

ONAFHANKELIJKE SAMENVATTING VOOR BELEIDSMAKERS VAN DE TEKST VAN HET INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) 4^e ASSESSMENT RAPPORT

Inhoud:

Lijst van auteurs.....	2
Introductie.....	3
Noot vd vertaler.....	5
Précis.....	6
1 Waargenomen veranderingen in factoren die het klimaat kunnen beïnvloeden.....	9
1.1 “Stralingsforcering” als conceptueel model voor het vergelijken van klimaateffecten	
1.2 Broeikasgassen	
1.3 Aerosolen	
1.4 Veranderingen in de zon en zon-klimaat connecties	
1.5 Verandering aan het landoppervlak	
2 Waargenomen veranderingen in weer en klimaat.....;;	19
2.1 Grootschalige temperatuurgemiddelden	
2.2 Neerslag en sneeuwbedekking	
2.3 Stormen en extreem weer	
2.4 Oceaantemperaturen en de zeespiegel	
2.5 Gletsjers, zeeijs en ijskappen	
2.6 Vochtigheid en stralingsflux	
3 Klimatologische veranderingen vanuit een paleoklimatologisch perspectief.....	37
3.1 Historische aanwijzingen van warme en koude episodes	
3.2 Globale klimaatreconstructies van de laatste 2000 jaar	
4 Klimaatmodellen en hun evaluatie.....	43
4.1 Fundamentele beperkingen van klimaatmodellen	
5 Globale en regionale klimaatvoorspellingen.....	46
5.1 Reproductie van het huidige klimaat	
5.2 Voorspellingen voor de komende eeuw zijn inherent onzeker	
5.3 Model gegenereerde voorspellingen van globale opwarming	
6 Attributie van de oorzaken van klimaatverandering.....	52
6.1 Klimaatverandering meten en analyseren	
6.2 Problemen met het toekennen van klimaatverandering aan specifieke oorzaken	
6.3 Aannames nodig om klimaatverandering toe te kennen aan antropogene oorzaken	
7 Algemene conclusies.....	58
Referenties.....	59
Appendix 1 - Expert Review.....	61
Appendix 2 - Over de auteurs.....	63
Appendix 3 – Woordenlijst.....	66

LIJST VAN AUTEURS

COORDINATOR

Ross McKittrick, Ph.D. Associate Professor, Department of Economics, University of Guelph and Senior Fellow, Fraser Institute, Vancouver BC.

SCHRIJVERSTEAM

Joseph D'Aleo, M.Sc. Chief Meteorologist (Ret'd) WSI Corporation. Past Chairman, American Meteorological Society Committee on Weather Analysis and Forecasting. Member, American Meteorological Society Council. Fellow, American Meteorological Society. Certified Consulting Meteorologist.

Madhav Khandekar, Ph.D. Research Scientist (ret'd), Environment Canada. Editor, *Climate Research* 2003-2005. Member, Editorial Board, *Natural Hazards* since 1999. Previously, Lecturer in Meteorology, Barbados (West Indies); International Civil Aviation Organization Expert in Aeronautical Meteorology, Qatar.

William Kininmonth, M.Sc., M.Admin. Head (ret'd) National Climate Centre, Australian Bureau of Meteorology. Eerder: Consultant to the World Meteorological Organization Commission for Climatology; Scientific and Technical Review Coordinator, United Nations Task Force on El Nino.

Christopher Essex, Ph.D. Professor of Applied Mathematics, University of Western Ontario, and Associate Director, Program in Theoretical Physics. Formerly, NSERC Postdoctoral Fellow, Canadian Climate Centre.

Wibjörn Karlén, Ph.D. Professor emeritus, Dept. of Physical Geography and Quaternary Geology, Stockholm University, Sweden

Olavi Kärner, Ph.D. Senior Research Associate, Atmospheric Sensing Group, Tartu Astrophysical Observatory, Tõravere, Estonia.

Ian Clark, Ph.D. Professor of Arctic Paleohydrology and Geology, University of Ottawa.

Tad Murty, Ph.D. Adjunct Professor, Departments of Earth Sciences and Civil Engineering, University of Ottawa; Editor, *Natural Hazards*; Associate Editor *Marine Geodesy*; Leader, World Meteorological Organization group to prepare a manual on storm surges from hurricanes and extra-tropical cyclones. Formerly: Senior Research Scientist, Canadian Department of Fisheries and Oceans; Professor of Earth Sciences, Flinders University, Adelaide, Australia; Director of Australia's National Tidal Facility.

James J. O'Brien, Ph.D. Robert O. Lawton Distinguished Professor, Meteorology & Oceanography and Director Emeritus of the Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies, Florida State University. Florida State Climatologist. Fellow of the American Meteorological Society, Fellow of the American Geophysical Union, Fellow of the Royal Meteorological Society, Fellow of the American Association for the Advancement of Science.

ONAFHANKELIJKE SAMENVATTING VOOR BELEIDSMAKERS van de Tekst van het IPCC Vierde Assessment Rapport

INTRODUCTIE

Dit is een Onafhankelijke Samenvatting voor Beleidsmakers (“Independent Summary for Policy Makers”; ISPM) van het Vierde Assessment Rapport (AR4), werkgroep 1, van het “Intergovernmental Panel on Climate Change” (IPCC). Bij het maken ervan hebben wij onafhankelijk van het IPCC gewerkt, gebruik makend van de “Second Order Draft” van het IPCC rapport zoals rondgestuurd nadat aanpassingen waren gemaakt in antwoord op de eerste expertpreview periode tijdens de winter en lente van 2006. Referenties naar secties zullen vergeleken worden met de uiteindelijke IPCC versie, die wereldkundig gemaakt zal worden in de winter van 2007. Als het IPCC, bij de voorbereidingen op de uiteindelijke versie van AR4, de tekst van het Assessment substantieel herschrijft, zodat het sleutel materiaal voor de samenvatting zoals hier gepresenteerd herschreven dient te worden, dan zal dit gebeuren in een Appendix.

De rationale van het Fraser Instituut voor het ISPM

In de voorbereidingen op zijn rapportages maakt het IPCC gebruik van veel experts. Echter, auteurs van hoofdstukken worden regelmatig gevraagd actuele controverses en geschillen – waarbij zij zelf direct betrokken zijn - samen te vatten, waardoor er belangenverstrengeling optreedt. Dit hangt samen met het probleem dat de auteurs van hoofdstukken hun eigen gepubliceerde werk zouden kunnen promoten door het nadrukkelijk of op flatterende wijze te presenteren. Desondanks is het rapport vrij volledig en informatief. Bepaald onderzoek dat in tegenspraak is met de hypothese dat broeikasgassen opwarming veroorzaakt kan onderbelicht blijven, en sommige controverses kunnen op eenzijdige wijze behandeld worden, maar de rapporten verdienen de nodige aandacht.

Een meer aansprekend probleem is dat de Samenvatting voor Beleidsmakers (“*Summary for Policy Makers*”), behorende bij het IPCC rapport, niet wordt gemaakt door de wetenschappelijke auteurs en reviewers, maar via een proces van onderhandeling tussen niet nader genoemde bureaucratische afgevaardigden van betrokken ministeries. Hun keuze uit het beschikbare materiaal hoeft, geen afspiegeling te zijn van de prioriteiten en de bedoelingen van de wetenschappelijke gemeenschap zelf en is dat wellicht ook niet. Daarom is het nuttig dat onafhankelijke experts het onderhavige rapport hebben gelezen de belangrijkste elementen van het rapport hebben samengevat.

Tot slot: hoewel het IPCC van veel expert reviewers gebruik maakt wordt er niet verteld in hoeverre zij het oneens waren met een deel of zelfs al het materiaal dat zij gereviewd hebben. In vorige IPCC rapporten hebben vele expert reviewers serieuze tegenwerpingen geuit, en hoewel hun kritiek genegeerd is, worden ze vermeld in de dankbetuiging van het uiteindelijke document, wat de indruk wekt dat ze de opvattingen ervan ondersteunen.

Het ISPM komt aldus aan deze zorg tegemoet

- Het ISPM werd gemaakt door experts die volledig gekwalificeerd en ervaren zijn in hun vakgebied, maar die niet zelf auteur zijn van IPCC hoofdstukken dan wel van de IPCC Samenvatting voor Beleidsmakers.
- Het ISPM vat de belangrijkste elementen van de wetenschap samen, ongeacht of dezelfde hoeveelheid aandacht is gegeven in de IPCC samenvattingen. Er wordt geen poging gedaan

om de wetenschappelijke onzekerheden en beperkingen te bagatelliseren of te herformuleren, en daardoor is het mogelijk dat paragrafen in het ISPM niet identiek zijn aan die in de Samenvatting die door het IPCC gemaakt is.

- Als een hoofdstuk van het AR4 het onderwerp introduceert door slechts beperkt in te gaan op diepliggende onzekerheden, om daarna resultaten uitgebreid te presenteren alsof de onzekerheden er niet zijn, dan kan het ISPM proportioneel meer aandacht besteden om de onzekerheden beter te begrijpen dan alleen de resultaten tezamen te vatten, daar waar dit wordt beschouwd als een betere wijze om de onderliggende status van de kennis te karakteriseren.
- Op een aantal plaatsen vond het schrijversteam dat de behandeling van een onderwerp in het Vierde Assessment inadequaaf was, of dat extra commentaar nodig was voor perspectief. Dit wordt aangegeven in aparte kaders. Daarnaast zal het Fraser Instituut een serie van korte aanvullende artikelen publiceren om te voorzien in een meer gedetailleerde discussie over een aantal technische onderwerpen. Hiernaar wordt ook op verschillende plaatsen in het ISPM gerefereerd.
- Het ISPM is beoordeeld (“peer reviewed”) door onafhankelijke experts die aan het eind van het ISPM te vinden zijn. Antwoorden op vragen naar aanleiding van hun beoordeling zijn samengevat in een tabel zodat lezers kunnen zien in hoeverre de reviewers het eens zijn met de inhoud van deze samenvatting.

Formele kanttekeningen

- “TAR” (*Third Assessment Report*) refereert naar het Derde IPCC Assessment Rapport, werkgroep I (WGI), gepubliceerd in 2001.
- “AR4” (*Fourth Assessment Report*) refereert naar het Vierde IPCC Assessment Rapport, Tweede Draft (*Second Order Draft*), werkgroep I.
- Referenties bij secties die tussen haakjes staan, bv. [3.4.3.1], verwijzen naar het IPCC Vierde Assessment Rapport, tweede versie, werkgroep I. Sommige referenties verwijzen naar Eindvragen behorende bij de AR4 hoofdstukken, bv. [Vraag 5.1].

Dankbetuiging

Stephen McIntyre heeft geholpen bij het vergelijken van gegevens, het maken van vele grafieken en het technisch redigeren van bepaalde secties. Hij wordt vriendelijk bedankt voor zijn bijdrage.

Noot van de vertaler.

Voor zover mogelijk heeft de vertaler van dit document getracht zo correct mogelijk de Engelstalige formuleringen te volgen. Echter, omdat er veel vaktermen gebruikt worden en de Engelse bewoording van de tekst bij een al te letterlijke vertaling een andere betekenis krijgt, kunnen zinnen of onderdelen daarvan op andere wijze verwoord zijn. Deze vertaling is vooral gemaakt om de tekst toegankelijker te maken voor een groter publiek. Indien er naar deze tekst verwezen of gerefereerd wordt verdient het aanbeveling ook de oorspronkelijke Engelstalige tekst te raadplegen.

Daarnaast is het belangrijk te vermelden dat sommige uitdrukkingen in het Engels en Nederlands verschillen in hun betekenis. Zo maakt men in het Engels gebruik van zowel “proof” als “evidence” voor het woord “bewijs”. “Proof” is daarbij sterker dan “evidence”, wat bovendien ook bewijsmateriaal kan betekenen. Dat er “evidence” is wil dus niet zeggen dat iets “bewezen” is, maar blijkt over het algemeen te verwijzen naar het bewijsmateriaal (“de aanwijzingen”). Iets soortgelijks geldt voor “predictions” en “projections”, welke beide als “voorspelling” vertaald kunnen worden. Het IPCC heeft er voor gekozen om te spreken over “projecties”, niet over “voorspellingen”, maar feitelijk is dit puur semantisch, aangezien er geen duidelijk onderscheid tussen beide te maken is

Aan deze vertaling kunnen geen rechten worden verleend.

Januari 2007.

Distributie Nederlandse versie: www.groenerekenkamer.nl

PRÉCIS

Waargenomen veranderingen in factoren die het klimaat kunnen beïnvloeden

Het klimaat is gevoelig voor de mogelijke invloed van zowel natuurlijke als menselijk handelen, inclusief broeikasgasconcentraties, aerosolen, zonneactiviteit, landoppervlaktenprocessen, oceaancirculaties en waterdamp. Kooldioxide is een broeikasgas, en de atmosferische concentratie ervan neemt toe, grotendeels vanwege door menselijk handelen veroorzaakte emissies.

Het IPCC geeft slechts beperkt aandacht aan aerosolen, zonneactiviteit en veranderingen in landgebruik om 20^e eeuwse klimaatveranderingen te verklaren. Aerosolen hebben potentieel een grote invloed op het klimaat maar hun invloed is slecht begrepen. Sommige aanwijzingen suggereren dat de zonneactiviteit is toegenomen tijdens de 20^e eeuw tot historisch hoge waarden. Van veranderingen in landgebruik wordt door het IPCC aangenomen dat ze slechts een kleine rol spelen in het verklaren van waargenomen klimaatverandering.

Waargenomen veranderingen in weer en klimaat

Wereldgemiddelde metingen van atmosferische temperaturen uit satellietgegevens sinds 1979 laten een toename zien van 0.04 °C tot 0.20 °C per decade over deze periode, welke aan het lage uiteinde van de door het IPCC geschatte toekomstige opwarming liggen. Wereldgemiddelde temperatuurgegevens die aan het aardoppervlak verzameld zijn laten een toename zien van 1900 tot 1940 en wederom van 1979 tot aan nu.

Er bestaat wereldwijd geen eenduidig patroon in lange termijn neerslagtrends, sneeuwbedekking of sneeuwdikte. De meeste plaatsen laten een lichte toename van regen en/of sneeuw(bedekking) zien. Er zijn onvoldoende gegevens om conclusies te kunnen trekken over een toename in extreme temperaturen en neerslag. Huidige gegevens suggereren een wereldgemiddelde zeespiegelstijging van 2 tot 3 mm per jaar gedurende de laatste paar decades. In de tropen zijn er aanwijzingen voor toegenomen intensiteit van cyclonen maar een afname in de totale *aantal* tropische stormen, en geen duidelijk wereldwijd patroon sinds 1970.

Het Noordpoolzeeijs laat een abrupte afname in oppervlakte zien vóór de jaren 1990, en de afname is kort daarna gestopt. Er zijn onvoldoende gegevens om te concluderen dat er een trend is in de dikte van het Zuidpoolzeeijs. Gletsjers hebben zich op de meeste plaatsen teruggetrokken, en afname versnelde in de jaren 1990.

Klimaatverandering in een paleoklimatologisch perspectief

Paleoklimatologie verwijst naar het Aardse klimaat voor de start van de moderne instrumentele meetreeksen. Er zijn historische voorbeelden van grote, natuurlijke wereldwijde opwarming en afkoeling in het verre verleden. De Aarde bevindt zich momenteel in een warme interglaciale periode, en het blijkt dat temperaturen tijdens het vorige interglaciaal warmer waren dan nu.

Van natuurlijke klimaatvariabiliteit en de onzekerheden die voortkomen uit paleoklimatologische studies wordt nu aangenomen dat ze groter zijn dan tot voor kort werd aangenomen. In het algemeen zijn er maar weinig meetgegevens en deze zijn onzeker, en van veel meetreeksen wordt in twijfel getrokken of ze in staat zijn historische temperatuurvariabiliteit te weerspiegelen. Deze onzekerheden zijn van belang om te kunnen bepalen of klimaatmodellen in staat zijn realistische historische klimaatveranderingen te simuleren.

Klimaatmodellen en hun evaluatie

Sommige algemene klimaatmodelvoorspellingen die 30 jaar geleden gemaakt werden zijn consistent met recente meetgegevens, maar er blijven fundamentele beperkingen met klimaatmodellen die niet verbeterd zijn sinds het Derde IPCC rapport uit 2001. Vele modellen zijn niet in staat om belangrijke aspecten van het hedendaagse klimaat te simuleren, en modellen verschillen aanzienlijk in hun voorspellingen. Het is niet mogelijk om aan te geven, voor zover al een is, welke van de hedendaagse klimaatmodellen betrouwbaar is om het toekomstige klimaat mee te voorspellen.

Wereldwijde en regionale klimaatvoorspellingen

Modelvoorspellingen van de toekomst laten een bepaald bereik zien, en onzekerheid manifesteert zich op allerlei niveaus in dit proces. Voorspellingen voor de 21^e eeuw zijn inherent onzeker, vooral op regionale schaal.

Hedendaagse modellen voorspellen: een stijging van de gemiddelde oppervlaktetemperatuur; een toename op van de kans op droogte en hittegolven; een toename van de kans op zware neerslag en overstromingen; langer groeiseizoen; en een gemiddelde zeespiegelstijging van 30 cm tijdens de komende 100 jaar.

Van de gletsjermassa wordt voorspeld dat zij afneemt. Een abrupte verandering van de oceaancirculatie is erg onwaarschijnlijk. De intensiteit van tropische cyclonen zou kunnen toe- of afnemen.

De attributie van de oorzaken van klimaatverandering

Het toekennen van waargenomen klimaatveranderingen aan specifieke oorzaken (“attributie”), zoals broeikasgassen, is formeel niet mogelijk, en is daarom afhankelijk van computermodelsimulaties. Vooralsnog nemen attributiestudies niet de fundamentele basisonzekerheden van klimaatmodellen in ogenschouw, of alle potentieel belangrijke invloeden.

Toegenomen vertrouwen dat een menselijke invloed op het wereldwijde klimaat geïdentificeerd kan worden is gebaseerd op meer frequent gebruik van attributiestudies sinds het Derde IPCC rapport uit 2001. Modellen die gebruikt worden voor de attributie van recente klimaatveranderingen schatten dat natuurlijke oorzaken alleen niet zouden leiden tot het huidige waargenomen klimaat.

Algemene conclusies

De volgende concluderende verklaring is niet afkomstig uit het Vierde Assessment Rapport, maar was overeengekomen door het ISPM schrijversteam en gebaseerd op hun beoordeling van het huidige bewijsmateriaal.

Het Aardse klimaat is en extreem complex systeem en we moeten de problemen met de analyse ervan niet onderschatten. Ondanks de vele beperkingen en onzekerheden blijft de kennis over het klimaatsysteem groeien dankzij verbeterde en steeds uitgebreidere gegevens en een verbeterde kennis van meteorologische en oceanografische mechanismen.

Het klimaat heeft kleine veranderingen ondergaan gedurende de afgelopen 200 jaar, en de temperatuurmeetreeksen boven land van de afgelopen 100 jaar laten op veel plaatsen een opwarming zien. Meetproblemen, inclusief een onevenwichtige ruimtelijke verdeling, ontbrekende gegevens en lokale veranderingen in landgebruik, maken de interpretatie van deze trends moeilijk. Andere, meer stabiele meetgegevens, zoals satellietwaarnemingen, ballonsondes en zeevatertemperaturen tonen een kleinere opwarming. De feitelijke klimaatverandering is op veel plaatsen relatief klein, en, voor

het grootste deel, niet waarneembaar gezien het bereik van bekende natuurlijke variaties. Er is geen aansprekend bewijsmateriaal dat er gevaarlijke of ongekende veranderingen gaande zijn

De beschikbare gegevens voor de afgelopen eeuw kunnen geïnterpreteerd worden binnen het raamwerk van een verscheidenheid aan hypothesen over de oorzaken en mechanismen van de gemeten veranderingen. De hypothese dat emissies van broeikasgassen een significante opwarming van het Aardse klimaat zouden hebben of zouden kunnen veroorzaken sinds het begin van het industriële tijdperk is geloofwaardig, en verdient voortdurende aandacht. Echter, de hypothese kan niet worden bewezen met formeel theoretische argumenten, en de beschikbare gegevens laten ruimte voor het geloofwaardig betwisten van die hypothese.

Argumenten voor de hypothese zijn gebaseerd op computersimulaties, welke nooit uitsluitel kunnen bieden als ondersteunend bewijs. De computermodellen die gebruikt worden zijn noodzakelijkerwijs geen directe berekeningen van alle basis fysica maar zijn gebaseerd op empirische benaderingen voor vele van de kleinschalige processen van oceaan en atmosfeer. Ze zijn zo afgestemd dat ze een geloofwaardige simulatie van wereldwijde klimaatstatistieken opleveren, maar die garandeert geen betrouwbaarheid voor toekomstige klimaatomstandigheden. En er zijn genoeg vrijheidsgraden in de modellen waarmee de modelresultaten aangepast kunnen worden waardoor ze niet gebruikt kunnen worden als ondersteunend bewijsmateriaal van welke combinatie van vrijheidsgraden dan ook, zoals die welke samenhangt met een sterk effect van broeikasgassen.

Er wordt in het Vierde Assessment Rapport van het IPCC geen bewijsmateriaal geleverd dat de onzekerheid in beginsel formeel opgelost kan worden uit eerste beginselen, statistische tests of proeven met modellen. Als gevolg daarvan zal een onvermijdbaar element van onzekerheid altijd blijven bestaan over de vraag tot welke hoogte de mens bijdraagt aan toekomstige klimaatverandering, en in hoeverre een dergelijke verandering inderdaad goed of slecht is.

1: WAARGENOMEN VERANDERINGEN IN FAKTOREN DIE HET KLIMAAT KUNNEN BEINVLOEDEN

1.1 “STRALINGSFORCERING” ALS CONCEPTUEEL INSTRUMENT OM KLIMAATEFFECTEN TE VERGELIJKEN.

[1.1a] “Stralingsforcering” (SF, “Radiative Forcing” in het Engels) is een concept dat probeert het klimaateffect van verschillende veranderingen in het milieu samen te vatten. Het wordt niet direct gemeten, en het is ook niet gerelateerd aan het “broeikaseffect”, en in het algemeen blijft het slecht gekwantificeerd.

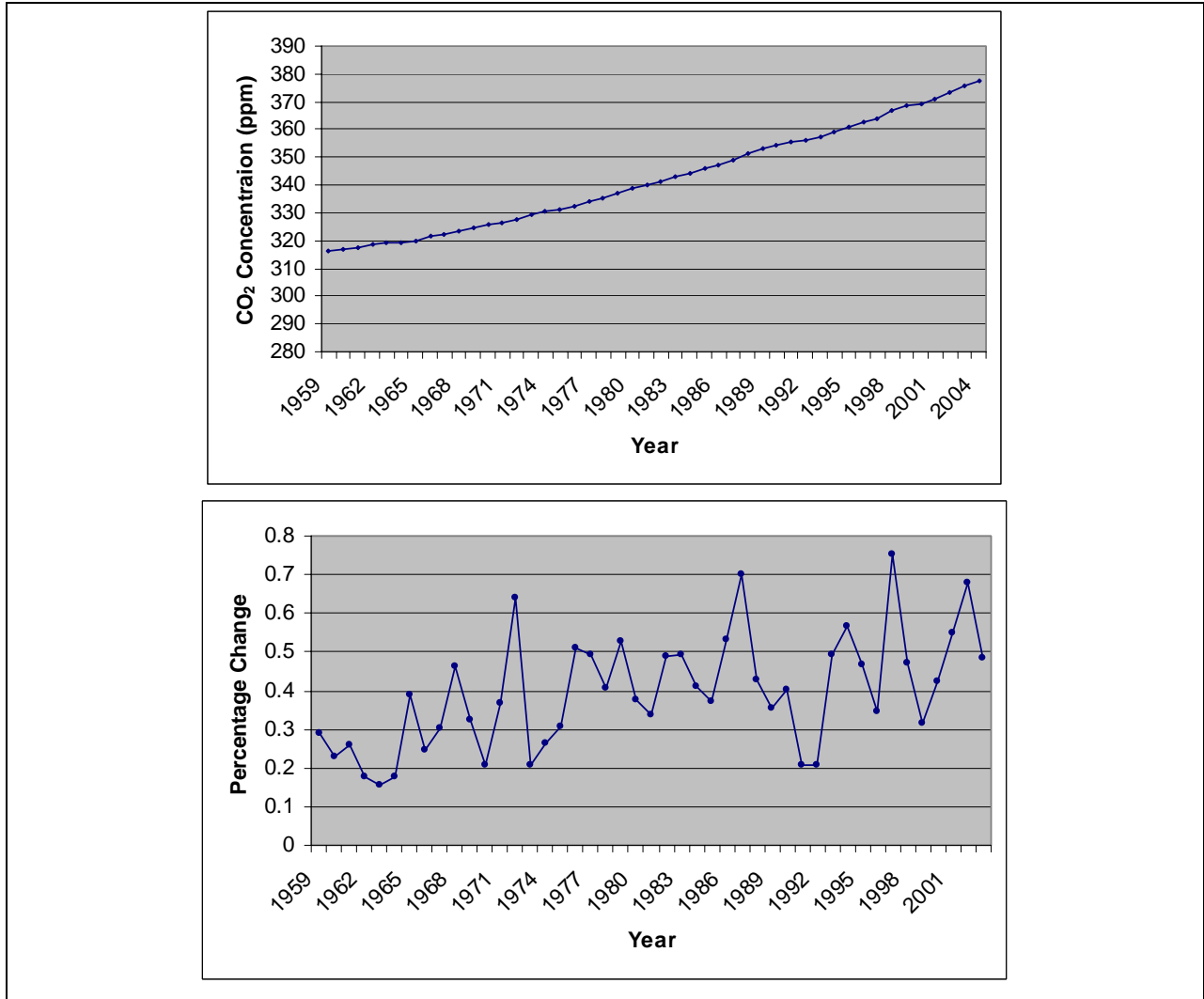
- SF is een concept dat is ontstaan vanuit de eerste klimaatstudies die gebruik maakten van simpele stralingsconvectieve modellen. Het wordt niet direct gemeten. In plaats daarvan wordt het berekend door vereenvoudigde klimaatmodellen onder de aanname dat een vergelijking gemaakt kan worden tussen klimaatevenwichten. Het klimaat bereikt echter nooit een evenwicht, maar is het toonbeeld van voortdurende aanpassing aan externe en interne veranderingen. De SF relatie met voortdurende klimaatveranderingen is niet rechttoe-rechtaan. Om de totale aanpassing van het klimaat ten gevolge van een gegeven forcering te kunnen evalueren moeten de variaties van die forcering in tijd en in de hoogte meegenomen worden. Daarnaast kan de SF sec niet gebruikt worden om de mogelijke klimaatverandering ten gevolge van emissies in te schatten omdat het de verschillende atmosferische verblijftijden van de verschillende forceringen niet beschouwd. [2.2]
- SF zelf is niet direct gerelateerd aan het “broeikaseffect” dat toegeschreven wordt aan broeikasgassen [2.3.8].
- De bepaling van SF in Watts per vierkante meter is een afspraak, maar SF zelf is een niet te meten fysische grootheid. In plaats daarvan wordt het berekend door een lineaire relatie aan te nemen tussen zekere klimatologische forceringen en specifiek de gemiddelde temperatuurgegevens. De verschillende processen die het probeert te benaderen zijn zelf slecht gekwantificeerd. [2.2]
- Een waargenomen afname van de stralingsflux in de karakteristieke stralingsbanden van CO₂ en methaan tussen 1970 en 1997 wordt wel toegeschreven aan veranderende concentraties. Dit is wat bedoeld wordt met de term “versterkt broeikaseffect”, maar dit is op zijn beurt niet gerelateerd aan het “StralingsForcering” concept [2.3.8].

