



PBL-Notitie

De achtergrond van het klimaatprobleem

Auteurs: Bart Strengers (PBL), Rob van Dorland (KNMI) en Leo Meyer (PBL)

Met bijdragen van: Willem Ligtoet (PBL), Jelle van Minnen (PBL), Detlef van Vuuren (PBL), Andries Hof (PBL) en Geert Jan van Oldenborgh (KNMI).

Contact: Pieter.Boot@pbl.nl

Den Haag, 14 januari 2013

Publicatienummer: 500103001

SAMENVATTING

Er is veel discussie over klimaatverandering, zowel in de wetenschap als in het publieke domein. Een belangrijk verschil is dat er in het publieke domein regelmatig vragen aan de orde komen die in het wetenschappelijke domein nauwelijks meer een issue zijn. Dit zijn veelal meer algemene issues zoals de vraag of de aarde echt wel opwarmt en of de mens de belangrijkste veroorzaker is. In de wetenschap zijn de discussies veel meer toegespitst op vragen zoals de verwachte extra zeespiegelstijging als gevolg van het versneld afsmelten van landijs. Het PBL en KNMI hebben bijgaande notitie geschreven waarin op basis van recente literatuur wordt gepoogd in hoofdlijnen aan te geven wat de huidige stand van de klimaatwetenschap is op een aantal cruciale terreinen. Daarbij wordt aangegeven met welke mate van zekerheid bepaalde uitspraken gedaan kunnen worden.

Een korte samenvatting van de stand van de klimaatkennis zoals die in deze notitie wordt uitgewerkt is:

- Het is onomstotelijk vastgesteld dat sinds de industriële revolutie de aarde opwarmt, het land- en zee-ijs smelt, en de zeespiegel stijgt.
- Het is zeker dat de concentratie van CO₂ met bijna 40% is toegenomen sinds het begin van de industriële revolutie. Ook staat vast dat deze toename van CO₂ veroorzaakt is door menselijke activiteiten.
- Vanuit de natuurkunde is bekend dat broeikasgassen, waaronder CO₂, de aarde doen opwarmen. Het is inmiddels zo goed als zeker dat een groot deel van de recente opwarming is veroorzaakt door de door de mens uitgestoten broeikasgassen. Tegenover de opwarmende werking van de broeikasgassen staat de koelende werking van aerosolen (stofdeeltjes) die eveneens van menselijke activiteiten afkomstig zijn. De mate van koelende werking bevat onzekerheden, maar per saldo overheerst de opwarming.
- Er is onzekerheid over de precieze invloed van de broeikasgassen op de wereldgemiddelde temperatuur. Het waarschijnlijke effect van een verdubbeling van de CO₂-concentratie op de temperatuur (de zgn. klimaatgevoeligheid) ligt tussen 2,0 en 4,5 graden Celsius, met een meest waarschijnlijke waarde van 3 graden.
- De gevolgen van de opwarming (mondiaal ca. 0,8 graden boven de pre-industriële temperatuur en 1,7 graden in Nederland) zijn nu al merkbaar. Hittegolven, droogte, overstromingen, schade aan ecosystemen, bedreiging van de voedselproductie en schade aan de gezondheid worden naar verwachting in de toekomst heviger bij een stijgende wereldgemiddelde temperatuur.
- Op basis van de huidige kennis is de kans op catastrofes of 'tipping points' niet in te schatten, maar zeker niet nul. Hierbij kan worden gedacht aan het vrijkomen van grote hoeveelheden methaan uit smeltende permafrost gebieden of de oceaانبodem- leidend tot extreme opwarming -, het afsterven van het Amazonewoud door droogte, of meters zeespiegelstijging door versneld afsmelten van ijskappen.
- Wat betreft het watermanagement lijkt Nederland redelijk goed voorbereid op de effecten van klimaatverandering, zoals met name verdere zeespiegelstijging, meer extreme regenval en verhoogde piek-afvoeren van de grote rivieren. Over de invloed van klimaatverandering op andere sectoren in Nederland is nog minder bekend.
- Zonder klimaatbeleid kan de gemiddelde temperatuur in 2100 stijgen met 4 tot 6,5 graden ten opzichte van het pre-industriële niveau. Met een drastische aanpak van de broeikasgassen kan dit worden beperkt tot 1,3 à 2,8 graden. Omdat de kosten en baten van klimaatbeleid moeilijk zijn aan te geven is er eerder sprake van het beperken van risico's dan van een precieze kosten-baten afweging.

INLEIDING

Deze notitie legt in kort bestek puntsgewijs uit wat het klimaatprobleem inhoudt, hoe zeker respectievelijk onzeker de wetenschap hierover is, en wat de oplossingsrichtingen zijn. PBL en KNMI baseren zich op recente literatuur. De notitie pretendeert geen volledigheid.

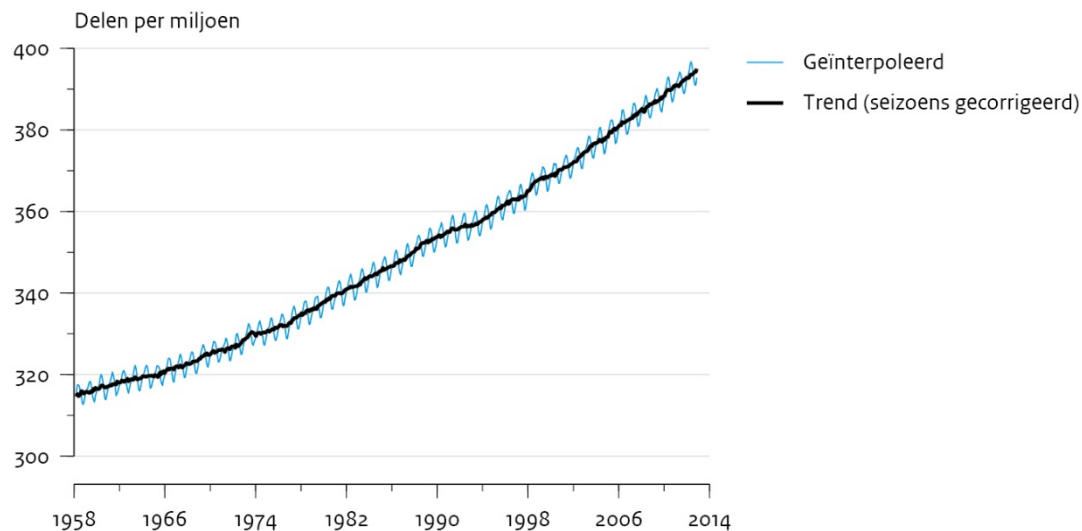
Achtereenvolgens worden behandeld: 1. De rol van CO₂; 2. Opwarming van de aarde; 3. De relatie tussen broeikasgassen en opwarming; 4. De gevolgen van klimaatverandering; 5. Mondiale toekomstscenario's en kosten-baten analyses.

1. DE ROL VAN CO₂

1.1 Het is zeker dat de concentratie (of het gehalte) van koolstofdioxide (CO₂) en andere broeikasgassen in de atmosfeer sterk is toegenomen sinds het begin van de industriële revolutie.

Metingen van CO₂ concentraties op de vulkaan de Mauna Loa op Hawaii op 3400m hoogte zijn vanaf 1958 beschikbaar [1]¹, zie figuur 1. De CO₂-concentratie is het hoogst sinds in ieder geval 800.000 jaar, zoals afgeleid uit belletjes in het ijs van Antarctica [2] en waarschijnlijk sinds 25 miljoen jaar [3]. De huidige CO₂-concentratie is 393 parts per million (ppm), een toename van ongeveer 113 ppm of 40% sinds 1860.

