



december 2006

Een uitgave van het PCCC

De Staat van het Klimaat 2006

Actueel onderzoek en beleid
nader verklaard



vrije Universiteit

amsterdam



Universiteit Utrecht





De Staat van het Klimaat 2006

Actueel onderzoek en beleid
nader verklaard

december 2006

Verantwoording

Deze brochure is geschreven door en onder verantwoordelijkheid van de Wetenschappelijke Redactie van het PCCC. Alvorens tot publicatie over te gaan is de inhoud aan een extra check onderworpen door de volgende wetenschappers van uiteenlopende disciplines:

Stefan Bakker, ECN
Hans de Boois, NWO
Bram Bregman, KNMI
Ton Bresser, UNESCO-IHE
Michiel van den Broeke, Universiteit Utrecht, IMAU
Hendrik Buiteveld, Rijkswaterstaat, RIZA
Heleen de Coninck, ECN
Douwe Dillingh, Rijkswaterstaat, RIKZ
Jan Willem Erisman, ECN
Pavel Kabat, Alterra, Wageningen UR
Caroline Katsman, KNMI
Gerbrand Komen, KNMI
GeertJan van Oldenborgh, KNMI
Paul Opdam, Alterra, Wageningen UR
Joop Oude Lohuis, MNP
Bart Strengers, MNP
Wim Turkenburg, Universiteit Utrecht, Copernicus Instituut
Pier Vellinga, Klimaatcentrum, Vrije Universiteit
Hans Visser, MNP
Claire Vos, Alterra, Wageningen UR
Nanne Weber, KNMI

Wij zijn hen bijzonder erkentelijk voor de gemaakte opmerkingen en suggesties, die wij zoveel mogelijk hebben overgenomen.

Aan deze brochure kan als volgt worden gerefereerd: 'Rob van Dorland en Bert Jansen (red.), 2006, De Staat van het Klimaat 2006, uitgave PCCC, De Bilt/Wageningen.'

In deze brochure treft u geen literatuurverwijzingen aan. Dit hebben wij gedaan om haar zo leesbaar mogelijk te houden. Maar op onze website (www.klimaatportaal.nl) vindt u een digitale versie van de brochure, alsmede een lijst met gebruikte literatuur.

Rob van Dorland en Bert Jansen

Voorwoord

Voor u ligt 'De Staat van het Klimaat 2006'. Dit is een uitgave van het *Platform Communication on Climate Change* (PCCC), waarin de belangrijkste Nederlandse wetenschappelijke onderzoekinstellingen op het gebied van klimaat, klimaatverandering en klimaatbeleid samenwerken. De Staat van het Klimaat beschrijft onze actuele kennis van dit belangrijke onderwerp, toegespitst op nieuwe ontwikkelingen in 2005 en 2006. Jaarlijks wordt een update gemaakt. Het doel van deze brochure is om op handzame wijze aan politici, bestuurders, vertegenwoordigers van maatschappelijke organisaties, docenten, studenten en andere geïnteresseerden een compact en gedegen overzicht te geven van de ontwikkelingen in de wetenschappelijke kennis over klimaatverandering en de gevolgen ervan en de ontwikkelingen in het klimaatbeleid.

Het klimaatsysteem is complex. Dat betekent dat harde bewijzen over oorzaak en gevolg van de huidige klimaatverandering moeilijk te geven zijn. Er zijn nu eenmaal veel factoren die een rol spelen. Hoewel van veel factoren duidelijk is dat zij het klimaat beïnvloeden, bestaan er nog onzekerheden over de gevoeligheid van het klimaat en daarmee over de sterkte van de effecten van klimaatverandering. Niettemin zijn er ontwikkelingen gaande in het klimaat, die eigenlijk alleen maar kunnen worden verklaard door menselijke invloeden. Zowel de aanwijzingen hiervoor vanuit de waarnemingen als de wetenschappelijke onderbouwing ervan worden jaarlijks sterker.

Het klimaatbeleid kan zich richten op zowel aanpassing aan klimaatverandering (adaptatie), als op het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen (mitigatie). Keuzes in het klimaatbeleid worden bepaald door kosten en baten van de maatregelen, maar ook door percepties en belangen. Het maken van keuzes is fundamenteel lastig door onzekerheden over de risico's van klimaatveranderingen, de effectiviteit van het (internationale) mitigatiebeleid, de kosten en baten van adaptatie- en mitigatiebeleid en ontwikkeling van deze kosten en baten in de tijd. Daar komt nog bij dat de baten van het klimaatbeleid wetenschappelijk gezien niet altijd eenduidig in geld zijn uit te drukken.

In de Staat van het Klimaat hebben wij gekozen voor de menselijke maat, dat wil zeggen dat wij hier de veranderingen op een termijn van één tot enkele eeuwen centraal stellen. Dat betekent geenszins dat begrip van klimaatveranderingen op geologische tijdschaal niet van belang zou zijn: het bestuderen van zulke veranderingen geeft wezenlijk inzicht in de werking van het klimaatsysteem. De menselijke maat is echter om verschillende redenen belangrijk. De wereldbevolking, de wereldeconomie en de wereldenergieconsumptie zijn de afgelopen eeuw in hoog tempo gegroeid, waardoor de druk op ruimte en milieu sterk is toegenomen. Meer dan de helft van de mensheid leeft in gebieden die kwetsbaar zijn voor klimaatveranderingen. Ook is van belang dat het beleid ten aanzien van infrastructurele aanpassingen aan klimaatveranderingen een tijdschaal van één tot enkele generaties kent. Hoewel de kennis van het klimaatsysteem niet volledig is, kan en moet zij optimaal benut worden om zo efficiënt mogelijk maatregelen te nemen.

De onderwerpen die in deze Staat van het Klimaat de revue passeren, zijn gekozen door de instituten die participeren in het PCCC. Naast feitelijke informatie worden interpretaties gegeven van wetenschappelijke discussies die spelen rond de beschreven onderwerpen. Ook maatschappelijke discussies, al dan niet aangezwengeld door de media, worden in deze brochure in de context geplaatst van de huidige kennis op het gebied van klimaatverandering en klimaatbeleid. Wij hopen hiermee een boeiende en informatieve brochure voor u te hebben samengesteld.

De Wetenschappelijke Redactie van het Platform Communication on Climate Change:

Rob van Dorland, Michiel van Drunen, Bas Eickhout, Bert Jansen, Marc Londo,
Michael van der Meer, Jeroen Veraart

Inhoud

1.	<i>Inleiding</i>	5
2.	<i>Extreem weer</i>	7
2.1	Orkanen	
2.2	Extreme temperaturen	
2.3	Extreme neerslag	
3.	<i>Klimaat in beweging</i>	10
3.1	De hockeystick en het Kyoto-protocol	
3.2	Het slinken van de Groenlandse ijskap	
3.3	De uitstoot van methaan	
4.	<i>Klimaatscenario's en effecten in Nederland</i>	13
4.1	Klimaatscenario's	
4.2	Effecten op de natuur	
4.3	Overige effecten	
5.	<i>Mitigatie: maatregelen om klimaatverandering te verminderen</i>	16
5.1	Mondiaal en Europees mitigatiebeleid	
5.2	Nederlands mitigatiebeleid	
5.3	Het Europese Emissiehandelssysteem	
5.4	Afvang en opslag van CO ₂	
5.5	Alternatieven voor fossiele brandstoffen	
6.	<i>Adaptatie: aanpassen aan de gevolgen van klimaatverandering</i>	19
6.1	Veiligheid in het waterbeheer	
6.2	Veerkracht van de natuur	
6.3	Risico's, kosten en baten	
	<i>Wat doet het PCCC?</i>	22
	<i>Colofon</i>	23

1. *Inleiding*

De aarde is de afgelopen honderd jaar ruim 0,7 graad warmer geworden. Het overgrote deel van de klimaatwetenschappers is het erover eens dat de mens hierin een belangrijk aandeel heeft via de uitstoot van broeikasgassen, met name in de tweede helft van de 20e eeuw. De directe relatie tussen de huidige stijging van de broeikasgasconcentraties en menselijke activiteiten is wetenschappelijk bewezen. Verwacht wordt dat de opwarming zich in deze eeuw versneld zal voortzetten. Er bestaan nog wel onzekerheden over de omvang van de klimaatverandering en de bijbehorende gevolgen. Uiteraard is er vanuit de wetenschap veel belangstelling voor het versterkte broeikaseffect. Daarnaast staat het onderwerp hoog op de politieke agenda: er staan immers grote belangen op het spel. Maatregelen om de uitstoot van broeikasgassen te beperken (mitigatie) vergen verregaande maatregelen in een wereld waarin de vraag naar energie almaar toeneemt, velen nog geen toegang tot moderne energiedragers hebben en zich internationale spanningen voordoen die de energievoorziening in gevaar brengen. Het is inmiddels ook duidelijk dat de effecten van de broeikasgasuitstoot nog heel lang zullen doorwerken, zelfs bij vermindering van de uitstoot, omdat het klimaatsysteem traag op veranderingen in de uitstoot reageert. Het beleid is er daarom ook op gericht dat we ons moeten leren aanpassen aan de veranderende omstandigheden (adaptatie).

De hoge kosten van mitigatie en adaptatie geven terecht aanleiding tot de vraag of de wetenschap het wel bij het rechte eind heeft. Met andere woorden: in hoeverre is de mens eigenlijk oorzaak van het veranderende klimaat? En in hoeverre zijn natuurlijke factoren verantwoordelijk (of medeverantwoordelijk) voor het temperatuurverloop op aarde? Het opsporen en verklaren van fluctuaties in het klimaat zijn kernactiviteiten binnen het huidige klimaatonderzoek. Kennis over deze fluctuaties is van belang voor het inschatten van de menselijke invloed op het klimaat in de komende honderd jaar en daarna.

