

Inhoud:

Inleiding	2
1. Het stadseffect	8
1.1 Voorbeelden IPCC-rapport	9
2. De kwaliteit van temperatuurmetingen	11
2.1 Positionering van meetstations.....	11
2.2: Individuele weerstations en de mondiale temperatuur.....	13
2.3 Afname aantal meetstations	14
2.4 Meetstations in Afrika en Zuid-Amerika	16
<i>Box 1: Combinaties van meer meetstations</i>	18
2.5 Gegevens in temperatuurreksen	19
2.6 Oppervlaktemetingen	19
2.7 Temperatuurstijging boven zee	20
2.7.1 Metingen zeewatertemperatuur	20
2.7.2 Trend boven zee	21
2.8 Is de opwarming gestopt?.....	22
3 Komt de recente opwarming door CO ₂ ?.....	24
<i>Box 2: Klimaatgevoeligheid volgens IPCC (2007) en studies sindsdien</i>	24
3.1 No-feedback case	25
3.2 De feedback case: hoe groot is de klimaatgevoeligheid.....	26
<i>Box 3: Stralingsforcering</i>	27
3.3 Klimaatgevoeligheid bepaald uit waarnemingen	28
3.4: Klimaatgevoeligheid in klimaatmodellen	32
3.4.1: Wolkenfeedback.....	33
3.4.2 Waterdamp feedback.....	34
3.4.3 Hot spot: de Lapse rate feedback	35
3.5 Cirkelredenering.....	38
4 Enkele voorbeelden van selectief winkelen	38
4.1 Regionale effecten van aërosolen.....	38
4.2 Invloed Pacific Decadal Oscillation op temperatuurtrends.....	39
4.3 Klimaatverandering en orkanen	40
4.4 Afsmelten van Groenland.....	41

Inleiding

Het klimaatdebat zoals zich dat de laatste jaren manifesteert, maakt duidelijk dat klimaatwetenschap en klimaatbeleid in een nieuw tijdperk opereren; een tijdperk dat gekenmerkt wordt door een hoge mate van politisering en een zeer dynamische interactie tussen wetenschap en publiek debat. Deze ontwikkeling stelt steeds hogere eisen aan de wijze waarop de resultaten uit de klimaatwetenschap worden beoordeeld en samengevat voor beleidsmakers. Ook is het van belang om systematischer dan tot nu toe de argumenten van 'klimaatsceptici' te onderzoeken en beoordelen op hun houdbaarheid. Het Platform Communication on Climate Change (PCCC) krijgt regelmatig verzoeken van beleidsmakers, politici en andere professionals om wetenschappelijke duiding te geven aan berichten over klimaat die met regelmaat in de media en in de blogosfeer verschijnen. Maar ook stellingnames in artikelen in de wetenschappelijke literatuur vergen soms uitleg, zeker als het om afwijkende resultaten gaat.

Wetenschapsjournalist Marcel Crok bracht in november 2010 het boek 'De staat van het klimaat – een koele blik op een verhit debat' uit. Het is een kritisch verhaal over het functioneren van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) en de stand van de kennis van het klimaatsysteem. De auteur heeft de kritiek op de bevindingen in het klimaatonderzoek zoals verwoord in de wereldwijde blogosfeer en in wetenschappelijke publicaties geïnventariseerd. Hieronder treft u de visie aan van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) op die kritiek. Deze tekst is opgesteld door Leo Meyer en Bart Strengers van het PBL, die hiervoor deskundigen hebben geraadpleegd van het ECN (Bart Verheggen) en het KNMI (Rob van Dorland, Bram Bregman, Geert Jan van Oldenborgh en Albert Klein Tank).

Het klimaatbeleid is grofweg gebaseerd op zes wetenschappelijk onderbouwde pijlers:

1. De laatste 100 jaar is de gemiddelde temperatuur op aarde met bijna 0.8 0C gestegen.
2. De CO₂-concentratie is sinds het industriële tijdperk met bijna 40 % gestegen ten gevolge van de uitstoot van fossiele brandstoffen en ontbossing.
3. CO₂ heeft een opwarmend effect op de atmosfeer.
4. De waargenomen opwarming kunnen we alleen afdoende verklaren uit de toename van de CO₂-concentratie en andere broeikasgassen.
5. De temperatuurstijging zet door in de toekomst wat leidt tot schadelijke gevolgen.
6. De belangrijkste remedie is de terugdringing van de uitstoot van broeikasgassen en daarnaast is aanpassing aan klimaatverandering onvermijdelijk.

Het IPCC evalueert deze inzichten periodiek. Het klimaatdebat spitst zich vooral toe op de eerste vier pijlers van het klimaatbeleid. Kort samengevat is de kritiek:

- De geobserveerde toename in de wereldtemperatuur wordt overschat;
- Het opwarmende effect van CO₂ wordt overschat;
- Het IPCC heeft gefaald als kennisbasis voor klimaatbeleid.

Deze drie kwesties zijn het belangrijkste scharnierpunt van de klimaatdiscussie.

Immers, als men de IPCC- boodschappen van temperatuurstijging en de menselijke invloed accepteert, dan accepteert men ook makkelijker dat er klimaatbeleid nodig is. Als men die boodschappen in twijfel trekt of afwijst, of de opwarming verklaart uit natuurlijke oorzaken, dan hoeven de broeikasgassen ook niet aangepakt te worden.

"De geobserveerde toename in de wereldtemperatuur wordt overschat"

Het IPCC meldt dat de aarde gemiddeld genomen bijna 0,8 graden is opgewarmd sinds het pre-industriële tijdperk. Die uitspraak is gebaseerd op een grote hoeveelheid temperatuurmetingen van weerstations in grote delen van de wereld. IPCC geeft ook aan welke opwarming per continent heeft plaats gevonden.

Omgevingseffecten

Een bekende vraag is of, en zo ja, in hoeverre de temperatuurmetingen in het veld beïnvloed worden door de nabijgelegen bewoonde omgeving. Het IPCC laat op basis van veel studies zien dat het effect hiervan op de gemiddelde wereldtemperatuur slechts enkele honderdsten graden Celsius is. Lokaal kan dit meer zijn.

Critici menen dat temperatuurmetingen zodanig verstoord worden door de omgeving, dat de waargenomen wereldwijde opwarming sinds 1970 voor een belangrijke deel is toe te schrijven aan de groeiende stedelijke en industriële gebieden. Marcel Crok stelt zelfs dat dit meer dan helft zou kunnen zijn. Hij lijkt te bedoelen: opwarming boven land (slechts een derde van het aardoppervlak) en baseert dat op vier wetenschappelijke artikelen uit 2004, 2006 en 2007 (Laat, de en Aurelis (2004), Laat, de en Aurelis (2006), McKitrick en Michaels (2004), McKitrick en Michaels (2007)) die een verband laten zien tussen de gemeten temperatuurtrend en de groei van stedelijke gebieden.

In het laatste IPCC-rapport werden de resultaten van die twee studies als 'niet statistisch significant' beoordeeld, echter zonder die uitspraak goed te onderbouwen in het rapport. Dat had het IPCC dus zorgvuldiger moeten doen. Los daarvan zijn er vele (recentere) studies (bijvoorbeeld Gartland, 2008, Parker, 2010 en Schmidt, 2009) die melden dat het opwarmende effect van steden te gering is om de schatting van gemiddeld bijna 0,8 graden temperatuurstijging op aarde (land én oceaan samen) sinds de laatste 100 jaar bij te stellen. Bovendien blijkt de wereldwijde opwarming niet alleen uit de thermometers in het veld. Ook de metingen van satellieten, de geconstateerde stijging van de zeespiegel en het afsmelten van landijs en gletsjers wijzen op een opwarming van een vergelijkbare orde van grootte.

Meetreeksen

Ook wordt door critici gesteld, dat goede documentatie en kwaliteitscontroles van temperatuurmetingen en de volledigheid van meetreeksen in veel ontwikkelingslanden ontbreken, terwijl het IPCC wel opwarming op de continenten Zuid-Amerika en Afrika rapporteert. Zo verwijst de Canadese wiskundige McIntyre in zijn weblog naar een klein aantal (10) Afrikaanse landelijke meetstations, die geen duidelijke opwarmende trend laten zien. Het IPCC rapporteert echter in 2007 voor Afrika een temperatuurstijging van bijna 1 graad in de periode 1950-2003. Hoewel die uitkomst is gebaseerd op data van honderden meetstations, ontbreekt in het IPCC rapport een gedegen onderbouwing van die graad opwarming in de onderliggende hoofdstukken. Ook is deze uitkomst niet te traceren in het door IPCC bijgeleverde aanvullend materiaal en literatuurreferenties. Het IPCC is hier dus niet zorgvuldig geweest en zal in het volgende rapport meer controleerbaar moeten rapporteren.

Een andere verklaring voor mogelijk versnelde opwarming van stedelijke gebieden, is de regionale afname van koelende aerosolen. Sinds het laatste IPCC-rapport zijn vele publicaties over dit onderwerp verschenen. Het wetenschappelijke debat hierover is dus in volle gang en zal ongetwijfeld ter sprake komen in het komende IPCC-rapport.

“Het opwarmende effect van CO2 wordt overschat”

Klimaatgevoeligheid

Er kleven veel onzekerheden aan de schatting van de temperatuurstijging die het gevolg zou zijn van een verdubbeling van de concentratie CO₂ in de atmosfeer. Dit is de zogenoemde ‘klimaatgevoeligheid’. De opvatting, zoals verwoord door het IPCC, is dat een verdubbeling van de CO₂ concentratie waarschijnlijk leidt tot een wereldwijde temperatuurstijging van 2 tot 4,5 graden Celsius. De beste schatting hiervan is 3 graden.

CO₂ heeft een direct opwarmend effect als broeikasgas, maar daarbij komen vele processen in de atmosfeer die het opwarmende effect versterken (‘positieve terugkoppelingen’) of juist verzwakken (‘negatieve terugkoppelingen’). Een hogere temperatuur leidt bijvoorbeeld tot meer waterdamp in de atmosfeer. Waterdamp is zelf ook een broeikasgas en versterkt het effect van meer CO₂: een positieve terugkoppeling. Tegelijkertijd wordt door de extra verdamping warmte onttrokken aan de omgeving dat leidt tot afkoeling aan het oppervlak. De waterdamp neemt die opgenomen warmte mee, stijgt op en condenseert op grotere hoogte. Bij condensatie komt die opgenomen warmte weer vrij. Deze warmte straalt hoog in de atmosfeer makkelijker uit naar het heelal dan vanaf het aardoppervlak. Dit proces van verdamping en condensatie remt de opwarming dus af, en is er sprake van een negatieve terugkoppeling.

De optelsom van alle terugkoppelingen is positief. Met andere woorden, ten gevolge van alle bekende terugkoppelingen wordt het opwarmende effect van CO₂ en andere broeikasgassen versterkt. Hoeveel precies is onzeker en dat leidt tot een grote spreiding in de klimaatgevoeligheid. Uit de ons bekende wetenschappelijke studies, inclusief die van het IPCC, blijkt dat het zeer onwaarschijnlijk is dat de klimaatgevoeligheid lager is dan 1,5 graden. Hoge waarden meer dan 6 graden zijn echter niet uit te sluiten. Genoemde studies samen laten zien dat de kans, dat de klimaatgevoeligheid wordt onderschat, eerder groter is dan dat die wordt overschat. Dit blijkt ondermeer uit een rapport van het Planbureau voor de Leefomgeving over de laatste wetenschappelijke stand van zaken.

Crok’s boek erkent deze terugkoppelingen, maar trekt de positieve terugkoppelingen in twijfel, overigens zonder een heldere onderbouwing. Tegelijk benadrukt het boek het belang van de negatieve terugkoppelingen en noemt zelfs een klimaatgevoeligheid van slechts 0,5 graden, maar eveneens zonder een goede onderbouwing.

Aërosolen

Aërosolen (stofdeeltjes) houden het zonlicht tegen en hebben een afkoelende werking en maskeren daarmee het opwarmende effect van de broeikasgassen. De mate waarin is onzeker – maar sommige critici betogen dat die koelende werking veel kleiner is dan IPCC aangeeft. Als die maskering zou ontbreken zou het opwarmende effect van de broeikasgassen dus kleiner zijn. Dit zou betekenen dat er geen hoge klimaatgevoeligheid nodig is om de gemeten wereldwijde opwarming van 0,8 graden te verklaren. Crok baseert zijn conclusie op slechts enkele studies waarvan er één wijst op de opwarmende werking van roet (op zich correct). Maar hij negeert dat diezelfde studie het koelende effect van de andere componenten van de aërosolen naar boven bijstelde. Hierdoor is er volgens deze studie nauwelijks effect op het geschatte netto koelende effect door aërosolen, en dus ook niet op de geschatte klimaatgevoeligheid. Deze studie is hier naar onze mening dus onjuist geïnterpreteerd.

Verzadigingseffect

Meer CO₂ leidt niet tot een evenredige opwarming – er is een wet van ‘verminderende meeropbrengsten’, die in de klimaatmodellen ook wordt meegenomen. Sommige critici stellen dat de atmosfeer verzadigd is met CO₂, en dat meer CO₂ niet tot extra opwarming leidt.

Crok vergelijkt het effect van meer CO₂ met het schilderen van de ramen: ‘De eerste laag verf zal veel licht tegenhouden, de tweede laag minder en op een gegeven moment zal een extra laag verf nog nauwelijks extra licht tegenhouden. Er is dan een verzadigingspunt bereikt.’ Deze vergelijking klopt niet. Meer CO₂ leidt altijd tot meer opwarming, en al wordt de extra opwarming wel relatief minder, nul wordt die niet. Dit illustreert de atmosfeer van Venus die voor 96% uit CO₂ bestaat waardoor het broeikaseffect zo’n 500 °C bedraagt.

Klimaatmodellen versus waarnemingen

Het IPCC stelt dat de waargenomen opwarming wereldwijd en op de continenten alleen goed te verklaren is door in de modellen het versterkte broeikaseffect mee te rekenen. Critici bestrijden dit door te wijzen op zwaktes in modellen.

De modellen simuleren bijvoorbeeld ‘hotspots’ bovenin de troposfeer. Dit zijn plekken waar het extra water, dat aan het aardoppervlak verdampt door hogere temperaturen, weer condenseert en zijn warmte afgeeft. Het zou boven in de troposfeer extra warm moeten worden. Maar dit fenomeen wordt niet ondersteund door onder andere satellietwaarnemingen sinds 1979. Overigens is de versterking van de opwarming hogerop in de atmosfeer een negatieve terugkoppeling, en verlaagt daarmee de klimaatgevoeligheid. Het ontbreken ervan in de meeste waarnemingen suggereert dus een hogere gevoeligheid dan de klimaatmodellen weergeven.

De vraag rijst of de metingen onvoldoende nauwkeurig zijn (zoals sommige wetenschappers stellen) of dat er een onvolkomenheid zit in de klimaatmodellen, of allebei. Het is belangrijk dat deze tegenspraak tussen modellen en waarnemingen wordt opgelost en daarom is dit ook een belangrijk aandachtsgebied in de klimaatwetenschap. Dat neemt overigens niet weg dat er nog steeds geen fysisch houdbare alternatieve verklaring te vinden is voor de opwarming van de aarde.

“Het IPCC heeft gefaald als kennisbasis voor klimaatbeleid”

Crok stelt dat er geen andere conclusie mogelijk is dan dat het IPCC proces ‘gefaald’ heeft. Hoewel veel kritiek op het IPCC mogelijk is, zijn wij met de InterAcademy Council, die het IPCC proces in 2010 kritisch heeft geëvalueerd, van mening dat het IPCC de maatschappij goede diensten heeft bewezen, maar wel toe is aan stevige hervormingen.

De meest in het oog springende conclusie van het IPCC is dat het grootste deel van de opwarming van de aarde in de tweede helft van de twintigste eeuw zeer waarschijnlijk het gevolg is van de waargenomen toename van broeikasgassen. Critici stellen dat dit een ‘expert judgement’ is van een beperkte groep van ongeveer 50 deskundigen. De uitspraak van het IPCC is inderdaad een ‘expert judgement’, maar deze deskundigen hebben hun oordeel wel gebaseerd op tientallen jaren wetenschappelijk onderzoek, duizenden peer-reviewed publicaties. De formulering is bovendien door vele deskundigen gereviewed.

Dat alles is nog steeds geen reden om alle uitspraken van het IPCC klakkeloos over te nemen. Het PBL rapporteerde in juli 2010 dat het IPCC-rapport uit 2007 over de regionale gevolgen van klimaatverandering enkele alarmerende uitspraken bevat die niet goed hard te maken zijn.

De Nederlandse coördinatiegroep IPCC, die is samengesteld uit vertegenwoordigers van de departementen, is actief betrokken bij het proces het IPCC verder te verbeteren. Het PBL en KNMI nemen namens de coördinatiegroep deel aan internationale werkgroepen die de aanbevelingen van de eerder genoemde InterAcademy Council verder uitwerken. Die zijn onder andere gericht op:

- meer openheid van het IPCC-bestuur en -communicatie,
- een transparanter selectie van auteurs,
- het duidelijker laten zien dat alle visies worden meegenomen onder andere door de belangrijkste ‘sceptische’ theorieën te behandelen in een ‘Questions and Answer’ format
- een betere behandeling van onzekerheden en
- een goede procedure om fouten te herstellen.

De inzet is dat deze verbeteringen nog in de huidige Vijfde Assessment periode worden ingevoerd. De nieuwe serie IPCC assessment rapporten verschijnt in 2013 en 2014.

Nabeschouwing

Selectief winkelen

Kenmerkend voor Croks aanpak is om de ondergrenzen van belangrijke factoren, die het IPCC met flinke onzekerheidsmarges weergeeft, er uit te lichten en benedenwaarts bij te stellen. Zo komt hij op een lage klimaatgevoeligheid en weinig koelende werking van aërosolen. Hij ziet deze lage waarden vervolgens als ‘correct’ en negeert het brede spectrum van de hogere waarden, of betitelt ze als ‘alarmistisch’. Het is een vorm van selectief winkelen, waarmee hij een beeld schept van een heel geringe temperatuurstijging door invloed van de broeikasgassen. Crok negeert de signalen die een andere kant opwijzen. Het IPCC, hoewel zeker niet onfeilbaar, geeft het spectrum evenwichtiger weer dan Crok. Daarnaast heeft hij in een aantal gevallen de wetenschappelijke literatuur naar onze mening onjuist of onvolledig geïnterpreteerd. We geven hier voorbeelden van in onze uitgebreide reactie:

- Arctische Oscillatie (AO) of de Northern Annular Mode (NAM)
- KNMI station De Bilt
- Verschil tussen satelliet- en oppervlaktemetingen
- No-feedback case
- Regionale effecten van aërosolen
- Afsmelten van Groenland
- Serieuze sceptici

In het begin van hoofdstuk 4 wordt een definitie gegeven van een ‘serieuze scepticus’ namelijk ‘...*vooral diegenen die publiceren in wetenschappelijke literatuur*’. Dit verplaatst de discussie naar de vraag wat precies ‘wetenschappelijke literatuur’ is. Los daarvan is het een definitie die een duidelijke eis stelt aan het werk van sceptici, die wij alleen maar kunnen ondersteunen.