Aanvullende Informatie: Broeikassen en ‘broeikasgassen’

Hoewel het gebruik van de uitdrukking ‘broeikas’ tegenwoordig onvermijdbaar is, is de uitdrukking ‘broeikaseffect’ een ongeschikte metafoor omdat het een parallel suggereert tussen het mechanisme dat opwarming in een echte broeikas veroorzaakt en de invloed van infrarood-actieve gassen, zoals waterdamp en kooldioxide, op het Aardse klimaatsysteem. De twee mechanismen verschillen aanzienlijk, en de metafoor is misleidend. Het houdt geen rekening houden met de complexiteit die voortkomt uit niet-lineaire dynamische processen van ons klimaatsysteem, met name verdamping, convectie, turbulentie en andere vormen van atmosferische vloeistofdynamica, waarmee energie wordt verwijderd van het aardoppervlak. Simplistische metaforen zijn geen basis om voorspellingen te doen over substantiële opwarming aan het aardoppervlak ten gevolge van door menselijk handelen toegenomen atmosferische concentraties van kooldioxide.

Dit probleem zal verder verkend worden in een komend Fraser Instituut

1.2 BROEIKASGASSEN



Figuur ISPM-I: Kooldioxide Concentraties.

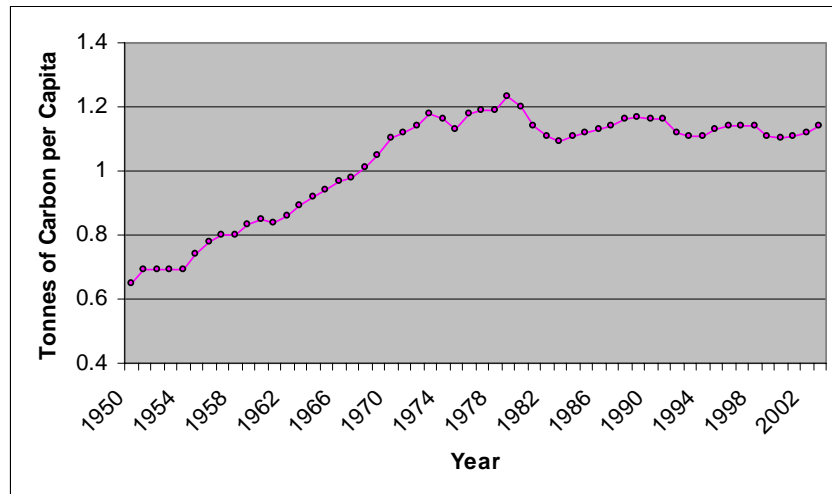
Boven: jaarlijks gemiddelde atmosferische kooldioxide concentraties sinds 1958. Onder: jaarlijkse procentuele snelheid van verandering van kooldioxide concentraties. Bron: Marland et al. (2006).

[1.2a] Atmosferische kooldioxide (CO₂) niveaus stijgen met ongeveer 0.5 % per jaar.

- Figuur ISPM-1(boven) laat de atmosferische CO₂ concentratie zien sinds de late jaren 1950. De mate van verandering laat geen algemene trend zien maar fluctueert rond een gemiddelde van 0.5% sinds het begin van de jaren 1990, iets hoger dan het gemiddelde van 0.4 % per jaar in de jaren 1970 en 1980 (Figuur ISPM-1, beneden).
- De belangrijkste oorzaak van deze accumulatie zijn de verbranding van fossiele brandstoffen, cementproductie, gasaffakkeling, en, in mindere mate, veranderingen in landgebruik zoals ontbossing [2.3.1].
- Menselijke activiteiten dragen ieder jaar ongeveer 7 Gigaton aan koolstof-equivalent toe aan de atmosfeer, wat iets hoger is ten opzichte van 6 Gigaton in 1990. [2.3.1]

Aanvullende Informatie: emissies per inwoner al 30 jaar niet gegroeid.

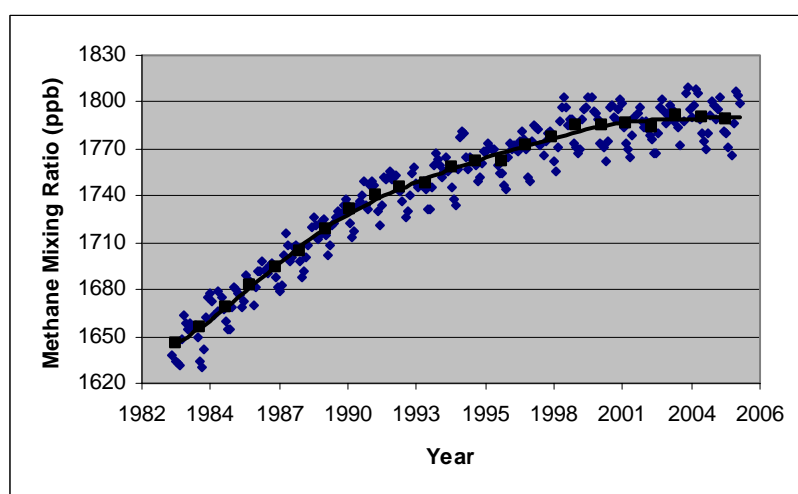
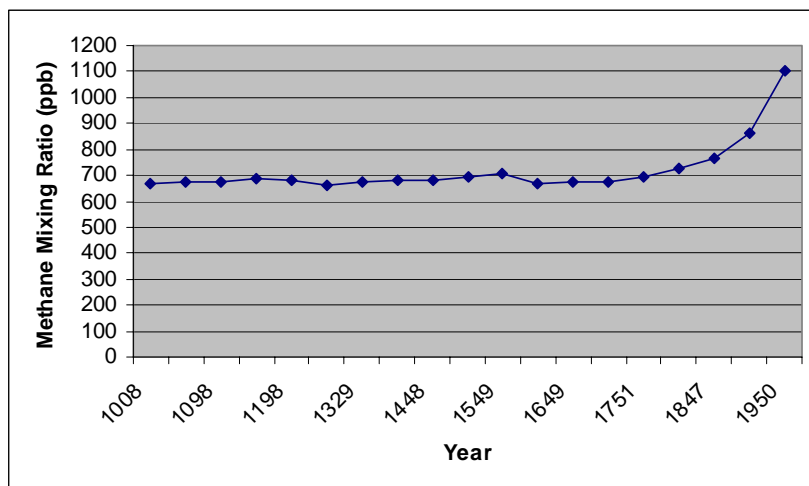
De groei van CO₂ emissies (in koolstof-equivalent) is gelijk aan, of iets onder, de groei van de wereldbevolking (zie Figuur ISPM-2). Wereldwijde CO₂ emissies per inwoner bedroegen maximaal 1.23 ton per persoon in 1979, en de emissies per persoon zijn sindsdien licht gedaald. In 2003 bedroeg de wereldwijd gemiddelde emissie per persoon 1.14 ton, een gemiddelde dat onveranderd is sinds het begin van de jaren 1980. Als deze trend zich voortzet zal de wereldwijde groei van emissie in de toekomst beperkt worden door de totale groei van de wereldbevolking.



ISPM-2: Globale Koolstof Emissies per Inwoner.
Bron: Marland et al. 2006.

[1.2b] IJskernboringen geven aan dat gedurende de laatste paar 1000 jaar tot aan het midden van de 19^e eeuw de atmosferische CO₂ niveaus constant waren op ongeveer 280 delen per miljoen (ppm).

- Dit impliceert accumulatie in de atmosfeer van ongeveer 100 ppm sinds de industriële revolutie, die geleid heeft tot het huidige niveau van bijna 380 ppm [2.3.1].
- Variaties in CO₂ gedurende de laatste 420.000 jaar volgen grofweg de Antarctische temperatuur, typisch met een tijdsvertraging van verschillende eeuwen tot een millenium (d.w.z. dat niveaus van atmosferisch CO₂ enige eeuwen later stijgen dan stijging van de luchttemperatuur). [6.4.1]



Figuur ISPM-3: Methaanconcentraties.

Boven: lange termijn (1008 AD tot 1950 AD) atmosferische methaan niveaus (delen per miljard).

Bron: Etheridge et al., (2002).

Onder: Mauna Loa, Hawaï methaan reeks van 1983 tot 2005. Bron: World Data Center for Greenhouse Gases (2006).

[1.2c] De toename van het atmosferisch methaan (CH₄) niveau is gestopt in de late jaren 1990 en is in de afgelopen jaren iets gedaald. Bronnen van methaanemissies zijn slecht begrepen, maar het totaal lijkt af te nemen. Het is niet duidelijk hoe dit heeft kunnen gebeuren ondanks de voortgaande toename van atmosferische temperaturen.

- Ijskernboringen geven aan dat pre-industriële methaan niveaus ongeveer 700 ppb bedroegen tot aan de 18^e eeuw. De methaanniveaus zijn in de daaropvolgende drie eeuwen toegenomen, en het globale gemiddelde niveau is op het moment ongeveer 1780 ppb (zie figuur ISPM-3).
- Over het algemeen zijn bronnen van atmosferische methaanemissies slecht bekend, maar algemeen wordt aangenomen dat moerasgebieden, het verbouwen van rijst, biomassaverbranding en herkauwers bijdragen.
- Emissies door antropogene bronnen blijven de belangrijkste bijdrage leveren aan atmosferische methaan budgetten [7.4.1.2].
- Atmosferische methaan concentraties hebben een aantal jaren geleden een maximum bereikt en zijn sindsdien vlak of nemen iets af [Figuur 2.5, zie figuur ISPM-3, beneden]. De reden van de recente afname is niet begrepen. [2.3.2].

- De atmosferische concentratie van methaan is gekoppeld aan atmosferische temperaturen, zodat totale emissies toenemen met de opwarming van de atmosfeer. Het wordt wel gesuggereerd dat totale emissies van bronnen zijn afgenomen sinds de periode van het TAR omdat nagenoeg stabiele atmosferische methaan concentraties worden waargenomen terwijl er geen veranderingen zijn in de sterkte van de putten van methaan. Het is niet goed begrepen waarom emissies zijn afgenomen ondanks de voortdurende opwarming van het Aardoppervlak en de atmosfeer. [7.4.1.2].

[1.2d] HCFCs (Hydrochlorofluorocarbons) en CFCs (Chlorofluorocarbons) zijn op het moment onderdeel van andere emissie beperkende beleidsmaatregelen, en nemen af.

- HCFCs en CFCs vallen onder het Montreal Protocol over ozonafbrekende stoffen. Globale emissies zijn drastisch verminderd sinds 1990 en hun atmosferische niveaus nemen langzaam af [2.3.4].

[1.2e] Andere infrarood actieve gassen (N₂O, HFCs) accumuleren maar langzaam in de atmosfeer, of hebben een niveau dat een erg klein klimaateffect impliceert.

1.3 AEROSOLEN

[1.3a] Aerosolen spelen een sleutelrol in het Aardse klimaat, en hun impact is potentieel meer dan drie keer zo groot als die van antropogene kooldioxide-emissies, maar het wetenschappelijke begrip ervan blijft laag tot zeer laag.

- Aerosolen zijn een belangrijk onderdeel van de globale atmosfeer. Het gecombineerde Directe StralingsEffect van natuurlijke en antropogene bronnen op het klimaat wordt geschat op ongeveer -5.3 Watts/m², meer dan drie maal de grootte van de geschatte Stralingsforcering van antropogeen CO₂ (1.63 Watt/m²). [2.4.2.1.2]
- Het is een grote uitdaging om natuurlijke en antropogene aerosolen te onderscheiden in satellietwaarnemingen. Validatieprogramma's van deze geavanceerde satellietproducten moeten nog ontwikkeld worden, en eerste schattingen suggereren zekere systematische fouten. [2.4.2.1]
- Het klimaateffect van elk type aerosolen bestaat uit zowel directe als indirecte effecten, deze laatste inclusief de invloeden op wolkenformatie. Meer algemeen zijn er grote onzekerheden in de directe en indirecte effecten, en bepaalde belangrijke semi-directe effecten zijn niet meegenomen in het Derde Assessment Rapport [2.4].
- Effecten op wolkenformatie zijn niet goed begrepen, en schattingen van de grootte van de effecten zijn op het moment niet betrouwbaar, voor een deel vanwege het gebrek van satellietgegevens om modelontwikkeling te testen en te ondersteunen. [2.4.6]
- Het modelleren van het wolkenalbedo-indirecte-effect op basis van eerste beginselen blijkt moeilijk te zijn vanwege de aanwezigheid van wolken-aerosol interacties en omdat de wolken zelf slechts rudimentair in klimaatmodellen aanwezig zijn. [2.4.6.5].
- Hoewel er overeenstemming is over de kwaliteit van het elementaire bewijsmateriaal (meetgegevens), is er geen consensus over het directe klimatologische (stralingsforcering) effect van aerosolen op het klimaat, en het algemene toestand wordt aangemerkt als weinig wetenschappelijk begrip (*Low Scientific Understanding*) [Tabel 2.11]
- Alle categorieën van indirecte aerosoleffecten op het klimaat worden gekarakteriseerd door: geen consensus, variërend vertrouwen in het elementaire empirisch bewijsmateriaal, en weinig tot erg weinig wetenschappelijk begrip (*Low/Very Low Scientific Understanding*). [Tabel 2.11]

[1.3b] Aerosolen kunnen zowel de levensduur van wolken als het wolkenalbedo (reflectie) beïnvloeden, hoewel modellen elkaar tegenspreken over welk effect groter is.

- Hoewel sommige modellen concluderen dat het wolkenalbedo-effect vier keer zo belangrijk is als het wolken-levensduur-effect, simuleren andere modellen een wolken-levensduur-effect dat groter is dan het wolkenalbedo-effect [7.5.2.4].

[1.3c] Het wordt algemeen aangenomen dat in totaal aerosolen een koelend effect hebben op het klimaat. Kwantitatieve schattingen van het totale effect variëren met een factor 10.

- Het wereldwijd gemiddelde totale antropogene aerosoleffect (direct, semi-direct en indirect wolkenalbedo en wolken-levensduur-effect), gedefinieerd als de verandering van de netto straling aan de top van de atmosfeer tussen pre-industriële en moderne tijden, varieert tussen -0.2 Wm^{-2} en -2.3 Wm^{-2} . Dit impliceert dat aerosolen emissies gemiddeld een koelend effect hebben, maar de grootte van dit effect is onbekend. [7.5.2.4]

[1.3d] Studies die waargenomen wereldwijde opwarming toeschrijven aan broeikasgassen zijn gebaseerd op modellen die aannemen dat aerosolen een groot koelend effect hebben.

- De modellen die gebruikt zijn voor het Vierde Assessment Rapport nemen aan dat aerosolen een groot koelend effect hebben [Tabel 2.12].
- Het wordt aangenomen dat het effect het grootst is op het Noordelijke Halfrond [Tabel 9.2.1e].

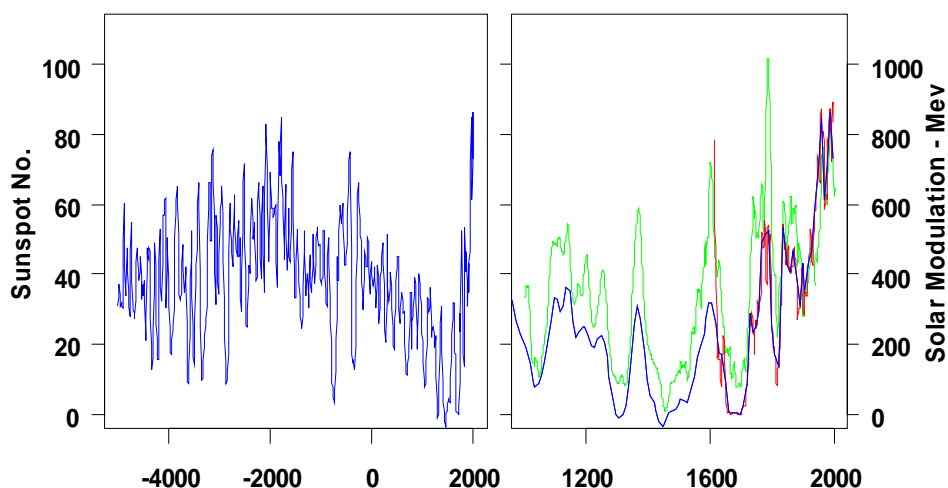
1.4 VERANDERINGEN IN DE ZON EN DE ZON-KLIMAAT CONNECTIES

[1.4a] Nieuwe studies die verschenen zijn sinds het Derde Assessment Rapport hebben de empirische kennis van de gevolgen op het klimaat van zonnevariabiliteit op jaarlijkse en decadale tijdschalen verbeterd.

- Over het algemeen is de troposfeer warmer en vochtiger tijdens zonnemaxima, en is dikker als gevolg van zonnevariabiliteit, met een duidelijke zonale signatuur [2.7.1.1.2].

[1.4b] Het Derde Assessment Rapport meldde dat zonneactiviteit uitzonderlijk hoog was in de 20^e eeuw ten opzicht van de laatste 400 jaar. Sindsdien suggereren nieuwe reconstructies van zonneactiviteit dat de niveaus van de huidige output van de zon hoog, en mogelijk zelfs uitzonderlijk hoog zijn in vergelijking met de afgelopen 8,000 jaar.

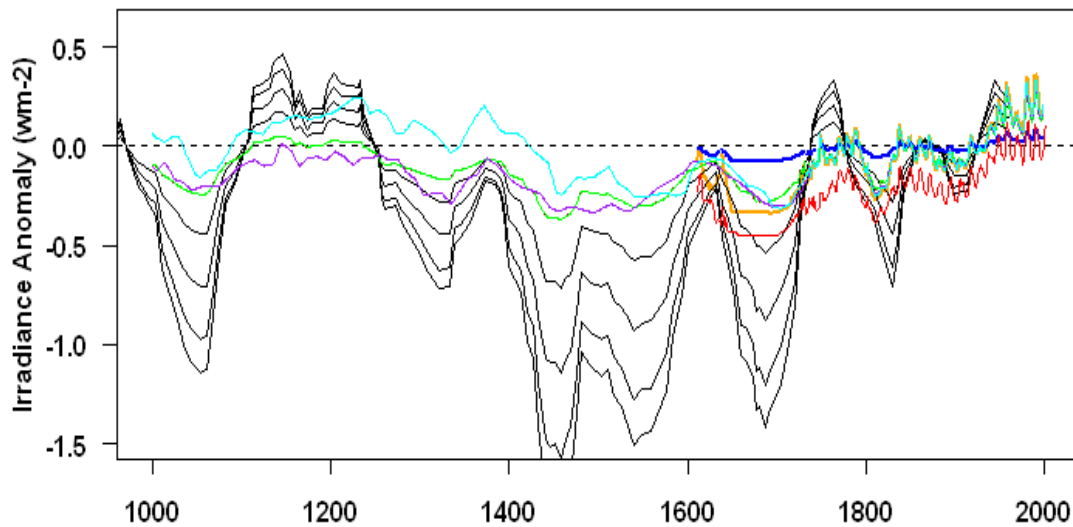
- Zonneactiviteit wordt geschat door historische gegevens van zonnevlekkengetallen, en daarvoor, door kosmogene isotopen (C14-residu en Be-10). [2.7.1.2.1]
- Een reconstructie laat zien dat het hedendaagse niveau van zonneactiviteit uitzonderlijk hoog is gedurende de afgelopen 8.000 jaar terwijl andere een aantal vergelijkbare periodes laten zien. [2.7.1.2.1; zie Figuur ISPM-4].
- Bepaalde reconstructies van zonneactiviteit laten een sterke opgaande trend van 1700 tot aan nu zien [zie Figuur ISPM-4].
- Het minimum in zonneactiviteit rond 1700 AD (het Maunder Minimum) wordt wel in verband gebracht met gelijktijdige lagere temperaturen. [zie Figuur ISPM-9]



Figuur ISPM-4: Zonneactiviteit. Links: reconstructie voor de afgelopen 8.000 jaar; rechts – reconstructies voor het afgelopen millennium. Blauw – Usoskin et al. (1996) reconstructie van zonnevlekkengetallen uit C14-residu; rood – Hoyt en Schatten zonnevlekkengroepsgetal; groen – Muscheler et al. (2006) reconstructie van de zonnemodulatie van C14- residu.

[1.4c] Wetenschappelijk begrip van zonnevariabiliteit blijft laag.

- Schattingen van de verandering van zonneforcering tussen het Maunder Minimum en de late 20^e eeuw variëren met bijna een orde van grootte [2.7, 2.7.1.2.1, Tabel 2.10; zie Figuur ISPM-5].
- Een nieuwe schatting van inkomende zonnestraling sinds het Maunder Minimum [Wang et al., 2005 – 0.037%] is bijna een orde van grootte kleiner dan een andere recente schatting [Fligge en Solanki, 2000 – 0.3%] [2.71, Tabel 2.10]



Figuur ISPM-5. Anomalieën in zonneforcering (watt per vierkante meter). Rood – Lean et al., 1995; oranje – Lean et al., 2000; blauw – Wang et al., 2005; groen – Crowley 2000 uit Be-10; Mann et al., 2005; paars – Crowley 2000 uit C14 residu; cyaan – Crowley 2000, ook uit C14; zwart – vier variaties van Bard et al., 2000, uit Be-10 isotopen. Instraling gedeeld door 4 en vermenigvuldigd met 0.7 (albedo), volgens Tabel 2.10. Anomalieën gecentreerd op 1850-1960.

[1.4d] Totale inkomende zonnestralingmetingen zijn onderwerp van belangrijke onzekerheden door de instrumentatie.

- Totale inkomende zonnestraling wordt pas sinds 1978 gemeten, en zelfs dan alleen met verschillende instrumenten waarvan geen enkele het gehele interval dekt. ACRIM instrumenten laten een toename van meer dan 0.04% zien tussen 1989 en 1992. Deze schijnbare toename kan het gevolg zijn van een instrumentele verandering [2.7.1].
- Een continue reeks kan alleen gereconstrueerd worden door reeksen van verschillende satellieten met verschillende instrumenten te combineren. Als de gemeten verandering van 0.04% nauwkeurig blijkt te zijn dan is deze toename net zo groot als de toename sinds het Maunder Minimum [2.7.1.1.2, Figuur 2.19].

[1.4e] Nieuw bewijs van indirecte zonne-effecten op het klimaat is verschenen.

- Hoewel UV straling van de zon maar een klein deel uitmaakt van de energie van de totale inkomende hoeveelheid zonnestraling, is UV straling op zijn minst een orde van grootte meer variabel. Sinds het TAR hebben nieuwe studies meer nadrukkelijk de mogelijkheid voorgesteld en bevestigd dat er indirecte effecten op het klimaatsysteem via modificatie van de stratosfeer door variaties in inkomende ultraviolette zonnestraling (en mogelijk door de zon beïnvloedde variaties van de daarboven liggende mesosfeer en lagere thermosfeer), met de daaruit voortvloeiende dynamische en stralingskoppeling met de troposfeer. [2.7.1.3].
- Het is nu wel bekend uit zowel empirische als modelstudies dat UV-stralingsveranderingen binnen de zonnecyclus de mid-atmosferische ozon concentraties, temperaturen en winden veranderen [2.7.1.3].
- Als zonneactiviteit hoog is reduceert de meer complexe magnetische configuratie van de heliosfeer de flux van galactische kosmische straling in de Aardse atmosfeer. Verschillen scenario's zijn voorgesteld waarmee de door de zon geïnduceerde galactische kosmische stralingsfluctuaties het klimaat zouden kunnen beïnvloeden, mogelijkwerwijs door de vorming van lage wolken. [2.7.1.3]
- Een eenduidige bepaling van specifieke mechanismen – direct dan wel indirect – die zowel zonnevariabiliteit als het klimaat beschouwt moeten nog vastgesteld worden. [2.7.1.3]

Aanvullende Informatie: de zon en klimaatverandering

Zonne- en broeikasforceringen zijn beiden toegenomen tijdens de 20^e eeuw, waardoor het extreem moeilijk is om de invloed van de zon op het recente klimaat eenduidig vast te stellen.

Nieuwe IPCC schattingen van de zonneforcering zijn aanzienlijk lager dan die gebruikt zijn in millennia-simulaties [bv. Crowley 2000; Gonzales-Raucen 2003; Mann et al., 2005]. Als de nieuwe schattingen betrouwbaar zijn van dienen vele verklaringen van eerdere klimaatvariabiliteit die afhankelijk zijn van eerdere schattingen van de zonneforcering herzien te worden.

Als de zon een sterk effect op het klimaat blijkt te hebben dan is dit belangrijk voor recente voorspellingen dat de output van de zon waarschijnlijk af zal nemen in de komende decades (bv Zhen-Shan, 2007).

Dit onderwerp wordt verkend in een aankomend Fraser Instituut AR4 “Supplementary Series” rapport, “Solar Changes and Climate”

1.5 VERANDERINGEN AAN HET LANDOPPERVLAK

[1.5a] Veranderingen van het landoppervlak tijdens de 20^e eeuw hebben waarschijnlijk een groot regionaal en mogelijk wereldwijd effect gehad op het klimaat, maar het effect past niet in het conceptuele model dat gebruikt wordt voor het evalueren van antropogene klimaatverandering.

- Veranderingen van het landoppervlak werken als antropogene verstoringen van het klimaatsysteem en vallen tenminste deels onder de “forcering” component van het *forcering-terugkoppeling-gevolg* conceptuele model. Maar het is moeilijk de pure forcering te kwantificeren los van de terugkoppelingen en gevolgen. Geen enkele kwantitatieve metriek die forcering van terugkoppeling en gevolg scheidt is geïmplementeerd voor versturende processen in het klimaat die niet direct op het stralingsbudget werkt. [2.5.1]
- Pogingen om met klimaatmodellen veranderingen in landgebruik te vertalen naar SF waardes laten een grote spreiding in resultaten zien, met sommige schattingen van lokale SF effecten ten gevolge van veranderingen in landbouw in Noord Amerika en Eurazië aanzienlijk groter dan die van CO₂ in de atmosfeer [2.5.3]. Echter, de gegevens om de meest elementaire SF effecten te parameteriseren levert inconsistente resultaten, en de onzekerheden blijven groot [2.5.3]

[1.5b] Vele studies hebben aangetoond dat verstedelijkte gebieden warmer zijn dan de omringende landelijke gebieden, wat een “niet-klimatologische” bias introduceert in lange termijn weergegevens. Als dat zo is, dan impliceert dit dat de klimatologische IPCC gegevens de recente wereldwijde opwarmende trend overschat. Andere studies suggereren echter dat urbanisatie geen probleem is in wereldwijd gemiddelde gegevens. Alle IPCC analyses nemen aan dat dit laatste het geval is.

