

## Een uitnodiging tot discussie

De staat van het klimaatonderzoek 2008<sup>1</sup>

Arthur Rörsch

*In de twintigste eeuw is een stijging van de gemiddelde wereldtemperatuur vastgesteld. Deze wordt tot op het heden algemeen als een klimaatverandering gezien.*

*De temperatuur van het aardoppervlak wordt niet alleen bepaald door de stralingsenergie die het van de zon ontvangt, maar ook door warmtestraling (infraroodstraling) vanuit de atmosfeer, die vooral door waterdamp en wolken wordt opgewekt. Men noemt dit het broeikaseffect. In de atmosfeer komt een kleine hoeveelheid kooldioxide (CO<sub>2</sub>) voor – een gas dat eveneens infrarood kan absorberen en emitteren. De CO<sub>2</sub>-concentratie vertoonde gedurende de vorige eeuw tot op heden een stijging van ruwweg 280 tot 380 ppmv. Daaraan zou een versterkt broeikaseffect kunnen worden toegeschreven.*

*De stijging van de CO<sub>2</sub>-concentratie wordt in verband gebracht met het sterk toenemende gebruik van fossiele brandstof. De eerdergenoemde klimaatverandering die uit de temperatuurstijging zou blijken, kan derhalve in beginsel aan een menselijke beïnvloeding worden toegeschreven en worden aangeduid als AGW (Anthropogenic Global Warming). De uitwerking van dit effect wordt onder meer met computersimulaties berekend. In het onderstaande wordt dit proces aangeduid met AGW-modellering.*

*Er is thans echter twijfel gerezen aan de betrouwbaarheid van die simulaties omdat de gemiddelde wereldtemperatuur zich het afgelopen decennium heeft gestabiliseerd (zie figuur 1) terwijl de CO<sub>2</sub>-concentratie onverminderd is toegenomen. Tegen deze achtergrond is in de eerste plaats nadere beschouwing gewenst van de grondslagen van de zogenoemde broeikashypothese. Die omvat de theoretische beschrijving van het verloop van stralingsprocessen in de atmosfeer en de vraag welke bijdragen deze aan het broeikaseffect leveren. Het is voorts noodzakelijk dat de mogelijke natuurlijke oorzaken van klimaatverandering uitvoeriger dan tot nu toe worden onderzocht.*

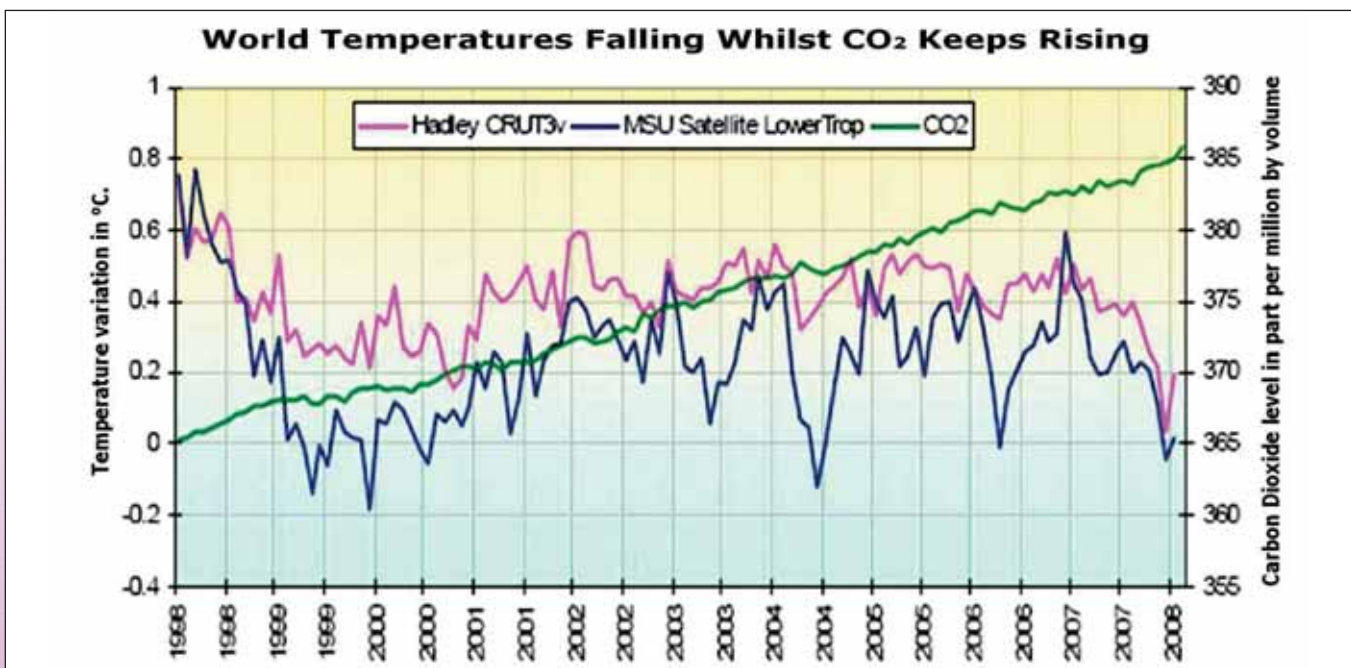
*In het navolgende worden allereerst kort de klassieke opvattingen daarover behandeld, die enigszins in het vergeetboek lijken te zijn geraakt.*

## De definitie van klimaat

Klimaat wordt gedefinieerd als een gemiddelde conditie over 30 jaar van weersomstandigheden, zoals temperatuur, druk, relatieve vochtigheid, neerslag, bewolking en overheersende windrichtingen. Het tijdsbestek van gemiddeld 30 jaar is

een arbitraire keuze om klimaatveranderingen over langere perioden in kaart te brengen.

Klimaat is sterk aan locaties gebonden. Zo spreken we bijvoorbeeld van een land- of zeeklimaat, een tropisch of een gematigd klimaat. Een bepaald klimaat is ook tijdsgebonden. Zo kennen we, gebaseerd op historische beschrijvingen, in



Figuur 1.

Europa een relatief warme Romeinse periode tijdens het begin van onze jaartelling, die in de vroege middeleeuwen door een koude fase werd gevolgd. Daarna trad weer een warme periode op, bekend als het 'Middeleeuws Klimaatoptimum'. De periode van de late middeleeuwen tot het midden van de negentiende eeuw, staat bekend als de 'Kleine IJstijd'. Op schilderijen uit die periode zien we vaak tafereelen afgebeeld waaruit blijkt dat de winters streng waren. Vanaf omstreeks 1850, samenvallend met het begin van betrouwbare lokale temperatuurmetingen door weerstations, lijken we door een temperatuurstijging weer in een meer comfortabel klimaat te zijn terechtgekomen.

Temperatuur is bij beschrijvingen van een klimaat een belangrijke indicator. In de gematigde en polaire zones wisselt de temperatuur echter sterk per dag en nacht, per maand, per seizoen en per jaar. Daarom berekent men gemiddelde temperaturen per 24 uur, per maand of per jaar, zodat men de temperatuur als een aanwijzing voor **LOKALE** klimaatveranderingen kan gebruiken. Om fundamentele redenen is een 'gemiddelde' temperatuur echter niet een kenmerk van een heterogeen systeem dat niet in inwendig evenwicht is. Zo'n gemiddelde heeft dus maar beperkte praktische betekenis. De consequentie hiervan is dat, als men een gemiddelde wereldtemperatuur probeert te bepalen, daar een inherente onnauwkeurigheid in zal zitten. Die kan enkele tienden van een graad Celsius bedragen. Dit kan betekenen dat de temperatuurfluctuaties die wij menen te registreren, niet noodzakelijkerwijze verband houden met externe energie toe- of afvoer aan het systeem aarde.