Maar dan is het wel opmerkelijk dat het boek vervolgens zwaar leunt op publicaties en blogs van het Internet, die nauwelijks of in het geheel niet zijn gepubliceerd in de wetenschappelijke literatuur. Crok lijkt daardoor veel van zijn kritiek op de klimaatwetenschap te baseren op sceptici die volgens zijn eigen definitie niet ‘serieus’ genomen kunnen worden.

Tot slot – ‘tegedenken’

Ondanks al onze kritiek op Crok’s boek menen wij dat hij zich niet opstelt als de stereotype klimaatscepticus die ontkent dat de aarde opwarmt en dat het IPCC een boevenbende is. Hij zoekt naar zwaktes in de wetenschappelijke onderbouwing en naar zwaktes in het proces van het IPCC. Hij probeert met wetenschappelijke en zakelijke argumenten de gangbare opvattingen te ondergraven door ‘tegedenken’.

Crok winkelt daartoe selectief en slaat daarbij volgens ons de plank vaak mis. Maar hij signaleert ook zwakke plekken – zoals onvolkomenheden in de rapportage over de temperatuurmetingen en een verschil tussen modellen en waarnemingen over de ‘hotspots’.

Daarnaast delen wij tot op zekere hoogte zijn kritiek op het IPCC-proces. Ook onder de beste wetenschappers kunnen tunnelvisies en ‘group think’ voorkomen, en dan zijn buitenstaanders nodig om stevig aan hun conclusies te rammelen. Verder moet het proces, waarlangs de wetenschappelijke bevindingen tot stand komen, kritisch worden bekeken, niet alleen door wetenschappers zelf. Zeker als het over klimaat gaat, want het klimaatbeleid baseert zijn legitimatie op de wetenschap en de gevolgen van klimaatbeleid raken uiteindelijk iedere burger.

Daarmee is het klimaatdebat niet langer het exclusieve domein van de wetenschappelijke tijdschriften, maar ook van het publiek en van wetenschapsjournalisten.

1. Het stadseffect

De kritiek luidt dat temperatuurmetingen worden vertekend doordat steden warmer zijn dan het platte land. Daardoor zou een groot deel van de wereldwijde opwarming toe te schrijven zijn aan verstedelijking en niet aan het broeikaseffect. Het zou dus om warmte gaan die in het stedelijk gebied zelf gegenereerd is en niet om het broeikaseffect maar om het zogeheten stadseffect. Dit effect heeft inderdaad invloed op de temperatuur in stedelijke gebieden, maar op basis van de meeste analyses blijkt dat deze invloed op mondiale schaal zeer gering is.

Alleen op pagina 70 van het boek van Marcel Crok staat dat '...de opwarming op land sinds 1980 waarschijnlijk met 50 procent onderschat wordt'. Uit deze zin blijkt dat die 50 procent betrekking heeft op de opwarming van het land. Dit maakt veel uit. Aangezien eenderde deel van het aardoppervlak bestaat uit land, blijft van de eerder genoemde 50% nog 17% over die toe te schrijven zou zijn aan verkeerde metingen doordat steden steeds meer warmte genereren.

Het IPCC concludeerde in 2007 (IPCC, 2007, section 3.2) dat het stadseffect hooguit 0,06 graden Celsius bedraagt sinds 1900. Voor het gehele aardoppervlak is de bijdrage dus maximaal 0,02 graden Celsius, ofwel 3% van de totale mondiale opwarming (ongeveer 0,74 graden over de periode 1906-2005).

Uiteraard zou 17% nog altijd veel meer zijn dan de genoemde 3% van het IPCC. Crok baseert die 17% op schattingen uit twee KNMI-studies van Jos de Laat (De Laat, 2004, 2006) en twee studies van McKittrick (2004, 2007). Deze studies laten zien dat de opwarming in geïndustrialiseerde gebieden groter is dan daarbuiten. Volgens De Laat zijn modellen niet in staat om de grotere opwarming in deze gebieden te reproduceren. McKittrick concludeert dat deze opwarming voor een groot deel (50%) veroorzaakt zou kunnen zijn door de warmte die in deze gebieden zelf wordt gegenereerd en dus niet door het broeikaseffect.

De twee studies uit 2004 worden genoemd op pagina 244 van het laatste IPCC-rapport. De conclusie van het IPCC dat de studies 'niet statistisch significant' zouden zijn, is niet goed onderbouwd. Wel stelt één van de Lead Authors van het betreffende hoofdstuk dat de artikelen van McKittrick en De Laat grondig zijn besproken. In eerste instantie werd besloten ze niet mee te nemen, omdat dit destijds de eerste publicaties waren, die een mogelijk statistisch verband aantoonde tussen een deel van de opwarming en industrialisatie. Voor het maken van een assessment is dit een probleem, omdat inzichten in de wetenschap pas ontstaan nadat een thema op velerlei wijzen is belicht.

Ten tijde van het schrijven van het IPCC-rapport was bekend dat veranderingen van stromingspatronen in de atmosfeer op het noordelijk halfrond een deel van de sterkere opwarming van industriële gebieden zouden kunnen verklaren. Het argument waar het hier om gaat betreft de zogenaamde Arctische Oscillatie (AO) of de Northern Annular Mode (NAM). Crok meldt hierover op pagina 72:

'Het antwoord [red: van IPCC] is ironisch omdat elders in het IPCC-rapport, waar het IPCC de oorzaken van klimaatverandering bespreekt, de Arctische oscillatie niet eens opgevoerd wordt als verklaring voor opwarming in het Arctische gebied zelf. Nu zou dezelfde natuurlijke oscillatie opeens patronen van opwarming op land tot aan Zuid-Amerika en Afrika verklaren? Ronduit belachelijk, aldus McKittrick.'

Deze stelling klopt niet want in hoofdstuk 3.6.4 op pagina 290 van het laatste IPCC-rapport (IPCC, 2007) wordt het patroon van het effect van de North Atlantic Oscillation (NAO, die nauw verwant is aan de NAM, zie box 3.4 op pagina 287) op de oppervlaktetemperaturen van het Noordelijk Halfrond aangegeven (figuur 3.30, rechtsboven). De Arctische oscillatie wordt opgevoerd als argument voor de opwarming in het Arctische gebied. In hoofdstuk 9.5.5.1 op pagina 716 wordt vermeld dat de NAM er voor zorgt dat het ijs uit het Arctische gebied wegstroomt. Hierdoor ontstaat er meer open water en warmt het gebied sterker op (de zogenaamde ijsreflectie terugkoppeling).

Het argument van de Arctische Oscillatie is aangevoerd als reden waarom de bevindingen van McKittrick en De Laat niet een overtuigend bewijs zijn voor de rol van industrialisatie in de opwarming van vooral het noordelijk halfrond. Een gepubliceerd commentaar op deze artikelen (Schmidt, 2009) concludeerde bovendien dat de gevonden correlaties tussen temperatuur en industriële activiteit niet uitstijgen boven dat wat verwacht kan worden op basis van natuurlijke variatie. Men kan dus niet stellen dat een groot deel van de gemeten opwarming door verstedelijking komt.

Tevens kunnen de studies van De Laat en McKittrick geïnterpreteerd worden als bevestiging van de hypothese dat de afname van koelende aërosolen boven geïndustrialiseerde gebieden kan leiden tot extra opwarming en dat het dus niet door ‘verstedelijking’ hoeft te komen. Dit is recent bevestigd in een KNMI-studie van Van Oldenborgh (2009), waarin een belangrijke rol wordt toegekend aan de afname van aërosolen in de geconstateerde snelle opwarming van West-Europa, vooral in de periode 1985-2007. Desgevraagd heeft De Laat ook aangegeven dat zijn studies niet uitsluitend als bevestiging van het stadseffect kunnen worden gezien. Voor het laatste IPCC-rapport is een breed scala aan referenties (13 stuks in de hoofdstukken 1 en 3) gebruikt over het stadseffect. De referenties gaan ver terug in de tijd. Het IPCC baseert zich ondermeer op Jones (1990), Parker (2004 en 2006) en Peterson (2003) om aan te tonen dat verstedelijking weinig invloed heeft op de metingen. Na Jones en Parker te hebben weggezet als zwak bewijs voor het niet bestaan van het stadseffect concludeert Crok dat alleen nog de studie Thomas van Peterson (2003) overblijft ‘waar het IPCC in deze kwestie op leunt’.

1.1 Voorbeelden IPCC-rapport

Het IPCC-rapport is bovendien ook kritisch over het stadseffect en beschrijft het dat er verschillende plaatsen en gebieden zijn op aarde die beïnvloed worden door stedelijke ontwikkeling, maar dat de invloed op mondiale schaal zeer gering is. Hieronder volgen enkele voorbeelden:

Hoofdstuk 2.5.7 op pagina 185: *‘Although Human Energy Production is a small influence at the global scale, it may be very important for climate changes in cities (Betts and Best, 2004; Crutzen, 2004).’*

Hoofdstuk 3.2.2.2 op pagina 244: *‘Over the conterminous United States, after adjustment for time-of-observation bias and other changes, rural station trends were almost indistinguishable from series including urban sites (Peterson, 2003; and Figure 3.3 from Peterson and Owen, 2005), and similar considerations apply to China from 1951–2001 (Li et al., 2004).’*

Ook op pagina 245 worden studies aangehaald die een stadseffect constateerden en die ook andere vormen van landgebruik relateren aan temperatuur:

'Nevertheless, changes in land use can be important for DTR (Diurnal Temp Range) at the local-to-regional scale. For instance, land degradation in northern Mexico resulted in an increase in DTR relative to locations across the border in the United States (Balling et al., 1998), and agriculture affects temperatures in the United States (Bonan, 2001; Christy et al., 2006).'

Ten slotte wordt in hoofdstuk 7.2 uitgebreid ingegaan op de interactie tussen landgebruik en het klimaat, waarover bijvoorbeeld wordt gezegd dat: *'Changes in vegetation cover affect surface energy and water balances at the regional scale, from boreal to tropical forests. Models indicate increased boreal forest reduces the effects of snow albedo and causes regional warming.'*

2. De kwaliteit van temperatuurmetingen

De kwaliteit van de Global Historic Climate Network (GHCN) database is onderwerp van discussie. Deze database is een belangrijke bron (en overigens niet de bron zoals Crok suggereert) voor de berekening van de belangrijkste mondiale temperatuurreksen, die een weegave zijn van de veranderingen in de mondiale temperatuur. Hieronder volgt een overzicht van de argumenten die aangevoerd worden om de temperatuurreksen ter discussie te stellen, en een reactie hierop.

2.1 Positionering van meetstations

Er is kritiek op de positionering van meetstations. Deze positionering is zeker voor verbetering vatbaar. Hierdoor worden er mogelijk meetfouten gemaakt op lokaal of zelfs regionaal niveau, maar dit leidt niet tot een vertekening van de mondiale temperatuurtrends.

In de VS is vaak niet goed vastgelegd of een station is verplaatst in de loop van de tijd en of de omgeving is veranderd (b.v. door verstedelijking). Dit wordt gezien als een bron van continue zorg door onderzoekers die hier mee bezig zijn. Het is belangrijk dat deze gegevens zo spoedig mogelijk worden opgenomen in de GHCN database.

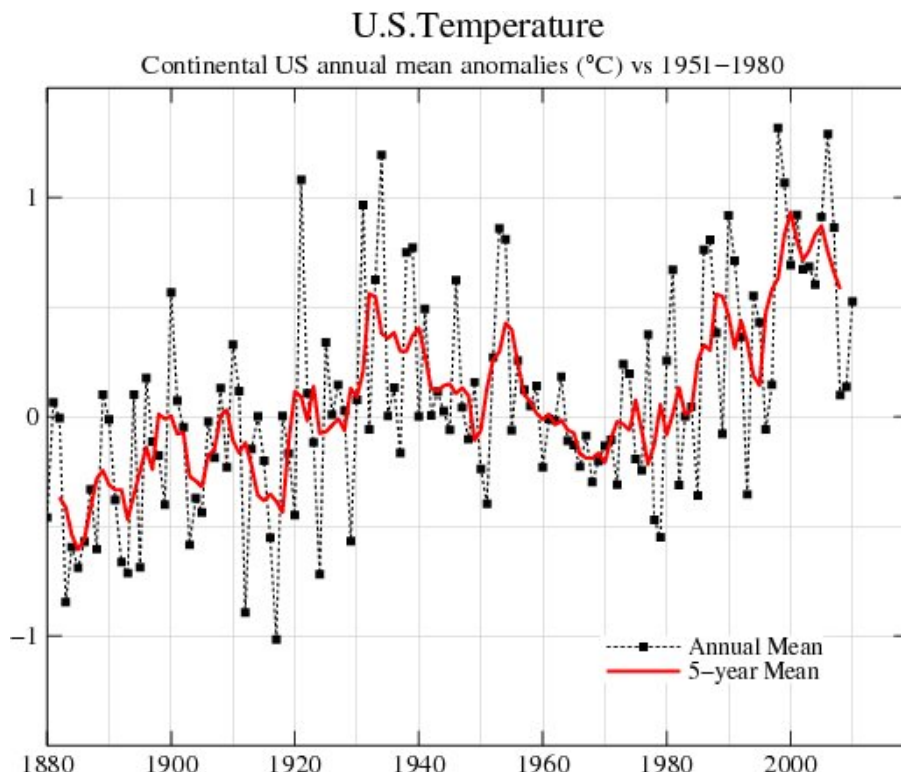
In een recente studie ‘The independent Climate Change E-mails Review’ (Murell, 2010) wordt hier ook wederom de aandacht op gevestigd: *‘It would benefit the global climate research community if a standardised way of defining station metadata and station data could be agreed, preferably through a standards body, or perhaps the WMO. We understand that this is not straightforward and could be a lengthy process, but the process should start now.’*

Het is niet zo dat veranderingen in de situering van meetstations vrijwel altijd tot opwarming leiden en niet tot afkoeling (zie ook Crok p.46). Er zijn vele studies verricht naar de manier waarop individuele stations worden verwerkt in de mondiale temperatuurreksen. Zo is bijvoorbeeld aangetoond dat als alleen de 20% beste stations in de VS worden gebruikt om een temperatuurtrend af te leiden, dit exact dezelfde opwarming oplevert als wanneer alle, ook mogelijk onjuist geplaatste stations worden betrokken (Menne et al., 2010).

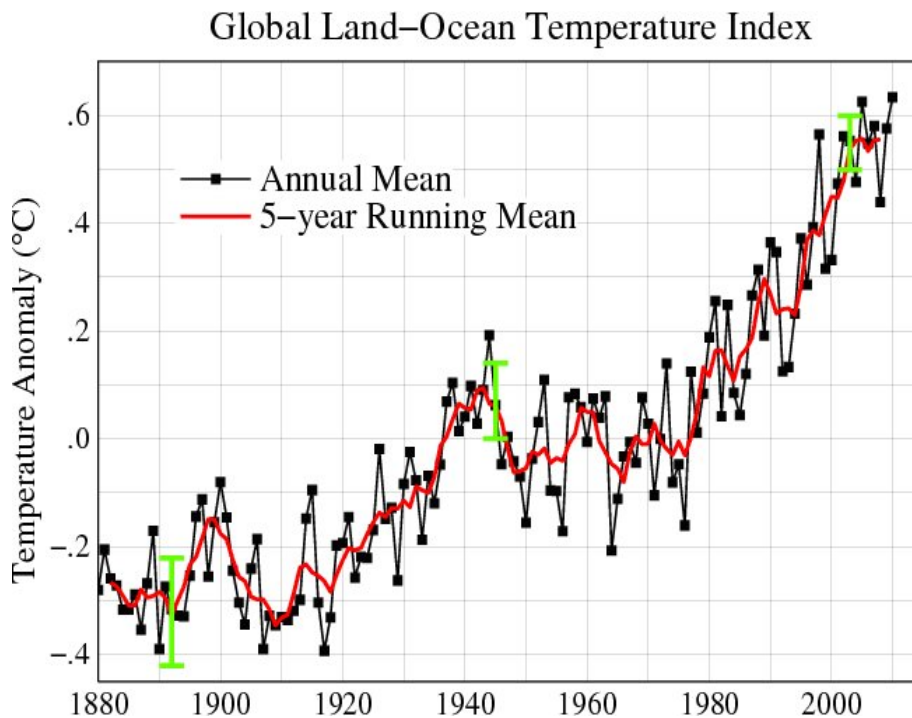
Hansen et al. (2010) laten zien dat de mondiale temperatuurtrends nauwelijks verschillen toont als je het aantal stations vermindert van het maximum aantal, zoals dit in 1969 aanwezig was, naar het aantal stations in 2009. Dit is ook in lijn met de statistische analyses van [Vinnikov et al.]. Ook is de trend in de opwarming volgens Hansen bijna hetzelfde als alleen dunbevolkte gebieden in aanmerking worden genomen, of als alleen metingen op “donkere” plaatsen worden meegenomen. Dit toont aan dat verstedelijking volgens deze studie geen noemenswaardig effect heeft gehad op de toename in de mondiaal gemiddelde temperatuur.

