



Klimaatverandering

**gevolgen, adaptatie en
kwetsbaarheid in beeld gebracht**

**Brochure naar aanleiding van de presentatie van het
IPCC Working Group II Fourth Assessment Report**

Colofon

Verantwoording

De tekst uit deze brochure is grotendeels gebaseerd op de belangrijkste punten uit de (concept) Summary of Policy makers en de Technical Summary van werkgroep II van het Fourth Assessment Report van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Voor de letterlijke tekst wordt verwezen naar de Engelstalige samenvatting voor beleidsmakers die vanaf 6 april terug te vinden is op <http://www.ipcc.ch>. De technische samenvatting zal later dit jaar ook op de website van IPCC beschikbaar zijn.

De brochure is tot stand gekomen onder coördinatie van Wageningen UR (CCB) in opdracht van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en in nauwe samenwerking met het BSIK Programmabureau Klimaat voor Ruimte en de instituten verenigd in het Platform Communication on Climate Change (PCCC). In het PCCC participeren, naast Wageningen UR, MNP, KNMI, Vrije Universiteit Amsterdam, Universiteit Utrecht, NWO en ECN.

Eindredactie:

Bert van Hove, Jan Verhagen, Jeroen Veraart, Bert Jansen

Met bijdragen van (in alfabetische volgorde):

Met bijdragen van (in alfabetische volgorde):

Frans Berkhout¹, Laurens Bouwer, Bas Eickhout, Hayo Haanstra, Pavel Kabat¹, Rik Leemans¹, Martijn Tak

Verantwoording beeldmateriaal:

International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. (foto 3, 5)
Jeroen Veraart (foto 2, 4, 6,11) Bart Kruijt (foto 8), Pavel Kabat (foto 1),
Florrie de Pater (foto 7), Alterra (foto 9) en Michiel van Drunen (foto 10)

De brochure is aan te vragen bij:

landbouw, natuurbeheer
en visserij

LNV, directie Platteland

Tel. 070 3785139



WAGENINGEN UR
For quality of life

Wageningen UR, Alterra

Tel: 0317 48 6540

De brochure is down te laden op:

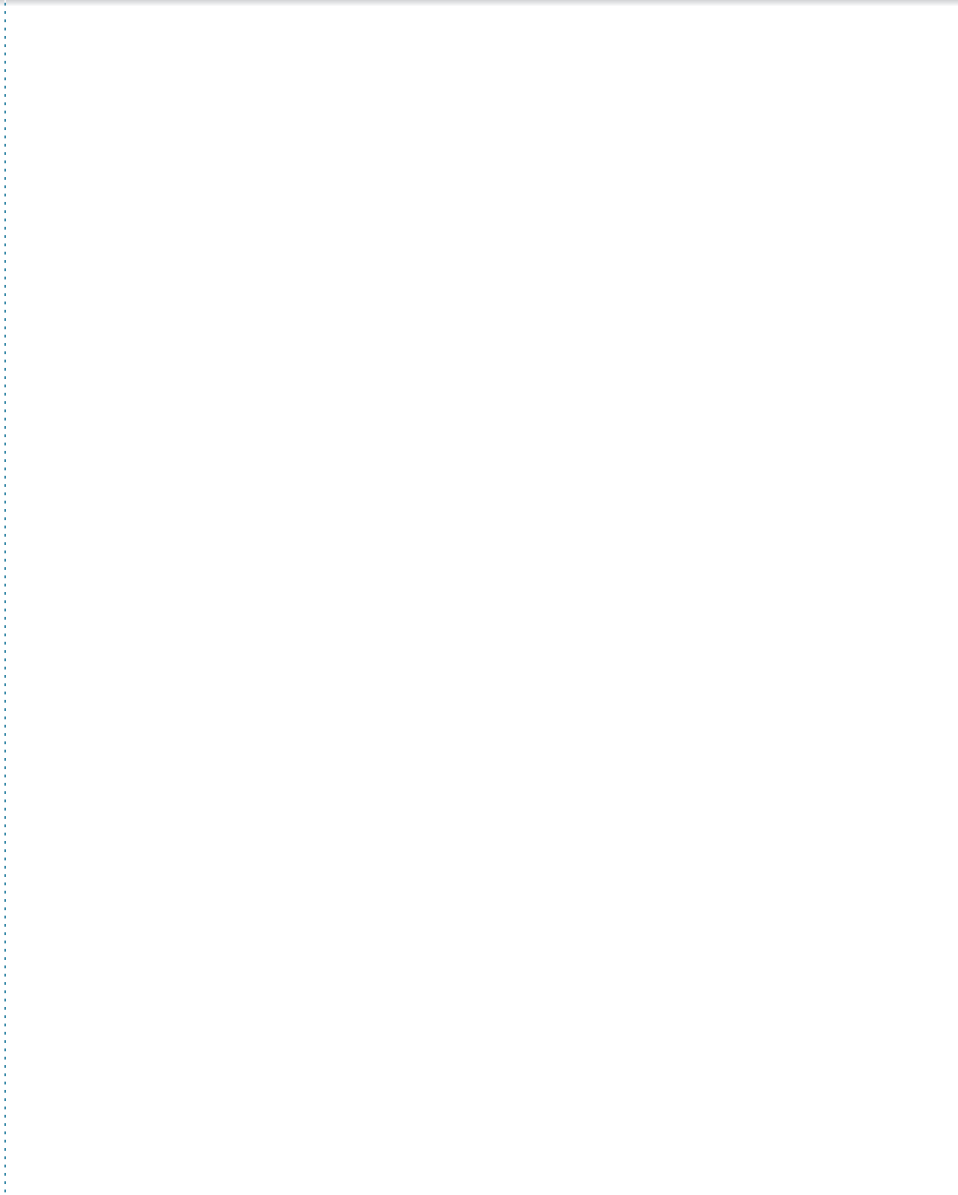
http://www.wur.nl/NL/nieuwsagenda/dossiers/Klimaatrapport_VN.htm