Op een geologische tijdschaal ligt dit anders en kunnen, uit wisselingen van de vegetatie en uit de chemische samenstelling van mineralen en gesteenten, grote temperatuurschommelingen worden afgeleid over periodes van honderdduizenden jaren. Daarbij gaat het in het bijzonder om ijstijden (glacialen), tijdens welke grote delen van de aarde door ijs werden bedekt, en de tussenliggende warme perioden (interglacialen).

## De stand van de wetenschap in het midden van de twintigste eeuw<sup>2</sup>

In een bepaalde klimaatzone wordt het klimaat door vijf hoofdelementen bepaald:

- de lokaal ontvangen stralingsenergie van de zon, die sterk afhangt van de breedtegraad;
- de reflectie daarvan door het lokale wolkendeck en het aardoppervlak;
- de lokale verdeling van het land en de zee;
- de topografie waarbij gebergten meteorologische interacties tussen onderscheidene zones begrenzen;
- de bewegingen van belangrijke golfstromen en opwellingen uit de diepzee.

En voorts, op microniveau:

- de vegetatie, de aanwezigheid van meren, steden en industriële activiteiten.

Naast de lokaal direct ontvangen stralingsenergie van de zon zijn vooral ook de dampkring en de energietransporten die daarin horizontaal en verticaal plaatsvinden, van groot belang bij het bewerkstelligen van een bepaalde conditie in de lokale klimaatzones. Zonder die dampkring en de energietransporten die over de grenzen van de klimaatzones plaatsvinden, zouden de temperatuurverschillen tussen de equator en een pool zeer groot zijn (in de orde van grootte van tweehonderd graden Celsius).

De wijze waarop de dampkring invloed uitoefent, is zeer wisselend. Deze heeft een sterk chaotisch karakter door de

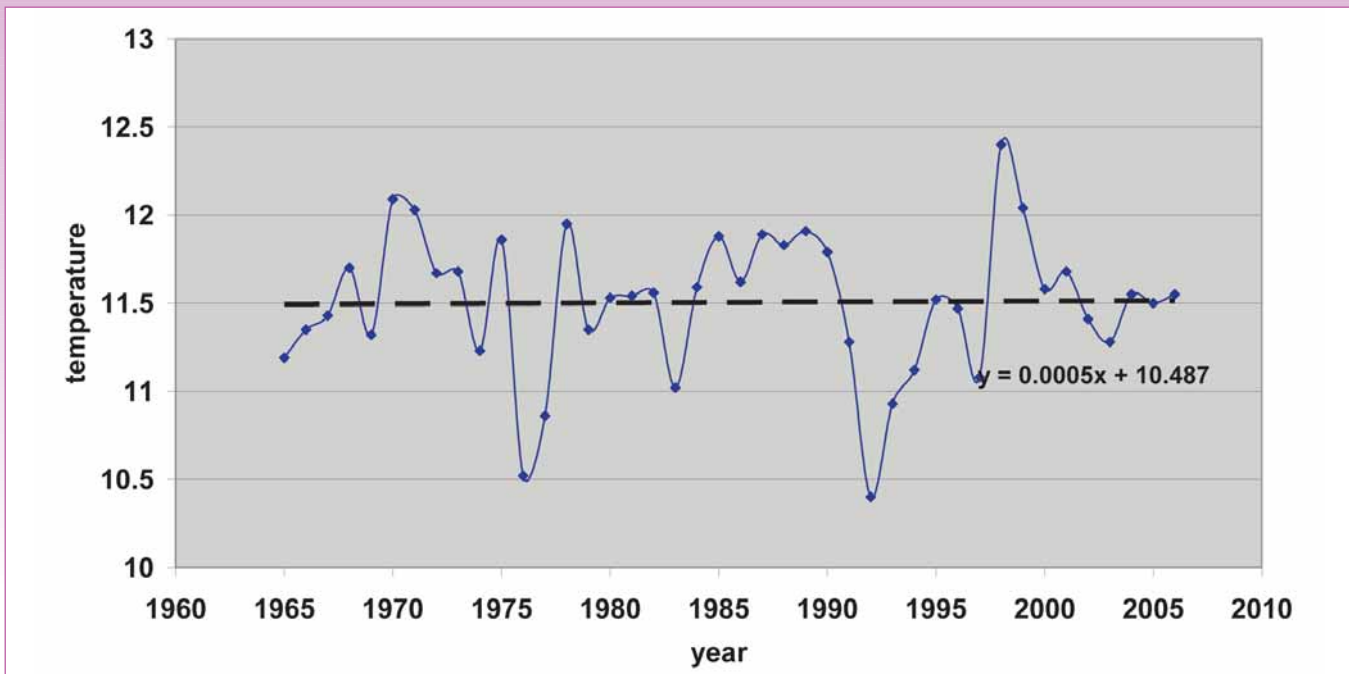
(zeker op langere termijn) moeilijk voorspelbare verandering van winden en bewegingen van hoge- en lagedrukgebieden, en ook vanwege verschillen in watergehalte van de dampkring. Het grootste energietransport vindt plaats via zeestromingen, vanwege de grote warmtecapaciteit van water. Mede daardoor hebben zeestromingen een sterk stabiliserende invloed op het klimaat van landen die niet ver van de zee liggen. Daarbij komt dat 70% van het aardoppervlak bestaat uit oceanen. In de gematigde klimaatzones blijft de wisselvalligheid echter toch groot.

Ondanks genoemde natuurlijke wisselvalligheid over jaren en decennia, meende men anno 1960 toch al enig inzicht te hebben in de oorzaken die op wereldschaal de klimaatvariabiliteit in lokale klimaatzones hebben beïnvloed gedurende de laatste 10.000 tot 1.000 jaar. In de *Encyclopaedia Britannica*<sup>2</sup> vinden we hierover de volgende passage: "Het brede patroon van klimaatveranderingen in deze periode is in overeenstemming met de hypothese van afwisselende afzwakking en versterking van de atmosferische circulatie, die verbonden zijn met afwisselende poolwaartse en equatorwaartse veranderingen van de windzones. Tijdens perioden met geringe circulatie trekken de westenwinden rond de polen samen en treden er veel anticyclonen op tussen de keerkringen. De winden zijn variabel, de regenval is relatief gering en het klimaat heeft een 'continentaal karakter' dat wordt gekenmerkt door koude winters en warme zomers. Als de circulatie sterker is, overheersen de westenwinden. Er treden dan meer stormen op, die tot lagere breedtegraden doordringen. De regenval is heftiger en het klimaat krijgt meer het karakter van een zeeklimaat. Dit was de algemene situatie in het Atlantische gebied, met enkele onderbrekingen na 1200."