Het klimaatsysteem omvat de atmosfeer, de oceaan, de sneeuw- en ijsbedekking, het landoppervlak en de biosfeer. Naast fysische processen spelen ook chemische en biologische processen en hun onderlinge wisselwerking een belangrijke rol. Hoewel de kennis van dit complexe systeem de laatste decennia is toegenomen, is het nooit helemaal te voorspellen hoe het systeem op veranderingen reageert: er kunnen altijd onverwachte dingen gebeuren. Desondanks zijn er door robuuste natuurkundige wetten, zoals behoud van energie, aantoonbare oorzaak-gevolgrelaties in het klimaatsysteem aanwezig, waardoor binnen een bepaalde onzekerheidsmarge wel degelijk uitspraken gedaan kunnen worden over de ontwikkelingen van het klimaat op aarde.

Zo is er inmiddels veel bekend over de invloed van (veranderingen in) de samenstelling van de dampkring op het klimaat. Met zekerheid is vastgesteld dat de toename van CO₂ voornamelijk wordt veroorzaakt door de verbranding van fossiele brandstoffen. Met geavanceerde computermodellen kunnen we het klimaat van de 20e eeuw in grote lijnen nabootsen. In deze modellen wordt rekening gehouden met de menselijke invloed en met natuurlijke factoren zoals vulkaanuitbarstingen, zonne-activiteit en grootschalige verschijnselen zoals El Niño. Naast het gemiddelde wereldklimaat kunnen op die manier ook de patronen in de verandering van het klimaat worden gesimuleerd. Uit verschillende studies blijkt dat sinds 1950 het grootste deel van de waargenomen opwarming van de aarde is veroorzaakt door de uitstoot van broeikasgassen als gevolg van menselijk handelen.

In 2100 wordt door de toenemende emissie van broeikasgassen een mondiale temperatuurstijging verwacht van 1,5 tot 6 graden ten opzichte van 1990. Deze bandbreedte hangt samen met de onzekerheid in voorspellingen van de toekomstige menselijke uitstoot van broeikasgassen en met onvolledige kennis van het klimaatsysteem. De opwarming van de aarde zal nagenoeg zeker de waterkringloop intensiveren, waardoor er mondiaal gemiddeld meer neerslag wordt voorzien. De verwachting is dat zee-ijs, gletsjers en ijskappen verder in volume zullen afnemen. Door het warmer worden van het oceaanwater en het slinken van gletsjers en ijskappen zal de zeespiegel verder stijgen.

Om beleid te kunnen maken is het van belang om de aard en omvang van de gevolgen van klimaatverandering in kaart te brengen en te bepalen wanneer een verstoring gevaarlijk wordt. De Europese Unie heeft zich ten doel gesteld om de temperatuurstijging binnen de 2 graden te houden ten opzichte van de wereldgemiddelde temperatuur in het pre-industriële tijdperk. In de wetenschappelijke tijdschriften wordt een heftig debat gevoerd over de vraag in hoeverre deze doelstelling te mild of te streng is. Daarnaast is het lastig te bepalen wat de gevolgen van deze beleidsopgave zijn voor de te realiseren emissiereductie. Omdat de meeste uitstoot van broeikasgassen uit het energiesysteem komt, gaat het klimaatdebat mede over energiekeuzes voor de toekomst. Dit voegt een nieuwe dimensie toe: hoe kunnen we mondiaal tot overeenstemming komen over de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen met daarbij een evenwichtige verdeling van inspanningen naar regio's en sectoren?

Behalve met het vraagstuk van vermindering van uitstoot van broeikasgassen, houdt het beleid zich bezig met de verwachte effecten van klimaatverandering. Op het terrein van aanpassing aan klimaatverandering wordt de laatste jaren dan ook veel onderzoek gedaan. Voordeel van adaptatie is dat dit voor de rijke landen op nationaal en regionaal niveau gerealiseerd kan worden en er dus geen moeizame internationale onderhandelingen nodig zijn. Adaptatie van de inrichting van Nederland is te beschouwen als een verbouwing, terwijl de winkel gewoon open blijft. Het gaat om het aanpassen van bijvoorbeeld ons waterbeheer of ons natuurbeleid, anticiperend op klimaatveranderingen op lange termijn en in sommige gevallen zelfs om een drastische wijziging van het water- en veiligheidssysteem. De wijze waarop wij in diverse sectoren (hebben leren) omgaan met klimaatvariabiliteit, geeft ons voortschrijdend inzicht in de wijze waarop wij op toekomstige veranderingen kunnen inspelen. In het waterbeheer is dit het meest duidelijk. Onderzoek in het waterbeheer richt zich niet meer alleen op het ontwerpen van civiel-technische maatregelen ten bate van de veiligheid, maar bijvoorbeeld ook op aanpassingen in ruimtegebruik en financiële arrangementen. Door deze vernieuwingen vormt de klimaatverandering niet alleen een bedreiging, maar schept ze ook kansen. Voor arme landen ligt dit veelal anders, bij hun loopt de winkel eerder onder terwijl ze nog aan het inrichten zijn.

2. *Extreem weer*

Foto: Lineair, John Cancelosi



Steeds vaker haalt de klimaatverandering de krantenkoppen. In veel gevallen is de aanleiding een actuele gebeurtenis, zoals een hete zomer of hevige regenval. De grote vraag is hoe de weersextremen in de afgelopen eeuw zijn veranderd, en of die veranderingen worden veroorzaakt door menselijke invloeden of dat zij onderdeel zijn van natuurlijke schommelingen in het klimaat.

Bij 'extreem weer' in onze regio denken we in eerste instantie aan stormen, overstromingen en droogte. Bestudering van dergelijke gebeurtenissen geeft ons echter niet direct antwoord op de vraag of ons klimaat extremer wordt. Catastrofale extremen komen immers zo weinig voor dat het heel lastig is om daar op een betrouwbare manier trends in vast te stellen. Bovendien ontbreekt het aan systematische waarnemingen en hebben de beschikbare gegevens vaak voornamelijk betrekking op schade en menselijk leed. Die cijfers zijn sterk beïnvloed door niet-meteorologische factoren zoals de toegenomen menselijke activiteit in zo'n gebied. Ook zijn er meer en betere gegevens over recente rampen dan over rampen uit het verleden. Een toename van gemelde weersextremen betekent dus niet automatisch dat ze tegenwoordig ook vaker voorkomen.

2.1 Orkanen

Een tropische storm wordt orkaan als de wind gemiddeld een snelheid bereikt van minstens 117 km/uur. Vanaf deze windsnelheid, de hoogste op de schaal van Beaufort, worden orkanen in volgorde van sterkte ingedeeld in vijf categorieën. Hoewel orkanen van categorie 1 en 2 in Nederland met windkracht 12 veel schade zouden veroorzaken, is men daar in de gebieden waar ze veel voorkomen redelijk op ingesteld. Orkanen veroorzaken echter ook in die gebieden zeer veel schade.

De meeste orkanen komen voor in de westelijke Stille Oceaan. Daar was 2005 een normaal jaar met zestien stuks, gelijk aan het gemiddelde aantal. In de Atlantische Oceaan was het wel een bijzonder jaar.

Nog nooit zijn er, sinds het begin van de betrouwbare metingen in 1944, in één jaar zoveel orkanen boven de Atlantische Oceaan waargenomen als in 2005. Normaal zijn het er vijf of zes, nu waren het er vijftien. Opmerkelijk was de orkaan Vince, die afgezwakt tot tropische storm in Spanje noodweer veroorzaakte. Vince was de eerste tropische orkaan die het vasteland van Europa bereikte. Het seizoen duurde ook ongewoon lang; de laatste tropische storm was Zeta, nummer 28. Deze was pas op 6 januari 2006 uitgeraasd.

In 2005 ontwikkelden zich veel krachtige orkanen boven de Atlantische Oceaan: Dennis, Emily, Katrina, Rita en Wilma bereikten categorie 4 of 5. Zo'n hoog aantal is maar één keer eerder voorgekomen, in 1999. Wilma was de sterkste orkaan ooit in dit gebied gemeten, met een minimumluchtdruk van 882 hPa en maximale windsnelheid van 280 km/uur. Het orkaanseizoen van 2005 zal echter vooral in herinnering blijven door Katrina (categorie 5 boven de Golf van Mexico) die op 29 augustus New Orleans trof. Katrina kostte rond de 1500 mensen het leven.

Het aantal orkanen in de categorieën 4 en 5 is wereldwijd gestegen van jaarlijks gemiddeld elf in de jaren zeventig tot gemiddeld achttien in de laatste vijftien jaar. Er lijkt een verband te zijn met de temperatuur van het zeewater in de tropen (orkanen ontstaan alleen boven zeewater dat warmer is dan 26 graden). De zeewatertemperaturen zijn daar met 0,5 graad gestegen. De vraag is hoe orkanen zullen veranderen als de aarde verder opwarmt. Orkanen zijn te klein om in klimaatmodellen opgenomen te worden, dus moet men de verandering afleiden van veranderingen in de omgeving. Het ontstaan hangt van veel factoren af. De toename van de zeewatertemperatuur maakt meer orkanen mogelijk, maar de toename van de stabiliteit van de atmosfeer werkt dat juist tegen, en over andere factoren die van invloed kunnen zijn, is nog minder bekend. Het is dus onduidelijk wat het uiteindelijke effect is op het aantal orkanen. De gemiddelde kracht van orkanen lijkt toch vooral bepaald te worden door de zeewatertemperatuur. Gezien de verwachte verdere opwarming van de aarde is dit een verontrustende conclusie. De relatie tussen opwarming van de aarde en de verandering van orkanen qua kracht en aantal is echter nog volop in discussie.