6 april 2007

¹ deze hoogleraren hebben tevens bijgedragen aan het IPCC rapport als 'lead author'.

Inhoud

1.	Het IPCC Werkgroep II rapport 2007	6
2.	Huidige effecten	7
2.1	Natuurlijke systemen	7
2.2	Maatschappelijke sectoren en thema's	8
3.	Toekomstige effecten	11
3.1	Gevolgen voor de verschillende sectoren en thema's	11
3.2	Gevolgen voor de verschillende regio's	15
4.	Reactie op klimaatverandering: adaptatie en mitigatie	19
4.1	Adaptatie	19
4.2	Adaptatie en mitigatie	19
5.	Kennisbehoefte	20
	Bijlage	21



Verklaring van belangrijke begrippen:

Klimaatverandering: elke structurele verandering in het klimaat die te wijten is aan natuurlijke variatie of aan menselijke activiteiten

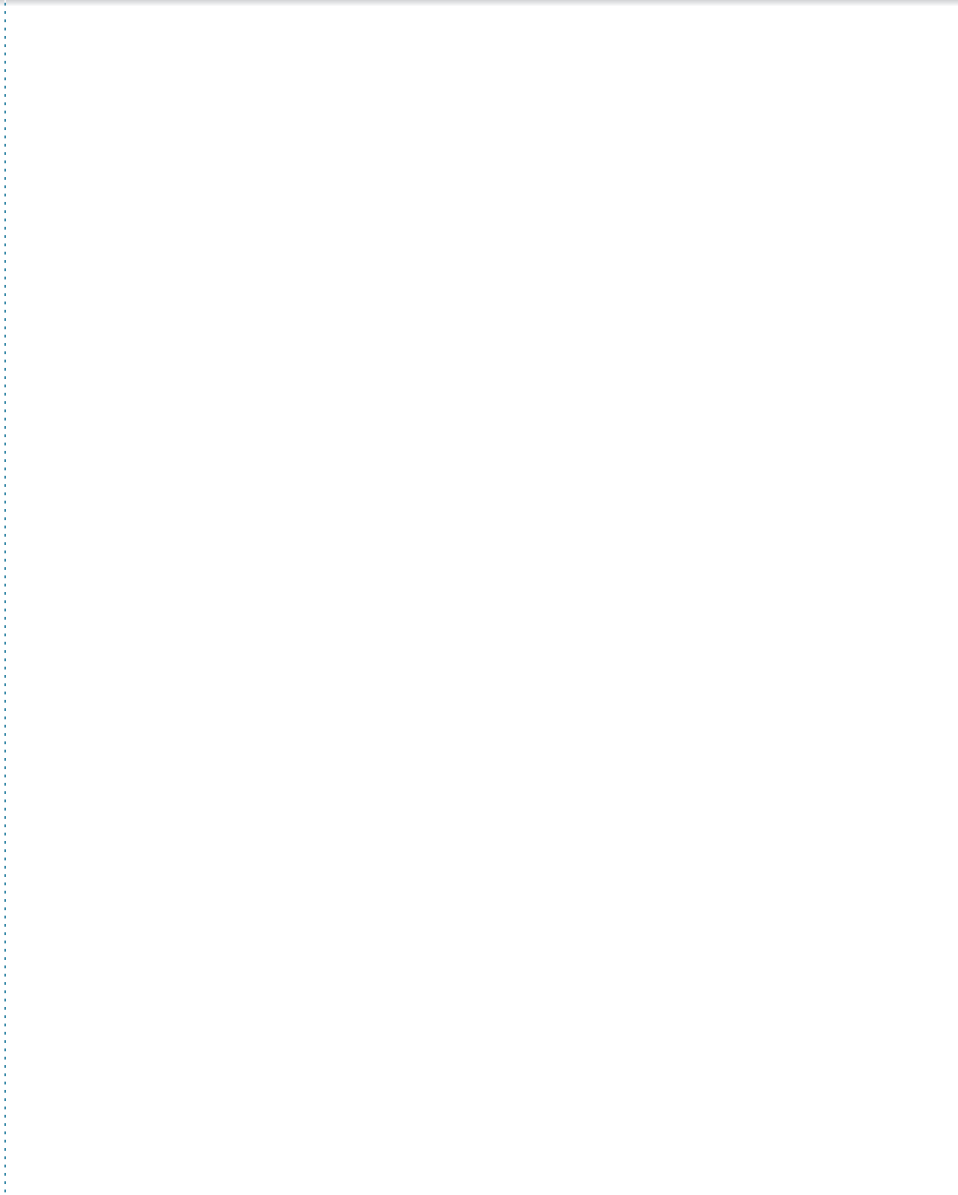
Adaptatie: aanpassing in natuurlijke of menselijke systemen in reactie op actuele of verwachte veranderingen in het klimaat