- Het “urban heat island” effect bestaat, en veroorzaakt een opwarming in temperatuurreksen van stedelijke en verstedelijkte gebieden die niet gerelateerd is aan klimaatverandering [3.2.2.2].
- Sommige studies beweren dat de wereldwijde klimaatgegevens, welke stedelijke, verstedelijkte en landelijke gebieden samenvoegen in regionale gemiddelden, niet “vervuild” zijn met zulke biases. [3.2.2.2]

- Al het gebruik van klimatologische gegevens door het IPCC gebeurt onder de aanname dat er geen “verontreinigingen” zijn. Echter, vele studies hebben laten zien dat veranderingen in landgebruik en het type landbedekking een groot regionaal effect op het klimaat kunnen hebben die in grootte vergelijkbaar zijn aan neerslag- en temperatuurveranderingen die tijdens de afgelopen decennia waargenomen zijn, en het grote aantal van zulke studies demonstrenen gezamenlijk een potentieel belangrijke invloed van menselijke handelen op het klimaat, vooral op het lokale klimaat, door veranderingen in landgebruik [7.2.4.4].
- Detectie- en attributiestudies houden geen rekening met urbanisatie, problemen met de kwaliteit van gegevens of andere niet-klimatologische effecten. Voor alle waargenomen veranderingen wordt aangenomen dat ze het gevolg zijn van klimatologische veranderingen [9.4.1.2].

Aanvullende Informatie: Problemen met oppervlaktetemperatuur gegevens

Onderzoek naar de aard van het aardoppervlaktethermometer netwerk laat twijfel rijzen over de claim van het IPCC dat de oppervlakte temperatuurgegevens vrij zijn van biases door niet-klimatologische effecten, zoals veranderingen in landgebruik, urbanisatie en veranderingen in het aantal meetlocaties wereldwijd. Als voorbeeld, er zijn studies die hebben laten zien dat de ruimtelijke verdeling van opwarmende trends over land sterk correleren met de ruimtelijke verdeling van industriële activiteit, ook al wordt een dergelijke correlatie niet voorspeld door klimaatmodellen (bv. de Laat en Maurellis, 2004, 2006).

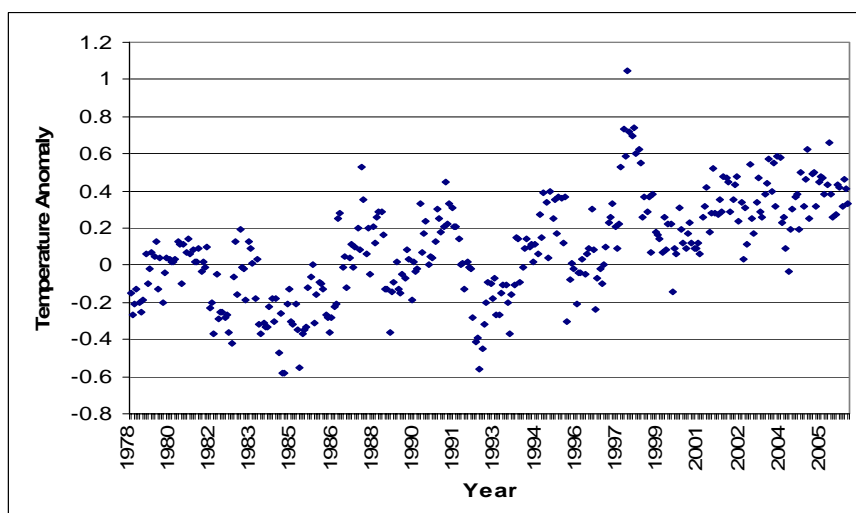
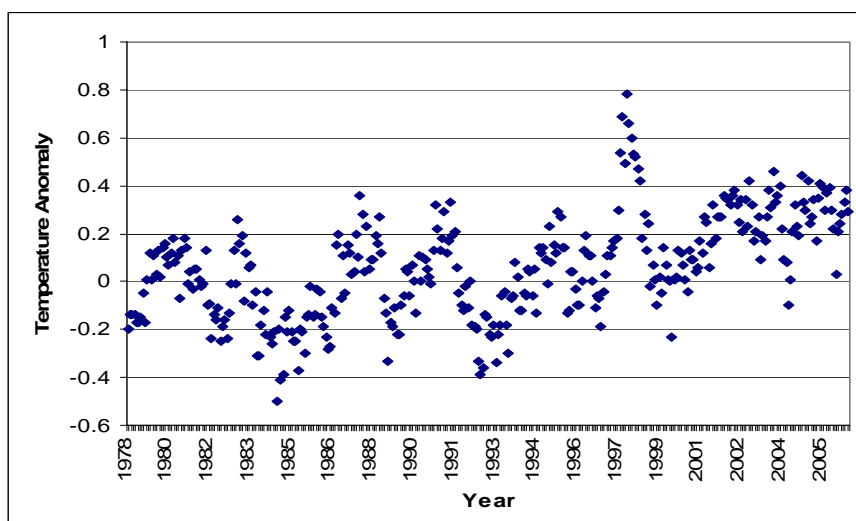
Deze en gerelateerde zaken zullen verrekend worden in een aankomend Fraser Instituut AR 4 “Supplementary Series” rapport, “Problems in the Surface Thermometer Network”.

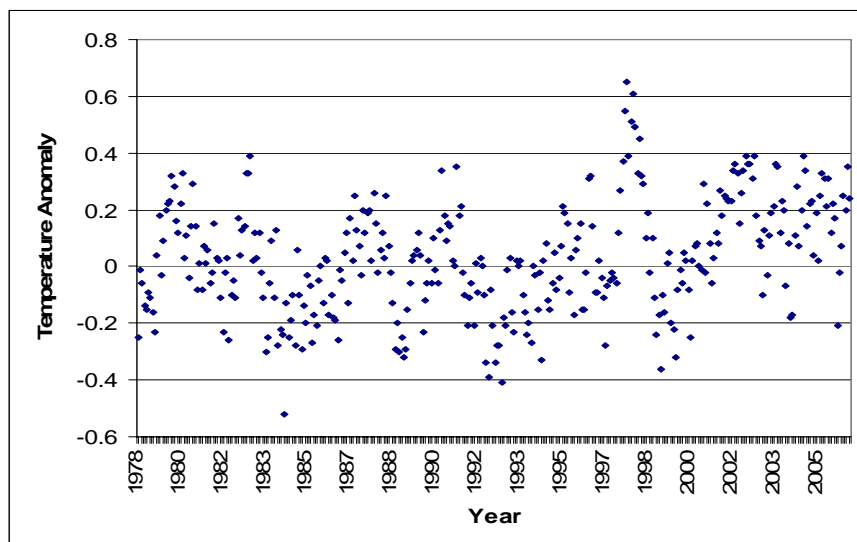
2: WAARGENOMEN VERANDERINGEN IN WEER EN KLIMAAT

2.1 GROOTSCHALIGE TEMPERATUURGEMIDDELDEN

[2.1a] Weersatellieten verzamelen dagelijks gegevens uit de atmosfeer en worden gebruikt om gemiddelde atmosferische temperaturen te meten. Verschillende teams produceren enigszins verschillende resultaten, gebaseerd op verschillende aannames hoe de gegevens te interpreteren.

- Satellieten meten atmosferische straling uit twee lagen die worden aangegeven als T2 en T4.
- T2-straling is hoofdzakelijk afkomstig van het aardoppervlak en de lagere troposfeer, terwijl T4 straling hoofdzakelijk uit de stratosfeer komt. Uit deze stralingsmetingen kunnen gemiddelde temperaturen worden afgeleid met een bepaalde set van gewichten [3.4.1.2.2].
- De “werkelijke” gewichten kunnen niet met enige zekerheid vastgesteld worden. De gewichten die resulteren in de beste overeenkomst met gegevens van weerballonnen laten de kleinste hoeveelheid troposferische opwarming zien [Figuur 3.4.3].





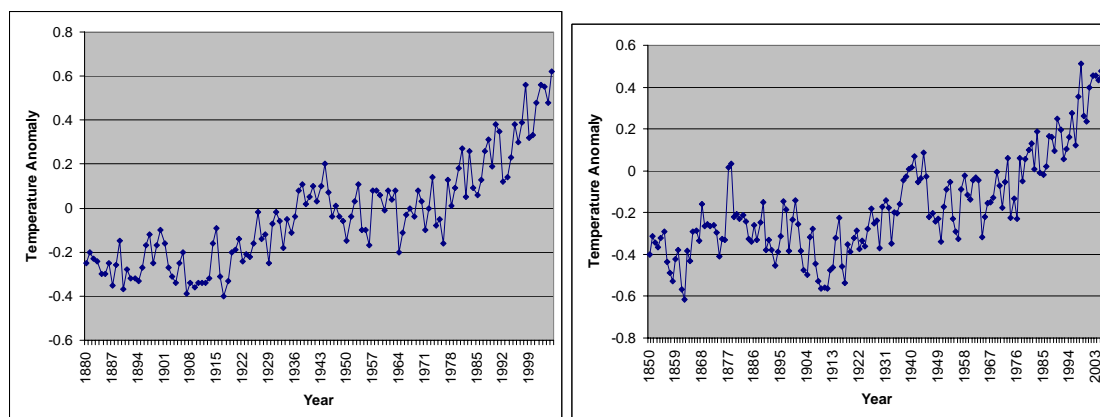
Figuur ISPM-6: Satellietwaarnemingen van de wereldwijd gemiddelde temperatuuranomalieën sinds 1979 (°C). Boven: wereldwijd gemiddelde; Midden: Noordelijk Halfrond; Onder: Zuidelijk Halfrond. Bron: Global Hydrology and Climate Centre – Universiteit van Alabama in Huntsville.

[2.1b] De spreiding in recente op satellieten gebaseerde trends in de wereldwijd gemiddelde temperatuur van de lagere atmosfeer varieert van nagenoeg nul tot aan het laagste eind van op computermodellen gebaseerde voorspellingen.

- Drie verschillende teams van analisten hebben satellietwaarnemingen van straling bestudeerd voor de periode 1979 tot nu.
- Afhankelijk van de aannames over instrumentkalibratie, oppervlakte-weging en het combineren van datasets, varieert de gemiddelde temperatuurtoename in de lagere atmosfeer over de periode 1979-2004 van 0.04 °C/decade tot 0.20 °C/decade. [3.4.1.2.1; Figuur ISPM-6]
- Geëxtrapoleerd naar een tijdschaal van een eeuw zijn deze waarden vergelijkbaar met de laagste IPCC geschatte opwarming (1.4 tot 5.8 °C/decade) zoals gepresenteerd in het Derde Assessment Rapport [3.4.1.2.1].

[2.1g] Er is geen significante opwarming in de tropische troposfeer, welke de helft van de wereldwijde atmosfeer beslaat. Dit is waar de meeste modellen die een sterke invloed van broeikasgassen aannemen, voorspellen dat de snelste opwarming plaats zou moeten vinden.

- De tropen beslaan de helft van de wereldwijde atmosfeer. In geen van de beschikbare datasets wordt een significante opwarming in de tropische troposfeer waargenomen [Figuur 3.4.3]. Een van de beschikbare satelliet-datasets geeft een opwarming die consistent is met toenemende opwarming op grotere hoogte in de tropen [3.4.1.2.2], terwijl de anderen dit niet laten zien.
- Klimaatmodellen gebaseerd op de aanname dat broeikasgassen klimaatveranderingen veroorzaken voorspellen dat de sterkste opwarming gezien zou moeten worden in de tropische troposfeer [Figuur 10.3.4]. Van dit patroon wordt voorspeld dat het al in het begin van de periodevoor zichtbaar zou moeten zijn en het patroon wordt consistent gesimuleerd door alle modellen. [10.3.2.1]



Figuur ISPM-7: Jaargemiddelde temperatuuranomalieën gemeten aan het Aardoppervlak gedurende de laatste 120-150 jaar (°C). Bronnen: Links: Goddard Institute for Space Studies (GISS) en National Climate Data Center (NCDC); Rechts: Hadley Centre for Climate Change.

[2.1d] Een wereldwijd gemiddelde van temperatuurgegevens gebaseerd op verzamelde metingen boven land, in combinatie met metingen aan het oppervlak van oceanen met schepen en boeien, met lokale gemiddelden verwijderd en enige correcties toegepast om ongelijke spreiding, het verlies van de helft van de weerstations boven land in het begin van de jaren 1990, veranderingen in meettechnieken en andere potentiële problemen te controleren, laat een opwaartse trend zien van 1900 tot 1940, en wederom van 1979 tot nu.

- Deze statistiek wordt vaak de wereldwijd gemiddelde temperatuuranomalie of in het kort “wereldwijde temperatuur” genoemd.
- De wereldwijde temperatuurstatistiek geproduceerd door de het Goddard Institute for Space Studies (GISS) en het National Climate Data Center (NCDC) waren net iets hoger in 2005 dan voor ieder jaar sinds 1998, terwijl die geproduceerd door het Hadley Center groep piekte in 1998 en sindsdien iets lager is. (Zie Figuur ISPM-7) [3.2.2]
- Zie ook Sectie [2.1e] hieronder.

	1850–2005	1901–2005	1910–1945	1946–1978	1979–2005
Land: Noordelijk Halfrond					
CRU (Brohan et al., 2006)	0.063 ± 0.018	0.089 ± 0.030	0.142 ± 0.057	-0.038 ± 0.064	0.330 ± 0.108
GHCN (Smith and Reynolds, 2005)		0.072 ± 0.031	0.127 ± 0.065	-0.040 ± 0.074	0.344 ± 0.121
GISS		0.083 ± 0.030	0.166 ± 0.061	-0.053 ± 0.062	0.294 ± 0.090
Lugina et al. (2005) up to 2004		0.074 ± 0.032	0.144 ± 0.074	-0.051 ± 0.061	0.278 ± 0.096
Land: Zuidelijk Halfrond					
CRU (Brohan et al., 2006)	<i>0.034</i> ± 0.033	0.078 ± 0.054	<i>0.091</i> ± 0.076	0.031 ± 0.063	0.135 ± 0.087
GHCN (Smith and Reynolds, 2005)		0.057 ± 0.020	<i>0.091</i> ± 0.069	0.054 ± 0.072	0.220 ± 0.114
GISS		0.056 ± 0.015	0.033 ± 0.042	<i>0.060</i> ± 0.052	<i>0.085</i> ± 0.067
Lugina et al. (2005) up to 2004		0.056 ± 0.013	0.064 ± 0.046	0.014 ± 0.052	<i>0.074</i> ± 0.062
Land: Globaal					
CRU (Brohan et al., 2006)	0.054 ± 0.020	0.084 ± 0.026	0.125 ± 0.042	-0.016 ± 0.055	0.268 ± 0.084

GHCN (Smith and Reynolds, 2005)		0.068 ± 0.029	0.116 ± 0.057	-0.013 ± 0.061	0.315 ± 0.108
GISS		0.069 ± 0.020	0.102 ± 0.041	0.003 ± 0.046	0.188 ± 0.084
Lugina et al. (2005) up to 2004		0.065 ± 0.024	0.108 ± 0.043	- 0.021 ± 0.059	0.183 ± 0.075

Tabel ISPM-1: Lineaire temperatuurtrends (°C/decade). Reproductie van Tabel 3.2 van het Vierde Assessment Rapport. Elk blok laat de IPCC schatting van de trend en de 2-standaard fout “confidence” interval zien. ‘CRU’ verwijst naar het Climatic Research Unit; GHCN verwijst naar het Global Historical Climatology Network. GISS verwijst naar het Goddard Institute of Space Studies. **Vetgedrukt** verwijst naar een statistisch significante (1%) trend in de IPCC methodiek. *Schuingedrukt* verwijst naar significant (1-5%); maar zie ook [2.1g].

[2.1e] Trends in temperatuurgegevens voor na 1979 gemiddeld over landgebied op het Zuidelijk Halfrond zijn klein vergeleken met die op het Noordelijk Halfrond, en statistische minder significant.

- Temperatuur trends in gegevens van boven land voor het Noordelijke en Zuidelijk Halfrond gedurende 1979 tot 2005 worden getoond in Tabel ISMP-1, gereproduceerd naar IPCC tabel 3.2. In alle gevallen is de ZH-trend klein vergeleken met de NH trend.
- In twee van de vier oppervlakte datasets is de ZH-trend minder dan eenderde van de NH-trend en statistische minder significant [Tabel 3.2].
- De beide datasets die landgegevens combineren met schaarse en onzekere zeeoppervlakte temperatuurgegevens laten ZH-trends zien die meer dan de helft kleiner zijn dan die van het NH [Tabel 3.2].

[2.1b] Het Derde Assessment Rapport vestigde de aandacht op de afnemende Dagelijkse Temperatuur Range (DTR) als bewijs voor wereldwijde opwarming (WG1, “Summary for Policy Makers”, pagina 1). De afname in DTR is nu verdwenen, en lijkt toe te nemen op de meest plaatsen.

- De DTR nam af na 1950, maar stabiliseerde in midden van de jaren 1990. [3.2.2.7, figuur 3.2.2].
- Van 1979 tot 2004 laten veel plaatsen op alle continenten een toename in de DTR zien, specifiek in Noord Amerika, Europa, Australië en Zuid Amerika [Figuur 3.2.11].

[2.1g] De significantie van trends in temperatuur en neerslaggegevens is waarschijnlijk overschat in eerdere analyses.

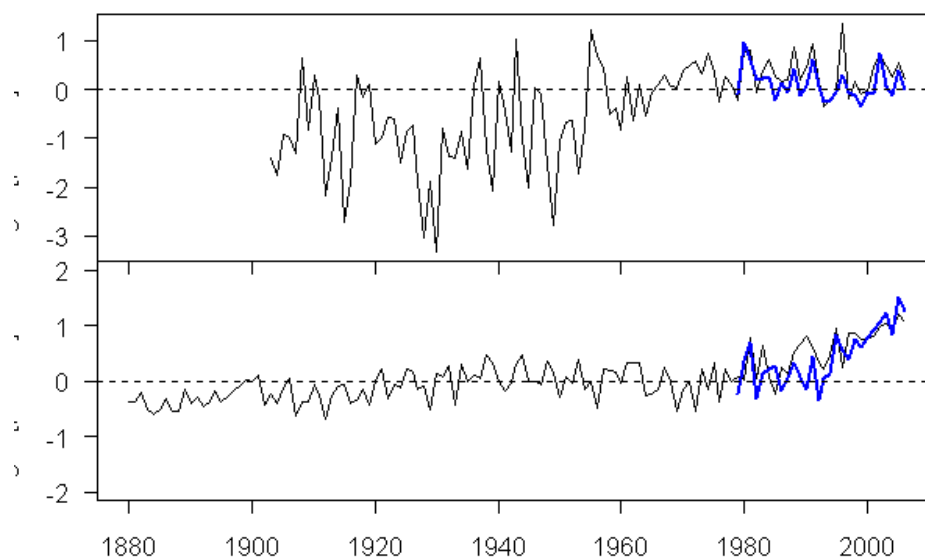
- Het klimaatsysteem reageert langzaam op veranderingen in de tijd, en veranderingen in het verleden accumuleren via lange termijn persistentie om voortdurende trends te beïnvloeden. Als gevolg van de techniek om trends te schatten die gebruikt wordt in recente IPCC Assessments wordt waarschijnlijk de statistische significantie van waargenomen veranderingen overschat, en de resultaten van de trendanalyses zijn vaak afhankelijk van het statistische model dat gebruikt wordt [3.2.2.1].

Aanvullende informatie: lange termijn persistentie en trendanalyse

Methodes om trends en hun statistische significantie te schatten hebben zich sterk ontwikkeld in de afgelopen tien jaar. De technische term voor de nieuwe kwesties die aan de orde gesteld zijn heten *niet-stationariteit* en *Lange Termijn Persistentie*. Hoewel de literatuur rondom deze kwesties zijn oorsprong vindt in econometrie, financiën en statistiek, wordt deze nu ook

toegepast op klimatologische gegevens. De belangrijkste bevindingen zijn dat door een juiste behandeling van lange termijn processen in klimatologische gegevens waarschijnlijk een belangrijke herinterpretatie van de significantie van recente trends nodig is, aangezien het een groter deel van de waargenomen veranderingen in klimaatgegevens aan natuurlijke oorzaken toeschrijft.

Dit zal verder worden verkend in een komend Fraser Instituut AR4 “Supplementary Series” rapport, “Long Term Persistence in Geophysical Data”.



Figuur ISPM-8. Boven: Zuidpool; Onder: Noordpool. Elke figuur: de grijze lijn laat de gemiddelde GISS oppervlaktetemperatuuranomalie zien poolwaarts van 64 graden Noord of Zuid. Blauwe lijn zijn de satellietwaarnemingen, gebruik makend van de Mears-Wentz methode.

[2.1h] Er zijn verschillen in lineaire trends van troposferische temperaturen tussen de hoge breedtegraden van het Noordelijk en Zuidelijk Halfrond die niet consistent zijn met voorspellingen van computermodellen.

- Geografische patronen in lineaire trends van troposferische temperaturen laten coherente opwarming op het Noordelijke Halfrond zien maar gebieden met afkoeling op het Zuidelijk Halfrond niet (3.4.1.2.2, Figuur 3.4.4).
- De Noordpool laat een plotselinge opwaartse trend zien in gemiddelde temperatuur na 1990, maar de Zuidpool niet. [Figuur ISPM-8]
- Modelvoorspellingen suggereren dat de door broeikasgassen veroorzaakte patronen van opwarming aan de Noord- en Zuidpool nagenoeg symmetrisch zullen zijn. [Figuur 10.3.5]

[2.1i] Het Aardse klimaat wordt gekarakteriseerd door vele vormen van variabiliteit waarbij de atmosfeer en de oceanen betrokken zijn, evenals de cryosfeer en de biosfeer [1.4.6]. Er is een toegenomen erkenning dat veranderingen in oceanen een rol spelen in klimaatverandering.

- Ons begrip van de variabiliteit en trends in verschillende oceanen is nog steeds in ontwikkeling, maar het is nu al duidelijk dat ze erg verschillen. De Pacific wordt gedomineerd door de El Nino/Zuidelijke Oscillatie en wordt gemoduleerd door de Pacifische Decadale Oscillatie, welke manieren zouden kunnen leveren voor warmtetransport van tropische oceanen naar hogere breedtegraden en van de oceaan naar de atmosfeer. [3.6.3]

- Sinds 1900 laten de Noord-Pacifische Zeewatertemperaturen (SST) warme fases zien van 1925-1946 en 1977 tot 2005. [3.6.3]
- Sinds de jaren 1850 laten Noord Atlantische SST's een 65-75-jaars variatie zien, met duidelijke warme fases rond 1860-1880 en 1930-1960 en koele fases tussen 1905-1925 en 1970-1990. Dit fenomeen wordt de Atlantische Multidecadale Oscillatie genoemd (AMO). De cyclus lijkt weer in een warme fase te zijn aangeland vanaf het midden jaren 1990, en de tropische Atlantische SST's waren record hoog in 2005. [3.6.6.1]
- De AMO is wel gekoppeld aan langjarige neerslaganomalieën in Noord Amerika, en ook aan de vorming van Atlantische cyclonen, perioden van droogte in Afrika, wintertemperaturen in Europa, zeeijsconcentraties in de Groenlandzee en luchtdruk (op zeeniveau) op hoge noordelijke breedtegraden.
- De multidecadale variabiliteit in het Atlantische gebied duurt veel langer dan in het Pacifische gebied, maar het dient opgemerkt te worden dat alle oceanen een warme periode hebben gezien in de vroege jaren 1940 [3.2.2.3].

Aanvullende Informatie: Belangrijke Oceaan-Atmosfeer Klimaatoscillaties

Een belangrijk thema in recent meteorologisch onderzoek is de identificatie van bepaalde grootschalige atmosferische cycli die op tijdschalen van 30 jaar of meer actief zijn. Deze oscillaties ontstaan uit de interactie tussen oceaan en atmosfeer, en worden typisch gemeten door drukgradiënten over grote gebieden aan het aardoppervlak te gebruiken. De representatie van oceanen in klimaatmodellen als daadwerkelijk dynamische systemen (in tegenstelling tot de vroegere “kolom”-oceaanmodellen) is slechts het begin. Een uitgebreide beschrijving van de atmosferische en oceanische circulaties wordt vertraagd door het gebrek aan waarnemingen van de hogere atmosfeer en diepe oceanen.

Het is al aangetoond dat oscillatiesystemen een belangrijke verklaring geven voor recente klimatologische veranderingen, inclusief trends in temperatuur en neerslag. De El Niño/Zuidelijke Oscillatie (ENSO) is een gekoppeld atmosfeer-oceaan fenomeen dat zijn oorsprong vindt in de Stille Oceaan maar dat het klimaat wereldwijd beïnvloedt. De mechanismen en voorspellende waarde van ENSO worden nog steeds ontwikkeld. De Noord-Atlantische Oscillatie beïnvloedt weer en klimaat en hangt samen met noord-zuid veranderingen van de westelijke winden en straalstromen. Ondanks veel onderzoek blijft het slecht begrepen. De laagfrequente variabiliteit van dit fenomeen is belangrijk voor het klimaat.

Het IPCC bediscussieert sommige van deze fenomenen, maar levert geen adequate details over de connectie tussen deze systemen en recente veranderingen in het weer.

Dit onderwerp wordt verkend in een komend Fraser Instituut AR4 “Supplementary Series” rapport, “Major Climatic Oscillations and Recent Weather Changes”.

2.2 NEERSLAG EN SNEEUWBEDEKKING

[2.2a] Er zijn geen wereldwijd consistente patronen in lange termijn neerslagtrends, hoewel de meeste plaatsen een lichte toename in regen en/of sneeuwbedekking laten zien.

- Wereldwijd is er in de totale neerslag een lichte afname waargenomen van 1950 tot het begin van de jaren 1990 die sindsdien is omgedraaid. [3.3.2.1; Figuur 3.3.1]
- Neerslag in Noord en Zuid Amerika is op veel plaatsen licht toegenomen gedurende de afgelopen eeuw, hoewel het in sommige regio's is afgenomen. [3.3.2.2]
- De droogte in de Sahel (de kustgebieden in Afrika die grenzen aan de Sahara) in de jaren 1980 is sindsdien aanzienlijk omgeslagen. [3.3.2.2]

- Neerslag in India is toegenomen van 1901 tot 1979, waarna er tot aan nu er een afname is [3.3.2.2], en er is geen algemene trend. [3.3.2.2]
- Australische neerslagtrends variëren per regio en zijn sterk gerelateerd aan de El Nino cyclus. [3.3.2.2]

[2.2b] Er is geen wereldwijd consistent patroon van sneeuwbedekking (SCA) of sneeuwdikte.

- Op het Noordelijk Halfrond is de waargenomen sneeuwbedekking in april iets afgenomen tussen de jaren 1950 en de jaren 1970, snel afgenomen in de jaren 1980 en iets toegenomen sinds 1990 [Figuur 4.2.1].
- Over de periode 1966 tot 2004 laat de gemiddelde NH sneeuwbedekking een statistisch significante afname zien. Maar over de gehele periode van beschikbare gegevens (1922 tot 2004) laat de gemiddelde sneeuwbedekking op het NH in oktober een statistisch significante toename zien. [Tabel 4.2.1]
- Over de periode 1966 tot 2004 is de NH sneeuwbedekking afgenomen in lente en zomer, maar niet substantieel afgenomen in de winter. [Tabel 4.2.1]
- In Noord Amerika is de trend van November-Januari SCA gedurende de 20^e eeuw algemeen toegenomen, met een recente neerwaartse trend vooral in westelijk Noord Amerika [4.2.2.2.1].
- SCA is afgenomen in berggebieden in Zwitserland en Slowakije sinds 1931, maar niet in Bulgarije [4.2.2.2.2].
- Laaglandgebieden in centraal Europa hebben een afname in SCA ondergaan, terwijl toegenomen sneeuwdikte is waargenomen in de voormalige Soviet Unie en China [4.2.2.2.2]
- In Zuid Amerika is een lange termijn toename van sneeuwdagen waargenomen in de centrale oostelijke Andes. [4.2.2.3.1]
- In zuidoost Australia is de late winter sneeuwdikte aanzienlijk afgenomen, hoewel de winter neerslag slechts licht is afgenomen [4.2.2.3.2].