CO₂-concentratie Mauna Loa (Hawaii)



Figuur 1. De concentratie van CO₂ in de atmosfeer zoals gemeten op Mauna Loa (Hawaii). De regelmatige schommelingen rond de opgaande zwarte trendlijn worden veroorzaakt doordat het overgrote deel van de bladverliezende bomen zich op het Noordelijk halfrond bevindt: in de herfst leidt dit tot extra uitstoot van CO₂ en in het voorjaar als de vegetatie weer gaat groeien tot een sterke opname. Bron: [1].

¹ In de tekst staan literatuurverwijzingen aangegeven tussen vierkante haken. Dus [1] verwijst naar de eerste studie (of in dit geval een website) in de lijst van referenties die is opgenomen aan het einde van dit document.

Naast CO₂ zijn methaan (CH₄) en lachgas (N₂O) de belangrijkste broeikasgassen, die door menselijke activiteiten toenemen. Vooral de concentratie van methaan is sterk toegenomen, sinds 1750 met ongeveer 150% (van 700 parts per billion of ppb naar bijna 1800 ppb) [4]. De toename van de lachgas-concentratie sinds 1750 ligt rond de 10% [4].

1.2 Het is zeker dat deze toename van CO₂ afkomstig is van menselijke activiteiten.

Er zijn verschillende types van koolstof in de lucht, de zogenaamde koolstof-isotopen. Het meest voorkomende isotoop van koolstof is koolstof-12 (C-12). Een zwaarder type van koolstof is C-13, die ongeveer 1% van het totaal uitmaakt. Planten gebruiken voor hun groei vooral C12 en daardoor is het percentage C13 in een plant lager dan in de atmosfeer.

Fossiele brandstoffen zoals steenkool of olie ontstaan uit planten en bevatten dus vooral C-12. Bij verbranding komen hoofdzakelijk CO₂ en water vrij. Aangezien de vrijgekomen CO₂ het lichtere C-12 bevat, daalt de verhouding C-13/C-12 in de atmosfeer. Deze daling is ook waargenomen in de atmosfeer, in koraal en in zee-sponzen en is een zeer sterke aanwijzing dat de toename van CO₂ in de lucht een gevolg is van de menselijke emissies [5]. Bovendien wordt bij verbranding van fossiele brandstof niet alleen CO₂ geproduceerd maar ook zuurstof verbruikt (O₂). Nauwkeurige metingen in de laatste 20 jaar laten een afname van de zuurstofconcentratie zien en vormen een onafhankelijke aanwijzing dat de CO₂-toename in de atmosfeer noch door vulkanische activiteit, noch door de opwarming van de oceanen wordt veroorzaakt. Die beide oorzaken van CO₂-uitstoot gaan niet gepaard met zuurstofgebruik. De zuurstofmetingen laten bovendien een verschil zien tussen het noordelijk en zuidelijk halfrond dat goed past bij de hogere emissies van CO₂ op het noordelijk halfrond [6].

2. OPWARMING VAN DE AARDE

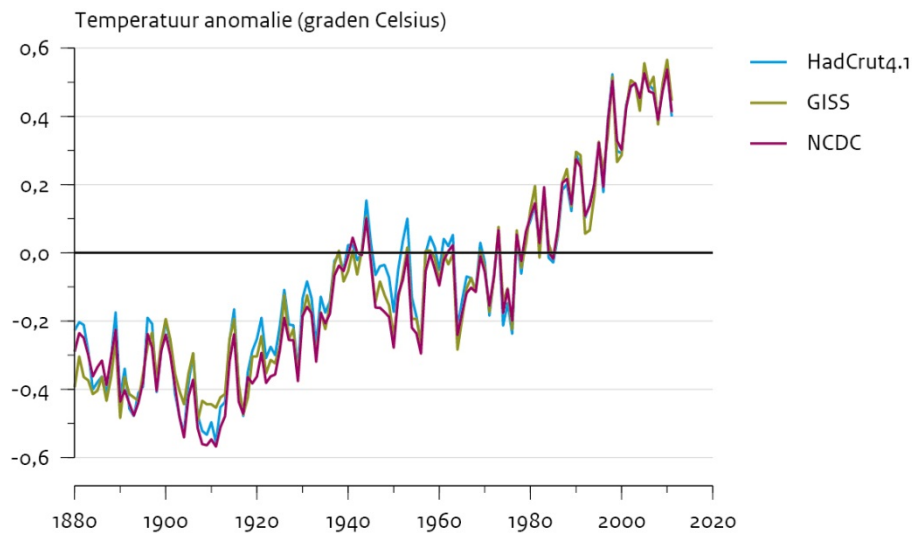
2.1. Het is zeker dat sinds de industriële revolutie de aarde opwarmt. Dit blijkt uit de toename van de gemeten mondiaal gemiddelde temperatuur en een reeks van andere aanwijzingen .

Dat de aarde opwarmt blijkt niet alleen uit de mondiale temperatuurstijging met ongeveer 0,8 graden sinds 1900 [12] (zie figuur 2), maar ook uit andere aanwijzingen die passen bij het beeld van een opwarmende planeet (zie figuur 3):

- Het smelten van gletsjers, die wereldwijd sinds 1850 gemiddeld 1500 meter korter zijn geworden [13].
- Smelten van de ijskappen op Antarctica, maar vooral Groenland [14], zie figuur 4.
- Sterke afname van het zee-ijs in de Noordelijke IJszee waarvan het minimum oppervlak in de zomer sinds 1979 met bijna de helft is afgenomen[15], zie figuur 5, en het volume zelfs met 80% [16]. Overigens neemt het zee-ijs rond Antarctica enigszins toe; dat lijkt vooral het gevolg van het smelten van het landijs waardoor het water rond Antarctica afkoelt [23].
- Mondiale zeespiegelstijging met 20 cm sinds 1880. De belangrijkste oorzaken daarvan zijn het uitzetten van het oceaanoewater bij een hogere temperatuur en de bijdrage van de smeltende gletsjers en ijskappen [54]. Volgens de satellietmetingen is sinds 1993 de stijging toegenomen tot ruim 3 mm per jaar [17], zie figuur 6.
- Het oceaanoewater wordt warmer [18]; men spreekt over een toename van de *warmte-inhoud* van de oceanen. Dit vergroot ook het volume van het oceaanoewater.
- Opwarming leidt tot meer verdamping van water en een toename van het vochtgehalte van de atmosfeer met ongeveer 1,2% per decennium. [4].

- Afname van de sneeuwbedekking op het Noordelijke halfrond sinds de jaren '70 met ongeveer 10% in het voorjaar [19] en met bijna 50% in de zomer [20].
- Het eerder beginnen van de lente met 3 à 4 dagen per decennium sinds 1970 [21].
- Verschuiving van de boomgrens en migratie van diersoorten richting noorden en bergopwaarts [22].