Door in te gaan op de situatie in de Bilt wil Crok laten zien dat door het ontbreken van aanvullende gegevens over de metingen, de zogenaamde metadata, de verwerking fout gaat. Hiermee wordt een verkeerd beeld gegeven van de toegepaste correcties en van de manier waarop individuele stationdata doorwerken in de mondiale temperatuurreksen. Ondanks alle kritiek stelt Crok vervolgens wel dat het Amerikaanse netwerk waarschijnlijk het beste is in de wereld, en schrijft dan dat het daarom des te opmerkelijker is dat juist voor de VS geldt dat de jaren 30 ‘ongeveer even warm waren als nu’ (pagina 47). Hiermee suggereert hij dus dat hoe beter je meet, hoe minder er van het klimaatveranderingssignaal over blijft. Dit is een nogal twijfelachtige conclusie: weliswaar was er een reeks warme jaren

in de VS in de jaren 30, maar dit staat in geen verhouding tot de aanhoudende reeks van (zeer) warme jaren aan het eind van de reeks:



De opwarming in de VS volgt het patroon van opwarming op mondiaal niveau. Het enige verschil is dat de variabiliteit tussen jaren veel groter is (en dat is altijd zo als je inzoomt op een kleiner gebied) én dat de opwarming in de VS sterker was over de periode 1900-2010 dan mondiaal gemiddeld:



Ook dat is wat je verwacht aangezien de opwarming op hogere breedtegraden over het algemeen groter is dan de gebieden rond de evenaar.

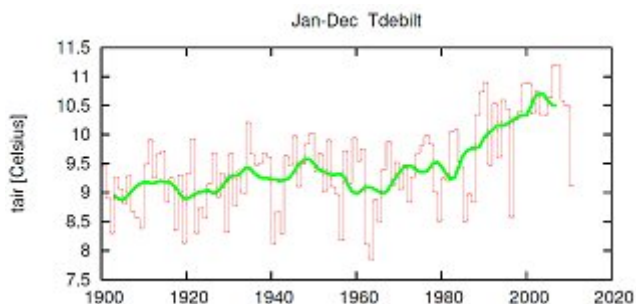
(Bron van de figuren: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>)

2.2: Individuele weerstations en de mondiale temperatuur

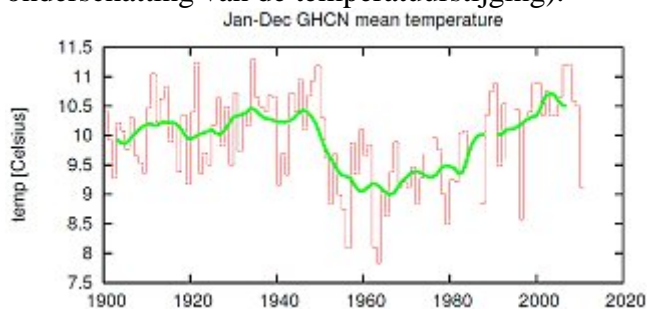
Op pagina 53 stelt Crok dat: “Om te zien hoe fout het kan gaan zonder de juiste metadata, hoeven we alleen maar naar het KNMI-station in De Bilt te kijken. Zoals gezegd heeft het KNMI er alles aan gedaan om te corrigeren voor verplaatsingen en andere trendbreuken. GHCN gebruikt voor de ‘ruwe’ databank echter de ongecorrigeerde metingen voor De Bilt met een trendbreuk van 1 graad in 1950 (het werd 1 graad ‘kouder’ door een verplaatsing en een verandering van weerhut). GISS gebruikt vervolgens deze ruwe metingen en laat daar een computerprogramma op los dat de metingen moet ‘homogeniseren’. Dat mislukt volledig, want het eindresultaat lijkt in niets op dat van het KNMI zelf.”

De neerwaartse sprong bij de Bilt betreft alleen de zomermaanden, die grotendeels wegvallen in de jaargemiddelden. Maar belangrijker is dat deze passage tevens een verkeerd beeld geeft van de manier waarop correcties en individuele stationdata doorwerken in de mondiale temperatuurreksen. De onderstaande figuren illustreren het correctief vermogen van de reconstructie van mondiale temperatuurreksen en tonen aan dat de stelling dat de reconstructie ‘dus volledig is mislukt’ onjuist is.

De juiste metingen in de Bilt van de jaarlijkse gemiddelde temperatuur. De groene lijn is het 10-jarig lopend gemiddelde.

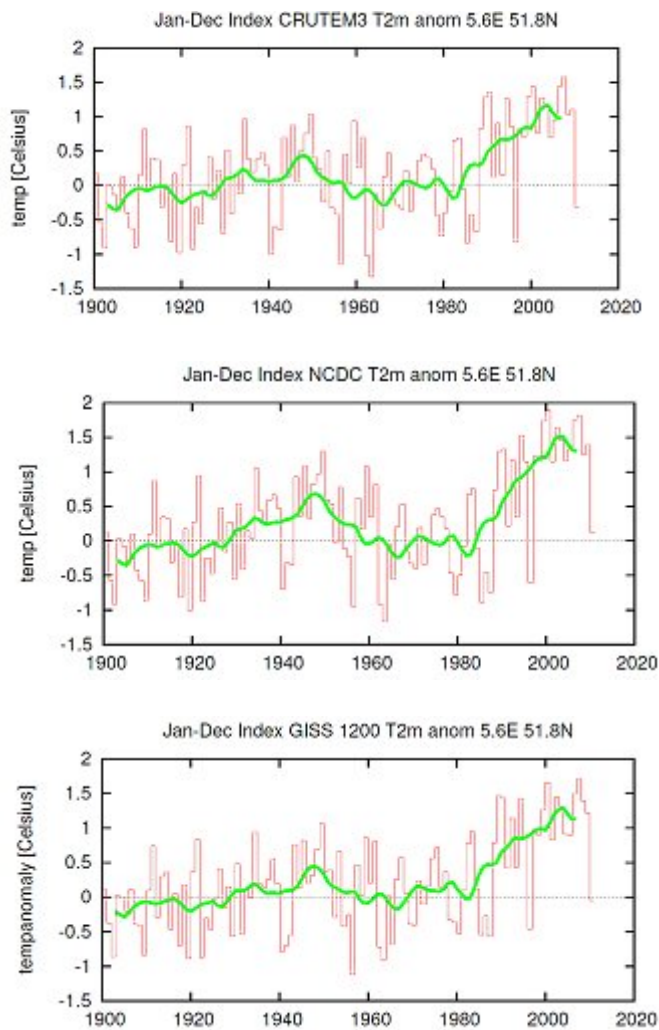


Figuur b toont de onbewerkte GHCN data. Deze laat zien dat de data inderdaad een foutieve sprong vertoont (die overigens omlaag is waardoor de fout alleen kan leiden tot een onderschatting van de temperatuurstijging).

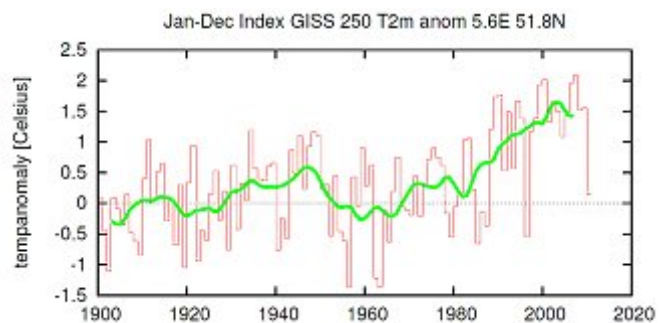


De sprong is in de uiteindelijke mondiale reksen (respectievelijk CRU, NCDC en GISS)

verdwenen. Dit komt doordat in de verwerking over een lengteschaal van 1200 km wordt gemiddeld.

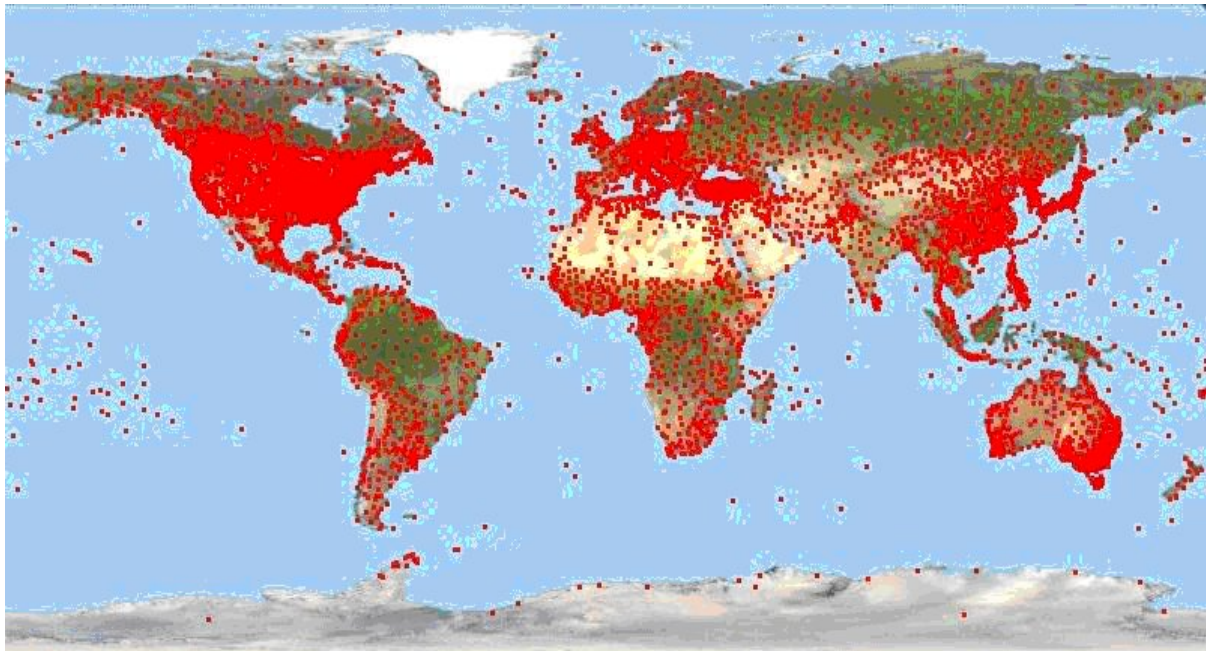


Zelfs bij een lengteschaal van 250 km valt de sprong weg



2.3 Afname aantal meetstations

Het aantal meetstations dat gegevens aanlevert aan het Global Historic Climate Network is verminderd van 6000 in de jaren 70 tot ongeveer 1200 nu.



Alle weerstations zoals die in januari 2010 voorkwamen in de GHCN-database.

Deze afname van het aantal stations, met name vanaf de jaren '90, komt voor een deel doordat de data van het Global Historic Climate Network vanaf het begin van de jaren '90 op een andere manier is samengesteld. Het gedeelte van de database van vóór 1990 bestaat uit reeksen die op basis van allerlei bronnen zijn samengesteld. Vanaf begin jaren 90 werd de database maandelijks bijgewerkt met gegevens van een kleiner aantal stations. In 2006 waren er ruim 1500 stations beschikbaar. In die periode zijn er vooral stations weggevallen in voormalige Sovjetrepublieken die in 1991 onafhankelijk werden. Ook in China, Canada en Australië kwamen in de loop der tijd minder stations beschikbaar. Dit kwam door commercialisering van weerdiensten, budgettaire redenen en het wegvallen van contacten. In deze gebieden zijn genoeg stations overgebleven om een goede schatting van de temperatuur te maken.

Zo hebben verschillende studies aangetoond dat er in theorie voor het bepalen van een gemiddelde mondiale jaartemperatuur minimaal ongeveer 45 goed geplaatste weerstations nodig zijn. Om onderscheid te kunnen maken tussen het Noordelijk Halfrond en het Zuidelijk halfrond dan zijn er minimaal 65 weerstations nodig. Dat aantal loopt op tot 106 om ook de afzonderlijke maanden binnen een jaar te kunnen onderscheiden (Wang, 1999; Jones, 1997; Shen, 1994). Ook recente discussies op internet bevestigen deze schattingen (zie bijvoorbeeld Moyhu¹ en ScepticalScience²).

In de praktijk zijn er meer stations nodig aangezien niet alle stations van even goede kwaliteit zijn en er gecorrigeerd moet worden op basis van gegevens van nabijgelegen weerstations.

Het lage theoretische minimum hangt samen met de afmetingen van de druksystemen en daarmee de aanvoerrichtingen van lucht over grote gebieden. Uit genoemde studies blijkt dat de jaargemiddelde temperatuursverandering ten opzichte van het gemiddelde, bepaald uit metingen van één station, representatief is voor een gebied ter grootte van een cirkel met een

¹ <http://moyhu.blogspot.com/2010/05/just-60-stations.html>

² <http://www.skepticalscience.com/surface-temperature-measurements-advanced.htm>

straal van rond de 600 km. Vandaar dat bij de verwerking van de ruwe reeksen een lengteschaal van 1200 km wordt gehanteerd.

Het bovenstaande toont aan dat het aantal van 1200 stations op land ruim voldoende is om een goed beeld te geven van de ontwikkeling van de mondiale landtemperatuur (zie ook Crok p.52).

2.4 Meetstations in Afrika en Zuid-Amerika

In Afrika en Zuid-Amerika zou op basis van GHCN niet kunnen worden geconcludeerd dat het sinds de jaren 30 is opgewarmd. Dit zou blijken uit een analyse gepubliceerd op internet die is gebaseerd op tien stations in Afrika en zeven in Zuid Amerika. Maar als je een uitspraak wilt doen over een temperatuurtrend op deze continenten dan moet je combinaties van veel meer stations gebruiken. Dit kan ook omdat er gegevens beschikbaar zijn van honderden stations in zowel Afrika als Zuid Amerika.

Uit een analyse van Steven McIntyre op zijn website 'Climate Audit' (Waldo in Africa³ en Waldo South America⁴, zie ook Crok p.48) zou blijken dat op beide continenten rurale stations sinds de jaren dertig geen opwarmende trend laten zien. McIntyre selecteerde de ruwe data (de unadjusted database versie 2) van meetstations op het platteland (dat wil zeggen met de code "rural"), die in elk geval data hebben in de periode vanaf 1930 tot 1990. Er blijven dan slechts tien plattelandstations over in Afrika en zeven in Zuid-Amerika. Als de patronen van deze stations bekeken worden, is geen duidelijke trend te zien, die vergelijkbaar is met het patroon van opwarming zoals dit is gerapporteerd door het IPCC (zie figuur SPM.4).

De constatering dat deze stations 'geen opwarmende trend laat zien' heeft geen enkele waarde en wel om de volgende redenen. Wat betreft Afrika, zou het in theorie nog wel mogelijk zijn om op basis van een tiental stations een uitspraak te doen over de temperatuurtrend, maar dan moeten deze stations wel optimaal zijn verdeeld over het continent en van hoge kwaliteit zijn. De tien gekozen stations voldoen hier niet aan: twee bevinden zich op een eiland, twee in noord-west Algerije, één in Egypte, één op de grens van Sudan en Egypte, één in Mozambique, één in Zuid-Afrika en één in Zambia. Dus alleen Noordelijk en Zuidelijk Afrika zouden daarmee redelijk afgedekt kunnen zijn, ware het niet dat de meetstations bovendien behoorlijke gaten bevatten. Ook de stations in Zuid-Amerika zijn ongeschikt: drie bevinden zich op een eiland, twee in Argentinië, één op zuidpunt van het continent en één in Brazilië.

Met andere woorden: als je een uitspraak wilt doen over een temperatuurtrend in deze continenten dan moet je combinaties van veel meer stations gebruiken, zeker omdat de meeste stations geen doorlopende meetreeksen ter beschikking hebben gesteld. En dat kan ook, want de GHCN database bevat voor Afrika ruim 650 stations en voor Zuid Amerika ruim 350. Vervolgens kun je je natuurlijk afvragen of de data van deze stations op een correcte wijze zijn gecorrigeerd, gecombineerd en geïnterpreteerd door de verschillende instituten die temperatuurtrends hebben berekend, maar een antwoord op die vraag krijg je niet door te kijken naar de ruwe data van minder dan 10 stations voor beide continenten.

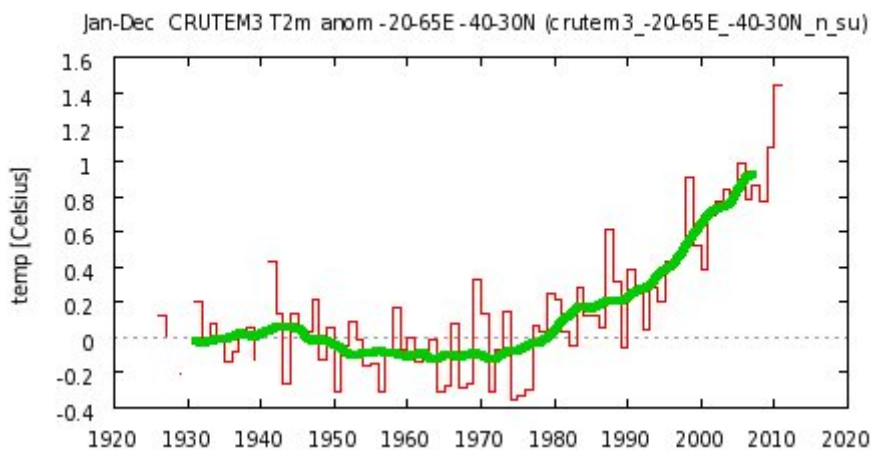
Wel is het zo dat de temperatuurstijging van bijna 1 graad in Afrika zoals getoond in figuur SPM.4 in de samenvatting voor beleidsmakers van het laatste IPCC-rapport niet is af te leiden

³ <http://climateaudit.org/2007/08/28/adjusting-in-africa/>

⁴ <http://climateaudit.org/2007/08/29/waldo-south-america/>

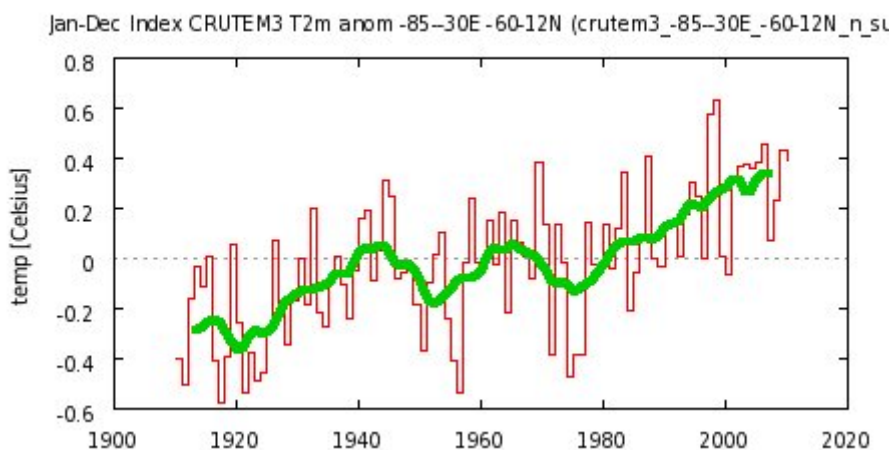
uit de onderliggende informatie. Figuur SPM.4 komt uit FAQ 9.2 op pagina 703. In het bijschrift wordt voor de afleiding verwezen naar ‘Supplementary Material, Appendix 9.C’. In deze appendix kom je uit op figuur S9.1 op pagina 10 waarin de observaties voor Afrika wederom gegeven zijn. De trend die daaruit is te halen is beduidend lager dan weergegeven in figuur SPM.4. Navraag bij de IPCC auteur die de figuur heeft gemaakt leverde op dat de figuur wel een juiste weergave is van de trend in Afrika (op basis van CRU-data), maar dat de onderbouwing zoals beschreven in het IPCC-rapport niet klopt.