[2.2c] In gebieden ten noorden van 55N is de sneeuwval toegenomen gedurende de laatste 50 jaar. Trends in de frequentie zware sneeuwval variëren per regio.

- Op hoge breedtegraden is de winterneerslag toegenomen tijdens de laatste 50 jaar [3.3.2.3]; er is weinig verandering in de fractie die in plaats van sneeuw als regen valt [3.3.2.3].
- In Noord Amerika is zware sneeuwval toegenomen in noordelijk Canada en in de benedenwindse gebieden van de Grote Meren, maar afgenomen in het “lower Missouri river basin” [3.3.2.3].
- In sommige gebieden, vooral zuid Canada en west Rusland, heeft het vroegere begin van de lente tijdens de laatste 50 jaar een toename van de fractie neerslag die valt als regen opgeleverd [3.3.2.3]. Hoewel andere gegevens een algemene toename in sneeuwval laten zien in delen van zuidelijk Canada [3.3.2.3].

Aanvullende Informatie: Recente Noord-Amerikaanse sneeuwval

Recordbrekende lokale episodes met warm weer worden soms gepromoot als aanwijzingen van de wereldwijde opwarming. Wat impliceert dit als er record-brekend koud weer episodes zich beginnen te manifesteren op bepaalde locaties?

New York City's Central Park heeft een januari (de koudste maand daar) gemiddelde temperatuur van 0.1°C en een gemiddelde wintertemperatuur van 1.0°C. Voor het eerste sinds de metingen begonnen in de jaren 1860 heeft Central Park tijdens 4

opeenvolgend jaren meer dan 100 cm sneeuw gerapporteerd, met de winter van 2005/06 als meest recente jaar. Op 11 en 12 februari 2006 brak Central Park het historische sneeuwval-per-individuele-sneeuwstorm record met 26.9 inches (68,3 cm). Ook in 1995/96 hadden Central Park en de meeste andere steden in de centrale en oostelijke VS historische records van seizoenssneeuwval. In Central Park bracht de winter 75.6 inches sneeuw (192 cm).

Niet ver naar het noorden in Boston, Massachussets, waar het wintergemiddelde 31.9 F bedraagt, bedroeg de wintergemiddelde sneeuwval voor de 12 jarige periode die eindigde in 2004/05 51.3 inches (130.3 cm), de hoogste in de meetreeks die teruggaat tot de jaren 1800. Het nieuwe historische record werd op 17-18 februari 2003 gezet met 27.5 inches (70 cm) en een nieuw historische seizoenssneeuwval van 107.6 inches (273 cm) werd opgemeten in 1995/96. In de laatste 12 jaar heeft Boston de 1^e, 3^e, 5^e en 12^{de} sneeuwrijkste winters gezien.

In de Atlantische Canadese provincies is de sneeuwaccumulatie toegenomen de afgelopen jaren. De stad St. John's (Newfoundland) noteerde zijn hoogste sneeuwaccumulatie ooit in een seizoen, ~650 cm, van november tot aan mei 2001. Dit is de hoogste sneeuwaccumulatie op een zeeniveau-locatie waar dan ook ter wereld. In februari 2004 ontving de stad Halifax (Nova Scotia) een recordbrekende hoeveelheid sneeuw in een 24-uurs periode van 100.

Bron: US National Weather Service en Environment Canada.

2.3 STORMEN EN EXTREEM WEER

[2.3a] De percepties van toegenomen extreem weer kunnen potentieel veroorzaakt zijn door de toename van meldingen. Er zijn te weinig gegevens om deze percepties op een betrouwbare manier te bevestigen.

- Over het algemeen zullen mensen tegenwoordig vaker over extreme gebeurtenissen horen vanwege technologie. Foto's gemaakt met camcorders die in het nieuws te zien zijn kunnen de indruk wekken dat de frequentie van weer-gerelateerde extremen is toegenomen. [3.8.1]
- Wereldwijde studies van temperatuur en neerslagextremen boven land hebben last van de beperkte beschikbaarheid van gegevens. Op veel plaatsen wereldwijd is er een gebrek aan homogene dagelijkse waarnemingen (wat betekent onderhavig aan consistente kwaliteitscontrole en constante meetomstandigheden). Inhomogeniteiten worden toegeschreven aan – onder andere – veranderingen in de praktijk van het waarnemen of “Urban Heat Island” effecten. [3.8.1]
- Identificatie van veranderingen in extremen is ook afhankelijk van de statistische methode die wordt toegepast [3.8.1].
- Wereldwijde studies van dagelijkse temperatuur- en neerslagextremen hebben last van zowel een beperkte beschikbaarheid van meetgegevens als ontbrekende gegevens. [3.8.1]
- Analyse van trends in extremen zijn ook gevoelig voor de periode van analyse; dat wil zeggen dat het meenemen van de extreem hete Europese zomer van 2003 een aanzienlijke invloed op de resultaten heeft als de periode kort is [3.8.1].

[2.3b] Sinds 1970 zijn er enige aanwijzingen dat de intensiteit van tropische cyclonen op beide halfronden is toegenomen, maar dat er een afname is in het totale aantal tropische stormen, en dat er geen duidelijk wereldwijd patroon is.

- Een aantal recente studies suggereert dat depressieactiviteit op beide halfronden is veranderd gedurende de tweede helft van de 20^e eeuw. Algemene kenmerken zijn een poolwaartse verschuiving van de routes van depressies en toegenomen sterkte van depressies, maar een afname van het totale aantal depressies [3.5.3].
- Luchtdrukgegevens van locaties in de Atlantisch-Europese sector (waar de gegevens lange periodes bestrijken en consistent zijn) laten een afname in “stormachtigheid” van hoge waarden gedurende de late 19^e eeuw tot een minimum rond 1960 met vervolgens een vrij snelle toename tot een maximum rond 1990, wederom gevolgd door een kleine afname [3.5.3].
- Gegevens suggereren dat depressieactiviteit op NH breedtegraden is toegenomen tijdens de laatste 40 jaar, terwijl er een significante afname was in het aantal depressies, en een toename in gemiddelde grootte en diepte van depressies voor Zuidelijke extratropen gedurende de laatste twee of drie decades [3.5.3].
- Met betrekking tot gegevens van depressie geldt in het algemeen dat onzekerheden de aanwijzingen voor lange termijn trends compromitteren [3.7.3].
- De aanzienlijke inter-decadale variabiliteit reduceert de significantie van iedere lange termijn trend. Nauwkeurige interpretatie van waarnemingen is daarom nodig.
- De algemene kracht van depressies en cyclonen kan gekarakteriseerd worden door gebruik te maken van de “Accumulated Cyclone Energy” index (ACE) en de “Power Dissipation Index” (PDI). De ACE is het kwadraat van de windsnelheid en de PDI is proportioneel met de derde macht van de windsnelheid. De PDI voor de wereld als geheel laat een opwaartse trend zien sinds de jaren 1970, maar vanwege die 3^e-macht is het erg gevoelig voor de kwaliteit van gegevens. In het bijzonder zijn de gegevens van voor 1970 onzeker [3.8.3]. De ACE index is voor bepaalde gebieden terug in de tijd beschikbaar tot 1948 en laat geen algemene trend zien over het gehele tijdsinterval. De ACE laat een opwaartse trend zien na 1980 in het Noord-Atlantische gebied, maar een neerwaartse trend na 1980 in de noordwestelijke Pacific, noordoostelijke Pacific, Australische zuidelijke Pacific, noordelijke en zuidelijke Indische oceaanregio’s, d.w.z. in alle andere gebieden [Figuur 3.8.4]. Op een wereldwijd niveau zijn de ACE indexwaarden voor 2004 en 2005 nagenoeg gelijk aan het gemiddelde van de hele periode na 1980 [3.8.3].

[2.3c] Gegevens zijn te beperkt, en trends inconsistent, om een patroon in extratropische depressies te identificeren.

- Zoals met tropische cyclonen wordt het detecteren van lange termijn veranderingen in waarden van extratropische depressies gehinderd door incomplete en veranderende waarnemingssystemen. Sommige eerdere resultaten zijn in twijfel getrokken vanwege veranderingen in het waarnemingssysteem. [3.8.4.1]
- Er is een schijnbare toename in het aantal diepe depressies in de noordelijke Pacific en noordelijke Atlantische oceaan, maar alleen de noord-Pacifische trend is statistisch significant. Significante afnames zijn waargenomen in aantallen depressies in niet-tropische gebieden van het Zuidelijk Halfrond gedurende de laatste twee of drie decades, samen met toenames in de gemiddelde grootte en diepte van de depressies [3.8.4.1].

[2.3d] Bewijsmateriaal voor veranderingen in temperatuurvariabiliteit zijn beperkt en niet significant.

- Aanwijzingen voor veranderingen in de waargenomen interjaarlijkse variabiliteit is nog altijd beperkt. Seizoensgemiddelde temperaturen in centraal Europa laten een zwakke toename zien

in de zomer en een afname in de winter voor de periode 1961 tot 2004. Deze veranderingen zijn statistisch niet significant op het 10% niveau. [3.8.2.1]

- Regionale studies van over verschillende continenten laten patronen in veranderingen van extremen zien die consistent zijn met een algemene opwarming, hoewel de waargenomen veranderingen in de staart van de temperatuurverdelingen niet consistent zijn met een simpele toename van de gehele temperatuurverdeling. [3.8.2.1]
- Voor de periode 1951-2003 laat driekwart van de wereldwijde landgebieden waar gemeten is een significante afname in het jaarlijkse aantal van koude nachten zien; terwijl een significante toename in jaarlijkse warme nachten optrad voor meer dan 72 % van het gebied. Dit impliceert een positieve verschuiving in de distributie van wereldwijde dagelijkse minimumtemperaturen. Veranderingen in het aantal koude en warme dagen laat ook een opwarming zien, maar minder duidelijk. Dit is consistent met de toename in minimum temperaturen ten opzichte van maximum temperaturen. [3.8.2.1]

2.4 OCEAANTEMPERATUREN EN DE ZEESPIEGEL

[2.4a] Met betrekking tot de Golfstroom en de wereldwijde “Meridional Overturning Circulation” (MOC) is het zeer aannemelijk dat de MOC is veranderd op jaarlijkse en decadale tijdschalen, maar dat aanwijzingen voor algemene verzwakking wisselend en onzeker zijn, en dat de link met het klimaat van het aardoppervlak slecht begrepen is.

- De wereldwijde “Meridional Overturning Circulation” (MOC) bestaat primair uit water met grote dichtheid die naar de zeebodem zakt op hoge breedtegraden in de noordelijke Atlantische Oceaan en nabij Antarctica. Deze beïnvloeden wereldwijde oceaanstromingen en mogelijk ook wind patronen, inclusief de Golfstroom. [Box 5.1]
- Er bestaan alleen indirecte schattingen van de MOC sterkte en variabiliteit, en de beste aanwijzingen voor waargenomen veranderingen in de MOC komt van de noordelijke Atlantische oceaan. [Box 5.1].
- Er zijn aanwijzingen voor een link tussen de MOC en abrupte veranderingen in het klimaat van het aardoppervlak gedurende de laatste 120.000 jaar, hoewel de precieze mechanismen niet duidelijk zijn [Box 5.1].
- Een recente studie concludeerde dat het MOC transport in de noordelijke Atlantische Oceaan tussen 1957 en 2004 op 25°N met 30% is afgenomen, dat er sprake was van een sterkere “mid-ocean return” stroming in de bovenste kilometer, maar niet van een afname in de sterkte van de Golfstroom. Het dient opgemerkt te worden dat deze resultaten gebaseerd zijn op 5 “momentopnamen” in de tijd, en het is niet duidelijk of de schatting van de trend gezien kan worden als robuust vanwege de aanwezigheid van aanzienlijke variabiliteit. [Box 5.1]
- Twee andere studies hebben een op modellen gebaseerde relatie tussen het MOC transport en de interdecadale zeevatertemperatuurpatronen bestudeerd en geconcludeerd dat de MOC is toegenomen sinds de jaren 1970. [Box 5.1]
- Er is slechts een laag niveau van vertrouwen dat de sterkte van het diepe oceaan deel van de MOC in de noordelijke Atlantische Oceaan ook daadwerkelijk is afgenomen. [box 5.1]

Aanvullende Informatie: Vragen over het MOC Mechanisme

Het is niet formeel vastgesteld dat diepwaterformatie de MOC aandrijft. Anderen hebben beargumenteerd (bv. Wunsch, C. 2002) dat diepwaterformatie niet voldoende energie produceert om de MOC aan te drijven, en dat het grotendeels een windgedreven circulatie is, waar het windveld de mechanische energie levert die noodzakelijk is om de natuurlijke stratificatie van de oceaan te overwinnen.

Een recent artikel (Latif et al. 2006) concludeert dat multi-decadale MOC variaties begrepen kunnen worden als een vertraagd gevolg van de multi-decadale variaties in de NAO, en het levert geen enkele aanwijzing voor een voortdurende verzwakking van de MOC gedurende de laatste paar decades.

[2.4b] Met betrekking tot de zeespiegel is het een kritiek punt hoe de gegevens worden aangepast voor verticale bewegingen van het land waar de getijdenmeters zich bevinden. De huidige gegevens suggereren een wereldwijde zeespiegelstijging tussen 2 en 3 millimeter per jaar.

- Getijdenmeters leveren zeespiegelvariaties ten opzicht van het land waarop ze zich bevinden. De aardkorst is echter onderwerp van verschillende verticale bewegingen door geologische factoren zoals tektoniek en lokale subsidentie. Om een nauwkeurig zeespiegelsignaal te verkrijgen moeten de getijdenmeter metingen aangepast worden om te compenseren voor verticale bewegingen [5.5.1]
- Zeespiegelveranderingen gebaseerd op satelliet-altimetriemetingen worden gedaan ten opzichte van het massacentrum van de Aarde, en worden dus niet verstoord door landbewegingen, met uitzondering voor kleine gedeeltes vanwege de grootschalige deformatie van oceaانبekkens door Glaciale Istostatische Aanpassing (GIA). [5.5.1]
- Modellen worden gebruikt om recente wereldwijde getijdenmeter metingen te corrigeren voor de Glaciale Istostatische Rebound (GIR), maar niet voor andere landbewegingen. De aangepaste waarden kunnen onderschat worden met vele tienden van millimeters per jaar in analyses die extrapolaties gebruiken van geologische gegevens op locaties nabij de meters.
- Gegevens van getijdenmeters suggereren een gemiddelde zeespiegelstijging voor 1961-2003 van ongeveer 1.8 mm/jaar, ± 0.5 mm. [5.5.2.1]
- Schattingen gebaseerd op satellietwaarnemingen van de gemiddelde zeespiegel hebben aan nauwkeurigheid van ± 5 mm. Satellietgegevens laten een tempo van zeespiegelstijging zien van $+3.1 \text{ mm} \pm 0.8 \text{ mm}$ per jaar gedurende 1993-2005. De nauwkeurigheid van deze schatting is deels afhankelijk van de kalibratie met verticale landbewegingen zoals gemeten nabij getijdenmeters. [5.5.2.1]
- Ter vergelijking, satellietwaarnemingen laten een 15 mm stijging en daling van de gemiddelde zeespiegel en een 0.4°C stijging en daling van de wereldwijde gemiddelde zeevatertemperatuur zien behorende bij de El-Niño/Zuidelijke Oscillatie (ENSO) van 1997-1998. [5.5.2.1]

[2.4c] Regionale trends in de hoogte van de zeespiegel zijn behoorlijk variabel en sommige gebieden laten een afname in de hoogte van de zeespiegel zien. Veranderingen in luchtdruk en wind verklaren sommige waargenomen stijgingen in de hoogte van de zeespiegel.

- Hoewel de wereldwijde hoogte van de zeespiegel is gestegen met ~ 120 m tijdens een aantal millennia die volgden op het eind van het laatste glaciële maximum, stabiliseerde de zeespiegel tussen 3000 en 2000 jaar geleden. Sindsdien suggereren paleo-indicatoren voor de stijging van de hoogte van de zeespiegel dat deze niet significant veranderd zijn. De gemiddelde snelheid van verandering van 2000 tot 100 jaar geleden is nagenoeg nul. [Vraag 5.1]
- Hoewel regionale variabiliteit van de hoogte van de zeespiegel in kustgebieden werd gerapporteerd door analyses van getijdenmeters, geeft de wereldwijde dekking van satelliet-altimetrie ondubbelzinnige aanwijzingen voor niet-uniforme veranderingen van de hoogte van de zeespiegel in open oceanen. [5.5.2.2]
- Tijdens de afgelopen decade lieten de westelijke Pacific en de oostelijke Indische Oceaan de grootste magnitude in de stijging van de zeespiegel zien, echter, de hoogte van de zeespiegel is gedaald in de oostelijke Pacific en westelijke Indische Oceaan. [5.5.2.2]

- Met uitzondering van het gebied van de Golfstroom laat het grootste deel van de Atlantische Oceaan een stijging van de hoogte van de zeespiegel zien tijdens de laatste decade. [5.5.2.2]
- De noordoost Atlantische gegevens van de hoogte van de zeespiegel zijn opmerkelijk vanwege hun lager-dan-wereldwijd-gemiddelde trends gedurende de 20^e eeuw. Verklaringen bestaan onder meer uit GIA en luchtdruk- en windveranderingen ten gevolge van de Noord-Atlantische Oscillatie (NAO) [5.5.2.6.1].
- Gegevens van de hoogte van de zeespiegel in de Arctische Oceaan laten een duidelijke decadale variabiliteit zien die correspondeert met de variabiliteit van de NAO index. In dit specifieke gebied dragen de windschuifspanning en atmosferische luchtdruk voor ongeveer de helft bij aan de waargenomen Arctische stijging van de zeespiegel [5.5.2.6.3].

[2.4d] Er zijn weinig gegevens beschikbaar van Pacifische eilanden. De beschikbare gegevens lijken een stijging van de zeespiegel van minder dan 1 mm per jaar aan te geven.

- Er zijn maar vier Pacifische eiland stations met meer dan 50 jaar aan gegevens, en deze geven een gemiddelde snelheid van stijging van de zeespiegel (relatief ten opzichte van de aardkorst) van 1.6 mm/jaar. 22 Pacifische eiland stations hebben meer dan 25 jaar aan gegevens en geven een gemiddelde stijging van de zeespiegel die minder dan de helft daarvan is: 0.7 mm/jaar. Deze gegevens hebben echter last van slecht gekwantificeerde verticale landbewegingen. [5.5.2.6.3]

[2.4e] Veranderingen in extreme zeespiegels worden veroorzaakt door veranderingen in de hoogte van de zeespiegel en depressieactiviteit. 20^e-eeuwse trends verschillen van locatie tot locatie.

- Het jaarlijkse maximum aantal hoog water stormvloed in Liverpool (sinds 1768) was groter in de late 18^e, late 19^e en late 20^e -eeuwse periodes dan gedurende het grootste deel van de 20^e eeuw. [5.5.2.7]
- De getijdenmetingen in Brest van 1860 tot 1994 laten een toename zien in stormvloed (zoals gemeten bij de maxima en de top 1% groepen), maar laten een afnemende trend zien gedurende de periode 1953-1994.
- Extreme winter stormvloed in San Francisco laten een significante toename in de trend zien sinds 1950. [5.5.2.7]
- De toename in extreme hoogte van de zeespiegel langs de westkust van de VS hangt nauw samen met de algemene toename in de hoogte van de zeespiegel.
- Een lange termijn toename van het aantal en de hoogte van extreme dagelijkse zeespiegelhoogtes wordt waargenomen in Honolulu, maar zijn geen aanwijzingen die een verhoging aangeven relatief ten opzichte van de onderliggende gemiddelde stijging van de zeespiegel. [5.5.2.7]

[2.4f] De stijging van de zeespiegel tijdens de afgelopen decades zijn niet uniform, en het is op het moment onduidelijk in hoeverre ze toegeschreven kunnen worden aan natuurlijke variabiliteit.

- De op instrumenten gebaseerde schattingen van de meest recente stijging van de zeespiegel geven aanwijzingen voor het begin van een versnelling aan het eind van de 19^e eeuw. Recente schattingen voor de tweede helft van de 20^e eeuw (1950-2000) geven ongeveer een 2 mm/jaar wereldwijd gemiddelde zeespiegelstijging. Nieuwe satellietwaarnemingen laten zien dat sinds 1993 de zeespiegel is gestegen met een snelheid van 3.1 mm/jaar [Vraag 5.1].
- Satellietwaarnemingen bevestigen ook dat de stijging van de zeespiegel wereldwijd niet uniform is. [Vraag 5.1]
- Het is op het moment onduidelijk of een grotere snelheid van zeespiegelstijging gedurende de jaren 1990 een indicatie is voor een versnelling ten gevolge van antropogene wereldwijde opwarming, of het resultaat van natuurlijke klimaatvariabiliteit, of een combinatie van beide effecten. [Vraag 5.1]

Aanvullende Informatie: Historische stormvloeden

De grootste stormvloed in historische tijden was 13.6 meter en vond plaats in 1876 in de Baai van Bengalen. De tweede hoogste die bekend is was 13 meter in de Bathurst Baai in Australië in 1899. Sinds 1876 bedroeg de maximale stormvloed in de Baai van Bengalen ongeveer 9 meter in 1970 en 1999. Ter vergelijking, de maximale stormvloed door cycloon Katrina van augustus 2005 bedroeg 8.5 meter.

2,5 GLETSJERS, ZEEIJS EN IJSKAPPEN

[2.5a] Gletsjerarchieven geven aan dat de meeste van de alpine gletsjers op Aarde zijn verdwenen tussen 9.000 tot 6.000 jaar geleden.

- De meeste archieven op het Noordelijke Halfrond en de tropen laten kleine of verdwenen gletsjers zien tussen 9.000 en 6.000 jaar geleden [Box 6.3].
- Gletsjers begonnen daarna te groeien tot aan de jaren 1800 [Box 6.3].
- Deze tendens hangt hoofdzakelijk samen met veranderingen in de baan van de Aarde om de zon, echter, kortere, decadale en regionaal afwijkende gletsjerbewegingen moeten gedreven zijn door andere oorzaken die complex en slecht begrepen zijn. [Box 6.3]

[2.5b] Gletsjers hebben zich sinds 1800 op de meeste plaatsen teruggetrokken.

- Na 1800 startte een algemene terugtrekking van gletsjers, met na 1850 aanzienlijke gemiddelde snelheden in alle gebieden. Dit is in de 20^e eeuw doorgegaan. De ruwe gegevens laten tussen 1970 en 1990 een vertraging van deze terugtrekking zien. In de jaren 90 versnelde de terugtrekking zich weer, hoewel groeiende gletsjers zijn waargenomen in westelijk Scandinavië en Nieuw Zeeland [4.5.2].
- Er zijn slechts een paar reeksen van direct gemeten gletsjer massabalansen, en deze gaan terug tot slechts het midden van de 20^e eeuw. [4.5.2] Als gebiedsgemiddelden en ruimtelijke interpolatie gebruikt worden om met de beschikbare gegevens grootschalige patronen te schatten dan lijkt na 1998 de terugtrekkende trend van de jaren 1990 te zijn gestopt of omgekeerd. [Figuur 4.5.2]

[2.5c] Gedurende de laatste halve eeuw zijn zowel de gemiddelde winteraccumulatie van gletsjers als de afsmelting tijdens de zomer toegenomen.

- In ieder geval voor het Noordelijke Halfrond correleren winter accumulatie en zomerse afsmelting positief met hemisferische luchttemperaturen, terwijl de netto balans negatief correleert met de hemisferische luchttemperatuur. Een analyse van 21 gletsjers op het Noordelijk Halfrond vond een tamelijk uniform toegenomen massa-omslag-snelheid, kwalitatief consistent met een matige toename van de neerslag en een substantiële toename van afsmelten op lage hoogte.

[2.5d] Hoewel het verlies van de gletsjermassa op het Noordelijk Halfrond versnelde in de jaren 1990, stopte tegelijkertijd de afname van de Arctische zeeijsdikte.

- In het Noordelijk Halfrond ging het verlies aan gletsjermassa twee keer zo snel in de jaren 1990 als tussen 1960 tot 1990 [4.5.2].
- Een vroegere studie van de dikte van het Arctisch ijs dat zich onder de zeespiegel bevindt (“sea ice draft”) vond in het midden van de jaren 1990 dat die dikte minder was dan zoals gemeten tussen 1958 en 1977 op alle beschikbare plaatsen (inclusief de Noordpool). De afname was gemiddeld 42% van de gemiddelde dikte voor de periode 1958-1977. Vervolgstudies geven aan dat de afname van ijsdikte niet geleidelijk, maar nogal abrupt voor 1991 had plaats gevonden terwijl zes cruises tijdens de lentes van 1991 tot 1996 geen aanwijzingen konden vinden voor het dunner worden langs 150°W. Waarnemingen tijdens de lentes van 1976 tot 1994 langs dezelfde meridiaan tonen een afname in ijs”draft” ergens

tussen het midden van de jaren 1980 en begin jaren 1990, met weinig veranderingen nadien. [4.4.3.2]

[2.5e] Op regionale basis blijven de patronen van gletsjer-regimes complex. Neerslag en veranderingen in de zon lijken de drijvende factoren te zijn, vooral in de tropen, inclusief de Kilimanjaro.

- Hoewel rapportages over de lengte van individuele gletsjers of gletsjers in beperkte gebieden het wereldwijde beeld ondersteunen van voortdurende sterke afname van ijs in nagenoeg alle gebieden, zijn er enkele uitzonderlijke gevallen die de complexiteit van zowel het regionale als het lokale klimaat en respectievelijke gletsjerregimes illustreren [4.5.3].
- Hoewel de gletsjers van de Himalaya over het algemeen met verschillende tempo's kleiner zijn geworden, zijn er verscheidene hoge gletsjers in de centrale *Karakoram* gerapporteerd waarvan de gletsjertongen langer en/of dikker zijn geworden, waarschijnlijk veroorzaakt door toegenomen transport van vochtigheid naar grote hoogtes. [4.5.3]
- Noorse kustgletsjers zijn gegroeid tijdens de jaren 1990 en begonnen met krimpen rond 2000 als gevolg van een bijna simultane afname in winteraccumulatie en grotere afsmelting tijdens de zomer. Noorse gletsjertermini verder landinwaarts hebben zich voortdurend teruggetrokken met een meer gematigde snelheid. [4.5.3]
- Gletsjers in de Nieuw-Zeelandse Alpen zijn gegroeid tijdens de jaren 1990, maar zijn begonnen te krimpen vanaf 2000. [4.5.3]
- Tropische gletsjers, in principe erg gevoelig voor zowel temperatuurveranderingen als veranderingen in vocht in de atmosfeer, zijn meestal gekrompen ten gevolge van regionale veranderingen in atmosferisch vocht, en de daaraan gerelateerde energie- en massabalansvariabelen zoals zonnestraling, neerslag, albedo en sublimatie tijdens de 20^e eeuw. Interjaarlijkse variaties in de seizoensgang van vocht domineren sterk het gedrag van tropische gletsjers. [4.5.3]
- Gletsjers op de Kilimanjaro gedragen zich uitzonderlijk. Hoewel de dikte van het “tafel”-ijs op het topplateau niet dramatisch veranderde tijdens de 20^e eeuw, laat het ijs een voortdurende terugtrekking zien van de verticale ijswanden die zich aan de rand bevinden, waarvoor zonnestraling is geïdentificeerd als de belangrijkste factor. De massabalans van de horizontale top-ijsoppervlakte wordt bepaald door de neerslaghoeveelheid en frequentie en het daarbij behorende albedo, en deze massabalans heeft jaarlijks sporadisch een positieve waarde bereikt, zelfs in recente jaren. In contrast met het plateau-ijs is het krimpen van de gletsjers op de hellingen van Kilimanjaro voortdurend aan het versnellen. [4.5.3]

[2.5f] De dikte van het zeeijs is een van de moeilijkst op grote schaal te meten geofysische parameters.