## Wetenschappelijke ontwikkeling sinds 1965: de ontwikkeling van de theorie van de invloed van CO<sub>2</sub> op het broeikaseffect

Men heeft een goed inzicht in de mogelijke oorzaken van de klimaatwisselingen in Nederland en West-Europa gedurende de laatste decennia. Er is een sterke samenhang waargenomen tussen klimaatwisselingen en de zogenaamde Noord Atlantische Oscillatie (NAO). De NAO is een periodiek veranderend gemiddeld luchtdrukverschil dat boven de oceaan tussen IJsland en de Azoren wordt waargenomen. Ons weer, met name in de winter, lijkt in hoge mate te worden beïnvloed door wat zich in de atmosfeer boven de Atlantische Oceaan afspeelt.

Er was anno 1960 nog weinig aandacht voor de invloed van de CO<sub>2</sub>-concentratie op het zogenoemde broeikaseffect. Dat is het gevolg van de warmte die door de atmosfeer wordt vastgehouden, hoofdzakelijk door het vermogen van waterdamp om over een breed spectrum in het infraroodbereik stralingsenergie te absorberen (en uit te zenden). Wel was door geologen vastgesteld dat afwisseling van ijstijden en interglacialen gepaard ging met grote sprongen in de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer. Op grond hiervan had Arrhenius in 1896 beargumenteerd dat CO<sub>2</sub> een belangrijke invloed zou hebben op de temperatuurvariëaties tijdens ijstijden en interglacialen. Deze argumentatie (die rond 1900 al was weerlegd, in het bijzonder door Ångström) werd door de grondleggers van de AGW-modellering in de jaren tachtig weer uit de kast gehaald. De theorie van Arrhenius over de verklaring van het optreden van ijstijden als gevolg van het atmosferisch CO<sub>2</sub>-gehalte kan echter worden weerlegd op grond van meer nauwkeurige analyse van wat zich op een GEOLOGISCHE tijd-



Figuur 2: Temperatuurverloop in Christchurch Nieuw-Zeeland.

schaal afspeelde. De verandering in de  $\text{CO}_2$ -concentratie VOLGT de temperatuurveranderingen en niet omgekeerd. De afwisseling van ijstijden en interglacialen wordt veroorzaakt door cyclische veranderingen in de aardbaan rond de zon en door cyclische veranderingen in de stand van de aardas ten opzichte van het vlak waarin de aarde om de zon draait. Op zichzelf hoeft wat zich thans afspeelt, mogelijk onder invloed van de verhoogde menselijke productie van  $\text{CO}_2$ , in principe niet vergelijkbaar te zijn met wat zich op een geologische tijdschaal voordeed.

### De werking van de aardse broeikas

Meer fundamenteel van aard zijn de verschillen in opvatting over de vraag hoe het natuurlijke broeikas effect tot stand komt, en welke kwantitatieve invloed  $\text{CO}_2$  daarop zou kunnen uitoefenen.

Voor een goed begrip is het van belang te onderstrepen dat de AGW-modellering uit meerdere componenten bestaat.

De eerste en de belangrijkste is de veronderstelling dat toename van  $\text{CO}_2$  in de atmosfeer de absorptie van warmtestraling MOET verhogen omdat het andere infraroodgolflengten absorbeert dan het belangrijkste aanwezige 'broeikasgas' water. Op het eerste gezicht is dit plausibel, maar doet zich dit ook in werkelijkheid voor in de gehele aardatmosfeer? Vooralsnog is dit effect *in situ* niet aangetoond. Het is plaatsgebonden. Op het Zuidpool-station Amundsen of in Christchurch Nieuw-Zeeland wordt dit bijvoorbeeld niet geregistreerd (zie figuur 2). De  $\text{CO}_2$ -concentratie aldaar steeg, zoals ook elders in de wereld, zonder dat dit gepaard ging met een significante temperatuurstijging.

Een tweede belangrijke component is de theoretische beschouwing over de wijze waarop warmtetransport door straling plaatsvindt in een gasmengsel waarin zich infrarood-absorberende en -emitterende moleculen bevinden. Deze moleculen absorberen straling volgens de natuurwet van Lambert-Beer en emitteren deze volgens de wet van Stefan-Boltzmann. De combinatie van beide wetten leidt tot een onoplosbare wiskundige formule om het proces in het medium te beschrijven. Dankzij computersimulaties kan men echter numeriek een indruk krijgen van wat zich afspeelt – althans in een stilstaand medium. In werkelijkheid wordt de tempe-

ratuur sterk beïnvloed door andere effecten, zoals convectie in de atmosfeer, verdamping en condensatie van water en wisselvallige meteorologische verschijnselen. De geldigheid van de gebruikte fundamentele fysische wetten wordt niet betwijfeld, maar wèl of zij *in situ*, in combinatie met die andere verschijnselen, ook de te verwachten uitwerking hebben.

De derde component in de AGW-modellering vormen de eerdergenoemde klimaatmodellen, gebaseerd op de GCM's, die na 'parametrisatie' zouden bevestigen dat de temperatuurstijging gedurende de tweede helft van de twintigste eeuw "onmogelijk verklaard kan worden zonder het te verwachten verhoogde broeikas effect van  $\text{CO}_2$  in aanmerking te nemen". De belangrijkste tegenwerping daartegen is dat men waarschijnlijk onvoldoende rekening heeft gehouden met de omvang van astronomische invloeden, in het bijzonder de veranderende activiteit van de zon. Deze worden ook nog niet geheel begrepen. Dat andere belangrijke invloeden onvoldoende zijn verwerkt in de huidige klimaatmodellen, blijkt uit het feit dat deze niet de stabilisatie van de temperatuur na 2000 'voorspelden'. Een andere tegenwerping is dat men door 'parametrisatie' weliswaar *curve fitting* kan verkrijgen, maar dat dit toch geen goede verklaringen geeft van de waargenomen afwijkingen.

De tegenovergestelde opvatting, dat  $\text{CO}_2$  geen of slechts een geringe invloed kan hebben op de opwarming, is echter ook niet ondubbelzinnig experimenteel bewezen. En deze opvatting is ook theoretisch nog onvoldoende onderbouwd. Men kan slechts stellen dat het AGW-broeikasmodel, ontleend aan GCM's zoals tot nu toe gepresenteerd, in strijd is met de waarnemingen. Dit zou tenminste aanleiding moeten zijn om het heersende broeikasmodel op diens theoretische grondslagen te herzien.

### AGW-modellering ter discussie gesteld

Waar schieten de modellen nu tekort? In de eerste plaats dient men wat betreft de uitwerking van de fysische eigenschappen van het  $\text{CO}_2$ -molecuul *in situ* rekening te houden met het feit dat het in de atmosfeer ook de emissie bevordert. Naast de verhoogde terugstraling naar het aardoppervlakte

vlak leidt dit ook tot verhoogde uitstraling naar het heelal. Een derde van de door de zon ontvangen stralingsenergie wordt in de atmosfeer geabsorbeerd, tweederde bereikt het aardoppervlak. Indien de optische dichtheid van de atmosfeer toeneemt, bijvoorbeeld door toename van het waterdampgehalte of uitbreiding van het wolkendeck, verhoogt dit de directe uitstraling naar het heelal en vermindert het de doorgang van de van de zon afkomstige stralingsenergie naar het aardoppervlak, zodat dit minder opwarmt. Bovendien is de uitstraling van warmte door CO<sub>2</sub> juist van belang in de hogere luchtlagen, waar minder waterdamp voorkomt. Door verhoging van de CO<sub>2</sub>-concentratie zal dus niet alleen het broeikas effect enigszins kunnen toenemen, maar zal gelijktijdig de uitstraling toenemen.

