

## 2 MONDIALE KLIMAATPOKER

‘Menselijke vooruitgang is noch automatisch noch onvermijdelijk. Wij hebben nu te kampen met het feit dat de toekomst het heden is. Wij worden geconfronteerd met de hevige urgentie van het heden. In het ontluikende mysterie van het leven en de geschiedenis bestaat er zoiets als te laat zijn...’

(Martin Luther King Jr., geciteerd in UNDP, 2007: 7)

Dat de gezondheid van het Ecosysteem Aarde aan een zijden draadje hangt, is inmiddels wetenschappelijk goed gedocumenteerd. Het *Millennium Ecosystem Report* (Sarukhan, 2005) van de VN, het *Fourth Assessment Report* (AR4) van het VN-klimaatpanel (IPCC, 2007), het *Global Environment Outlook 4*-rapport van het VN-milieuprogramma (UNEP, 2007), het *Human Development Report 2007/2008* van het VN-ontwikkelingsprogramma (UNDP, 2007) en het *State of the World Report* (Starke (ed.), 2009) van het *WorldWatch Institute* hebben de ernst en de urgentie van het sociaal-ecologische vraagstuk bevestigd. Dit is geheel in overeenstemming met wat men in de gespecialiseerde vakliteratuur (letterlijk) dagelijks kan terugvinden.

‘Milieuoptimisme’ en ‘klimaatscepticisme’ zijn op dit moment simpelweg onhoudbaar. Hoewel de ecologische problematiek veel ruimer is dan het klimaatprobleem (zie bv. Jones en Jacobs, 2006), richten wij in dit hoofdstuk het vizier op het klimaatvraagstuk. Vanwege zijn verregaande impact op andere wereldproblemen (voedsel, water, migratie, economische en sociale stabiliteit, enz.) is het klimaatvraagstuk hard op weg h et ecologische, economische, sociale en morele vraagstuk van de eenentwintigste eeuw te worden. De opwarming van het klimaat is dan ook een thema waarvan de ernst en de urgentie niet voldoende kunnen worden onderstreept. VN-Secretaris-generaal Ban Ki-moon noemde het klimaatprobleem ‘*the defining challenge of our age*’. In het medisch tijdschrift *The Lancet* werd, in een prestigieus rapport over de verhouding

tussen klimaat en gezondheid, de opwarming van de Aarde omschreven als *'the biggest health threat of the 21st century'* (Costello e.a., 2009).

Zonder dat velen het beseffen, zijn wij allemaal betrokken bij een onbedoeld maar wel fundamenteel en potentieel rampzalig experiment met het klimaat van de planeet Aarde. De verstoring van het klimaat kan men vergelijken met een olietanker. Het duurt een hele tijd voordat hij in gang wordt gezet, maar zodra hij op kruissnelheid is, valt hij nog heel moeilijk af te remmen. Toch is dat precies wat er moet gebeuren. Indien de wereld niet snel de vereiste maatregelen neemt, dan kunnen de gevolgen van de klimaatwijzigingen bijzonder schadelijk uitvallen en onze capaciteit om ons aan te passen tenietdoen. Dit stelt Rajendra Pachauri, voorzitter van het VN-klimaatpanel, in het jongste *State of the World Report* (Starke (ed.), 2009).

Anderzijds, en positiever bekeken, als wij er als wereldgemeenschap voor kiezen om dit vraagstuk krachtadig aan te pakken, dan is het haalbaar om de noodzakelijke transitie naar een nieuw type economie in gang te zetten. In vele sectoren van de samenleving kan dat leiden tot tal van bijkomende voordelen.

In dit hoofdstuk\* geven wij een kernachtig overzicht van de huidige kennis van het klimaatvraagstuk. Hoe verhouden de huidige klimaatwijzigingen zich tot de historische klimaatveranderingen? Wat zijn de oorzaken voor de hedendaagse opwarming van de Aarde? Wat zullen de komende decennia en eeuwen ons brengen? Voor antwoorden grijpen we in eerste instantie terug naar het *Fourth Assessment Report* van het VN-klimaatpanel (IPCC, 2007), de organisatie die in 1988 door de Wereld Meteorologische Organisatie en het milieuprogramma van de VN werd opgericht. In dit rapport evalueert het IPCC de beschikbare wetenschappelijke, technische en socio-economische vakliteratuur over de risico's van klimaatverandering voor de mens. Vanwege het uitputtende karakter van dit literatuuronderzoek kan men stellen dat het AR4-IPCC-rapport op dit tijdstip nog steeds het meest wetenschappelijk onderbouwde synthesesdocument is over het klimaatvraagstuk. Omdat de klimaatwetenschap sneller evolueert dan het tempo waarin de VN-evaluatierapporten kunnen worden gepubliceerd – het volgende IPCC-rapport zal pas tegen 2013 verschijnen – wordt in dit boek ook een wetenschappelijke synthese gemaakt van de

---

\* De auteurs wensen Prof. Philippe Huybrechts, klimaatwetenschapper aan de vub, van harte te danken voor zijn bereidheid om als *peer reviewer* op te treden voor dit hoofdstuk. Dit hoofdstuk werd in een eerdere, kortere versie gepubliceerd als het boekje *Klimaatcrisis* (Jones, 2009) in de reeks *De Essentie* van de uitgeverij Luster.

meest relevante ontwikkelingen sinds november 2007. Daaruit zal blijken dat op een aantal vlakken de recente ontwikkelingen sneller dreigen te verlopen dan dat het IPCC in 2007 nog had kunnen voorspellen.

In die context is het klimaatscepticisme niet alleen wetenschappelijk achterhaald maar ook ethisch onaanvaardbaar. Bij de bespreking van de belangrijkste klimaataspecten ontkrachten wij, op basis van vakliteratuur, de vaakst gehoorde klimaatsceptische mythes. De wetenschappelijke consensus over de aard, de oorzaken en de ernst van het klimaatvraagstuk is alleen maar sterker geworden, voor zover dat nog nodig was (zie literatuuroverzicht van Oreskes, 2004). Het disproportionele gewicht dat de laatste jaren in de populaire media werd gegeven aan een kleine schare klimaatsceptici heeft ertoe geleid dat er een grote kloof is ontstaan tussen de perceptie van de gewone burger versus de stand van zaken in de klimaatwetenschap zelf. Het klimaatscepticisme is, naast structurele, culturele en gedragsmatige factoren, nog steeds een van de belangrijkste verklaringen voor de maatschappelijke en politieke inertie ter zake (zie ook Hoofdstuk 4).

Gegeven de almaar toenemende kennis over de potentieel rampzalige gevolgen voor miljoenen tot miljarden mensen als er niet wordt ingegrepen, is klimaatscepticisme feitelijk inhumaan. Uiteraard is dit een stelling die ons door klimaatsceptici niet in dank wordt afgenomen. Bedenk evenwel dat een kritisch gereviewd rapport van het *Global Humanitarian Forum* van voormalig VN-Secretaris-generaal Kofi Annan (Annan e.a., 2009) het slachtofferaantal als gevolg van de opwarming van de Aarde op dit moment al schat op 300.000 doden per jaar, terwijl 325 miljoen mensen 'ernstig' worden benadeeld door de gevolgen van de klimaatwijzigingen. Dat laatste cijfer zou in de komende 20 jaar nog eens verdubbelen. Het nog beschikbare tijdsvenster voor krachtdadige maatregelen begint zich te sluiten. Uitstel is geen optie meer. Zoals Martin Luther King Jr. ooit zei: '*There is such a thing as being too late.*' In die context zijn we ervan overtuigd dat krachtdadige woorden hoognodig zijn om tegen het klimaatscepticisme in te gaan.

### ***Het klimaat is nooit stabiel geweest***

Alvorens het probleem van de hedendaagse opwarming van de Aarde nader te bekijken, loont het de moeite eerst de grote historische natuurlijke klimaatveranderingen te schetsen (voor een uitgebreider overzicht, zie Jones en Jacobs, 2006; Vanderborgh (red.), 2008). We maken daarbij

een onderscheid tussen de grote klimaatextremen gedurende de voorgaande miljard jaren enerzijds en de klimaatschommelingen tijdens de laatste 650.000 jaar anderzijds.

### Klimaatextremen gedurende de voorgaande miljard jaar

Ongeveer 635 miljoen jaar geleden – tijdens het zogenaamde Cryogeentijdperk – verkeerde de Aarde in een *diepvriestoestand*: de planeet was (waarschijnlijk) bijna volledig met sneeuw en ijs bedekt. Dit staat in schril contrast met het tijdperk van het Krijt (146,5 tot 65,5 miljoen jaar geleden) toen de Aarde zich in een heel warme *superbroeikastoestand* bevond. Wetenschappers schatten dat de gemiddelde temperatuur van de Arctische Oceaan (Noordpool) 70 miljoen jaar geleden ongeveer 15°C bedroeg (Jenkyns e.a., 2004). Er was in die periode geen ijs aan de polen. De atmosferische CO<sub>2</sub>-concentraties lagen in die tijd ongeveer 3 à 6 keer hoger dan de huidige. Vanaf ongeveer 50 miljoen jaar geleden begon het klimaat geleidelijk af te koelen; deze temperatuuurdaling wordt sterk geassocieerd met de afname van de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer. Het broeikasklimaat handhaafde zich niettemin tot ongeveer 34 miljoen jaar geleden. Tijdens de ‘abrupte’ overgang van het Eoceen naar het Oligoceen verzeilde de Aarde met het ontstaan van de Antarctische ijskap ‘plots’ in een nieuwe, zogenaamde *icehouse world*-toestand. Het Noordpoolijs verscheen pas ongeveer 2,7 miljoen jaar geleden aan de horizon. Tot op heden bevindt de Aarde zich nog steeds in deze *ijskasttoestand*, hoe vreemd dat misschien ook mag klinken. Ook binnen deze ijskasttoestand kunnen aanzienlijke klimaatschommelingen optreden. Dat worden veranderingen van tweede orde genoemd.

### Klimaatschommelingen tijdens de voorbije 650.000 jaar

Een klimaatverandering van de tweede orde wordt geassocieerd met de cyclische overgangen van ijstijden naar *interglacialen*. Zoals het woord zelf zegt, zijn interglacialen periodes tussen twee ijstijden in. Tijdens deze interglacialen ligt de gemiddelde temperatuur enkele graden hoger. Sinds het einde van de laatste ijstijd (ongeveer 12.000 jaar geleden) verkeert de Aarde in zo’n periode van relatieve warmte. Tijdens de overgang van de laatste ijstijd naar het huidige interglaciaal – het zogenaamde Holoceen – zijn enorme ijskappen gesmolten, vooral in Noord-Amerika en Scandinavië, waardoor het zeeniveau sterk is gestegen. In tegenstelling tot de broeikaswereld van het Krijt, smolten de ijskappen niet volledig. Het huidige interglaciaal, met nog altijd grote

ijskappen aan de Noordpool (Groenland) en de Zuidpool (Antarctica), verschilt dus sterk van de toestand tijdens het Krijt, toen er nergens ijs aanwezig was.

