC tot de tijd dat de temperatuur maximaal is (zie Figuur 10). {12.5, Box 12.2}
- Diverse maten kunnen worden gebruikt om de bijdragen aan klimaatverandering door de emissies van verschillende stoffen te vergelijken. De meest geschikte maat en

tijdshorizon zal afhangen van welke aspecten van klimaatverandering bij een bepaalde toepassing als meest belangrijk worden beschouwd. Geen enkele maat kan alle gevolgen van de verschillende emissies nauwkeurig vergelijken, en alle hebben beperkingen en onzekerheden. De Global Warming Potential is gebaseerd op de geaccumuleerde stralingsforcering in een bepaalde periode, en de Global Temperature change Potential is gebaseerd op de verandering in de wereldwijd gemiddelde oppervlaktetemperatuur op een gekozen moment. Nieuwe waarden hiervan worden gegeven in het hoofdrapport. {8.7}

D.3 Detectie en attributie van klimaatverandering

De invloed van de mens is waargenomen in de opwarming van de atmosfeer en de oceaan, in veranderingen in de wereldwijde waterkringloop, in afname van sneeuw en ijs, in de wereldwijd gemiddelde zeespiegelstijging, en in veranderingen in sommige klimaatextremen (zie Figuur 6). De duidelijkheid van de invloed van de mens is toegenomen sinds het vorige IPCC rapport uit 2007. Het is *uiterst waarschijnlijk* dat de invloed van de mens de belangrijkste oorzaak is van de waargenomen opwarming sinds het midden van de 20ste eeuw. {10.3-10.6, 10.9}

- Het is *uiterst waarschijnlijk* dat meer dan de helft van de waargenomen toename in de wereldwijd gemiddelde oppervlaktetemperatuur van 1951 tot 2010 het gevolg is van de stijging door menselijke activiteiten van de concentratie van broeikasgassen en andere door de mens veroorzaakte forceringen. De beste schatting van de opwarming door de mens is vergelijkbaar met de waargenomen opwarming in deze periode. {10.3}
- Broeikasgassen hebben *waarschijnlijk* tussen de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ bijgedragen aan de wereldwijd gemiddelde opwarming aan het aardoppervlak in de periode 1951-2010. De bijdrage van andere menselijke forceringen, inclusief het afkoelende effect van



Figuur SPM. 6. Vergelijking van waargenomen en gemodelleerde klimaatverandering voor drie grootschalige indicatoren in de atmosfeer, cryosfeer en de oceaan: verandering in de temperatuur boven land nabij het aardoppervlak (gele panelen), zeeijs in het noordpool- en zuidpoolgebied (witte panelen), en opname van warmte door het bovenste deel van de oceaan (blauwe panelen). Wereldwijd gemiddelde veranderingen zijn ook weergegeven. Alle tijdseries zijn tien jaar-gemiddelden, weergegeven voor het midden van de 10 jaar periode. De zwarte lijnen tonen de waargenomen temperatuur en zijn gestreept als in minder dan 50% van de beschouwde gebieden metingen beschikbaar zijn. Bij de opname van warmte door de oceaan en bij zeeijs betekent een doorgetrokken lijn dat de beschikbaarheid van metingen op z'n minst goed is, en een gestreepte lijn dat de beschikbaarheid slechts redelijk is en dus de onzekerheid groter is. Modelresultaten zijn weergegeven als gemiddelde van de CMIP5 modellen, waarbij de gekleurde band het 5-95% betrouwbaarheidsinterval weergeeft. De blauwe lijn geeft de gemodelleerde klimaatverandering door natuurlijke oorzaken, de rode lijn die door natuurlijke plus menselijke oorzaken.

aërosolen, ligt waarschijnlijk in de van $-0,6^{\circ}\text{C}$; tot $0,1^{\circ}\text{C}$. De bijdrage van natuurlijke forceringen ligt waarschijnlijk in de van $-0,1^{\circ}\text{C}$ tot $0,1^{\circ}\text{C}$, en de bijdrage van interne variabiliteit waarschijnlijk eveneens in de

van $-0,1^{\circ}\text{C}$ tot $0,1^{\circ}\text{C}$. Tezamen komen deze geschatte bijdragen overeen met de waargenomen opwarming van ongeveer $0,6^{\circ}\text{C}$ tot $0,7^{\circ}\text{C}$ in deze periode. {10.3}

- Op alle continenten behalve Antarctica heeft de mens *waarschijnlijk* aanzienlijk bijgedragen aan de toename van de oppervlaktetemperatuur sinds halverwege de 20^{ste} eeuw (*zie Figuur 6*). Voor Antarctica leiden grote onzekerheden in de waarnemingen tot een *lage zekerheid* dat de mens heeft bijgedragen aan de opwarming zoals waargenomen in de beschikbare meetstations. *Waarschijnlijk* is er wel een bijdrage door de mens aan de zeer aanzienlijke opwarming van het noordpoolgebied sinds het midden van de 20^{ste} eeuw. {2.4, 10.3}
- Het is *zeer waarschijnlijk* dat door menselijke invloeden, vooral broeikasgassen en afbraak van de ozonlaag, de troposfeer is opgewarmd en de lagere stratosfeer is afgekoeld sinds 1961. {2.4, 9.4, 10.3}
- Forceringen door de mens hebben *zeer waarschijnlijk* aanzienlijk bijgedragen aan de toename van de hoeveelheid warmte in het bovenste deel (boven 700 m) van de oceaan sinds de jaren 1970 (*zie Figuur 6*). Er zijn tekenen van de invloed van de mens op sommige delen van de oceaan. {3.2, 10.4}
- Menselijke invloeden hebben *waarschijnlijk* invloed gehad op de wereldwijde waterkringloop sinds 1960. Menselijke invloeden hebben bijgedragen aan de waargenomen toename van de hoeveelheid vocht in de atmosfeer (*redelijke zekerheid*), aan veranderingen op wereldschaal van neerslagpatronen boven land (*redelijke zekerheid*), aan het sterker worden van hevige neerslag boven land in gebieden waar voldoende metingen beschikbaar zijn (*redelijke zekerheid*), en aan veranderingen in het zoutgehalte aan en nabij het oceaanooppervlak (*zeer waarschijnlijk*). {2.5, 2.6, 3.3, 7.6, 10.3, 10.4}
- De argumenten voor invloed van de mens op temperatuurextremen zijn sinds SREX verder versterkt. Het is nu *zeer waarschijnlijk* dat de mens heeft bijgedragen aan de waargenomen veranderingen op wereldschaal in de frequentie en hoogte van dagelijkse temperatuurextremen sinds het midden van de 20^{ste} eeuw, en het is *waarschijnlijk* dat door de mens de kans op hittegolven in sommige gebieden meer dan verdubbeld is (*zie tabel SPM.1*). {10.6}
- Menselijke invloeden hebben *zeer waarschijnlijk* bijgedragen aan de afname van de hoeveelheid zeeijs in het noordpoolgebied sinds 1979. Er bestaat *lage zekerheid* in het wetenschappelijk begrip van de waargenomen kleine toename in de hoeveelheid zeeijs in het zuidpoolgebied, als gevolg van onvolledige en tegenstrijdige wetenschappelijke verklaringen hiervan. Verder geldt er *lage zekerheid* voor de geschatte interne variabiliteit in dit gebied (*zie figuur SPM.6*). {10.5}
- Menselijke invloeden hebben *waarschijnlijk* bijgedragen aan het terugtrekken van gletsjers sinds de jaren 1960 en aan de toename in het massaverlies van de Groenlandse ijskap sinds 1993. Er is weinig wetenschappelijk inzicht in wat de oorzaken zijn van afname van de hoeveelheid ijs op Antarctica in de afgelopen twintig jaar (*lage zekerheid*). {4.3, 10.5}
- De afname van het sneeuwoppervlak op het noordelijk halfrond in de lente sinds de jaren 1970 is *waarschijnlijk* deels veroorzaakt door de mens. {10.5}
- *Zeer waarschijnlijk* heeft de mens aanzienlijk bijgedragen aan de wereldgemiddelde zeespiegelstijging sinds de jaren 1970. Dit volgt uit de *hoge zekerheid* over de menselijk invloed op de twee grootste bijdragen aan de zeespiegelstijging, namelijk uitzetting door opwarming en massaverlies door gletsjers. {10.4, 10.5, 13.3}
- Er bestaat *hoge zekerheid* dat veranderingen in zonneactiviteit niet hebben bijgedragen aan de toename van de wereldgemiddelde oppervlaktetemperatuur in de periode 1986-2008, op basis van directe satellietmetingen van de sterkte van de zonnestraling. Er bestaat *redelijke zekerheid* dat de 11-jaarlijkse zonnecyclus in sommige gebieden de klimaatvariabiliteit op decennium-tijdschaal beïnvloedt. Er is geen duidelijke relatie gevonden tussen veranderingen in kosmische straling en bewolking. {7.4, 10.3, Box 10.2}