Met de ‘Climate Explorer’ van het KNMI is het voor iedereen mogelijk de temperatuurreksen voor een willekeurig gebied op aarde samen te stellen op basis van de databases van CRU, NCDC en NASA. Voor Afrika levert dit volgens de laatste versie van de CRU-data (CRUTEM3) het volgende beeld op:



Dit beeld bevestigt de opwarming van ongeveer 1 graad sinds 1930 in Afrika (of eigenlijk het vaste land binnen het gebied van 20 graden westerlengte tot 65 graden oosterlengte en van 40 graden zuiderbreedte tot 30 graden noorderbreedte), waarbij het overigens opmerkelijk is hoe warm de afgelopen 2 jaar waren.

En ook voor Zuid-Amerika laat CRUTEM3 een opwarming zien die overeenkomt met de gerapporteerde opwarming in het laatste IPCC-rapport (IPCC, 2007):

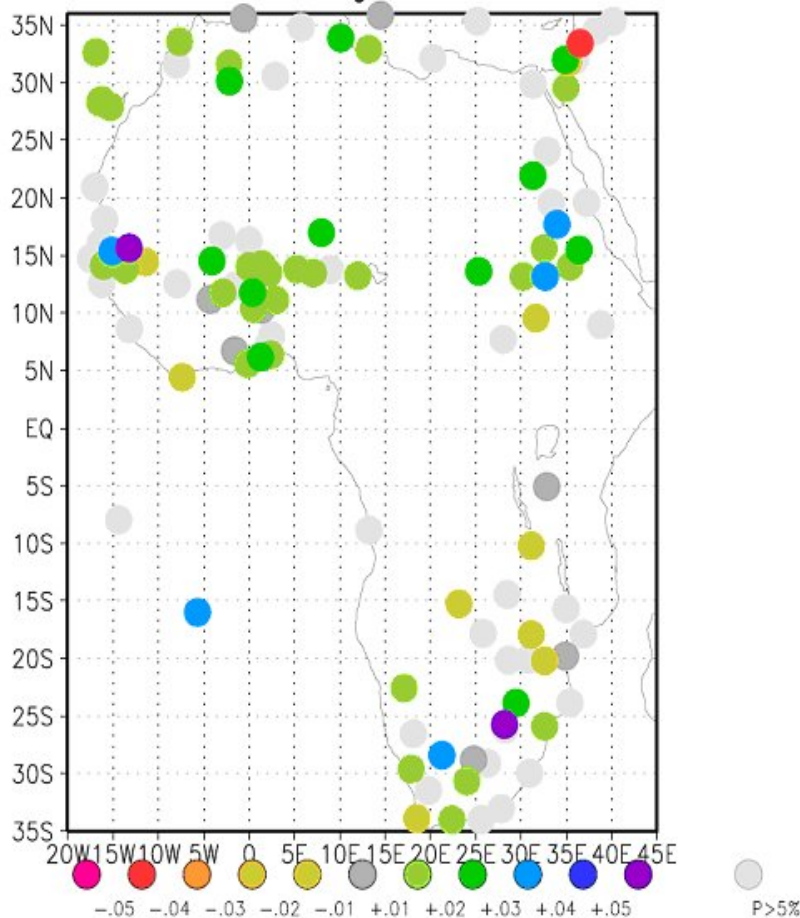


Box 1: Combinaties van meer meetstations

Het is mogelijk om een uitspraak te doen over een temperatuurtrend in Afrika of Zuid-Amerika door combinaties van veel meer stations te gebruiken dan degenen die zijn meegenomen in de genoemde analyse van McIntyre.

Als met behulp van de Climate Explore van het KNMI voor Afrika bijvoorbeeld de eis wordt gesteld dat een meetstation voor ten minste 50 volledige jaren data moet bevatten in de periode 1930-2010 dan blijkt dat er 109 overblijven. Als vervolgens wordt gekeken naar de temperatuurtrend in de ruwe data dan komt daar het beeld naar voren zoals weergegeven in onderstaande kaart. De lichtgrijze bolletjes komen overeen met stations waarbij de gemeten trend niet significant is. In die gevallen is de gemeten trend waarschijnlijk veroorzaakt (meer dan 95% kans) door een toevallige natuurlijke fluctuatie. Bij de donkergrijze bolletjes was de trend 0 (dus geen klimaatverandering). De geleurde bolletjes geven aan dat er met meer dan 95% kans, sprake was van opwarming of afkoeling. De kleur van de bolletjes geeft aan wat de trend is (in graden Celsius per jaar) in de betreffende reeks over de periode 1930-2010. Het blijkt dat bijna alle stations een positieve trend laten zien tussen 0,01 en 0,05 graden Celsius per jaar (kleuren groen, blauw, paars). Dit laat zien dat het heel makkelijk is een groot aantal stations te vinden met een behoorlijke hoeveelheid data (namelijk 50 volledige jaren in de periode 1930-2010) die een opwarmende trend laten zien.

regr Jan-Dec averaged station monthly temperature_all
with Jan-Dec averaged time 1930-2010



2.5 Gegevens in temperatuurreksen

Een volgend kritiekpunt is dat de belangrijkste temperatuurreksen (van CRU, NASA en NOAA) zijn gebaseerd op dezelfde gegevens.

Op pagina 50 schrijft Crok het volgende: *“Mijn indruk is dat de meeste klimaatonderzoekers die deze reeksen gebruiken voor hun eigen onderzoek, de grafieken vertrouwen omdat drie onafhankelijke groepen tot hetzelfde eindresultaat zijn gekomen.[...] Inmiddels is echter duidelijk geworden dat de drie analyses niet onafhankelijk zijn. Alle drie halen ze het overgrote deel van hun gegevens uit [...] GHCN.”*

Hierbij verwijst Crok naar een tekst op een website waaruit zou blijken dat de betrokken onderzoekers de onafhankelijkheid te pas en te onpas benadrukken, maar het opgegeven adres blijkt niet te bestaan. Verder is het correct dat de belangrijkste datareeksen (van CRU, NASA en NOAA) voor een belangrijk deel zijn gebaseerd op dezelfde database, hoewel daarnaast ook gebruik wordt gemaakt van het uitgebreide netwerk van de VS, de USHCN, data van de Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR), verschillende regionale compilaties, papieren archieven, en andere bronnen (Arndt, 2010, tabel 2.2). Maar die afhankelijkheid wordt ook helemaal niet ontkend. In de samenvatting van hoofdstuk 3 van het laatste IPCC-rapport (IPCC, 2007) staat bijvoorbeeld (op pagina 237):

*“Global mean temperatures averaged over land and ocean surfaces, from three different estimates, each of which has been independently **adjusted** for various homogeneity issues, are consistent within uncertainty estimates over the period 1901 to 2005 and show similar rates of increase in recent decades.”*

En ook ‘State of the Climate 2009’ (Arndt, 2010), wordt uitgebreid ingegaan op de onafhankelijkheidskwestie. Zo staat op pagina S26:

*“The **methods** used to derive the principal estimates of global surface temperature trend are largely independent (Table 2.2).”*

De enige bewering die dus wordt gedaan is dat de verwerkingsmethoden die worden toegepast op GHCN, zoals de gebruikte interpolatietechnieken en andere methodes om de meetreeksen van de stations te homogeniseren, verschillend zijn en grotendeels onafhankelijk van elkaar. Er wordt dus nergens beweerd dat de onderliggende data van de drie reeksen onafhankelijk zou zijn.

Tevens zijn er verschillende onafhankelijke analyses⁵ gedaan om te checken of de berekening van de temperatuurtrends door de toonaangevende instituten kan worden gereproduceerd. Steeds weer blijkt dat het geval te zijn.

2.6 Oppervlaktemetingen

Het verschil tussen de satellietmetingen en de oppervlaktemetingen zouden het beeld bevestigen dat aan het oppervlak te hoge temperaturen worden gemeten.

Op pagina van het boek van Crok 54 staat:

⁵ Zie <http://www.skepticalscience.com/surface-temperature-measurements-advanced.htm>

“Als er een ‘afwijking’ zit in de oppervlaktemetingen, dan zouden satelliet- en oppervlaktemetingen in de loop der tijd toch uit elkaar moeten gaan lopen? [...] inderdaad blijkt dit het geval te zijn. Boven land loopt het verschil tussen de temperatuurmetingen en de satellietmetingen op tot 0,5 graad in de afgelopen dertig jaar. Terwijl klimaatonderzoekers het omgekeerde verwachten.”

Met de opmerking dat klimaatonderzoekers het omgekeerde verwachten wordt hier bedoeld dat de opwarming in de onderste 8 kilometer van de atmosfeer (zoals deze indirect wordt gemeten door satellieten) volgens de theorie ongeveer 1,2 keer sneller zou moeten gaan dan de opwarming aan het oppervlak. Crok baseert bovenstaande conclusie op één enkele studie van Klotzbach et al (2009) in *Geophysical Research Letters*. Bovendien is het een selectieve samenvatting van het betreffende artikel. De conclusie van Crok is gebaseerd op het verschil in de oppervlaktetemperatuurtrend volgens NCDC (of NOAA) en de lage troposfeertrend (zoals gemeten door satellieten) van UAH (Univerisity of Huntsville). Dit verschil is weergegeven in tabel 2 van de studie van Klotzbach. Het gaat om 0,15 graad per 10 jaar ofwel 0,45 graad in dertig jaar. Dit is naar boven afgerond 0,5 graad. Maar het verschil tussen de reeks van CRU en UAH is slechts 0,06 graad per 10 jaar (of 0,18 in 30 jaar). Ook het laatste IPCC-rapport (IPCC, 2007) schets een ander beeld en geeft een weergave van een uitgebreide discussie over de overeenkomst tussen satellietdata en andere temperatuurgegevens, inclusief de problemen en onzekerheidsmarges. (Zie hoofdstuk 3.4 en de figuren 3.16, 3.17 en 3.18).

Dit deel van het vakgebied is snel in ontwikkeling. Er zijn nieuwe data sets (GPS data) bijgekomen en individuele bronnen van onzekerheid zijn beter gekwantificeerd. Ten tijde van het schrijven van het laatste IPCC-rapport was dit allemaal niet bekend. In het komende IPCC-rapport wordt de literatuur hierover opnieuw samengevat. Verschillende groepen wetenschappers werken nauw samen om de problemen op te lossen (zie ook Crok p.56).

2.7 Temperatuurstijging boven zee

Bijna 23 pagina's van hoofdstuk 2 (bestaande uit 40 pagina's) gaan over de mogelijke meetfouten boven land, terwijl het land maar een derde deel van het aardoppervlak betreft. Vervolgens wordt in minder dan 3 pagina's en op basis van twee argumenten, die door sceptici veelvuldig worden gebruikt, gesteld dat de gemeten temperatuurstijging boven zee problematisch zou zijn. De temperatuurmetingen boven zee zou incorrect zijn gecorrigeerd voor veranderingen in meetmethoden. Daarnaast wordt voor het vaststellen van de temperatuurstijging boven zee de zeewatertemperatuur gebruikt in plaats van de temperatuur van de lucht boven het water. Hierdoor zou er ten onrechte een temperatuurstijging worden gemeten. Zoals hieronder wordt aangetoond, valt er op deze stellingen veel af te dingen.

2.7.1 Metingen zeewatertemperatuur

Rond 1945 is er sprake van een discontinuïteit in de zeewatertemperatuurmetingen die hoogstwaarschijnlijk te maken heeft met een onjuiste correctie voor de overgang van het meten met emmers naar het meten op basis van binnenkomend koelwater. Een studie van Thompson (2008) laat de discontinuïteit ook duidelijk zien (zie figuur).

Men kan op basis van deze studie niet concluderen dat het beeld van de opwarming van de afgelopen eeuw hierdoor drastisch wordt omgegooid (zie bijvoorbeeld RealClimate⁶). Bij een eventuele correctie zal de temperatuur in de periode 1940-1945 volgens sommigen waarschijnlijk naar beneden moeten worden bijgesteld (zie bijvoorbeeld SkepticalScience⁷). In deze context is het interessant dat binnenkort een nieuwe oppervlaktezeewatertemperatuurreeks beschikbaar komt van het Hadley Centre (HadISST3). Hierin wordt het bovenstaand discontinuïteitsprobleem (veel) beter gecorrigeerd. Zodra deze reeks beschikbaar komt zal daarover worden bericht op het klimaatportaal.

2.7.2 Trend boven zee

Op pagina 58 wordt op basis van één studie van John Christy (2001) gesteld dat de opwarmende trend boven zee wellicht overschat wordt:

“Veel boeien meten zowel de temperatuur van het water als die van de lucht. CRU beweert op basis van een artikel van Rayner uit 2003, dat de overeenkomst tussen zeewatertemperatuur en de temperatuur van de lucht erboven erg goed is. Maar John Christy concludeerde in een artikel over de tropen iets heel anders. In alle datasets die hij onderzocht (schepen, weersatellieten, weerballonnen en boeien) warmde het zeewater tussen 1979 en 1999 sterker op dan de lucht erboven.”

Uit de studie van Christy (2001) blijkt niet dat de lucht boven de tropische zee is afgekoeld, maar minder is opgewarmd. Zoals is te lezen in zijn eindconclusie zijn zowel het zeewater als de lucht erboven opgewarmd. Belangrijk is verder dat de volgorde van redeneren omgedraaid moet worden zodat de resultaten van Rayner in de juiste context staan. De studie van Rayner (2003) is namelijk later uitgevoerd (publicatie in 2003) dan die van Christy (publicatie in 2001). In zijn studie bouwde Rayner voort op de studie van Christy door de analysemethode van Christy verder te verfijnen waarbij hij tot een andere conclusie kwam. De vernieuwende bijdrage van de studie van Christy destijds was het gebruik van directe luchtmetingen aan boord van schepen. Een probleem in de analyse van Christy was dat hij uitging van een constante dekhoogte. Maar de metingen zijn op verschillende schepen en dus op verschillende dekhoogten uitgevoerd. Rayner gebruikt hiervoor een correctiemethode. Dit is een voorbeeld van voortschrijdend inzicht dat niet uit de interpretatie van Crok naar voren komt en leidt tot een conclusie die niet strookt met de inhoud van de door hem aangehaalde studies.

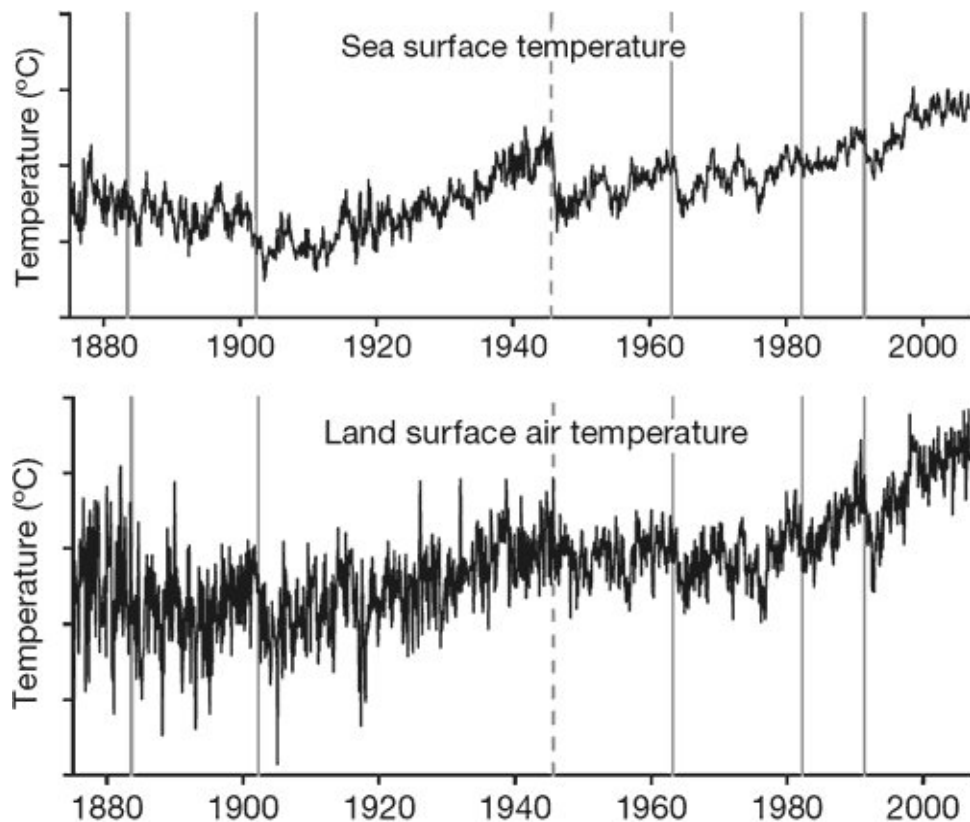
Ook komt dit onderwerp, inclusief de studie van Christy, uitvoerig aan de orde in het laatste IPCC-rapport (IPCC, 2007). In paragraaf 3.2.2.3 op pagina 245 staat:

"However, the changes of SST [Red:temperatuur van het zeewateroppervlak] relative to NMAT [red: temperatuurmetingen op schepen] since 1991 in the tropical Pacific may be partly real (Christy et al., 2001)"

Maar het IPCC gaat verder door in de paragraaf uitvoerig te beschrijven wat voortschrijdend inzicht op basis van het werk van Christy heeft opgeleverd. Hierin passeren allerlei factoren die de luchttemperatuur beïnvloeden de revue, zoals variabiliteit in de atmosfeer, bedekkingsgraad, en kwaliteit van de metingen. In deze paragraaf is een breed scala aan referenties te vinden die het werk van Christy hebben verfijnd.