Het tweede aspect, de theorie van warmtetransport door straling door de atmosfeer, is onderwerp van discussie onder de fysische en wiskundige experts op dit gebied. De opposanten van de AGW-hypothese stellen dat deze lacunes vertoont. Het gaat hierbij onder meer om een verschil in opvatting over de vraag in hoeverre de optische dichtheid van de atmosfeer (en daarmee haar vermogen om 'warmte' vast te houden) wordt bepaald door afzonderlijke golflengten van specifieke infrarood absorberende moleculen (H<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub>) of door een wisselwerking van die moleculen. Aldus stelt Essenhigh<sup>3</sup> dat de hoeveelheid vastgehouden warmte in de atmosfeer overwegend wordt bepaald door de lange (absorberende en emitterende) golflengten van H<sub>2</sub>O en niet door de kortere, voorname (absorptie/emissie-) band van CO<sub>2</sub>.

Bij het derde aspect, in hoeverre de klimaatmodellen na parametrisering, een 'bewijs' kunnen leveren voor de AGW-hypothese, zijn in het voorgaande reeds een aantal vraagtekens geplaatst. Procestechnologen betwijfelen of de gecompliceerde stromingswetten voor gassen (Navier Stokes) voldoende adequaat kunnen worden verwerkt (een probleem dat zich eveneens voordoet bij het modelleren van bijvoorbeeld ventilatoren om tot betere ontwerpen te komen). Sommige meteorologen betwijfelen de kwaliteit van de wijze waarop de wolken en de onttrekking van latente warmte door waterverdamping aan het oppervlak in de modellen worden meegenomen.

### Is het klimaatsysteem stabiel of instabiel?

Een ander belangrijk verschil van opvatting tussen aanhangers van de AGW-hypothese en de critici betreft de (in)stabiliteit van het klimaatsysteem. De eersten stellen: het klimaatsysteem is fragiel. Een kleine verstoring zou een grote verandering kunnen veroorzaken. Men spreekt van een mogelijk *run away effect*. Aangezien het klimaatsysteem een zeer complex systeem is, waarin vele verschillende krachten naast elkaar en op elkaar in werken, is dit *a priori* zeker geen absurde veronderstelling. Volgens de moderne complexiteitstheorie kan een kleine kracht in een open systeem dat zich in een dynamisch evenwicht (echter ver van het thermodynamisch evenwicht) bevindt, inderdaad een groot effect hebben op de ligging van het dynamische evenwicht. Klassiek is de metafoer van de meteoroloog Lorenz: een vliinder die nabij de equator met zijn vleugels klapt, zou een orkaan kunnen veroorzaken die tot aan de Golfkust van de Verenigde Staten doordringt.

Inmiddels is er al wel wat meer inzicht ontstaan in de wijze waarop orkanen ontstaan<sup>4</sup>. De temperatuurstijging van het plaatselijke oceaanooppervlak dient een grenswaarde te overschrijden. Vlinders spelen daarin geen rol en, zoals elke metafoer, heeft ook deze zijn beperking. Voorts: het hier beschreven *run away effect* heeft betrekking op het tijdelijke 'vertrek' van een plaatselijke evenwichtstoestand. Orkanen

hebben niet het eeuwige leven en lossen zich onder invloed van andere krachten weer op.

De critici van de AGW-hypothese stellen daarentegen dat het aardse klimaatsysteem relatief robuust is. De aarde is een unieke waterplaneet, waarvan 70% van het oppervlak door oceanen wordt ingenomen. Vloeibaar water heeft op zichzelf een relatief grote warmtecapaciteit en warmt niet zo snel op of koelt niet zo snel af bij verandering van energie-(warmte)stromen. Dit waarborgt een zekere stabiliteit. Voorts wordt de gemiddelde toestand op aarde in het bijzonder gekarakteriseerd door het feit dat het water in drie aggregatietoestanden voorkomt. Als waterdamp in de lucht, als water in de oceanen en als ijs aan de polen en op bergtoppen. Een typische eigenschap van H<sub>2</sub>O is dat het bij overgang van de ene in de andere aggregatietoestand een grote hoeveelheid, zogenaamd latente, warmte vrijmaakt of absorbeert. Iets meer opwarming of afkoeling leidt tot een andere procentuele verdeling van de drie aggregatietoestanden, zonder dat dit noodzakelijkerwijs de gemiddelde aardtemperatuur beïnvloedt. Men spreekt derhalve van de waterthermostaat. In de laatste miljarden jaren van de geschiedenis van de aarde is het klimaat nooit extreem uit de hand gelopen. Verstoringen werden altijd gedempt.

### Op zoek naar een warmtebron

Als het aardoppervlak als geheel opwarmt, zoals na het einde van de Kleine IJstijd het geval was, en dit niet zou worden veroorzaakt door een versterkt broeikas effect, dan moet daarvoor een warmtebron zijn aan te wijzen. Of tenminste een verandering in de aan- en afvoer van de warmtestromen naar het oppervlak. Theoretisch zijn de volgende mogelijkheden daarvoor denkbaar.

De meest voor de hand liggende is dat meer stralingsenergie van de zon het oppervlak bereikt. Hiervoor kunnen er weer meerdere, verschillende oorzaken zijn. Ten eerste: de kracht van de zon zelf neemt toe. Ten tweede: meer energie dringt door de atmosfeer, bijvoorbeeld door een lichte afname van de bewolgingsgraad. Beide aspecten worden in het onderstaande nader toegelicht.

Een andere mogelijkheid is dat het oppervlak plaatselijk wordt opgewarmd door verlegging van zeestromen. De opmerkelijke stijging van de gemiddelde aardtemperatuur in 1998 (zie figuur 1) wordt toegeschreven aan het gedrag van een golfstroom in de Grote Oceaan, de zogenoemde El Niño. De golfstromen in de oceanen vertonen oscillaties, waarvan het gedrag in de tijd tot op zekere hoogte uit het verleden valt af te leiden.

Vervolgens is er de mogelijkheid dat ook de algemene luchtcirculatie, die in de inleidende paragraaf is beschreven, een eigen leven leidt, waarbij de totaal ontvangen warmte tijdelijk op een andere wijze over het oppervlak en de atmosfeer wordt verdeeld. Een ander gemiddelde voor het oppervlak kan daarvan het gevolg zijn, zonder dat er sprake hoeft te zijn van een verandering van de warmte-inhoud van het gehele systeem (oppervlak plus atmosfeer). Dit doet zich voor als niet-lineaire processen een rol spelen, hetgeen in het klimaatsysteem het geval is.

Tenslotte is een interessant aspect dat alle bovengenoemde verschijnselen naast elkaar kunnen optreden, hetgeen tenminste een verklaring zou opleveren voor het grillige temperatuurverloop dat wordt geregistreerd, en dat elk verschijnsel, binnen bepaalde grenzen, een eigen tijdsconstante vertoont. De verschillende golfbewegingen kunnen elkaar dan soms versterken en soms afzwakken.

Global Temperature History (CRU Data)



Figuur 3.