De opeenvolging van glacialen en interglacialen tijdens de ijskasttoestand van de Aarde kan worden verklaard door kleine, periodieke wijzigingen in de baan van de Aarde om de zon, de zogenaamde Milankovitch-cycli. Daardoor verandert de locatie en de hoeveelheid van de inkomende zonnebestraling. Hoewel een kleine wijziging in zonnebestraling de initiële oorzaak is voor de overgang van ijstijden naar interglacialen, kunnen deze cycli pas optreden door het bestaan van zogenaamde terugkoppelingsmechanismen. Een van de belangrijkste, positieve (versterkende) terugkoppelingsmechanismen is de toename van de concentratie aan  $\text{CO}_2$  in de atmosfeer. Aangezien  $\text{CO}_2$  een broeikasgas is – wat betekent dat deze moleculen infraroodstraling van de Aarde kunnen absorberen en weer naar de Aarde uitzenden – zullen hogere concentraties ervan leiden tot hogere temperaturen. Hierdoor kan er meer  $\text{CO}_2$  vrijkomen,\* wat op zijn beurt voor een verdere opwarming zorgt. Onderzoek heeft uitgewezen dat de cycli tussen ijstijden en interglacialen, die ongeveer 100.000 jaar duren, verrassend goed samenvallen met het verloop van de  $\text{CO}_2$ - en methaanconcentraties in de atmosfeer (Petit e.a., 1999 en Spahni e.a., 2005).

Voor alle duidelijkheid: de relatie tussen  $\text{CO}_2$  en temperatuur tijdens de overgang van ijstijden naar interglacialen is buitengewoon complex. Initieel doen hogere temperaturen de  $\text{CO}_2$ -concentraties stijgen. Vervolgens zorgen de hogere  $\text{CO}_2$ -concentraties voor een verdere opwarming. Een verkeerd begrip van de verhouding tussen  $\text{CO}_2$  en temperatuur – zoals dat bij een aantal klimaatsceptici voorkomt – leidt dan ook tot een verkeerde inschatting van de moderne opwarming van de Aarde, waarbij hogere  $\text{CO}_2$ -concentraties de opwarming van de Aarde onmiskenbaar aandrijven, en dus voorop lopen (zie verderop).

De conclusie luidt dat het klimaat van de laatste honderdduizenden jaren natuurlijke variaties vertoont, waarbij kleine verstoringen in de beweging van de Aarde om de zon aanleiding geven tot drastische temperatuurveranderingen via complexe terugkoppelingsmechanismen. Grosso

---

\* Hogere temperaturen kunnen een stijging van de  $\text{CO}_2$ -concentratie in de atmosfeer veroorzaken. Zo zal warmer oceaanwater minder  $\text{CO}_2$  als koolzuur kunnen vasthouden. Een ander effect heeft vermoedelijk te maken met een verlaagde biologische activiteit in de oceanen, waardoor eens te meer de atmosferische concentratie aan  $\text{CO}_2$  kan toenemen. Op die manier ontstaat een positieve terugkoppeling, waardoor de  $\text{CO}_2$ -concentratie en de temperatuur steeds verder toenemen.

modo verhoudt de evolutie van de temperatuur zich ook tot de wijzigingen in de gasconcentraties in de atmosfeer. Zonder het effect van de (mede) door de mens veroorzaakte opwarming van de Aarde, zouden we nog minstens 30.000 jaar moeten wachten voordat een nieuwe ijstijd zijn intrede zou doen (IPCC, 2007). Samen met het effect van de opwarming van de Aarde is het uiterst moeilijk voorspelbaar wat er in de verre toekomst precies gaat gebeuren.

### *De hedendaagse (antropogene) klimaatwijzigingen*

Uit de voorgaande paragraaf is gebleken dat het klimaat op geen enkele manier een statisch gegeven is. Het evolueert voortdurend en dit op verschillende tijdschalen. Op dit moment bevinden we ons, sinds het einde van de laatste ijstijd, in een warme periode (interglaciaal) die, in afwezigheid van de moderne mens, binnen enkele tienduizenden jaren zou worden opgevolgd door een nieuwe ijstijd. Het huidige interglaciaal is een tijdvak waarin het klimaat, gemiddeld gezien en globaal genomen, relatief stabiel was. Dit neemt niet weg dat er ook in deze periode kleinere klimaatschommelingen zijn geweest. Twee periodes waar klimaatsceptici vaak naar verwijzen zijn de zogenaamde *warme middeleeuwen* (900-1300) en de *kleine ijstijd* (1350-1850). Het meest recente onderzoek heeft echter aangetoond dat deze bijzondere perioden eerder regionale dan globale verschijnselen waren. Die perioden werden veroorzaakt door natuurlijke veranderingen, zoals wijzigingen in zonneactiviteit of veranderingen in oceaanstromingen, die de energieverdeling over de planeet beïnvloedden (Mann e.a., 2008). De zogenaamde *warme middeleeuwen* waren hoegenaamd niet warmer dan de globale temperatuur van de laatste 10 jaar (zie verderop).

Net als het klimaat en de gemiddelde temperatuur is ook de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer tijdens het Holoceen vrijwel constant gebleven. Het is op grond van deze gegevens dat we de actuele wijzigingen moeten beoordelen. In schril contrast met de relatieve klimaatstabiliteit van de laatste 12.000 jaar hebben de activiteiten van de industriële mens ertoe geleid dat een aantal kritische componenten in het mondiale klimaatstelsel onrustbarend snel verandert. Als gevolg van de verbranding van fossiele brandstoffen en mondiale veranderingen in landgebruik, zoals ontbossing, is de concentratie aan broeikasgassen (waaronder CO<sub>2</sub>) vooral de voorgaande decennia zowel onnatuurlijk snel als tot 'onnatuurlijke' waarden toegenomen.

## De observaties

Het jongste IPCC-rapport uit 2007 stelt met klem dat de opwarming van het klimaatsysteem niet langer kan worden ontkend. De gemiddelde aardtemperatuur, of die nu wordt bepaald aan de oppervlakte of voor de gehele troposfeer, is in de laatste 100 jaar significant gestegen met ongeveer  $0,74^{\circ}\text{C}$ . Bovendien valt er een duidelijke versnelling waar te nemen. De temperatuur steeg de laatste 50 jaar gemiddeld bijna tweemaal zo snel als tijdens de laatste 100 jaar. En 11 van de 12 jaren in de periode 1995-2006 bevinden zich in de top 12 van de warmste jaren sinds het begin van de directe waarnemingen in 1850.\* Deze temperaturen zijn nu onmiskenbaar hoger dan die van (minstens) de laatste 1.300 jaar (Mann e.a., 2008). De laatste keer in de geschiedenis dat het even warm was als tegenwoordig was waarschijnlijk gedurende het klimaats optimum van het Holoceen, ongeveer 6.000 jaar geleden, en gedurende het vorige interglaciaal, 120.000 jaar geleden. Deze beide periodes vallen samen met maxima in de Milankovitchcycli op het noordelijk halfrond.

Deze opwarming uit zich consistent in allerlei andere fysische parameters zoals de afgenomen sneeuw- en ijsbedekking in het noordelijk halfrond en een stijgend zeeniveau. De opwarming vindt niet alleen plaats in de atmosfeer, maar ook in de bovenste 3.000 meter van de oceanen. 80 procent van de extra energie in het klimaatsysteem wordt geabsorbeerd door de oceanen. Hogere oceantemperaturen leiden tot een expansie van het zeewater, wat bijdraagt aan de stijging van de zeespiegel. Tegelijkertijd wordt ook vastgesteld dat, overeenkomstig met de hogere lucht- en oceantemperaturen, de gemiddelde waterdampconcentratie ( $\text{H}_2\text{O}$ ) van de atmosfeer is toegenomen sinds de jaren 1980. Dit is trouwens een ander belangrijk (versterkend) terugkoppelingsmechanisme: hogere temperaturen leiden tot hogere waterdampconcentraties. Aangezien  $\text{H}_2\text{O}$  eveneens een (weliswaar kortlevend) broeikasgas is, kan dit tot een verdere stijging van de temperatuur zorgen. Klimaatsceptici moeten

---

\* In de periode 2002-2009 bleef de gemiddelde mondiale temperatuur relatief stabiel, ondanks de stijgende broeikasgasconcentraties in de atmosfeer. Dit komt doordat de opwarming van de aarde gedeeltelijk gemaskeerd werd door twee andere effecten, die op kortere tijdschalen de temperatuur mee beïnvloeden, te weten een tijdelijke daling van de zonne-activiteit (minder zonne-energie die de aarde bereikt) en de afwezigheid van een sterk El Niño-fenomeen in de bewuste periode. Onderzoek uit 2009 voorspelt dat de temperaturen vanaf dat jaar sneller zullen toenemen dan de IPCC-projecties, door het bijkomende effect van El Niño-condities en een verhoging van de zonne-activiteit (Lean en Rind, 2009).

beseffen dat hogere waterdampconcentraties in dit geval geen oorzaak, maar een gevolg en een *feedback* zijn van de huidige opwarming.

Daarnaast observeert het IPCC dat berggletsjers en sneeuwvelden in Noord en Zuid in grootte zijn afgenomen. Nieuwe gegevens sinds 2001 tonen ook aan dat ijsverliezen in Groenland en Antarctica in de periode 1993-2003 'zeer waarschijnlijk' hebben bijgedragen aan de stijging van het zeeniveau. Het gaat vooral om de versnelling van de zogenaamde *outlet glaciers*, de gletsjers die in zee uitlopen. In Groenland is er ook sprake van ijsverlies doordat het ijs sneller smelt dan dat het aangroeit via sneeuwval. Als gevolg van deze veranderingen is het globale zeeniveau met een gemiddelde van 1,8 millimeter per jaar aan het stijgen (periode 1961-2003). In de periode 1993-2003 was de toename sneller: gemiddeld 3,1 millimeter per jaar. Bekeken over de twintigste eeuw is de zeespiegel met 0,17 meter verhoogd. Het grootste deel daarvan is terug te brengen tot de thermische uitzetting van de oceanen.

Los van de mondiale evolutie inzake temperatuur en zeeniveau beginnen er zich nu ook verschillende trends door te zetten op het continentale en regionale niveau. De gemiddelde temperatuur aan de Noordpool is de voorgaande 100 jaar twee keer zo snel gestegen als de gemiddelde opwarming van de Aarde. Dat heeft er mede toe geleid dat het Arctische zee-ijs in omvang aan het afnemen is. Dit is vooral duidelijk in de zomerperiodes waarin een gemiddelde reductie van 7,4 procent per decennium werd opgemeten. Ook de temperatuur van de bovenste lagen van de permafrost in het noordelijke halfrond is sinds de jaren 1980 toegenomen (met een cijfer tot 3°C). Dat kan leiden tot een positieve koolstof terugkoppeling: hogere temperaturen leiden tot een ontbinding van permafrost waardoor CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> (methaan) vrijkomen. Dat veroorzaakt een verdere opwarming waardoor de drijvende kracht toeneemt voor de verdere ontdooiing van de permafrost. Dit leidt tot extra broeikasgassen, die op hun beurt weer de opwarming bevorderen.