E. Projecties van toekomstig wereldwijd en regionaal klimaat

Projecties van de veranderingen in het klimaatsysteem zijn gemaakt met behulp van een hiërarchie van klimaatmodellen, variërend van eenvoudige klimaatmodellen, tot modellen van gemiddelde complexiteit, tot uitgebreide klimaatmodellen, en Systeem Aarde Modellen. Deze modellen simuleren veranderingen gebaseerd op een set van scenario's van antropogene forcering. Een nieuwe set van scenario's, het Representative Concentration Pathways (RCP), zijn gebruikt voor het uitvoeren van de nieuwe klimaatmodel simulaties in het kader van de Coupled Model Intercomparison Project Fase 5 (CMIP5) van het World Climate Research Programme. In alle RCP zijn de atmosferische CO₂-concentraties hoger in 2100 dan in het heden, als gevolg van een verdere toename van de cumulatieve uitstoot van CO₂ in de atmosfeer tijdens de 21^{ste} eeuw (zie Tekstbox SPM.1). Projecties in deze Samenvatting voor Beleidsmakers zijn voor het einde van de 21^{ste} eeuw (2081-2100) gegeven ten opzichte van 1986-2005, tenzij anders vermeld. Om deze projecties in historische context te plaatsen, is het noodzakelijk om waargenomen veranderingen tussen de verschillende periodes te overwegen. Op basis van de langste wereldwijde oppervlaktetemperatuur dataset beschikbaar, is de waargenomen verandering tussen het gemiddelde over de periode 1850-1900 en de AR5 referentieperiode 0,61 [0,55-0,67] °C. Echter, de opwarming heeft plaatsgevonden boven het gemiddelde van de AR5 referentieperiode

Verdere uitstoot van broeikasgassen zal verdere opwarming en veranderingen in alle delen van het klimaatsysteem veroorzaken. Het beperken van klimaatverandering zal een aanzienlijke en voortdurende vermindering vereisen van de uitstoot van broeikasgassen. {6, 11-14}

- Projecties voor de eerstvolgende decennia tonen ruimtelijke patronen van klimaatverandering die vergelijkbaar zijn met de projecties voor het einde van de 21^{ste} eeuw, maar met kleinere veranderingen. Interne variabiliteit zal het klimaat blijven beïnvloeden, vooral op de korte termijn en de regionale schaal. Vanaf het midden van de

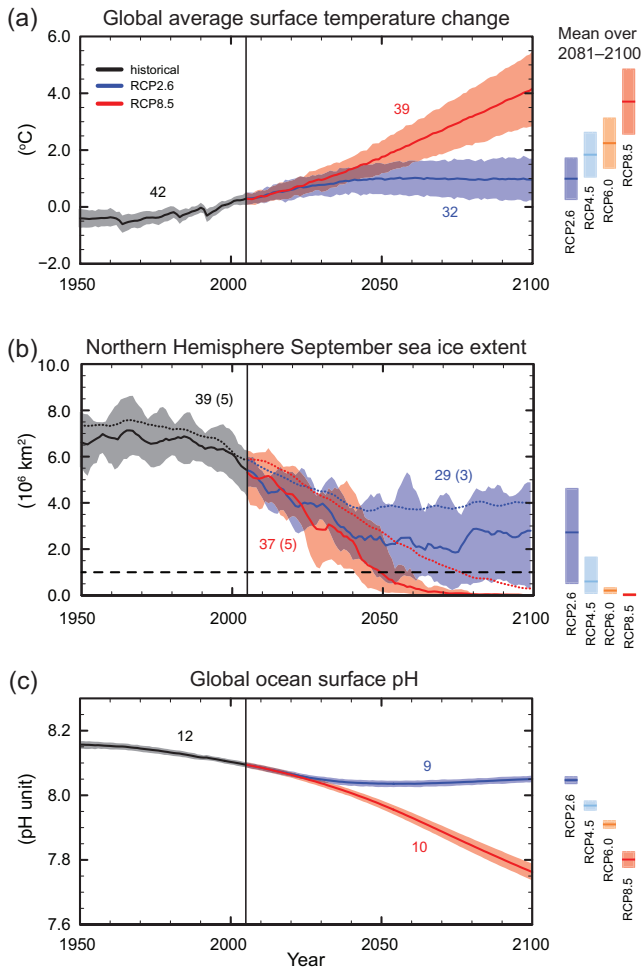
21^{ste} eeuw hangen de geprojecteerde veranderingen aanzienlijk af van het gebruikte emissiescenario (Tekstbox SPM.1). {11.3, Box 11.1, Annex I}

- De geprojecteerde klimaatverandering gebaseerd op RCP's is qua patroon en grootte vergelijkbaar met die in AR4, na correctie voor verschillen in de scenario's. De spreiding in de projecties voor hoge concentratie-RCP's in AR5 is kleiner dan die voor hoge emissie-projecties in AR4, omdat onzekerheden in de koolstofcyclus bij de concentratie-projecties geen rol spelen. Projecties van zeespiegelstijging zijn groter dan in AR4, vooral door een verbeterde modellering van de bijdrage van landijs. {11.3, 12.3, 12.4, 13.4, 13.5}