- Omdat een grote variabiliteit inherent is aan het zeeijs-klimaatstelsel is de evaluatie van trends in de dikte van het zeeijs uit beschikbare waarnemingen moeilijk. [4.4.3.7]
- Recente veranderingen hebben plaatsgevonden binnen de context van lange termijn decadale variabiliteit door zowel dynamische als thermodynamische forcering van het ijs door circulatieveranderingen die samenhangen met laagfrequente toestanden van atmosferische variabiliteit. [4.4.3.7]
- De ijsdikte varieert aanzienlijk van jaar tot jaar op een gegeven locatie en daardoor maakt de beperkte beschikbaarheid van gegevens van onderzeeërs het moeilijk om daaruit iets over lange termijn veranderingen af te leiden. [4.4.3.2]
- Er zijn onvoldoende gegevens om iets te concluderen over trends in de dikte van het Antarctische zeeijs [4.4.3.7]

[2.5g] Het is niet mogelijk om abrupte veranderingen van de dikte van zeeijs zoals afgeleid van waarnemingen van onderzeeërs geheel toe te schrijven aan de (nogal trage) waargenomen opwarming van het Arctische gebied.

- Sommige van de dramatische aannames zouden het gevolg kunnen zijn van een windgedreven herdistributie in de tijd van het ijsvolume. [4.4.3.4]

- Laagfrequente, grootschalige toestanden van atmosferische variabiliteit (zoals de interjaarlijkse veranderingen in de circulatie die samenhangt met de Northern Annular Mode) beïnvloeden zowel de windgedreven drift van het zeeijs als het warmtetransport in de atmosfeer, en dragen daardoor bij aan de interjaarlijkse variaties in zeeijsformatie, -groei en afsmelting. [4.4.3.4]

[2.5h] Schattingen van veranderingen van de Groenlandse ijskap tonen een verdunnen van het ijs nabij de kusten en een verdikking van het binnenlandse ijs.

- Veel recente studies hebben de Groenlandse massabalans bekeken. Ze schetsen een grootschalig beeld van een lichte binnenlandse verdikking en een sterke verdunning nabij kusten, vooral in het zuiden nabij snel bewegende uitgaande gletsjers. [4.6.2.2]
- Evaluatie van de gegevens en technieken suggereren dat de grootschalige massabalans van de Groenlandse ijskap varieert tussen een groei van 25 Gigaton per jaar (Gt j^{-1}) tot een reductie met 60 Gr j^{-1} voor 1961-2003. [4.6.2.2]
- Deze spreiding verandert tot een reductie van 50-100 Gt j^{-1} voor 1993-2003 (wat vertaald kan worden naar een 0.1-0.2 mm per jaar zeespiegelstijging [10.3.4]) en zelfs grotere reducties tussen 2003 en 2005. Echter, de interjaarlijkse variabiliteit is erg groot, grotendeels gedreven door variabiliteit in zomerafsmelting en plotselinge versnellingen van gletsjerstromen. Als gevolg van de korte tijdsintervallen waarvoor instrumentele metingen beschikbaar zijn is het onderscheiden van fluctuaties en trends een bron van zorg. [4.6.2.2]

[2.5i] De ijskap van oostelijk Antarctica lijkt gegroeid te zijn terwijl die van westelijk Antarctica geslonken lijkt te zijn. Deze verandering kan zowel positief als negatief zijn, afhankelijk van de aannames over ijsdynamica.

- Evaluatie van de gegevens en technieken suggereren dat de totale massabalans van de Antarctische ijskap varieert van een groei met 50 Gt j^{-1} tot een afname met 200 Gt j^{-1} tussen 1993 en 2003. [4.6.2.2]
- Er zijn geen indicaties dat het midden van de geschatte waarden de beste schatting is. Gebrek aan oudere gegevens compliceert eenzelfde schatting voor de periode 1961-2003. [4.6.2.2]
- Het patroon van Oost-Antarctische verdikking en West-Antarctische verdunning werd waargenomen in verschillende onafhankelijke studies [4.6.2.2]
- Gegeven het gebrek aan schattingen van grote trends in de accumulatiesnelheid, schattingen van de mogelijke versnelling en de trage tijdschalen die centrale gebieden van de ijskap beïnvloeden, is het aannemelijk te schatten dat het gedrag voor 1961-2003 valt binnen een groei van de ijskap met 100 Gt j^{-1} en een afname met 200 Gt j^{-1} . [4.6.2.2]

[2.5j] Het opsommen van veranderingen op Groenland en Antarctica levert een algemene toe- of afname van de ijsmassa over de periode 1961-2003 op.

- Het simpelweg optellen van de 1993-2003 bijdrages van Groenland en Antarctica levert een variatie op van “in balans” (0 Gt j^{-1}) tot een afname met 300 Gt j^{-1} , of een bijdrage aan de stijging van de zeespiegel van 0 tot 0.8 mm per jaar. [4.6.2.2]
- Dezelfde berekening levert voor 1961-2003 levert resultaten variërend van 125 Gt j^{-1} groei tot 260 Gt j^{-1} afname op. [4.6.2.2]

2.6 VOCHTIGHEID EN STRALINGSFLUX

[2.6a] Veranderingen van waterdamp in de middelste en hogere troposfeer worden gesuggereerd als belangrijk versterkingsmechanisme van klimaatverandering. Er is bewijsmateriaal voor toegenomen specifieke vochtigheid in de afgelopen twee decades, maar niet in relatieve vochtigheid.

- Waterdamp in de middelste en hogere troposfeer is verantwoordelijk voor een groot deel van het atmosferische broeikaseffect en het wordt aangenomen dat het een belangrijk versterkingmechanisme is van klimaatverandering [3.4.2.2].
- Vanwege beperkingen van instrumentatie zijn lange termijn veranderingen van waterdamp in de hogere troposfeer moeilijk te schatten. [3.4.2.2]
- Satellietwaarnemingen geven aan dat specifieke vochtigheid in de hogere troposfeer is toegenomen tijdens de periode 1982-2004, maar veranderingen in relatieve vochtigheid zijn verwaarloosbaar. [3.4.2.2]
- Dit kenmerk is over het algemeen consistent met toegenomen troposferische temperaturen, hoewel de toename in specifieke vochtigheid het sterkst is in de tropen, waar temperatuurtrends niet significant zijn. [zie 2.1g]

[2.6b] Waargenomen veranderingen in stralingsflux aan de top van de atmosfeer zijn klein en onduidelijk, en mogelijk reflecteren ze simpelweg natuurlijke variabiliteit.

- Hoewel er onafhankelijk bewijsmateriaal is voor decadale veranderingen in de top-van-de-Atmosfeer (TOA) stralingsfluxen gedurende de laatste twee decades, is het erg onduidelijk. [3.4.4]
- Veranderingen in de planetaire en tropische TOA stralingsfluxen zijn consistent met onafhankelijk wereldwijde gegevens van warmteopslag, en naar verwachting gedomineerd door veranderingen in de stralingsforcering van wolken. In zoverre de aanwijzingen valide zijn is het mogelijk dat ze simpelweg het gevolg zijn van natuurlijke laagfrequente variaties van het klimaatstelsel. [3.4.4]

3. KLIMATOLOGISCHE VERANDERINGEN VANUIT EEN PALEOKLIMATOLOGISCH PERSPECTIEF

3.1 HISTORISCHE AANWIJZINGEN VAN WARME EN KOUDE EPISODES

[3.1a] Op tijdschalen van miljoenen jaren zijn de huidige temperaturen niet uniek. Voor het grootste deel van de laatste miljoen jaar, zo niet de gehele periode, waren temperaturen warmer dan nu, inclusief een superwarm interval ongeveer 50 miljoen jaar geleden.

- De aarde was ijsvrij tijdens het grootste deel van zijn historie. [6.3.1]
- Het Pliocen (plm 3 miljoen jaar geleden) was de meest recente periode in de Aardse historie met wereldwijd substantieel hogere temperaturen (ongeveer 2°C tot 3° warmer). [6.3.2]
- Het Paleocen-Eoceen Thermische Maximum was ook een paar graden warmer. [6.3.3]

[3.1b] Anderzijds zijn temperaturen gedurende de laatste miljoen jaar (het Pleistoceen) kouder geweest dan nu. Lange glaciële periodes zijn afgewisseld met korte (10 tot 30.000 jaar lang) interglaciëlen.

- Continentale gletsjers hebben het grootste deel van Noord Amerika, Europa en Azië bedekt tijdens het Pleistoceen. [6.4.1]
- Ijskernen en oceaansedimentkernen hebben ons begrip van zowel glaciëlen als interglaciëlen verbeterd. [6.4.1]
- Glaciëlen en interglaciëlen worden toegeschreven aan veranderingen in de baan van de aarde: precisie, obliquiteit en excentriciteit. [Box 6.1]

[3.1c] Het laatste interglaciëel (LIG, 129.000-116.000 jaar geleden) was warmer dan nu.

- Wereldwijd was er minder glaciëel ijs en een hogere zeespiegel op Aarde tijdens de Laatste InterGlaciëel dan nu. Dit suggereert dat een significante afsmelting van de Groenlandse en mogelijk ook van de Antarctische ijskap heeft plaatsgevonden. Voor het klimaat van de LIG is afgeleid dat het warmer was dan nu, hoewel de aanwijzingen regionaal zijn en niet noodzakelijkerwijs wereldwijd synchroon. Proxy gegevens tonen warmer-dan-nu kustwateren in de Pacific, de Atlantische Oceaan, de Indische Oceaan en de Middellandse Zee, sterk gereduceerd zeeijs in de kustwateren rond Alaska, en toegenomen boreale (NH) wouden in gebieden in centraal Alaska en Siberië die nu toendra zijn, tijdens het begin van de LIG. Ijskerngegevens geven aan dat Groenlandse en Antarctische temperaturen 4-5°C warmer waren dan nu. [6.4.1.6]
- De lengte en amplitude van interglaciëlen varieerden. De kortste duurde slechts een paar duizend jaar, terwijl de langste (fase 11) bijna 30.000 jaar duurde. [6.4.1.5]

[3.1d] Het huidige interglaciëel (het Holoceen) begon ongeveer 11.600 jaar geleden en is al langer dan sommige interglaciëlen. Sommige kenmerken zijn vergelijkbaar met de ongebruikelijke lange fase 11 interglaciëel. [6.5, 6.4.1.5]

- De meest recent ijstijd begon 116.000 jaar geleden. De glaciatie bereikte ongeveer 21.000 jaar geleden een maximum. Deglaciatie, of de overgang naar een warm interval, vond tussen 20.000 en 10.000 jaar geleden plaats. [6.4.1.2]
- De huidige orbitale configuratie wordt wel vergeleken met de fase 11 configuratie (320.000-295.000), toen er een lang interglaciëel was. [6.4.1.5]

[3.1e] Grote, wijdverbreide abrupte klimaatveranderingen hebben herhaaldelijk plaatsgevonden tijdens het ijstijd/postglaciale interval.

- Abrupte klimaatverandering zijn gebeurtenissen met een grote regionale amplitude, typisch een paar graden C, en die zich voordoen op tijdschalen significant korter dan 1000 jaar. [1.4.2]
- Grote, wijdverspreide, abrupte klimaatveranderingen hebben herhaaldelijk plaatsgevonden tijdens het ijstijd-naar-post-glaciale interval. Abrupte temperatuurgebeurtenissen waren groter en meer wereldwijd verspreid tijdens de ijstijd dan tijdens het warme Holoceen. De meest dramatische van deze abrupte klimaatveranderingen worden gekarakteriseerd door een opwarming van Groenland met 8 tot 16°C binnen een aantal decades, gevolgd door een veel langzamere afkoeling gedurende een aantal honderden jaren. Een ander type van abrupte verandering is de Heinrich-gebeurtenis, wat onder andere een zeewaterafkoeling die vele duizenden jaren duurde betrof, gevolgd door abrupte opwarming tijdens enkele decades. Aan het eind van de laatste ijstijd, toen het klimaat opwarmde en ijskappen smolten, onderging het klimaat een aantal abrupte koude fases, vooral het “Younger Dryas” en de 8.2 kyr gebeurtenis (8.200 jaar).
- Abrupte temperatuurveranderingen werden voor het eerste gedetecteerd in diepe ijskernboringen van Groenland. Tegen het einde van de jaren 1990 werd het duidelijk dat abrupte klimaatveranderingen, zoals men die ontdekte in de Groenlandse ijskernen en die plaats vonden tijdens de laatste ijstijd, veelvuldig waren voorgekomen, inderdaad abrupt waren, en groot in amplitude. [1.4.2]
- Het belang van interne variabiliteit en processen werd versterkt in de vroege jaren 1990 met de analyse van reeksen met hoge tijdsresolutie: nieuwe ijskernen, oceaankernen met een hoge sedimentatiesnelheid, sedimenten in meren, en ook in stalagmieten in grotten. Reconstructie van de thermohaline circulatie van diep en oppervlaktewater laat zien dat oceanen bijdragen aan deze abrupte veranderingen. [1.4.2]
- Er zijn vele voorbeelden van abrupte veranderingen die eerder regionaal dan wereldwijd van invloed zijn. [1.4.2]
- Abrupte klimaatverandering tijdens zowel ijstijden als warme periodes veranderen de notie van een relatief stabiel klimaat, zoals eerder gesuggereerd. In plaats daarvan is er een coherent beeld van een in globale context onstabiel oceaan-atmosfeersysteem.

[3.1f] De oorzaken van grootschalige klimaatvariabiliteit op tijdschalen van 100 jaar en langer zijn niet goed begrepen.

- Gebaseerd op de correlaties tussen veranderingen in klimaatproxy-reeksen en de productie van kosmogene isotopen – waarvan aangenomen wordt dat ze samenhangen met veranderingen in zonneactiviteit – beweren sommige auteurs dat connectiviteit de drijvende kracht is achter variabiliteit op tijdschalen van honderden tot duizenden jaren. Korrelaties tussen klimaatproxy-reeksen en variaties van het geomagnetische veld suggereren voorts invloed op het klimaat van kosmische straling op tijdschalen van duizenden jaren en langer. Het mogelijke belang van interne klimaatvariabiliteit, bijvoorbeeld in verband met diepe oceaanstromingen, wordt ook wel genoemd. [6.5.1.6]
- Echter, in veel reeksen is er geen duidelijk consistent tijdsgedrag op specifieke honderd- tot duizendjarige frequenties tijdens de periode van het Holoceen, maar in plaats daarvan verschuivingen tussen verschillende frequenties. [6.5.1.6]
- Het huidige gebrek aan consistentie tussen de verschillende datasets maakt het moeilijk om, gebaseerd op de huidige kennis, grootschalige klimaatvariabiliteit op tijdschalen van 100 jaar en langer, toe te kennen aan connectiviteit, perioden van intens vulkanisme, of interne variabiliteit van het klimaatsysteem. [6.5.1.6]

3.2 GLOBALE KLIMAATRECONSTRUCTIES VAN DE LAATSTE 2000 JAAR.

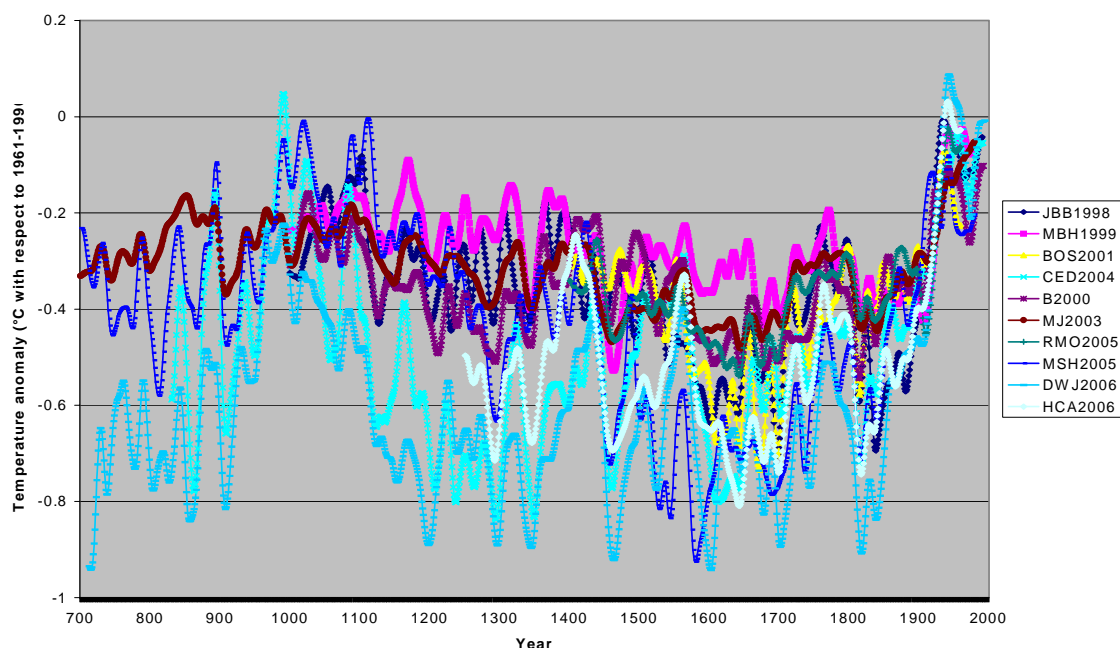
[3.2a] Van natuurlijke klimaatvariabiliteit wordt op het moment aangenomen dat ze substantieel groter was dan geschat werd in het Derde Assessment Rapport, evenals de onzekerheid die met paleoklimatologische studies geassocieerd wordt.

- Het Derde Assessment Rapport legde veel nadruk op de “hockey stick” klimaatreconstructie, welke suggereert dat het late 20^e-eeuwse klimaat was ongebruikelijk binnen de context van de laatste 1.000 jaar. Deze grafiek is vervolgens onderwerp geweest van aanzienlijke kritiek [6.6.1.1].
- Wanneer de nu beschikbare reconstructies allen samen worden getoond (Figuur ISPM-9) dan geven ze over het algemeen een grotere variabiliteit weer in trends op tijdschalen van honderd jaar of meer gedurende de laatste 1000 jaar dan aanwezig in het Derde Assessment Rapport.
- Proxy aanwijzingen kunnen de gemiddelde Noordelijk Halfrond temperaturen niet karakteriseren binnen op zijn minst $\pm 0.5C$, en voor grote delen van de tijd verschillen de beschikbare reconstructies met 0.7-1.0C [Figuur 6.10; Figuur ISPM-9].

Aanvullende Informatie: Recente weerlegging van de duizendjarige hockeystick methoden en conclusies.

Twee recente, gedetailleerde evaluaties van de methodiek van paleoklimatologische reconstructies (National Research Council 2006, Wegman et al. 2006) concluderen dat er methodologische fouten zaten in de “hockey stick” grafiek van Mann et al., die prominent gepromoot werd in het TAR (Summary for Policy Makers Figuur 1). Beide rapporten concluderen dat de gegevens en methodes de stelling niet ondersteunen dat de jaren 1990 de “warmste decade van het millennium” waren en 1998 het “warmste jaar” van het millennium (NRC p.109; Wegman et al. P.49). Het “National Research Council” rapport concludeerde ook dat onzekerheden van gepubliceerde paleoklimatologische reconstructies over het algemeen onderschat waren (NRC p.91).

Het “National Research Council” deed de aanbeveling dat gevoeligheid van proxies voor neerslag vermeden dient te worden in temperatuurreconstructies en, in het bijzonder, dat “strip-bark bristlecones and foxtails” vermeden worden. Echter, geen van de IPCC reconstructies voor het afgelopen millennium volgde de aanbevelingen van het “National Research Council”.



Figuur ISPM-9: Een aantal recente paleoklimatologische temperatuurreconstructies voor de afgelopen 1300 jaar voor het Noordelijk Halfrond, allen gekalibreerd voor de periode 1902-1980. Noot: het verlengen met de instrumentele reeks voor na 1850 is verwijderd (zie aanvullende informatie kader hieronder). Bron: Reproductie van IPCC figuur 6-10b. (JBB1998) = Jones et al., 1998 gekalibreerd met Jones et al., 2001; (MBH1999) = Mann et al., 1999; (BOS2001) = Briffa et al., 2001; (CED2004) = Cook et al., 2004; (B2000) = Briffa, 2000 gekalibreerd met Briffa et al., 2004; (MJ2003) = Mann and Jones, 2003; (RMO2005) = Rutherford et al., 2005; (MSH2005) = Moberg et al., 2005; (DWJ2006) = D’Arrigo et al., 2006; and (HCA2006) = Hegerl et al., in press.

Aanvullende Informatie: Het Divergentie Probleem.

Een aantal recente studies (Briffa et al., 1998, Briffa et al., 2001, d’Arrigo et al., 2006, NRC 2006) heeft waargenomen dat proxies, in het bijzonder boomringproxies, en reconstructies die ervan afhankelijk zijn, divergeren van instrumentele temperatuurreeksen tijdens de temperatuurstijgingen van de jaren 1980 en 1990. Dit creëert een fundamentele onzekerheid of zulke reconstructies een opwarmende trend in het verleden zouden hebben kunnen detecteren (het “Divergentie Probleem”).

Het Divergentie Probleem is een belangrijk onopgelost probleem in duizendjarige reconstructies. Tot dat dit is opgelost is het statistische onverantwoord om instrumentreeksen toe te voegen aan op proxy gebaseerde reeksen alsof de twee verwisselbaar zijn.

Om deze reden reproduceert Figuur ISPM-9 de IPCC Figuur 6-10b met de instrumentele reeksen (in zwart) verwijderd

[3.2b] Paleoklimatologische proxy gegevens zijn beperkt en onzeker, en vele lijken alleen gevoelig te zijn voor zomertemperaturen, of neerslag.

- Op het Noordelijk Halfrond als geheel zijn er relatief weinig lang en goed gedateerde klimaatproxies, vooral voor de periode voor de 17^e eeuw. Degene die er zijn bevinden zich vooral op het land buiten de tropen, en vele hebben de grootste gevoeligheid voor zomer in plaats van winter (of jaarlijkse) condities. [6.6.1.1]
- Er zijn aanmerkelijk minder goed gedateerde proxy reeksen voor het Zuidelijk Halfrond vergeleken met het Noordelijke Halfrond, en als gevolg daarvan zijn er weinig aanwijzingen hoe grootschalige gemiddelde oppervlakte temperaturen zijn veranderd gedurende de laatste 1000 jaar. [6.6.2]
- Er zijn erg weinig sterk temperatuurgevoelige proxies van tropische breedtegraden. Stabiele isotoopgegevens uit ijskernen van grote hoogte leveren lange reeksen en zijn geïnterpreteerd in termen van temperatuurvariabiliteit in het verleden, maar recente studies geven een dominante gevoeligheid in deze gebieden voor veranderingen in neerslag, op zijn minst op tijdschalen van seizoenen tot decades. [6.6.1.1]
- Het smelten van tropische gletsjers is waargenomen tijdens recente decades. [6.6.1.1; zie het kader met Aanvullende Informatie hieronder]

Aanvullende Informatie: Regionale paleoklimatologische indicatoren.

Het AR4 geeft een erg kort overzicht van regionale paleoklimatologische aanwijzingen van het Zuidelijk Halfrond [6.6.2]. De beschikbare literatuur van locatiespecifieke paleoklimatologie is erg groot, en levert op vele locaties in zowel het Noordelijk als het Zuidelijk Halfrond indicaties van periodes of anomale warmte die de laat 20^e-eeuwse temperaturen overschrijden. Weinig van deze informatie is bekeken in het IPCC Rapport.

Er zijn aanwijzingen dat verscheidene tropische gletsjers (Quelccaya, Puruogangri, Dasuopu) gevormd zijn na het Holoceen Optimum. Radiokoolstof-datering van fossielen die tevoorschijn zijn gekomen uit terugtrekkende gletsjers bevatten vaak aanwijzingen dat boom- en vegetatiegrenzen hoger waren in het verleden die vervolgens verzwolgen zijn door uitbreidende gletsjers tijdens de laatste paar duizend jaar en/of de Kleine IJstijd. Deze aanwijzingen geven aan dat de moderne terugtrekking niet ongekend is, zelfs binnen het Holoceen.

De literatuur wordt verder verkend in een aankomende Fraser Instituut AR4 “Supplementary Series” rapport, “Paleoklimatologische Indicatoren voor middeleeuwse Klimaatomstandigheden”

[3.2c] Onzekerheden in paleoklimatologische reconstructies beïnvloeden het werk aan klimaatmodellen omdat deze modellen getest worden tegen resultaten van paleoklimatologische reconstructies.

- Het testen van modellen met paleoklimatologische gegevens is belangrijk, omdat niet alle aspecten van klimaatmodellen getest kunnen worden met moderne instrumentele klimatologische gegevens. Het goed representeren van het huidige klimaat is geen afdoende test voor een realistische gevoeligheid voor kooldioxide. Om dit de testen kan een klimaat met heel andere CO₂ niveaus kan gebruikt worden. [6.2.2]
- Daarnaast is het zo dat veel empirische parameterisaties die sub-grid schaal processen beschrijven (bv. wolkenparameters, turbulente menging) zijn ontwikkeld met gebruik van hedendaagse waarnemingen; toestanden van het klimaat die niet gebruikt zijn in de modelontwikkeling geven een onafhankelijk standaard om modellen meet testen. [6.2.2]
- Paleoklimatologische gegevens zijn daarom een sleutel voor de evaluatie van het vermogen van klimaatmodellen om realistische klimaatverandering te simuleren. [6.2.2]

4. KLIMAATMODELLEN EN HUN EVALUATIE

4.1 FUNDAMENTELE BEPERKINGEN VAN KLIMAATMODELLEN

[4.1a] De eerste klimaatmodellen gaven enige kwalitatieve vermoedens over wereldwijd gedrag die consistent zijn met sommige waargenomen veranderingen.

- Op wereldwijde schaal zijn sommige grove voorspellingen die 30 jaar geleden gemaakt zijn over het mogelijke gevolg van toegenomen CO₂ concentratie in de atmosfeer, namelijk toegenomen troposferische temperatuur, afgenomen gemiddelde stratosferische temperatuur en een snellere hydrologische cyclus, consistent met de gegevens die er sindsdien verschenen zijn. [8.1.2]
- Zelfs wanneer specifieke voorspellingen uit blijken te komen zouden modellen kritisch bekeken moeten worden. [8.1.1]

[4.1b] De fundamentele beperkingen van klimaatmodellen zijn niet veranderd sinds het Derde Assessment Rapport.