2.2 Extreme temperaturen

In Nederland was het jaar 2005 meteorologisch gezien een zeer warm en zeer zonnig jaar met normale neerslaghoeveelheden. In 2005 werd op 4 maart nog een kouderecord gevestigd over de afgelopen honderd jaar met -20,7 graden in Marknesse. Nog geen twee weken later werd in Gilze Rijen al +21 graden gemeten. De gemiddelde temperatuur in de herfst 2005 is in De Bilt uitgekomen op 12,0 graden tegen normaal 10,2 graden. Er zijn temperatuurgegevens bekend vanaf 1706. In deze lijst staat de herfst van 2005 op een gedeelde eerste plaats met 1731; dus de zachtste herfst in drie eeuwen. Met korte onderbrekingen lag de temperatuur tot half november boven normaal.

De eerste drie weken van het meteorologische voorjaar 2006 waren juist bijzonder koud. Gemiddeld lag de temperatuur in De Bilt over deze periode zo'n 4 tot 5 graden onder normaal. Het voortdurend koude weer zorgde ervoor dat verschillende planten zo'n tien tot achttien dagen later in bloei kwamen. Door de grote hoeveelheid sneeuw in Oost-Europa kwam de lente daar later dan anders. Ook langs de kust van de Oostzee hield de kou langer aan door de lage zeewatertemperaturen met wat ijs langs de kust. In de noordelijke VS en Canada was de situatie juist omgekeerd: na een zachte winter lag daar minder sneeuw dan anders, zodat de lente sneller op gang kwam. In het zuiden van Spanje steeg het kwik half maart al tot zomerse temperaturen van 28 graden en werden in juli recordhoogten bereikt tot 40 graden.

Juli 2006 was in Nederland de warmste julimaand sinds het begin van de metingen in 1706. De gemiddelde temperatuur van 22,3 graden was maar liefst 4,9 graden hoger dan normaal. Ook het zeewater langs de kust was met 20 tot 24 graden warmer dan normaal (18 graden). Op 19 juli, de dag waarop de Vierdaagse werd afgeblazen, bereikte het kwik nabij Vlissingen een recordwaarde van 37,1 graden. Eerdere extreme metingen zijn gedaan in 1947 (37,3 graden in Maastricht) en

1944 (38,6 graden in Warnsveld). Ook in veel andere Europese landen sloeg de zomer in juli ongenadig toe met temperaturen tot boven de 35 graden. De zomer 2006 eindigde in De Bilt qua temperatuur op de derde plaats sinds 1901: alleen 1947 en 2003 waren warmer. Vervolgens was ook september 2006 weer bijzonder: de warmste in driehonderd jaar. En tot slot was oktober in De Bilt met 13,6 graden ruim 3 graden zachter dan normaal (gemiddeld over 1971-2000). In de meetreeks sinds 1901 is alleen oktober 2001 (14,2 graden) nog zachter en recordhouder over drie eeuwen. Zo'n warme oktober wordt steeds normaler: vroeger kwam dat eens in de honderd jaar voor, tegenwoordig eens in de veertig jaar.

2.3 Extreme neerslag

Medio augustus 2005 leidde zware regenval tot overstromingen in het Alpengebied. Het slechte weer werd veroorzaakt door kou die op grote hoogte in de atmosfeer vanuit West-Europa naar de Middellandse Zee werd gevoerd. Daarna breidde het neerslaggebied zich uit tot over de Alpen. De uitzonderlijk warme Middellandse Zee heeft waarschijnlijk voor extra waterdamp en daarmee wolkenwater gezorgd. Door de hoge sneeuwgrens als gevolg van het warme weer viel de neerslag vooral in de vorm van regen. In grote delen van het zuiden van Duitsland, Zwitserland en Oostenrijk viel binnen vijf dagen 100 tot 300 mm, waarvan lokaal 100 tot 200 mm in 24 uur. Volgens het Zwitserse meteorologisch instituut komt zo'n situatie eens in de driehonderd jaar voor.

Op tal van plaatsen zijn in de winter van 2005/2006 sneeuwrecords gevestigd. De hevige sneeuwval in het Alpengebied was een gevolg van opstuwing van vochtige lucht bij juist lagere temperaturen dan normaal. In de Elbe, de Moldau en de Donau was in april 2006 sprake van zeer hoge waterstanden. Deze hingen samen met een combinatie van veel smeltwater en regen in de stroomgebieden.

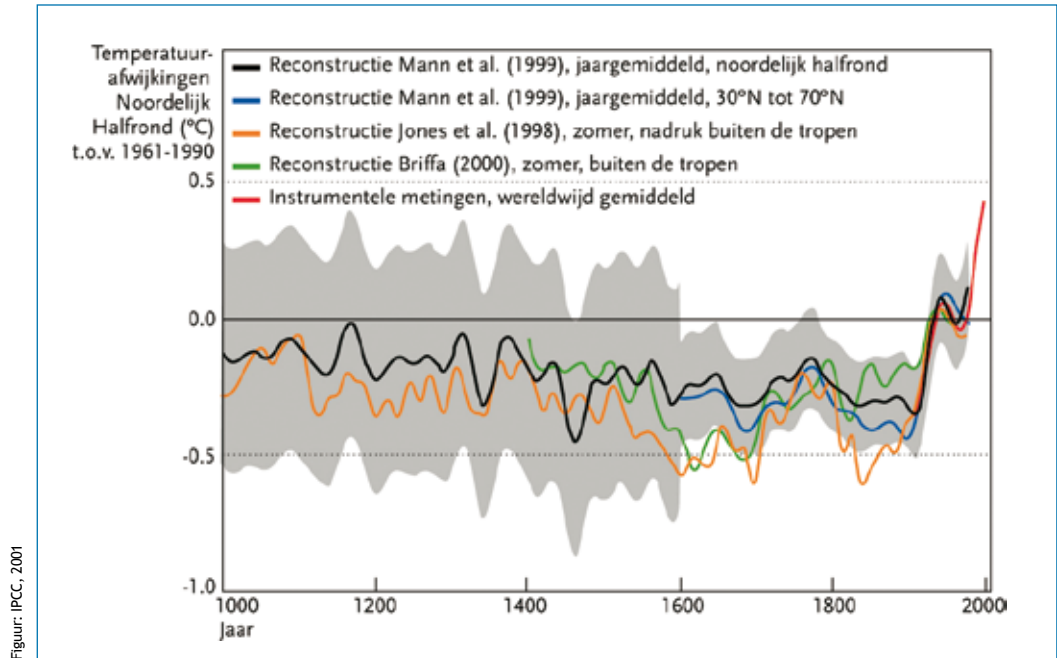
Augustus 2006 was in Nederland zeer nat en koel. Dit contrasteerde sterk met de droge en warme maanden juni en juli. In augustus viel er op elf dagen op minstens één van de Nederlandse meetstations meer dan 50 mm regen. De gehele zomer 2006 komt hiermee uit op een totaal van dertien dagen met meer dan 50 mm, een record sinds de uitgebreide neerslagmetingen in 1950.

In de loop van de 21e eeuw wordt door wetenschappers - bij het uitblijven van een mondiaal klimaatbeleid - een opwarming van Europa verwacht die tussen de 1,5 en 6 graden ligt. Het meest waarschijnlijke gevolg is dat de neerslag met name in de winter in Midden- en Noord-Europa zal toenemen en in de zomer met name in Zuid-Europa zal afnemen, maar wel een buiiger karakter krijgt. In de winter zal waarschijnlijk meer neerslag in de vorm van regen vallen en minder in de vorm van sneeuw. Voor de waterstanden in de Rijn is dat van belang. Zo zal hoog water in de rivieren in de toekomst veel meer en directer samenhangen met de regen dan met smeltwater.

De Nederlandse rivieren bereiken hun hoogste standen meestal in het winterseizoen. Door het versterkte broeikaseffect zullen Maas en Rijn in de 21e eeuw soms meer neerslag te verwerken krijgen dan nu. Maar of dat ook tot problemen zal leiden, hangt van veel factoren af. Voor de Rijn neemt de kans op hoog water in de winter waarschijnlijk toe, maar in de zomer neemt hij door extra verdamping en minder smeltwater juist af.

Bovengenoemde afwijkingen in temperatuur en neerslag horen bij de grillen van de natuur. Door het versterkte broeikaseffect veranderen wel de kansen op koude perioden en extreme neerslag. Het broeikaseffect is nu echter nog klein: de opwarming in de 20e eeuw was ongeveer 0,6 graad (en ruim 0,7 graad in de afgelopen honderd jaar) wereldwijd (in De Bilt 1 graad). Bij zo'n relatief zwak effect is een duidelijk verband met extreem grote neerslaghoeveelheden niet te leggen, ook al was er in de 20e eeuw een lichte toename van zware neerslag waarneembaar. Dit soort gebeurtenissen is echter nog te zeldzaam om direct met het broeikaseffect in verband te worden gebracht. Wel kan de waargenomen toename van neerslagsommen in grote delen van de wereld in de laatste honderd jaar worden toegeschreven aan de opgetreden temperatuurstijging.

3. *Klimaat in beweging*



In de afgelopen anderhalf jaar zijn diverse thema's onderwerp van hevige discussie geweest, niet alleen tussen klimaatwetenschappers en maatschappelijke groeperingen, maar ook binnen de klimaatwetenschap. We hebben hier drie thema's uitgelicht: nieuwe wetenschappelijke inzichten met betrekking tot methaan, de waargenomen versnelling van het afsmelten van de ijskap op Groenland en de commotie rond de temperatuurreconstructie van het afgelopen millennium, ook wel 'de hockeystick' genoemd.

3.1 De hockeystick en het Kyoto-protocol

Zowel in de wetenschappelijke wereld als (met name) in de media heeft de afgelopen tijd een hevige discussie gewoed over 'de hockeystick'. Dit is een reconstructie van het temperatuurverloop op aarde vanaf het jaar 1000. Zo'n reconstructie is belangrijk, omdat inzicht in de natuurlijke ontwikkeling van de temperatuur inzicht kan geven in de vraag of de recent gemeten stijging van natuurlijke oorsprong kan zijn of niet. De reconstructie van de Amerikaanse onderzoeker Michael Mann en anderen is opgesteld op basis van metingen aan boomringen, koralen, ijskernen en andere objectieve biologische en geologische historische bronnen. Hij laat vanaf circa 1900 een scherpe stijging in het temperatuurverloop zien. Vanwege die vorm wordt deze figuur ook wel 'de hockeystick' genoemd.