⁶ <http://www.realclimate.org/index.php/archives/2008/06/of-buckets-and-blogs/>

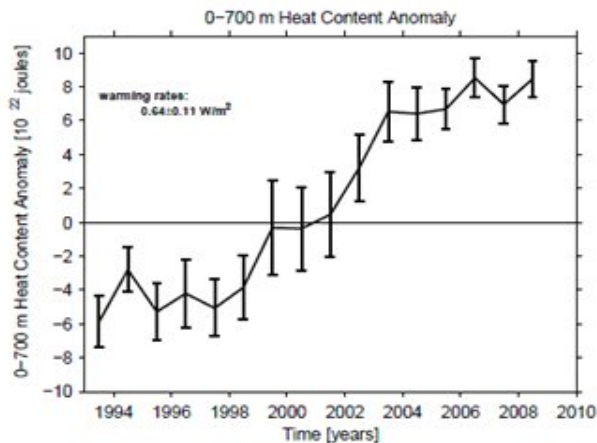
⁷ <http://www.skepticalscience.com/A-new-twist-on-mid-century-cooling.html>



Figuur 2 uit Thompson (2008). Boven: oppervlaktezeewatertemperatuur. Onder: maandelijks gemiddelde temperatuur, 2 meter boven het landoppervlak. Beide reeksen zijn gecorrigeerd voor bekende natuurlijke fenomenen zoals het effect van El Nino. De stippellijn staat voor augustus 1945. De overige verticale lijnen staan voor grote vulkaanuitbarstingen (die een tijdelijke mondiale afkoeling tot gevolg hadden).

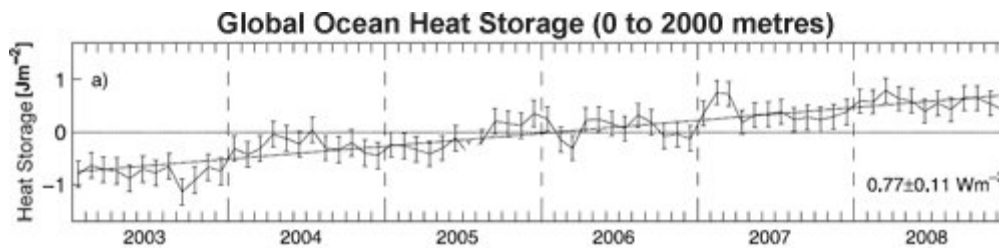
2.8 Is de opwarming gestopt?

Hoofdstuk 2 sluit af met de stelling dat als de ‘oceanen de komende jaren niet opwarmen, dan is er iets fundamenteel mis met de broeikasgashypothese’ (pagina 76). Crok poneert deze stelling op basis van metingen met het Argo-netwerk (3000 boeien die de temperatuur meten tot op 2000 meter diepte) die aangetoond zouden hebben dat de warmte-inhoud van de oceanen sinds 2004 tot op 2000 meter diepte niet is toegenomen. Dit is onjuist: tot op een diepte van 2000 meter is aangetoond dat de warmteinhoud is toegenomen. Het is aangetoond dat er de afgelopen 7 jaar sprake was van een afname van de opwarming van de bovenste 700 meter.



Wereldgemiddelde warmte-inhoud (in 10^{22} Joules) versus tijd (jaren) van de bovenste oceaanaalag (700 m). (Lyman et al., 2010; ARGO.NET).

Ook de bovenste 2000 meter laten in de afgelopen jaren opwarming zien:



Warmte-inhoud van de mondiale oceanen tot op 2000 meter diepte (von Schuckmann et al., 2009). Vanwege de grote warmtecapaciteit van water in vergelijking met die van lucht kan de trend hierin (in W/m^2) worden geïnterpreteerd als een maat voor de onbalans in de stralingshuishouding van de aarde.

Voor beide dieptes geldt dat er zowel sprake is van een opgaande trend als van natuurlijke variatie in de tijd. Deze twee van elkaar scheiden is geen eenvoudige opgave. Dit komt doordat de oorzaken van de natuurlijke variatie niet voldoende begrepen worden, warmte-uitwisseling tussen verschillende lagen in de oceaan niet voldoende bekend is en de metingen en modellen imperfecties vertonen. De afname van de opwarming van de bovenste 700 m gedurende de laatste 7 jaar is niet uniek.

Katsman & van Oldenborgh (2011) becijferen op basis van modelruns dat er in het huidige klimaat een reële kans is dat een dergelijke stagnatie optreedt (22% voor de periode 1969-2000, en 8% voor 1990-2020). De kans op langere periodes waarin de opwarming uitblijft neemt uiteraard af met de lengte van de stagnatieperiode. Weliswaar is de warmte-inhoud na 2004 afgevlakt, maar uit bovenstaande figuur blijkt dat deze sterk is toegenomen sinds ten minste 1994. De toename lijkt stapsgewijs te gaan en er is sprake van een bepaalde mate van variabiliteit. Maar de lengte van de datareeks is te kort om een goede verklaring te geven voor deze afvlakking. In het artikel van Lyman et al. (2010) wordt op mogelijke verklaringen ingegaan. Bovendien is, zoals hierboven ook aangegeven, de bovenste 700 meter geen maat voor de gehele oceaan, welke een gemiddelde diepte heeft van 4 km. Het is daarmee voorbarig te veronderstellen dat er iets fundamenteel mis zou zijn “met de broeikashypothese”.

3 Komt de recente opwarming door CO₂?

Een belangrijk element in de klimaatdiscussie is klimaatgevoeligheid: dit is de uiteindelijke wereldgemiddelde temperatuurstijging bij een verdubbeling van de CO₂-concentratie. Deze temperatuurstijging wordt veroorzaakt door het broeikaseffect van CO₂ en feedbacks. Deze versterken of dempen de veranderingen in het klimaatsysteem die het gevolg zijn van de opwarming door de toename van CO₂. De belangrijkste feedbacks zijn een toename in de waterdampconcentratie en veranderingen in de wolkenbedekking. Feedbacks bepalen de uiteindelijke klimaatgevoeligheid. Onzekerheden in de sterkte van de feedbacks vertalen zich in onzekerheid in de gevoeligheid van ons klimaat. Dit is onderwerp van vele wetenschappelijke studies.

Box 2: Klimaatgevoeligheid volgens IPCC (2007) en studies sindsdien

Het IPCC heeft de waarschijnlijke range van klimaatgevoeligheid vastgesteld op 2 tot 4,5 graden Celsius. Dit betekent dat de wereldgemiddelde temperatuur waarschijnlijk⁸ met 2 tot 4,5 graden stijgt als de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer verdubbelt. Deze range is gebaseerd op modelstudies, waarnemingen over de afgelopen 150 jaar en klimaatveranderingen in het verre verleden.

Het is zeer onwaarschijnlijk⁹ dat de klimaatgevoeligheid lager is dan 1,5 graden. De ondergrens van 1,5 graden impliceert dat processen feedbacks het pure stralingseffect van CO₂ (de zogeheten no-feedback case van ruim 1 graad¹⁰) versterken.

Dit wordt ondersteund door waarnemingen: zo is de waterdampinhoud van de atmosfeer toegenomen gedurende de temperatuurstijging van 1988 tot 2005 (Trenberth et al, 2005; IPCC, 2007). Waterdamp is een sterk broeikasgas en versterkt de temperatuurstijging door CO₂. Ook is de verminderde reflectie van zonlicht door de afnemende ijsbedekking waargenomen. Dit versterkt eveneens de temperatuurstijging. Maar er zijn ook dempende factoren te verwachten, zoals de zogeheten lapse rate feedback.

De onzekerheden in de feedbacks, die rechtstreeks te vertalen zijn in de onzekerheid in klimaatgevoeligheid, zijn door het IPCC (2007) belicht aan de hand van de vele studies. Voor een overzicht van alle studies op dit gebied tot medio 2009, zie hoofdstuk 5 in Van Dorland et al., 2009.

De concentratie van CO₂ en andere broeikasgassen in de atmosfeer neemt toe door menselijk handelen. Dit leidt in principe tot opwarming. Critici stellen dat de klimaatwetenschap de directe temperatuurstijging door CO₂ (dus zonder feedbacks, zie 3.1: de no-feedback case) overdrijft. Als we de feedbacks buiten beschouwing laten, zou bij een verdubbeling van de hoeveelheid CO₂ de wereldgemiddelde temperatuur aan het aardoppervlak met 1 graad Celsius stijgen. Volgens Crok is dit slechts 0,5 graden Celsius, maar dat is aantoonbaar fout.

Critici stellen dat de klimaatgevoeligheid veel kleiner zou kunnen zijn dan aangegeven door het IPCC. De wetenschappelijke literatuur zou de positieve feedbacks (die het CO₂-effect

⁸ Waarschijnlijk is in IPCC terminologie 66 procent zekerheid.

⁹ Zeer onwaarschijnlijk is in IPCC terminologie minder dan 10 procent kans.

¹⁰ Zie: http://www.knmi.nl/cms/content/90140/hoe_warmen_broeikasgassen_de_aarde_op

versterken, zoals wolkenfeedbacks en waterdamp feedback) overdrijven en de dempende factoren (negatieve feedbacks) onderschatten, zie 'de feedback case'. Zowel waarnemingen als klimaatmodellen bevestigen dat de klimaatgevoeligheid waarschijnlijk ligt tussen 2 en 4,5 graden. De vele studies die hierop wijzen worden niet besproken in het boek van Crok of worden met weinig onderbouwing aan de kant geschoven. De auteur is hier dus selectief te werk gegaan. Bovendien worden sommige studies die hij wel aanhaalt eenzijdig weergegeven.

Een belangrijke pijler onder de stelling van sceptici dat de klimaatgevoeligheid wel eens veel lager zou kunnen zijn dan gedacht heeft te maken met de klimaateffecten van aërosolen. Aërosolen (stofdeeltjes) houden zonlicht tegen en hebben een afkoelende werking en maskeren daarmee het opwarmende effect van de broeikasgassen. De mate waarin is onzeker, maar volgens Crok zijn er goede redenen om te geloven dat de koeling door aërosolen zeer klein is. Als die koeling zou ontbreken, zou het opwarmende effect van de broeikasgassen dus kleiner zijn. Dit zou betekenen dat er geen hoge klimaatgevoeligheid nodig is om de gemeten opwarming van 0,8 graden te verklaren. Maar ook hier gaat Crok selectief te werk.

Crok schrijft in zijn boek dat de 'bewijsvoering' van het IPCC voor de menselijke bijdrage aan de opwarming een cirkelredenering is. Het IPCC zou aannemen dat de natuurlijke invloeden gering zijn en dat broeikasgassen een opwarmend effect hebben. Op een basaal niveau is deze karakterisering onjuist omdat deze zaken niet worden aangenomen, maar geconcludeerd. De natuurlijke invloeden zijn bekend uit metingen, de werking van broeikasgassen zijn natuurkundig bewezen feiten, er is dus geen sprake van onbewezen aannames die dan ook weer als conclusies uit de modellen rollen.

We behandelen enkele voorbeelden over hoe selectief Crok omgaat met wetenschappelijke artikelen waar hij naar refereert. Dit betreft bijvoorbeeld de regionale effecten van aërosolen en de invloed van langjarige schommelingen in de circulatie op de wereldgemiddelde temperatuur uit hoofdstuk 5 "Kan opwarming veroorzaakt zijn door iets anders dan CO₂?". Tenslotte gaan we in op de effecten van klimaatverandering op orkanen en het slinken van de Groenlandse ijskap. Deze onderwerpen worden behandeld in hoofdstuk 6 van Crok's boek.

3.1 No-feedback case

Op pagina 108 schrijft Crok dat het effect van CO₂ op de temperatuur in de zogeheten no-feedback case wordt overdreven: "*...modellen kun je laten becijferen wat het effect van een verdubbeling van de CO₂-concentratie in de atmosfeer is. Uit die berekeningen rolt steeds een getal in de orde van 1°C. Omdat warmte omhoog getransporteerd wordt, zullen hogere luchtlagen meer opwarmen dan het oppervlak. De theoretische opwarming aan het aardoppervlak bedraagt maar zo'n halve graad*".

Die circa 1 graad toename klopt, maar zonder feedbacks geldt dit voor de gehele troposfeer (onderste 13 km van de atmosfeer) en het aardoppervlak. De sterkere opwarming bovenin de troposfeer is alleen aan de orde als we slechts rekening houden één bepaalde feedback: namelijk de 'lapse rate feedback'. Door meer verdamping van water aan het aardoppervlak wordt de afkoeling daar sterker, maar deze extra warmte wordt weer afgegeven als de waterdamp op grotere hoogte condenseert. Hierdoor vermindert de temperatuurafname met de hoogte. Als je alleen deze ene feedback beschouwt, dan zou het kloppen dat de opwarming aan het oppervlak in de tropen maar een halve graad is. Wereldgemiddeld is dit geen factor 2, maar slechts een factor 1,15. Maar er zijn veel meer feedbacks, zoals de versterkende werking

van waterdamp dat zelf ook weer een broeikasgas is. Alle feedbacks bij elkaar opgeteld zorgen ervoor dat het opwarmende effect van CO₂ uiteindelijk wordt versterkt, niet verzwakt. Spencer maakt een fout als hij stelt dat die halve graad opwarming de situatie beschrijft als je geen feedbacks meerekent. Hij neemt immers hiervoor wel een deel van de 'lapse rate feedback' mee.

3.2 De feedback case: hoe groot is de klimaatgevoeligheid

Crok suggereert dat de klimaatgevoeligheid (opwarming door een verdubbeling van CO₂) maar een halve graad zou (kunnen) zijn. Dit is een factor twee lager dan de gevoeligheid in afwezigheid van de feedbacks. Het is zelfs een factor drie lager dan de zeer waarschijnlijke ondergrens van 1,5 graden. Hij baseert zijn veronderstelling op enkele studies (Lindzen, Spencer) en internetblogs, waaruit zou blijken dat die feedbacks eerder leiden tot een dempend effect dan een versterkte opwarming.

Om te beginnen wordt gesteld op pagina 112 dat het IPCC het 'bewijs' van het broeikas effect alleen baseert op klimaatmodellen. Dit is onjuist omdat er namelijk vele directe en indirecte waarnemingen zijn, die min of meer onafhankelijk van elkaar aannemelijk maken dat broeikasgassen een belangrijke rol spelen in de aardse temperatuurhuishouding. Een goed overzicht hiervan wordt gegeven door Knutti en Hegerl (2008).

De klimaatgevoeligheid die uit de verschillende gegevens naar voren komt, loopt uiteen. Maar in samenhang komen ze uit op een klimaatgevoeligheid met een waarschijnlijke range (dat wil zeggen een kans van 66%) van 2 tot 4,5 graden en een zeer waarschijnlijke ondergrens van 1,5 graden. Dit komt overeen met de eerdere schattingen van het IPCC (2007). Daarbij geven de auteurs ook steeds aan wat de sterke en zwakke kanten (de aard van de onzekerheden) zijn van de verschillende gegevens.

In het verleden is er bijvoorbeeld sprake geweest van grote klimaatveranderingen, zoals de ijstijden en de perioden van opwarming van nog veel langer geleden. Bij de grote temperatuurveranderingen in het verleden speelde CO₂ vaak een rol¹¹. Meestal was het niet de eerste oorzaak van de opwarming, maar wel een versterkende factor (Alley, 2008). Deze veranderingen kunnen vrijwel niet worden verklaard als wordt uitgegaan van een klimaatgevoeligheid die lager is dan de ondergrens van 1,5 graden. De klimaatgevoeligheid geldt voor alle oorzaken van klimaatverandering, zowel natuurlijke als de menselijke.

Nog verder terug in de tijd laten aanwijzingen in sedimenten zien dat broeikasgassen een doorslaggevende rol hebben in klimaatveranderingen. Zo is er onderzoek gedaan naar het 'Pleistocene Eocene Thermal Maximum' of PETM (55 miljoen jaar geleden) en het 'Middle Eocene Climate Optimum' (40 miljoen jaar geleden). In beide perioden was er sprake van een mondiale opwarming van zo'n 4 tot 5 graden, die volgde op een toename van de hoeveelheid methaan respectievelijk CO₂ in de atmosfeer. In het eerste geval kwam dit waarschijnlijk door een gigantische uitbarsting van methaanhydraten op de oceaan-bodem (Sluijs et al. 2006; Thomas et al. 2002; Zachos et al. 2003) en in het tweede geval door de vorming van de Himalaya, waarbij er CO₂ vrijkwam door een verhoogde activiteit in platen tektoniek (continentendrift) (Bijl, 2010).

¹¹ Zie: <http://www.klimaatportaal.nl/pro1/general/start.asp?i=0&j=0&k=0&p=0&itemid=368>

Box 3: Stralingsforcering

Stralingsforcering is de verstoring van de stralingsbalans van de aarde als geheel. De stralingsbalans bevat drie componenten:

1. de binnenkomende hoeveelheid zonne-energie
2. de gereflecteerde hoeveelheid zonne-energie
3. de uitgaande infrarode (warmte) straling.

Veranderingen in deze componenten leiden tot stralingsforcering. Zo vermindert de hoeveelheid uitgaande infrarode straling bij een verhoging van de broeikasgasconcentraties. Verhoging van de hoeveelheid aërosolen door bijvoorbeeld vulkaanuitbarstingen of menselijke invloed versterkt de reflectie van zonlicht. Maar ook de zon zelf vertoont variaties in de uitgestraalde hoeveelheid energie en verstoort daarmee de stralingsbalans. Stralingsforcering is een eenvoudige maat om diverse klimaatinvloeden te kwantificeren en wordt uitgedrukt in W/m^2 .

In feite is de stralingsforcering de verstoring van de stralingsbalans vóóordat het aardoppervlak en de daaraan gekoppelde troposfeer (gemiddeld de onderste 13 km van de atmosfeer) van temperatuur verandert. Om die reden kan stralingsforcering niet worden waargenomen. Immers vanwege de wet van behoud van energie streeft het klimaatstelsel naar het herstellen van de stralingsbalans, waarbij de temperatuur van de aarde en de atmosfeer reageert op de verstoring. Dit gebeurt weliswaar traag door de grote warmtecapaciteit van de oceanen. Vaak wordt de stralingsforcering door wijzigingen in de samenstelling van de atmosfeer of in de hoeveelheid zonne-energie over langere periodes beschouwd, zoals tussen nu en het pre-industriële tijdperk (IPCC, 2007), waarin de wereldgemiddelde temperatuur zich al voor een groot deel heeft kunnen aanpassen aan de nieuwe situatie. Hierbij is de stralingsbalans dus ook grotendeels hersteld.