Mitigatie: maatregelen die moeten bijdragen aan het verminderen van de emissies van broeikasgassen

Kwetsbaarheid: de mate waarin een systeem gevoelig is voor, of niet in staat is om, de negatieve effecten van klimaatverandering op te vangen. Kwetsbaarheid is een functie van eigenschap, grootte en snelheid van klimaatverandering, de variatie waaraan een systeem wordt blootgesteld, en de gevoeligheid en adaptatievermogen van dat systeem.

Om de betrouwbaarheid te karakteriseren hanteert IPCC de volgende classificaties:

	Kans dat de uitspraak waar is (%)	
Zeer hoge betrouwbaarheid	90%	***
Hoge betrouwbaarheid	80%	**
Redelijk betrouwbaar	50%	*
Lage betrouwbaarheid	20%	•
Zeer lage betrouwbaarheid	<10%	0



Het IPCC Werkgroep II rapport 2007

Deze brochure presenteert de belangrijkste conclusies uit het Fourth Assessment Report van Werkgroep II (WGII 4AR) van het **Intergovernmental Panel on Climate Change** (IPCC). De werkzaamheden van deze werkgroep bestrijken de mondiale en regionale gevolgen van klimaatverandering en zeespiegelstijging, de kwetsbaarheid van verschillende sectoren, en de mogelijkheden van aanpassing of adaptatie. Het rapport bouwt voort op het in 2001 verschenen Third Assessment Report (TAR) en de sindsdien nieuw verkregen kennis tot medio 2006. Naast deze werkgroep zijn er nog twee andere IPCC werkgroepen. Werkgroep I rapporteert over het klimaatsysteem en heeft in februari 2007 haar evaluatie gepresenteerd. Werkgroep III heeft mitigatie als aandachtsveld en zal in mei 2007 haar conclusies presenteren.

In de afgelopen vijf jaar is de wetenschappelijke basis van het klimaatonderzoek versterkt:

- Het aantal studies naar veranderingen in de fysische en biologische systemen en hun relatie met (regionale) klimaatverandering is sterk toegenomen. Tevens is de kwaliteit van de resultaten sterk vooruit gegaan. Er zijn vooral meer kwantitatieve gegevens beschikbaar gekomen;
- Er zijn meer resultaten beschikbaar gekomen over de gevolgen van klimaatverandering voor ontwikkelingslanden;
- Er is meer standaardisatie van scenariostudies voor de assessment van toekomstige ontwikkelingen. Hierdoor is een betere vergelijking tussen sectoren en regio's mogelijk;
- Voor verschillende niveaus van klimaatverandering is er meer begrip van gevaren en reikwijdte van effecten;
- Er is meer aandacht besteed aan de mogelijkheden om door adaptatie en mitigatie in te spelen op het veranderende klimaat;
- De assessment is gebaseerd op een breder palet aan methodieken (bijvoorbeeld risicoanalyse), naast de standaard klimaatscenario's die in het merendeel van de assessments zijn gebruikt.