- Klimaatmodellen maken gebruik van benaderingen van elementaire fysische processen waarvan sommige bekend zijn (bv. diegene gebaseerd op Newtoniaanse mechanica) en sommige die niet bekend zijn (bv. fundamentele convectieve processen). [8.1.3]
- “Parameterisatie” is het proces van het construeren van op empirie gebaseerde procedures die belangrijke grootschalige effecten verdisconteren die niet opgelost kunnen worden (bv. weergegeven binnen het rekenkundige schema) vanwege de gelimiteerde rekenkracht. Deze limieten worden veroorzaakt door het doel van het klimaatmodelleringsprobleem. Empirische parameterisaties zijn niet uniek. Omdat empirische parameterisaties zo bedacht kunnen worden dat ze het model forceren de waarnemingen te volgen, kan het feit dat modellen in staat zijn om waargenomen omstandigheden te reproduceren niet gezien worden als een basis om vertrouwen te hebben in het fysische realisme van het model. [8.1.3]

Aanvullende Informatie: elementaire modelonzekerheden

De volgende waarneming, gemaakt in het TAR, is ook vandaag de dag nog waar. Het Vierde Assessment Rapport had hier niets aan toe te voegen:

“In klimaatonderzoek en modellering dienen we te erkennen dat we te maken hebben met een gekoppeld niet-lineair chaotisch systeem, en daarom is de lange termijn voorspelling van toekomstige klimaatomstandigheden niet mogelijk. Het beste wat we kunnen verwachten is dat we een voorspelling van de waarschijnlijkheidsverdeling kunnen leveren van de mogelijke toekomstige omstandigheden van het systeem door het genereren van verschillende modeloplossingen”.

(Derde Assessment Rapport, Sectie 14.2.2.2)

Een uitgebreide discussie hierover is te vinden in het aankomende Fraser Instituut “Supplementary Analysis Report”, “Fundamental Uncertainties in Climate Modelling”

[4.1c] Het vermogen van een model om nauwkeurig de huidige toestand van het klimaat te simuleren betekent niet dat het betrouwbaar is voor de voorspelling van toekomstige klimaatverandering.

- Evaluatie van verschillende modellen hebben laten zien dat wanneer een groep van klimaatmodellen van “intermediate” complexiteit allen de waargenomen gemiddelde

oceaantemperatuur, gemiddelde atmosferische temperatuur en vocht kunnen reproduceren, zij niettemin aanzienlijk van elkaar kunnen verschillen in hun toekomstvoorspellingen [8.1.2].

- Figuur 8.4.2 van het Vierde Assessment Rapport laat zien dat verschillende modellen resultaten kunnen produceren met een spreiding van meer dan een factor 10 voor lange (klimaat) tijdschalen tot voorbij 100 maanden.
- Het afstemmen van modellen zodat ze het waargenomen gemiddeld klimaat “perfect” reproduceren resulteert desondanks maar in een zwak vermogen om daaropvolgende klimatologische omstandigheden te voorspellen. Het is niet mogelijk om te zeggen welke van de hedendaagse modellen betrouwbaar zijn voor klimaatvoorspellingen, zo er al een is. [8.3]

[4.1d] Het is niet formeel bekend of hedendaagse klimaatmodellen een bruikbare basis leveren voor klimaatvoorspellingen.

- Een model dat is afgestemd om een goede representatie van bepaalde sleutelwaarnemingen te produceren kan een grotere waarschijnlijkheid hebben dat het een betere voorspelling geeft dan een soortgelijk model dat niet zo nauwkeurig is afgestemd. Als het aantal vrijheidsgraden in de afstembare parameters in een Globaal Circulatie Model (GCM) het aantal vrijheidsgraden in het waargenomen klimaat overtreffen dan valt het gebruik van GCMs om klimaatverandering te voorspellen niet te verantwoorden. Er bestaat tot op dit moment geen formele evaluatie in hoeverre de huidige GCMs aan deze eis voldoen. [8.1.3.1]

[4.1e] Sommige klimaatmodellen voldoen nu aan de wet van behoud van massa, maar het is niet bekend of dit een verbetering is.

- Numerieke advection-schema's die de wet van behoud van massa, een fundamentele natuurwet, niet overtreden zijn geïntroduceerd. Er is echter geen consensus over in hoeverre ze beter zijn dan de alternatieven [8.2.1.1].
- In sommige gevallen laten nieuwe schema's geen negatieve concentraties van waterdamp toe. [8.2.1.1]

4.2 SIGNIFICANTE BEKENDE MODELPROBLEMEN

[4.2a] De kracht van de koppeling tussen landprocessen en de atmosfeer is niet bekend.

- Modellen zijn het sterk oneens over deze terugkoppeling. Er zijn op globale schaal onvoldoende gegevens om dit kenmerk van GCMs te evalueren. [8.2.3.2]

[4.2b] Cryosfeer

- Simulatie van processen op hoge breedtegraden in modellen is nog steeds een dusdanig probleem dat hun voorspellingen van zeeijs erg onzeker blijven. De winter op het Noordelijk Halfrond is de best gesimuleerde situatie, en zelfs hier is het gesimuleerde zeeijsgebied 50% groter dan het gemiddelde, en de ijsdikte varieert ook aanzienlijk. Dit is bijzonder vervelend omdat de bias in het gemodelleerde zeeijs de wereldwijde klimaatgevoeligheid kan beïnvloeden. [8.3.3]
- Op een continentale schaal varieert de piek in maandelijks hoeveelheid water in sneeuw, geïntegreerd over het Noord-Amerikaanse continent met $\pm 50\%$ van de waargenomen waarde van 1500 km^3 . De magnitude van deze modelfouten is groot genoeg om de continentale waterbalans te beïnvloeden. [8.3.4.1]
- Gletsjers worden niet gemodelleerd. [8.2.4.1]

[4.2c] Wolken

- De relatief slechte simulatie van wolken in het huidige klimaat is een reden voor enige zorg. Wolkenterugkoppelingen geven aan dat klimaatmodellen verschillende sterktes en zwaktes hebben, en het is nog niet mogelijk om te bepalen welke schatting van de klimaatverandering

wolkenterugkoppelingen het meest betrouwbaar is. Wolkenterugkoppelingen zijn een grote bron van onzekerheid in schattingen van de klimaatgevoeligheid. [8 Samenvatting]

[4.2b] Moessons

- Klimaatmodellen kunnen de link tussen de equatoriale Indische Oceaan en de Indiase zomermaesson niet oplossen, en een vergelijking tussen 15 GCMs vond grote fouten in de gesimuleerde neerslag in de equatoriale regio's en in het Aziatische maesson gebied. [8.4.10]
- De impact van tijdsvariërende directe en indirecte effecten van aerosolen is niet geheel opgelost. Deze effecten zullen in toenemende mate belangrijk worden in de toekomst door toenemen menselijke activiteit in zuid Azië en India. [10.3.5.2]

5. GLOBALE EN REGIONALE KLIMAATVOORSPELLINGEN

5.1 REPRODUCTIE VAN HET HUIDIGE KLIMAAT

[5.1a] Kwalitatief gezien zijn klimaatmodellen typisch niet in staat om de waargenomen gemiddelde oppervlaktetemperatuur beter dan +/- 3K te reproduceren, met slechtere prestaties nabij de polen. Ze zijn ook niet in staat om de aanzet tot ijstijden te reproduceren. De foutenmarge voor de huidige situatie is vergelijkbaar met de grootte van de voorspelde wereldwijde opwarmende trend gedurende 100 jaar.

- Fouten in polaire regio's zijn gemiddeld tussen 3 en 5 Kelvin (K), en gemiddeld overschatten alle klimaatmodellen de gemiddelde Antarctische temperaturen met op zijn minst 5K. [Figuur 8.3.1]
- De mate waarin deze fouten het vermogen van modellen om nauwkeurig klimaatverandering ten gevolge van externe verstoringen (bv broeikasgasemissies) te kunnen simuleren verminderen is onbekend. [8.3.1]
- Klimaatmodellen zijn niet in staat om het begin van een ijstijd te simuleren [6.4.1.7], hoewel ze sommige omstandigheden van het eind van de ijstijden kunnen reproduceren [6.4.2.3].
- Modellen worden gebruikt om door broeikasgas geïnduceerde veranderingen van ongeveer 0.3 K/decade te evalueren, eentiende van de grootte van de jaarlijkse foutenmarge voor de meeste gebieden.

5.2 VOORSPELLINGEN VOOR DE KOMENDE EEUW ZIJN INHERENT ONZEKER

[5.2a] De spreiding in modeluitkomsten in de Vierde Assessment Rapport verzameling voorspellingen geven geen goed beeld van de onzekerheden.

- Voor de toekomstige 21^e-eeuwse klimaatverandering is een subset van drie scenariosimulaties geselecteerd van de zes meest gebruikelijke. Deze subset bestaat uit een "laag", een "gemiddeld" en een "hoog" scenario van de aangewezen scenario's, en deze keuze is alleen bepaald door de beperkingen in beschikbare computervoorzieningen die het niet toestonden om de berekeningen voor alle zes scenario's te doen. Deze keuze impliceert daarom niet een kwalificatie van, of een voorkeur voor de zes aangewezen scenario's. Volgens hetzelfde argument is het niet aan dit rapport om het realisme en de waarschijnlijkheid van emissiescenario's te bepalen. [10.1]
- Hoewel het vermogen van de modellen om het huidige gemiddelde klimaat en klimaatvariabiliteit, als ook de waargenomen trends te voorspellen van model tot model verschilt, worden alle modellen hetzelfde gewogen in het gemiddelde. Omdat het ensemble (van voorspellingen) strikt gesproken een "ensemble van mogelijkheden" is, zonder een protocol hoe ze te combineren, is de spreiding van modellen niet in staat om de werkelijke onzekerheid recht te doen en daarom is een statistische interpretatie van de spreiding van modellen problematisch. [10.1]

[5.2b] Onzekerheden in modelvoorspellingen zijn er tijdens elke stap van het proces.

- Er zijn verschillende emissiescenario's voor de 21^e eeuw, en zelfs bij deze eerste stap is er onzekerheid over de toekomstige veranderingen van emissies van verschillende forceringscomponenten zoals broeikasgassen. Vervolgens moeten deze emissies vertaald

worden naar concentraties van componenten in de atmosfeer. Modellen van gasfase-cycli moeten toegepast worden, en deze modellen hebben hun eigen set van parameterisaties, aannames en valkuilen. Vervolgens dragen deze concentraties in atmosferische modellen bij aan de stralingsforcering die op het klimaatsysteem werkt binnen de atmosferische modelcomponenten, elk met zijn eigen stralingsschema en andere formuleringen die de stralingsforcering beïnvloeden. Uiteindelijk neemt het gekoppelde klimaatsysteem deze stralingsforceringen en produceert een simulatie van het toekomstige klimaat. De wisselwerking tussen componenten van de atmosfeer, oceaan, zeeijs en landoppervlak met elk hun eigen set van sterke en zwakke punten produceert een spreiding in de uitkomsten voor het toekomstige klimaat. [10.1]

- Er zijn dus onzekerheden en aannames die in elke stap gemaakt moeten worden van dit proces om van emissies naar concentraties naar stralingsforcering en uiteindelijk naar simulaties van klimaatveranderingen en gevolgen. [10.1]

[5.2c] Slechts enkele van de klimaatmodellen die gebruikt zijn voor AR4 voorspellingen gebruiken veranderingen in de zon, veranderingen in landgebruik en indirecte aerosoleffecten.

- Slechts twee van de 23 modellen verdisconteren het effect van veranderingen van de zon met de tijd [Tabel 10.2.1].
- Slechts twee van de 23 modellen verdisconteren het effect van veranderingen in landgebruik. [Tabel 10.2.1]
- Slechts negen van de 23 modellen omvatten het eerste indirecte aerosol effect, slechts 6 omvatten het tweede indirecte effect en slechts vier omvatten beide. [Tabel 10.2.1]

Aanvullende Informatie: het definiëren van ‘klimaatverandering’

Het IPCC neemt aan dat klimaatverandering gedefinieerd kan worden als een verandering in de gemiddelde toestand van het klimaat. Dit veronderstelt dat de gemiddelden van klimaatvariabelen stationair en goed gedefinieerd zijn, iets wat recent onderzoek in twijfel heeft getrokken. Als het klimaat niet-stationair is zal een verandering in het gemiddelde consistent zijn met een ‘onveranderd’ klimaat omdat het waargenomen gemiddelde afhankelijk is van de tijdsperiode gedurende welke de waarnemingen verzameld zijn. Ook is het concept van variabiliteit problematisch omdat de variantie van niet-stationaire processen wiskundig niet gedefinieerd is. Voor meer over dit onderwerp, zie het aankomende Fraser Instituut “Supplementary Report”, “Long Term Persistence in Geophysical Data”

5.3 DOOR MODELLEN GEGENEREERDE VOORSPELLINGEN VAN WERELDWIJDE OPWARMING

[5.3a] Klimaatmodellen voorspellen dat opwarming overal op Aarde plaatsvindt.

- Het gemiddelde over alle modellen impliceert een voorspelling dat, boven alle landgebieden op Aarde, een opwarming van 0.5 tot 1°C waarneembaar zal zijn in een vergelijking met de twee decades beginnend in 2011 ten opzichte van de periode 1980-1999. [Figuur 10.3.5],
- Van de Noord- en Zuidpoolgebieden wordt voorspeld dat ze relatief sneller opwarmen, en van landgebieden wordt voorspeld dat ze sneller opwarmen dan omliggende oceaangebieden. [Figuur 10.3.5]
- 1979-2005 trends zoals gemeten door weersatellieten laten temperatuurtrends zien van 0-0.5°C/decade boven land, en deze zijn niet systematisch groter dan boven omliggende zeegebieden. [Figuur 3.4.4]
- De trends voor na 1979-2005 zoals gemeten door weersatellieten laten zien dat opwarmende trends zwakker worden dichter bij de Zuidpool, welke geen of negatieve temperatuurveranderingen ondervindt in veel omringende gebieden.

[5.3b] Gemiddeld gesproken zeggen modellen die een sterke broeikasopwarming voorspellen dat de tropische troposfeer sneller opwarmt dan het aardoppervlak. Huidige gegevens ondersteunen deze voorspelling niet.

- Voor de tropische troposfeer wordt voorspeld dat ze sneller opwarmt dan het aardoppervlak [Figuur 10.3.4].
- Dit is strijdig met de huidige waarnemingen (zie [2.1c])

[5.3c] Alle klimaatmodellen die gebruikt worden in Vierde Assessment Rapport zijn zo afgestemd dat de gemiddelde oppervlaktetemperatuur zal toenemen met 2.0 tot 4.5 C als gevolg van een verdubbeling van atmosferische kooldioxide concentraties.

- De “evenwichtsklimaatgevoeligheid” is de door het model gegeven toename in oppervlaktetemperaturen die volgen op een verdubbeling van de atmosferische equivalente CO₂ concentraties. [10.5.2.1]
- De modellen die gebruikt worden in simulaties voor het Vierde Assessment Rapport hebben een evenwichtsklimaatgevoeligheid van tussen ongeveer 2.0 en 4.5C. [Figuur 10.5.1]

[5.3d] Modellen genereren vele specifieke wereldwijde voorspellingen gebaseerd op de aanname van significante broeikasgasopwarming.

- WERELDWIJD GEMIDDELDE TEMPERATUUR: Klimaatmodelsimulaties die uitgaan van een verdubbeling van atmosferische kooldioxide tijdens de komende eeuw, voorspellen dat de wereldwijd gemiddelde oppervlaktetemperatuur zal toenemen met ongeveer 2.0 tot 4.5 C [Figuur 10.5.2]
- ZEEIJS: Modellen laten een spreiding aan uitkomsten zien in de grootte van het zeeijsgebied op het Noordelijk Halfrond variërend van vrijwel geen verandering tot een dramatische en versnellende afname tijdens de 21^e eeuw. Seizoensafhankelijke ijsbedekking is behoorlijk robuust en persisteert tot op zekere hoogte gedurende de 21^e eeuw in de meeste, zoniet alle modellen. In 20^e en 21^e eeuw simulaties zal het Antarctische zeeijs langzamer afnemen dan die van het Noordpoolgebied. Algemeen laten modellen een slechte overeenkomst zien in de hoeveelheid zeeijs die dunner wordt en de algemene klimaatverandering in poolgebieden. [10.3.3.1; Figuur 10.3.10a,b; Figuur 10.3.11]
- OCEAANSTROMINGEN: Modellen die initialiseren in het jaar 1900 hebben problemen om de late 20^e-eeuwse waarden van de “Meridional Overturning Circulation” (MOC) te produceren die binnen het bereik van de waarnemingen vallen. Van de modelsimulaties die consistent zijn met laat 20^e-eeuwse waargenomen schattingen laat er geen enkele simulatie een toename van de MOC tijdens de 21^e eeuw zien; afnames variëren van niet onderscheidbaar binnen de gesimuleerde natuurlijke variabiliteit tot 60% relatief ten opzichte van het 1960-1990 gemiddelde; geen van de modellen voorspelt een abrupte overgang naar een situatie zonder MOC. De beste schatting van de hoogte van de zeespiegel voor 1993-2003 die samenhangt met de netto kleine negatieve massabalans van Groenland is 0.1-0.2 mm/jaar. Van de bijbehorende hoeveelheid zeewater, zelfs wanneer het direct en alleen aan de noordelijke Atlantische Oceaan wordt toegevoegd, wordt gesuggereerd dat het te klein is om de Noord-Atlantische MOC te beïnvloeden. Tezamen is het mogelijk dat de MOC zal afnemen, maar erg onwaarschijnlijk dat de MOC een abrupte verandering zal ondergaan gedurende de 21^e eeuw. [10.3.4. Figuur 10.3.13]
- TEMPERATUURVARIABILITEIT: Klimaatmodellen voorspellen een afname in temperatuurvariabiliteit tijdens het koude seizoen op het extratropische Noordelijk Halfrond en een lichte toename in temperatuurvariabiliteit op lage breedtegraden en in het warme seizoen op noordelijke middelbare breedtegraden. [10.3.5.1]
- MOESSONS: Klimaatmodellen voorspellen een duidelijke opwarming in de tropen in de middelbare en hogere troposfeer die het gevolg zou zijn van een verzwakking van moessoncirculaties. Daarnaast leidt een toename van atmosferisch vocht door toegenomen

broeikasgassen en de daaruit voortvloeiende temperatuuroename tot een grotere vochtflux en meer neerslag voor de Indiase moesson. [10.3.5.2]

- **NEERSLAG:** Klimaatmodellen voorspellen een toename van de kans op zomerverdroging in het grootste gedeelte van de noordelijke subtropen en middelbare breedtegraden en een daarbij behorende toegenomen kans op droogte. Samenhangend met het risico van verdroging is er ook een toegenomen kans op zware neerslag en overstromingen. Hoewel enigszins contra-intuïtief ontstaat dit omdat neerslag is geconcentreerd in meer intensieve gebeurtenissen, met langere periodes van weinig neerslag daartussen. Toenames in de frequentie van zware neerslag hangen af van de definitie van een zwaar-neerslag gebeurtenis. De verandering in frequentie van extreme neerslag is moeilijk te schatten voor individuele locaties vanwege de onzekerheden in de parameterisaties in modellen. Klimaatmodellen blijven de eerdere resultaten bevestigen dat in een toekomstig door broeikasgassen opgewarmd klimaat de neerslagintensiteit zal toenemen in de meeste gebieden. [10.3.6.1]
- **TEMPERATUUREXTREMEN:** Het Derde Assessment Rapport concludeerde dat modellen voorspellen dat er zeer waarschijnlijk een kans is op een toename van temperatuurextremen, met meer extreme periodes van hitte in het toekomstige klimaat. Dit resultaat is bevestigd in latere klimaatmodelsimulaties. Verschillende recente studies hebben gevonden dat klimaatmodellen voorspellen dat er in een toekomstig klimaat een toegenomen kans is op meer intense, langer durende en vaker voorkomende hittegolven [10.3.6.2] hoewel de veranderingen niet groot worden tot na 2020 [Figuur 10.3.17].
- **CYCLONEN:** Er is een aantal klimaatveranderingsexperimenten gedaan met globale modellen die in staat zijn sommige karakteristieken van individuele tropische cyclonen te simuleren, hoewel studies met een klasse van modellen met 100 km resolutie of hoger niet de waargenomen intensiteit van tropische cycloon kunnen simuleren. Globale klimaatmodellen met een resolutie van 100 km of meer voorspellen een afname in de frequentie van tropische cyclonen wereldwijd, en geen of slechts een lichte afname in de intensiteit van cyclonen, maar resultaten kunnen verschillen per regio. Studies uitgevoerd met modellen die gebruik maken van een hoge resolutie (tot 9 km) mesoschaal cycloonmodel voorspellen dat toekomstige tropische cyclonen intenser zullen zijn. [10.3.6.3]
- **GROEISEIZOEN:** Wereldwijd voorspellen modellen een toename van de gemiddelde lengte van het groeiseizoen van drie tot vijf standaardafwijkingen rond het midden van de eeuw [Figuur 10.3.17].
- **ZUURGRAAD VAN HET ZEEOPPERVLAK:** Toenemende atmosferische CO₂ concentraties verlagen de oceanische pH en concentraties van carbonaationen, daarbij de zuurgraad verhogend. De pH van het zeeoppervlak is vandaag de dag al 0.1 eenheid lager dan pre-industriële waarden. Modellen voorspellen dat tegen het eind van de eeuw er nog een verdere afname kan optreden van 0.13 tot 0.34 pH eenheden. Experimentele aanwijzingen suggereren dat als deze trends zich voortzetten dat sleutelorganismen in oceanen – zoals koralen en bepaald plankton – moeite hebben hun buitenste calciumcarbonaatskeletten te handhaven. [10.4.2, Figuur 10.4.5]
- **ZEESPIEGEL:** Modellen voorspellen dat een verdubbeling van atmosferische CO₂ niveaus in de atmosfeer, als ze gepaard gaan met een opwarming van 2-4.5C, een zeespiegelstijging zal veroorzaken van ongeveer 20 cm, plus of min 10 cm, gedurende de komende 100 jaar [10.6.5; Figuur 10.6.1]. De ruimtelijke patronen zijn echter niet uniform, en sommige gebieden ondergaan een daling van de zeespiegel. De geografische patronen van zeespiegelveranderingen van verschillende modellen zijn over het algemeen niet in detail vergelijkbaar, maar de verschillen zijn niet zo groot als in het Derde Assessment Rapport. Desondanks is de hoogste ruimtelijke correlatiecoëfficiënt tussen welk paar dan ook 0.76, en slechts 20% van de correlatiecoëfficiënten zijn groter dan 0.5. [10.6.2]
- **GLETSJERS:** Omdat hun massabalans sterk afhangt van hun hoogte en helling moeten gegevens van klimaatmodellen die gebruikt worden om voorspellingen te maken gebruik maken van terugschaling (“downscaling”), omdat individuele gletsjers te klein zijn om expliciet opgelost te worden in een typische GCM. Statistische relaties kunnen afgeleid

worden tussen GCM en lokale meteorologie maar ze zijn mogelijkwerijs niet bruikbaar in toekomstige klimaten. [10.6.3] Modellen voorspellen een algemeen verlies van gletsjervolume, maar er is onzekerheid over hoe de dynamica in te schatten. [10.6.3.3]

[5.3d] Modellen zijn ook gebruikt om regionale voorspellingen te doen, hoewel de onzekerheden substantieel zijn.

- Belangrijke details van klimaatverandering hebben betrekking op geografische details die te klein zijn om ruimtelijk opgelost te worden in globale modellen. Daarom zijn regionale modellen ontwikkeld die gebruik maken van schema's om informatie van een globaal model terug te schalen. [11.1.1]
- Terugschalen kan op twee manieren gebeuren. “Dynamische terugschaling” bestaat uit informatie van een globaal model invoeren in een regionaal model door de gegevens van het globale model als randvoorwaarde voor het regionale model voor te schrijven. Dit resulteert echter niet noodzakelijkerwijs in een betere overeenkomst met waarnemingen [11.2.1.1.1]
- “Statistische terugschaling” bestaat uit het toepassen van empirisch verkregen relaties tussen lokale en globale variabelen om de verandering van lokale variabelen af te schatten op basis van globale modelvoorspellingen. Hierbij dient te worden aangenomen dat de relaties stationair zijn, d.w.z. dat de empirische relatie bestendig is in de tijd en voor verschillende klimatologische omstandigheden. Stationariteit blijft een bron van zorg in geval van statistische terugschaling rondom de vraag of de relatie tussen de ene en de andere schaal valide is voor verschillende klimaatomstandigheden. Dit is slechts in zeer beperkte mate geëvalueerd door middel van het testen met cross-validatie. [11.2.1.1.2]
- De belangrijkste bronnen van onzekerheid op regionale schalen zijn vergelijkbaar met die op globale schaal, maar er zijn zowel veranderingen in nadruk en nieuwe kwesties die verschijnen op de regionale context. Van de forcerende factoren draagt de onzekerheid in aerosol-forcering in het bijzonder bij aan regionale onzekerheid vanwege de ruimtelijke inhomogeniteit van de forcering en de gevolgen. Verandering in landgebruik en het vegetatie hebben van zichzelf een regionale focus. Bij het analyseren van studies die meer lagen van modellen gebruiken om lokale details toe te voegen dient de cascade van onzekerheid door de keten van modellen die gebruikt worden om regionale of lokale informatie te genereren in ogenschouw worden genomen. De mate waarin deze onzekerheden de voorspellingen van verschillende klimaatvariabelen beïnvloeden is niet uniform. Daarnaast kan het klimaat zelf op regionale schaal slecht bekend zijn in veel gegevensarme gebieden. Daarom kan de evaluatie van de modelprestatie als component van een analyse van onzekerheid problematisch zijn. [11.2.2.1]

6. ATTRIBUTIE VAN DE OORZAKEN VAN KLIMAATVERANDERING

6.1 KLIMAATVERANDERING METEN EN ANALYSEREN

[6.1a] Er wordt op computermodellen vertrouwd om de schaal van interne klimaatvariabiliteit te identificeren/de grootte van natuurlijke forcering als ook de vorm van het antropogene forcerings-sigitaal. Het is tegen deze meest voorkomende tekortkomingen dat attributiestudies moeten worden geëvalueerd.

- Het detecteren en de attributie van klimaatverandering zijn verschillende processen [1.3.3]
- Het detecteren van klimaatverandering is het proces dat demonstreert dat het klimaat is veranderd op een zekere statistische manier, zonder een verklaring voor die verandering te geven. attributie van oorzaken van klimaatverandering is het proces van het vaststellen van de meest waarschijnlijke oorzaken van de gedetecteerde verandering met een zeker vertrouwensniveau [1.3.3]
- Zowel het detecteren als de attributie zijn afhankelijk van zowel observationele gegevens als modelgegenereerde gegevens [1.3.3]
- In praktische termen kan de attributie van antropogene klimaatverandering begrepen worden als:
 - detectie;
 - laten zien dat de waargenomen verandering consistent is met modelvoorspellingen van een klimaatverandering-”sigitaal” waarvan berekend is dat het optreedt als gevolg van de antropogene forcering; en
 - laten zien dat de waargenomen verandering niet consistent is met alternatieve fysisch mogelijke verklaringen van recente klimaatveranderingen die antropogene forceringen uitsluiten. [1.3.3]
- Schattingen van de natuurlijke klimaatvariaties op tijdschalen van een eeuw zijn niet af te leiden uit waarnemingen vanwege de relatieve korte lengte van de reeksen. [1.3.3]

[6.1b] De definitie van klimaatverandering neemt aan dat het klimaatsysteem stationair is.

- *Klimaatverandering* “refereert aan een verandering in de toestand van het klimaat die geïdentificeerd kan worden (bv door statistische testen) als een verandering van het gemiddelde en/of de variabiliteit van de eigenschappen van de toestand, en die aanwezig blijft voor een langere periode, typisch decades of langer”. [9.1.1]

[6.1c] Het klimaat is onderhevig aan natuurlijke variabiliteit op alle tijdschalen, van dagen tot eeuwen.