De stralingsforcering wordt berekend met behulp van stralingstransportmodellen. Stralingsprocessen behoren tot de goed begrepen fysica. Berekeningen kunnen met voldoende grote nauwkeurigheid worden uitgevoerd. De bron van onzekerheid in de berekening van de stralingsforcering is de modelinvoer: voor broeikasgassen zijn dit de concentraties en verticale verdeling in de atmosfeer in combinatie met de spectroscopische eigenschappen van die gassen. De stralingsforcering van langlevende broeikasgassen, zoals CO_2 , hebben een nauwkeurigheid van circa 10%. Voor de zonne-energie zijn de relatief kleine onzekerheden in het zonnenspectrum van belang. Voor aërosolen zijn de bronnen van onzekerheid: de chemische samenstelling, deeltjes aantallen, grootte en vorm. Daarnaast introduceren de indirecte effecten van aërosolen grote onzekerheid, niet vanwege de stralingsberekeningen, maar door onzekerheid in de achterliggende processen. De onzekerheid in de stralingsforcering door aërosolen is daardoor relatief groot, maar wel afgebakend door tal van studies (Knutti en Hegerl, 2008).

Andere gegevens die gebruikt worden ter bepaling van klimaatgevoeligheid zijn de directe temperatuurwaarnemingen in de afgelopen 150 jaar, de geschatte temperaturen in het afgelopen millennium en de reactie van de wereldtemperatuur op sterke vulkaanuitbarstingen. Iedere periode en aard van gegevens heeft voor- en nadelen. Deze hebben te maken met de nauwkeurigheid van de betreffende temperatuurdata en/of de onzekerheden in de

stralingsforceringen, met de sterkte van de natuurlijke variabiliteit en met de kwestie of het klimaatsysteem in evenwicht is (of als zodanig beschouwd mag worden). Op basis van de verschillende 'lines of evidence' komen we tot een range waarbinnen de temperatuurstijging als gevolg van klimaatverandering valt.

3.3 Klimaatgevoeligheid bepaald uit waarnemingen

Klimaatgevoeligheid is gedefinieerd als de uiteindelijke wereldgemiddelde temperatuurstijging als gevolg van de stralingsforcering behorend bij een verdubbeling van de CO₂-concentratie (3,7 W/m²). Er zijn talrijke factoren, die tot een stralingsforcering kunnen leiden, zoals andere broeikasgassen, aërosolen (bijvoorbeeld vulkaanstof), veranderingen in de intensiteit van zonne-energie en veranderingen in het weerkaatsend vermogen van de aarde (bijvoorbeeld door landgebruik of ijsbedekking). Bij klimaatgevoeligheid gaat het om de uiteindelijke temperatuurverandering als reactie op een constante stralingsforcering. Op grond van de 'wet van behoud van energie' is de herkomst van stralingsforcering van ondergeschikt belang, wanneer ook de indirecte effecten op de stralingshuishouding verdisconteerd worden. Klimaatmodellen bevestigen deze wetmatigheid (Knutti and Hegerl, 2008; IPCC, 2007).

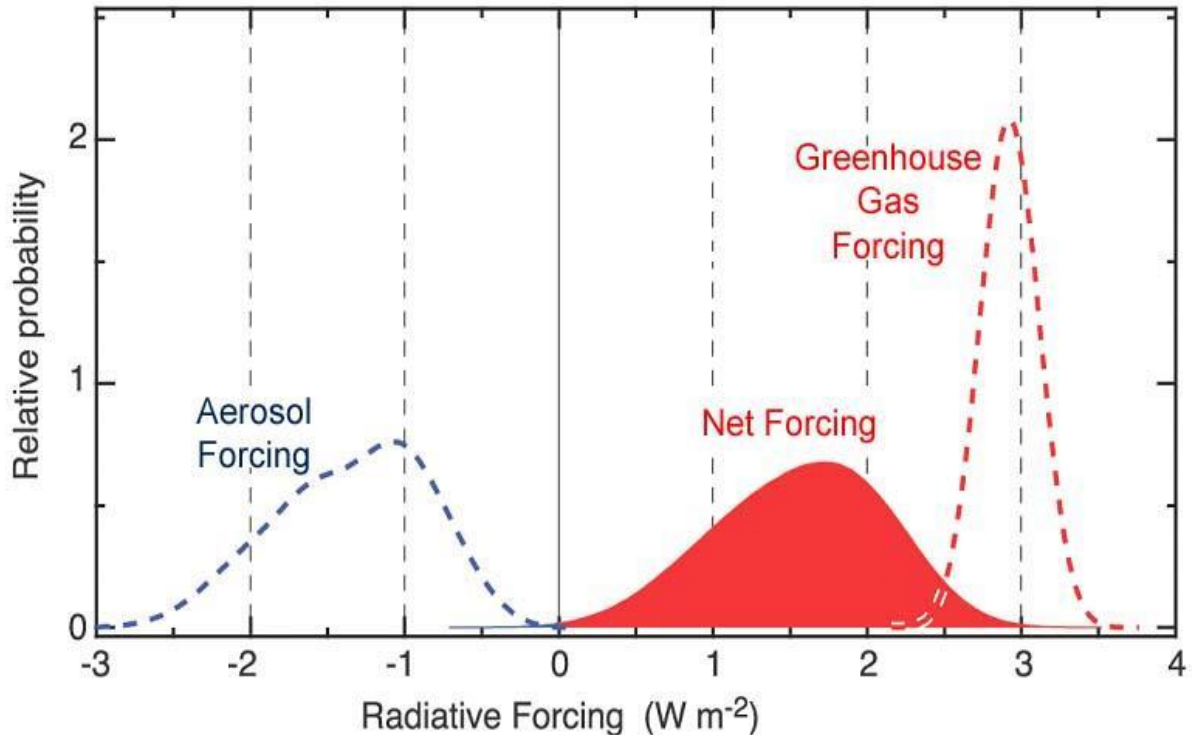
De stralingsforcering is echter niet constant en door de grote warmtecapaciteit van de oceanen duurt het vele honderden jaren voordat het klimaatsysteem in evenwicht is met de opgelegde stralingsforcering. Oceanen vertragen daarmee de opwarming van het klimaat. Door deze bufferwerking van oceanen is het klimaatsysteem bovendien minder gevoelig voor snelle dan voor langzame veranderingen in de stralingsforcering.

Wanneer gegevens van temperatuur en stralingsforcering van de 20ste eeuw gebruikt worden om de klimaatgevoeligheid te bepalen, moet daarom rekening gehouden worden met de effecten van de warmtecapaciteit van de oceanen. De drie grootheden, temperatuur, forcering en vertraging door oceanen, zijn omgeven door specifieke onzekerheidsmarges. De onzekerheid in de klimaatgevoeligheid, bepaald op basis van de waarnemingen in de afgelopen eeuw, wordt gedomineerd door de onzekerheid in de stralingsforcering door aërosolen, met name in de indirecte effecten.

De stralingsforcering in de afgelopen eeuw wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door een verhoging van de concentratie aan broeikasgassen (opwarmend) en aërosolen (netto afkoelend). Het IPCC concludeert dat dit bij elkaar opgeteld een netto opwarmend effect heeft gehad (zie figuur). De koelende werking van aërosolen heeft een deel van de opwarming door broeikasgassen in de 20ste eeuw gecompenseerd. De vraag is met hoeveel?

Als de stralingsforcering van aërosolen sterk negatief is (dus als het afkoelend effect van aërosolen groot is), dan is de netto stralingsforcering klein. Maar als een kleinere forcering de waargenomen temperatuurstijging heeft veroorzaakt, dan zou het klimaatsysteem gevoeliger zijn. Bij een stralingsforcering door aërosolen, die dichtbij nul ligt en waarbij de forcering door de toename in broeikasgassen dus nauwelijks gecompenseerd wordt, zou de klimaatgevoeligheid juist laag zijn. De onzekerheid in de aërosolforcering in de 20e eeuw is door het IPCC meegenomen bij de vaststelling van de waarschijnlijke range in klimaatgevoeligheid. Verschillende methoden om de klimaatgevoeligheid te schatten komen tot groottes in de range van 2 tot 4,5 graden bij een verdubbeling van atmosferische CO₂-concentratie (Knutti and Hegerl, 2008).

Critici proberen aannemelijk te maken dat er goede redenen zijn te geloven dat de koeling door aërosolen zeer klein is (zie 3.3.1). Ook wordt gesteld dat het klimaat al in evenwicht zou zijn met betrekking tot de stralingsforcering (zie box 2). Beide stellingen leiden tot de conclusie dat de klimaatgevoeligheid lager uitvalt dan de schattingen van het IPCC. Maar Crok gaat in zijn boek selectief te werk en publicaties worden soms eenzijdig weergegeven.



Deze figuur toont de effecten op de stralingsbalans (uitgedrukt als “radiative forcing”) van de toename in broeikasgassen (rode stippellijn) en aërosolen (blauwe stippellijn) vanaf het pre-industriële tijdperk (IPCC, 2007). Positieve waarden hebben een opwarmend effect; negatieve waarden een afkoelend effect. Samengenomen hebben de broeikasgassen en aërosolen een netto opwarmend effect (“net forcing” in rood). De hoogte van de curve geeft de relatieve waarschijnlijkheid aan. Zo is de netto klimaatforcering waarschijnlijk tussen de 1 en 2 W/m², maar zij kan (met een kleiner wordende waarschijnlijkheid) waarden hebben tussen de 0 en 3 W/m².

Zo wordt op pagina 118 van het boek van Crok staat dat het opwarmende effect van roet (een warmte-absorberend aërosol) sterker is dan in het IPCC rapport vermeld is, en dat het afkoelende effect van aërosolen via wolken zo goed als nul is. Ter onderbouwing van het eerste punt worden slechts twee studies aangehaald die bovendien eenzijdig worden geïnterpreteerd. Zo wordt een artikel van Ramanathan (2008) uit Nature Geoscience geciteerd over de sterk opwarmende effecten van roet, maar daarbij wordt niet vermeld dat Ramanathan het koelende effect van de andere componenten van de aërosolen naar boven bijstelde, waardoor er volgens deze studie nauwelijks effect is op het geschatte netto effect door aërosolen. De tweede studie, die door Crok wordt aangehaald is Myhre (2009) uit Science. Hierin wordt het directe effect van aërosolen (inclusief roet) naar beneden bij gesteld, maar dit was slechts met 0,2 W/m² ten opzichte van de totale stralingsforcering van 1,6 W/m² (met een spreiding van 0,6 tot 2,4) zoals die door het IPCC is ingeschat (IPCC, 2007).

En ten slotte wordt gesteld op basis van een interview met de klimaatwetenschapper Greame Stephens dat satellietgegevens aantonen dat het indirecte effect van aërosolen, via hun effect

op wolkenvorming, nihil is. Maar er zijn ook studies te noemen die juist laten zien dat het klimaateffect van aerosolen te laag wordt ingeschat (Ruckstuhl, 2009, JGR; Dwyer, 2010, JGR).

Dezelfde onderzoeker die Crok aanhaalt om een netto aerosolforcing van nul te onderbouwen, Ramanathan, heeft een zelfde type berekening uitgevoerd in een andere studie, maar met een andere conclusie (Ramanathan en Feng, 2008): Uitgaande van de IPCC schatting voor klimaatgevoeligheid van 3 °C (2 tot 4.5 °C) per CO₂ verdubbeling berekent hij een verwachte huidige opwarming op basis van alleen de broeikasgassen (inclusief ozon) van 2.4 °C (1.6 tot 3.6 °C). De trend in de oceaan warmte-inhoud berekent hij op 0.6 W/m², wat volgens dezelfde klimaatgevoeligheid overeenkomt met ~0.5°C aan overtollige warmte die in de oceanen is opgeslagen. Op basis van verschillende gegevens schat Ramanathan de netto aerosolforcing op -1.4 W/m² (iets sterker negatief dan vermeld als beste waarde in het laatste IPCC rapport), hetgeen overeenkomt met een afkoeling van -1.2 °C (-0.4 tot -2 °C). Het netto verwachte effect is dus 2.4 °C – 1.2 °C – 0.5 °C = 0.7 °C wat vrijwel exact overeenkomt met de waargenomen mondiale opwarming (zieSkepticalScience¹² voor een vergelijkbare berekening).

Een andere belangrijke aanwijzing dat het koelende effect van aerosolen wel degelijk substantieel is, is bijvoorbeeld de gemeten afkoeling in de maanden en jaren na een grote vulkaanuitbarsting. Hierbij worden soms grote hoeveelheden aerosolen (stof) in de hogere luchtlagen (de stratosfeer) geïnjecteerd die daar gedurende enkele jaren kunnen blijven hangen alvorens weer op aarde terug te vallen of uit te regenen. Ook zogenaamde “shiptracks” (sporen die verbrandingsgassen door schepen achterlaten in lage bewolking, zie afbeelding) laten zien dat – in ieder geval op lokaal niveau - aerosolen een sterke invloed hebben op de reflectie van wolken. Metingen aan wolken hebben bevestigd dat dit proces ook op grote schaal plaatsvindt, al zijn vanwege de grote heterogeniteit van wolken en aerosolen voor de schatting van het wereldwijde effect ervan modelsimulaties of satellietgegevens nodig.

De schattingen uit de recente literatuur moeten gezien worden als puzzelstukjes die aan de bestaande kennisbasis worden toegevoegd. Al deze studies tezamen geven een beeld van de onzekerheidsmarges van de aerosolforcing. Crok heeft de neiging om in de bestaande literatuur selectief te werk te gaan: alleen een klein aantal studies (en een interview) die zijn argument van een minimale aerosolforcing ondersteunen worden in zijn boek aangehaald.

Hierbij is het belangrijk nogmaals te benadrukken dat de spreiding die het IPCC hanteert voor de koelende werking van aerosolen zeer groot is: namelijk van -0.4 tot -2.7 W/m². Een gering koelend effect wordt dus niet uitgesloten. Bovendien werkt deze grote onzekerheid direct door in de grote spreiding in de klimaatgevoeligheid zoals gerapporteerd door IPCC (zie afbeelding).

¹² <http://skepticalscience.com/a-case-study-of-a-climate-scientist-skeptic.html>



Deze afbeelding toont “Shiptracks” in de Golf van Biskaje, die laten zien dat aërosolen de reflectie van wolken kunnen beïnvloeden.

De neiging om in te zoomen op één artikel of één oorzaak vinden we ook terug als Crok stelt dat het Zuidelijk halfrond sneller zou hebben moeten opwarmen dan het Noordelijk halfrond, vanwege de hogere concentratie aan koelende aërosolen in het (geïndustrialiseerde) Noorden. Hierbij gaat hij voorbij aan het feit dat het Zuidelijk halfrond langzamer opwarmt omdat dit voornamelijk bestaat uit oceanen, die bovendien diepe menglagen hebben (zoals de Zuidelijke Oceaan).

In de meeste klimaatmodellen, die geanalyseerd zijn in het vierde IPCC rapport, is de indirecte aërosol forcing buiten beschouwing gelaten. Het wel meenemen van schattingen van het indirecte effect zou juist een grotere klimaatgevoeligheid behoeven om nog steeds met de gemeten opwarming overeen te komen. Gebaseerd op de goede overeenkomst tussen model simulaties en de gemeten opwarming argumenteren Knutti and Hegerl (2008) dat de gangbare schattingen van het indirecte effect wellicht aan de hoge kant zijn, omdat anders de klimaatgevoeligheid fors hoger zou moeten zijn dan verwacht.

Een interessante observatie is ten slotte dat Crok’s visie op aërosolen tegenovergesteld is aan die van een Internationaal toonaangevend sceptisch document van het NIPCC (Nongovernmental International Panel on Climate Change, dat zichzelf tracht te positioneren als sceptische tegenhanger van het IPCC). In hun rapport uit 2009 staat geschreven op pagina 3 dat ‘The IPCC dramatically underestimates the total cooling effect of aërosols’. Het NIPCC meent dat de uitstoot van aërosolen door verdergaande industrialisatie en door natuurlijke factoren zullen blijven toenemen, en ons dus beschermen tegen klimaatverandering. De conclusie van Crok (er is geen klimaatprobleem) is dezelfde als dat van het NIPCC rapport, maar beide argumentaties op dit cruciale punt staan lijnrecht tegenover elkaar. Voor een verdere uitwerking van dit punt, zie SkepticalScience¹³.

Kort samengevat: de aarde is ongeveer net zo veel opgewarmd als verwacht, maar binnen de onzekerheden is er veel speling in deze getallen. De onzekerheid, die vooralsnog aan de

¹³ <http://www.skepticalscience.com/Aerosols-as-fudge-factor-NIPCC-vs-Lindzen.html>

huidige aerosolforcing verbonden is, geeft geen scherper beeld van de klimaatgevoeligheid dan in het IPCC rapport vermeld staat.

3.4: Klimaatgevoeligheid in klimaatmodellen

Het klimaatsysteem omvat de atmosfeer, de oceaan, zeeijs, ijskappen en gletsjers, het landoppervlak en de biosfeer. Naast fysische processen spelen ook chemische en biologische processen en hun onderlinge wisselwerking een belangrijke rol. Veel van deze processen zijn opgenomen in de huidige complexe oceaan-atmosfeermodellen. Met deze modellen kan niet alleen het weer gesimuleerd worden. Het is ook mogelijk om patronen van klimaatveranderingen te simuleren, die bijvoorbeeld het gevolg zijn van vulkaanuitbarstingen, zonneactiviteit, El Niño, de uitstoot van broeikasgassen en de verandering in landgebruik.

De kwaliteit van de klimaatmodellen wordt getest aan de hand van waarnemingen. Hieruit blijkt dat weliswaar perfecte modellen niet bestaan, maar dat in grote lijnen het klimaat van de 20ste eeuw nagebootst kan worden als rekening gehouden wordt met de natuurlijke en menselijke invloeden.