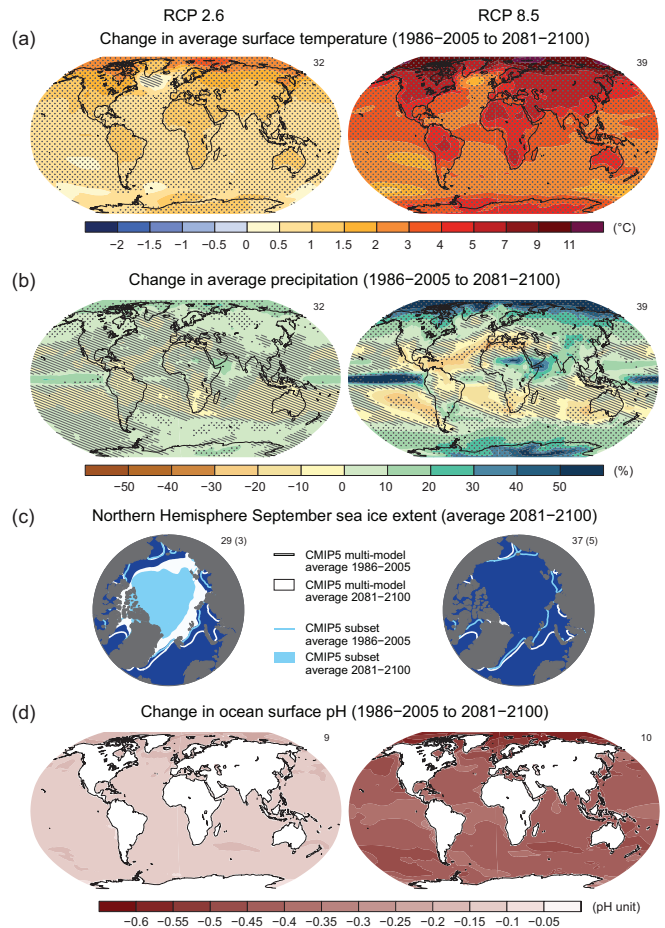
E1. Atmosfeer: temperatuur

De toename in de wereldwijd gemiddelde oppervlaktetemperatuur voor het einde van de 21^{ste} eeuw, ten opzichte van 1850 tot 1900, zal waarschijnlijk groter zijn dan 1,5 °C bij alle RCP scenario's behalve RCP2.6. De toename is waarschijnlijk groter dan 2 °C bij RCP6.0 en RCP8.5, en waarschijnlijker wel dan niet groter dan 2 °C bij RCP4.5. De opwarming zal doorgaan na 2100, behalve bij RCP2.6. De opwarming zal variabiliteit op de tijdschaal van jaren tot decennia blijven vertonen en zal van gebied tot gebied verschillen (zie Figuren 7 en 8). {11.3, 12.3, 12.4, 14.8}

- De verandering in de wereldwijd gemiddelde oppervlaktetemperatuur in de periode 2016-2035 ten opzichte van 1986-2005 zal waarschijnlijk liggen tussen de 0,3 °C en 0,7 °C (redelijke zekerheid). Dit is



Figuur SPM.7 | CMIP5 multi-modelsimulaties van tijdseries van 1950 tot 2100 van (a) de verandering in de wereldwijd gemiddelde oppervlaktetemperatuur ten opzichte van 1986–2005, (b) het zeeijsoppervlak op het noordelijk halfrond in september, en (c) de wereldwijdgemiddelde pH (zuurgraad) van het oppervlaktewater. Tijdseries van projecties en een maat voor de onzekerheid (gekleurde band) zijn weergegeven voor de scenario's RCP2.6 (blauw) en RCP8.5. RCP betekent Representative Concentration Pathway; RCP2.6, bijvoorbeeld, veronderstelt een stralingsforcering in 2100 van 2,6 W/m^2 . Zwart (grijze band) is de gemodelleerde ontwikkeling in het verleden, op basis van geschatte forceringen in het verleden. De gemiddelde waarde en onzekerheid gemiddeld voor 2081–2100 zijn met verticale kolommen weergegeven voor alle RCP-scenario's. Het aantal modellen gebruikt voor de multi-modelsimulaties is met een cijfer weergegeven. Voor zeeijsoppervlak (b) is de geprojecteerde gemiddelde waarde en de onzekerheid (minimum-maximum) weergegeven voor het deel van de modellen dat de waargenomen klimatologische waarde en de 1979–2012 trend in de Polaire IJszee het beste weergeeft (doorgetrokken lijn). Voor de volledigheid is het gemiddelde van alle modellen weergegeven met een gestippelde lijn. De gestreepte lijn correspondeert met bijna-ijsvrije omstandigheden.



Figuur SPM.8 | Kaarten van CMIP5 multi-modelresultaten voor de scenario's RCP2.6 en RCP8.5 in 2081–2100 voor (a) de verandering in de jaargemiddelde oppervlaktetemperatuur, (b) de procentuele verandering in de jaargemiddelde neerslag, (c) het zeeijsoppervlak op het Noordelijk Halfrond in september, (d) de verandering in de pH aan het zeeoppervlak. De veranderingen in (a), (b) en (d) zijn ten opzichte van 1986–2005. Het aantal modellen waaruit het multi-modelresultaat is verkregen is aangegeven rechts boven de kaarten. In panelen (a) en (b) geeft arcering aan waar het multi-model gemiddelde klein is vergeleken met de natuurlijke variabiliteit; in gebieden met punten is het multi-model gemiddelde groot vergeleken met de interjaarlijkse variabiliteit en geeft minstens 90% van de modellen hetzelfde teken van de verandering. In panel (c) geven de lijnen het gemodelleerde gemiddelde voor 1986–2005 weer; de gevulde oppervlakken gelden voor het einde van de eeuw. Wit toont het gemiddelde van alle modellen, lichtblauw toont het gemiddelde van de modellen (het aantal staat tussen haakjes) die de waargenomen klimatologische waarde en de 1979–2012 trend in de Polaire IJszee het beste weergeven.

gebaseerd op onderzoek vanuit verschillen in invalshoeken en veronderstelt dat er geen grote vulkaanuitbarstingen of veranderingen in de sterkte van de zonnestraling zullen zijn.

De toename op de korte termijn van de seizoens- en jaargemiddelde temperatuur, ten opzichte van de natuurlijke interne variabiliteit, is naar verwachting groter in de tropen en subtropen dan op de gematigde breedten (*hoge zekerheid*). {11,3}

- De toename van de wereldgemiddelde oppervlaktetemperatuur geprojecteerd voor 2081-2100 ten opzichte van 1986-2005 ligt *waarschijnlijk* in de van de op concentraties gebaseerde CMIP5 model simulaties, dat wil zeggen 0.3 °C tot 1.7 °C (RCP2.6), 1.1 °C tot 2.6 °C (RCP4.5), 1.4 °C tot 3.1 °C (RCP6.0), 2.6 °C tot 4.8 °C (RCP8.5). Het noordpoolgebied zal sneller opwarmen dan het wereldgemiddelde, en de gemiddelde opwarming boven land zal groter zijn dan boven de oceaan (zeer hoge zekerheid) (zie *Figuren SPM.7 en SPM.8* en *Tabel SPM.2*). {12.4, 14.8}
- De geprojecteerde wereldwijd gemiddelde temperatuur aan het einde van de 21ste eeuw ligt *waarschijnlijk* meer dan 1,5 deg; C boven de gemiddelde waarde voor 1850-1900 voor RCP4.5, RCP6.0 en RCP8.5 (*hoge zekerheid*). De opwarming is *waarschijnlijk* meer dan 2 °C bij RCP6.0 en RCP8.5 (*hoge zekerheid*), *waarschijnlijker wel dan niet* meer dan 2 °C bij RCP4.5 (*hoge zekerheid*), *maar waarschijnlijk niet* meer dan 2 °C bij RCP2.6 (*redelijke zekerheid*). De opwarming is *waarschijnlijk* niet meer dan 4 °C bij RCP2.6, RCP4.5 en RCP6.0 (*hoge zekerheid*), en is even *waarschijnlijk* als niet groter dan 4 °C bij RCP8.5 (*redelijke zekerheid*). {12.4}
- Bij toenemende wereldwijd gemiddelde temperatuur zullen zo goed als zeker in de meeste gebieden boven land vaker hete en minder vaak koude temperatuur-extremen voorkomen, op tijdschalen van dagen tot seizoenen. Hittegolven zullen vaker voorkomen en langer aanhouden. Perioden van extreme koude zullen blijven voorkomen (*zie Tabel SPM.1*). {12.4}

