



Het zee-ijs op de Noordelijke IJszee bereikte in augustus 2012 zijn kleinste omvang tot nog toe. De gele lijn markeert de gebruikelijke zomeromvang van de ijskap tot voor enkele tientallen jaren terug. Deze afbeelding werd samengesteld op basis van satellietfoto's. (NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualisation Studio)

Rob van Dorland en Bart Strengers

Dr. Rob van Dorland is klimaatonderzoeker bij het KNMI en ook redacteur van *Zenit*. Ir. Bart Strengers is beleidsonderzoeker bij het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

De aarde warmt op. De discussie hierover woedt al sinds de jaren zeventig, toen *Zenit* als één van de eerste publicatiebladen over dit probleem rapporteerde. In dit artikel kijken we naar het beeld zoals dat nu door de meeste klimaatonderzoekers wordt gedeeld: Sinds 1900 is het gemiddeld op aarde ongeveer 0,8 graden warmer geworden. De belangrijkste oorzaak hiervan sinds het midden van de vorige eeuw is de uitstoot van broeikasgassen door de mens. En in de komende eeuw zal de opwarming waarschijnlijk versnellen.

De temperatuurtoename in de loop van deze eeuw hangt in belangrijke mate af van (1) de hoeveelheid broeikasgassen die er wereldwijd uitgestoten wordt en (2) de gevoeligheid van het klimaat voor een verandering van de hoe-

veelheid broeikasgassen in de atmosfeer. Daarnaast zijn een aantal natuurlijke ontwikkelingen mogelijk, die de temperatuurstijging kunnen vertragen of versnellen. Gegeven de natuurlijke fluctuaties in de laatste eeuwen zijn deze veranderingen van tijdelijke aard en bovendien qua sterkte ondergeschikt aan de effecten van de verwachte toename in broeikasgassen op de lange termijn. Er zijn emissiescenario's gemaakt op basis van de verwachte bevolkingsgroei en mogelijke sociaaleconomische, technologische en beleidsontwikkelingen met uiteenlopende veranderingen van de concentraties broeikasgassen in de atmosfeer in de toekomst. Voor elk van deze paden kan een klimaatverwachting gemaakt worden. Maar ook daarvoor geldt dat er naast zekerheden over de richting van verandering een scala van mogelijkheden overblijft door onvolledig inzicht in het gedrag van klimaatprocessen bij een temperatuurverandering. Deze bandbreedte laat zich goed vertalen in de onzekerheidsmarge in klimaatgevoeligheid: bij een verdubbeling van de hoeveelheid CO₂ neemt de wereldgemiddelde temperatuur toe met 2 tot 4,5 graden Celsius.

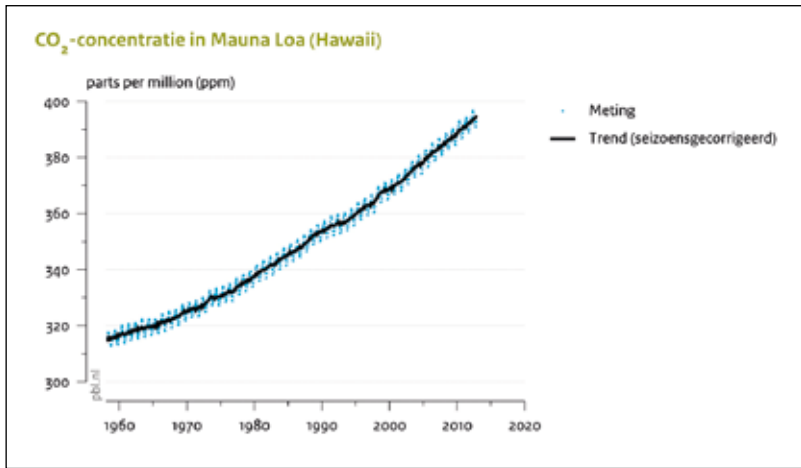
Het klimaatonderzoek houdt zich bezig met het waarnemen en begrijpen van het klimaatsysteem. Vervolgens worden deze inzichten benut om klimaatverwachtingen voor bijvoor-