Bekijken we de temperatuurschommelingen zelf nog eens nader, dan kunnen daarin verschillende hypothetische cycli met tijdsconstanten van bijvoorbeeld 65, 230 en enkele van 100.000 jaren worden herkend.<sup>5</sup> De laatstgenoemde weerspiegelen het optreden van de grote ijstijden en tussenijstijden. De eerste twee zijn op een historische tijdschaal van belang.<sup>6</sup> Als deze ritmen in figuur 3 worden ingetekend, dan zou hun samenvallende stijging na 1970 een natuurlijke verklaring kunnen zijn voor de opmerkelijke temperatuurstijging sinds dat jaar. Deze (wellicht al te) suggestieve voorstelling van zaken vertelt ons echter nog niets over de oorzaken van de cycli.

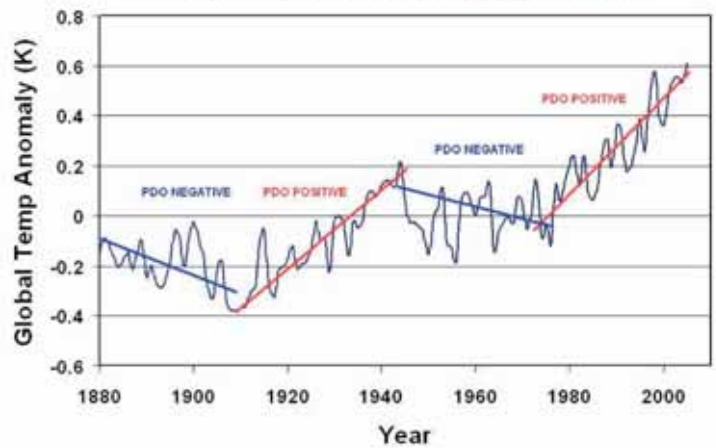
### De invloed van de oceanen

De oceanen, die een groot deel (70%) van het aardoppervlak innemen en tot een diepte van 10 km gaan, bevatten 97 % van het water op aarde. Het is echter onwaarschijnlijk dat zij zelfstandig een belangrijke warmtebron zijn omdat de diepzee aanmerkelijk koeler is dan het oppervlak. Op 1.000 m diepte is overal de gemiddelde temperatuur 4 °C, terwijl de gemiddelde oppervlaktetemperatuur 15 °C bedraagt. De oppervlaktetemperatuur is uiteraard sterk afhankelijk van de breedtegraad en varieert van equator tot 62 graden Noorderbreedte van 28 °C tot 5 °C. Zowel de stand van de zon als de schommelingen in de bewegingen van de golfstromen in de watergrenslaag bepalen in hoge mate de temperatuurverdeling over het wateroppervlak en in de luchtgrenslaag daarboven.

Toenemende opwelling van water uit de diepzee zal in het algemeen tot afkoeling aan het oppervlak leiden. Een gebied met relatief sterke opwelling en menging met de grenslaag doet zich voor in het zuidelijk deel van de oceanen. De coincidentie van een toegenomen menging in dit gebied met een wereldwijd waargenomen toeneming van de temperatuur in de luchtgrenslaag zou zeer wel een verklaring kunnen zijn voor het feit dat de laatste zich niet op het Zuidelijk Halfrond heeft voorgedaan. De consequentie hiervan is dat, gegeven een wereldwijd geconstateerde gemiddelde opwarming, de opwarming op het Noordelijk Halfrond boven gemiddeld moet zijn geweest. Of een toegenomen koude opwelling van aanzienlijke omvang zich heeft voorgedaan, is echter niet onduidelijk vastgesteld.

Regelmatige veranderingen in de plaatselijke temperatuur van het zeeoppervlak en verschillen tussen oost en west zijn wel geassocieerd met verlegging van zeestromingen in de Grote Oceaan. Men spreekt hier van de Pacific Decadal Oscillation (PDO), die mede de eerdergenoemde El Niño zou

Could the Earth's Global Mean Temperature be Set by Temperature Cycles in the Oceans?



Figuur 4.

veroorzaken. Voor de kust van Chili bevindt zich een natuurlijke koude-opwelling die door de verhoogde warmte-inhoud van de El Niño omlaag wordt gedrukt. Onlangs heeft Wilson laten zien dat de kleine stijgingen en dalingen in de gemiddelde wereldtemperatuur in de periode 1900-2000 samengaan met de omslagen in de PDO (zie figuur 4).

De PDO is niet het gevolg van wereldwijd gemiddelde temperatuurschommelingen, maar van lokaal optredende temperatuurverschillen. Dit wijst erop dat variatie in de lokale algemene meteorologische condities in onderscheidene klimaatzones, zoals eerder werd beschreven, de drijvende kracht is.

Dit laat echter onverlet de vraag wat de eventuele oorzaak van de lichte temperatuurstijging met 0,8 °C kan zijn sinds het einde van de Kleine IJstijd. Is de oorzaak een externe warmtebron of, zoals de AGW-modellering suggereert, een verandering in de atmosferische samenstelling, of is het berekende gemiddelde een gevolg van verschillen in bijdragen aan dat gemiddelde van de onderscheidene klimaatzones?

### De zon als warmtebron

Bij nadere beschouwing van de eerste mogelijkheid komt de zon als enige energiebron in aanmerking. Er zijn geen aanwijzingen dat de zogenaamde zonconstante (de stralingskracht) in de laatste decennia sterk is gewijzigd. Waar het bij deze beschouwing echter om gaat, is niet zozeer wat de zon uitstraalt, als wel welke stralingsenergie het aardoppervlak bereikt. Deze is in de eerste plaats afhankelijk van de bewolgingsgraad, die wereldwijd 50 % bedraagt. Svensmark<sup>8</sup> heeft beschreven hoe de hoeveelheid kosmische straling die tot 3 km hoogte doordringt, samenhang vertoont met de wolkvorming op die hoogte. Die hoeveelheid kosmische straling is afhankelijk van het aardmagnetische veld en het wisselende veld dat de zon opwekt. Dit veld vertoont een coincidentie met het aantal zonnevlekken dat wordt waargenomen.