E.2 Atmosfeer: waterkringloop

Veranderingen in de wereldwijde waterkringloop als gevolg van de opwarming in de 21^{ste} eeuw zullen verschillen van gebied tot gebied. Het verschil in neerslag tussen natte en droge gebieden en tussen natte en droge seizoenen zal toenemen, ofschoon er regionale uitzonderingen kunnen optreden (*zie Figuur 8*). {12.4, 14.3}

- Geprojecteerde veranderingen in de waterkringloop voor de komende decennia vertonen grootschalige patronen vergelijkbaar met die voor het einde van de 21^{ste} eeuw, maar met kleinere veranderingen. Veranderingen op de korte termijn en op regionale schaal zullen sterk worden beïnvloed door interne variabiliteit en kunnen worden beïnvloed door uitstoot van aerosolen door de mens. {11.3}
- Op hoge breedten en op de Grote Oceaan rondom de evenaar zal bij het RCP8.5 scenario de neerslag tegen het einde van de eeuw *waarschijnlijk* toenemen. In veel droge gebieden op gematigde breedten en in de subtropen zal de neerslag *waarschijnlijk* afnemen, terwijl in veel natte gebieden op gematigde breedten bij RCP8.5 de neerslag tegen het einde van de eeuw *waarschijnlijk* zal toenemen (*zie Figuur 8*). {7.6, 12.4, 14.3}
- Hevige neerslag zal in de meeste gebieden boven land op de gematigde breedten en in de tropische natte gebieden tegen het einde van de 21^{ste} eeuw zeer *waarschijnlijk* intenser worden en vaker voorkomen, als de wereldgemiddelde oppervlaktetemperatuur stijgt (zie *Tabel SPM.1*). {7.6, 12.4}
- Moessongebieden zullen waarschijnlijk overal ter wereld in de loop van de 21^{ste} eeuw een groter gebied beslaan. Terwijl de winden van de moesson *waarschijnlijk* zwakker worden, zal de neerslag van de moesson *waarschijnlijk* sterker worden door de toename van de hoeveelheid vocht in de atmosfeer. Het begin van de moesson zal *waarschijnlijk* eerder komen of niet veel veranderen. Het einde van de moesson

	Scenario	2046-2065 gemiddelde	waarschijnlijk ^c	2081-2100 gemiddelde	waarschijnlijk ^c
Wijziging in de wereldwijd gemiddelde oppervlakte- temperatuur (°C) ^a	RCP2.6	1.0	0.4 tot 1.6	1.0	0.3 tot 1.7
	RCP4.5	1.4	0.9 tot 2.0	1.8	1.1 tot 2.6
	RCP6.0	1.3	0.8 tot 1.8	2.2	1.4 tot 3.1
	RCP8.5	2.0	1.4 tot 2.6	3.7	2.6 tot 4.8
	Scenario	gemiddelde	waarschijnlijk ^c	gemiddelde	waarschijnlijk ^c
Stijging van de wereldwijd gemiddelde zeespiegel (m) ^b	RCP2.6	0.24	0.17 tot 0.32	0.40	0.26 tot 0.55
	RCP4.5	0.26	0.19 tot 0.33	0.47	0.32 tot 0.63
	RCP6.0	0.25	0.18 tot 0.32	0.48	0.33 tot 0.63
	RCP8.5	0.30	0.22 tot 0.38	0.63	0.45 tot 0.82

Tabel SPM.2 | *Geprojecteerde verandering in de wereldwijd gemiddelde oppervlaktetemperatuur en de wereldwijd gemiddelde zeespiegelstijging voor het midden en het einde van de 21ste eeuw. De verandering geldt ten opzichte van 1986-2005.*

^a Op basis van de CMIP5; afwijkingen berekend voor 1986-2005, met behulp van HadCRUT4 en de bijhorende schatting van de onzekerheid (5-95% betrouwbaarheidsinterval). De waargenomen opwarming van de referentieperiode 1986-2005 is 0,61 [0,55-0,67] °C in 1850-1900, en 0,11 [0,09-0,13] °C in 1980-1999, de referentieperiode gebruikt voor projecties in AR4. Waarschijnlijkheidsreeksen zijn hier niet geanalyseerd met betrekking tot eerdere perioden, omdat in de literatuur de methoden voor het combineren van de onzekerheden in de modellen en waarnemingen niet algemeen beschikbaar zijn. Het toevoegen van de verwachte en waargenomen veranderingen houdt geen rekening met mogelijke effecten van model bias ten opzichte van waarnemingen, en met natuurlijke interne variabiliteit in de waarneming-referentieperiode. {2.4; 11.2; Tabellen 12.2 en 12.3}

^b Gebaseerd op 21 CMIP5 modellen; afwijkingen berekend voor 1986-2005. Waar CMIP5 resultaten niet beschikbaar waren voor een AOGCM en scenario, zijn ze geraamd volgens de in hoofdstuk 13, tabel 13.5 beschreven methode. De bijdragen van de snelle dynamische veranderingen van de ijskap en antropogene land-waterberging worden behandeld als met uniforme kansverdelingen, en als grotendeels onafhankelijk van de scenario. Dit betekent niet dat de relevante bijdrage niet zal afhangen van het scenario dat is gevolgd, alleen dat de huidige stand van kennis een kwantitatieve beoordeling van de afhankelijkheid niet toestaat. Op basis van de huidige inzichten, kan alleen de ineensstorting van de boven zee gelegen delen van de Antarctische ijskap, indien geïnitieerd, ertoe leiden dat het wereldgemiddelde zeeniveau aanzienlijk stijgt boven het *waarschijnlijke* bereik tijdens de 21^e eeuw. Er is *redelijke zekerheid* dat deze extra bijdrage niet hoger zou zijn dan enkele decimeters aan zeespiegelstijging in de 21^e eeuw

^c Berekend op basis van ramingen met 5-95% van de modellen. Deze bereiken worden vervolgens als waarschijnlijk gekenmerkt na rekening te hebben gehouden met bijkomende onzekerheden of verschillende niveaus van zekerheid in de modellen. Voor de projecties van de gemiddelde verandering in de wereldwijde oppervlaktetemperatuur tussen 2046-2065 is er redelijke zekerheid, omdat het relatieve belang van de natuurlijke interne variabiliteit en onzekerheid in de forcering en klimaatrespons van niet-broeikasgassen groter zijn dan voor 2081-2100. De waarschijnlijke bereiken voor 2046-2065 houden geen rekening met de mogelijke invloed van factoren die leiden tot het geanalyseerde bereik voor de korte termijn (2016-2035) wereldgemiddelde verandering in de oppervlaktetemperatuur, die lager is dan het 5-95% modellenbereik, omdat de invloed van deze factoren op de langere termijn projecties niet gekwantificeerd is vanwege onvoldoende wetenschappelijk inzicht. {11.3}

^d Berekend op basis van de projecties zoals 5-95% modelbereik. Deze bereiken worden vervolgens bestempeld als *waarschijnlijk* nadat er rekening is gehouden met bijkomende onzekerheden of verschillende niveaus van zekerheid over de modellen. Voor de prognoses van de wereldwijde zeespiegelstijging is er redelijke zekerheid voor beide tijdshorizonten.

verschuift waarschijnlijk naar achteren, waardoor in veel gebieden de moesson langer zal duren. {14.2}

- Er is grote zekerheid dat El Niño - Southern Oscillation (ENSO) de belangrijkste bron van interjaarlijkse variatie zal blijven boven de Grote Oceaan in de tropen, met wereldwijde gevolgen in de 21ste eeuw. Door de toename van de hoeveelheid vocht zal aan ENSO gerelateerde variabiliteit in de neerslag op regionale schaal waarschijnlijk groter worden. De natuurlijke veranderingen in de sterkte en het ruimtelijke patroon van ENSO zijn groot, waardoor lage zekerheid bestaat voor specifieke geprojecteerde veranderingen in ENSO en gerelateerde regionale verschijnselen in de 21ste eeuw. {5.4, 14.4}