Deze reconstructie kreeg in 2001 een prominente plaats in het toonzettende klimaatrapport van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Twee Canadese onderzoekers (McIntyre en McKittrick) hebben daarna kritiek geuit op de slechte documentatie en beschikbaarheid van de door Mann gebruikte analysemethode en ruwe meetreeksen. Uit hun herberekening bleek dat de gemiddelde temperatuur van het Noordelijk Halfrond tussen 1400 en 1450 enkele tienden graden hoger uitvalt dan de hockeystick laat zien. Zij stellen dat de analysemethode van Mann de voorkeur zou geven aan die boomreeksen waarvan de jaarringen een temperatuurverloop geven dat in de pas loopt met de hockeystickvorm. Deze kritiek is met name door klimaatsceptici aangewend om te betogen dat daarmee de basis onder de veronderstelde klimaatverandering was weggeslagen, en daarmee ook de noodzaak van het Kyoto-protocol.

In de media is de hockeystick enige tijd gaan fungeren als 'het beeldmerk' van klimaatverandering. De conclusie van het IPCC dat de mens hoogstwaarschijnlijk verantwoordelijk is voor het grootste deel van de wereldwijde opwarming vanaf 1950, wordt evenwel niet getrokken op basis van de hockeystick, maar op basis van wetenschappelijk inzicht in de werking van het klimaatsysteem en de bewezen significante invloed van de mens op de hoeveelheid broeikasgassen (namelijk: 35 procent stijging van de CO₂-concentratie sinds de aanvang van de industriële revolutie). Dit is voornamelijk gebaseerd op gegevens van de 20^e eeuw, die veel nauwkeuriger zijn dan de gegevens tussen 1000 en 1900. Ook McIntyre en McKittrick stellen dat hun herberekeningen niets zeggen over de huidige opwarming en de menselijke invloed op het klimaat.

De hockeystick van Mann is niet de enige temperatuurreconstructie. Er zijn er wel een stuk of tien, waaronder één aan de hand van de terugtrekking van gletsjers die geheel onafhankelijk van temperatuurwaarnemingen tot stand is gekomen. Grosso modo laten alle reconstructies hetzelfde beeld zien, namelijk dat er sprake is van een opvallende opwarming in de 20^e eeuw. De andere reconstructies maken geen gebruik van de ingewikkelde statistische techniek van Mann waarop de Canadese onderzoekers hun kritiek richten. Dit suggereert dat eventuele fouten in de statistische analysemethode van Mann weinig effect hebben op het eindresultaat. Dit is ook de conclusie van de Amerikaanse National Academy of Sciences die de reconstructie van Mann en de kritiek van de Canadese statistici heeft onderzocht. Wel stelt men dat de gegevens in de periode 1000 - 1600 mogelijk minder betrouwbaar zijn dan door Mann geschat: 'maar twee tegen één dat de hockeystick in deze periode wel degelijk correct is'.

De suggestie, in sommige media gewekt, dat het Kyoto-protocol op een fout zou berusten en de verandering in het klimaat als gevolg van het versterkte broeikaseffect minder ernstig zou zijn dan vastgesteld, is dus onjuist. Bovendien is de Canadese publicatie helemaal niet zo bijzonder. Klimaatonderzoekers proberen al jaren hun klimaatreconstructies verder te verbeteren, en kritiek op eerdere reconstructies is daarbij een belangrijk en essentieel onderdeel. Uit dit voorbeeld blijkt wel hoe belangrijk transparantie in de wetenschap is, mede gezien de soms grote maatschappelijke invloed van het klimaatonderzoek.

3.2 Het slinken van de Groenlandse ijskap

Recentelijk is gebleken dat de ijskap op Groenland zeer waarschijnlijk versneld massa verliest, zowel door afsmelting als door versnelde ijsstroming naar zee. Daardoor zou de bijdrage van de ijskappen aan het stijgen van de zeespiegel groter kunnen zijn dan tot nu toe verwacht. Op basis van de gemeten versnelling zou de zeespiegel in 2100 enkele centimeters hoger uitkomen dan in de scenario's in het derde IPCC-rapport. Ijskapmodellen suggereren dat de ijskap op Groenland uiteindelijk de helft van zijn volume kan verliezen. Dat zou 3 tot 4 meter zeespiegelrijzing geven, maar waarschijnlijk pas over meer dan duizend jaar. Deze modellen zijn echter nog in ontwikkeling. Ook op de Antarctische ijskap is een soortgelijke versnelling van het massaverlies van gletsjers waargenomen.

Gedurende de afgelopen eeuw is de zeespiegel gemiddeld zo'n 20 cm gestegen. Dat is ongeveer 2 mm/jaar. Dit volgt uit metingen van de waterstanden in een groot aantal meetstations langs kusten. Sinds 1993 wordt de zeespiegelstijging ook met satellieten gemeten. Die metingen geven tussen 1993 en 2003 een mondiaal gemiddelde stijging aan van 3 mm/jaar. Gebleken is dat de zeespiegelstijging ruimtelijk nogal varieert. Er zijn gebieden met een veel snellere stijging, maar ook gebieden waar het juist langzamer gaat. De zeespiegel kan stijgen door uitzetting van zeewater (bij opwarming), door verandering in de oceaanstromingen en door instroming van extra water, bijvoorbeeld door slinkende ijskappen. De grootste bijdrage komt van de uitzetting van zeewater. Vanaf 1993 is die bijdrage ruwweg 1,5 mm/jaar. De bijdrage van gletsjers en ijskappen was ongeveer 0,75 mm/jaar, maar het ligt in de lijn der verwachtingen dat dit getal de komende tijd naar boven moet worden bijgesteld.

Met klimaatmodellen kan berekend worden hoeveel de lokale zeespiegel in het noordoostelijke deel van de Atlantische Oceaan zal stijgen door uitzetting van water en verandering in oceaancirculatie. Uit de nieuwste simulaties blijkt dat bij een temperatuurstijging nabij het aardoppervlak van 4 graden in het jaar 2100 de zeespiegel tussen de 40 en 85 cm hoger zal zijn dan in 1990. De spreiding komt door onzekerheden in klimaatmodellen en door onzekerheden in emissies van broeikasgassen. Daarbovenop komen dan nog bijdrages van slinkende gletsjers en ijskappen.

Het is overigens nog onduidelijk hoe groot de natuurlijke variatie in snelheid van gletsjers en de daaraan verbonden bijdrage aan zeespiegelstijging is. Monitoring van de ijskappen is noodzakelijk om de variaties in kaart te brengen. Ook zijn er studies die erop lijken te wijzen dat er in de komende eeuw een drempelwaarde wordt overschreden in de temperatuurstijging, waardoor de ijskap op Groenland in een termijn van vele eeuwen in zijn geheel kan afsmelten. De snelheid waarmee het volume van de Groenlandse en Antarctische ijskappen in de toekomst zal afnemen wordt door wetenschappers echter nog stevig bediscussieerd.

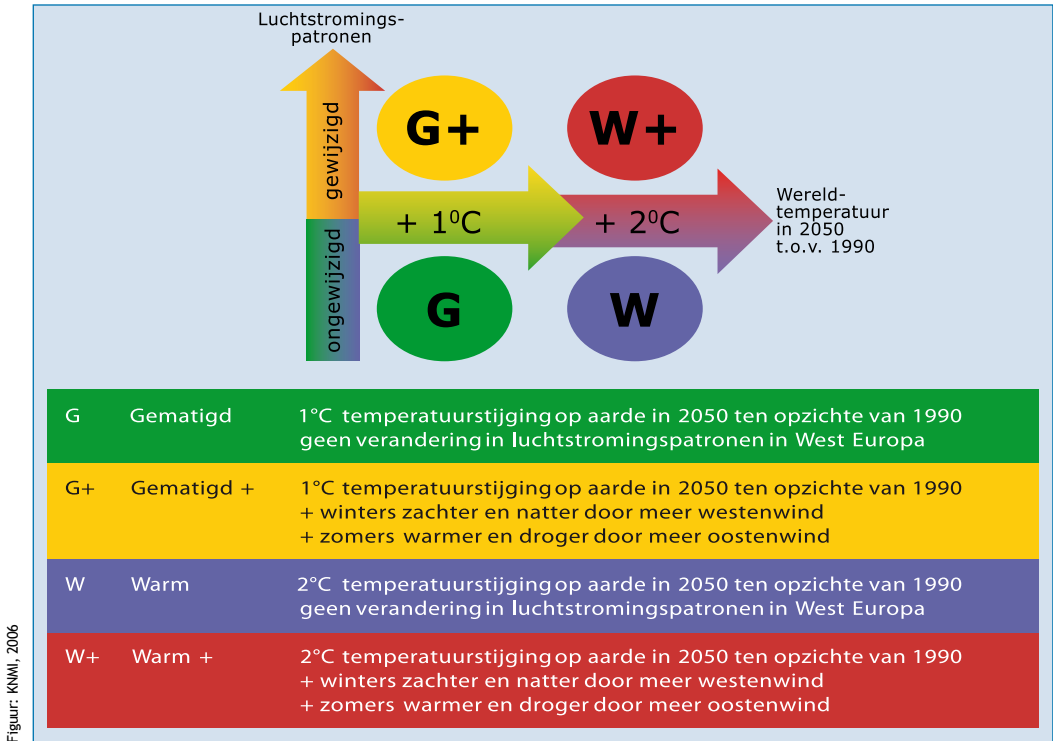
3.3 De uitstoot van methaan

Methaan is, na kooldioxide, het belangrijkste broeikasgas dat door menselijke activiteiten wordt uitgestoten. Meer dan de helft van de methaanemissies is direct gerelateerd aan menselijk handelen. Het gaat hier om de winning en verbranding van fossiele brandstoffen, rijstbouw, veeteelt en afvalverwerking. Door deze activiteiten is de methaanconcentratie sinds de 18e eeuw met ongeveer 150 procent toegenomen. De stijging van de methaanconcentratie is de afgelopen twee decennia minder hard gegaan dan daarvoor. In het jaar 2000 nam de concentratie zelfs even af. Er wordt al jaren gespeculeerd over de oorzaak hiervan. Gedacht wordt bijvoorbeeld dat de afname het gevolg was van nieuwe rijstbouwtechnieken op drogere velden, of verminderde productie van olie en gas na het uiteenvallen van de Sovjet-Unie.