beeld de komende eeuw te maken op basis van emissiescenario's. Het klimaatsysteem is echter bijzonder complex. Daardoor is het bijna nooit mogelijk om uitspraken te doen die 100% zeker zijn. Dit komt deels door het bestaan van interne variabiliteit (chaos), maar ook door de onvolledigheid van meetreeksen en de beperkingen van klimaatmodellen. Daar staat tegenover dat natuurkundige principes houvast bieden bij het begrijpen van de factoren, die ons klimaat beïnvloeden. We zullen hier stapsgewijs laten zien waar de zekerheden en onzekerheden liggen.

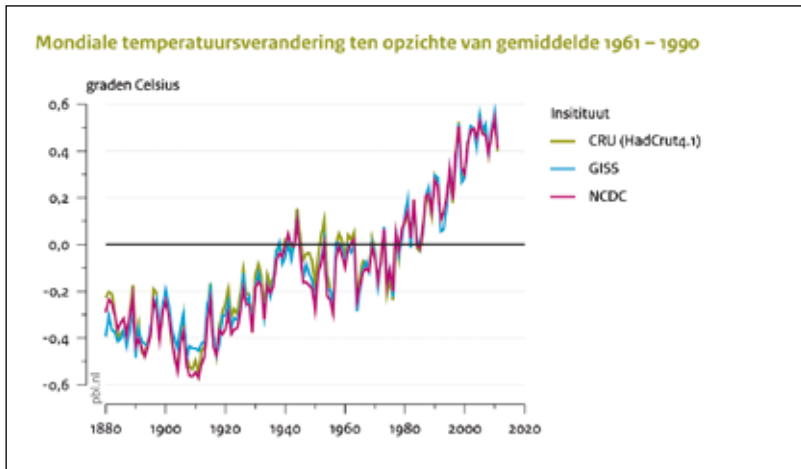
Het is zeker dat de concentratie (of het gehalte) van koolstofdioxide (CO₂) en andere broeikasgassen in de atmosfeer sterk is toegenomen sinds het begin van de industriële revolutie.

Metingen van CO₂-concentraties op de vulkaan de Mauna Loa op Hawaï op 3400 meter hoogte zijn vanaf 1958 beschikbaar (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 en waarschijnlijk sinds 25 miljoen jaar. De huidige CO₂-concentratie is 393 deeltjes per miljoen (parts per million, ppm), een toename van ongeveer 113 ppm of 40% sinds 1860.

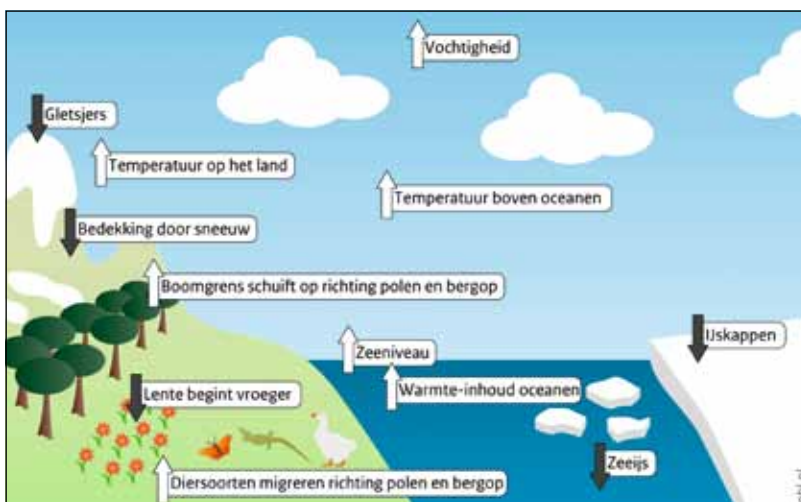
Naast CO₂ zijn methaan (CH₄) en lachgas (N₂O) de belangrijkste broeikasgassen, die door menselijke acti-



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: NOAA)



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).