E.3 Atmosfeer: luchtkwaliteit

- De van projecties in luchtkwaliteit (ozon en PM_{2.5}¹⁷ nabij het aardoppervlak) ontstaat vooral door emissies (inclusief CH₄), en minder door klimaatverandering (*redelijke zekerheid*). Er is hoge zekerheid dat op wereldschaal de opwarming leidt tot een lagere achtergrondconcentratie van ozon. Hoge CH₄-waarden (RCP8.5) kunnen deze afname teniet doen, waardoor de achtergrondconcentratie van ozon nabij het aardoppervlak tegen het jaar 2100 ongeveer 8 ppb (25% van de huidige waarden) toeneemt ten opzichte van scenario's met een kleine toename van CH₄ (RCP4.5 en RCP6.0) (*hoge zekerheid*). {11.3}
- Waarnemingen en modellen geven aan dat, onder verder gelijk blijvende omstandigheden, hogere oppervlaktetemperaturen in vervuilde gebieden leiden tot positieve terugkoppelingen in chemische processen en lokale emissies waardoor hoge waarden van ozon en PM_{2.5} zullen toenemen (*redelijke zekerheid*). Wat betreft PM_{2.5} zou klimaatverandering zowel natuurlijke

bronnen van aerosolen als de verwijdering door neerslag kunnen beïnvloeden, maar aan de algemene invloed van klimaatverandering op de verdeling van PM_{2.5} wordt geen niveau van zekerheid toegekend. {11,3}

E.4 Oceaan

De oceaan zal in de 21ste eeuw wereldwijd verder opwarmen. Er zal transport van warmte plaatsvinden van het oppervlak naar de diepe oceaan en dit zal de stromingen in de oceaan

- De sterkste opwarming van de oceaan wordt geprojecteerd voor het oppervlak in de tropen en subtropische gebieden van het Noordelijk Halfrond. Op grotere diepte zal de opwarming het sterkst zijn in de Zuidelijke Oceaan (hoge zekerheid). De beste schattingen van de opwarming van de oceaan in de bovenste honderd meter zijn ongeveer 0,6 °C (RCP2.6) tot 2,0 °C (RCP8.5), en ongeveer 0,3 °C (RCP2.6) tot 0,6 °C (RCP8.5) op een diepte van ongeveer 100 km tegen het einde van de 21ste eeuw. {12.4, 14.3}
- De thermohaliene circulatie in de Atlantische Oceaan (AMOC) zal in de 21ste eeuw zeer *waarschijnlijk* zwakker worden. Beste schattingen en ¹⁸ voor de afname volgende CMIP5 zijn 11% (1 tot 24%) bij RCP2.6 en 34% (12 tot 54%) bij RCP8.5. De sterkte van de AMOC neemt *waarschijnlijk* enigszins af rond 2050, maar door de grote interne variabiliteit zullen er ook decennia zijn waarin de sterkte van de AMOC toeneemt. {11.3, 12.4}
- Het is zeer *onwaarschijnlijk* dat de AMOC in de 21ste eeuw een plotselinge verandering zal ondergaan of zal wegvallen, bij de beschouwde scenario's. Er bestaat *lage zekerheid* wat betreft veranderingen in de AMOC

¹⁷ PM_{2.5} staat voor deeltjes (particulate matter) met een diameter van minder dan 2,5 micrometer, een maat voor de concentratie aerosolen in de atmosfeer.

¹⁸ De in deze paragraaf wijzen op een CMIP5 modelspreiding

na de 21ste eeuw, omdat het aantal analyses hiervan klein is en de resultaten niet eensluidend zijn. Echter, het wegvallen van de circulatie na de 21^{ste} eeuw kan bij grote en aanhoudende opwarming niet worden uitgesloten. {12.5}

E.5 Cryosfeer

Zeer waarschijnlijk zullen bij stijging van de wereldwijd gemiddelde temperatuur het oppervlak en de dikte van het zeeijs in het Noordpoolgebied verder afnemen, evenals de sneeuwbedekking op het Noordelijk Halfrond in de lente. Het wereldwijde volume van gletsjers zal verder afnemen. {12.4, 13.4}

- Voor het einde van de 21^{ste} eeuw wordt voor alle seizoenen een afname in zeeijs in het Noordpoolgebied voorzien, volgens het gemiddelde van meerdere modellen. De afname varieert van 43% bij RCP2.6 tot 94% bij RCP8.5 in september en van 8% tot 43% in februari (*redelijke zekerheid*) (*zie Figuren 7 en 8*). {12.4}
- Volgens de modellen die het gemiddelde en de trend van 1979-2012 van het zeeijsoppervlak in het noordpoolgebied het beste nabootsen, is bij het RCP8.5-scenario voor het midden van de 21^{ste} eeuw de Noordelijke IJszee in september waarschijnlijk vrijwel ijsvrij¹⁹ (*redelijke zekerheid*) (*zie Figuren 7 en 8*). Een projectie van wanneer in de 21^{ste} eeuw de Noordelijke IJszee in september vrijwel ijsvrij wordt, kan voor de andere scenario's niet met zekerheid worden gegeven. {11.3, 12.4, 12.5}
- Voor het zuidpoolgebied wordt bij stijging van de wereldwijd gemiddelde temperatuur voor het einde van de 21^{ste} eeuw met *lage zekerheid* een afname voorzien van het oppervlak en volume van het zeeijs. {12.4}
- Het volume van gletsjers wereldwijd, gletsjers nabij Antarctica niet meegerekend, neemt in de projecties tegen het einde van de 21^{ste} eeuw af met 15 tot 55% bij RCP2.6 en

35 tot 85% bij RCP8.5 (*redelijke zekerheid*). {13.4, 13.5}

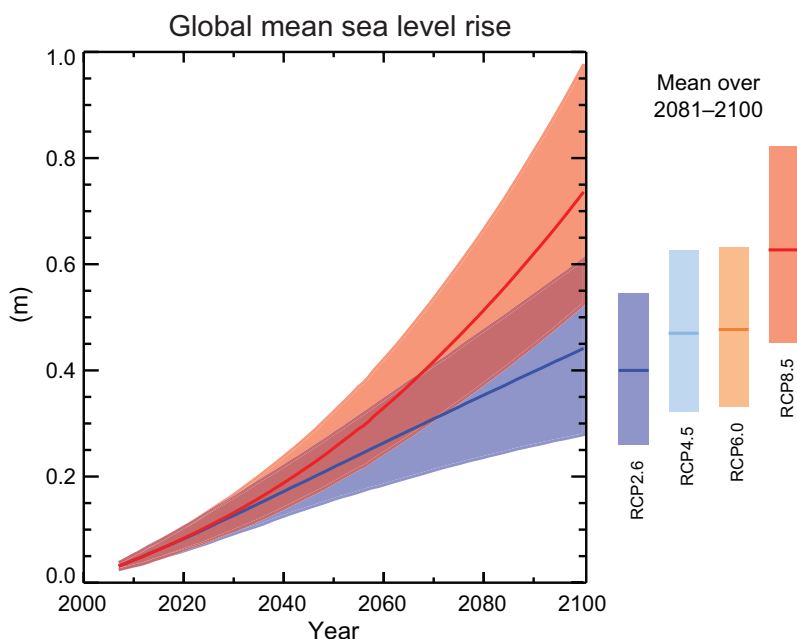
- Het sneeuwoppervlak op het Noordelijk Halfrond in de lente neemt in het gemiddelde van de gemodelleerde projecties tegen het einde van de 21^{ste} eeuw af met 7% bij RCP2.6 en met 25% bij RCP8.5 (*redelijke zekerheid*). {12.4}
- Het is zo goed als zeker dat het oppervlak van permafrost nabij het aardoppervlak op hoge noordelijke breedten af zal nemen als de wereldgemiddelde temperatuur toeneemt. Gemiddeld geven de gemodelleerde projecties voor het einde van de 21^{ste} eeuw een afname in het oppervlak van permafrost nabij het aardoppervlak (bovenste 3,5 m) van 37% (RCP2.6) tot 81% (RCP8.5) (*redelijke zekerheid*). {12.4}