De afgelopen twee jaar is het inzicht in de methaanuitstoot aanzienlijk toegenomen. Methaanconcentraties worden tegenwoordig, behalve uit directe metingen, ook afgeleid uit het door satellieten gemeten weerkaatste zonlicht van de aarde. Methaan absorbeert namelijk een gedeelte van de zonnestraling in het nabij-infrarood. Recentelijk is zo ontdekt dat er veel meer methaan in de atmosfeer boven tropische regenwouden aanwezig is, dan was aangenomen. Bossen blijken met name in de tropen een belangrijke natuurlijke bron van methaan te zijn. Voor de geconstateerde stagnering in de toename van methaanconcentraties lijkt er nu een aannemelijke verklaring te zijn: de niet-aflatende ontbossing in de tropen. Het verontrustende van deze verklaring is dat hiermee het effect van menselijk handelen op de methaanconcentraties nog ingrijpender is. De toename ten gevolge van de al eerder bekende menselijke activiteiten blijkt dus deels te worden gemaskeerd door ontbossing. Heeft het dan nog wel zin om bos aan te planten om emissies van broeikasgassen (tijdelijk) te reduceren? Het antwoord hierop is 'ja'. Het positieve effect van de opname van kooldioxide is namelijk veel groter dan het negatieve effect van de methaanuitstoot.

Veen- en moerasgebieden zijn, evenals de smeltende permafrost, andere belangrijke bronnen van methaan. De emissies zijn gerelateerd aan de temperatuur. Gelijktijdige toename van temperatuur en methaan is gevonden via ijskernonderzoek. Zo nam de concentratie van methaan aan het einde van de laatste ijstijd, ca. 11.000 jaar geleden, met ongeveer 25 procent toe. Op dit moment is de permafrost in Siberië aan het smelten over een oppervlak zo groot als Frankrijk en Duitsland als gevolg van een opwarming met ongeveer 3 graden in de laatste veertig jaar. Satellietmetingen geven echter geen aanwijzingen dat er sprake is van een sterk toegenomen methaangehalte boven Siberië. Verder is er discussie over mogelijk grote hoeveelheden methaan, die in oppervlaktensedimenten van de oceaanbodem zouden zijn opgeslagen, en die bij opwarming van de wereldzeeën ineens vrij zou kunnen komen.

4. *Klimaatscenario's en effecten in Nederland*



4.1 Klimaatscenario's

Eind mei 2006 heeft het KNMI vier nieuwe algemene klimaatscenario's voor Nederland gepresenteerd. Deze scenario's zijn samengesteld op basis van de meest recente resultaten van het klimaatonderzoek. Deze scenario's vervangen de scenario's die in 2000 werden opgesteld voor de Commissie Waterbeheer 21e eeuw.

Het beeld dat wordt geschetst in deze vier nieuwe scenario's is dat Nederland in de komende eeuw te maken krijgt met hogere temperaturen, heviger neerslag en een verdere stijging van de zeespiegel. De klimaatscenario's zijn consistente en plausibele beelden van de range waarbinnen het toekomstige klimaat zich hoogstwaarschijnlijk zal bewegen. Zij gaan uit van natuurlijke klimaatschommelingen in de 21e eeuw, die niet beduidend groter zullen uitvallen dan waargenomen in de laatste honderd jaar. De klimaatscenario's zijn bedoeld om verkennende studies uit te voeren naar de effecten van klimaatverandering. Ze maken het voor diverse sectoren in Nederland mogelijk hierop te anticiperen en adaptatiebeleid te formuleren.

Onzekerheid is een belangrijk aspect bij het verkennen van mogelijke klimaatveranderingen. Hoewel wetenschappers hebben vastgesteld dat de mens hoogstwaarschijnlijk bijdraagt aan de opwarming van de aarde door de uitstoot van broeikasgassen, is er onzekerheid over de toekomstige uitstoot van broeikasgassen. Ook is de gevoeligheid van het klimaat voor natuurlijke en menselijke verstoringen niet precies bekend. Voor relatief kleinschalige regio's, zoals West-Europa of Nederland, is de onzekerheid nog groter. Om met deze onzekerheden om te gaan, heeft het KNMI uit de brede waaier van toekomst-

berekeningen vier oplossingen geselecteerd die voor het Nederlandse beleid het meest relevant zijn. Voor die situaties is een zo compleet mogelijk beeld geschetst van ons toekomstig klimaat. Er is voor het eerst gebruik gemaakt van een scala aan geavanceerde mondiale en regionale klimaatmodellen, gecombineerd met gegevens uit meetreeksen. Hierdoor is het mogelijk om ook rekening te houden met veranderingen in luchtstromingen. Aangezien vooralsnog onduidelijk is of en hoe de luchtstromingen worden beïnvloed door het versterkte broeikas effect en dus door menselijke activiteiten, heeft het KNMI gekozen voor een set van twee klimaatscenario's waarbij de luchtstroming onveranderd is ten opzichte van de huidige situatie, en een set van twee scenario's waarbij de luchtstromingen wel wijzigen. De berekeningen voor de klimaatscenario's met gewijzigde circulatie geven sterke aanwijzingen voor het vaker optreden van droge zomers, zoals die van 1976 en 2003. Beide sets bevatten twee scenario's, waarbij de wereldgemiddelde temperatuur in 2050 met respectievelijk 1 en 2 graden stijgt ten opzichte van 1990. Bij de huidige inzichten (lees: huidige generatie klimaatmodellen) betekent dit een waarschijnlijkheid van 80 procent dat het Nederlandse klimaat zich zal ontwikkelen binnen de bandbreedte van de gegeven scenario's.

Met de huidige kennis is niet aan te geven welk scenario het meest waarschijnlijk is. Klimaatscenario's zijn geen weersverwachtingen voor de lange termijn: ze doen geen uitspraken over het weer op een bepaalde datum, maar alleen over het gemiddelde weer en de kans op extreem weer in de toekomst. Ook komt informatie over jaarlijkse variatie en natuurlijke schommelingen op langere termijn, zoals die in het verleden zijn voorgekomen, niet tot uitdrukking. Vooral voor wind zijn die schommelingen relatief groot ten opzichte van de veranderingen in de scenario's.

In elk scenario komt een aantal kenmerken van klimaatverandering in Nederland en omgeving naar voren (de getallen gelden voor 2050 ten opzichte van 1990):

- de opwarming zet door, hierdoor komen zachte winters en warme zomers vaker voor; de vier scenario's laten een opwarming zien die varieert van 0,9 tot 2,3 graden in de winter en van 0,9 tot 2,8 graden in de zomer;
- de winters worden gemiddeld natter, variërend tussen de 4 en 14 procent en ook de extreme neerslaghoeveelheden nemen toe;
- de hevigheid van extreme regenbuien in de zomer neemt toe, maar het aantal zomerse regendagen wordt juist minder, gemiddeld neemt de zomerneerslag toe met 3 tot 6 procent bij ongewijzigde circulatie, maar juist af met 10 tot 19 procent als de wind meer uit de oosthoek gaat waaien;
- de berekende veranderingen in het windklimaat zijn klein ten opzichte van de natuurlijke grilligheid;
- de zeespiegel blijft stijgen, variërend van 15 tot 35 cm tot 2050, hierbij is rekening gehouden met mogelijke veranderingen in de Warme Golfstroom. Ook is de recentelijk geconstateerde versnelling door het smelten van de Groenlandse ijskap in rekening gebracht; niet verdisconteerd zijn bodembewegingen zoals het inklinken van veengronden of bodemdaling door gaswinning (afhankelijk van de omstandigheden op sommige locaties tot 4 cm per jaar).

4.2 Effecten op de natuur

Het behoud van gevoelige ecosystemen lijkt lastig te worden, ook als de temperatuurstijging in Europa beperkt zou blijven tot 2 graden. De natuur lijkt in de praktijk sterker te reageren op veranderingen in de temperatuur dan eerder werd aangenomen. Ook de veerkracht van ecosystemen voor weersextremen (droogte, storm, neerslag) lijkt kleiner dan eerder werd verondersteld. Aan de andere kant is onderbouwing van welke temperatuurdoelstelling dan ook moeilijk, omdat het definiëren van de risico's van klimaatverandering voor ecosystemen niet een zuiver rationele of wetenschappelijke bezigheid is, maar vooral een politiek-beleidsmatige en dus maatschappelijke zaak.

In Nederland komen vooral versnipperde ecosystemen voor. Het natuurbeleid is er op gericht deze in de Ecologische Hoofdstructuur (EHS) tot een samenhangend geheel te ontwikkelen. Hiermee wordt het probleem van versnippering verminderd, maar door klimaatverandering worden de gevolgen van

versnippering weer versterkt. Bovendien staat de natuur in de EHS onder druk door verdroging, een druk die door klimaatverandering zal toenemen. Natte heide-hoogvenen (inclusief vennen), natte schraallanden, beken en beekdalbossen, moerassen en duin- en kweldersystemen zijn typen natuur die de grootste risico's lopen. Het merendeel van de broedvogels en zoogdieren op de Rode Lijst van zeldzame en bedreigde soorten kan redelijk grote afstanden afleggen. Als hun leefgebieden niet te versnipperd zijn of door barrières van elkaar zijn gescheiden (zoogdieren), kunnen deze dieren zich mogelijk aanpassen. Vooral planten, dagvlinders, amfibieën, reptielen, sprinkhanen en krekels kunnen voor een deel het tempo van klimaatverandering wellicht niet bijhouden. Planten en dieren waarvoor Nederland aan de zuidelijke grens van het verspreidingsgebied ligt, bevinden zich in de gevarenzone. Veel soorten uit zuidelijker streken verschijnen in ons land, maar dit zijn allemaal soorten met een groot verspreidingsvermogen. Onbekend is welke verschuivingen in de soortensamenstelling van ecosystemen zullen optreden, en wat dit betekent voor de natuur.