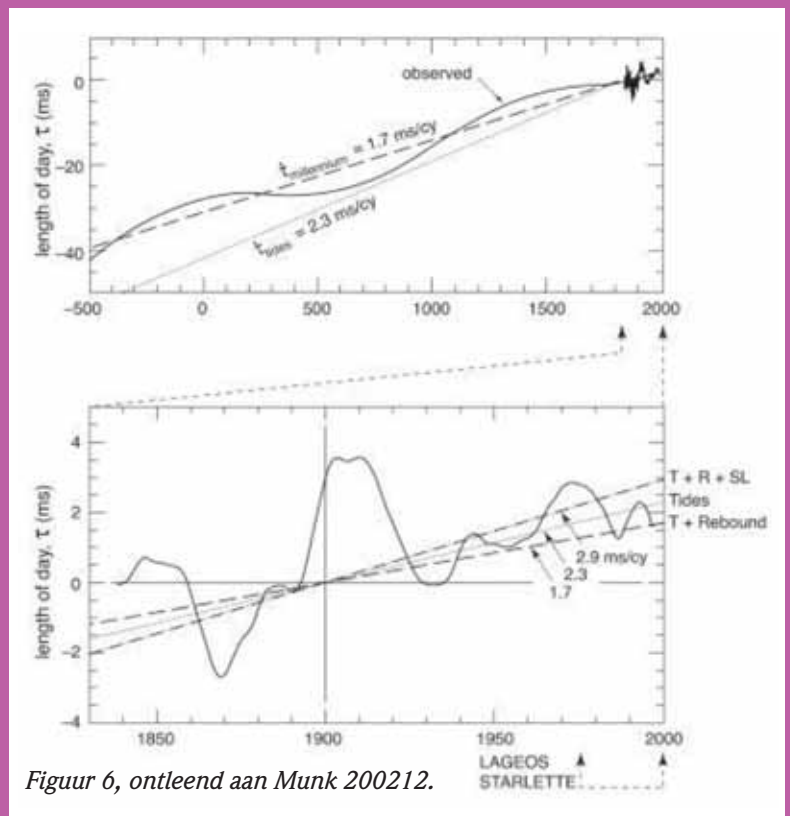
Zonnevlekken verschijnen in cycli van 22 jaar en ruim een jaar geleden is de cyclus 23 beëindigd, maar nummer 24 is nog steeds niet begonnen. Een dergelijk uitstel heeft zich vaker voorgedaan, en werd gevolgd door een relatief koude periode. Dat zou erop kunnen wijzen dat thans met de inzet van een temperatuurdaling is begonnen. De gemiddelde wereldtemperatuur in augustus 2008 ligt 0,3 °C lager dan in dezelfde maand in 2007. Deze daling is relatief groot in vergelijking met de stijging van 0,8 °C die zich tussen 1850 en 2002 heeft voorgedaan, maar conclusies voor de middellange termijn zijn voorbarig want overeenkomstige schommelingen deden zich voor in 1905, 1919, 1975 en 1998.

## Box 1

### Waarom de zeespiegel mogelijk niet versneld stijgt

De maan oefent via de getijdenwerking een eenparige vertraging op de aardrotatie uit die berekend is op 2,3 msec per eeuw. Doch de waargenomen vertraging bedraagt 1,7 msec. Het verschil (0,6 msec) wordt toegeschreven aan de vervorming van de aardkust door het verminderen van de ijskappen sinds de laatste (grote) ijstijd. In de bovenste figuur is aangegeven dat gedurende de laatste 2.500 jaar de verandering van de rotatiesnelheid een lichte afwijking van de gemiddelde afname vertoont. Er worden twee pieken waargenomen, die respectievelijk samenvallen met de warme Romeinse periode en de warme middeleeuwen (omstreeks 1200). Daartussen ligt een relatief koude periode. Na de warme middeleeuwen volgde de Kleine IJstijd, die weer samenvalt met een afname van de vertraging van de rotatiesnelheid. Het ligt dus voor de hand te veronderstellen dat de verandering van het traagheidsmoment het gevolg is van de volumeverandering van het oceanwater, dat zich in een koude periode meer in de vorm van ijs op hoge breedte ophoopt en zich in warme periodes weer als water over de aardbol verspreidt en daarbij uitzet.

In de onderste figuur is het grillige verloop van de verandering van de rotatiesnelheid na het einde van de Kleine IJstijd (1850) vergroot weergegeven. In deze periode is de temperatuur met 0,6–0,8 °C gestegen. In de figuur zijn drie basiscurven weergegeven. Eén, gemerkt 'tides' (2,3 msec/eeuw), die de berekende natuurlijke vertraging weergeeft als gevolg van de invloed van de maan op de getijden. Een tweede curve, gemerkt 'T+rebound' (1,7 msec/eeuw), die overeenstemt met de lange-termijnwaarnemingen en lager ligt. Deze afwijking wordt verklaard met de 'rebound', de plaatselijke aardkorststijging na het verdwijnen van de ijsdruk na de laatste grote ijstijd, die het traagheidsmoment van de aarde vergroot. De derde curve, gemerkt T + R + SL, met een helling van 2,9 msec/eeuw, veronderstelt een extra zeespiegelstijging (SL = Sea level rise) als gevolg van de klimaatverandering in de periode na de Kleine IJstijd. Het waargenomen grillige verloop van de vertraging en de versnelling van de rotatiesnelheid oscilleert rond de eerste curve en blijft grotendeels onder de theoretische curve met zeespiegelstijging. Dit suggereert dat de tot dusver gemeten versnelde, lokale, zeespiegelstijging niet mondiaal representatief is.



Figuur 6, ontleend aan Munk 200212.

Via metingen aan ijskernen en jaarringen van bomen weten we hoe de van zonne-activiteit afhankelijke aanmaak van de isotopen beryllium-10 en koolstof-14 in het verleden heeft gefluctueerd. Paleoklimatologen hebben een duidelijke samenhang gevonden tussen veranderingen in de activiteit van de zon en klimaatveranderingen. Het klimaat blijkt gevoelig te zijn voor op zichzelf kleine veranderingen in de activiteit van de zon.

### Andere kosmische invloeden

Een opmerkelijk verschijnsel is dat sinds de koudste fase van de laatste (grote) ijstijd (20.000 jaar geleden) de wenteling van de aarde om zijn as wordt vertraagd. Dit wordt uitgedrukt in een verandering van de lengte van de dag (LOD, *Length of Day*), die gepaard gaat met een evenredige zeespiegelstijging als gevolg van de verandering van de hoeveelheden landijs en oceanwater. De verklaring is dat dit wordt veroorzaakt door de verlegging van het zwaartepunt van de aarde door de onevenredige verdeling van de watermassa over het oppervlak, onder invloed van de getijdenwerking.

De waargenomen evenredige toename van de LOD met de tijd vertoont echter afwijkingen naar boven en naar beneden die samenvallen met de warme Romeinse periode, de koude en de daaropvolgende warme Middeleeuwen, de Kleine IJstijd en de temperatuurstijging in de twintigste eeuw (zie box 1).

De getijdenwerking wordt niet alleen veroorzaakt door de omloop van de maan, maar ook door de positie van de aarde ten opzichte van het zwaartepunt van het gehele planetensysteem, het barycentrum, dat in belangrijke mate wordt beïnvloed door de positie van de grote buitenplaneten en zich daardoor voortdurend verplaatst.

We stuiten hiermede op de zoveelste coïncidentie: verplaatsing ten opzichte van het barycentrum → schommeling getijdenwerking ↔ schommeling LOD ↔ schommeling temperatuur. De schommelingen in de LOD zijn in dit schema slechts de weerspiegeling van de schommelingen in de getijdenwerking en de temperatuur. Een causaal verband kan echter worden verondersteld tussen de schommelingen in de getijdenwerking en de schommelingen in de loop van de zee-

stromen, die dan kunnen leiden tot een andere lokale temperatuurverdeling op aarde, en daarmee tot schommeling in het berekende gemiddelde voor de wereldtemperatuur.

### Combinatie van invloeden

De laatste verklaring voor de berekende temperatuurschommelingen heeft dus geen relatie tot verandering in energietoevoer van de zon. De eerdergenoemde invloed van de zon zal wel een direct effect hebben op de hoeveelheid energie die tot het aardoppervlak doordringt, niet vanwege een veranderende zonconstante, maar door verandering van het magnetische veld met daaraan gekoppelde veranderingen in kosmische straling op aarde en daarmee samengaande veranderingen in de wolkenbedekking. Daarnaast is er nog een natuurlijke schommeling in atmosferische circulatie te verwachten, zoals in de klassieke klimatologie beschreven. Atmosferische circulatie en oceaanstromingen zullen elkaar wederzijds beïnvloeden op de grenslaag van atmosfeer en water en aldus de temperatuurverdeling over de aarde beïnvloeden.