Mondiale temperatuurstijging en opzichte van gemiddelde 1961 - 1990

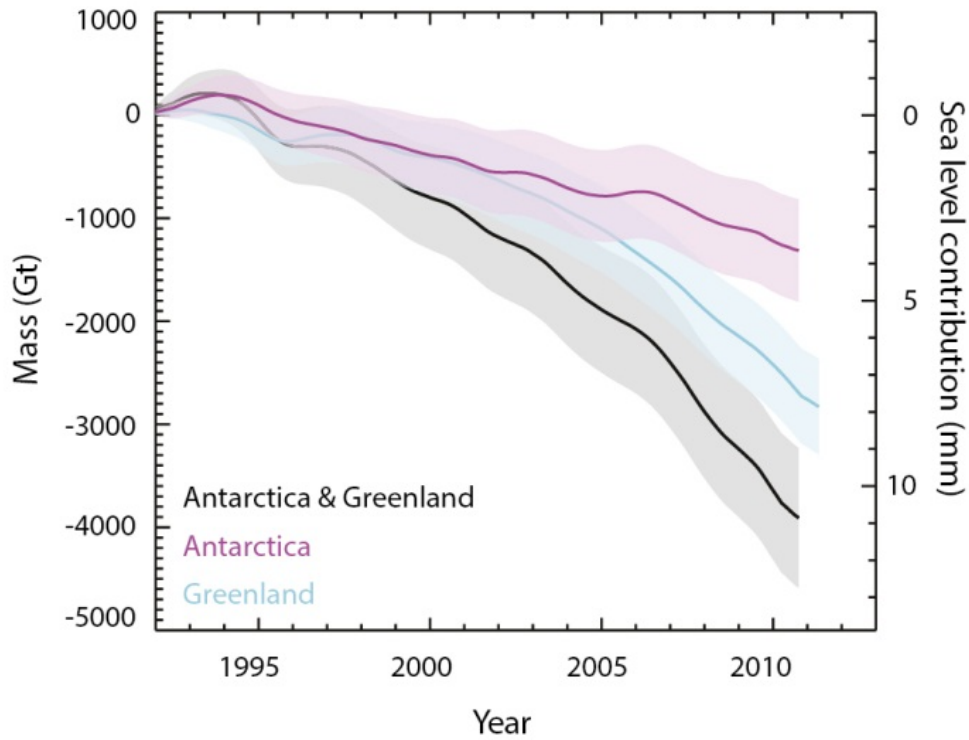


Figuur 2. Mondiale temperatuurstijging sinds 1880 op basis van metingen boven land en zee sinds 1880 volgens de 3 belangrijkste instituten die deze reeksen samenstellen: Climate Research Unit in Engeland (HadCrut4.1), Goddard Institute for Space Studies van NASA in de VS (GISS) en het National Climate Data Center in de VS (NCDC). Bron: [12].



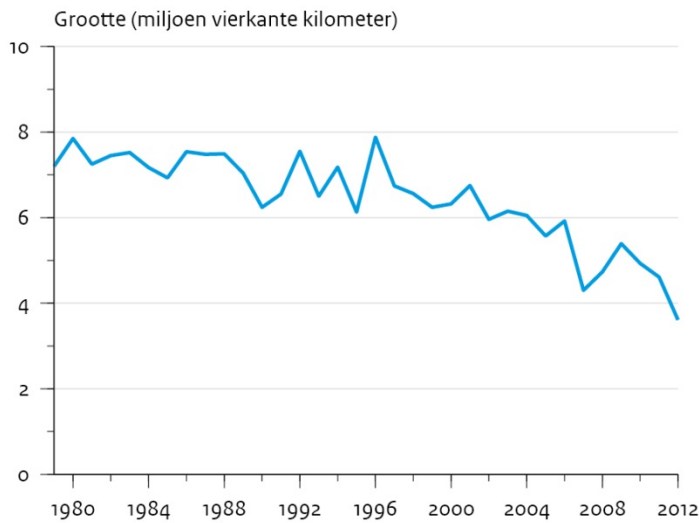
Parmesan & Yohe 2003³², NOAA³⁴

Figuur 3. Indicatoren die duiden op mondiale opwarming.

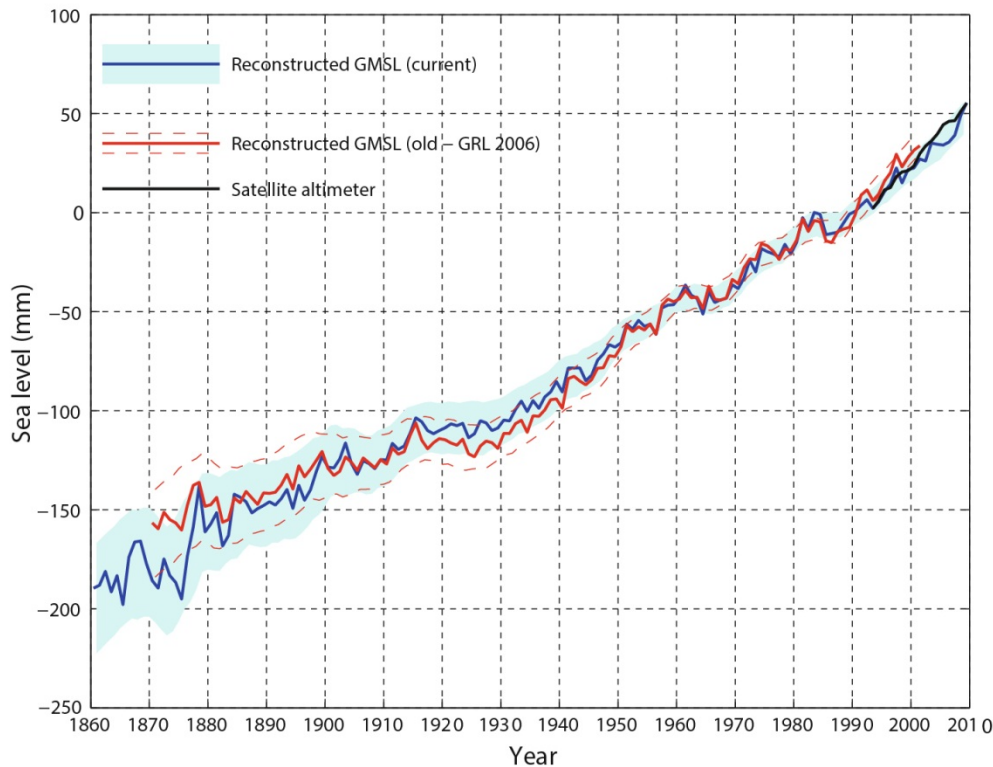


Figuur 4. Het smelten van de ijskappen op Groenland en Antarctica sinds 1992. De linkeras geeft aan hoeveel massa de ijskappen hebben verloren, de rechteras laat de bijbehorende bijdrage aan de stijging van de zeespiegel zien. Bron: [14].

Gemiddelde maandelijkse (september) afname van het ijsoppervlak van de Noordelijke IJszee



Figuur 5. Afname van het minimum ijsoppervlak van de Noordelijke IJszee. Bron: [15].



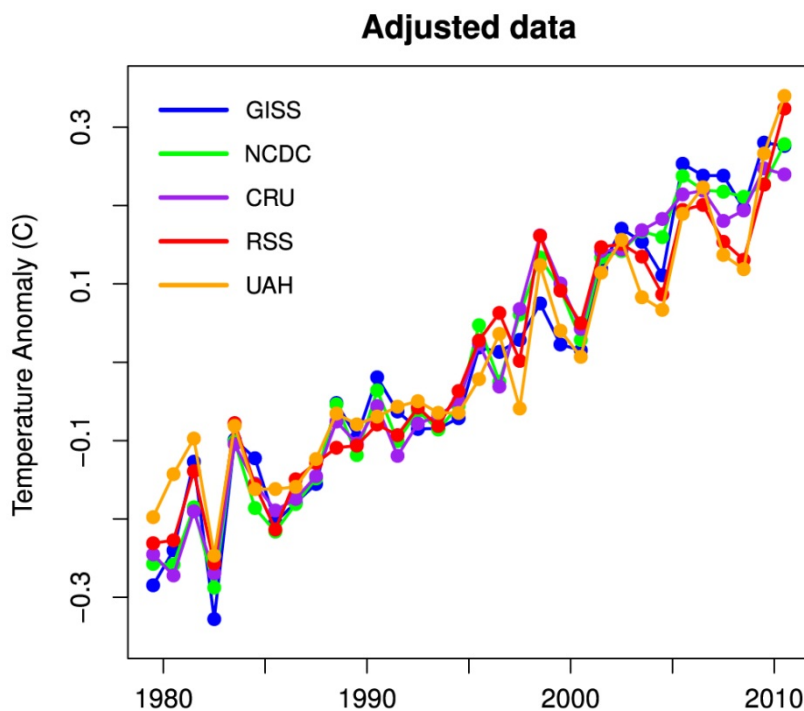
Figuur 6. Mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging sinds 1880. Als nulpunt is hier het jaar 1990 gekozen. Bron: [17]

2.2 . De opwarming is niet gestopt sinds 1998

Een veel gehoord argument is dat de opwarming gestopt zou zijn sinds 1998, maar dat blijkt niet uit de metingen van de wereldgemiddelde temperatuur (figuur 2). Zo was het eerste decennium van de 21^e eeuw het warmste sinds het begin van de metingen, zo'n anderhalve eeuw geleden. Het vorige record was het laatste decennium van de 20^e eeuw.