Neerslagpatronen zijn ook significant gewijzigd. In de oostelijke delen van Noord- en Zuid-Amerika, Noord-Europa en Noord- en Centraal-Azië is de regenval toegenomen; in de Sahel, de mediterrane gebieden, zuidelijk Afrika en delen van Zuid-Azië is er een verdroging opgetreden. In grote delen van de wereld komen meer intense en langere droogteperiodes voor. Toch is er ook een toename merkbaar van plotselinge en hevige neerslagperiodes. Gedurende de laatste 50 jaar is er ook een duidelijke trend in extreme temperaturen merkbaar. Koude dagen en nachten komen minder vaak voor; hete dagen, nachten en hittegolven worden frequenter. Het IPCC (2007) beweert ten slotte dat er steeds meer

bewijsmateriaal beschikbaar is om een verband te kunnen leggen tussen de opwarming en een stijging van intense tropische orkanen in de noordelijke Atlantische Oceaan. Rekening houdend met een groeiende kustbevolking in de gebieden waar tropische orkanen voorkomen, verwacht men dat telkens meer mensen het slachtoffer van orkanen zullen worden. De ravage die de orkaan Katrina in New Orleans in september 2005 in zijn kielzog achterliet én die vooral de arme (zwarte) bevolking trof, is wat dat betreft veelzeggend. Wat het totale aantal tropische orkanen betreft (met inbegrip van de andere tropische oceaangebieden), is er nog geen duidelijke trend merkbaar. De grote natuurlijke schommelingen bij het voorkomen van tropische orkanen bemoeilijken namelijk het opsporen van langetermijntrends. Bedachtzaamheid lijkt hier de beste raadgever. Zo staat het buiten kijf dat orkanen in armere landen meer slachtoffers kunnen maken. Zo vielen ten gevolge van orkaan Nargis in Myanmar in mei 2008 ruim 78.000 doden (Mastny, 2009).

De recente opwarming beïnvloedt ook een groot aantal biologische systemen, met als meest markante gevolgen de vroegere intrede van de lente en een poolwaartse verschuiving van plant- en diersoorten (zie ook Rosenzweig e.a., 2008). Andere effecten van regionale klimaatwijzingen op natuurlijke en menselijke milieus treden steeds meer op de voorgrond. In dit verband verwijst het IPCC onder andere naar het effect van temperatuurstijgingen op de landbouw en de menselijke gezondheid, met sterfgevallen door de hitte en de verspreiding van bepaalde ziekten en allerlei allergenen.

### De oorzaken

In het klimaatverhaal dient men rekening te houden met zowel opwarmende als afkoelende elementen die, in klimaatvaktaal, de stralingsbalans van de Aarde kunnen verstoren. Zo leidt een toename van broeikasgassen in de atmosfeer tot een opwarmend effect. Een hogere concentratie van broeikasgassen verstoort het evenwicht tussen de hoeveelheid zonne-energie die de Aarde absorbeert en de mate waarin ze die opnieuw uitstoot in de ruimte. Het verschil tussen deze twee factoren wordt uitgedrukt in een hoeveelheid watt per vierkante meter ( $W/m^2$ ). Met een wetenschappelijke term noemt men dit *radiative forcing*. Broeikasgassen zorgen dus voor een positieve *forcing*.

Er bestaan echter ook koelende factoren. Zo leidt de verbranding van fossiele energiebronnen ook tot de uitstoot van zogenaamde fijne sulfaataërosoldeeltjes. Deze zorgen ervoor dat er netto gezien minder zonne-energie het oppervlak van de Aarde bereikt. Dat aërosolen een

temperatuurverlagend effect uitoefenen, was al langer bekend; sinds kort weet men ook dat er een indirect effect actief is waardoor de optische eigenschappen van de wolken aangepast worden. Het gevolg daarvan zou zijn dat die meer zonnebestraling reflecteren dan in hun niet-verontreinigde conditie. Wetenschappelijk onderzoek heeft aangetoond dat dit zogenaamde *global dimming*-effect aanzienlijk is geweest, vooral tijdens de tweede helft van de twintigste eeuw. De aërosolen in de atmosfeer hebben ons met andere woorden, juist vanwege hun koelende invloed, beschermd voor een nóg grotere opwarming van de Aarde dan wat empirisch werd waargenomen. De hoge aërosoluitstoot in de naoorlogse periode is trouwens een van de redenen waarom in de periode 1940-1970 zelfs een kleine daling van de gemiddelde aardtemperatuur werd waargenomen.\*

Naast broeikasgassen en sulfaataërosolen zijn er nog andere factoren die de netto energiebalans van de Aarde beïnvloeden. Het gaat daarbij zowel om menselijke factoren (andere aërosolen, ozon, enz.) als natuurlijke factoren (zonnebestraling, vulkaanuitbarstingen). Een van de belangrijkste bevindingen in het jongste VN-klimaatrapport is dat men nu een grotere duidelijkheid heeft gekregen over de netto-impact van al deze factoren, die we hier in meer detail bespreken.

**Broeikasgassen.** Metingen tonen aan dat sinds het begin van de industriële revolutie menselijke activiteiten voor een aanzienlijke verhoging van de concentraties aan 'lang levende' broeikasgassen hebben gezorgd. Het betreft vooral koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>), methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O). Verder is er in 2008 ook een nieuw en zeer sterk 'menselijk' broeikasgas gedetecteerd, waarvan de concentratie de voorgaande 30 jaar met een factor 20 is toegenomen (Prather e.a., 2008). Het gaat om stikstoftrifluoride (NF<sub>3</sub>), dat onder andere bij de productie van MP3-spelers en *flat screens* ontstaat.

De toename van de CO<sub>2</sub>-concentratie is het gevolg van de verbranding van fossiele brandstoffen en van wijzigingen in landgebruik (bv. ontbossing). De verhoogde methaan- en lachgasconcentraties zijn vooral het gevolg van landbouwactiviteiten, met in het bijzonder de mondiale veeteeltsector (zie ook Steinfeld e.a., 2006). CO<sub>2</sub> is het belangrijkste (menselijke) broeikasgas: de concentratie ervan is toegenomen van een pre-industriële waarde van 280 deeltjes per miljoen (ppm) tot een cijfer van 379 ppm in 2005 en 390 ppm in 2009. Dit is een concentratie die

---

\* Een andere reden heeft te maken met de kleine verandering in meetmethode sinds 1945; zie Thompson e.a., 2008.

ver afwijkt van de 'normale' natuurlijke schommelingen. Onderzoek op basis van ijsboringen heeft uitgewezen dat de CO<sub>2</sub>-concentratie tijdens de laatste 650.000 jaar varieerde van minima van 180 ppm (tijdens de koudste perioden gedurende de ijstijden) tot maxima van 300 ppm (tijdens interglacialen) (Spahni e.a., 2005; Petit e.a., 1999).

De huidige CO<sub>2</sub>-concentratie is dus nooit voorgekomen tijdens de voorgaande 650.000 jaar en waarschijnlijk zelfs niet tijdens de laatste 20 miljoen jaar. De snelheid van deze stijging in de loop van de afgelopen eeuw is ook onuitgegeven, zeker in vergelijking met de voorgaande 20.000 jaar. De CO<sub>2</sub>-aangroeisnelheid was het snelst gedurende de laatste 10 jaar met gemiddeld 1,9 ppm per jaar. De atmosferische methaanconcentratie is gestegen van een pre-industriële waarde van 715 ppb (deeltjes per miljard) tot een actuele waarde van 1774 ppb, terwijl die van lachgas (N<sub>2</sub>O) is toegenomen van 270 tot 319 ppb. Net als bij CO<sub>2</sub> gaat het hier om stijgingen die ver buiten de natuurlijke schommelingen liggen.

De belangrijke conclusie luidt dat het gecombineerde effect van verhoogde CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- en N<sub>2</sub>O-concentraties heeft geleid tot een opwarmende verstoring van de stralingsbalans (+ 2,3 W/m<sup>2</sup> ten opzichte van 1750). Daarbij komt dat wetenschappers hebben vastgesteld dat sinds 2007 de atmosferische methaanconcentratie, die de voorgaande 10 jaar min of meer stabiel was gebleven, opnieuw aan het toenemen is (Rigby e.a., 2008). Die stijging zorgt voor een verdere verstoring van de stralingsbalans, waardoor de drijvende kracht voor de verdere opwarming van de Aarde toeneemt.

**Aërosolen.** De opwarming die veroorzaakt wordt door hogere concentraties van broeikasgassen wordt nu nog gedeeltelijk gemaskeerd door een netto koelende invloed van verschillende types van aërosolen (sulfaat, organische koolstof, stof, enz.). Het IPCC schat de nettobijdrage van deze aërosolen op -0,5 W/m<sup>2</sup> en -0,7 W/m<sup>2</sup>, overeenkomend met, respectievelijk, de directe en de indirecte *forcing*. In vergelijking met het rapport van 2001 is de wetenschappelijke zekerheid hierover aanzienlijk verbeterd, al blijft de invloed van aërosolen op dit moment nog steeds de grootste onzekerheidsfactor.

**Andere invloeden.** Verder is het interessant erop wijzen dat een natuurlijke factor als de verandering in zonnebestraling een invloed heeft op de moderne klimaatveranderingen. De geobserveerde temperatuurstijging tijdens het einde van de negentiende en het begin van de twintigste eeuw is voor een groot deel toe te schrijven aan de toename van de zonnebe-

straling. Bekeken over de volledige periode sinds 1750 heeft de evolutie in zonnebestraling voor een beperkt netto opwarmend effect gezorgd. Die bijdrage wordt geschat op  $+ 0,12 \text{ W/m}^2$ . In vergelijking met het effect van broeikasgassen ( $+ 2,3 \text{ W/m}^2$ ) is dit slechts van weinig invloed.

Klimaatceptici die beweren dat de versnellende opwarming gedurende de laatste 20 jaar louter het gevolg is van toegenomen zonnebestraling slaan de plank mis. Ook de zogenaamde Svensmarkhypothese (Svensmark en Friis-Christensen, 1997), die tal van klimaatceptici nog steeds te berde brengen, is op los zand gebouwd. Deze hypothese stelt dat de moderne opwarming verklaard kan worden door een verhoogde zonneactiviteit die ervoor zorgt dat er netto gezien minder kosmische straling de Aarde bereikt. Hierdoor worden er minder wolken gevormd, wat op zijn beurt een stijging van de temperatuur teweegbrengt, aldus de hypothese. Deze theorie strookt echter niet met de wetenschappelijke feiten.