Figuur 3: Indicatoren die duiden op mondiale opwarming.

viteiten toenemen. Vooral de concentratie van methaan is sterk toegenomen, sinds 1750 met ongeveer 150%, van 700 deeltjes per miljard (parts per billion, ppb) naar bijna 1800 ppb. De toename van de lachgasconcentratie sinds 1750 ligt rond de 10%.

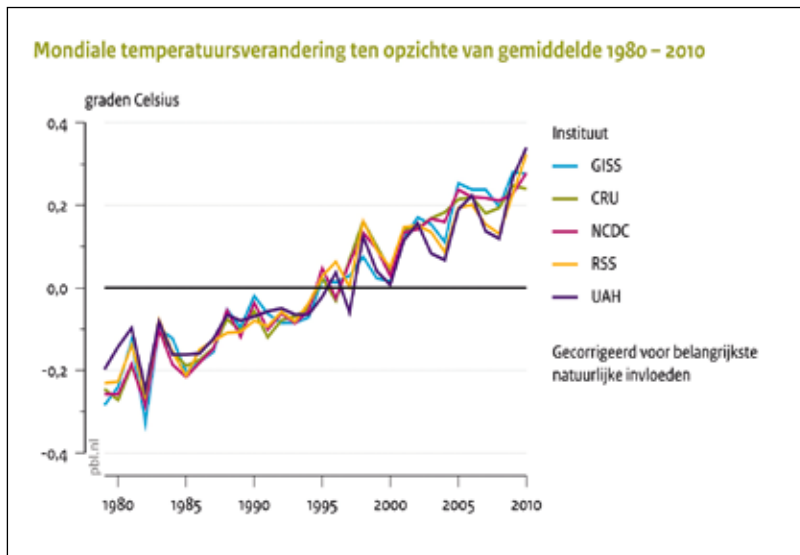
Het is zeker dat deze toename van CO₂ afkomstig is van menselijke activiteiten.

Er zijn verschillende types van koolstof in de lucht, de zogenaamde koolstofisotopen. Het meest voorkomende isotoop van koolstof is koolstof-12 (C-12). Een zwaarder type van koolstof is C-13, dat ongeveer 1% van het totaal uitmaakt. Planten gebruiken voor hun groei vooral C-12 en daardoor is het percentage C-13 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. 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.

Het is zeker dat sinds de industriële revolutie de aarde opwarmt. Dit blijkt uit de toename van de gemeten mondiale 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 (zie figuur 2), maar ook uit andere aanwijzingen die passen



Figuur 4: Temperatuurreeksen gecorrigeerd voor drie natuurlijke invloeden: zonneactiviteit, vulkanisch stof in de hoge atmosfeer en de atmosfeer-oceaanstommeling 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: Foster and Rahmstorf, ref. [1])

bij het beeld van een opwarmende planeet (zie figuur 3):

- Het smelten van gletsjers, die wereldwijd sinds 1850 gemiddeld 1500 meter korter zijn geworden.
- Smelten van de ijskappen op Antarctica, maar vooral Groenland.
- 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, en het volume zelfs met 80%. 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. Zoet water bevriest bovendien eerder dan zout water.
- Mondiale zeespiegelstijging met 20 cm sinds 1880. De belangrijkste oorzaken daarvan zijn het uitzetten van het oceaanwater bij een hogere temperatuur en de bijdrage van de smeltende gletsjers en ijskappen. Volgens de satellietmetingen is sinds 1993 de stijging toegenomen tot ruim 3 mm per jaar.
- Het oceaanwater wordt warmer; men spreekt over een toename van de *warmte-inhoud* van de oceanen. Dit vergroot ook het volume van het oceaanwater.
- Opwarming leidt tot meer verdamping van water en een toename van het vochtgehalte van de atmosfeer met ongeveer 1,2% per decennium.
- Afname van de sneeuwbedekking op het Noordelijke halfrond sinds

de jaren '70 met ongeveer 10% in het voorjaar en met bijna 50% in de zomer.

- Het eerder beginnen van de lente met 3 à 4 dagen per decennium sinds 1970.
- Verschuiving van de boomgrens en migratie van diersoorten richting noorden en bergopwaarts.