Wel is het zo dat de waarnemingen van de laatste veertien jaar een kleinere temperatuurtrend laten zien dan in de twee decennia ervoor. Dit is waarschijnlijk te wijten aan natuurlijke fluctuaties, die trends voor langere tijd kunnen maskeren. Zo bereikte de wereldgemiddelde temperatuur in 1998 een recordhoogte. In 2005 en 2010 zijn vergelijkbaar hoge wereldgemiddelde temperaturen gemeten. De hoge temperaturen in 1998 werden voor een deel veroorzaakt door een zeer sterke El Niño. In de laatste tien jaar is er relatief vaak sprake geweest van La Niña – de tegenhanger van El Niño – die een koelend effect heeft op de wereldgemiddelde temperatuur.

Een recente studie laat zien dat als wordt gecorrigeerd voor de bekende natuurlijke fluctuaties, de wereldgemiddelde temperatuur sinds 1979 - het jaar waarin de satellietwaarnemingen begonnen - gelijkmatig stijgt en er geen sprake meer is van een afvlakking in de laatste veertien jaar [61], zie figuur 7. De trend sinds 1979 is in de orde van 0,17 °C per 10 jaar voor de reeksen die zijn gebaseerd op temperatuurmetingen aan het oppervlak (CRU, GISS en NCDC) en iets lager, rond de 0,15 °C per decennium, voor de meest gebruikte satellietreeksen van het Remote Sensing Systems (RSS) en de University of Alabama in Huntsville (UAH).



Figuur 7. Temperatuurreeksen gecorrigeerd voor drie natuurlijke invloeden: zonne-activiteit, vulkanisch stof in de hoge atmosfeer en de atmosfeer-oceanschommeling El Niño / La Niña. El Niño is een in sommige jaren optredende sterke opwarming van zeewater langs de evenaar in de oostelijke Grote Oceaan. La Niña is de tegenhanger die een koelend effect heeft op de mondiale temperatuur. Bron: [61].

3. DE RELATIE TUSSEN BROEIKASGASSEN EN OPWARMING

3.1 Het is zeker dat broeikasgassen de aarde doen opwarmen.

Broeikasgassen zijn gassen die bijdragen aan de opwarming van het aardoppervlak en de dampkring. De belangrijkste natuurlijke broeikasgassen zijn in volgorde van de grootte van het effect: waterdamp (H_2O), kooldioxide (CO_2), ozon (O_3), methaan (CH_4) en lachgas (N_2O). Slechts één op de tweehonderdvijftig moleculen in de aardse atmosfeer is een broeikasmolecuul. Toch zorgen zij voor een temperatuur aan het aardoppervlak die circa $33^\circ C$ hoger is dan in een atmosfeer zonder broeikasgassen en wolken. Dit wordt het natuurlijke broeikaseffect genoemd [4].

Het natuurlijke broeikaseffect wordt versterkt door de uitstoot van broeikasgassen door de mens, de zogeheten antropogene broeikasgassen. Deze versterking uit zich onder andere in een toename van de gemiddelde temperatuur aan het aardoppervlak, oceanen en in de troposfeer (luchtlaag tot ca. 13 km).

3.2. Het is zo goed als zeker dat een groot deel van de recente opwarming door de mens is veroorzaakt.

Er zijn verschillende aanwijzingen dat de waargenomen opwarming wordt veroorzaakt door de toegenomen concentratie van broeikasgassen en dus niet door natuurlijke oorzaken zoals de zon of vulkaanactiviteit. Als de zon de oorzaak zou zijn geweest, dan had de stratosfeer (de luchtlaag tussen gemiddeld 13 km en 50 km) ook moeten

opwarmen, net als de troposfeer. Het is echter vastgesteld dat de hogere stratosfeer afkoelt terwijl de troposfeer opwarmt [24][25][26]; een patroon dat je verwacht bij opwarming die wordt veroorzaakt door een toename van broeikasgassen in de atmosfeer. De reden hiervan is tamelijk complex, maar goed begrepen: een deel van het antwoord is dat de broeikasgassen als een soort deken meer warmte vasthouden in de troposfeer waardoor de stratosfeer minder warmte ontvangt van onderaf. Behalve de toename van broeikasgassen veroorzaakt ook ozonafbraak in de stratosfeer afkoeling. De geografische patronen van afkoeling door broeikasgassen en ozon vertonen echter verschillen, waardoor de effecten deels onderscheidbaar zijn.

Andere verschijnselen, naast de afkoeling van de stratosfeer, laten eveneens opwarming zien ten gevolge van het versterkte broeikaseffect:

- Omdat de stratosfeer afkoelt, wordt de dichtheid daar groter en krimpt de stratosfeer [27].
- Doordat de troposfeer opwarmt, wordt de dichtheid er kleiner en zet uit. Dit heeft geleid tot een stijging van de tropopause (de grens op ca. 13 km hoogte tussen de troposfeer en stratosfeer) met enkele honderden meters [28].
- Zolang er sprake is van een toename van CO₂ en andere broeikasgassen in de atmosfeer, ontsnapt er minder warmte naar de ruimte. Er komt dus meer warmte binnen (in de vorm van zonnestraling) dan er aan warmtestraling (of infrarode straling) naar de ruimte verdwijnt. Hierdoor zal het aardoppervlak en de atmosfeer opwarmen, die dientengevolge meer infrarode straling gaan uitzenden. Dit gaat door totdat het evenwicht tussen binnenkomende straling van de zon en de uitgaande infrarode straling weer bereikt is. Door de grote warmte-opslagcapaciteit van de oceanen duurt dit enige tientallen jaren. Door modelberekeningen te vergelijken met metingen kan zeer aannemelijk worden gemaakt dat de verandering in uitgaande warmtestraling een direct gevolg is van een toename aan CO₂ en andere broeikasgassen in de atmosfeer [29][30][32][33][34].
- Klimaatmodellen laten zien dat het patroon van de opwarming van de oceanen zich niet laat verklaren door natuurlijke variatie of door veranderingen in de zon [31].
- In de afgelopen 40 jaar is de zon in kracht *afgenomen*, waardoor het (nog) minder waarschijnlijk is dat de zon verantwoordelijk is voor de recente opwarming [61][65].

3.3 De opwarmende werking ten gevolge van de toename van broeikasgassen is redelijk goed bekend, maar daarnaast is er ook de koelende werking van aërosolen (stofdeeltjes), die veel onzekerder is. Zeker is dat de opwarmende werking van broeikasgassen sterker is.

Zoals ook aangegeven onder punt 3.2, leidt een toename van de hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer tot een toename van de hoeveelheid warmte die door de atmosfeer wordt terug gestraald naar het aardoppervlak. Dit wordt de *stralingsforcering* genoemd en dit wordt uitgedrukt in Watts per vierkante meter (W/m²). De grootte van de stralingsforcering door een toename van broeikasgassen is ongeveer 3,0 W/m² (met een onzekerheidsmarge van circa 10%).