Om te beginnen bestaat er geen wetenschappelijk bewijs dat aantoonde dat kosmische straling een invloed heeft op de vorming van wolken. Ten tweede is er helemaal geen wetenschappelijke zekerheid over de relatie tussen wolkenvorming en veranderingen in het klimaat (dit is trouwens nog een van de grote onzekerheden in het klimaatdebat). Ten slotte, zelfs als de intensiteit in kosmische straling een invloed zou hebben op wolkenvorming en temperatuur, dan nog kan dit niet de versnellende opwarming van de voorgaande decennia verklaren. Directe metingen van de kosmische intensiteit vertonen namelijk geen neerwaartse trend in die periode. In hun bekende publicatie beslechtten Lockwood en Fröhlich (2007: 1) dit debat als volgt:

‘... tijdens de voorgaande 20 jaar waren alle trends van de zon die een invloed zouden kunnen hebben uitgeoefend op het klimaat van de Aarde in de tegengestelde richting van die welke vereist is om de geobserveerde toename van de wereldwijde gemiddelde temperatuur te verklaren.’

Wanneer men nu de verschillende elementen samenbrengt, komt men tot de conclusie dat, sinds 1750, het netto-effect van menselijke activiteiten in overeenstemming is met een opwarmende verstoring van de stralingsbalans van  $+ 1,6 \text{ W/m}^2$ . Wanneer men voor de periode 1750 tot op heden alleen de natuurlijke factoren (zonneactiviteit, vulkaanuitbarstingen) in rekening zou brengen, dan zou de planeet niet opgewarmd maar juist afgekoeld zijn (IPCC, 2007). Over de vraag of de huidige opwarming in essentie door de mens is gecreëerd, bestaat met andere woorden geen *redelijke* wetenschappelijke twijfel meer. Dit debat is achter de rug.

## *Wat brengt de toekomst?*

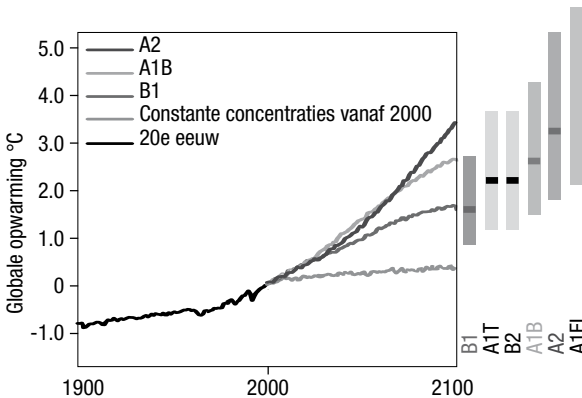
### **Gevolgen op korte termijn (tot 2100)**

In zijn rapporten besteedt het VN-klimaatpanel veel aandacht aan de projecties voor de toekomst. Hoe sterk en hoe snel zal de Aarde opwarmen? Wat zijn de te verwachten gevolgen op het vlak van de stijging van het zeeniveau, de evolutie van de biodiversiteit, de voedselproductie en menselijke gezondheid? Om zinnige uitspraken te kunnen doen over de te verwachten opwarming, moeten we enerzijds de klimaatgevoeligheid kennen en anderzijds de toekomstige broeikasgasemissies. Over beide aspecten bestaat echter onzekerheid zodat de schatting van de toekomstige opwarming binnen een relatief breed spectrum van mogelijke waarden ligt.

De 'klimaatgevoeligheid' wordt gedefinieerd door de uiteindelijke temperatuurstijging bij het verdubbelen van de CO<sub>2</sub>-concentratie ten opzichte van het pre-industriële niveau (280 ppm). In zijn jongste rapport stelt het IPCC dat het 'waarschijnlijk' (kans > 66 procent) is dat de klimaatgevoeligheid tussen 2 en 4,5°C ligt, met 3°C als de 'meest waarschijnlijke waarde'. Tegelijkertijd claimt het IPCC dat een lage klimaatgevoeligheid (< 1,5°C opwarming bij een verdubbeling van de CO<sub>2</sub>-concentratie) – die in 2001 nog vurig verdedigd werd door klimaatsceptici als Björn Lomborg – zeer onwaarschijnlijk is. Anderzijds kan men niet met zekerheid stellen dat klimaatgevoeligheidswaarden van meer dan 4,5°C onmogelijk zijn (zie ook Inman, 2009).

Om meer duidelijkheid te krijgen over de toekomstige uitstoot van broeikasgassen werkt het IPCC met een reeks scenario's. In het evaluatierapport van 2001 hanteerde het IPCC een zestal families van scenario's die – en dit is heel belangrijk – 'even plausibel' zijn. Het betreft A1FI, A1B, A1T, A2, B1 en B2. Dit zijn scenario's die verschillen op het vlak van onder andere economische groei, bevolkingsgroei en technologische veranderingen. Het recentste rapport werkt met dezelfde scenario's. Essentieel om te weten is dat dit scenario's zijn zonder additionele maatregelen op het vlak van klimaatbeleid. Dit heeft economische klimaatsceptici ertoe aangezet om fel uit te halen naar het IPCC, dat nodeeloos 'alarmistisch' zou zijn (bv. Albrecht, 2007). Deze redenering snijdt echter weinig hout: de reële uitstootcijfers ontwikkelden zich sinds 2000 (tot aan de economische crisis) sneller dan zelfs het *worst-case* IPCC-emissiescenario kon vermoeden, wat mede het gevolg is van een stijging van de koolstofintensiteit van de economische groei (Canadell e.a., 2007).

Op het vlak van de globale temperatuurontwikkelingen projecteert het IPCC, op basis van een hele reeks klimaatmodellen, een verdere temperatuurstijging van  $0,2^{\circ}\text{C}/\text{decennium}$  voor de twee volgende decennia, en dit voor alle scenario's. Wanneer het gaat over de te verwachten temperatuurtoename tegen 2100 is het wél belangrijk een onderscheid te maken tussen de diverse scenario's. In realistische emissiescenario's bedraagt de waarschijnlijkste opwarming tegen 2100 dan  $1,8^{\circ}$  à  $4,0^{\circ}\text{C}$ . Fig. 2.1 toont de mogelijke temperatuurtoename tegen 2100. Als men rekening houdt met de al geobserveerde  $0,74^{\circ}\text{C}$  opwarming in vergelijking met die van 1850-1899, betreft het hier in alle gevallen een temperatuurtoename boven de  $2^{\circ}\text{C}$ -grens (totale temperatuurstijging ten opzichte van de pre-industriële temperatuur). Dat laatste cijfer is de waarde die naar voren wordt geschoven als de drempelwaarde die niet zou mogen worden overschreden (zie verderop). Voor de volledigheid werd ook een hypothetisch geval toegevoegd aan de scenario's: de opwarming in het scenario dat de broeikasgasemissies van vandaag op morgen tot nul herleid worden. Door de traagheid in het klimaatsysteem zou de temperatuur nog eens verder toenemen met  $0,3$  à  $0,9^{\circ}\text{C}$ .



**Figuur 2.1** Projecties voor de temperatuurstijging op basis van diverse emissiescenario's (IPCC, 2007)

Het IPCC maakte ook een schatting van de te verwachten stijging van de zeespiegel: afhankelijk van het opwarmingsniveau zou het zeeniveau stijgen met  $0,2$  à  $0,6$  meter tegen 2100. Bedenk daarbij dat een aantal andere fenomenen (waaronder het dynamische gedrag van het Groenlandijs en het Antarctisch ijs) niet werd opgenomen in deze berekeningen, omdat deze mechanismen, en hun mogelijke betekenis, momenteel niet goed genoeg begrepen worden om ze als basis voor projecties

te gebruiken. Nieuwe studies sinds november 2007 duiden erop dat de IPCC-projecties voor de zeespiegelstijging wellicht te optimistisch zijn. Een zeespiegelstijging tegen 2100 in de orde van grootte van 0,8 tot 1,3 meter kan niet helemaal worden uitgesloten (zie Mascarelli, 2008).

Een gelijksoortige opmerking geldt voor het Arctische Zee-ijs (Noordpoolijs). In het IPCC-rapport van 2007 heette het nog dat het Arctische Zee-ijs ten vroegste tegen 2040 volledig afwezig zou zijn tijdens de warmste periode in het jaar. Het dramatische verlies aan zee-ijs in 2007, 2008 en 2009 suggereert echter dat dit fenomeen zich sneller dan gedacht zou kunnen voordoen. Hoewel het smelten van dit ijs niet direct bijdraagt aan een zeespiegelstijging heeft dit wel gevolgen voor de verdere opwarming van de planeet. Naarmate meer ijs wordt omgezet in water wordt de absorptiegraad van zonne-energie door de Aarde hoger. Dit leidt tot een positief terugkoppelingsmechanisme waardoor de temperatuur sneller kan toenemen (zie ook Mascarelli, 2008).

Dat de klimaatwijzigingen op het vlak van gezondheid nadelige gevolgen zullen hebben, zal weinigen verbazen. De gezondheidsgevolgen zijn meervoudig; ondervoeding; nadelen als gevolg van hittegolven, stormen, droogtes, bosbranden en overstromingen; diarree; hart- en vaatziekten; gevolgen van hogere ozonconcentraties en een grotere verspreiding van infectieziekten. Een mogelijk voordeel van de klimaatopwarming kan zich voordoen in de koude regio's, waar het aantal slachtoffers ten gevolge van de koude zou kunnen afnemen. Dit effect wordt echter ruimschoots tenietgedaan door de negatieve gevolgen elders ter wereld. Dit is vooral merkbaar in de 'ontwikkelingslanden'.

Toch worden ook de rijkere landen getroffen. Zo vielen er naar schatting 52.000 doden ten gevolge van de hittegolf die tijdens de zomer van 2003 grote delen van Europa langdurig teisterde (zie o.a. Battisti en Naylor, 2008). Onderzoek heeft gesuggereerd dat de waarschijnlijkheid dat die fenomenen zich tijdens de komende vier decennia opnieuw zullen voordoen 100 keer groter wordt (Stott e.a., 2004). Dit zal vooral de zwaksten in de samenleving treffen, te weten ouderen, kinderen en mensen met een beperkt inkomen (NEF, 2009).

Ook in het rapport in *The Lancet* komt men zeer duidelijk tot de conclusie dat het vooral de sociaal zwaksten zijn die worden getroffen (Costello e.a., 2009). De auteurs van dit toonaangevende rapport vragen zich ook hardop af hoe het komt dat de medische wereld tot op heden het belang van de klimaatwijzigingen voor de gezondheid zo heeft genegeerd.

Hetzelfde geldt trouwens voor de psychologische gevolgen van de in frequentie toenemende klimaatgerelateerde natuurrampen. In een rap-

port van de *American Psychological Association* (Swim e.a., 2009) wordt daar uitdrukkelijk voor gewaarschuwd. De auteurs doen hierin ook een oproep naar de professionelen die in de sector van de psychologie actief zijn om in de toekomst meer aandacht te hebben voor deze dimensie.