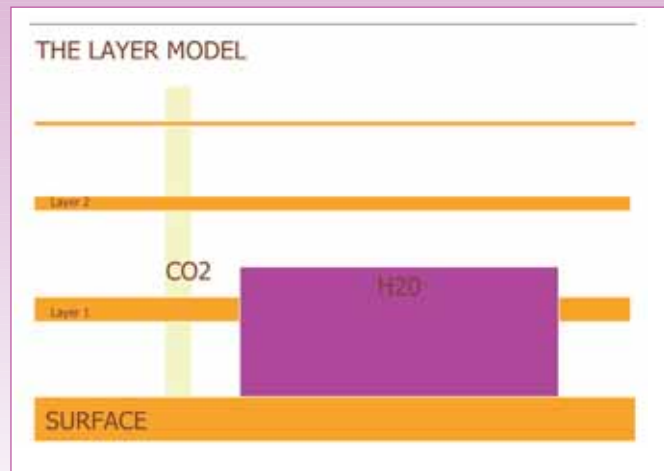
De verschillende cycli, met mogelijk verschillende tijdsconstanten, kunnen dus onafhankelijk van elkaar invloeden uitoefenen, elkaar soms versterken, soms afzwakken, zoals in figuur 2 is gesuggereerd.

### Conclusies over uiteenlopende opvattingen

Allereerst voor alle duidelijkheid het verschil in visie tussen de aanhangers van de AGW-hypothese en hun critici. De eerstgenoemden stellen dat CO<sub>2</sub> vanwege zijn fysische eigenschappen het broeikaseffect moet versterken. Men kan de temperatuurstijging gedurende de laatste 50 jaar niet aan de hand van de modellen verklaren zonder dit veronderstelde CO<sub>2</sub>-effect in aanmerking te nemen. De critici stellen dat de berekende gemiddelde wereldtemperatuur slechts een beperkte betekenis heeft voor de interpretatie van de warmtestromen. De temperatuurschommelingen vallen nog steeds binnen de natuurlijke variatie en een sterk effect van CO<sub>2</sub> daarop is niet *in situ* aangetoond.

De AGW-modellering is hoofdzakelijk gebaseerd op de coïncidentie over lange tijd gedurende de twintigste eeuw van de berekende gemiddelde wereldwijde temperatuurstijging en de stijging van de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer, waaraan een verhoogd broeikaseffect wordt toegeschreven. De coïncidentie laat echter over specifieke perioden (1950–1970, 2000–2008) te wensen over, zodat de causaliteit twijfelachtig wordt. De verklaring van de aanhangers van de AGW-modellering is dat de afwijking van de veronderstelde causaliteit wordt veroorzaakt door natuurlijke variaties, zoals in het voorgaande beschreven. De stagnatie van de temperatuurstijging tussen 1940 en 1970 wordt door hen toegeschreven aan luchtvervuiling. Maatregelen daartegen zouden de opwarming vanwege het versterkte broeikaseffect weer op gang hebben gebracht. Dit soort redeneringen is zeker *a priori* niet geheel onaannemelijk, maar wel gebaseerd op een fysische modellering van het broeikaseffect die nog steeds aan twijfel onderhevig is.

De belangrijkste stof die verantwoordelijk is voor het natuurlijke broeikaseffect, is en blijft water, dat in de onderste luchtlaag is geconcentreerd en daardoor de terugstraling naar het aardoppervlak hoofdzakelijk bepaalt. CO<sub>2</sub> komt in veel kleinere concentratie voor en verdeelt zich als gas over de gehele atmosfeer (zie figuur 5). Verhoging van CO<sub>2</sub> in de onderste luchtlaag zal een relatief gering effect hebben op de terugstraling naar het oppervlak beneden de aangegeven



Figuur 5: Ruw schema voor de verdeling van H<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> in de atmosfeer.

laag 1 en in de hogere luchtlagen de uitstraling naar het heelal juist bevorderen.

De claim van de aanhangers van de AGW-modellering is dat de verschillende warmtestromen, van straling en convectie, in horizontale en verticale richting, voldoende goed zijn gemodelleerd met zogenaamde algemene circulatiemodellen (GCM, *General Circulation Model*). Deze modellen zijn gebaseerd op de meteorologische modellen die voor de weersverwachtingen worden gebruikt. Het weer is echter niet op langere termijn dan enkele dagen tot een week te voorspellen, en de tegenwerping is dan dus dat dit ook voor klimaat-schommelingen zou gelden. Men baseert de rechtvaardiging van de toepassing van de meteorologische modellen op het argument dat daarbij de wisselvalligheid van het weer wordt ‘uitgemiddeld’. Dit zou aannemelijk zijn indien er op langere termijn geen sprake zou zijn van andere mogelijke natuurlijke klimaatinvloeden, die wel degelijk zijn aangetoond.

In het voorgaande zijn tal van andere mogelijke coïncidenties van temperatuurveranderingen aan het aardoppervlak met andere verschijnselen dan CO<sub>2</sub>-stijging genoemd. Ook deze wijzen nog niet zonder meer op een causaal verband. Maar het is op zijn zachtst uitgedrukt kortzichtig deze coïncidenties te bagatelliseren in verhouding tot de dusver geconstateerde zwakke coïncidentie met de CO<sub>2</sub>-stijging. Op tal van websites van gezaghebbende onderzoeksinstituten wordt deze bagatellisering de lezer impliciet opgedrongen door het vooringenomen standpunt dat CO<sub>2</sub> de belangrijkste oorzaak moet zijn van de berekende gemiddelde temperatuurstijging sinds het einde van de Kleine IJstijd.<sup>9</sup>

### AGW-aanhangers versus klimaatrealisten

De bredere kijk op het verloop van natuurlijke cycli op langere termijn kan tot nadenken stemmen over de staat van het klimaatonderzoek die door gezaghebbende instellingen wordt uitgedragen.

De stijging van de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer en de berekende gemiddelde temperatuurstijging (althans tot 1998) zijn onmiskenbaar. Maar de samenhang is vooralsnog niet zichtbaar. Dat is althans de mening van hen die kritisch staan ten opzichte van wat de gevestigde (grote) instituten over klimaat en klimaatverandering verkondigen. Tot deze groepering van critici hoort ook de auteur van dit artikel. Deze critici worden ook wel klimaatsceptici genoemd. Zij opereren echter liever onder de naam klimaatREALISTEN, omdat zij de verkondigers van het klimaat-alarmsisme als niet-realistie beschouwen.

Een buitenstaander van het wetenschappelijke wereldje zal verwachten dat wetenschappers met verschillende visies met elkaar in discussie gaan. Dit gebeurt op het vakgebied van de klimatologie niet of nauwelijks. De alarmisten organiseren hun eigen congressen en nodigen daarbij de realisten niet uit als spreker. Omgekeerd organiseren de realisten hun congressen en nodigen zij alarmisten wél uit als spreker, maar zo'n uitnodiging wordt niet of zelden aanvaard. Wel zijn er publieke debatten tussen alarmisten en realisten, maar daar komt het niet tot een inhoudelijke wetenschappelijke gedachteswisseling en verkondigen opposenten hun eigen doctrines. Dat is begrijpelijk want de materie is voor allen, sprekers en gehoor, moeilijk.