Met klimaatmodellen kunnen vervolgens individuele invloeden onderzocht worden. Ook kunnen we onderzoeken hoe een bepaalde verandering van invloed is op bijvoorbeeld klimaatgevoeligheid. Murphy et al. (2004) hebben een omvangrijke modelstudie gedaan, waarbij geprobeerd is om het hele spectrum van onzekerheden, met name ook in de hydrologische processen, te verkennen. Hieruit kwam een bandbreedte van klimaatgevoeligheid naar voren, die goed past bij die van de waarnemingen en van de verschillende klimaatmodellen (Dufresne en Bony, 2008), namelijk 2 tot 4,5 graden voor een verdubbeling van de CO₂-concentratie.

Er is een aantal processen (feedbacks) die invloed hebben op de klimaatgevoeligheid, zoals veranderingen in wolken (zie 3.4.1), waterdamp (zie 3.4.2) en temperatuuropbouw (zie 3.4.3) van de atmosfeer. Deze feedbacks worden ook door de wetenschap gezien als belangrijke versterkende of dempende factoren bij temperatuurveranderingen. Onzekerheden in de sterkte van deze feedbacks worden uitgebreid in de wetenschappelijke literatuur bediscussieerd.

Eén van feedbacks zijn 'hot spots'. Het gaat hier om verandering van temperatuuropbouw van de atmosfeer door wijzigingen in het vochtgehalte, ook wel lapse rate feedback genoemd. Klimaatmodellen laten een sterkere opwarming rond 10 km hoogte zien dan is waargenomen boven de tropen en boven delen van de oceanen op het zuidelijk halfrond. Crok stelt (op p.121, 122, 123 en 238) dat de 'hot spot' de vingerafdruk zou moeten zijn van het versterkte broeikaseffect. Maar ongeacht de oorzaak van een eventuele opwarming laten klimaatmodellen altijd een hot spot zien. Het is dus onjuist om dit effect te koppelen aan menselijke invloed op het klimaat.

Het klopt wel dat er op dit punt met name in tropische gebieden verschillen zijn tussen de modellen en de waarnemingen, maar het is vooralsnog onduidelijk of dit wijst op een probleem met de modellen of een probleem met de waarnemingen. Sinds 1979 laten de meeste datasets zien dat het oppervlak meer opwarmt dan de hoge troposfeer, hoewel sommige datasets het tegenovergestelde laten zien. De meeste klimaatmodellen laten meer opwarming zien in de bovenlucht dan aan het aardoppervlak. Volgens het assessment rapport over dit onderwerp van Karl et al. (2006) is er geen fundamenteel verschil tussen waarneming en model op mondiale schaal.

Daarnaast stelt Crok (op p.120) dat klimaatmodellen worden afgeregeld om gelijkenis te hebben met de waargenomen temperatuur in de 20ste eeuw. Klimaatwetenschappers zouden hiervoor aan twee knoppen draaien, namelijk de klimaatgevoeligheid en de afkoelende werking van aerosolen (aërosoleffect). Wat betreft de klimaatgevoeligheid: dit is geen 'knop' waar je aan kunt draaien in klimaatmodellen, maar een uitkomst van alle fysische processen inclusief alle feedbacks die door het model worden beschreven en berekend. Wat betreft de aerosolen, schrijft Crok op pagina 169:

“Vaak zijn die artikelen niet eens door sceptici geschreven, zoals het artikel van Jeff Kiehl, dat laat zien dat onderzoekers de afkoeling door aerosolen ‘gebruiken’ om de klimaatmodellen kloppend te krijgen met de mondiale temperatuur in de twintigste eeuw.”

Maar in het artikel van Kiehl staat het volgende:

“In many models aerosol forcing is not applied as an external forcing, but is calculated as an integral component of the system. Many current models predict aerosol concentrations interactively within the climate model and this concentration is then used to predict the direct and indirect forcing effects on the climate system“. Met andere woorden, het is een te simplistische voorstelling van zaken om te stellen dat de afkoeling door aerosolen een 'knop' is waaraan je kunt draaien.

Een klimaatmodel is gebaseerd op natuurkundige relaties en moet een correcte beschrijving geven van de huidige staat van het klimaat voor verschillende grootheden, zoals temperatuur, neerslag, binnenkomende zonnestraling, stralingsbalans, verdamping, etc. Deze relaties tesamen vormen een gevoelig evenwicht. De suggestie dat je in een klimaatmodel door middel van één simpele (niet als zodanig bestaande) aerosol- of andere "knop" altijd de verschillende observaties kunt reproduceren is niet juist en bovendien onmogelijk. Wel worden observaties gebruikt om de bandbreedte aan te geven waarbinnen de grootte van verschillende deelvariabelen zich moeten bevinden (Knutti, 2008). Komen ze hierbuiten, dan moet de gehele beschrijving opnieuw worden bekeken. Voor meer details over dit onderwerp zie bijvoorbeeld:

<http://www.realclimate.org/index.php/archives/2008/11/faq-on-climate-models/>

<http://www.realclimate.org/index.php/archives/2009/01/faq-on-climate-models-part-ii/>

http://www.giss.nasa.gov/research/briefs/schmidt_04/

3.4.1: Wolkenfeedback

Het grootste deel van de onzekerheid in de klimaatgevoeligheid komt door de wolkenfeedback. Wolken veranderen mee met de klimaatverandering. Maar over de mate waarin kan de wetenschap nog geen duidelijk antwoord geven. Wel geven alle klimaatmodellen, zoals beschouwd in het laatste IPCC rapport (2007), aan dat de som van alle veranderingen in wolkeigenschappen het effect van CO₂ zonder feedbacks versterkt (Dufresne en Bony, 2008). Ook zijn er studies die op basis van metingen laten zien dat het totale oppervlak aan buienwolken toeneemt als de temperatuur stijgt (Del Genio and Kovari, 2002; Del Genio et al., 2005). Dit levert een versterkend effect op (positieve feedback).

Crok stelt (op pagina 136) dat een positieve terugkoppeling door wolken nooit is aangetoond. Hij wijst naar een passage in het IPCC rapport (2007) waarin wordt aangegeven dat ongeveer de helft van de modellen een afname in de stralingsforcering van wolken ofwel in de 'Cloud Radiative Forcing' (CRF) laat zien en de andere helft een toename.

Punt is dat de CRF geen maat is voor de sterkte van de wolkenfeedback. Deze maten kunnen zelfs van teken verschillend zijn (Soden and Held, 2006; Zhang et al. 1994; Colman 2003; Soden et al. 2004). Doordat de verandering van bewolking en haar eigenschappen ook ingrijpt op de sterkte van de andere feedbacks, zoals van waterdamp en ijs-albedo, wordt met de CRF-methode de wolkenfeedback onderschat. Het verschil is dermate groot dat in alle klimaatmodellen, gebruikt in het IPCC (2007) rapport, de totale wolkenfeedback positief is.

Overigens kan het IPCC rapport hier voor wat verwarring gezorgd hebben, omdat het onderscheid tussen feedback en stralingsforcering door wolken (CRF) in de tekst niet voldoende duidelijk wordt gemaakt. Daarvoor moeten de aangehaalde referenties, waarnaar wordt verwezen, bekend zijn bij de lezers.

Wat betreft de rol van wolken in de opwarming van de aarde vermeldt Crok vervolgens op pagina 137: *“Het IPCC stelt zelfs dat de onzekerheden in wolken de totale marge van onzekerheid in klimaatgevoeligheid verklaren.”*

Deze stelling komt niet overeen met wat er in het IPCC rapport hierover staat. In het AR4 rapport (WGI) staat op pagina 43 in hoofdstuk 8 het volgende: *'Using feedback parameters from Figure 8.14, it can be estimated that in the presence of water vapour, lapse rate and surface albedo feedbacks, but in the absence of cloud feedbacks, current GCMs would predict a climate sensitivity (plus/minus one standard deviation) of roughly $1.9 \pm 0.15^\circ\text{C}$ (ignoring spread from radiative forcing differences). The mean and standard deviation of climate sensitivity estimates derived from current GCMs are larger ($3.2 \pm 0.7^\circ\text{C}$) essentially because the GCMs all predict a positive cloud feedback (Figure 8.14) but strongly disagree on its magnitude.'*

Met andere woorden, hier wordt aangegeven dat wolken weliswaar belangrijk zijn, maar zeker niet de totale onzekerheid in de klimaatgevoeligheid bepalen.

3.4.2 Waterdamp feedback

Een van de sterkste meekoppelingen in het klimaatsysteem is de waterdamp feedback. Dit wordt veroorzaakt doordat de waterdampinhoud van de atmosfeer gekoppeld is aan de temperatuur. Hoe hoger de temperatuur des te meer waterdamp de atmosfeer bevat. Metingen laten zien dat boven oceanen de waterdampconcentratie met 6,5% per graad toeneemt (IPCC, 2007, gebaseerd op Trenberth et al., 2005) conform de theorie. Boven continenten is dit wat minder. Aangezien waterdamp een sterk broeikasgas is, vergroot de waterdampfeedback de klimaatgevoeligheid.

Crok schrijft op pagina 125 en verder dat klimaatmodellen de positieve feedback van waterdamp overdrijven. Onderaan pagina 127 staat *'Die sterke opwarming in de modellen is echter niet het gevolg van een hogere concentratie aan waterdamp hoger in de atmosfeer, maar van een onrealistisch lage verdamping aan het oppervlak.'* En: *'Klimaatmodellen komen met hun uitkomsten helemaal niet in de buurt van die 6 procent verdamping, maar veel lager, tussen de 1 en de 3 procent (Wentz et al., 2007). In eerste instantie verwacht je dat minder verdamping in de modellen tot minder waterdamp in de atmosfeer en dus tot minder opwarming zou moeten leiden. Maar Kinninmonth legt uit dat dat niet het geval is.'* Dit schrijft Crok op basis van één op internet gepubliceerde studie van Kinninmonth en op basis van satellietmetingen van de toename van de verdamping waarvoor hij geen enkele bron geeft.

Hier verwacht Kinninmonth de toename van de waterdampinhoud van de atmosfeer met de snelheid van verdamping aan het aardoppervlak. Dit laatste heeft te maken met de hoeveelheid neerslag, die jaarlijks in de wereld valt. Dit is een maat voor de snelheid waarmee water verdampt, condenseert en als neerslag weer teruggeven wordt aan het aardoppervlak. Klimaatmodellen laten inderdaad een neerslagtoename zien tussen de 1 en 3% per graad. De toename van de waterdampinhoud van de atmosfeer is gekoppeld aan de temperatuur en is hiermee een 'niveaugrootheid' in tegenstelling tot de neerslagtoename, die een 'stroomgrootheid' is. Natuurlijk is deze extra waterdamp afkomstig van het aardoppervlak en moet dus ooit verdampt zijn, maar dit gebeurt over de gehele periode waarin de temperatuur stijgt. Omgerekend is deze term veel kleiner dan die van de toename van de neerslag. In termen van fysische eenheden: de toename in waterdamp wordt uitgedrukt in J per graad Celsius, terwijl de toename van de hoeveelheid neerslag wordt uitgedrukt in J/s(=W) per graad Celsius.

Als voorbeeld zijn hier de orde van grootte van de getallen voor neerslagtoename en vochttoename in de atmosfeer over de 20ste eeuw, waarin de temperatuur met 0,7 tot 0,8 graden is gestegen:

Neerslagtoename: De neerslagtoename bij 0,75 graden temperatuurstijging vergt een toename in de verdamping aan het aardoppervlak corresponderend met een energiestroom van 0,6 – 1,8 W/m² (namelijk 0.75-2.25% van 80 W/m², nodig om de gemiddelde hoeveelheid jaarlijkse neerslag van circa 1 meter in stand te houden).

Vochttoename: De vochtinhoud van de atmosfeer is in de 20ste eeuw met circa 5% gestegen (0,75°C x 6,5%/°C). Dit komt overeen met circa 1 Kg/m² extra waterdamp. Verdamping van die hoeveelheid water vergt 2,5 MJ/m² in honderd jaar. De energiestroom, die hier mee gemoeid is dan 0,0008 W/m² (namelijk 2,5 MJ/m² gedeeld door 3Gs). Het is evident dat dit verwaarloosbaar is ten opzichte van de energiestroom die nodig is voor de toename in neerslag.

3.4.3 Hot spot: de Lapse rate feedback

Crok stelt op p.121 dat de hot spot – de sterkere opwarming in de tropische hogere troposfeer dan aan het aardoppervlak – een 'fingerprint' is van het versterkte broeikaseffect door CO₂. Volgens Crok biedt dit een unieke kans om het versterkte broeikaseffect te bewijzen met observaties, omdat de zon de hot spot niet zou geven.

Crok ziet hier over het hoofd dat de hot spot een gevolg is van de zogeheten lapse rate feedback: bij een verhoging van de temperatuur aan het aardoppervlak door wat voor reden dan ook (meer CO₂ of meer zon) neemt de verdamping toe. Dit vocht wordt door convectie naar grotere hoogten gevoerd alwaar het condenseert omdat het daar kouder is. Bij dit condensatieproces komt warmte vrij. Hoe vochtiger de lucht, des te kleiner wordt de temperatuurafname met de hoogte, ook wel lapse rate genoemd. Dit veroorzaakt een sterkere opwarming in de hogere troposfeer dan aan het aardoppervlak.

Dit effect is zichtbaar in de onderstaande figuur (figuur 9.1 uit IPCC, 2007) voor zowel de toename van de lichtkracht van de zon (zie a) als de toename in broeikasgassen (zie c). De reden dat de lapse rate feedback in modellen veel duidelijker zichtbaar is voor broeikasgassen dan voor de zon, is dat de forcering door broeikasgassen vele malen groter is dan door de zon

in de periode 1890-1999. Wat wel uniek is voor broeikasgassen, met name CO₂, is de afkoeling van de stratosfeer (boven het 100 hPa niveau in de tropen). Helaas krijgt de beschrijving van die 'fingerprint' geen plek in het boek van Crok.

De lapse rate feedback en de waterdamp feedback zijn gekoppeld. Hoe sterker positief de waterdamp feedback, des te sterker negatief is de lapse rate feedback. Daardoor is de spreiding tussen klimaatmodellen in de som van deze feedbacks aanzienlijk kleiner dan in de feedbacks apart (Soden and Held, 2006).

Dit alles neemt niet weg dat de meeste klimaatmodellen een sterkere opwarming in de hogere troposfeer in de tropen laten zien dan de waarnemingen en dan vooral op langere tijdschalen. Op de tijdschaal van maanden en jaren laten de radiosonde (Free et al., 2005; Thorne et al., 2005) en satellietwaarnemingen (RSS, UAH) wel een versterking van de temperatuurvariaties in de hogere troposfeer zien, die in overeenstemming is met klimaatmodellen. Alleen de RSS data laten ook op de langere tijdschalen de lapse rate feedback zien. Verschillen tussen de versterkingseffecten in de hoge troposfeer op de langere en kortere termijn worden mogelijk veroorzaakt door verschillen in fysische mechanismen. Een mogelijke verklaring voor de discrepanties tussen model en waarneming is dat in de klimaatmodellen de verantwoordelijke fysische mechanismen, die versterking tegenwerken op een tijdschaal van decennia, onvoldoende verdisconteerd zijn. Een meer waarschijnlijke verklaring lijkt dat in sommige reeksen van de waarnemingen onjuiste lange-termijn trends zitten en dat er wereldgemiddeld wel degelijk sprake is van een sterkere opwarming rond 10 km hoogte (zie bijvoorbeeld Karl et al., 2006).

Vervolgens wordt op pagina 124 gesteld dat *“Richard Lindzen er in een artikel uit 2007 op wijst dat uit het ontbreken van de hot spot een limiet volgt voor de bijdrage van CO₂ aan de recente opwarming. De theorie en de modellen geven immers aan dat de opwarming op 10 kilometer in de tropen twee tot drie keer zo sterk moet zijn als aan het oppervlak. Die verhouding tussen oppervlak en atmosfeer is wat Lindzen betreft plausibel. Dus vervolgens kan uit de trend op 10 kilometer ‘berekend’ worden wat de bijdrage is geweest van CO₂ aan de recente opwarming. Hoog in de troposfeer was er een opwarming van zo’n 0,1 graden per decennium. Als we die opwarming volledig toeschrijven aan CO₂ en andere broeikasgassen (wat niet noodzakelijkerwijs het geval hoeft te zijn) en delen door respectievelijk twee en drie, dan houden we een opwarming over aan het oppervlak van tussen de 0,033 en 0,05 graad per decennium.”*

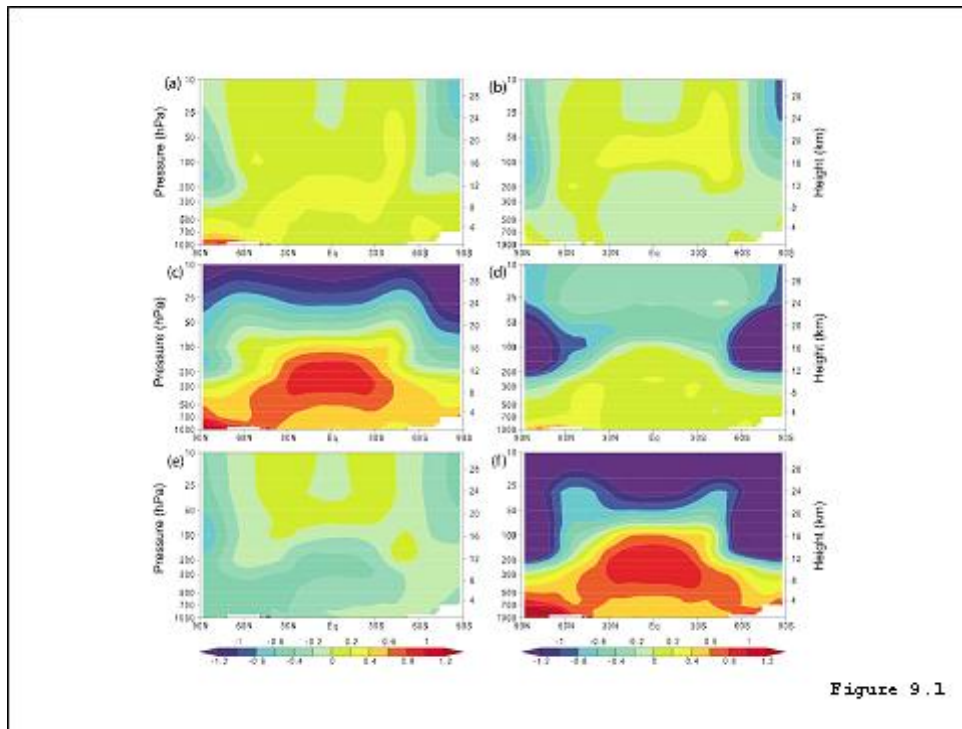


Figure 9.1

Deze figuur toont het zonaal gemiddelde temperatuurverandering in de atmosfeer tot 30 km hoogte (10 hPa) van 1890 tot 1999 ($^{\circ}\text{C}$ per eeuw), zoals gesimuleerd door het PCM model voor (a) zonneforcering, (b) vulkanen, (c) goed gemengde broeikasgassen, (d) troposferische en stratosferische ozon veranderingen, (e) directe sulfaat aërosol forcering en (f) de som van alle forceringen. [Bron IPCC AR4 WG1 Figure 9.1, based on Santer et al. (2003).]