De klimaatopwarming heeft niet alleen directe gevolgen voor de menselijke gezondheid, maar ook voor planten, dieren en volledige ecosystemen. Het IPCC vermoedt dat de veerkracht van tal van ecosystemen deze eeuw nog zal worden overschreden door een nooit eerder voorgekomen combinatie van klimaatwijzigingen, geassocieerde verstoringen en andere oorzaken van globale veranderingen (wijzigingen in landgebruik, vervuiling, overexploitatie van grondstoffen).

Verder voorspelt men dat de koolstofopnamecapaciteit van de aardse ecosystemen zal pieken vóór 2050. Daarna verwacht men een daling van die capaciteit (positieve terugkoppeling) waardoor de opwarming versterkt zal worden. Indien de temperaturen nog eens een extra 1,5 à 2,5°C toenemen, dan schat men dat 20-30 procent van de plant- en diersoorten te maken zullen krijgen met een 'verhoogd risico' op uitsterving. Wanneer de temperatuuroename de grens van 1,5-2,5°C (ten opzichte van 1990) overschrijdt, is het zeer waarschijnlijk dat er alleen nog maar negatieve gevolgen optreden op het vlak van biodiversiteit, ecosysteemdiensten en ecosysteemgoederen zoals voedsel- en watervoorziening.

Zolang de temperatuurstijging niet al te groot wordt, is het effect op de voedselproductie sterk afhankelijk van de geografische ligging, aldus het IPCC (2007). In de droge en tropische regionen verwacht men een afname; in de gematigde regio's kan er een lichte verbetering optreden. Wanneer de temperatuur echter te sterk toeneemt, leidt dit tot een daling van de voedselproductie overal ter wereld. Vooral de mensen die afhankelijk zijn van puur op regen gebaseerde kleinschalige landbouw zullen met grote problemen worden geconfronteerd (droogte, overstromingen, enz.). Recenter onderzoek bevestigt dat in de toekomst hitte meer nog dan droogte zware gevolgen zal hebben voor de landbouwsector. Battisti en Naylor (2008) komen tot de conclusie dat er 90 procent kans bestaat dat tegen 2100 de laagste temperaturen tijdens het groeiseizoen in de (sub)tropische gebieden hoger zullen liggen dan de meest extreme temperaturen die er tot op heden werden gemeten. Dit kan de opbrengsten voor maïs en rijst met 20 tot 30 procent doen dalen. Een vergelijkbaar, maar minder dramatisch fenomeen dreigt zich te voltrekken in de meer gematigde streken. De negatieve effecten voor de landbouw veroorzaakt door de hittegolf in 2003 in West-Europa mogen als een duidelijke waarschuwing dienen.

Op het vlak van waterbeschikbaarheid verwacht het IPCC tegen 2050 in sommige vochtige tropische gebieden en op hogere breedtegraden een toename met 10-40 procent. In de droge zones op gemiddelde breedtegraden en in droge tropische zones voorziet men echter een daling van 10-30 procent. De gebieden met extreme droogte zullen zich dus uitbreiden. In de loop van de eenentwintigste eeuw verwacht men dat de opgeslagen watervoorraden in gletsjers en sneeuwbedekking zullen afnemen. Dit is problematisch voor het ongeveer één zesde van de wereldbevolking dat voor zijn watertoevoer geheel afhankelijk is van het smeltwater van belangrijke berggebieden.

Meer broeikasgassen in de atmosfeer leiden ook tot een verdere verzuring van de oceanen. De oceanen fungeren immers als een 'koolstofput' (*sink*): ze zijn in staat om een deel van de door de mens uitgestoten CO<sub>2</sub> te absorberen. Koolstofdioxide lost in water op en wordt dan koolzuur, waardoor de oceanen verzuren. Afhankelijk van het toekomstige emissiescenario schat het IPCC dat tijdens de eenentwintigste eeuw die de pH (zuurtegraad) van de oceanen met 0,14 à 0,35 eenheden zou wijzigen. Dit zou overeenkomen met een verzuring zonder weerga in de jongste geschiedenis van onze Aarde. Hoewel het onderzoek naar de effecten van een verzuring van de oceanen slechts in zijn kinderschoenen staat, gaat men ervan uit dat die negatieve gevolgen zal hebben voor het plankton en de koraalriffen. Beide zijn essentieel voor de instandhouding van marine ecosystemen. Doordat zowel plankton als koraalriffen grotendeels opgebouwd zijn uit calciumcarbonaat – een stof die opgelost kan worden door koolzuur – zijn zij uitermate gevoelig voor té snelle pH-wijzigingen. In het vakblad *PNAS* leggen McNeil en Matarer (2008) onze maatschappij een niet te overschrijden kritische drempelwaarde op van 450 ppm CO<sub>2</sub>.

### Gevolgen op de langere termijn

Het is evident dat de klimaatveranderingen zich in 2100 niet plotseling zullen stabiliseren. De traagheid van het klimaatsysteem is immers groot. Eenvoudig gesteld is de opwarming die zich nu voordoet het gevolg van emissies uit een vroegere periode, terwijl de gevolgen van de veel hogere emissies van vandaag zich nog in de toekomst moeten manifesteren. In tegenstelling tot aërosoldeeltjes vertonen broeikasgassen een lange levensduur, waardoor zij tot lang na hun uitstoot kunnen bijdragen aan de opwarming van de atmosfeer, zelfs bij een stabilisatie van hun atmosferische concentratie. Het IPCC geeft dan ook aan dat de temperatuur, zelfs in de 'optimistische' emissiescenario's, na 2100 nog verder zal stijgen.

Wat de stijging van het zeeniveau betreft, is het traagheidseffect nog veel groter. Het zeeniveau wordt niet alleen bepaald door de hoeveelheid extra water die na het (gedeeltelijk) smelten van ijskappen en gletsjers in de oceanen terecht komt, maar ook door de uitzetting van het water als gevolg van de opwarming. Beide fenomenen verlopen bijzonder langzaam. Als gevolg van de trage transportsnelheid van energie in de oceanen (die optreden als een buffer) en de relatief langzame respons van de ijskappen op de opwarming, zal er zelfs bij een drastische daling van de broeikasgasuitstoot nog een lange periode nodig zijn voordat het klimaatstelsel een nieuw stabiel regime bereikt.

Enkele concrete cijfers kunnen dit verduidelijken. In het IPCC-rapport van 2007 geeft men aan dat, in een gemiddeld emissiescenario (A1B), het zeeniveau alleen al als gevolg van thermische uitzetting met 30 tot 80 centimeter zou stijgen tegen 2300 (in vergelijking met 1980-1999). Het krimpen van het Groenlandijs zal ook na 2100 blijven bijdragen aan de stijging van de zeespiegel. Indien het smelten van het ijs sneller verloopt dan de aangroei via sneeuwval, dan zal de Groenlandse ijskap uiteindelijk volledig verdwijnen (zie ook Gregory, Huybrechts en Raper, 2004). Dit zou leiden tot een zeespiegelstijging van 7 meter in een tijdspanne van enkele duizenden jaren. Dit proces is waarschijnlijk onomkeerbaar wanneer de temperatuur meerdere eeuwen boven een kritische drempelwaarde van ongeveer + 3°C zou uitkomen. Bovendien is het zo dat sommige dynamische processen (o.a. versnelde gletsjervloei) nog niet volledig geïntegreerd zijn in de huidige klimaatmodellen. Dit alles zou kunnen leiden tot een snellere en vroegere stijging van de zeespiegel.

Wat de toekomst van het Antarctische ijs betreft, schrijft het IPCC dat dit continent te koud zal blijven om tijdens de komende eeuwen verregaand te kunnen smelten. Bovendien verwacht men een aangroei van de ijskap als gevolg van hevigere sneeuwval. Maar deze stelling wordt door sommige klimaatwetenschappers enigszins gerelativeerd. Zij wijzen erop dat er een versnelde gletsjervloei aan het optreden is (zie bv. McKie, 2007). Dit zijn dezelfde 'dynamische processen' die ook in Groenland worden vastgesteld. Nog recenter onderzoek toont trouwens ook aan dat zelfs het Antarctische continent nu, gemiddeld gezien, in lichte mate opwarmt (temperatuurdaling in Oost-Antarctica maar een opwarming in West-Antarctica en vooral in het Antarctische schiereiland: zie Steig e.a., 2009).

### *Waarom het klimaatprobleem een ethisch vraagstuk is*

Een uitermate relevant gegeven in het klimaatvraagstuk behelst de omgekeerde relatie tussen de historische verantwoordelijkheid voor de opwarming en de kwetsbaarheid voor het probleem. De landen die de laatste 200 jaar voor de grootste uitstoot hebben gezorgd (de Verenigde Staten, Europa en Japan: ongeveer 60 procent van de historische koolstofuitstoot) zijn niet de landen waar nu en in de toekomst de meeste slachtoffers vallen. In dit verband spreekt men van klimaatonrechtvaardigheid, zowel binnen de huidige generaties als ten aanzien van de toekomstige generaties. Het klimaatvraagstuk is in essentie een ethisch probleem:

‘Vele mensen, sommigen nog levend, anderen nog ongeborn, zullen sterven door de effecten van de klimaatveranderingen. Is elke dood even slecht? Hoe slecht zijn al die overlijdens samen? Vele mensen zullen sterven voordat zij kinderen kunnen baren, waardoor de klimaatveranderingen het bestaan van kinderen die anders wel waren geboren, zullen voorkomen. Is hun niet-bestaan iets slechts? Doen de rijken de armen een onrecht aan door broeikasgassen uit te stoten? Hoe zouden we moeten antwoorden op de kleine maar reële kans dat de klimaatveranderingen tot een wereldwijde catastrofe leiden?’ (Broome, 2008: 97)

Klimaat effecten en klimaatgerelateerde natuurrampen spelen op dit moment al een belangrijke rol in de levens van de armste mensen ter wereld. Drogtes, overstromingen en (tropische) stormen hebben een onmiddellijke impact, vooral voor die mensen die in de kwetsbare zones leven en geen financiële middelen bezitten om zich tegen potentiële klimaatschokken te beschermen.

In het meest recente *Human Development Report 2007/2008* van het VN-ontwikkelingsprogramma (UNDP, 2007) erkent men dat klimaatwijzigingen een negatieve invloed hebben op de ontwikkelingskansen voor miljoenen, ja zelfs miljarden mensen in deze wereld. Klimaatwijzigingen verhogen de druk op verarmde samenlevingen, waardoor die in een negatieve spiraal van ontbering terechtkomen. De kwetsbaarheid ten aanzien van extreme weerfenomenen – waarvan de frequentie toeneemt naarmate de planeet verder opwarmt – is extreem ongelijk verdeeld in deze wereld. In de periode 2000-2004 werden jaarlijks ongeveer 262 miljoen mensen geconfronteerd met klimaatrampen. 98 procent van de slachtoffers bevond zich in de zogenaamde ‘ontwikkelingslanden’. Het risico ten aanzien van klimaatrampen is 79 maal kleiner voor een inwoner uit een rijk oeso-land dan voor iemand uit een ‘ontwikkelingsland’.