Buiten de Ecologische Hoofdstructuur is nog weinig zicht op de gevolgen voor beschermde soorten, en voor de functies die de natuur voor de samenleving vervult. Onbekend is bijvoorbeeld welke ziekteverwekkers en welke in de landbouw schadelijke soorten door klimaatverandering hier vaste voet aan de grond krijgen, en of de natuur veerkrachtig genoeg is om die soorten in bedwang te houden.

4.3 Overige effecten

Overige effecten van de temperatuurstijging zijn op dit moment in Nederland nog beperkt. Er is sprake van wat meer en extremere neerslag en een geringe zeespiegelstijging. In hoeverre de in de winter gemeten toenemende en in de zomer afnemende rivierwaterafvoer zijn toe te schrijven aan de temperatuurstijging is vooralsnog onzeker. Voor de landbouw zijn zowel positieve als negatieve effecten te verwachten. De hogere CO₂-concentratie in de atmosfeer, de hogere temperatuur en het langere groeiseizoen kunnen leiden tot hogere opbrengsten. Overigens zijn er recente onderzoeken die aangeven dat niet te veel moet worden verwacht van hogere opbrengsten door CO₂-fertilisatie. Doordat extreme weers- en klimaatomstandigheden (wateroverlast en droogte) vaker zullen voorkomen of langer aanhouden, neemt ook de kans toe dat oogsten mislukken.

Bij overige klimaateffecten voor Nederland is het cruciaal dat de meeste effecten nog niet zichtbaar zijn en dus min of meer 'in de pijplijn' zitten. De hiervoor geschetste klimaatscenario's voor Nederland laten zien dat de zomers droger kunnen worden, wat kan leiden tot problemen voor de binnenvaart en voor de voorziening van koelwater, irrigatie of drinkwater. Alhoewel het toerisme kan profiteren van het langere en warmere zomerseizoen, laat de julimaand van 2006 zien dat de kwaliteit van het zwemwater achteruit kan gaan, onder andere door bloei van blauwalgen.

In Nederland bestaat veel belangstelling voor de verwachte zeespiegelstijging. Gecombineerd met bodemdaling (niet veroorzaakt door klimaatverandering) en hoge rivierafvoeren kan deze tegen het eind van de eeuw tot problemen leiden bij de lager gelegen delen van Nederland. Met name bij zeespiegelstijging, door uitzetting van verwarmd water en het slinken van ijskappen, moet worden bedacht dat het om zeer trage processen gaat die nog eeuwen doorgaan. Daarom moet - bij ongewijzigd klimaatbeleid - uiteindelijk rekening worden gehouden met een zeespiegelstijging van tenminste enkele meters. Het is de vraag of de veiligheid van ons land dan nog met conventionele technieken op het huidige niveau kan worden gehouden.

De consequenties van dergelijke langetermijnprojecties zijn lastig aan te geven. Waarschijnlijk kunnen veel sectoren zich aanpassen aan de veranderingen, zoals de landbouw en het toerisme. Bij zeespiegelstijging is aanpassing aan langetermijnveranderingen een groter vraagteken. De mogelijkheden hiertoe zijn mede afhankelijk van het succes van het mitigatiebeleid. Tenslotte kunnen ook aan temperatuur gerelateerde gezondheidseffecten een significante omvang krijgen.

5. *Mitigatie: maatregelen om klimaatverandering te verminderen*



Foto: Kick Smeets

Onder mitigatie wordt verstaan het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen. Omdat het belangrijkste broeikasgas, CO₂, vooral wordt uitgestoten door energiegebruik, is mitigatie nauw verbonden met de energievoorziening. In 2005 en 2006 was de energievoorziening volop in het nieuws. Maatregelen om de uitstoot van andere broeikasgassen, zoals methaan en lachgas, te verminderen zijn minder in de publieke aandacht geweest.

5.1 Mondiaal en Europees mitigatiebeleid

Na de ratificatie door Rusland is het Kyoto-protocol in februari 2005 in werking getreden. In het najaar van 2005 zijn in Montréal besluiten genomen over spelregels en de naleving ervan. Er is daarnaast een begin gemaakt met onderhandelingen om de beperking van broeikasgasemissies ook na de Kyoto-periode in 2012 door te zetten. De Verenigde Staten hebben zich niet bij de Kyoto-landen aangesloten. Zij vallen echter wel onder het overkoepelende Klimaatverdrag waar is afgesproken een dialoog te beginnen over een mondiale aanpak voor de lange termijn met aandacht voor zowel mitigatie en adaptatie als technologische samenwerking.

De Europese Unie heeft als langetermijndoelstelling voor het klimaatbeleid om de mondiale temperatuurverandering te beperken tot maximaal 2 graden boven het pre-industriële niveau. De Unie vindt dat industrielanden zouden moeten streven naar een reductie in hun broeikasgasemissies van 15 tot 30 procent in 2020 ten opzichte van 1990. Volgens sommigen is het onwaarschijnlijk dat de mondiale temperatuurstijging onder de 2 graden blijft als de wereld er niet bijtijds in slaagt om de groei in de emissies vóór 2025 om te buigen in een daling. Hiervoor zou een investering van misschien wel meer dan 1 procent van het mondiale BNP nodig zijn en zullen de meeste landen, waaronder zeker de VS, uiteindelijk mee moeten doen. Voor de emissiereducties die nodig zijn om binnen de 2-gradengrens te blijven is een breed pakket aan maatregelen nodig. De belangrijkste opties zijn energiebesparing, hernieuwbare en CO₂-vrije energiebronnen, afvang en opslag van CO₂, reductie van emissies van andere broeikasgassen en het voorkomen en terugdraaien van ontbossing.

5.2 Nederlands mitigatiebeleid

Er is veel maatschappelijke en (dus) politieke discussie over de vraag of het huidige Nederlandse mitigatiebeleid voldoende is om de verwachte problemen adequaat het hoofd te kunnen bieden en te voldoen aan zowel de eigen als de internationale doelstellingen. Met het klimaat- en energiebeleid, zoals dat in december 2004 werd vastgesteld, was de kans fifty-fifty dat Nederland zijn Kyoto-verplichting zou nakomen. Inmiddels heeft het kabinet diverse extra maatregelen aangekondigd, zoals beschreven in de Evaluatienota Klimaatbeleid 2005 van het ministerie van VROM. Het gaat daarbij vooral om N₂O-reductie bij de salpeterzuurproductie, de verplichte inzet van biobrandstoffen, energiebesparende maatregelen (onder andere 'Witte Certificaten' voor energiebesparing) en de tijdelijke regeling energiebesparing in de gebouwde omgeving. Nederland streeft er overigens naar 50 procent van de reductiedoelstelling in het buitenland, bijvoorbeeld in ontwikkelingslanden te realiseren. De geraamde overschrijding van het binnenlands te realiseren deel van het Kyoto-doel zou gedeeltelijk of geheel gecompenseerd kunnen worden door aanvullend beleid en extra middelen voor een duurzame energievoorziening (aardgasbaten). Het gaat hier echter deels om nog niet vastgesteld beleid. Over het energietransitiebeleid werd in 2006 advies uitgebracht door de Task Force Energietransitie, ingesteld door de minister van Economische Zaken.

5.3 Het Europese Emissiehandelssysteem

In januari 2005 is het Europese Emissiehandelssysteem van start gegaan. De opzet van het systeem is eenvoudig: de lidstaten stellen plafonds vast voor emissierechten en bedrijven kunnen 'emissierechten voor CO₂' kopen en verkopen om aldus tegen zo laag mogelijke kosten gezamenlijk emissies te reduceren. De eerste fase duurt tot 2008 en heeft tot veel discussie geleid. Discussiepunten zijn dat het huidige systeem alleen geldt voor energie-intensieve bedrijven zoals elektriciteitscentrales en cementfabrieken; veel andere CO₂-bronnen zijn buiten het systeem gelaten (vliegverkeer, scheepvaart, wegverkeer). Ook zijn alle rechten weggegeven en niet geveild, hetgeen de effectiviteit niet ten goede komt. Gebleken is dat de elektriciteitsproducenten de prijs van de gratis verkregen rechten in hun tarieven doorberekenen. Ook kregen elektriciteitscentrales op steenkool meer rechten dan centrales op gas, waardoor er wellicht te weinig prikkels zijn om te switchen van steenkool naar gas. Tot slot is gebleken dat de meeste landen te veel rechten hebben weggegeven en ook dat leidt niet tot veel prikkels tot het daadwerkelijk verminderen van de emissies. De CO₂-prijs blijft relatief laag en de stimulans om handel te drijven in CO₂ ontbreekt.

De EU stelt dat veel problemen in de tweede periode (vanaf 2008) zullen zijn opgelost. Zij verlangt van lidstaten die hun Kyoto-verplichting niet lijken te gaan halen, dat zij minder emissierechten verstrekken dan in de eerste periode. Daarom debatteerde de Tweede Kamer halverwege 2006 over de vraag hoe de nieuwe rechten moeten worden verdeeld. De regering ziet geen redenen om veel af te wijken van de verdelingsmethoden uit de eerste periode, terwijl de oppositie benadrukt dat hierdoor te ruime rechten worden toegekend waardoor er geen prikkel is voor bedrijven om CO₂-reducerende maatregelen te nemen. Het blijkt binnen de EU lastig te zijn om de emissierechten op effectieve wijze toe te laten kennen door de landen zelf. Uit angst voor concurrentie van andere landen is elk land zo ruimhartig mogelijk en dreigt een Europees handelssysteem onvoldoende effectief van de grond te komen. Het theoretisch sterke instrument van emissiehandel moet zich in de praktijk dus nog bewijzen.