E.6 Zeespiegel

In de 21^{ste} eeuw zal de wereldwijd gemiddelde zeespiegel verder stijgen. Bij alle RCP-scenario's zal het tempo van de zeespiegelstijging zeer waarschijnlijk hoger zijn dan het waargenomen tempo in de periode 1971-2010, als gevolg van toename in de opwarming van de oceaan en toename van massaverlies door gletsjers en ijskappen. {13.3-13.5}

- Het vertrouwen in projecties van de wereldgemiddelde zeespiegelstijging is sinds AR4 toegenomen dankzij toegenomen natuurkundig begrip van de verschillende bijdragen aan de zeespiegelstijging, de verbeterde overeenstemming van natuurkundige modellen met waarnemingen, en de opname in de modellen van de dynamica van ijskappen. {13.3-13.5}
- De wereldgemiddelde zeespiegelstijging in 2081-2100 ten opzichte van 1986-2005 ligt waarschijnlijk in de van 0,26 tot 0,55 m bij RCP2.6, 0,32 tot 0,63 m bij RCP4.5, 0,33 tot 0,63 m bij RCP6.0 en 0,45 tot 0,82 m bij

¹⁹ 'Vrijwel ijsvrij' betekent hier dat het oppervlak aan zeeijs gedurende minstens 5 opeenvolgende jaren kleiner is dan 1 miljoen km².



Figuur SPM.9 | Projecties van de wereldwijd gemiddelde zeespiegelstijging in de 21^{ste} eeuw, ten opzichte van 1986–2005, bepaald uit een combinatie van CMIP5- en zeespiegelmodellen, for de scenario's RCP2.6 en RCP8.5. De waarschijnlijke onzekerheidsmarge is weergegeven met een gekleurde band. De mediane waarden en waarschijnlijke onzekerheidsmarges voor alle RCP-scenario's voor de periode 2081–2100 zijn weergegeven rechts in de figuur. {table 13.5, figure 13.10 en 13.11, Figure TS.21 en TS.22}

RCP8.5 (redelijke zekerheid). Bij RCP8.5 is in 2100 de stijging 0,52 tot 0,98 m, en het tempo van de stijging is 8 tot 16 mm per jaar in de periode 2081–2100 (redelijke zekerheid). Deze zijn afgeleid uit CMIP5 projecties in combinatie met natuurkundige modellen van individuele processen, en schattingen uit de literatuur over de bijdrage van gletsjers en ijskappen (zie Figuur 9 en Tabel 2) {13.5}

- Bij alle RCP-scenario's draagt uitzetting door opwarming 30 tot 55% bij aan de wereldgemiddelde zeespiegelstijging, en gletsjers 15 tot 35%. De toename in het smelten van ijs aan het oppervlak van Groenland zal groter zijn dan de toename in sneeuwval, waardoor er een netto positieve bijdrage is aan de zeespiegelstijging (hoge zekerheid). Op Antarctica blijft de hoeveelheid ijs die smelt klein maar zal meer sneeuw vallen (redelijke zekerheid), wat een negatieve bijdrage aan de zeespiegel

geeft. Veranderingen in de uitstroom uit beide ijskappen tezamen geven waarschijnlijk een bijdrage in de van 0,03 tot 0,20 m in 2081–2100 (redelijke zekerheid). {13.3–13.5}

- Volgens de huidige inzichten kan alleen het instorten van nabij de oceaan gelegen delen van de Antarctische ijskap, als dat al zou gebeuren, in de 21^{ste} eeuw een hogere wereldwijde zeespiegelstijging veroorzaken die op zijn minst waarschijnlijk is. Het is echter redelijk zeker dat deze mogelijke extra bijdrage aan de zeespiegelstijging in de 21^{ste} eeuw hooguit enkele tientallen centimeters zal zijn. {13.3–13.5}
- De argumenten voor hogere wereldwijd gemiddelde zeespiegelstijging in de 21^{ste} eeuw zijn beschouwd, en de conclusie is dat er momenteel onvoldoende basis is om specifieke niveaus te bepalen met een kans die op zijn minst waarschijnlijk is. Veel projecties van de wereldgemiddelde zeespiegelstijging met semi-empirische modellen zijn hoger dan projecties gebaseerd op natuurkundige modellen (tot ongeveer twee keer zo hoog), maar er is geen overeenstemming binnen de wetenschappelijke wereld over de betrouwbaarheid van de semi-empirische projecties, waardoor deze een lage zekerheid hebben. {13.5}
- De zeespiegelstijging verschilt van plaatst tot plaatst. Tegen het einde van de 21^{ste} eeuw zal zeer waarschijnlijk voor meer dan ongeveer 95% van het oceaanoppervlak de zeespiegel zijn gestegen. Bij ongeveer 70% van de kustlijnen wereldwijd zal de verandering van de zeespiegel minder dan 20% afwijken van de wereldwijd gemiddelde verandering. {13.1, 13.6}

E.7 Koolstofdioxide en andere bio-geochemische cycli

Veranderingen in de koolstofcyclus door de klimaatverandering zullen de toename van CO₂ in de atmosfeer vergroten (hoge zekerheid). Verdere opname van koolstof door de oceaan zal de verzuring van de oceaan vergroten. {6.4}

- De oceaan zal tot 2100 koolstof blijven opnemen bij alle vier de RCP-scenario's, met hogere opname bij de hoge concentratie-scenario's (*zeer hoge zekerheid*). De toekomstige opname van koolstof door land is minder zeker. De meeste modellen projecteren een verdere opname bij alle scenario's, maar sommige modellen voorzien een verlies van koolstof door het land door klimaatverandering en veranderingen in landgebruik. {6.4}
- Op basis van Aardsysteemmodellen bestaat er hoge zekerheid dat de terugkoppeling tussen het klimaat en de koolstofcyclus positief is in de 21ste eeuw, dat wil zeggen, door klimaatverandering wordt de toename in de opname van CO₂ door het land en de oceaan verminderd, waardoor een groter deel van de CO₂-uitstoot in de atmosfeer blijft. Een positieve terugkoppeling tussen het klimaat en de koolstofcyclus op de tijdschaal van eeuwen tot millennia wordt ondersteund door waarnemingen en modellering van het paleoklimaat. {6.2, 6.4}
- Aardsysteemmodellen voorzien een wereldwijde toename in de verzuring van de oceaan bij alle RCP-scenario's. De afname in de pH nabij het oceaanooppervlak aan het einde van de 21ste eeuw is in de ²⁰ van 0,06 tot 0,07 bij RCP2.6, 0,14 tot 0,15 bij RCP4.5, 0,20 tot 0,21 bij RCP6.0 en 0,30 tot 0,32 bij RCP 8.5 (zie *Figuren SPM.7 en SPM.8*). {6.4}
- De totale CO₂-uitstoot²¹ in de periode 2012-2100 bij de RCP-scenario's, zoals bepaald met 15 aardsysteemmodellen, lopen uiteen van 140 tot 410 GtC bij RCP2.6, 595 tot 1005 GtC bij RCP4.5, 840 tot 1250 GtC bij RCP6.0 en 1415 tot 1910 GtC bij RCP8.5 (zie *Tabel SPM.3*). {6.4}
- Tegen 2050 zijn de jaarlijkse CO₂-emissies, afgeleid met aardsysteemmodellen bij RCP2.6, kleiner dan de emissies in 1990 (met 14 tot 96%). Tegen het einde van de eeuw geeft ongeveer de helft van de modellen kleine positieve emissies, terwijl de andere helft een netto verwijdering van CO₂ uit de atmosfeer voorziet. {6.4, TS.19}
- Het ontsnappen naar de atmosfeer van CO₂ of methaan uit dooiende permafrost in de 21ste eeuw wordt geschat op 50 tot 250 GtC bij RCP8.5 (lage zekerheid). {6.4}