Door de verbranding van fossiele brandstoffen worden naast CO₂, aërosolen (kleine stofdeeltjes) uitgestoten. Een toename van aërosolen veroorzaakt in het algemeen meer terugkaatsing van zonnestraling. Dit wordt het *directe effect* van aërosolen genoemd. Meer aërosolen in de atmosfeer veranderen ook de wolkeneigenschappen: de *indirecte effecten* van aërosolen. Omdat wolken uiterst belangrijk zijn voor de stralingsbalans kan dit veel effect hebben op de uiteindelijke temperatuur. Zowel de directe als de indirecte effecten van aërosolen zijn tamelijk onzeker en daarmee is de onzekerheid in de mate van de koelende werking, ofwel de negatieve stralingsforcering van aërosolen relatief groot: -0,5 tot -2,2 W/m² [4]. In tegenstelling tot broeikasgassen hebben aërosolen een

korte verblijftijd in de atmosfeer doordat ze efficiënt worden verwijderd door regendruppels. Dit betekent dat als er minder aërosolen worden uitgestoten, door minder verbranding of door schonere technologie, de hoeveelheid aërosolen in de lucht vrijwel direct om laag gaat en dus ook de koelende werking van aërosolen teniet wordt gedaan.

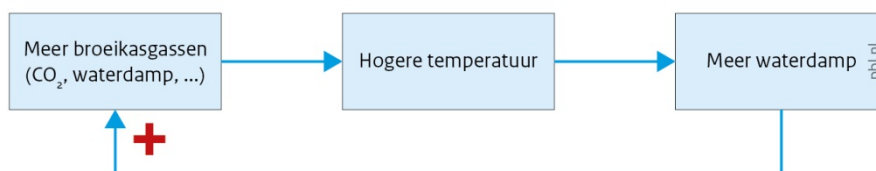
De positieve stralingsforcering door broeikasgassen is groter dan de negatieve stralingsforcering van de aërosolen. De toename in de door de mens veroorzaakte forcing ten opzichte van 1750 is $1,6 \text{ W/m}^2$ met een onzekerheidsmarge van 0,6 tot $2,4 \text{ W/m}^2$ [4]. Per saldo warmt de aarde dus op.

3.4 Er zijn onzekerheden in de effecten van de broeikasgassen op de uiteindelijke temperatuurverhoging: de klimaatgevoeligheid.

De mate waarin de mondiale temperatuur stijgt als de hoeveelheid atmosferische CO_2 verdubbelt, wordt de *klimaatgevoeligheid* genoemd. Deze wordt uitgedrukt in termen van het broeikasgas CO_2 , maar is bij benadering geldig voor alle veranderingen (andere broeikasgassen, aërosolen, zonneactiviteit, etc) die een stralingsforcering teweegbrengen. Een verdubbeling van de CO_2 -concentratie veroorzaakt een stralingsforcering van $3,7 \text{ W/m}^2$. Op grond van de natuurkunde (wet van behoud van energie) en de huidige mondiaal gemiddelde temperatuur van 15 graden, zou een dergelijke stralingsforcering tot een mondiaal gemiddelde temperatuurstijging van ongeveer $1,1^\circ\text{C}$ leiden, ervan uitgaande dat er geen andere klimatologische effecten zijn.

Die andere effecten zijn er echter wel, omdat veel processen in het klimaatsysteem temperatuurafhankelijk zijn. Een hogere temperatuur leidt bijvoorbeeld tot meer verdamping van water. Waterdamp is ook een sterk broeikasgas en versterkt dus de opwarming (zie figuur 8). Zulke versterkingsmechanismen noemen we *positieve terugkoppelingen* [35].

Waterdampterugkoppeling versterkt opwarming



Figuur 8. De waterdampterugkoppeling. Bron: KNMI.

Maar er zijn ook effecten die de opwarming kunnen afremmen. De genoemde extra verdamping van water leidt namelijk óók tot afkoeling die overigens kleiner is dan het opwarmende effect van waterdamp als broeikasgas. Een warmer aardoppervlak leidt tot meer verdamping. Verdamping kost energie en leidt tot afkoeling, net zoals water dat opdroogt op de huid tot afkoeling leidt. Deze waterdamp stijgt op en condenseert hoger in de atmosfeer tot wolkendruppels. Bij deze condensatie komt de warmte die door genoemde verdamping aan het aardoppervlak was onttrokken, op grotere hoogte weer vrij. Bij dit proces wordt de warmte van het aardoppervlak dus naar grotere hoogte getransporteerd. En vanaf die grotere hoogte wordt de warmte makkelijker afgevoerd naar de ruimte (door warmtestraling) dan vanaf het aardoppervlak. Per saldo betekent dat koeling en dat dempt de sterkte van het broeikaseffect. Dat noemen we een *negatieve terugkoppeling*. Ook de eigenschappen van wolken veranderen bij toenemende temperatuur. Volgens de huidige inzichten is de wolkenterugkoppeling positief en versterkt dus de opwarming. De grootte van deze versterkingsfactor is onzeker [55][57].

Klimaatgevoeligheid wordt bepaald door gebruik te maken van verschillende technieken en bronnen op basis van instrumentele metingen, satellietgegevens, de temperatuur van de oceanen, vulkanische uitbarstingen, klimaatveranderingen in het verleden en

klimaatmodellen [36][37]. Dit geeft een consistent beeld: een waarschijnlijke (66% waarschijnlijkheid) klimaatgevoeligheid tussen 2 en 4,5°C met een meest waarschijnlijke waarde van 3°C. Dit wil zeggen dat positieve terugkoppelingen op de aanvankelijke opwarming door CO₂ meer invloed hebben dan de negatieve terugkoppelingen. Dat komt vooral doordat de opwarming tot meer waterdamp in de atmosfeer leidt.

4 DE GEVOLGEN VAN KLIMAATVERANDERING

4.1. De gevolgen van klimaatverandering zijn mondiaal nu al merkbaar en worden naar verwachting in de toekomst heviger bij stijgende temperatuur

Gevolgen van de opwarming worden wereldwijd reeds zichtbaar, zoals afname van de permafrost en effecten op biologische systemen (zie ook punt 2.1). De mogelijke gevolgen van verdergaande temperatuurstijging zijn door het IPCC in 2007 in kaart gebracht [70]:

- De beschikbaarheid van water zal afnemen en droogte zal toenemen in de subtropische zones en steppegebieden. Honderden miljoenen mensen krijgen te kampen met toenemende watertekorten
- De biodiversiteit neemt af, met als gevolg toenemende risico's op het uitsterven van soorten. Korallen zullen op grote schaal afsterven bij temperatuurstijging boven de 2 graden. De vegetatie gaat bij hogere temperaturen steeds minder CO₂ opnemen, waardoor het broeikasprobleem verergert.
- Op lage breedtegraden zal de voedselproductie afnemen bij stijging van temperatuur.
- Bij verdere stijging van de temperatuur zal het aantal slachtoffers van hittegolven, overstromingen en droogtes verder toenemen. Er wordt een toename verwacht van ondervoeding, diarree, hart- en ademhalingsziekten en infectieziekten
- Op basis van de huidige kennis is de kans op catastrofes of 'tipping points' niet in te schatten, maar zeker niet nul. Hierbij kan worden gedacht het vrijkomen van grote hoeveelheden methaan uit smeltende permafrostgebieden of de oceaanbodem- leidend tot extreme opwarming -, aan het afsterven van het Amazonewoud door droogte, of meters zeespiegelstijging door het versneld afsmelten van de ijskappen [71].
- Hoewel de negatieve effecten overheersen, zijn er ook positieve effecten van klimaatverandering. Zo zal er in Rusland sprake zijn van een toename in de oppervlakte van potentiële landbouwgronden. Het smelten van het ijs in de Noordelijke IJszee creëert nieuwe vaarroutes en scheidt de mogelijkheid voor het winnen van olie en gas onder de zeebodem. Ook het toerisme in Noordelijke landen zou kunnen profiteren.

4.2 De gevolgen van klimaatverandering voor Nederland zijn goed bekend voor zeespiegel en rivieren, minder goed voor andere sectoren.

Het klimaat in Nederland is de afgelopen honderd jaar in veel opzichten meetbaar veranderd. De gemiddelde temperatuur in Nederland steeg met 1,7°C en het aantal jaarlijkse zomerse dagen steeg met bijna 20, terwijl het aantal vorstdagen met ongeveer hetzelfde aantal afnam. De totale hoeveelheid jaarlijkse neerslag steeg met ruim 20 procent en ook de frequentie van hevige buien nam sterk toe. De gemeten temperatuurstijging in Nederland is circa tweemaal hoger dan die gemiddeld over de wereld [51].