De alarmistische groepering heeft wereldwijd een machtspositie doordat zij aanleunt tegen een politiek orgaan van de Verenigde Naties, het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), dat eens in de vier jaar een advies over klimaatverandering uitbrengt aan de lidstaten.<sup>10</sup> Tot voor kort waren er geen groeperingen van realisten. Dat is begrijpelijk, want zij vormen geen gesloten beroepsgroep. In meerderheid (voor ongeveer 90 %) zijn zij afkomstig uit andere disciplines dan de meteorologie. Aldus kan de 'strijd' tussen beide kampen ook worden gekarakteriseerd als een tussen specialisten, die zelf in het vak als onderzoeker werkzaam zijn, en generalisten met 'slechts' literatuurkennis, die meer fundamenteel wetenschappelijk het gedachtegoed van de specialisten bekritisieren vanuit hun algemene kennis van de natuurkunde, thermodynamica, proceskunde en paleoklimatologie.

Cruciaal in de wetenschappelijke discussie is het doorgronden van het natuurlijke broeikaseffect en het mogelijke effect van CO<sub>2</sub> daarop. De alarmistische specialisten claimen wat dit betreft: 'The science is settled'. Maar door wie dan? De indruk van de auteur is dat er in de hele wereld wellicht niet meer dan veertig specialisten zijn die kijk op het broeikaseffect hebben<sup>11</sup>. En dat de verkondigers van de alarmistische visie in meerderheid die kijk ook niet hebben; dat zij slechts kennis hebben van de primitieve visie dat CO<sub>2</sub> het broeikaseffect moet verhogen omdat het een beetje infraroodstraling in de atmosfeer absorbeert. Dat is ook de visie die nadrukkelijk publiekelijk wordt uitgedragen. Waarmede

volgens de realisten het grote publiek op het verkeerde been wordt gezet.

De realisten, met kennis van stralingsprocessen, stromingsleer en thermodynamica durven te zeggen dat zij het fenomenologische proces en de moleculaire basis nog steeds niet helemaal begrijpen en zij vinden dat de alarmisten doen aan *jumping to conclusions* op basis van onvoldoende realistische modellen.

Aldus kan het verschil in opvattingen tussen de groeperingen ook worden geschetst als een fundamenteel verschil in wetenschappelijke instelling. De experts (en hun napraters) menen dat zij de wijsheid in pacht hebben. De opvatting van de generalisten is dat nog steeds de socratische vraag moet worden gesteld: 'zijn de zaken werkelijk zoals ze op het eerste gezicht lijken?'

Volgens sommigen verkeert de wetenschap van de klimatologie in een crisis.<sup>12</sup> De situatie is wellicht vergelijkbaar met de positie van de genetica in de USSR ten tijde van Lysenko, die de mendeliaanse en darwinistische wetten ontkennde. Lysenko werd tot 'staatspecialist' uitgeroepen, waardoor de wetenschap van de genetica in de Sovjet-Unie op 50 jaar achterstand werd gezet. De politisering van de verwachtingen over de opwarming van de aarde, zoals die door de gevestigde instituties worden aangewakkerd, is de grootste zorg van de klimaatrealisten vanuit hun wetenschappelijke achtergrond.

Vandaar dat zij voorstander zijn van een open, vrije en kritische wetenschappelijke dialoog. Informeel vindt deze tot op zekere hoogte reeds plaats tussen individuele wetenschappers uit beide kampen. Maar de klimaatrealisten zijn voorstander van een meer gestructureerde dialoog, waarbij ook vertegenwoordigers uit de beleidssfeer zijn betrokken. Begin mei van dit jaar kregen zij van de kant van het ministerie van VROM de toezegging dat een zodanige discussie zou worden georganiseerd. Maar tot op heden (medio november) heeft dat nog geen resultaat opgeleverd.

Dat is jammer. Want de samenleving heeft er recht op dat het beleid – in dit geval het klimaatbeleid – is gebaseerd op de beste en meest recente wetenschappelijke inzichten die beschikbaar zijn. Naar de opvatting van de klimaatrealisten is dat nu niet het geval.

## Noten

<sup>1)</sup> Zie voor een meer uitgebreide verhandeling over dit onderwerp Rörsch, Labohm en Thoenes, <http://www.platteland-inperspectief.nl>, onder Actueel Document.

<sup>2)</sup> Ontleend aan de *Encyclopaedia Britannica*, 1964, Volume 5: 914-927.

<sup>3)</sup> H. Essenhigh, 'Prediction of the standard atmosphere profile of temperature, pressure and density with high for the lower atmosphere by solution of the Schwartzchild integral equation', *Energy & Fuels*, 2006: 1057-1067.

<sup>4)</sup> K. Emanuel, *Orkanen* (NWT wetenschappelijke bibliotheek, 2007).

<sup>5)</sup> D. Dilley, *Global warming global cooling. Natural cycle found*. E-book: <http://www.globalweathercycles.com>.

<sup>6)</sup> Persoonlijke mededeling van Dietrich Kahle.

<sup>7)</sup> I.R.G. Wilson, article in press, *Energy & Environment*, 20 (2009), 1. Zie voorts de voordracht, weergegeven op <http://www.lavoisier.com.au/index.php>.

<sup>8)</sup> H. Svensmark en N. Calder, *Kosmisch klimaat; waarom de aarde werkelijk opwarmt* (Veen Magazines, 2007). Zie ook: Dick Thoenes, 'Waardoor de aarde werkelijk opwarmt, en af-

koelt. Kosmisch klimaat: een nieuwe verklarende theorie', *Spil*, 245-246 / 2008, 1: 30-34.

<sup>9)</sup> Bijvoorbeeld [www.knmi.klimaat.nl](http://www.knmi.klimaat.nl) en [www.klimaatportaal.nl](http://www.klimaatportaal.nl).

<sup>10)</sup> Zie verder het artikel van Hans Labohm in deze aflevering van *Spil*, pp. 5-6.

<sup>11)</sup> J. McLean, *Peer review, what peer reviews? Failures of scrutiny of the UN's fourth assessment report (2007)*, [http://scienceandpublicpolicy.org/sppi\\_originals/peerreview.html](http://scienceandpublicpolicy.org/sppi_originals/peerreview.html).

<sup>12)</sup> Aldus de paleoklimatoloog Bas van Geel tijdens de presentatie van het ontwerprapport van het Non-Governmental International Panel on Climate Change (NIPCC) op 3 juli 2007 in Nieuwspoor, Den Haag. Ook aangehaald in *Natuur Wetenschap & Techniek*, november 2007.

<sup>13)</sup> W. Munk, 'Twenty century sea level rise; een enigma', *PNAS*, 99 (2002), 10 (May 14): 6550-6555.

*Arthur Rörsch is emeritus hoogleraar moleculaire genetica aan de Universiteit van Leiden en oud-lid van de Raad van bestuur TNO. Als lid van een tiental Europese commissies beoordeelde hij de kwaliteit van wetenschappelijk onderzoek in universiteiten, instituten en internationale onderzoeksprogramma's.*