- Natuurlijke klimaatvariabiliteit is het gevolg van interne klimaatprocessen en de manier waarop het klimaat reageert externe natuurlijke forcering. Interne variabiliteit is op alle tijdschalen aanwezig, van nagenoeg instantaan (bv het laten beginnen van convectie) tot aan jaren (bv uitwisseling tussen troposfeer en stratosfeer of tussen hemisferen). Andere componenten van het klimaatsysteem, zoals oceanen en de grote ijskappen, variëren op nog langere tijdschalen van decades tot eeuwen. Deze componenten produceren interne variabiliteit, zowel direct als door de variabiliteit van de snel veranderende atmosfeer te integreren (gemiddelde effect van de snelle variaties). Daarnaast wordt variabiliteit veroorzaakt door gekoppelde interacties tussen componenten, zoals het geval is met de El-Nino/Southern Oscillation. [9.1.1]

[6.1d] Interne variabiliteit en klimaatverandering zijn inherent moeilijk te schatten, en daarvoor moet meestal gebruikt gemaakt worden van klimaatmodellen.

- De interne variabiliteit van het klimaat is moeilijk te schatten omdat alle klimaatwaarnemingen, op zijn minst enigszins beïnvloed worden door variaties in externe forcering. Het is echter mogelijk om onder bepaalde omstandigheden dit te schatten uit waarnemingen of modellen [9.1.1]
- De methodes om verandering in waarnemingen te identificeren zijn gebaseerd op het verwachte gevolg op externe forcering, of wel van natuurkundig begrip, dan wel gesimuleerd door klimaatmodellen. Een geïdentificeerde verandering in waarnemingen wordt *gedetecteerd* als de waarschijnlijkheid dat de verandering het gevolg is van willekeurige processen of interne variabiliteit klein is. Het onvermogen om een bepaald gevolg te detecteren kan verschillende oorzaken hebben, zoals de mogelijkheid dat het gevolg relatief zwak is ten opzichte van interne variabiliteit, of dat de metriek die gebruikt wordt om de verandering te meten ongevoelig is voor de verwachte verandering. [9.1.2]
- Het detecteren van een effect van externe forcering op het klimaat betekent niet noodzakelijkerwijs dat het een belangrijke invloed heeft op het milieu, biota of de maatschappij. [9.3.1]

6.2 PROBLEMEN MET HET TOEKENNEN VAN WAARGENOMEN KLIMAATVERANDERING AAN SPECIFIEKE OORZAKEN.

[6.2a] Het detecteren van klimaatverandering hangt af van model-gegenereerde voorspellingen over de manier waarop het klimaat reageert op een externe forcering, zoals broeikasgasemissies, en als zodanig kan het nooit absoluut zeker vastgesteld worden.

- Veel studies gebruiken klimaatmodellen om de te verwachten gevolgen van een externe forcering te voorspellen, en deze voorspellingen worden meestal weergegeven als patronen in variaties in ruimte of tijd, of beiden. Zulke patronen die aangeduid worden als *vingerafdrukken*, worden meestal afgeleid uit veranderingen in een klimaatmodel ten gevolge van een forcering [9.1.2]
- De ruimtelijke en tijdschalen die gebruikt worden om klimaatverandering te analyseren zijn zorgvuldig gekozen om interne variabiliteit weg te filteren en het scheiden van de gevolgen van verschillende forceringen mogelijk te maken. De keuze van de criteria is gebaseerd op aannames over de tijd en ruimtelijke schalen die geanalyseerd dienen te worden. [9.1.2]
- Omdat detectiestudies noodzakelijkerwijs statistisch van aard zijn kunnen gevolgtrekkingen over de vraag in hoeverre een externe invloed is gedetecteerd nooit absoluut zeker zijn. Het is altijd mogelijk dat een significant resultaat op, laten we zeggen het 5% niveau, simpelweg het gevolg is van een weinig voorkomende gebeurtenis die zich in ieder geval voorgedaan zou hebben met een kans kleiner dan 1 op 20 in een onveranderd klimaat. Versterkende aanwijzingen die een fysisch consistent beeld geven van de waarschijnlijke reden voor de veranderingen reduceren de kans van zo een verkeerde detectie. [9.1.2]

[6.2b] Het onderzoek naar de oorzaken van klimaatverandering kan gebiased zijn vanwege het “zelfselectie”-fenomeen.

- Voor vele “decision-makers” hebben de meest pertinente detectievragen betrekking op een specifiek waargenomen fenomeen (bijvoorbeeld in hoeverre de verdroging in de Sahel-regio toegeschreven kan worden aan broeikasgassen). Het is moeilijk om een dergelijke vraag te beantwoorden vanwege een statistisch fenomeen dat bekend staat als “selectiebias”. Alleen grote waargenomen klimaat-anomalieën in een historische context zouden waarschijnlijk het onderwerp zijn van zulke vragen. “Decision-makers” zullen zelden vragen naar kleine of niet-bestaande gebeurtenissen. Daarom is de keuze van gebeurtenissen die geanalyseerd dienen te worden gebiased naar grote anomale waarnemingen. Het feit dat de vragen zichzelf

geselecteerd hebben vanuit de waarnemingen maakt het moeilijk om de statistische significantie uit diezelfde waarnemingen te schatten. [9.1.2]

[6.2c] Het toekennen van de oorzaken van klimaatveranderingen is formeel niet mogelijk.

- Detectie betekent niet automatisch de attributie van de waargenomen verandering aan de veronderstelde oorzaak. *attributie* “van oorzaken van klimaatverandering is het proces van het vaststellen van de meest waarschijnlijke oorzaken voor de waargenomen verandering met een zeker gedefinieerd vertrouwensniveau”. Zoals al opgemerkt in het Tweede Assessment Rapport (gepubliceerd in 1996) en het Derde Assessment Rapport (gepubliceerd in 2001), vereist een absolute eenduidige attributie een gecontroleerd experiment met ons klimaatsysteem. Dat is, natuurlijk, onmogelijk. [9.1.2]

[6.2d] De term “attributie” betekent consistentie met een door een klimaatmodel gegenereerd scenario in plaats van een formeel bewijs van causaliteit (oorzaak-en-gevolg). Dezelfde gegevens zouden consistent kunnen zijn met tegenstrijdige hypothesen, inclusief grote of kleine broeikasopwarming.

- Vanuit een praktisch perspectief wordt de attributie van antropogene klimaatverandering gezien als dat de waargenomen verandering “consistent is met de geschatte gevolgen van een gegeven combinatie van antropogene en natuurlijke forcering”. [9.1.2]
- Iedere evaluatie van de waargenomen klimaatverandering die gesimuleerde en waargenomen gevolgen vergelijkt zal beïnvloed worden door fouten en onzekerheden in de voorgeschreven forceringen in een klimaatmodel en de bijbehorende gevolgen. [9.2.3]
- De evaluatie van de consistentie tussen een waargenomen verandering en de geschatte gevolgen van een hypothetische forcering wordt vaak bereikt door te bekijken of de amplitude van het hypothetische patroon van verandering geschat uit waarnemingen statistische consistent is met de verwachtingen op basis van voorspellingen van een klimaatmodel, gebruik makend van bepaalde statistische tests. [9.1.2]
- Attributie betekent ook het evalueren van de mogelijkheid dat de waargenomen verandering consistent is met alternatieve verklaringen die belangrijke elementen van een gegeven combinatie van hypothetische forceringen waarvan gedacht wordt dat ze het klimaat beïnvloeden uitsluiten. Voor statistische analyses is het nodig dat de afzonderlijke invloeden op het klimaat op correcte manier worden meegenomen. Als voorbeeld: de attributie van recente opwarming aan broeikasgasemissies wordt betrouwbaarder als de invloeden van andere externe forceringen, bijvoorbeeld zonneforcering, expliciet worden meegenomen in de analyses. [9.1.2]
- Dit is een onderzoeksgebied met aanzienlijke uitdagingen omdat verschillende forcerende factoren tot eenzelfde grootschalig patroon van gevolgen kunnen leiden. [9.1.2]
- Het is niet mogelijk om het patroon van broeikasgasopwarming te onderscheiden van dat van fossiele brandstofgerelateerde aerosolafkoeling. De waargenomen opwarming gedurende de laatste eeuw zou verklaard kunnen worden door een grote opwarming gebalanceerd door grote aerosolafkoeling of, als alternatief, door een kleine broeikasgasopwarming met erg weinig of geen aerosolafkoeling. [9.2.3]

[6.2e] Attributiestudies zijn afhankelijk van de validatie van modelgegenereerde schattingen van de klimaatgevolgen van een forcering, en modelgegenereerde schattingen van natuurlijke variabiliteit.

- Alle drie de aspecten van attributie hebben kennis van de interne klimaatvariabiliteit nodig op de tijdschalen die beschouwd worden, meestal decades en langer. De resterende variabiliteit die overblijft in instrumentele waarnemingen nadat het effect van de externe forcering is verwijderd wordt soms gebuikt om interne variabiliteit te schatten. Deze schattingen zijn echter onzeker omdat de instrumentele reeks relatief kort is ten opzichte van de tijdschalen die van belang zijn, en vanwege onzekerheden in de forceringen en de geschatte gevolgen.

Interne klimaatvariabiliteit wordt daarom ook geschat van lange controlesimulaties met gekoppelde klimaatmodellen. [9.1.2]

- Daarna wordt er meestal een evaluatie gemaakt van de consistentie tussen de resterende variabiliteit (zoals hiervoor beschreven) en de op het model gebaseerde schattingen van interne variabiliteit. De betrouwbaarheid hangt af van het vermogen van modellen om verschillende “modes” van waargenomen variabiliteit te simuleren, van vergelijkingen tussen variabiliteit in waarnemingen en klimaatmodelgegevens en tussen proxy reconstructies en klimaatsimulaties van het laatste millennium. [9.1.2]

[6.2f] De gerapporteerde onzekerheden in attributiestudies houden geen rekening met de basis onzekerheid van klimaatmodelparameters. Deze onzekerheden kunnen aanzienlijk zijn.

- Onzekerheden in modellen en forceringen zijn belangrijke overwegingen in attributieonderzoek. In het ideale geval zou de evaluatie van modelonzekerheden de onzekerheden in modelparameters en de representatie van fysische processen in de modellen (structurele onzekerheid) omvatten. Een dergelijk evaluatie is voornamelijk niet voorhanden, hoewel onderzoek met dat doel voor ogen inmiddels wel plaatsvindt. [9.1.2]
- De effecten van onzekerheden in forceringen, die aanzienlijk kunnen zijn voor bepaalde forceringen zoals de zonne- en aerosolforcering, blijven moeilijk te evalueren, ondanks vooruitgang van het onderzoek. [9.1.2]
- Er zijn ook erg grote onzekerheden in de tijdsvariëaties van forceringen die samenhangen met veranderingen in zonnestraling, in het bijzonder op tijdschalen langer dan de 11-jarige cyclus. Eerdere schattingen hebben de zonnevlekgetallen gebruikt om deze langzame veranderingen in inkomende zonnestraling gedurende de laatste eeuwen te bepalen, maar deze worden niet noodzakelijkerwijs ondersteund door de huidige stand van de kennis hieromtrent. Daarnaast is de grootte van de stralingsforcering die samenhangt met grote vulkanische uitbarstingen onzeker en verschillend tussen reconstructies. [9.2.2.3]
- De detectie- en attributieresultaten die gebaseerd zijn op verschillende modellen of verschillende historische forceringen leveren informatie over de effecten van de onzekerheden in het model en de forcering, wat leidt tot een meer betrouwbare attributie van klimaatverandering aan een oorzaak. Zulke resultaten suggereren dat de attributie van een menselijke invloed op temperatuurverandering gedurende de tweede helft van de 20^e eeuw robuust is. [9.1.2]
- Naast de substantiële onzekerheid in de timing en amplitude van zonnevariëaties op tijdschalen van meerdere decades tot eeuwen is er ook onzekerheid omdat de ruimtelijke veranderingen in oppervlaktetemperaturen ten gevolge van de zonneforcering vergelijkbaar zijn met die van antropogene forcering. Deze onzekerheden in interpretatie van de rol van verschillende forceringen weerspiegelt zowel substantiële onzekerheden in onze kennis over de grootte van de vroegere vulkanische forcering en van de timing en de grootte van lange termijn variëaties in de zonneforcering als verschillen in de manier waarop deze effecten in modelsimulaties worden meegenomen. [9.3.3.2]
- Er blijven aanzienlijke onzekerheden bestaan in de forceringen die gebruikt worden in klimaatmodellen. Schattingen van de onzekerheden in reconstructies van historische zonneforcering zijn toegenomen sinds 2001, en chemische en dynamische processen die samenhangen met de manier waarop de atmosfeer reageert op inkomende zonnestraling worden weggelaten of niet adequaat opgelost in vele klimaatmodellen die gebruik worden in detectiestudies. Daarnaast simuleren sommige modellen de indirecte effecten van sulfaataerosolen op wolken terwijl andere alleen het directe stralingseffect hiervan beschouwen. [9.4.1.8]

6.3 AANNAMES DIE NODIG ZIJN OM KLIMAATVERANDERING AAN ANTROPGENE OORZAKEN TOE TE KENNEN.

[6.3a] Aanwijzingen voor een menselijke invloed op het klimaat berusten op modelgebaseerde detectiestudies.

- De aanwijzingen die beschikbaar waren ten tijde van het Derde Assessment Rapport bestonden uit resultaten van een aantal detectiestudies van de instrumentele reeksen, en leunen op de output van verschillende klimaatmodellen voor vingerafdrukken en schattingen van de interne klimaatvariabiliteit. Op deze basis deed het TAR de uitspraak dat voor de opwarming van de 20^e eeuw “het erg onwaarschijnlijk was dat het gevolg was van interne variabiliteit alleen, zoals geschat door de huidige generatie modellen”. [9.1.3]
- Het wordt in deze studies impliciet aangenomen dat de waarnemingsreeksen aan het aardoppervlak niet beïnvloed worden door niet-klimatologische trends zoals veranderingen in landgebruik. [3.2.2.2]
- Er zijn nu een groter aantal attributiestudies dan er beschikbaar waren voor het Derde Assessment Rapport, en deze hebben meer recente klimaatgegevens gebruikt van eerdere studies met een grotere variatie van modelsimulaties. Toegenomen vertrouwen in detectie van een antropogeen signaal in de instrumentele reeks refereert aan de groei van dit soort studies. [9.4.1.4]

[6.3b] Modellen die gebruikt worden voor de attributie van recente klimaatveranderingen aan menselijke invloed nemen aan dat natuurlijke veranderingen alleen tot vrijwel geen verandering zouden hebben geleid gedurende de 20^e eeuw, en wereldwijde afkoeling sinds 1979.

- Klimaatmodellen die alleen natuurlijke forceringen meenemen schatten dat gedurende de 20^e eeuw er zich geen klimaatverandering op Aarde zou hebben voorgedaan. [Figuur 9.4.2]
- Dezelfde modellen gebruikt voor de periode na 1979 zeggen dat natuurlijke forceringen alleen vrijwel overal een afkoeling zouden moeten hebben laten zien, behalve voor een klein deel van de Bering Straat en een paar andere locaties. [Figuur 9.4.2]

[6.3c] Attributiestudies nemen op heden niet alle bekende bronnen van mogelijke invloeden op het klimaat in ogenschouw.

- Studies hebben zich vooral geconcentreerd op die forceringen waarvan men gelooft dat ze het belangrijkste zijn: broeikasgassen, directe zonne-effecten, bepaalde aerosolen en vulkanisme. De meeste analyses sluiten sommige forceringen die potentieel belangrijke effecten zouden kunnen hebben uit, vooral op regionale schalen, maar mogelijk ook op wereldwijde schalen. [9.4.18]
- Meetcampagnes hebben de betekenis van roet (“black carbon”) laten zien voor de zuid-Aziatische regio en modelstudies hebben laten zien dat de globale forcering van roet aanzienlijk zou kunnen zijn, maar er zijn maar enkele detectiestudies die het temperatuureffect van roet-aerosolen expliciet hebben meegenomen en er zijn weinig klimaatmodelsimulaties die het effect van deze forcering op langere tijdschalen proberen te simuleren vanwege grote modelonzekerheden. [9.4.18]
- Landgebruik veranderingen zijn een andere forcering die potentieel belangrijk zou kunnen zijn, vooral op regionale schaal. [9.4.18]
- Attributieanalyses die recente modelsimulaties gebruiken waarin koolstofachtige aerosolen en landgebruik veranderingen worden meegenomen laten een significante antropogene invloed op 20^e-eeuwse temperatuurveranderingen zien. [9.4.18]

[6.3d] Door de bijbehorende onzekerheden is de attributie van klimaatverandering aan menselijke oorzaken uiteindelijk een subjectief oordeel.

- De benaderingen in detectie- en attributieonderzoek zoals hierboven beschreven kunnen niet alle onzekerheden beschouwen. [9.1.2]
- Uiteindelijk wordt het oordeel van experts gebruikt om de waarschijnlijkheid dat een specifieke oorzaak verantwoordelijk is voor een gegeven klimaatverandering in te schatten. [9.1.2]

7. ALGEMENE CONCLUSIES

De volgende concluderende verklaring is niet afkomstig uit het AR4, maar was overeengekomen door de ISPM auteurs en gebaseerd op hun inschatting van de huidige aanwijzingen.

Het Aardse klimaat is een extreem complex systeem en we moeten de problemen in de analyse ervan niet onderschatten. Ondanks de vele beperkingen en onzekerheden blijft de kennis over het klimaatsysteem voortschrijden dankzij verbeterde en steeds uitgebreidere gegevens en een verbeterde kennis van meteorologische en oceanografische mechanismen.

Het klimaat heeft kleine veranderingen ondergaan gedurende de afgelopen 200 jaar, en de temperatuur gegevens boven land van de afgelopen 100 jaar laten op veel plaatsen een opwarming zien. Meetproblemen, inclusief een onevenwichtige ruimtelijke verdeling, ontbrekende gegevens en lokale veranderingen in landgebruik, maken de interpretatie van deze trends moeilijk. Andere, meer stabiele meetgegevens, zoals satellietwaarnemingen, ballonsondes en zeevatertemperaturen tonen een kleinere opwarming. De feitelijke klimaatverandering is op veel plaatsen relatief klein, en, voor het grootste deel, niet waarneembaar gezien het bereik van bekende natuurlijke variaties. Er is geen aansprekend bewijsmateriaal dat er gevaarlijke of ongekende veranderingen gaande zijn

De beschikbare gegevens voor de afgelopen eeuw kunnen geïnterpreteerd worden binnen het raamwerk van een verscheidenheid aan hypothesen over de oorzaken en mechanismen van de gemeten veranderingen. De hypothese dat emissies van broeikasgassen een significante opwarming van het Aardse klimaat zouden hebben of zouden kunnen veroorzaken sinds het begin van het industriële tijdperk is geloofwaardig, en verdient voortdurende aandacht. Echter, de hypothese kan niet worden bewezen met formeel theoretische argumenten, en de beschikbare gegevens laten ruimte voor het geloofwaardig betwisten van die hypothese.

Argumenten voor de hypothese zijn gebaseerd op computersimulaties, welke nooit uitsluitel kunnen bieden als ondersteunend bewijs. De computermodellen die gebruikt worden zijn noodzakelijkerwijs geen directe berekeningen van alle basis fysica maar zijn gebaseerd op empirische benaderingen voor vele van de kleinschalige processen van oceaan en atmosfeer. Ze zijn zo afgestemd dat ze een geloofwaardige simulatie van wereldwijde klimaatstatistieken opleveren, maar die garandeert geen betrouwbaarheid voor toekomstige klimaatomstandigheden. En er zijn genoeg vrijheidsgraden in de modellen waarmee de modelresultaten aangepast kunnen worden waardoor ze niet gebruikt kunnen worden als ondersteunend bewijsmateriaal van welke combinatie van vrijheidsgraden dan ook, zoals die welke samenhangt met een sterk effect van broeikasgassen.

Er wordt in het Vierde Assessment Rapport van het IPCC geen bewijsmateriaal geleverd dat de onzekerheid in beginsel formeel opgelost kan worden uit eerste beginselen, statische tests of proeven met modellen. Als gevolg daarvan zal een onvermijdbaar element van onzekerheid altijd blijven bestaan over de vraag tot welke hoogte de mens bijdraagt aan toekomstige klimaatverandering, en in hoeverre een dergelijk verandering inderdaad goed of slecht is.

REFERENTIES

- Briffa, K.R., 2000: Annual climate variability in the Holocene: interpreting the message of ancient trees. *Quaternary Science Reviews*, 19(1-5), 87-105.
- Briffa, K.R., T.J. Osborn, and F.H. Schweingruber, 2004: Large-scale temperature inferences from tree rings: a review. *Global and Planetary Change*, 40(1-2), 11-26.
- Briffa, K. R., T. J. Osborn, F. H. Schweingruber, I. C. Harris, P. D. Jones, S. G. Shiyatov, and E. A. Vaganov, 2001. Low-frequency temperature variations from a northern tree ring density network, *J. Geophys. Res.*, 106, 2929–2941.
- Cook, E.R., J. Esper, and R.D. D'Arrigo, 2004: Extra-tropical Northern Hemisphere land temperature variability over the past 1000 years. *Quaternary Science Reviews*, 23(20-22), 2063-2074.
- D'Arrigo, R., R. Wilson, and G. Jacoby, 2006: On the long-term context for late twentieth century warming. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 111(D3) Doi: 10.1029/2005JD006352.
- De Laat, A.T.J., and A.N. Maurellis (2004). "Industrial CO₂ Emissions as a Proxy for Anthropogenic Influence on Lower Tropospheric Temperature Trends." *Geophysical Research Letters* Vol. 31, L05204, doi:10.1029/2003GL019024.
- De Laat, A.T.J., and A.N. Maurellis (2006). "Evidence for Influence of Anthropogenic Surface Processes on Lower Tropospheric and Surface Temperature Trends." *International Journal of Climatology* 26:897—913.
- Etheridge, D.M., L.P. Steele, R.J. Francey, and R.L. Langenfelds. 2002. Historical CH₄ Records Since About 1000 A.D. From Ice Core Data. In *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A
- Hegerl, G.C., T.J. Crowley, W.T. Hyde, and D.J. Frame, in press: Constrains on climate sensitivity from temperature reconstructions of the last seven centuries. *Nature*. In press.
- Hoyt, Douglas V. and Kenneth H. Schatten (1993) "A discussion of plausible solar irradiance variations, 1700-1992" *Journal of Geophysical Research* vol. 98, no. A11, p. 18,895-18,906.
- Jones, P.D., K.R. Briffa, T.P. Barnett, and S.F.B. Tett (1998). High-resolution palaeoclimatic records for the last millennium: interpretation, integration and comparison with General Circulation Model control-run temperatures. *Holocene*, 8(4), 455-471.
- Jones, P.D., T.J. Osborn, and K.R. Briffa, 2001: The evolution of climate over the last millennium. *Science*, 292(5517), 662-667.
- Latif et al. (2006) "Is the Thermohaline Circulation changing?" *Journal of Climate* V 19 p.4631-4637.
- Mann, M.E., and P.D. Jones, 2003: Global surface temperatures over the past two millennia. *Geophysical Research Letters*, 30(15), art. no.-1820.
- Mann, M.E., R.S. Bradley, and M.K. Hughes, 1999: Northern hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties, and limitations. *Geophysical Research Letters*, 26(6), 759-762.

- Marland, G., T.A. Boden, and R. J. Andres. (2006). Global, Regional, and National Fossil Fuel CO₂ Emissions. In *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/emis/em_cont.htm
- Moberg, A., D.M. Sonechkin, K. Holmgren, N.M. Datsenko, and W. Karlen, 2005: Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data. *Nature*, 433(7026), 613-617.
- National Research Council (2006). Surface Temperature Reconstructions for the past 2,000 Years. Washington: National Academies press.
<http://www.nationalacademies.org/morenews/20060622.html>
- Rutherford, S., M.E. Mann, T.J. Osborn, R.S. Bradley, K.R. Briffa, M.K. Hughes, and P.D. Jones, 2005: Proxy-based Northern Hemisphere surface temperature reconstructions: Sensitivity to method, predictor network, target season, and target domain. *Journal of Climate*, 18(13), 2308-2329.
- Wahl, E.R., and C.M. Ammann, (2006): Robustness of the Mann, Bradley, Hughes reconstruction of Northern Hemisphere surface temperatures: Examination of criticisms based on the nature and processing of proxy climate evidence. *Climatic Change*. Accepted.
- Wegman, E., et al. (2006). Ad Hoc Committee Report on the 'Hockey Stick' Global Climate Reconstruction. Washington: mimeo.
http://energycommerce.house.gov/108/home/07142006_Wegman_Report.pdf
- World Data Centre for Greenhouse Gasses. (2006). Mauna Loa, Hawaii, USA, monthly methane record covering period of May 1983 to December 2005. Available at <http://gaw.kishou.go.jp/wdchg.html> (Accessed January 18, 2007).
- Wunsch, C., (2002) What is the thermohaline circulation?. *Science* v298 1179-1181.
- Zhen-Shan, Lin, and Sun Xian, (2007). "Multi-scale analysis of global temperature changes and trend of a drop in temperature in the next 20 years." *Meteorology and Atmospheric Physics* Vol. 95, No 1-2, pp. 115-121, January 2007

APPENDIX 1 – EXPERT REVIEW

Het ISPM was opgestuurd naar reviewers over de hele wereld. Wij erkennen hierbij met dank de extreem behulpzame feedback die gegeven is, op korte termijn, bij vele collegae, wiens suggesties de uiteindelijke versie aanzienlijk verbeterd hebben. De volgende individuen hebben antwoorden geleverd per 22 januari 2007.

Alberto Montanari	Hydrology	University of Bologna	Italy
Anastasios Tsonis	Mathematics	University of Wisconsin	USA
Anthony Lupo	Climatology	University of Missouri	USA
Arthur S. deVany	Mathematics	University of California-Irvine	USA
Barrie Jackson	Chemical Engineering	Queen's University	Canada
Bjarne Andersson	Thermodynamics	Niels Bohr Institute	Denmark
Boris Winterhalter	Oceanography	Geological Survey of Finland	Finland
Christopher deFreitas	Climatology	University of Auckland	New Zealand
David Deming	Paleoclimatology	University of Oklahoma	USA
David Legates	Climatology	University of Delaware	USA
Demitris Koutsoiannis	Statistics	University of Athens	Greece
Douglas Hoyt	Solar Physics	Raytheon Corp. (Retired)	USA
		GKSS Institute of Coastal	
Eduardo Zorita	Paleoclimatology	Research	Germany
Einar Sletten	Chemistry	University of Bergen	Norway
Garth Paltridge	Atmospheric science	University of Tasmania	Australia
Gösta Walin	Oceanography	Goteborg University	Sweden
Harry Lins	Hydrology	United States Geological Survey	USA
		WMO Commission for	
John Maunder	Climatology	Climatology (ret'd)	New Zealand
Keith Hage	Meteorology	University of Alberta	Canada
		Finnish Museum of Natural	
Larry Hulden	Biology	History	Finland
Lena Hulden	Historical Biology	University of Helsinki	Finland
Marcel Leroux	Climatology	University of Lyon	France
Nicholas Scaffeta	Solar Physics	Duke University	USA
Oddbjörn Engvold	Physics	University of Oslo	Norway
Olav Kvalheim	Physical Chemistry	University of Bergen	Norway
Ole Humlum	Physical Geography	University of Oslo	Norway
Olev Trass	Chemical Engineering	University of Toronto	Canada
Oliver Frauenfeld	Meteorology	University of Colorado	USA
Patrick Michaels	Climatology	Virginia Tech	USA
Peter Robinson	Meteorology	UNC-Chapel Hill	USA
		Royal Institute of Technology,	
Peter Stilbs	Physical Chemistry	Sweden	Sweden
Piia Post	Meteorology	University of Tartu	Estonia
		Massachusetts Institute of	
Richard Lindzen	Climatology	Technology	USA
		Indian Institute of Tropical	
Ramesh Kriplani	Meteorology	Meteorology	India
Richard McNider	Meteorology	University of Alabama	USA
Robert Balling	Climatology	Arizona State University	USA
Robert Carter	Paleoclimatology	James Cook University	Australia
Robert S. Knox	Physics	University of Rochester	USA
Terence Mills	Statistics	Loughborough University	UK
Thomas N. Chase	Meteorology	University of Colorado	USA

Onafhankelijke Samenvatting voor Beleidsmakers – 58/66

Tim Patterson	Paleoclimatology	Carleton University	Canada
William Alexander	Engineering	University of Pretoria	South Africa
William Gray	Meteorology	Colorado State University	USA

Daarnaast wensten 11 reviewers om anoniem te blijven.