Volgens het VN-klimaatpanel (IPCC, 2007) zullen de zwaarste klappen vallen in grote delen van Azië, de megadelta's (Azië, Egypte), zwart Afrika en de kleine (laaggelegen) eilanden. Het Afrikaanse continent, dat op geen enkele wijze verantwoordelijk kan worden gesteld voor de huidige opwarming, is een van de meest kwetsbare gebieden ter wereld. Dit heeft vooral te maken met de beperkte aanpassingscapaciteit. Men verwacht dat in Afrika tegen 2020 tussen 75 en 250 miljoen mensen zullen moeten overleven in gebieden met grote waterschaarste. Het spreekt voor zich dat dit niet bepaald een positieve invloed zal hebben op de voedselzekerheid van dit continent (zie ook Battisti en Naylor, 2008).

In Azië gaat het vooral over de landen die voor hun watervoorziening afhankelijk zijn van de Himalaya-gletsjers. Door het verder smelten van deze gletsjers neemt de kans op overstromingen en steenlawines toe. Binnen enkele decennia, wanneer de gletsjers sterk in omvang zullen zijn afgenomen, verwacht men een aanzienlijke daling van de waterbevoorrading. Het IPCC schat dat tegen 2050 ongeveer een miljard mensen met dit probleem te maken zullen krijgen.

De megadelta's komen onder invloed te staan van het stijgende zee-niveau. Zeespiegelstijgingen en extreme weerfenomenen hebben ook een zware impact op kleine eilanden. De degradatie van de kustgebieden, als gevolg van erosie en het bleken van de koralen (door de hoge temperatuur), zal negatieve gevolgen hebben voor de lokale visserij en het toerisme. Laaggelegen eilanden zullen te maken krijgen met extra overstromingen, waardoor vitale infrastructuur kan worden beschadigd.

Ook in de rapporten van het *Global Humanitarian Forum* (Annan e.a., 2009) en *The Lancet* (Costello e.a., 2009) wordt uitdrukkelijk gewezen op de alomtegenwoordige symptomen van extreme klimaatonrechtvaardigheid en 'gezondheidsongelijkheid':

'De gevolgen van de klimaatveranderingen voor de gezondheid zijn onlosmakelijk verbonden met het mondiale ontwikkelingsbeleid en de overwegingen omtrent "gezondheidsgelijkheid". De opwarming van de Aarde zou de gedrevenheid om de Millenniumdoelstellingen te halen moeten katalyseren zodat de ontwikkeling van de armste landen wordt bespoedigd. De klimaatveranderingen plaatsen de kwestie van intergenerationele rechtvaardigheid op de agenda. De ongelijkheid van de klimaatveranderingen – met de rijken die het grootste deel van het probleem veroorzaken en de armen die als eersten de grootste gevolgen ondergaan – zal voor onze generatie een bron van historische schaamte worden, indien er niets wordt gedaan om ze aan te pakken.' (Costello e.a., 2009: 1694)

### *Wanneer worden de gevolgen van de klimaatwijzigingen gevaarlijk?*

Het concept van 'gevaarlijke klimaatwijzigingen' verwijst naar het langetermijndoel van het VN-raamverdrag inzake klimaatwijzigingen (UNFCCC). Dit verdrag kwam tot stand in 1992. Hierin stelt men expliciet dat de doelstelling erin moet bestaan om de hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer te stabiliseren op een niveau dat 'gevaarlijke antropogene interferentie met het klimaatsysteem' weet te voorkomen. De onderliggende grondgedachte is dat ecosystemen zich onvoldoende kunnen aanpassen aan de wijzigende omstandigheden wanneer de temperatuurstijging te snel en te groot wordt. Dit kan uiterst negatieve gevolgen hebben voor onder andere de voedselvoorziening, de waterbeschikbaarheid en het frequenter optreden van extreme weersfenomenen (hittegolven, droogtes, overstromingen, enz.). Hoe sneller en hoe hoger de gemiddelde opwarming optreedt, hoe desastreuzer het verwachte effect van deze zogenaamde lineaire, geleidelijke klimaatwijzigingen.

Tegelijkertijd houdt men ook rekening met het optreden van zogenaamde abrupte klimaatwijzigingen. Technisch gezien is een abrupte klimaatwijziging een gebeurtenis waarbij het klimaatsysteem voorbij een bepaalde drempelwaarde wordt geduwd. Dit veroorzaakt een overgang naar een nieuwe stabiele toestand met een snelheid die niet door de oorzaak maar door het klimaatsysteem zelf wordt bepaald. Zelfs een kleine drijvende kracht kan een abrupte wijziging veroorzaken. Bovendien kan ook de verstoring heel klein zijn. Sinds geruime tijd trachten milieuwetenschappers concrete cijfers te verbinden aan de ligging van deze drempelwaarden, uitgedrukt als een kritische temperatuurstijging ten opzichte van de pre-industriële periode of een ultieme CO<sub>2</sub>-concentratie. Het probleem is dat de juiste ligging van de drempelwaarden niet met grote zekerheid bekend is.

Het gaat alvast om abrupte klimaateffecten zoals het snel afsterven van koraalriffen, het onomkeerbare verlies van het Groenlandijs en het Arctische Zee-ijs (tijdens de zomer), het stilvallen van de Golfstroom, het afbreken van de West-Antarctische ijskap, het vrijkomen van methaan uit vaste methaanhydraten in de oceanbodems (zie Jones en Jacobs, 2006). Uit recent onderzoek (o.a. Lenton e.a., 2008) blijkt dat we, vooral wat de eerste drie fenomenen betreft, langzaam in de buurt komen van de relevante kritische drempelwaarden. Uitgaande van de cijfers voor deze kritische drempelwaarden stelt een aantal klimaatwetenschappers (vrij arbitrair) dat de maximaal toelaatbare opwarming beneden de 2°C moet blijven ten opzichte van de temperatuur in

1750. Zodra deze kritische grens overschreden wordt, neemt het risico enorm toe dat via een ingewikkelde combinatie van positieve terugkoppelingsmechanismen een opeenvolging van gevaarlijke kettingreacties in gang gezet wordt. De 2°C-grens werd in 2005 ook door de EU officieel erkend als de niet te overschrijden (gemiddelde) wereldwijde temperatuurstijging. Sindsdien volgden vele andere landen dit voorbeeld (Meinshausen e.a., 2009) en ook de G8 nam in 2009 deze doelstelling officieel aan. Zoals we later zullen zien, komt een opwarming van hoogstens 2°C overeen met relatief lage streefcijfers voor de toekomstige atmosferische CO<sub>2</sub>-concentratie.

Het 2°C-concept mag anderzijds niet verbloemen dat zelfs de huidige opwarming (van 0,74°C) nu al voor een groot aantal bevolkingsgroepen en soorten 'gevaarlijk' en zelfs ronduit dodelijk is (zie bv. Hare, 2009; Pachauri, 2009). Sterker nog, NASA-klimaatwetenschapper James Hansen beschouwt een opwarming van 2°C als '*a recipe for global disaster, not salvation*'. Deze stelling is hem trouwens niet in dank afgenomen door andere topklimaatwetenschappers (Huybrechts, 2009).

### ***Wat te doen: adaptatie én mitigatie***

#### **Adaptatie zonder mitigatie is als dweilen met de kraan open**

Uit de voorgaande paragraaf is gebleken dat het beperken van de gemiddelde opwarming tot maximaal 2°C door vele wetenschappers wordt gezien als een minimale voorwaarde om ongeziene menselijke schade te voorkomen.

In dit verband is het onbegrijpelijk dat er nog altijd 'economische klimaatsceptici' bestaan die beweren dat we ons maar beter gewoon aanpassen aan de klimaatveranderingen. Dit is een stelling die wordt verdedigd door onder andere de Nederlandse geoloog Salomon Kroonenberg (2006) en de Deense statisticus Björn Lomborg (2007). Zowel het IPCC (2007) als ex-Wereldbankeconoom Nicholas Stern (2006, 2009) kwamen tot de conclusie dat de prijs van niet-handelen (*cost of inaction*) groter is dan de kosten van het noodzakelijke klimaatbeleid. Stern heeft aangetoond dat 'niets doen' een economische recessie zou teweegbrengen: een jaarlijks verlies van 5 tot 20 procent van het Bruto Mondiaal Product. Hij stelt daarom voor om minstens 1 à 2 procent van het Bruto Mondiaal Product te investeren in klimaatmaatregelen.

Klimaatwetenschappers weten bovendien dat hoe langer men wacht om in te grijpen, hoe groter de gevolgen zullen zijn en hoe langer die zul-

len doorwerken. Alleen door een drastische daling van de uitstoot (mitigatie of 'verzachting') kan de mensheid er uiteindelijk in slagen om de broeikasgasconcentraties te stabiliseren. En dan nog zullen de effecten op de trage componenten van het klimaatsysteem (de ijskappen en het zeeniveau) eeuwen tot millennia voelbaar blijven. Zonder mitigatie verzeilen we in een uitzichtloze situatie waarin zowel de oorzaak als de gevolgen in ernst blijven toenemen, met het verlies van vele mensenlevens tot gevolg. We mogen niet in de val trappen van hen die '*evidence beyond reasonable doubt*' eisen alvorens tot actie over te gaan. Dan is het immers al te laat. Het klimaatsysteem bevat kritische drempelwaarden die, eens overschreden, onomkeerbare – en economisch onbecijferbare – ontwikkelingen veroorzaken.

Ook vanuit ethisch standpunt is het 'adaptatieplan' van Kroonenberg en Lomborg problematisch (voor een ethische kritiek op het economisme van Lomborg, zie o.a. Broome, 2008; Stern, 2009). Zij gaan volledig voorbij aan de realiteit dat de menselijke samenleving de laatste eeuwen zeer kwetsbaar is geworden. Nu honderden miljoenen mensen in megasteden in laaggelegen kustgebieden wonen, is aanpassen geen kwestie meer van houten hutten verplaatsen of opnieuw opbouwen. Kroonenberg en Lomborg negeren het feit dat de slachtoffers vooral zullen vallen in die gebieden die niet voor het probleem verantwoordelijk zijn. Zonder een klimaatbeleid dat (ook) gericht is op een mondiale daling van de uitstoot zal deze schrijnende vorm van ongelijkheid nog verder toenemen. De kwetsbare regio's in de wereld beschikken bovendien niet over de financiële middelen om zich aan te passen aan de stijging van de zeespiegel of aan de toekomstige droogte en de daarmee gepaard gaande voedselproblematiek. Een succesvol aanpassingsbeleid vereist financiële en economische hulp van de rijke landen.