Droogte in de Sahel

Het rapport presenteert een lijst van ecosystemen, sectoren en regio's die de grootste gevolgen van klimaatverandering ondervinden (**).

Voor systemen en sectoren zijn dit:

- Ecosystemen zoals toendra's, boreale bossen, berg- en mediterrane ecosystemen; kustgebieden, mangrove en zoute kweldergebieden; oceanen, koraalriffen en in oceanen, koraalriffen en diersoorten levend op zee-ijs;
- Laagliggende kusten (delta's) door zeespiegelstijging;
- Watervoorraden in mediterrane landen en landen rond de evenaar;
- Landbouw in de tropen door een afname in beschikbaarheid van zoet water;
- Menselijke gezondheid, met name in gebieden waar de capaciteit tot aanpassing laag is.

De meest gevoelige regio's zijn:

- De Noordpool, door de verwachte snelle temperatuurverandering;
- Afrika (vooral de gebieden ten zuiden van de Sahara) door de lage aanpassingscapaciteit;
- De dichtbevolkte Aziatische megadelta's zoals de Ganges-Brahmaputra en de Zhuijang;
- De kleine eilanden, door zeespiegelstijging en toename van hevige stormen.

In de nu volgende hoofdstukken worden de conclusies uit het rapport verder belicht. **Hoofdstuk 2** geeft een overzicht van de reeds waargenomen effecten, waarna in **hoofdstuk 3** de mogelijke toekomstige gevolgen worden behandeld. Vervolgens gaat **hoofdstuk 4** in op de mogelijkheden van adaptatie en mitigatie.



Eeuwige sneeuw in Libanon.

Huidige effecten

De opwarming van de aarde gedurende de laatste drie decennia heeft een waarneembare invloed gehad op vele fysische en biologische systemen ().**

Bovenstaande uitspraak kan nu met een hoge betrouwbaarheid worden gedaan. Figuur 1 geeft een mondiaal overzicht van deze veranderingen. Het betreft langlopende studies waarin gedurende minstens twintig achtereenvolgende jaren gegevens zijn verzameld. Tevens wordt een overzicht gegeven van de temperatuurveranderingen die in de periode 1970-2004 hebben plaatsgevonden. Opgemerkt dient te worden dat het merendeel van de studies betrekking heeft op de gematigde en hogere breedten van het noordelijk halfrond. Relatief weinig informatie is beschikbaar over waargenomen veranderingen in tropische gebieden en op het zuidelijk Halfrond. Desondanks kan worden geconcludeerd dat voor alle continenten, inclusief Antarctica en sommige oceanen, effecten waarneembaar zijn.

Natuurlijke systemen

Fysische systemen

Grote veranderingen zijn waarneembaar in de cryosfeer (sneeuw, ijs, permafrost)(***), zoals:

- Een toename in het afsmelten van ijs op de Noordpool, Groenland en het Antarctische schiereiland als gevolg van de opwarming van de aarde;
- Een toename van de dooi van de permafrost in de poolgebieden en berggebieden, die een afname van de bodemstabiliteit tot gevolg heeft;
- Het verdwijnen van ijskappen, sneeuwbedekking en gletsjers in berggebieden en een toename van sneeuw- en rotslawines.

2.

2.1

Bovenstaande veranderingen hebben grote gevolgen voor flora en fauna in die gebieden(**). Ook komen er steeds meer aanwijzingen dat veranderingen in rivieren en meren optreden:

- In rivieren die worden gevoed door gletsjer- en smeltwater, wordt de piekafvoer van water in het voorjaar eerder bereikt (**);
- Op mondiale schaal neemt de temperatuur van meren en rivieren toe met gevolgen voor de waterkwaliteit (**).

In sommige ongerepte kustgebieden wordt een verhoogde erosie van de kustlijn waargenomen, die kan worden toegeschreven aan een stijging van de zeespiegel, toegenomen golfhoogte en het vaker voorkomen van zwaardere stormen. Dit vormt ook een bedreiging voor natte kustgebieden ('wetlands') en mangrove bossen. Bovendien neemt hierdoor ook de schade door overstromingen toe.

Biologische systemen

Voor een bredere groep van soorten en gemeenschappen in natuurlijke, terrestrische ecosystemen is aangetoond dat de opwarming gedurende de laatste decennia al tot effecten heeft geleid (**).