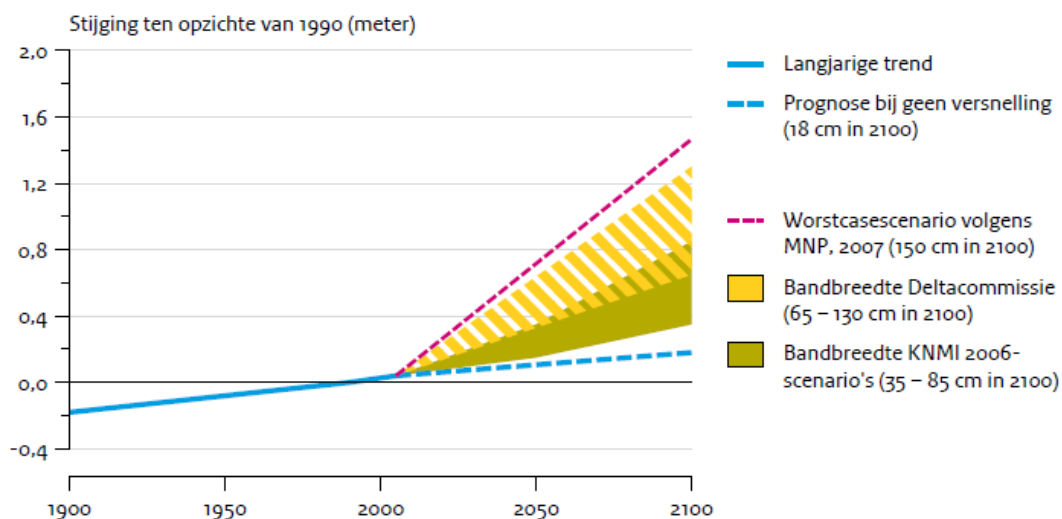
Voor Nederland hangen de mogelijke toekomstige effecten van klimaatverandering sterk af van de daadwerkelijke klimaatveranderingen die gaan plaatsvinden [50]. In het meest gematigde scenario van het KNMI [56] zijn de veranderingen zeer beperkt en zullen de effecten en de eventuele schades daarvan ook beperkt zijn. In het ongunstige scenario zet de klimaatverandering sterk door met een snelle temperatuurstijging van 4 graden in 2100, een versnelde zeespiegelstijging (figuur 9), een toename van rivierafvoeren in de winter en een afname in de zomer, en een sterke afname van regen in de zomer.

De klimaatrisico's voor Nederland hangen vooral samen met veranderingen in het optreden van extreme weersituaties (zoals een grotere kans op hittegolven) en met de mogelijke toename van de kans op nieuwe, of opnieuw optredende, ziektes en plagen in de landbouw en de volksgezondheid. De klimaat-gerelateerde risico's rond overstromingen vanuit zee of vanuit rivieren en de gevolgen voor de waterbeschikbaarheid zijn tot op heden het beste uitgezocht. De veranderingen in verspreiding en voorkomen van ziekten en plagen zullen niet alleen afhangen van klimaatverandering, maar vooral ook van de groei en intensiteit van de internationale transportbewegingen [50].

De geleidelijke veranderingen in het klimaat en het daarmee verschuiven van klimaatzones heeft nu al meetbare effecten op de natuur in Nederland en deze effecten zullen naar verwachting verder toenemen. Om het dieren en planten mogelijk te maken mee te schuiven met de klimaatzones is een netwerk van met elkaar verbonden natuurgebieden op nationale en internationale schaal van belang [50][51][52].

De klimaatrisico's voor de energie- en transportsystemen zijn nog onvoldoende in beeld gebracht voor Nederland [53] en hangen ook sterk af van hoe deze systemen in de komende decennia ingericht gaan worden (energie: fossiel versus hernieuwbaar, centraal versus decentraal, aandeel zon, wind, getijde, e.d.; transport: aandeel verschillende modaliteiten, gevolgen 'het nieuwe werken' e.d.).

Zeespiegelstijging



Bron: PBL (2009)

Figuur 9. Onzekerheidsmarge rond de verwachte zeespiegelstijging op lange termijn. Bron: [50].

In de afgelopen eeuw is de zeespiegel voor de Nederlandse kust 20 cm gestegen. Afhankelijk van de klimaatscenario's zou de zeespiegelstijging (ten opzichte van 1990) kunnen oplopen tot 35-85 cm in 2100, of zelfs tot 135-150 cm in extremere scenario's.

5 MONDIALE TOEKOMSTSCENARIO'S EN KOSTEN-BATEN ANALYSES

5.1. Zonder klimaatbeleid wordt een toename van emissies verwacht als gevolg van de groei van de wereldbevolking en de groei van de economie in de verschillende wereldregio's. Met klimaatbeleid is het mogelijk de emissies significant te verminderen.

Om inzicht te krijgen in de ontwikkelingen op de langere termijn (tot 2100) zijn de afgelopen jaren door de wereldwijde wetenschappelijke gemeenschap nieuwe scenario's ontwikkeld die verkennen hoe toekomstige klimaatverandering eruit kan zien bij verschillende ambitieniveaus qua klimaatbeleid. Deze scenario's worden de 'Representative Concentration Pathways' genoemd ofwel de RCPs [38]. Elke RCP beschrijft mogelijke ontwikkelingen in landgebruik en emissies van broeikasgassen en andere gassen zoals SO₂, NO_x en roetdeeltjes die eveneens het klimaat beïnvloeden. Er worden 4 scenario's onderscheiden die zich als volgt laten typeren:

Scenario	Broeikasgas concentratie in CO ₂ equiv.	Forcing	Model
RCP8.5	~1370 ppm	8,5 W/m ² en stijgend. Ongebreidelde groei van broeikasgasuitstoot.	MESSAGE
RCP6	~850 ppm	Gestabiliseerd op 6 W/m ² in 2100. Broeikasgasuitstoot wordt in beperkte mate afgeremd.	AIM
RCP4.5	~650 ppm	Gestabiliseerd op 4,5 W/m ² in 2100. Broeikasgasuitstoot wordt significant afgeremd.	GCAM
RCP2.6	~490 ppm	Stijging tot 3 W/m ² vóór 2100, daarna dalend tot 2.6 W/m ² in 2100. Broeikasgasuitstoot wordt zeer intensief aangepakt. 2-graden doel haalbaar.	IMAGE

Bron: [38]. ppm=parts per million.

Het PBL heeft het laagste scenario ontwikkeld met behulp van het IMAGE-model. Dit scenario gaat in op de benodigde emissiereductie om klimaatverandering te beperken tot ongeveer 2 graden. Het scenario vereist een piek in mondiale broeikasgasemissies in het komende decennium, zo'n 50% emissie reductie ten opzichte van 2010 in 2050 en geen, of zelfs *negatieve emissies*, aan het eind van de eeuw. 'Negatieve emissies' houdt in dat CO₂ rechtstreeks uit de lucht wordt gehaald, wat bijvoorbeeld kan door de combinatie van het verbranden van biomassa gekoppeld met CO₂-opslag.

5.2 Uitgaande van de 'Representative Concentration Pathways' wordt een temperatuurstijging verwacht tussen 1,3 en 6,5 graden in 2100.