E.8 Stabilisatie, lange-termijn gevolgen,

De wereldwijd gemiddelde opwarming aan het aardoppervlak tegen het einde van de 21ste eeuw en daarna wordt vooral bepaald door de totale uitstoot van CO₂ (zie *Figuur 10*). De meeste aspecten van klimaatverandering zullen zich eeuwenlang voordoen, zelfs als de uitstoot van CO₂ tot stilstand komt. De klimaatverandering door uitstoot van kooldioxide in het verleden, nu en in de toekomst, zal de komende eeuwen om serieuze inspanningen blijven vragen. {12.5}

Tabel SPM.3 Totale CO₂-uitstoot in de periode 2012-2100 bij de vier RCP-scenario's, gesimuleerd met de CMIP5 aardsysteemmodellen.

Scenario	Cumulatieve CO ₂ emissies 2012 tot 2100 ^a			
	GtC		GtCO ₂	
	gemiddelde		gemiddelde	
RCP2.6	270	140 tot 410	990	510 tot 1505
RCP4.5	780	595 tot 1005	2860	2180 tot 3690
RCP6.0	1060	840 tot 1250	3885	3080 tot 4585
RCP8.5	1685	1415 tot 1910	6180	5185 tot 7005

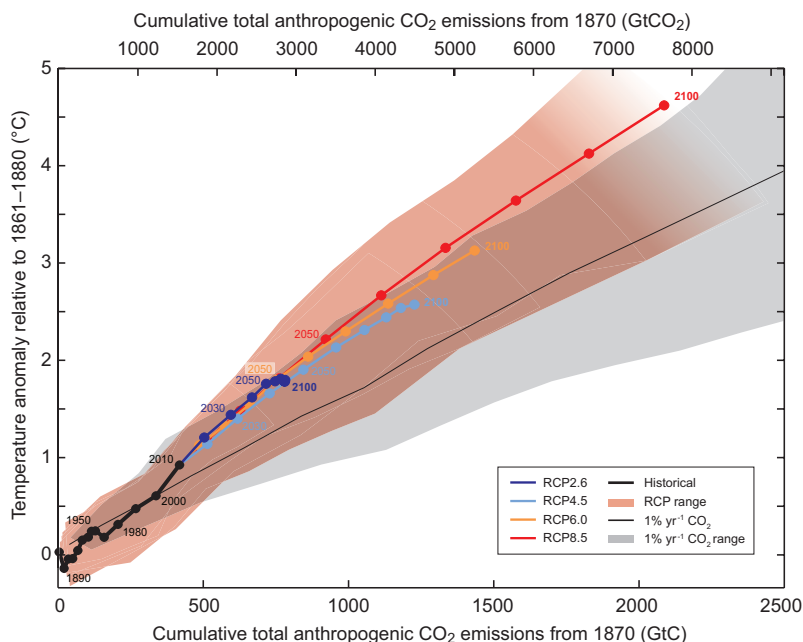
Notities: a 1 gigaton carbon = 1 GtC = 1015 gram carbon, dit correspondeert met

- De relatie tussen de totale CO₂-uitstoot²² en de verandering in de wereldgemiddelde temperatuur is bij benadering lineair (zie *Figuur 10*). Een bepaalde opwarming 'hoort' bij een bepaalde totale uitstoot, zodat, bijvoorbeeld, een hogere uitstoot in een vroeg stadium een lagere uitstoot in een later stadium betekent. {12.5}

²⁰ De in deze paragraaf wijzen op een CMIP5 modelspreiding

²¹ Van fossiele brandstoffen, cement, industrie en de afval sector

²² Kwantificering van deze reeks van de CO₂-uitstoot vereist dat er rekening gehouden wordt met de niet-CO₂-aanjagers.



Figuur SPM.10 | Geprojecteerde toename in de wereldwijd gemiddelde temperatuur als functie van de totale uitstoot van kooldioxide door de mens. Resultaten voor een groep van klimaat-koolstofcyclusmodellen zijn weergegeven voor vier RCPs met gekleurde lijnen en met punten voor de tien-jaar gemiddelden. De tien-jaar gemiddelden voor 2001-2010 (ster), 2041-2050 (vierkant) en 2091-2100 (ruit) zijn apart weergegeven. Modelresultaten voor het verleden (1860-2010) zijn zwart weergegeven. De gekleurde pluim toont de multi-model spreiding voor de vier RCP-scenario's en wordt lichter van kleur naarmate het aantal beschikbare modellen afneemt in RCP8.5. Het gemiddelde en de spreiding gesimuleerd met de CMIP5 modellen, die zijn geforceerd met een kooldioxide-toename van 1% per jaar, is weergegeven met de dunne zwarte lijn en grijze oppervlak. Voor een specifieke totale hoeveelheid CO₂, vertonen de 1% per jaar CO₂ simulaties minder opwarming dan de RCP-simulaties, die ook andere forceringen dan CO₂ bevatten. De gegeven waarden zijn ten opzichte van 1860-1880. Decennia-gemiddelden zijn verbonden door rechte lijnstukken.

- Beperking van de opwarming door alleen menselijke CO₂-uitstoot met een kans van >33%, >50% en >66% tot minder dan 2 °C ten opzichte van de periode 1861-1880²³, vereist dat de totale CO₂-uitstoot door de mens sinds die periode blijft tussen, respectievelijk²⁴, 0 en ongeveer 1570 GtC, 0 en ongeveer 1210 GtC, en 0 en ongeveer 1000 GtC. {12.5}

²³ De eerste 20-jarige periode beschikbaar uit de modellen

²⁴ Dit is gebaseerd op de beoordeling van de klimaat respons van voorbijgaande aard op cumulatieve uitstoot van koolstof (TCRE, zie sectie D.2).