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, zie figuur 4. 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).

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 (H₂O), kooldioxide (CO₂), ozon (O₃), methaan (CH₄) en lachgas (N₂O). 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 °C hoger is dan in een atmosfeer zonder broeikasgassen en wolken. Dit wordt het natuurlijke broeikaseffect genoemd. 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 (luchtlag tot ca. 13 km).

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 luchtlag 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; 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 broeikas-effect. 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 dienvolgende 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 warmteopslagcapaciteit 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 van CO₂ en andere broeikasgassen in de atmosfeer. Verder laten klimaatmodellen zien dat het patroon van de opwarming van de oceanen zich niet laat verklaren door natuurlijke variatie of door veranderingen in de zon. 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.

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

Zoals eerder is aangegeven, leidt een toename van de hoeveelheid broei-



kasgassen in de atmosfeer tot een toe-**Zeeijs bij Antarctica. (Foto: Richard Bintanja)**

name van de hoeveelheid warmte die door de atmosfeer wordt teruggestraald naar het aardoppervlak. Dit wordt de *stralingsforcering* genoemd en dit wordt uitgedrukt in watt 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, aerosolen (kleine stofdeeltjes) uitgestoten. Een toename van aerosolen veroorzaakt in het algemeen meer terugkaatsing van zonnestraling. Dit wordt het *directe effect* van aerosolen genoemd. Meer aerosolen in de atmosfeer veranderen ook de wolkeneigenschappen: de *indirecte effecten* van aerosolen. 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 aerosolen zijn tamelijk onzeker en daarmee is de onzekerheid in de mate van de koelende werking, ofwel de negatieve stralingsforcering van aerosolen relatief groot: -0,5 tot -2,2 W/m². In tegenstelling tot broeikasgassen hebben aerosolen een korte verblijftijd in de atmosfeer doordat ze efficiënt worden verwijderd door reëndruppels. Dit betekent dat als er minder aerosolen worden uitgestoten, door minder verbranding of door schonere technologie, de hoeveelheid aerosolen in de lucht vrijwel direct omlaag gaat en dus ook de koelende werking van aerosolen

teniet wordt gedaan.

De positieve stralingsforcering door broeikasgassen is groter dan de negatieve stralingsforcering van de aerosolen. De toename in de door de mens veroorzaakte forcing ten opzichte van 1750 is 1,6 W/m² met een onzekerheidsmarge van 0,6 tot 2,4 W/m². Per saldo warmt de aarde dus op.

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 CO₂ verdubbelt, wordt de *klimaatgevoeligheid* genoemd. Deze wordt uitgedrukt in termen van het broeikasgas CO₂, maar is bij benadering geldig voor alle veranderingen (andere broeikasgassen, aerosolen, zonneactiviteit, etc.) die een stralingsforcering teweegbrengen. Een verdubbeling van de CO₂-concentratie veroorzaakt een stralingsforcering van 3,7 W/m². 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°C leiden, ervan uitgaande dat er geen andere klimatologische effecten zijn.

Die andere effecten zijn er echter wel, omdat veel processen in het klimaatstelsel temperatuurafhankelijk zijn. Een hogere temperatuur



Het CO₂-gehalte van de atmosfeer in het verleden wordt gemeten in luchtbelletjes die worden gevonden in boorkernen uit de ijskap van Antarctica. (Foto: Ted Scambos en Rob Bauer, NSIDC)

leidt bijvoorbeeld tot meer verdamping van water. Waterdamp is ook een sterk broeikasgas en versterkt dus de opwarming. Zulke versterkingsmechanismen noemen we *positieve terugkoppelingen*.

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 broeikas effect. Dat noemen we een *negatieve terugkoppeling*.

Ook de eigenschappen van wolken veranderen bij toenemende temperatuur. Volgens de huidige inzichten is de wolken terugkoppeling positief en versterkt dus de opwarming. De grootte van deze versterkingsfactor is onzeker.