De recente aandacht voor de VN-millenniumdoelstellingen dient te worden gekoppeld aan het besef dat zonder stringente maatregelen veel van die doelstellingen gewoon niet gehaald kunnen worden. Integendeel, een escalerende opwarming van de Aarde zou het proces van 'ontwikkeling' wel eens kunnen teruggedraaien. Hoe de wereld zal omgaan met het klimaatvraagstuk zal een rechtstreeks effect hebben op de ontwikkelingskansen van miljoenen tot zelfs miljarden mensen in deze wereld. Wanneer wij falen, zal volgens het UNDP (2007) de armste 40 procent van de wereldbevolking veroordeeld worden tot een uitzichtloos bestaan, zoals ook erkend wordt door het rapport van Costello en collega's (2009).

Uit dit alles kunnen wij besluiten dat aanpassen aan de klimaatwijzigingen zonder mitigatie neerkomt op dweilen met de kraan open. De gevol-

gen zullen dan cumuleren totdat ze onbeheersbaar worden. Dit is kiezen voor een scenario waarin de armsten en de zwaksten het hardst zullen worden getroffen. Om de klimaatwijzigingen succesvol te lijf te gaan, is er behoefte aan een tweesporig beleid: (1) adaptatie: aanpassing aan de klimaatgevolgen die door de traagheid in het systeem al onafwendbaar zijn, en (2) mitigatie: een beperking van de snelheid en de uiteindelijke schaal van de opwarming.

**Tabel 2.1** Verband tussen gemiddelde temperatuuroename, overeenkomstige CO<sub>2</sub>-stabilisatieconcentratie, piekmoment voor uitstoot, vereiste evolutie CO<sub>2</sub>-uitstoot, en economisch kostenplaatje tegen 2030/2050 (andere IPCC-categorieën werden niet overgenomen) (IPCC 2007)

Categorie	CO <sub>2</sub> -stabilisatie-niveau (ppm)	Uiteindelijke T-toename (°C) t.o.v. van pre-industr. T*	Piekjaar voor CO <sub>2</sub> -emissies	Reductie in CO <sub>2</sub> -uitstoot (% ten opzichte van 2000)	Economische kostprijs in 2030/2050 (in % Mondiaal Bruto Product)
A1	350-400	2,0-2,4	2000-2015	-85 tot -50	
A2	400-440	2,4-2,8	2000-2020	-60 tot -30	< 3 / < 5,5
B	440-485	2,8-3,2	2010-2030	-30 tot +5	0,2-2,5 / 0-4

\* Dit is de zogenaamde 'meest waarschijnlijke waarde' bij een (gemiddelde) klimaatgevoeligheid van 3°C bij een verdubbeling van de CO<sub>2</sub>-concentratie.

### Mitigatie: 'gevaarlijke klimaatwijzigingen' vermijden?

Rest ons in dit hoofdstuk nog de vraag wat er moet gebeuren om de 'gevaarlijke klimaatwijzigingen' te voorkomen. In de literatuur vindt men verschillende 'mitigatiescenario's' terug, die onder andere afhankelijk zijn van de inschatting van wat 'gevaarlijk' is.

Veruit het meest veeleisende streefdoel is dat van NASA-klimaatwetenschapper James Hansen, die stelt dat 350 ppm CO<sub>2</sub> de maximaal toelaatbare waarde dient te zijn. Aangezien de CO<sub>2</sub>-concentratie in 2009 al meer dan 390 ppm bedraagt, moeten we in die optiek methoden vinden om grote hoeveelheden CO<sub>2</sub> uit de lucht te halen (zie o.a. Hansen, 2007; Monastersky, 2009).

Hansens doelstelling komt ongeveer overeen met het *safe landing*-scenario van Hare (2009), een scenario waarbij we vanaf 2050, netto gezien, 'negatieve emissies' bewerkstelligen. Op die manier zou de temperatuurstijging bijna zeker beneden de 2°C-grens blijven. Maatschappelijk gezien lijkt dit scenario echter onhaalbaar.

Iets minder onhaalbaar is het meest stringente scenario van het jongste IPCC-rapport (zie A1 in Tabel 2.1). Om een redelijke kans te hebben om onder de 2°C-grens te blijven, moet de mondiale broeikasgasuitstoot met minstens 50 tot zelfs 85 procent dalen tegen 2050 (met 2000 als referentiejaar).

Dit komt overeen met een te verwachten opwarming van maximaal 2 tot 2,4°C tegenover de pre-industriële temperatuur. Voor westerse landen gaat het om een daling van de uitstoot van 80 à 95 procent tegen 2050 (met 1990 als het referentiepunt), met een tussentijdse doelstelling van 25 à 40 procent tegen 2020. Even belangrijk als de doelstelling voor 2050 is dat de mondiale emissies op het laatst moeten pieken in 2015 (en dus daarna weer gaan dalen). Dit alles zou overeenkomen met een stabilisatieconcentratie van 350 à 400 ppm CO<sub>2</sub>, tot 50 ppm boven de maximumwaarde van Hansen.

Het meest recente onderzoek suggereert dat we ons in de toekomst minder moeten focussen op stabilisatieconcentraties, maar veeleer op een resterend totaal koolstofbudget dat nog mag worden uitgestoten. De reden hiervoor is dat men niet verwacht dat het klimaat op korte termijn een nieuw evenwicht bereikt. De concentratie aan CO<sub>2</sub> zal veeleer pieken en vervolgens dalen, op voorwaarde dat de emissies drastisch worden teruggedrongen (Monastersky, 2009; Schmidt en Archer, 2009; Meinshausen e.a., 2009; Allen e.a., 2009a).

Om 75 procent kans te hebben beneden de 2°C te blijven, rest de wereldbevolking nog een cumulatief koolstofbudget voor de periode 2000-2050 van 1000 gigaton CO<sub>2</sub> (Meinshausen e.a., 2009). Aangezien de totale CO<sub>2</sub>-emissies in de periode 2000-2006 al 234 gigaton bedroegen, blijft er nog ongeveer drie vierde van dat budget over. Dit alles komt in wezen overeen met een scenario waarin de mondiale CO<sub>2</sub>-emissies pieken tijdens het komende decennium en vervolgens met 3 à 5% per jaar dalen, afhankelijk van het precieze jaar waarin de uitstoot piekt (Allen e.a., 2009b). Politiek gezien is dit 2°C-scenario, dat vergelijkbaar is met het A1-IPCC-scenario uit Tabel 2.1, slechts mogelijk indien de wereldgemeenschap zich tot veel sterkere emissiereducties verbindt dan tot nu toe het geval is geweest (Rogelj e.a., 2009).

Het IPCC schoof in 2007 ook een aantal minder veeleisende emissiescenario's naar voren. Deze hebben gemeen dat ze (zeer waarschijnlijk) de 2°C grens zullen overschrijden. Het betreft allereerst het A2-IPCC-scenario (zie Tabel 2.1). Hierin zou de wereldwijde CO<sub>2</sub>-uitstoot tegen 2050 met 30 tot 60 procent moeten gedaald zijn, wat zou overeenko-

men met een (meest waarschijnlijke) opwarming van 2,4 à 2,8°C. Dit is een opwarmingsniveau dat al een groot aantal onomkeerbare problemen kan veroorzaken. Om de opwarming te beperken tot 2,8°C zou men tegen 2030 (2050) een bedrag kleiner dan 3 procent (5,5 procent) van het mondiale bruto product moeten uitgeven aan klimaatmaatregelen. Die kostprijs kan dan vergeleken worden met de 5-20 procent schade die zou worden veroorzaakt in een *business as usual*-scenario, zoals dat is berekend in het Sternrapport. Bovendien moet men bedenken dat de economische kostprijs vermeld in Tabel 2.1 nog geen rekening houdt met een groot aantal secundaire voordelen (zie volgende paragraaf). Hierdoor kan de economische nettobalans minder negatief tot zelfs positief zijn.

### *De secundaire voordelen van een klimaatbeleid*

Dat radicale veranderingen inzake transport, (hernieuwbare) elektriciteitsproductie, duurzame voeding en behuizing ook veel mogelijkheden scheppen, vormt het positieve, optimistische aspect aan het klimaatverhaal. Een eerste positief 'neveneffect' behelst de mogelijkheid om veel nieuwe banen te scheppen. Het rapport van het Europees Vakverbond (ETUC, 2007) over de verhouding tussen klimaatwijzigingen, mitigatiemaatregelen en werkgelegenheid, toont aan dat een proactief mitigatiebeleid (40 procent daling EU-CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2030) een netto positief effect zou hebben op de werkgelegenheid.

Als men alle sectoren bij elkaar optelt, zowel de winnaars als de verliezers, dan zouden er netto gezien 1,5 procent extra arbeidsplaatsen bijkomen ten opzichte van een *business as usual*-scenario. Dit moet de vakbonden én de milieubeweging als muziek in de oren klinken. Andere evidente kansen doen zich voor op het vlak van energieonafhankelijkheid en leefbare steden (met schonere luchtkwaliteit, lagere gezondheidskosten en meer verkeersveiligheid).

De beperkte studies die hierover bestaan, suggereren zelfs dat deze meervoudige voordelen financieel zwaarder kunnen wegen dan de kostprijs van het klimaatbeleid zelf. Vooral de synergieën tussen klimaat- en gezondheidsbeleid zouden veel sterker benadrukt moeten worden (Costello e.a., 2009). Dat is recent ook nog gebleken uit een studie van het Nederlandse Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Dat onderzocht wat de gezondheidsvoordelen kunnen zijn van een stringent klimaatbeleid:

'Streng mondiaal klimaatbeleid leidt tot een forse verbetering van de lokale luchtkwaliteit en daarmee tot minder gezondheidsverlies. Maatre-

gelen om in 2050 de wereldwijde uitstoot van broeikasgassen te verlagen tot 50% van het niveau in 2005 kunnen de vroegtijdige sterfte door chronische blootstelling aan luchtvervuiling verminderen met 20-40%. De verbetering van de luchtkwaliteit als gevolg van klimaatbeleid zal sneller zichtbaar zijn in de OESO-landen (vooral in de vs) en pas later in ontwikkelingslanden.' (Bollen e.a., 2009: 7)

Omdat de diverse 'secundaire voordelen' (werkgelegenheid, energie-autonomie en gezondheid) relatief snel en lokaal voelbaar zijn (NEF, 2009), is een stringent klimaatbeleid een economisch rationele keuze, ongeacht of ook andere landen inspanningen leveren om de uitstoot terug te dringen. In hun studie in *Ecological Economics* geven Pittel en Rübhelke (2008) een overtuigend overzicht van het monetaire belang van secundaire voordelen in die landen waar studies voor bestaan. Het gewicht van de voordelen wordt groter naarmate de bevolkingsdichtheid van een land of een gebied toeneemt. Gezien meer dan de helft van de wereldbevolking in verstedelijkte gebieden woont, zullen die secundaire voordelen alleen maar in belang toenemen.