De temperatuurstijging uitgaande van de RCP's zoals genoemd onder punt 5.1 zijn geschat met behulp van simpele klimaatmodellen [39]. De resultaten van de doorrekening met complexe klimaatmodellen of 'Global Circulation Models'(GCMs), zoals het EC-Earth model van het KNMI [66][67], worden op dit moment geanalyseerd binnen het CMIP5 project [68] ten behoeve van het vijfde assessment rapport van IPCC. Op basis van de simpele modellen blijkt dat de onzekerheidsmarge voor de toename in de mondiale gemiddelde temperatuur voor het onderste scenario (RCP 2.6) 1,3 tot 2,8 graden Celsius in 2100 is en 4 - 6,5 graden voor het hoogste scenario (RCP8.5). Zonder

expliciet klimaatbeleid zijn de verwachte emissies vergelijkbaar met het RCP6 of misschien zelfs RCP8.5. Dit betekent dus dat de verwachte wereldgemiddelde temperatuurstijging zonder klimaatbeleid in 2100 zal uitkomen tussen de 3 en 6,5 graad Celsius.

5.3 De mondiale kosten en baten van klimaatmitigatie zijn nauwelijks in te schatten en daarom komt het klimaatprobleem voornamelijk neer op het beperken van risico's in plaats van een kosten-baten afweging.

Al vanaf het begin van de jaren '90 van de vorige eeuw zijn er kosten-baten analyses van klimaatmitigatie uitgevoerd, met Nordhaus als voorloper [40][42][43][44]. De uitkomsten van deze – en latere – studies zijn niet eenduidig en de laatste tijd is er steeds meer kritiek op dergelijke studies gekomen. De kritiek richt zich met name op verdiscontering², het omgaan met risico's, en de geringe basis voor mondiale schade-inschattingen [45].

Verdiscontering speelt een belangrijke rol in de afweging tussen kosten en baten van klimaatbeleid, aangezien de meeste schade in de verre toekomst is te verwachten. Er is echter geen overeenstemming in de hoogte van de discontovoet die voor dergelijke analyses gebruikt dient te worden. Diverse economen pleiten, vanwege uiteenlopende redenen, voor het hanteren van een zeer lage discontovoet voor lange-termijn klimaatproblematiek [45][46]. In de meeste kosten-batenstudies worden echter hogere discontovoeten gebruikt; Stern [46] vormt hierop een uitzondering. Ten aanzien van het omgaan met risico's is het probleem dat er een zeer kleine kans op een catastrofale gebeurtenis is, maar dat we niet goed weten hoe groot deze kans is. Hierdoor hangt de uitslag van een kostenbatenanalyse sterk af van de – subjectieve – inschatting van dit risico [41][47]. Tot slot zijn de mondiale schade-inschattingen van klimaatverandering zeer beperkt en zijn recente studies op dit gebied nauwelijks voorhanden [48].

Een van de belangrijkste toepassingen van kosten-baten analyses van klimaatbeleid is het bepalen van de optimale belasting op CO₂, zodanig dat alle effecten van klimaatverandering worden gecompenseerd. De gemiddelde waarde van 211 studies komt uit op 30 dollar per ton CO₂ met een zeer grote spreiding van 250 dollar [62]. Een andere studie laat zien dat het optimale niveau van klimaatverandering varieert tussen 2 en meer dan 4 graden, afhankelijk van de gekozen aanname ten aanzien van verdiscontering, schade-inschattingen en mitigatiekosten [63].

Gezien deze grote onzekerheden en waardeoordelen lijkt het bij het klimaatprobleem beter te kijken naar het beperken van de risico's in plaats van het maken van een kosten-baten afweging[45][49].

² Verdisconteren houdt in dat men kosten (of schade) en baten die in de toekomst plaatsvinden terugrekent naar het heden, rekening houdend met het feit dat een bepaald bedrag in het nu hoger wordt gewaardeerd dan het zelfde bedrag in de toekomst (de discontovoet).

Referenties

- [1] NOAA Earth System Research Laboratory, see http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/#mlo_full
- [2] EPICA DomeC CO2 data, see <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Co2-temperature-plot.svg>
- [3] Pearson, P. N. and M. R. Palmer (2000). "Atmospheric carbon dioxide concentrations over the past 60 million years." *Nature* **406**(6797): 695-699.
- [4] Summary for Policymakers of the **Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007** Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.) [Cambridge University Press](http://www.cambridge.org/9780521146638), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [5] Wei, G., M. T. McCulloch, et al. (2009). "Evidence for ocean acidification in the Great Barrier Reef of Australia." *Geochimica et Cosmochimica Acta* **73**(8): 2332-2346.
- [6] Manning, A. C., and R. F. Keeling, 2006: Global oceanic and land biotic carbon sinks from the Scripps atmospheric oxygen flask sampling network. *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*, **58**, 95-116.
- [7] Dorland, R. van, B.J. Strengers, H. Dolman, R. Haarsma, C. Katsman, G.J. van Oldenborgh, A. Sluijs and R.S.W. van de Wal (2009). 'News in Climate Science since IPCC 2007. Topics of interest in the scientific basis of climate change'.
- [8] Byrne, R. H., S. Mecking, et al. (2010). "Direct observations of basin-wide acidification of the North Pacific Ocean." *Geophys. Res. Lett.* **37**(2): L02601.
- [9] A. J. Dolman, G. R. van der Werf, M. K. van der Molen, G. Ganssen, J.-W. Erisman, B. Strengers. A Carbon Cycle Science Update Since IPCC AR-4. *Ambio*. (2010) 39:402-412 DOI 10.1007/s13280-010-0083-7.
- [10] <http://nl.wikipedia.org/wiki/Oceaanverzuring> en de verwijzingen daarin.
- [11] Hönisch, B., A. Ridgwell, et al. (2012). "The Geological Record of Ocean Acidification." *Science* **335**(6072): 1058-1063.
- [12] Dit blijkt uit de cijfers die staan vermeld in het nog niet gepubliceerde vijfde assessment rapport van het IPCC. De temperatuurdatabank van de verschillende instituten is eenvoudig van internet te downloaden.
- [13] Oerlemans, J., Dyurgerov, M., and van de Wal, R. S. W.: Reconstructing the glacier contribution to sea-level rise back to 1850, *The Cryosphere Discuss.*, 1, 77-97, doi:10.5194/tcd-1-77-2007, 2007.
- [14] Shepherd, A., E. R. Ivins, et al. (2012). "A Reconciled Estimate of Ice-Sheet Mass Balance." *Science* **338**(6111): 1183-1189.
- [15] National Snow and Ice Data Center (NSIDC), <http://nsidc.org/>
- [16] Panarctic Ice Ocean Modeling and Assimilation System (PIOMAS), Polar Science Center, <http://psc.apl.washington.edu/wordpress/research/projects/arctic-sea-ice-volume-anomaly/>
- [17] Church, J. and N. White (2011). "Sea-Level Rise from the Late 19th to the Early 21st Century." *Surveys in Geophysics* **32**(4-5): 585-602.
- [18] Katsman, C. A. and G. J. van Oldenborgh (2011). "Tracing the upper ocean's missing heat." *Geophys. Res. Lett.* **38**(14): L14610.
- [19] Rutgers University Snow Lab http://climate.rutgers.edu/snowcover/chart_seasonal.php?ui_set=nhland&ui_season=2

[20]

http://www.knmi.nl/klimatologie/seizoensoverzicht_wereldweer/index.cgi?var=nh_snow&mon1=jun

[21] Peñuelas, J., T. Rutishauser, et al. (2009). "Phenology Feedbacks on Climate Change." *Science* **324**(5929): 887-888.

[22] Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds).

[23] Bintanja R., G. J. van Oldenborgh, S. S. Drijfhout, B. Wouters, C. A. Katsman (2012). 'Expanding Antarctic sea ice caused by climate warming?'. Submitted.

[24] Santer, B. D., J. F. Painter, et al. (2012). "Identifying human influences on atmospheric temperature." *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

[25] Thompson, David W. J., Mark P. Baldwin, Susan Solomon, 2005: Stratosphere-Troposphere Coupling in the Southern Hemisphere. *J. Atmos. Sci.*, **62**, 708–715.

[26] Randel, W. J., K. P. Shine, et al. (2009). "An update of observed stratospheric temperature trends." *J. Geophys. Res.* **114**(D2): D02107.