5.4 Afvang en opslag van CO₂

Het toepassen van afvang en opslag van CO₂ maakt de totale kosten van maatregelen voor het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen op termijn ten minste 30 procent goedkoper, dan wanneer dit niet zou worden gedaan, aldus het in 2005 gepubliceerde IPCC Special Report over dit onderwerp. Elektriciteitscentrales en de grootschalige industrie zijn de voornaamste bronnen waar CO₂ efficiënt kan worden afgevangen. Veel componenten van CO₂-afvang, -transport en -opslag zijn bekende technologie. Er wordt wereldwijd al CO₂ afgevangen uit de uitlaatgassen van elektriciteitscentrales en industriële installaties. Ook vindt er al transport plaats via pijpleidingen. Tenslotte wordt er CO₂ geïnjecteerd in

geologische formaties zoals olievelden, lege gasvelden en zoutwatervoerende lagen waar het in beginsel tot in lengte van dagen zou kunnen blijven zitten. Meer onderzoek en praktische ervaring zijn echter nodig om zekerheid te krijgen over de mogelijkheden, en om de kosten omlaag te brengen. Om CO₂-opslag wereldwijd commercieel aantrekkelijk te maken is het nodig dat voor de uitstoot van CO₂ betaald moet worden of de uitstoot van CO₂ door wet en regelgeving wordt gelimiteerd.

De mondiale ondergrondse opslagcapaciteit voor CO₂ lijkt groot genoeg om de gehele huidige wereld-uitstoot voor minstens tientallen jaren op te bergen. Bij zorgvuldige selectie van de ondergrondse reservoirs en toepassing van de beste technieken, zijn de risico's van lekkage klein. CO₂ kan ook worden geïnjecteerd in oceanen, maar dat kan schadelijke gevolgen hebben voor de daarin levende organismen en een deel van de CO₂ zal uiteindelijk weer naar de oppervlakte migreren.

5.5 Alternatieven voor fossiele brandstoffen

De afgelopen jaren is er een heftig debat gevoerd over alternatieven voor fossiele brandstoffen, met name kernenergie en bio-energie. Kernenergie kwam in het nieuws door het zogenaamde 'Optie-document' in maart 2006 door ECN en MNP. Dit rapport stelt dat de kosten voor het halen van de emissiedoelstellingen (30 procent in 2020 ten opzichte van 1990, waarvan 15 procent in het binnenland te behalen), bij uitsluiting van kernenergie honderden miljoenen euro per jaar hoger zullen uitvallen. Hierbij is rekening gehouden met de investeringskosten voor een centrale van 1000 Megawatt elektrisch vermogen ('state of the art' in 2015 - 2020) en met de operationele kosten (onderhoud, handhaving veiligheid, verzekeringen en aankoop splijtstoffen bovengrondse opslag van radioactief afval), maar niet met mogelijk extra kosten vanwege bijvoorbeeld aanvullende eisen ten aanzien van veiligheid, lange termijn opslag van radioactief afval en proliferatie. Bij de behandeling van de nieuwe Kernenergiewet kunnen bijvoorbeeld aanvullende eisen worden gesteld ten aanzien van veiligheid, reactorontwerp of verwerking van kernafval. Zo verschillen veel wetenschappers nog van mening of de berging van afval in een stabiel geologisch reservoir wel mogelijk en verantwoord is. Het is aan de politiek om deze keuzes te maken, met inachtneming van de maatschappelijke discussie en (nieuwe) wetenschappelijke inzichten.

Ook bij de inzet van biomassa voor energie is veel discussie en kan de wetenschap geen eenduidig antwoord op alle vragen geven. Verkenningen suggereren dat tot 2020 biodiesel, puur plantaardige olie en conventionele bio-ethanol de belangrijkste biobrandstoffen in Europa zullen zijn. Vanaf 2010 neemt het aandeel geavanceerde 'tweede generatie' biobrandstoffen in de brandstoffenmix echter toe, om na 2020 de overhand te krijgen. Geavanceerde biobrandstoffen hebben het voordeel dat ze laagwaardiger en dus goedkopere grondstoffen kunnen gebruiken, die bovendien met een hogere opbrengst per hectare worden geproduceerd en veel beter presteren ten aanzien van CO₂-emissiereductie. Het stimuleren van de ontwikkeling van tweede generatie biobrandstoffen wordt daarom door velen belangrijk gevonden.

De vraag rijst of grootschalige biomassateelt niet in conflict komt met bijvoorbeeld de ruimte die nodig is voor de voedselvoorziening, het beschermen van de biodiversiteit en de concurrentie om water. In de praktijk doen zich dergelijke conflicten al voor, bijvoorbeeld door stijgende prijzen van grondstoffen zoals oliën, die als voedsel én biobrandstof kunnen worden gebruikt. Dit speelt een grote rol in de discussie over de inzet van biomassa als alternatieve energiedrager. De discussie kan nog verbreed worden naar sociaal-economische effecten van grootschalige biomassaplantages op lokaal niveau in ontwikkelingslanden, zoals palmolieplantages in Indonesië. Aan de ene kant bieden deze plantages ontwikkelingslanden nieuwe mogelijkheden voor export, aan de andere kant liggen problemen als ontbossing en verdrijving van lokale gemeenschappen op de loer. Ook de effecten op lokale en mondiale voedselmarkten zijn nog onduidelijk.

6. *Adaptatie: aanpassen aan de gevolgen van klimaatverandering*



Foto: Audiovisueel Centrum VU

Het klimaat verandert, zelfs als we erin slagen om de emissies van broeikasgassen sterk te verminderen. Natuurlijke systemen en maatschappelijke sectoren moeten zich dus aanpassen aan het veranderende klimaat en de veranderende kans op extremen. Adaptatie op zich is niets nieuws. In het verleden heeft de natuur altijd al te maken gehad met de grillen van het klimaat. Dat geldt ook voor de samenleving. De klimaatverandering in de 21e eeuw zal naar verwachting de grillen in het verleden overtreffen, waardoor op een andere manier met adaptatie moet worden omgegaan.

Veel systemen kunnen zelfstandig (autonoom) verstoringen in hun omgeving opvangen. Dit noemt men ook wel de 'robuustheid' van een systeem. Veel diersoorten zijn, in tegenstelling tot plantengemeenschappen, mobiel in die zin dat zij actief naar een geschikte leefomgeving op zoek kunnen gaan als de oude niet meer voldoet. Datzelfde geldt voor mensen, al valt op die stelling nog wel wat af te dingen als het bijvoorbeeld om arme, laaggelegen landen gaat zoals Bangladesh. Immobiele systemen, zoals koraalriffen en gletsjers, ontbreekt het aan mogelijkheden om zich op die manier aan te passen. In systemen waar de mens een centrale rol speelt, bijvoorbeeld bij waterbeheer, is adaptatie een keuze. (Althans, voor landen als Nederland, want voorwaarde daarbij is wel dat er voldoende middelen zijn.) De overheid kan investeren in het opvangen van de gevolgen van klimaatverandering, vooruitlopend op mogelijke calamiteiten, bijvoorbeeld door kustbescherming. De kennis die door dergelijke investeringen wordt opgedaan zou een belangrijk exportartikel kunnen worden.

In Nederland ontstond veel debat over klimaatadaptatie naar aanleiding van de motie Lemstra in de Eerste Kamer (maart 2005). Die motie stelt dat langetermijnontwikkelingen bij klimaatverandering, zeespiegelstijging en hoogwaterproblemen onvoldoende aan de orde komen in de grote ruimtelijk georiënteerde beleidsnota's. De inrichtingsvraagstukken en investeringen worden in deze nota's geplaatst in een perspectief tot 2015, met een doorkijk tot 2030, maar de lange termijn (2050 - 2100) werd door de Eerste Kamer gemist, evenals de samenhang tussen de diverse beleidsvelden. De departementen reageerden in november 2005 met de aankondiging van het beleidsprogramma Adaptatie, Ruimte en Klimaat (ARK). Het doel van dit programma is het klimaatbestendig maken van de ruimtelijke inrichting van Nederland. ARK werkt langs drie sporen: bewustwording, kennisontwikkeling en ontwikkeling van (innovatieve) instrumenten.

6.1 Veiligheid in het waterbeheer

Als gevolg van temperatuurstijging treedt er een verhoging op van de waterstanden op zee, met als gevolg een toename van de erosie van de kust en een verhoogde kans op overstroming vanuit zee. Een toename van de hoge afvoeren van de grote rivieren in de winter, en een verhoging van de waterstanden in het IJsselmeergebied en de grote binnenwateren van Zuid-Holland en Zeeland, zorgen eveneens voor een toenemende kans op overstromingen.

Met de toename van de winterafvoeren van Rijn en Maas zullen de waterstanden in perioden van hoog water verder stijgen. Een extra toename is te verwachten in de benedenrivieren in Zuid-Holland, stroomafwaarts vanaf Zaltbommel en Vianen. Hier zijn de waterstanden in de rivieren niet alleen afhankelijk van de rivierafvoeren, maar ook van de - hogere - waterstand op zee. Samenhangend met de grotere afvoer van de Rijn zal er in de winter ook meer water via de IJssel naar het IJsselmeer stromen. De afwatering uit het IJsselmeer zal minder gemakkelijk worden omdat ook de waterstanden in de Waddenzee zullen stijgen.