Maar uit de trend op 10 km hoogte kan niet de bijdrage van CO_2 aan de recente opwarming berekend worden. Het eventueel ontbreken van de hot spot in de waarneming, zoals Crok stelt, zou iets kunnen zeggen over het ontbreken of zwakker zijn van de lapse rate feedback. Aangezien dit een negatieve feedback is, volgt uit het zwakker zijn van deze feedback dat de klimaatgevoeligheid in werkelijkheid juist groter zou moeten zijn dan uit de modellen volgt.

Meer in zijn algemeenheid zijn de getallen die Crok noemt voor de bijdrage van CO_2 aan de opwarming onjuist door verschillende overschattingen en onderschattingen en schijnbaar logische argumenten. Ten eerste lijkt Crok de tropen met het wereldgemiddelde te verwarren. Een eventuele berekening van CO_2 aan de recente opwarming kan alleen op het schaalniveau van de gehele wereld worden berekend door te kijken naar de totale wereldgemiddelde stralingsforcering en de wereldgemiddelde temperatuurverandering. De wereldgemiddelde hot spot in de modellen is in de orde van 15% (=verschil gemiddelde temperatuurtrend in de modellen over 0-13 km en de oppervlaktetemperatuur) (Karl et al., 2006). Ten tweede neemt Crok te hoge getallen aan voor de hot spot in de tropen, namelijk een factor 2 tot 3 sterkere opwarming in de hogere troposfeer dan aan het aardoppervlak. Volgens Karl et al. (2006) is het verschil tussen de gemiddelde temperatuurtrend op 0 tot 18 km in de tropen en de oppervlaktetemperatuur in de orde van 50% (factor 1,5). Ten derde onderschat Crok de temperatuurtrend hoog in de troposfeer in de MSU (satelliet)metingen (pagina 124). Deze is 0,14 graad per decennium in plaats van 0.1 graad per decennium.

3.5 Cirkelredenering

Op pagina 114 stelt Crok dat de ‘bewijsvoering’ in het IPCC-rapport een cirkelredenering is: “De IPCC-onderzoekers nemen aan dat natuurlijke invloeden gering zijn en stoppen dat in hun modellen. Ze stoppen tevens in hun modellen dat het klimaat opwarmt onder invloed van broeikasgassen. Vervolgens doen ze een simulatie en concluderen dat de mens de aarde opwarmt”.

In werkelijkheid stoppen wetenschappers veranderingen van concentraties van broeikasgassen en aerosolen van vulkanische en industriële oorsprong en lichtkrachtvariaties van de zon in hun modellen. Het samenspel van de vele fysische en chemische processen als gevolg van deze natuurlijke en menselijke invloeden in de modellen bepalen wat dergelijke veranderingen voor de temperatuur betekenen.

Dit neemt niet weg dat de onzekerheid in de verschillende componenten van het klimaatstelsel, zoals bijvoorbeeld het indirecte aerosoleffect¹⁴, ruimte biedt om de klimaatmodellen bij te sturen zodat de uitkomst zo dicht mogelijk bij de waarnemingen komt te liggen. Zo kan bijvoorbeeld binnen zekere grenzen gevarieerd worden met de manier waarop aerosolen de microfysische processen in wolken kunnen beïnvloeden. Modelversies die het best de waargenomen temperatuurveranderingen kunnen verklaren hebben dan de voorkeur (Kiehl, 2007). De onzekerheid in al deze processen vertaalt zich één op één in de range van klimaatgevoeligheid, zoals door IPCC (2007) op basis van de vele studies is weergegeven. Hierdoor wordt bijvoorbeeld de onzekerheid in de werking van aerosolen verdisconteerd in de bandbreedte van klimaatprojecties in de 21ste eeuw.

4 Enkele voorbeelden van selectief winkelen

We behandelen enkele voorbeelden over hoe selectief Crok omgaat met wetenschappelijke artikelen waar hij naar refereert. Dit betreft bijvoorbeeld de regionale effecten van aerosolen en de invloed van langjarige schommelingen in de circulatie op de wereldgemiddelde temperatuur uit hoofdstuk 5 “Kan opwarming veroorzaakt zijn door iets anders dan CO₂?”.

4.1 Regionale effecten van aerosolen

In zijn boek stelt Crok dat aerosolen veel groter effect op het regionale klimaat hebben dan CO₂ op regionale schaal. Op pagina 160 meldt de auteur het volgende: 'In 2006 publiceerden Pielke en zijn toenmalige promovendus Toshihisa Matsui een artikel waarin ze lieten zien dat de regionale effecten van aerosolen in de tropen wel zestig keer zo groot kunnen zijn als die van broeikasgassen.' Hieraan gerelateerd wordt de afkoelende werking van aerosolen beschreven.

Maar Matsui en Pielke hebben de gradiënt¹⁵ van stralingsforcering bestudeerd en tonen aan dat deze instantaan en lokaal maximaal zestig keer zo groot kan zijn voor aerosolen t.o.v. broeikasgassen. De auteurs stellen dat dit resultaat mogelijk kan leiden tot regionale effecten in de dynamica, maar dat hebben ze niet kunnen kwantificeren vanwege de beperkingen in de gebruikte methode.

¹⁴ Indirecte aerosol effect: aerosolen kunnen leiden tot een indirecte stralingsforcering van het klimaatstelsel, bijvoorbeeld door veranderingen van wolkeneigenschappen, zoals reflecterend vermogen en levensduur.

¹⁵ Gradiënt: een maat voor de ruimtelijke variatie.

Overigens is dit een bekend fenomeen in de wetenschap. Ruimtelijke gradienten in broeikasgassen zijn veel kleiner dan die van deeltjes, omdat broeikasgassen veel langer leven in de atmosfeer. Matsui en Pielke bedoelen dus wat anders dan opwarming of afkoeling. Sterker nog, hun grafiek (figuur 4) vertoont de berekende stralingsforcering zelf die aardig overeen komt met de resultaten in het IPCC rapport. De bevinding die Matsui en Pielke uit hun studie halen is dat er een nieuwe methode is die de gradient van stralingsforcering bepaalt.

Verder stelt Crok over dit artikel het volgende op pagina 160: 'Op basis van een jaar lang meten (van maart 2000 tot en met februari 2001) was er boven in de atmosfeer sprake van een koelend effect. Aan de grond was de afkoeling echter bijna viermaal zo groot!'

Dit is een normaal verschijnsel en de getallen hangen geheel af van de fysische eigenschappen van de oppervlak en de atmosfeer daar tussen in. Dit staat beschreven in het IPCC rapport (WGI) in hoofdstuk 2, paragraaf 2.4.1. Bovendien geldt dit resultaat voor een pluim aan de westkust van Afrika die het gemiddelde in het tropische volledig domineert. Deze effecten zijn in de wetenschappelijke wereld bekend en worden uitvoerig beschreven in het IPCC rapport (WGI) in hoofdstuk 11.

Vervolgens wordt op pagina 160 gesteld dat de grootschalige klimaatmodellen regionale effecten van aërosolen op de circulatie tot op heden niet in kaart kunnen brengen. Maar in hoofdstuk 11, paragraaf 11.2.3 van het IPCC rapport van WGI staat dat er gekoppelde mondiale en regionale modelberekeningen zijn. In het vakjargon worden dit geneste modellen genoemd, waarin fijnmazige modellen voor bepaalde regio's worden aangestuurd vanuit de grofmazige modellen die de mondiale schaal beschrijven. Thans zijn er talloze voorbeelden van geneste runs met aërosolen. Er zijn momenteel zelfs mondiale modellen met een horizontale ruimtelijke resolutie van 25 bij 25 km die typisch is voor regionale modellen, maar dan dus zelfs op mondiale schaal.

4.2 Invloed Pacific Decadal Oscillation op temperatuurtrends

De zogenaamde Pacific Decadal Oscillation (PDO) is een natuurlijke schommeling in de atmosfeer die de temperatuurtrends beïnvloedt. Het is de vraag hoe veel de PDO heeft bijgedragen aan de mondiale opwarming. Crok stelt in zijn boek op pagina 132 dat deze vraag door het IPCC niet gesteld is.

Het antwoord is niet eenduidig te geven. In het laatste IPCC rapport (2007) staat een uitvoerige beschrijving in verschillende hoofdstukken over de PDO. Een kort overzicht.

Hoofdstuk 3 en hoofdstuk 8:

Paragrafen 3.2.2.3, 3.6.1, 3.6.3 en 8.4.2. Hier wordt beschreven dat diverse natuurlijke oscillaties verbonden zijn aan de PDO (teleconnecties). In 3.2.2.3 wordt een relatie gelegd met het temperatuurverloop in de vorige eeuw.

In paragraaf 3.6.3 wordt ook benadrukt dat het lastig is de PDO goed te beschrijven doordat de meetdata een te korte periode beslaan. Bovendien zijn er inconsistenties met historische meetdata. Het karakter van de PDO wordt zelfs ter discussie gesteld (is het een aparte oscillatie of een mix van diverse oscillaties?). Ook hier wordt de lage-frequentievariabiliteit en het verloop in de vorige eeuw beschreven.

Hoofdstuk 8:

Paragraaf 8.4.2. Hier wordt beschreven in hoeverre gekoppelde ocean-atmosfeermodellen de PDO en het palet aan frequenties in de natuurlijke variabiliteit in de tropen kunnen simuleren. Ook hier worden problemen benadrukt als er naar frequenties van 10 jaar of langer wordt gekeken, waarbij het lastig is de modellen adequaat te valideren door gebrek aan meetdata en dat er te weinig studies zijn verricht voor een robuust resultaat.

Hoofdstuk 9:

Paragraaf 9.5.3: Hier wordt aangegeven dat de modellen geen consistent beeld geven wat betreft de natuurlijke atmosferische oscillaties (met de PDO een van de als leidende frequenties) en hun klimaatgevoeligheid. Ook wordt vermeld dat de modeluitkomsten een lage betrouwbaarheid hebben door verschillen met de meetdata, het geringe inzicht in de relatie met externe forceringen, en de weinige beschikbare studies.

Hoofdstuk 10:

Vervolgens wordt in hoofdstuk 10 wederom benadrukt dat het lastig is verschil te maken tussen een externe forcering van natuurlijke atmosferische variabiliteiten in de tropen en forcering van lage-frequentie variabiliteiten (zoals de PDO). Ook wordt aangegeven dat de amplitude van de variabiliteiten modelafhankelijk zijn.

In het IPCC rapport wordt dus uitvoerig het onderzoek aan de PDO beschreven met vele referenties in vier verschillende hoofdstukken.

4.3 Klimaatverandering en orkanen

In hoofdstuk 6 komt de relatie tussen orkanen en klimaatverandering aan de orde. Op pagina 182 stelt Crok: “In het derde rapport in 2001 was het IPCC heel voorzichtig over de relatie tussen rampen en klimaatverandering, maar in het vierde rapport gaat het mis.”

En een paar pagina's verder: ‘De verbazing was dan ook groot bij Pielke toen het IPCC-rapport in 2007 verscheen. Het IPCC concludeerde dat er na correctie voor economische ontwikkeling nog steeds een stijgende trend in de data [red: dat wil zeggen de data met betrekking tot schade] zit.’

De ‘conclusie’ van het IPCC waarop Pielke zich baseert komt uit hoofdstuk 1 van het IPCC rapport van WGII (eerste alinea van paragraaf 1.3.8.5 op pagina 110): *‘Global losses reveal rapidly rising costs due to extreme weather-related events since the 1970s. One study has found that while the dominant signal remains that of the significant increases in the values of exposure at risk, once losses are normalised for exposure, there still remains an underlying rising trend.’*

Dit staat in een samenvattende paragraaf. Hoewel het IPCC hiermee niet de generieke conclusie trekt dat er inderdaad na normalisatie een stijgende trend is (immers, er wordt gesproken over slechts ‘één’ studie), wordt inderdaad door het IPCC de suggestie gewekt van zo'n trend.

Ook laat Crok op pagina 183 een figuur zien die komt uit het ‘Supplementary Material’ (SM) bij hoofdstuk 1 (figuur SM1.1) van het IPCC rapport van werkgroep II. De figuur suggereert dat er een relatie is tussen toegenomen schade en mondiale temperatuurstijging, al staat dit *niet* letterlijk in het bijschrift:

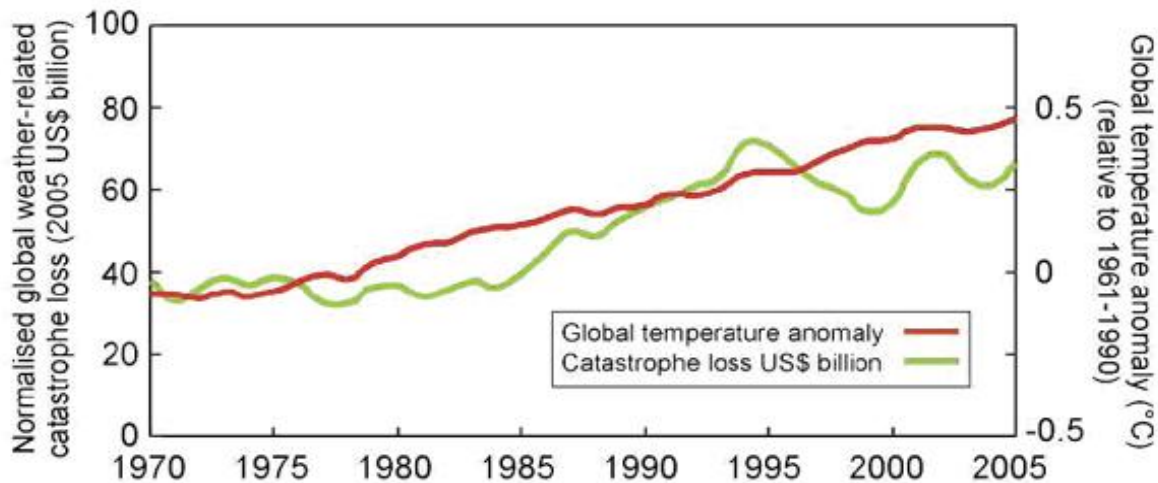


Figure SM-1.1. An example from the literature of one study analysing rising costs of normalised weather-related catastrophes compared with global temperatures. Data smoothed over ± 4 years = 9 years until 2001 (Muir Wood et al., 2006).

Belangrijker is dat op het punt in het hoofdrapport van WGII waar verwezen wordt naar deze figuur (laatste alinea van paragraaf 1.3.8.4 op pagina 110), niet wordt gesteld dat er een verband is tussen temperatuurstijging en schade:

'Once the data were normalised, a small statistically significant trend was found for an increase in annual catastrophe loss since 1970 of 2% per year (see Supplementary Material Figure SMI.1). However, for a number of regions, such as Australia and India, normalised losses show a statistically significant reduction since 1970. The significance of the upward trend is influenced by the losses in the USA and the Caribbean in 2004 and 2005 and is arguably biased by the relative wealth of the USA, particularly relative to India.'

Vervolgens staat in hoofdstuk 14 van het IPCC rapport van WGII een figuur (14.1e) die het verloop van een aantal indicatoren sinds 1900 weergeeft met betrekking tot orkanen in de VS: economische schade, aantallen doden en een index voor de sterkte van orkanen (de PDI). In de begeleidende tekst wordt niet gesteld dat er een relatie is met klimaatverandering. Integendeel, de verklaring wordt gezocht in geheel andere oorzaken (toename in de waarde van huizen en andere bezittingen en de bevolkingsgroei in risicogebieden).

Tenslotte wordt in paragraaf 3.8.3 beschreven hoe lastig het is trends te bepalen uit een ingewikkeld fysisch proces als een orkaan. Voor bepaalde variabelen (ACE – Accumulated Cyclone Energy) zijn de data niet betrouwbaar genoeg, bij een andere (PI, potential Intensity) vertonen de metingen contaminatie. En voor weer een andere index (PDI, Power Dissipation Index) wordt een discussie binnen de wetenschappelijke gemeenschap beschreven over de interpretatie van de meetdata. Tevens wordt benadrukt dat er geen algemene trend blijkt te zijn, en dat de data records niet lang genoeg zijn om betrouwbare trends te bepalen.

4.4 Afsmelten van Groenland

Op pagina 196 stelt Crok in zijn betoog over het afsmelten van Groenland: “Maar een correctie op deze schattingen (van Van den Broeke et al., 2009) verscheen met medewerking van de Delftse aardwetenschapper Bert Vermeersen op 15 augustus 2010 in *Nature Geoscience* (Wu et al., 2010). De alarmisten (refererend naar Van den Broeke et al., 2009) blijken het ijsverlies bij Groenland en Alaska met een factor twee te overschatten.”

Maar bij analyse van dit artikel komt een genuanceerder beeld te voorschijn. De auteurs vermelden weliswaar de factor twee, maar alleen voor een periode van 7 jaar (2002 – 2008), waarbij ze melden dat deze periode erg kort is en dat de schatting in conflict is met de langere termijn schattingen (33 jaar). Verder melden ze dat er grote onzekerheden aan de schatting kleven, zeker in het gehele binnenlands gebied van Groenland.

De conclusie in dit artikel is dus veel genuanceerder. Na het uitbrengen van het boek van Crok is een wetenschappelijke artikel van Khan et al. (2010) verschenen. Khan et al. hebben een vergelijkbare analyse uitgevoerd en laten zien dat het smelten van Groenland grote ruimtelijke variabiliteit vertoont en per saldo juist meer ijs verliest na 2003.

Het gaat hier niet zo zeer om welk artikel de juiste informatie geeft. Beide artikelen benadrukken de grote variabiliteit op Groenland in ruimte en tijd, en dat de meetmethode (satelliet en GPS samen) vele onnauwkeurigheden bevat en nog in de kinderschoenen staat.