De reviewers is ook gevraagd antwoord te geven op de volgende vragen op een schaal van 1-5. De scores hieronder zijn gebaseerd op 53 ontvangen reviews.

1. In hoeverre bestrijkt het ISPM de range van onderwerpen die u belangrijk vind voor beleidsmakers en andere lezers die klimaatverandering willen begrijpen?
 - 1 (behoorlijk inadequaat)
 - 2 (enigszins inadequaat)
 - 3 (neutraal)
 - 4 (Adequaat) Gemiddeld antwoord = 4.2**
 - 5 (behoorlijk adequaat)
2. In hoeverre vindt u dat het ISPM het huidige begrip van onzekerheden die samenhangen met de wetenschap van klimaatverandering overbrengt?
 - 1 (Overschat in het algemeen de onzekerheden)
 - 2 (Overschat in sommige gevallen de onzekerheden)
 - 3 (Ongeveer goed) Gemiddeld antwoord = 3.3**
 - 4 (Onderschat in sommige gevallen de onzekerheden)
 - 5 (Onderschat in het algemeen de onzekerheden)
3. In hoeverre bent u het eens met de Algemene Conclusies?
 - 1 (Erg mee oneens)
 - 2 (Oneens)
 - 3 (Neutraal)
 - 4 (Mee eens) Gemiddeld antwoord = 4.4**
 - 5 (Erg mee eens)
4. Steunt u de publicatie van het ISPM als een manier om de huidige staat van de klimaatwetenschap te communiceren naar beleidsmakers en andere lezers?
 - 1 (Nee, erg tegen)
 - 2 (Nee, een beetje tegen)
 - 3 (Neutraal)
 - 4 (Ja, een beetje voor)
 - 5 (Ja, erg voor) Gemiddeld antwoord = 4.7**

APPENDIX 2- ABOUT THE AUTHORS

COORDINATOR

Dr. Ross McKittrick holds a BA in economics from Queen's University, and an MA and Ph.D. in economics from the University of British Columbia. He was appointed Assistant Professor in the Department of Economics at the University of Guelph in 1996 and Associate Professor in 2001. In the fall of 2002 he was appointed as a Senior Fellow of the Fraser Institute in Vancouver B.C. His research focuses on the relationship between economic growth and pollution; regulatory mechanism design; and various aspects of the climate change policy debate. He has published numerous scholarly articles in both economics and science journals. His coauthored book *Taken By Storm: The Troubled Science, Policy and Politics of Global Warming* was awarded a prestigious Donner Prize for Best Book on Canadian Public Policy. Professor McKittrick's research has been discussed in such places as *Nature*, *Science*, *The Economist*, *Natuurwetenschap&Techniek*, *The National Post*, *The Globe and Mail* and in a front page article in the *The Wall Street Journal* (Feb 14 2005). He has made invited academic presentations in Canada, the US and Europe, as well as professional briefings to the Canadian Parliamentary Finance and Environment Committees, to government staff at the US Congress and Senate and to the US National Research Council.

WRITING TEAM

Joseph S. D'Aleo has over three decades of experience as a meteorologist and climatologist. He holds BS and MS degrees in Meteorology from The University of Wisconsin and was in the doctoral program at New York University. Mr. D'Aleo was a Professor of Meteorology at the college level for over 8 years (6 years at Lyndon State College in Vermont) and was a co-founder and the first Director of Meteorology at the cable TV Weather Channel. From 1989 to 2004, D'Aleo was Chief Meteorologist at WSI and Senior Editor for WSI's popular Intellicast.com web site. Mr. D'Aleo is a Certified Consultant Meteorologist and was elected a Fellow and Councilor of the American Meteorological Society. He has served as member and chairman of the American Meteorological Society's Committee on Weather Analysis and Forecasting. He has authored and/or presented numerous papers focused on advanced applications enabled by new technologies, and the role of natural solar and ocean cycles on weather and climate. His published works include a resource guide for Greenwood Publishing on El Nino and La Nina. He is currently Executive Director for ICECAP, an organization and international web site that will bring together the world's best climate scientists to shed light on the true complex nature of climate change.

Dr. Madhav L. Khandekar holds a B.Sc. in Mathematics and Physics, an M.Sc. in Statistics from Pune University, India, and both M.S. and Ph.D. degrees in Meteorology from Florida State University. Khandekar has worked in the fields of climatology, meteorology and oceanography for almost 49 years and has published well over 100 papers, reports, book reviews and scientific commentaries as well as a book on Ocean Surface Wave Analysis and Modeling, published by Springer-Verlag in 1989. Khandekar spent 25 years as a Research Scientist with Environment Canada (now retired) and has previously taught meteorology and related subjects at the University of Alberta in Edmonton (1971-74) and for two United Nations training programs: Barbados, West Indies (1975-77, World Meteorological Organization lecturer in meteorology) and Qatar, Arabian Gulf (1980-82, ICAO expert in aeronautical meteorology). He has published research on surface waves, arctic sea ice, ENSO/monsoon and global weather, numerical weather prediction, boundary-layer meteorology, and tropical cyclones. He presently serves on the editorial board of the international Journal, *Natural Hazards* (Kluwer, Netherlands) and was an editor of *Climate Research* (Germany) from 2003-2005. Khandekar acted as a guest editor for a special issue of the Journal *Natural Hazards* on global warming and extreme weather, published in June 2003. Khandekar has been a member of the American Meteorological Society since 1966, the Canadian Meteorological and Oceanographic Society since 1970, and the American Geophysical Union since 1986.

William Kininmonth is a consulting climatologist. He holds a B.Sc. from University of Western Australia, an M.Sc. from Colorado State University and an M.Admin. from Monash University. He worked with the Australian Bureau of Meteorology for 38 years in weather forecasting, research and applied studies. For 12 years until 1998 he was head of its National Climate Centre. He was Australian delegate to the World Meteorological Organization's Commission for Climatology (1982-1998) and served two periods on its Advisory Working Group (1985-89 and 1993-97). Between 1998 and 2002 he consulted to the Commission, including coordinating an international review of the 1997-98 El Niño event and preparation of a WMO publication, *Climate into the 21st Century* (Cambridge). William Kininmonth was a member of Australia's delegations to the preparatory meetings for the Ministerial Declaration of the Second World Climate Conference (1990) and to the United Nations Intergovernmental Negotiating Committee for a Framework Convention on Climate Change (1991-92). William Kininmonth is author of the book, *Climate Change: A Natural Hazard* (Multi-Science Publishing Co, UK – 2004)

Dr. Christopher Essex Christopher Essex is a full Professor of Applied Mathematics at the University of Western Ontario, where he is Director of the Program in Theoretical Physics. He holds a B.Sc (hon.), from the University of Western Ontario, an M.S. from Rice University and a Ph.D. from York University. He was an NSERC Postdoctoral Fellow at the Canadian Climate Centre and held a Humboldt Research Fellowship at the University of Frankfurt in Germany, and was recently a visiting scientist at the Niels Bohr Institute in Denmark. Dr. Essex specializes in the underlying mathematics, physics and computation of complex dynamical processes such as climate. His research, including discoveries in statistical physics, has been published in leading scientific journals, and he is a frequently invited speaker at professional international science symposia. He is a recipient of the \$10,000 Donner Prize (2002) for his book on global warming and is a life member of the Canadian Industrial and Applied Mathematics Society. In 2006 he was appointed by the Governor General of Canada to the Natural Sciences and Engineering Research Council.

Dr. Wibjörn Karlén received a Masters degree at the University of Maine in 1972. The focus of his thesis was the pattern and possible cause of Holocene climatic variations. A few years later he defended a Ph.D. at the Department of Physical Geography at Stockholm University. He has during the following years maintained his interest in the climate of the Holocene. He has collected field data in a number of areas around the world, including Scandinavia, Svalbard, Alaska, Kenya and Antarctica. Between 1984 and 2004 he was appointed professor at Stockholm University, and between 1985 and 1995 was in charge of the Tarfala Research Station, where research focuses on glaciology. After retirement he is now the editor of an international scientific journal, *Geografiska Annaler*. Since 1992 he has been a member of the Royal Swedish Academy of Sciences.

Dr. Olavi Kärner studied mathematics at the University of Tartu, Estonia before receiving his Ph.D. in Atmospheric Physics from the Leningrad Hydrometeorological Institute in 1974. In 1966, Dr. Kärner joined the Tartu Observatory in Tõravere, Estonia, and since 1977 has held the position of Senior Research Associate, Atmospheric Sensing Group. His scientific interests include time series analysis for climate studies, and the development of satellite cloud classification methods for radiation budget calculations. In 1993, Dr. Kärner and co-author, Dr. Sirje Keevallik, published *Effective Cloud Cover Variations* (A. Deepak Publishing). He was born in 1942 in Tartu, Estonia, and is married with three children.

Dr Ian Clark holds a B.Sc and M.Sc. in Earth Sciences from the University of Waterloo; and a PhD in Sciences de la Terre, from the Université de Paris-Sud. He is a Professor in the Department of Earth Sciences at the University of Ottawa. He conducts research on past climates and environmental change in the Arctic during since the last ice age. Current programs involve field work with students in the Yukon Territory and on Mars environment analogue site on Devon Island in Nunavut, supported by the Canadian Space Agency. He teaches courses on Quaternary Geology and Climate Change and on Groundwater Geochemistry. Dr. Clark is director of the G.G. Hatch Isotope Laboratory, an internationally-renown facility supporting research in Earth and environmental science.

Dr. Tad Murty completed his early education in India and later received an M.S. and Ph.D. in Meteorology and Oceanography from the University of Chicago. Dr. Murty was a Senior Research Scientist with the Canadian Department of Fisheries and Oceans for 27 years and a Professor of Earth Sciences at Flinders University, Adelaide, Australia. Murty has also served as the Director of Australia's National Tidal Facility, and as a Senior Scientist with Baird & Associates Coastal Engineers in Ottawa, Canada. Dr. Murty retired in 2004 and is now an Adjunct Professor in the Departments of Earth Sciences and Civil Engineering at the University of Ottawa. Dr. Murty has authored, co-authored and edited 18 books and monographs and more than 250 papers in peer reviewed scientific journals. He has served on various national and international committees, and received several awards for original and outstanding research on mathematical modelling of marine hazards. At present, he is the leader of a World Meteorological Organization group preparing a manual on storm surges from Hurricanes and extra-tropical cyclones. Dr. Murty is also the Editor of *Natural Hazards* published by Springer Associate, and the Editor of *Marine Geodesy* published by Taylor& Francis.

Dr. James J. O'Brien Dr. James J. O'Brien is the Robert O. Lawton Distinguished Professor, Meteorology & Oceanography, and the Director of the Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies at Florida State University. After receiving his Ph.D. in meteorology from Texas A&M University in 1966, O'Brien has published more than 115 scientific publications, and has significantly contributed to the advancement of the science of atmospheric and ocean modeling. O'Brien is a Fellow of the American Meteorological Society, the American Geophysical Union, the Royal Meteorological Society, and the American Association for the Advancement of Science. He is also a Member of the Norwegian Academy of Science and Letters, and a Foreign Fellow of the Russian Academy of Natural Science. He has been the Editor of the *Journal of Geophysical Research:Oceans*, and the Associate Editor of *Monthly Weather Review*, and *Continental Shelf Research*. He is currently an Associate Editor of the *International Journal of Math and Computer Modeling*. A member of Florida State University's Faculty for more than 35 years, he is perhaps best known for his early, basic research into El Niño. Since 1999, O'Brien has been the Florida State Climatologist, and in 2006 he received the prestigious Uda Prize from the Japanese Oceanographic Society.

Appendix 3 -Woordenlijst

Accumulated Cyclone Energy (ACE) – een maat die gebruikt wordt door de National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) om de activiteit van Atlantische cycloonseizoenen uit te drukken; de ACE benadert de energie die gebruikt wordt door een tropisch systeem gedurende zijn levensduur en het wordt voor elke zes-uurs periode berekend zodat de ACE van een seizoen de som is van de ACE's van elke storm en het houdt rekening met het aantal, de sterkte en de duur van alle tropische stormen in een seizoen.

Zuurgraad – het niveau van waterstof-ion-concentraties in een oplossing gemeten op een pH schaal zodat de meerderheid van de metingen variëren van 1 (heel erg zuur) tot 14 (heel erg alkalisch).

Aerosolen – kleine vast deeltjes of vloeibare druppels die voor lange tijd aanwezig blijven; aerosolen variëren in grootte van ongeveer 10^{-3} μm (micron) tot ongeveer 20 μm , inclusief vulkanisch stof, zeezout en zijn vaste vormen, door wind gegenereerd stof, rook van natuurlijke bosbranden, deeltjes die uitgestoten worden door verbranding.

Albedo – de mate waarin een object licht reflecteert; de verhouding tussen inkomende en weerkaatste elektromagnetische stralingskracht.

Alkaliteit – een maat van de capaciteit van water om te neutraliseren door hoofdzakelijk de aanwezigheid van natuurlijk aanwezig bicarbonaten, carbonaten, en waterstof-ionen.

Altimetrie – het meten van hoogte.

Altitude – de hoogte van een object boven een bekend niveau. Algemeen, de hoogte van een object boven het gemiddelde zeeniveau.

Antropogeen – resultaat van of geproduceerd door mensen.

Areaal – het zelfstandig naamwoord.

Atlantische Multidecadale Oscillatie (AMO) – een voortdurende serie van langdurige veranderingen in de zeevatertemperatuur van de Noord-Atlantische Oceaan, met koele en warme fases die per keer 20-40 jaar kunnen duren; deze veranderingen zijn natuurlijk en hebben zich minimaal gedurende de laatste 1.000 jaar voorgedaan.

Biosfeer – het buitenste deel van de Aarde (inclusief land, lucht en water) waar leven voorkomt.

Biota – de flora (planten) and fauna (dieren) van een gebied of tijdsperiode.

Carbonaatconcentratie – het aantal moleculen van een carbonaat (een substantie die koolstof en zuurstof bevat, zoals calciumcarbonaat, wat bekend staat als kalksteen) in een bepaald volume.

Chlorofluorocarbons (CFC) - een groep van chemicaliën (specifiek: halo-alkanen) die zowel chloor- als fluormoleculen bevat.

Behoud van massa – een natuurkundige wet die zegt dat massa niet gemaakt of vernietigd kan worden maar slechts getransporteerd van een volume naar een ander.

Klimaat – het IPCC definieert klimaat in een beperkte zin als het “gemiddelde weer”, of meer rigoureuus als de statistische beschrijving in termen van een gemiddelde en variabiliteit van relevante grootheden over een tijdsperiode die varieert van een maand tot duizenden of miljoenen jaren.

Kooldioxide (CO₂) – een molecuul dat bestaat uit een koolstofatoom gebonden door twee zuurstofatomen. Bij kamertemperatuur is het een kleurloos, geurloos gas.

Koraalreeksen – de groei van koraal wordt beïnvloed door temperatuur (maar niet alleen temperatuur), en kan gebruik worden min of meer zoals boomringdiktes om iets te weten te komen over klimaat in historische tijden. Een koraalreeks verwijst in het algemeen naar een koraalmonster(s) die gebruikt is om eerder klimaatveranderingen te schatten.

Cryosfeer – verwijst naar delen van het Aardoppervlak waar water zich in vaste (bevroren) toestand bevindt, onder meer sneeuw, ijs, en bevroren grond (inclusief permafrost).

Dagelijks Temperatuur Bereik (“Diurnal Temperature Range”; DTR) – het verschil in temperatuur tussen het nachtelijk minimum en het maximum overdag.

Terugschalen (“Downscaling”) – een methode om hoge resolutie informatie over klimaat of klimaatverandering te verkrijgen van relatief grofchalige globale klimaatmodellen (“Global Climate models”; GCMs). GCMs hebben typisch een resolutie van 150-300 km bij 150-300 km, maar vele modellen hebben informatie nodig op schalen van 50 km of minder, en een methodiek is nodig om de kleinschalige informatie te schatten.

Dynamisch terugschalen – een methode om hoge resolutie klimaatgegevens van een relatief lage resolutie klimaatmodel te verkrijgen, welke gebruik maakt van een hoge resolutie model voor een beperkt gebied (een regionaal klimaatmodel; RCM), aangedreven door randvoorwaarden van een GCM om kleinschalige informatie af te leiden; gebruik daar waar modellen kleinschalige gegevens gebruiken.

El Nino – ook wel bekend als het Niño-Southern Oscillation (ENSO) is een gekoppeld atmosfeer-oceaan fenomeen dat zijn oorsprong vindt in de Pacifische Oceaan maar dat het klimaat wereldwijd beïnvloed.

Emissies – in de context van klimaatverandering verwijzen emissies naar het vrijkomen van een broeikasgas of een voorganger ervan in de atmosfeer.

ENSO – zie El Nino

Evenwichtsklimaatgevoeligheid – de verandering van oppervlaktetemperatuur als gevolg van een eenheidsverandering van stralingsforcering.

Extratropisch – De extratropen verwijzen naar een gebied buiten de tropen. Extratropisch wordt vaak gebruikt om stormen of cyclonen te beschrijven die hun oorsprong vinden buiten de tropen.

Firn – een sneeuwtype dat minimaal een seizoen heeft overleefd en dat korrelig en dicht is geworden, bijna ijs. Het wordt vaak gevonden onder sneeuw die accumuleert aan het begin van gletsjers.

Fossiele brandstoffen – verwijst over het algemeen naar brandstoffen zoals kolen, olie en natuurlijk gas, die gevormd zijn als gevolg van de afbraak van planten en dieren door hitte en druk gedurende miljoenen jaren in de Aardkorst.

Algemeen Circulatie Model (“General Circulation Model”; GCM) – een tijdsafhankelijk numerieke 3-dimensionaal computermodel van het klimaatsysteem, het beschrijft de effecten van factoren zoals de reflectieve en absorberende eigenschappen van waterdamp, broeikasgasconcentraties, wolken, jaarlijkse en dagelijkse opwarming door de zon, oceaantemperaturen en ijs.

Glaciale Isostatische Aanpassing (GIA) – het proces waarbij de vorm van de aarde en het zwaartekrachtsveld veranderen als gevolg van grootschalige veranderingen in de massa van het oppervlak door glaciatie en deglaciatie.

Broeikas gas – elk gas dat infrarode straling absorbeert in de atmosfeer. Broeikasgassen zijn onder andere waterdamp, kooldioxide (CO₂), methaan (CH₄), lachgas (N₂O), halogeenfluorkoolwaterstoffen (HCFCs), ozon (O₃), geperfluoriseerde koolwaterstoffen (PFCs), en hydrofluorkoolwaterstoffen (HFCs).

Golfstroom – een warme, snelle, relatief smalle oceaanstrooming die stroomt langs de oostkust van de Verenigde Staten.

Heinrich gebeurtenissen – plotselinge intens koude en droge fases die het meest extreem zijn in een spectrum van plotselinge, korte koude gebeurtenissen die zich vaak te lijken hebben voorgedaan gedurende de laatste 115.000 jaar (gedurende de laatste 50.000 jaar hebben Heinrich gebeurtenissen zich voorgedaan rond 41.000, 35.000, 23.000, 21.000, 17.000 en 15.000 jaar geleden)

Holoceen – het tijdperk na de ijstijd, tussen nu en 10.000 voor nu.

IJskernen – een cilinder van ijs dat verwijderd is van een ijskap en die lagen van samengepakt ijs bevat die bruikbaar zijn voor de reconstructie van vroegere omstandigheden.

Irradiatie (inkomende straling) – een maat om de hoeveelheid lichtenergie die zich door een eenheidsoppervlak begeeft per golflengte-interval vanuit alle richtingen (Watt per vierkante meter per nanometer, bijvoorbeeld).

Kelvin – de basiseenheid van temperatuur van het International System of Units, gelijk aan 1/273.16 van de Kelvin temperatuurschaal van het trippelpunt van water.

Lacustrien – afkomstig van of levend in meren of poelen.

Laatste InterGlaciaal (LIG) – de meest recente tijd (115.000-125.000 jaar geleden) gedurende welke wereldwijde temperaturen net zo hoog of hoger waren dan in de periode na een glaciaal, toen continentale gletsjers beperkt waren tot het Noord- en Zuidpoolgebied, een de zeespiegel nagenoeg gelijk waren aan nu.

Afsmelting- een periodiek smelten van een gletsjer

Meridional Overturning Circulation (MOC) – het zinken en verspreiden van koud water, bijvoorbeeld, de Atlantische overturning meridionale circulatie brengt warm oppervlaktewater naar hoge noordelijke breedtegraden en voert diep koud water terug voorbij de evenaar.

Moesson – een door warmte gedreven wind die ontstaat door verschillen in opwarming tussen landmassa en de nabijgelegen oceaan, wiens richting zich elk seizoen omkeert.

Niet-stationair – zie Aanname van stationariteit

Northern Annular Mode – grootschalige toestand van klimaatvariabiliteit op het Noordelijk Halfrond, ook wel bekend als de Arctische Oscillatie of de Noord-Atlantische Oscillatie.

Ozon – een molecuul dat bestaat uit drie zuurstofatomen die van nature voorkomt in de stratosfeer en die het grootste deel van de ultraviolette straling van de zon wegfiltert; ozon ontstaat in de lagere atmosfeer als luchtvervuiling.

Pacifische Decadale Oscillatie – een patroon van klimatologische en oceanische omstandigheden die voorkomen in de Noordelijke Pacifische Oceaan en die resulteert in verschuivingen in zeevatertemperaturen en hoeveelheid plankton op tijdschalen van decades.

Paleohydrologie – de studie van hydrologische processen en gebeurtenissen die proxy metingen gebruiken die zich voordeden voor het begin van het systematisch verzamelen van hydrologische gegevens.

Paleolithic – de oude steentijd; de archeologische periode voor ongeveer 10.000 voor Christus, gekarakteriseerd door het eerste gebruik van stenen gereedschap.

Parameterisatie – de representatie van een fysisch effect als gesimplificeerde parameters in een dynamisch model; bijvoorbeeld, de vorming van wolken wordt berekend uit grootheden zoals waterdamp, en zijn afhankelijk van het precieze parameterisatieschema dat gebruikt wordt.

pH – een maat voor de zuurgraad of alkaliteit van een oplossing; de pH-schaal varieert typisch van 0 tot 14, zodanig dat 7 een neutrale oplossing aangeeft, kleine getallen een hoge zuurgraad aangeven en grote getallen een hoge alkaliteit.

Power Dissipation Index (PDI) – voor een tropische cycloon is de PDI gedefinieerd als de som van de maximale 1-minuut windsnelheid die is voorgekomen (tot de derde macht), binnen zes-uurse intervallen, voor alle periodes wanneer de cycloon op zijn minst tropische stormkracht bereikt; de PDI houdt rekening met de frequentie, sterkte en duur van tropische cyclonen.

Proxyreeks – een vervangende maat wanneer een directe meting niet mogelijk is.

Straling – energie die van een bron afkomstig is en die door een bepaald materiaal of ruimte gaat. Licht, hitte en geluid zijn vormen van straling.

Stralingsbudget – de balans tussen inkomende energie van de zon en uitgaande thermische (langgolvlige) en gereflecteerde (kortgolvlige) straling van de aarde.

Radiosonde – een meetinstrument dat aan een weerballon is vastgemaakt en die direct metingen doet van verschillende atmosferische grootheden.

StralingsForcering (SF; “Radiative Forcing”; RF) – de netto flux van straling in en uit een systeem zodanig dat de verandering in de niet-stralingsenergie staat van het systeem zoals een verandering van zijn temperatuur.

Zeespiegel – de positieve van de grens tussen lucht en zee; dient als referentiepunt vanwaar alle landhoogtes en waterdieptes gemeten worden. De zeespiegel op welke plaats dan ook verandert voortdurend met het getij, atmosferische druk, en windomstandigheden en wordt daarom algemeen aangeduid als gemiddelde zeespiegel, de hoogte van het zeeoppervlak gemiddeld over alle toestanden van getijde over een lange tijdsperiode.

Sterkte van een put – de mate waarin een proces in staat is om energie of een stof kan verwijderen van de atmosfeer; een put levert opslag voor een stof; bijvoorbeeld, planten werken als putten voor fotosynthese, omdat ze kooldioxide uit de lucht omzetten in organisch materiaal die opgeslagen wordt in de plant of in de grond.

Aanname van Stationariteit – een term die gebruikt wordt in wiskundige statistiek om de aanname te beschrijven dat relevante statistische aspecten van de gegevens constant blijven over een groot bereik.

Statistisch terugschalen – een methode om hoge resolutie klimaatgegevens te verkrijgen uit relatief grove resolutie globale klimaatmodellen die een statistische relatie geeft tussen waargenomen kleinschalige (vaak op het niveau van een meetpunt) variabelen en grootschalige (GCM) variabelen, gebruik maken van regressiemethoden of neurale netwerken.

Stratosfeer – de atmosfeer wordt onderverdeeld in lagen; de stratosfeer is de laag boven de troposfeer en onder de mesosfeer; het wordt algemeen gedefinieerd vanaf 10-15 km boven het aardoppervlak en eindigend op 50 km boven het aardoppervlak en wordt gekarakteriseerd door een toename van de temperatuur met de hoogte.

Sublimatie – een faseverandering van een stof van vast direct naar gas

Oppervlaktemeetnetwerk – een gekoppeld systeem van apparaten die temperaturen meten

Thermohaline Circulatie – de stroming van oceaanwater veroorzaakt door veranderingen in dichtheid, die afhangt van zowel temperatuur (thermo) als zoutgraad (haline).

Top van de Atmosfeer (“Top of the Atmosphere” TOA) – het bovenste gedeelte van de atmosfeer die afhankelijk van de toepassing verschillend wordt gedefinieerd. TOA is de hoogte waar lucht zo dun wordt dat atmosferische druk of massa verwaarloosbaar wordt; voor de terugkeer van ruimteschepen is de TOA ongeveer 120 km, het punt waarop de wrijving van de atmosfeer voelbaar wordt; in de meteorologie wordt een druk van 0.1 mb gebruik om deze locatie te definiëren.

Troposfeer – de atmosfeer wordt ingedeeld in lagen; de laagste is de troposfeer die zich bevindt tussen het aardoppervlak tot ongeveer 10-15 km hoogte; alle processen die samenhangen met het weer spelen zich af in de troposfeer.

Younger Dryas – een plotselinge en korte (ongeveer 1300 ± 70 jaar) koude klimaatperiode aan het eind van het Pleistoceen tussen ongeveer 12.700 en 11.500 jaar voor nu.