Zonder aanpassingen leidt klimaatverandering in Nederland dus tot een toenemende kans op overstromingen. Technische maatregelen om dit te beperken brengen grote investeringen met een lange afschrijvingstijd met zich mee. Ruimtelijke maatregelen hebben grote gevolgen voor de inrichting van Nederland en daarmee voor het functioneren van verschillende sectoren van de samenleving. Maar onvoldoende bescherming tegen overstromingen zou grote gevolgen kunnen hebben voor het investeringsklimaat in Nederland. Denk bijvoorbeeld aan de gevolgen voor het bedrijfsleven van de evacuatie van een deel van de Betuwe in 1995. Nu al maken grote internationale ondernemingen, die zich in Europa willen vestigen, risico-analyses waarbij de kans op bijvoorbeeld stormen of overstromingen wordt meegenomen.

Er wordt in Nederland al zo'n duizend jaar gewerkt aan beperking van de kans op overstroming, tegenwoordig verankerd in de Wet op de Waterkering waarin de vijfjaarlijkse toetsing van de waterkeringen is opgenomen, alsmede het dynamisch handhaven van de kustlijn. Maar door de gestage economische groei is het schadepotentieel (als Bruto Regionaal Product) sinds 1950 met een factor dertien toegenomen. De waarde van de gebieden is evenwel niet overal even sterk toegenomen. De gevolgen van een eventuele overstroming in de verschillende dijkkringen zijn daardoor zeer verschillend. Onderzoek wijst uit dat het schadepotentieel sneller groeit dan de kans op overstroming, namelijk iedere dertig jaar met een factor twee bij een economische groei van 2 procent. Daarom wordt veelvuldig gepleit voor een risicobenadering, in plaats van de waterkeringsbenadering. Bij de risicobenadering staat niet alleen de kans op overstroomd centraal, maar worden ook de gevolgen meegenomen. Consequentie van de risicobenadering is dat een bepaalde kans op overstroming, bijvoorbeeld eens in de duizend jaar, in de ene dijkkring acceptabel kan zijn, maar in een andere niet, omdat de schade daar veel hoger kan zijn. De risicobenadering is nu echter nog geen beleid.

De kwaliteit van de kustverdediging en het waterbeheer in het IJsselmeergebied is onlangs door de Advies Commissie Water opnieuw ter discussie gesteld. Het beleid ten aanzien van de verhoogde rivierafvoeren, dat is vastgelegd in de nota Waterbeheer 21e eeuw, lijkt adequaat, maar de volgens deskundigen nog beperkte claim op 'ruimte voor rivieren' stuit op forse maatschappelijke weerstand. Bijvoorbeeld de poging om noodoverloopgebieden aan te wijzen - een maatregel die expliciet is bedoeld om de robuustheid van het hoogwaterbeschermingssysteem langs de grote rivieren te vergroten - is in de Tweede Kamer gestrand.

6.2 Veerkracht van de natuur

Het Nederlandse natuurbelief kenmerkt zich op dit moment vooral door bescherming van het bestaande: fixatie in tijd en ruimte. Algemeen wordt verondersteld dat de ontwikkeling van eco-systemen in hoge mate voorspelbaar is, doordat er een evenwicht in de natuur is dat ervoor zorgt dat na een verstoring herstel plaatsvindt tot min of meer de oorspronkelijke samenstelling. Recent onderzoek wijst er echter op dat niet-evenwichtsprocessen een belangrijke rol spelen in de soortensamenstelling van ecosystemen. Verstoringen kunnen in dat geval ook positief bijdragen aan de biodiversiteit. Klimaatverandering noopt tot het nadenken over meer dynamische vormen van beheer. Traditionele strategieën, zoals het werken met doelsoorten en natuuroeltypen, zouden moeten worden vervangen door een meer adaptief beleid dat zorgt voor samenhangende natuurgebieden van goede kwaliteit, die leefvoorwaarden bieden aan vele soorten: de blijvers, de nieuwkomers en de doortrekkers.

Het scheppen van randvoorwaarden om de natuur meer veerkracht te geven, vindt ook plaats in landbouwgebieden. Zo wordt in de Hoeksche Waard geëxperimenteerd met het ontwikkelen van groen-blauwe dooradering waardoor het natuurlijke vermogen van de biodiversiteit om risico's van ziekten en plagen in de akkerbouw te verkleinen, wordt versterkt.

6.3 Risico's, kosten en baten

In de eerste fase van het beleidsprogramma Adaptatie, Ruimte en Klimaat (ARK) kwam naar voren dat er een verschuiving optreedt in het denken over risico's. We zagen hiervoor al dat in het beleid de risico's van overstromingen, met aandacht voor de kansen en de gevolgen in plaats van alleen de kansen mogelijk meer aandacht zullen krijgen. Echter, de gedachte dat de keuze van (adaptatie)maatregelen alleen op technische criteria kan worden gebaseerd, wordt steeds vaker genuanceerd of zelfs als onjuist verondersteld. Planologen en sociaal-geografen stellen dat risico's niet objectief te benaderen zijn. Burgers en experts (maar ook experts onderling) kunnen verschillend denken over de ernst en aanvaardbaarheid van risico's. Dat zal naar verwachting ook in de beleidsvorming rond adaptatie zijn weerslag vinden.

Mitigatie en adaptatie krijgen in het klimaatbeleid van Nederland beide aandacht. Sommige maatschappelijke organisaties hebben moeite met de toenemende aandacht voor adaptatiebeleid, omdat zij bang zijn dat de overheid het mitigatiebeleid zal gaan veronachtzamen. Het bedrijfsleven vraagt zich daarentegen af of het geld om emissies te reduceren wel effectief besteed wordt. Adaptatie en mitigatie spelen zich af op heel verschillende schalen in tijd en ruimte. Adaptatie heeft effect op de korte termijn en op een specifieke plaats, ook als andere landen weinig of niets aan het klimaatvraagstuk doen. Mitigatie heeft alleen effect op de lange termijn, mits alle landen meedoen. Ook reduceert het de effecten van klimaatverandering op de hele aarde. Mitigatie zou je een beetje kunnen zien als een pensioenvoorziening en adaptatie als een brandverzekering. Beide aanpakken worden in Nederland, in Europa en mondiaal gepropageerd.

Het binnenlandse debat over risico's, kosten en baten van mitigatie en adaptatie kan op diverse manieren consequenties hebben voor het beleid. De perspectieven van belanghebbenden zouden meer naar voren kunnen komen. Het beleid zou niet alleen met politieke, technische en financiële aspecten maar ook met sociaal-psychologische aspecten rekening kunnen houden. Maar er zal nog heel wat water door de Rijn stromen voor één en ander is uitgekristalliseerd.

Wat doet het PCCC?

Het Platform Communication on Climate Change (PCCC) is een initiatief van een aantal Nederlandse onderzoekorganisaties op het gebied van klimaat en klimaatverandering en heeft als doel om de kwaliteit, efficiëntie en effectiviteit van de communicatie van het Nederlandse klimaatonderzoek te verbeteren. Het PCCC wordt mede ondersteund door het ministerie van VROM en wordt uitgevoerd in samenwerking met het BSIK-programma Klimaat voor Ruimte¹.

De activiteiten van het PCCC zijn o.a.:

1. Verstrekking van actuele en achtergrondinformatie via de gezamenlijke website www.klimaatportaal.nl
2. Materiaal en kennis beschikbaar stellen t.b.v. wetenschappelijke communicatie over klimaat en klimaatverandering o.a. door:
 - Opstellen van populair-wetenschappelijke rapportages
 - Opstellen van een jaarlijkse Staat van het Klimaat
 - Organiseren van een jaarlijkse klimaatdag
 - Organiseren van ad-hoc symposia en dialoogworkshops, afhankelijk van de actualiteit
3. Publieksvoorlichting via contacten met media
4. Bijhouden en weergave van een klimaatagenda via het klimaatportaal
5. Informatieverstrekking over internationale activiteiten (IPCC, Kyoto en Montréal-protocol)

De organisaties achter het PCCC zijn:

- MNP: Milieu- en Natuurplanbureau
- KNMI: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
- Wageningen UR: Climate Change and Biosphere Centre en Alterra
- ECN: Energieonderzoek Centrum Nederland
- Vrije Universiteit: Klimaatcentrum
- Universiteit Utrecht
- NWO: Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek

Het secretariaat van het PCCC wordt beheerd door het KNMI.
Voorzitter Wetenschappelijke Redactie PCCC: Dr. R. van Dorland (KNMI)

Correspondentie:

Secretariaat PCCC
p/a Alterra, Wageningen UR
Ottelien van Steenis
Postbus 47, 6700 AA Wageningen
T: 0317 48 6540
E: ottelien.vansteenise@wur.nl
W: www.klimaatportaal.nl

¹BSIK staat voor Besluit Subsidie Investerings Kennisinfrastructuur

Colofon

Uitgave

Dit is een uitgave van het PCCC, het Platform Communication on Climate Change.
De organisaties achter het PCCC zijn: MNP, KNMI, Wageningen UR (CCB en Alterra), ECN, Klimaatcentrum, Vrije Universiteit, Universiteit Utrecht en NWO

december 2006

Auteurs

Rob van Dorland, KNMI
Michiel van Drunen, Klimaatcentrum, Vrije Universiteit
Bas Eickhout, MNP
Marc Londo, ECN
Michael van der Meer, NWO
Jeroen Veraart, Alterra, Wageningen UR

Samenstelling en redactie

Rob van Dorland, KNMI
Bert Jansen, Alterra, Wageningen UR

Productiebegeleiding

Ottelien van Steenis, Alterra, Wageningen UR

Vormgeving en druk

Uitgeverij RIVM



Meer exemplaren van deze brochure zijn gratis verkrijgbaar bij ottelien.vansteenis@wur.nl

Voor meer informatie:
Secretariaat PCCC
p/a Alterra, Wageningen UR
Ottelien van Steenis
Postbus 47, 6700 AA Wageningen
T: 0317 48 6540
E: ottelien.vansteenis@wur.nl
W: www.klimaatportaal.nl