### *Speltheorie en klimaatscepticisme*

Laten we om de discussie over het klimaatscepticisme af te sluiten nu eens op een totaal andere manier naar dit vraagstuk kijken. We doen dit met behulp van het volgende speltheoretische gedachte-experiment. Daarin vertrekken we vanuit een centrale werkhypothese. Die luidt: 'De opwarming van de Aarde is een hoofdzakelijk door de mens veroorzaakt probleem dat dringend moet worden aangepakt om zeer ernstige schade te voorkomen.' De te ondernemen actie is zoals we eerder al aangaven een combinatie van ingrijpende mitigatiemaatregelen (daling van de uitstoot van broeikasgassen) enerzijds en adaptatiemaatregelen anderzijds. In principe is deze stelling juist of fout. In het eerste geval hebben klimaatsceptici het bij het verkeerde eind, in het tweede geval overdrijven de klimaatwetenschappers het probleem. Ten aanzien van de werkhypothese zijn er (ideaaltypisch) twee mogelijke reacties: de wereldgemeenschap onderneemt actie om het probleem in te dijken of doet dat niet. Door de combinatie van deze twee parameters ontstaan er vier mogelijkheden, die worden weergegeven in Tabel 2.2.

Wat bij de vergelijking van de verschillende uitkomsten sterk opvalt, is dat het scenario 'stringente actie' op zich geen onoverkomelijke problemen veroorzaakt. Zelfs in het geval dat het klimaatprobleem hope-

loos overdreven zou zijn, kan men de kosten van het klimaatbeleid toch motiveren omdat er veel secundaire voordelen ontstaan die (ook monetair gezien) aanzienlijke voordelen met zich meebrengen. Daarom spreekt men in dit geval ook wel eens van een *no regret*-situatie. Dat kan men niet zeggen van de andere kolom in de tabel. Indien de wereldgemeenschap niet bereid is een klimaatbeleid te voeren, dan zijn er twee mogelijkheden. In het geval dat de sceptici het bij het rechte eind hebben, is er nog geen man overboord. De economieën functioneren nog steeds naar behoren. Wel is het zo dat er geen secundaire voordelen bij komen kijken.

**Tabel 2.2** Klimaatscepticisme anders bekeken, gebruik makend van een speltheoretisch gedachte-experiment

'De opwarming van de Aarde is een hoofdzakelijk door de mens veroorzaakt probleem dat dringend moet worden aangepakt om zeer ernstige schade te voorkomen.'	Er wordt actie ondernomen (adaptatie én mitigatie).	Er wordt geen actie ondernomen.
De opwarming wordt niet door mensen veroorzaakt en/of het probleem is overroepen: klimaatsceptici hebben gelijk.	Economische kosten om klimaat te stabiliseren waren eigenlijk niet nodig, maar er zijn wel secundaire voordelen gecreëerd (banen, energie-autonomie, gezondheid).	Er is geen onoverkomelijk probleem ontstaan met het klimaat. Economieën en samenlevingen functioneren naar behoren. Geen secundaire voordelen.
De opwarming wordt hoofdzakelijk door mensen veroorzaakt en de gevolgen zijn rampzalig indien er geen actie wordt ondernomen: klimaatsceptici hebben ongelijk.	De ergste klimaatgevolgen werden vermeden door het stringente klimaatbeleid, dat bovendien vele secundaire voordelen met zich meebrengt.	De wereldeconomie verzeilt in een catastrofale opwarmingsepisode, met verregaande en diverse onomkeerbare gevolgen. De kosten (ook in mensenlevens) lopen ongemeen hoog op.

Problematisch is evenwel het vierde en laatste geval. Stel dat er geen klimaatbeleid komt én dat het klimaatprobleem dan toch een zeer ernstig probleem blijkt te zijn. De opwarming van de Aarde bedraagt dan snel meer dan 3°C, waardoor de gevolgen rampzalige vormen kunnen aannemen. Stern spreekt van globale kosten in de orde van grootte van 5 à 20 procent van het Bruto Mondiaal Product. Dit zal op termijn leiden tot een sterke daling van het wereldwijde welvaartsniveau. Economieën kunnen zich herstellen van een financiële crisis. Helaas is er geen terug-

spoelknop voor een opwarming van de Aarde die een reeks kritische drempelwaarden onomkeerbaar overschrijdt.

Wat betekent dit nu voor de beleidskeuzes die we als wereldgemeenschap zouden moeten maken? Voordat we dit punt verder uitspitten, loont het de moeite een onderscheid te maken tussen drie concepten: 'risico' (*risk*), 'onzekerheid' (*uncertainty*) en 'onwetendheid' (*ignorance*). Met 'risico' bedoelt men een situatie waarbij een individu de gevolgen van een daad niet kent, maar in staat is realistische verwachtingen te koesteren op grond van kansberekeningen of van reeds voorgevallen gevolgen van daden of beslissingen. 'Onzekerheid' daarentegen definieert men als een situatie waarbij men niet over de informatie beschikt omtrent de waarschijnlijkheid van mogelijke gevolgen die wel gekend zijn. Wanneer men zelfs niet op de hoogte is van de potentiële gevolgen, laat staan hun waarschijnlijkheid, dan spreekt men van 'onwetendheid'. Dit impliceert een gebrek aan kennis over het gedrag en de respons van een gegeven systeem.

Voor risico's kunnen verzekeringsinstellingen betrouwbare kansberekeningen opstellen; in gevallen van onzekerheid en/of onwetendheid beschikken zij over onvoldoende informatie om mogelijke schade te dekken. In het geval van het klimaatvraagstuk zitten we opgescheept met zowel elementen van 'risico', elementen van 'onzekerheid' als elementen van 'onwetendheid'. Daardoor kan er wetenschappelijk gezien *a priori* geen exact percentage worden toegekend aan de waarschijnlijkheid dat de werkhypothese klopt. Maar laten we – puur hypothetisch en zeer conservatief ingeschat – er even van uitgaan dat de kans dat de werkhypothese klopt slechts 50 procent bedraagt. In het geval dat er geen actie wordt ondernomen, is de kans op het catastrofale scenario 50 procent. Zelfs in deze situatie is er met andere woorden maar één realistische optie, namelijk actie ondernemen. De kans dat het misloopt, is immers onverantwoord groot. Het voorzorgsprincipe moet voorop staan.

Op basis van alle wetenschappelijke gegevens, zowel wat de empirische waarnemingen als de diverse klimaatmodellen betreft, is het steeds minder waarschijnlijk dat de werkhypothese onjuist is. Technisch gezien evolueren we steeds meer van een situatie van 'onzekerheid' naar een situatie van 'risico', zoals ook benadrukt werd door Nicholas Stern in zijn laatste boek *A Blueprint for a Safer Planet* (2009). Dit impliceert dat men met toenemend vertrouwen een grotere waarschijnlijkheid kan toekennen aan de correctheid van de werkhypothese. In de echte wereld mogen we stellen dat de kans dat de sceptici alsnog gelijk zouden hebben zo goed als nihil is, wat impliceert dat in het scenario 'niets doen' de kans

op catastrofale opwarming in de limiet tot 100 procent oploopt. Hoeft het nog gezegd te worden dat klimaatscepticisme (zie ook Kaderstuk 2.1) in dit verband totaal onaanvaardbaar is?

### **Kaderstuk 2.1 Klimaatscepticisme en conservatieve denktanks**

In het vakblad *Environmental Politics* verscheen een uitputtende literatuurstudie over het georganiseerde klimaatscepticisme. Peter Jacques en collega's (2008) screenen de milieusceptische literatuur van de laatste 30 jaar. Hun conclusie is op zich niet verrassend, maar wel interessant: de grote meerderheid (meer dan 92 procent) van 'milieu- en klimaatsceptische boeken' kan rechtstreeks in verband gebracht worden met politiek georiënteerde, rechts-conservatieve denktanks:

'Het milieuscepticisme is een elitaire reactie op de mondiale milieubeweging, die georganiseerd wordt door centrale spelers in de conservatieve beweging. Het bevorderen van scepticisme is een sleutelactiek van de antimilieubeweging, die gecoördineerd wordt door conservatieve denktanks. Deze beweging werd specifiek ontwikkeld om de op wetenschappelijke argumenten gebaseerde inspanningen van de milieubeweging te ondermijnen. Hierdoor is de notie dat de milieusceptici onbevooroordeelde analisten zouden zijn, die de mythes en afschriktactieken willen onthullen van hen die ze bestempelen als pseudowetenschappers, ongeloofwaardig. Op dezelfde manier is het beeld dat sceptici van zichzelf ophangen als gemarginaliseerde 'Davids', die strijden tegen de machtige 'Goliaths' van de milieuactivisten en milieuwetenschappers, een schertsvertoning. De sceptici worden immers ondersteund door politiek machtige conservatieve denktanks, die worden gesponsord door rijke verenigingen en bedrijven.' (Jacques, Dunlap en Freeman, 2008: 364)

Voor een uitvoerige analyse van de bijzondere relatie tussen klimaatsceptici en rechts-conservatieve bewegingen verwijzen we ook graag naar het hoofdstuk 'De ontkenningindustrie' in het boek *Hitte* van de Britse milieujournalist George Monbiot (2007).

### *Tot slot*

In dit hoofdstuk hebben we geïllustreerd dat de opwarming van de Aarde het centrale ecologische vraagstuk is voor de eenentwintigste eeuw. Hoe wij hier als wereldgemeenschap mee zullen omgaan, is bepalend voor de huidige en de toekomstige generaties. Om rampzalige scenario's af te wenden, zijn grootschalige veranderingen vereist in hoe onze samenlevingen en economieën functioneren. De uitdagingen zijn gigantisch. Daar kan geen twijfel meer over bestaan. Toch zijn wij ervan overtuigd dat reële oplossingen voor deze problematiek niet utopisch zijn.

Zoals we in dit boek uit de doeken zullen doen, kan men met een combinatie van aangepaste regulering, groene belastingen, gedragswijzigingen én reeds bestaande en nog te ontwikkelen technologie de doelstelling van een 50 à 85 procent wereldwijde CO<sub>2</sub>-reductie halen en de transitie naar een lagekoolstofeconomie bewerkstelligen. Dat veronderstelt echter zeer grote inspanningen in alle relevante sectoren én in alle landen. Een minimale voorwaarde voor deze grootschalige omschakeling is dat er serieuze prijs wordt verbonden aan de emissies van broeikasgassen, zodat de prijsvorming in een groene richting wordt geduwd. De 'ontkoling' van de economie is een essentieel onderdeel van de metatransitie naar een nieuw macro-economisch model dat ecologisch duurzaam, sociaal rechtvaardig en economisch stabiel is. Hoe dit kan gebeuren, vormt het centrale onderwerp van het vervolg van dit boek.