Klimaatgevoeligheid wordt bepaald door gebruik te maken van ver-

schillende technieken en bronnen op basis van instrumentele metingen, satellietgegevens, de temperatuur van de oceanen, vulkanische uitbarstingen, klimaatveranderingen in het verleden en klimaatmodellen. 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.

Referenties

- [1] G. Foster en S. Rahmstorf, Global temperature evolution 1979-2010, *Environmental Research Letters* 6(4) (2011) 044022.
- [2] IPCC, Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Eds. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (Cambridge Univ. Press, 2007).
- [3] B. Strengers, R. van Dorland en L. Meyer, De achtergrond van het klimaatprobleem, PBL notitie 500103001 (2013).
- [4] R. van Dorland, B.J. Strengers, H. Dolman, R. Haarsma, C. Katsman, G.J. van Oldenborgh, A. Sluijs and R.S.W. van de Wal, News in Climate Science since IPCC 2007. Topics of interest in the scientific basis of climate change, KNMI, Scientific Report, WR-2009-08 (2009).
- [5] R. van Dorland, De mens en het aardse klimaat, in: Themanummer planeetafmosferen, *Zenit/Ruimtevaart*, 37 (9) (2010) 394-400.
- [6] R. van Dorland, Het broeikas effect op aarde en haar buurplaneten, in: Themanummer planeetafmosferen, *Zenit/Ruimtevaart* 37 (9) (2010) 408-414.

ZOMERSCHOOL

sterrenkunde

26 tot 29 augustus Leuven

- 4 dagen vol sterrenkunde, in theorie én praktijk!
- voor jongeren uit de derde graad van het secundair onderwijs
- in samenwerking met Groep T, KULeuven, VUB en UGent

- prijs: 180 euro (overnachting, maaltijden & studiemateriaal)
- 125 euro (maaltijden & studiemateriaal)
- VVS-leden genieten van 20 euro korting!*
- overnachting in jeugherberg 'De Blauwput'

meer informatie én inschrijven:
zomerschool@vvs.be - www.vvs.be

sterrenkunde: denken en doen!



Stichting 'De Koepel' landelijke organisatie voor amateursterrenkunde - uitgeverij - winkel
 Onafhankelijk en deskundig advies bij aanschaf telescopen - Nederlands beste astronomische boekhandel



Bresser National Geographic 60/700 lenzentelescoop AZ

- 60 mm lenzenkijker
- brandpunt 700 mm
- azimutale montering op statief
- 3 oculairen (4, 12.5 en 20 mm)
- zoeker 5x24
- transporttas
- CD met astronomie-software
- prijs € 105,-

Bresser levert ook verrekijkers, spottingscopes, weerstations en nog veel meer telescopen van National Geographic



Celestron Advanced VX 8" Schmidt-Cassegrain

- de meest verkochte SCT op een geheel vernieuwde GoTo-montering
- veelzijdig

Nieuwe advertentie volgt

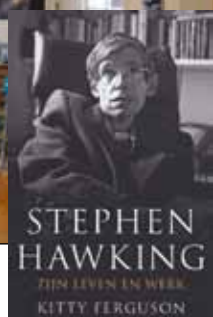
- prijs €97,50



Abonnement Zenit

Volg de actuele ontwikkelingen in sterrenkunde, weerkunde en ruimteonderzoek op de voet. Zenit biedt praktische informatie om actief met uw hobby aan de slag te gaan. Als u nu abonnee wordt krijgt u 5 nummers van Zenit voor minder dan de prijs van 4 nummers: € 18,-.

Kijk op: www.dekoepel.nl/zenitaanbieding



Stephen Hawking, zijn leven en werk

- een vakantie-aanrader!
- prijs €29,95

Stichting 'De Koepel' is dealer voor Celestron, Meade, Bresser, William Optics, Coronado en Lunt telescopen
 Bezoek de winkel of kijk voor alle producten in de webwinkel: www.dekoepel.nl/winkel
 Vermelde prijzen zijn exclusief verzendkosten.

Stichting 'De Koepel'
 Zonnenburg 2, 3512 NL Utrecht
 Tel. 030-8201430, info@dekoepel.nl

www.dekoepel.nl