- Een kleinere opwarming als doelstelling, of een grotere kans om beneden een bepaalde ten doel gestelde opwarming te blijven, vereist een kleinere totale CO₂-uitstoot. Als rekening wordt gehouden met de opwarming door andere broeikasgassen dan CO₂, of vermindering in aerosolen, of het vrijkomen van broeikasgassen uit permafrost, dan zal de totale uitstoot bij een bepaalde ten doel gestelde opwarming ook kleiner worden. {12.5}
- Een groot deel van de door de mens veroorzaakte klimaatverandering door CO₂-uitstoot is onomkeerbaar op de tijdschaal van vele eeuwen tot millennia, tenzij gedurende lange tijd netto CO₂ aan de atmosfeer wordt onttrokken. Na volledige beëindiging van de CO₂-emissies blijft de door de CO₂-emissies veroorzaakte opwarming gedurende vele eeuwen vrijwel onverminderd voortbestaan. Door de lange tijdschaal van warmteoverdracht van het oceaanoppervlak naar de diepte, zal de opwarming van de oceaan eeuwenlang aanhouden. Afhankelijk van het scenario, zal 15 tot 40% van de uitgestoten CO₂ langer dan 1000 jaar in de atmosfeer blijven. {BOX 6.1, 12.4, 12.5}
- De stijging van de wereldgemiddelde zeespiegel zal zich na 2100 zo goed als zeker voortzetten, waarbij de stijging als gevolg van uitzetting door opwarming vele eeuwen zal aanhouden. De weinige beschikbare modelresultaten die verder gaan dan 2100 wijzen op een stijging in 2300 ten opzichte van het pre-industriële niveau van minder dan 1 m bij een stralingsforcering door CO₂-concentraties die stijgen tot 500 ppm en daarna gaan en blijven dalen, zoals in het scenario RCP2.6. Bij een stralingsforcering door CO₂-concentraties hoger dan 700 ppm maar lager dan 1500 ppm, zoals in scenario RCP8.5, is de geprojecteerde stijging 1 m tot meer dan 3 m (redelijke zekerheid). {13.5}

- Grotere zeespiegelstijging is mogelijk bij aanhoudend massaverlies door ijskappen, en een deel van het massaverlies kan onomkeerbaar zijn. Er is hoge zekerheid dat aanhoudende opwarming boven een bepaalde drempelwaarde zou leiden tot een vrijwel geheel verdwijnen van de Groenlandse ijskap in 1000 jaar of meer, wat een wereldgemiddelde zeespiegelstijging van tot 7 m zou veroorzaken. De drempelwaarde wordt geschat op meer dan 1 °C (*lage zekerheid*) maar minder dan 4 °C (*redelijke zekerheid*) wereldgemiddelde opwarming ten opzichte van de pre-industriële periode. Abrupt en onomkeerbaar verlies van ijs door een mogelijke instabiliteit van de aan zee gelegen delen van de ijskap van Antarctica als gevolg van klimaatverandering is mogelijk, maar de huidige inzichten zijn onvoldoende om een kwantitatieve schatting te maken. {5.8, 13.4, 13.5}
- Er zijn methoden voorgesteld om opzettelijk het klimaatstelsel te veranderen om klimaatverandering tegen te gaan, geoengineering genaamd. Door gebrek aan gegevens is een uitgebreide kwantitatieve schatting van zowel methoden om de zonnenstraling te beïnvloeden (solar radiation management, SRM) als van methoden om kooldioxide te verwijderen (carbon dioxide removal, CDR) en de effecten hiervan op het klimaatstelsel niet mogelijk. CDR-methoden hebben biochemische en technologische beperkingen om op wereldschaal toe te passen. Er is te weinig kennis om te kunnen bepalen hoeveel CO₂-uitstoot kan worden gecompenseerd op de tijdschaal van een eeuw. Modellen geven aan dat SRM-methoden, als ze al realiseerbaar zijn, mogelijk een aanzienlijk deel van de wereldwijde temperatuurstijging teniet kunnen doen, maar ze zouden ook de wereldwijde waterkringloop beïnvloeden, en zouden de verzuring van de oceaan niet tegen gaan. Als SRM om wat voor reden dan ook zou worden beëindigd, is er hoge zekerheid dat de temperatuur wereldwijd zeer snel zou stijgen tot waarden die passen bij de forcering door de broeikasgassen. CDR en SRM methoden hebben bijwerken en lange-termijn gevolgen op wereldschaal. {6.5, 7.7}

Tekstbox SPM.1: Representative Concentration Pathways (RCP)

Voor projecties van klimaatverandering IPCC Werkgroep I is informatie nodig over toekomstige emissies of concentraties van broeikasgassen, aerosolen en andere klimaataanjagers. Deze informatie wordt vaak uitgedrukt als een scenario van menselijke activiteiten, die niet in dit verslag worden beoordeeld. Scenario's die in deze werkgroep gebruikt zijn, hebben gefocust op antropogene emissies en houden geen rekening met veranderingen in de natuurlijke oorzaken zoals zonne- of vulkanische forcering of natuurlijke emissies, bijvoorbeeld van CH₄ en N₂O.

Voor het vijfde Assessment Report van het IPCC, heeft de wetenschappelijke gemeenschap een set van vier nieuwe scenario's gedefinieerd, de Representative Concentration Pathways (RCP).

Zij worden onderscheiden op basis van door hun geschatte totale stralingsforcering in het jaar 2100 ten opzichte van 1750: 2,6 W m⁻² voor RCP2.6, 4,5 W m⁻² voor RCP4.5, 6,0 W m⁻² voor RCP6.0, en 8,5 W m⁻² voor RCP8.5. Voor de Coupled Model Intercomparison Project Fase 5 (CMIP5) resultaten, moeten deze waarden worden opgevat als slechts indicatief, omdat de klimaatforcering als gevolg van alle drivers varieert tussen modellen door de specifieke modelkenmerken en behandeling van kortlevende klimaatforceringen. Deze vier RCPs omvatten een mitigatiescenario dat leidt tot een zeer laag forceringsniveau (RCP2.6), twee stabilisatiescenario's (RCP4.5 en RCP6.0), en een scenario met een zeer hoge uitstoot van broeikasgassen (RCP8.5).

De RCP kan derhalve meerdere vormen van 21^e eeuw klimaatbeleid representeren, in vergelijking met de geen-klimaatbeleid van het speciaal verslag over Emissie Scenario's (SRES) gebruikt in het derde en vierde Assessment Report. Voor RCP6.0 en RCP8.5, piekt stralingsforcering niet voor 2100; voor RCP2.6 piekt het voor 2100 en daalt het daarna; en voor RCP4.5 stabiliseert het in 2100. Elk RCP biedt datasets plaatsafhankelijke veranderingen in landgebruik en sectorale emissies van luchtverontreinigende stoffen, en specificeert jaarlijkse concentraties van broeikasgassen en antropogene uitstoot tot 2100. RCPs zijn gebaseerd op een combinatie van geïntegreerde beoordelingsmodellen, eenvoudige klimaatmodellen, atmosferische chemie en mondiale koolstofcyclusmodellen. Terwijl de RCPs een breed scala van totale forceringswaarden bestrijken, hebben ze geen betrekking op het volledige gamma van de uitstoot in de literatuur, in het bijzonder voor aerosolen.

Het merendeel van de CMIP5 en Aardsysteem Model simulaties werd uitgevoerd met voorgeschreven CO₂-concentraties die 421 ppm (RCP2.6), 538 ppm (RCP4.5), 670 ppm (RCP6.0), en 936 ppm (RCP 8.5) bereiken in het jaar 2100. Inclusief ook de voorgeschreven concentraties van CH₄ en N₂O, zijn de gecombineerde CO₂-equivalente concentraties 475 ppm (RCP2.6), 630 ppm (RCP4.5), 800 ppm (RCP6.0) en 1313 ppm (RCP8.5). Voor RCP8.5 worden extra CMIP5 Earth System Model simulaties uitgevoerd met de voorgeschreven CO₂-uitstoot, zoals bepaald door de geïntegreerde evaluatie-modellen. Voor alle RCPs werden aanvullende berekeningen gemaakt met bijgewerkte atmosferische chemie data en modellen (inclusief de atmosferische chemie en klimaat component van CMIP5) met behulp van de per RCP voorgeschreven emissie van de chemisch reactieve gassen (CH₄, N₂O, HFK's, NO_x, CO, NMVOC). Met deze simulaties is het mogelijk om onzekerheden te onderzoeken in de koolstofcyclus en de atmosferische chemie.

Deze brochure is een uitgave van:

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Postbus 201 | 3730 AE De Bilt
T 030 220 69 11 | www.knmi.nl

© KNMI | oktober 2014