[27] Laštovička, J., R. A. Akmaev, et al. (2006). "Global Change in the Upper Atmosphere." *Science* **314**(5803): 1253-1254.

[28] Santer, B. D., M. F. Wehner, et al. (2003). "Contributions of Anthropogenic and Natural Forcing to Recent Tropopause Height Changes." *Science* **301**(5632): 479-483.

[29] Harries, J. E., H. E. Brindley, et al. (2001). "Increases in greenhouse forcing inferred from the outgoing longwave radiation spectra of the Earth in 1970 and 1997." *Nature* **410**(6826): 355-357.

[30] Kevin E. Trenberth, John T. Fasullo, and Jeff rey Kieh EARTH'S GLOBAL ENERGY BUDGET. BAMS. American Meteorological Society. March 2009.

[31] Barnett, T. P., D. W. Pierce, et al. (2005). "Penetration of Human-Induced Warming into the World's Oceans." *Science* **309**(5732): 284-287.

[32] Chen, C., Harries, J., Brindley, H., & Ringer, M. (2007). Spectral signatures of climate change in the Earth's infrared spectrum between 1970 and 2006. Retrieved October 13, 2009, from European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT). Talk given to the 15th American Meteorological Society (AMS) Satellite Meteorology and Oceanography Conference, Amsterdam, Sept 2007.

[33] Griggs, J. A., J. E. Harries, 2007: Comparison of Spectrally Resolved Outgoing Longwave Radiation over the Tropical Pacific between 1970 and 2003 Using IRIS, IMG, and AIRS. *J. Climate*, **20**, 3982–4001. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI4204.1>

[34] Loeb, N.G., Lyman, J.M., Johnson, G.C., Allan, R.P., Doelling, D.R., Wong, T., Soden, B.J. and Stephens, G., 2012. 'Observed changes in top-of-the-atmosphere radiation and upper-ocean heating consistent within uncertainty.' *Nature Geoscience*, **5**: 110-113.

[35] Bony et al., 2006, How well do we understand and evaluate climate change feedback processes?, *J. Climate*, **19**, 3445-3482.

[36] Paleosense project members (2012). "Making sense of palaeoclimate sensitivity." *Nature* **491**(7426): 683-691.

[37] Knutti, R. and G. C. Hegerl (2008). "The equilibrium sensitivity of the Earth's temperature to radiation changes." *Nature Geosci* **1**(11): 735-743.

[38] Vuuren, D., J. Edmonds, et al. (2011). "The representative concentration pathways: an overview." *Climatic Change* **109**(1-2): 5-31.

- [39] Meinshausen, M., S. J. Smith, et al. (2011). "The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300." *Climatic Change* **109**(1-2): 213-241.
- [40] Hope, C., Anderson, J., Wenman, P. (1993) Policy analysis of the greenhouse effect: An application of the PAGE model. *Energy Policy* 21, 327-338.
- [41] Dietz, S., Hope, C., Patmore, N. (2007) Some economics of 'dangerous' climate change: Reflections on the Stern Review. *Global Environmental Change* 17, 311-325.
- [42] Manne, A., Mendelsohn, R., Richels, R. (1995) MERGE: A Model for Evaluating Regional and Global Effects of GHG Reduction Policies. *Energy Policy* 23, 17-34.
- [43] Nordhaus (1994) *Managing the Global Commons: The economics of climate change*. MIT Press, Cambridge.
- [44] Tol, R.S.J. (1999) The marginal Cost of greenhouse gas emissions. *Energy Journal* 20, 61-81.
- [45] Van den Bergh, J.C.J.M. (2010) Safe climate policy is affordable -12 reasons. *Climatic Change* 101, 339-385.
- [46] Stern, N. (2006) *The Economics of Climate Change, The Stern Review*. Cambridge University press, Cambridge, UK.
- [47] Weitzman, M.L. (2009) On modeling and interpreting the economics of catastrophic climate change. *The Review of Economics and Statistics* 91, 1-19.
- [48] Tol, R.S.J. (2009) The Economic Effects of Climate Change. *Journal of Economic Perspectives* 23, 29-51.
- [49] Weitzman, M.L. (2012) GHG Targets as Insurance Against Catastrophic Climate Damages. *Journal of Public Economic Theory* 14, 221-244.
- [50] PBL (2009). "Wegen naar een klimaatbestendig Nederland". PBL publicatienummer 500078001. Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven.
- [51] PBL (2012). "Effecten van klimaatverandering in Nederland: 2012". PBL publicatienummer 500193003. Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven.
- [52] PBL (2010). "Adaptatiestrategie voor een klimaatbestendige natuur". PBL publicatienummer 500078002. Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven.
- [53] Algemene Rekenkamer (2012). "Aanpassing aan klimaatverandering: strategie en beleid". Sdu Uitgevers, Den Haag.
- [54] Gregory, J., N. White, J. Church, M. Bierkens, J. Box, M. Van den Broeke, G. Cogley, X. Fettweis, E. Hanna, P. Huybrechts, L. Konikow, P. Leclercq, B. Marzeion, J. Oerlemans, M. Tamisiea, Y. Wada, L. Wake, and R. Van de Wal, 2012: Twentieth-century global-mean sea-level rise: is the whole greater than the sum of the parts?. *J. Climate*. doi:10.1175/JCLI-D-12-00319.1, in press.
- [55] Clement, A. C., R. Burgman, et al. (2009). "Observational and Model Evidence for Positive Low-Level Cloud Feedback." *Science* **325**(5939): 460-464.
- [56] <http://www.knmi.nl/klimaatscenario's/knmi06/samenvatting/index.html>
- [57] Dessler, A. E. (2010). "A Determination of the Cloud Feedback from Climate Variations over the Past Decade." *Science* **330**(6010): 1523-1527.
- [58] Watkiss, P (Editor) (2011). *The ClimateCost Project. Final Report. Volume 1: Europe*. Published by the Stockholm Environment Institute, Sweden, 2011. ISBN 978-91-86125-35-6.
- [59] PBL (2012) "Effecten van klimaatverandering in Nederland: 2012". PBL publicatienummer 500193003. Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven.

- [60] EEA (2012). "Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012". European Environmental Institute, Copenhagen, Denmark.
- [61] Foster, G. and S. Rahmstorf (2011). "Global temperature evolution 1979–2010." Environmental Research Letters 6(4): 044022.
- [62] Tol, 2008, The Social Costs of Carbon: Trends, Outliers, and Catastrophes, Economics, Vol. 2, 2008-25
- [63] Hof, A.F., den Elzen, M.G.J., van Vuuren, D.P.(2008).Analysing the costs and benefits of climate policy: Value judgements and scientific uncertainties. Global Environmental Change, 18 (3), pp. 412-424
- [64] Smith, J. B., S. H. Schneider, et al. (2009). "Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) "reasons for concern"." Proceedings of the National Academy of Sciences **106**(11): 4133-4137.
- [65] Benestad, R. E. and G. A. Schmidt (2009). "Solar trends and global warming." Journal of Geophysical Research: Atmospheres **114**(D14)
- [66] Sterl, A., R. Bintanja, L. Brodeau, E. Gleeson, T. Koenigk, T. Schmith, T. Semmler, C. Severijns, K. Wyser en S. Yang, *A look at the ocean in the EC-Earth climate model* Clim. Dyn., 2012, **39**, 11, 2631-2657, [doi:10.1007/s00382-011-1239-2](https://doi.org/10.1007/s00382-011-1239-2).
- [67] KNMI lanceert klimaatmodel EC-Earth
http://www.knmi.nl/cms/content/93989/knmi_lanceert_klimaatmodel_ec-earth
- [68] CMIP5 - Coupled Model Intercomparison Project Phase 5. <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/>
- [70] IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A.(eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- [71] Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), 2009: News in Climate Science and exploring the Boundaries, PBL publication number 500114013