- De overgrote meerderheid van wetenschappelijke studies toont aan dat op het noordelijk halfrond terrestrische soorten die van nature in zuidelijke, warmere gebieden voorkomen, steeds meer in noordelijke gebieden worden aangetroffen. Een dergelijke verschuiving vindt ook in de berggebieden plaats. Soorten die van nature in lager gelegen gebieden voorkomen, worden nu ook in hoger gelegen gebieden waargenomen (**);
- Het plaatsvinden van van seizoensgebonden verschijnselen in de natuur hangt vaak sterk af van de temperatuur. In de noordelijke gebieden van het noordelijk halfrond begint door de hoge temperaturen in de laatste jaren het voorjaar voor veel planten en dieren eerder dan vroeger. Dit is te zien in de vogeltrek,

het moment waarop vogels eieren leggen en planten en bomen in blad komen. Daarnaast blijkt de winter steeds later te beginnen waardoor de lengte van het groeiseizoen langer wordt. Satellietwaarnemingen die sinds het begin van de jaren '80 worden gedaan, laten zien dat de vegetatie in veel regio's op aarde eerder groen wordt (**);

- Het gebied met planktongroei in de Noord-Atlantische Oceaan is over een afstand van ongeveer duizend km in de richting van de Noordpool sterk toegenomen (**);
- Er is een toename van algen- en planktongroei in meren en zeeën in noordelijke gebieden en in hoger gelegen meren (**);
- Een verandering van de vistrek en soortensamenstelling in rivieren wordt waargenomen (**);
- Er is een toenemend bewijs dat klimaatverandering mede verantwoordelijk is voor het achteruitgaan van koraalriffen (**).

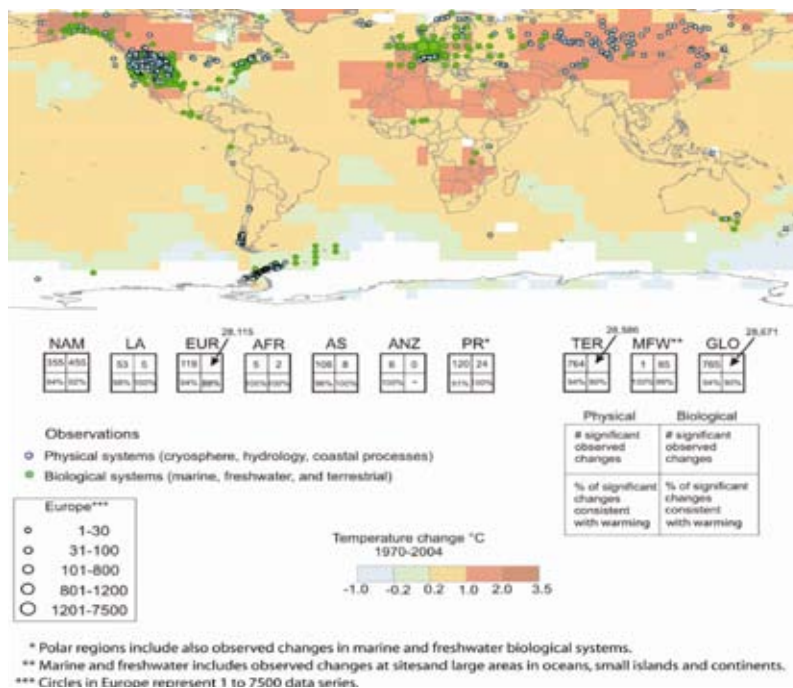
Maatschappelijke sectoren en thema's

2.2

Land- en bosbouw

Effecten van klimaatverandering op land- en bosbouw zijn moeilijker vast te stellen, omdat ook andere factoren zoals teeltmanagement een belangrijke rol spelen. Desondanks zijn ook hier duidelijke effecten waarneembaar:

- Tot op hogere Noorderbreedte begint het plantseizoen eerder en het langere groeiseizoen draagt bij aan een toename van de oogst. Ook wordt een toename van de bosproductiviteit wordt waargenomen (*);
- In Noord Amerika en in het Middellandse Zeegebied neemt de productiviteit in de land- en bosbouw af door te hoge temperaturen en droogte. Deze gebieden zijn ook kwetsbaarder geworden voor bosbranden (*).



Figuur 1. Locaties van waargenomen veranderingen in fysische systemen (cryosfeer, hydrologie en kust) en biologische systemen (terrestrisch, marien, zoetwater), voor studies eindigend in 1990 of later met minstens twintig jaar resultaten, en temperatuurveranderingen in de periode 1970-2004. Resultaten uit 75 studies (waarvan zeventig nieuwe studies sinds TAR) met meer dan 29.000 gegevensbestanden zijn verwerkt. Witte gridcellen: onvoldoende waarnemingen. De vierkanten bevatten gegevens voor i) regio's: NAM Noord Amerika, SAM Zuid-Amerika, EUR Europa, AFR Afrika, AS Azië, AUS Australië, PR Polaire gebieden, en ii) TER terrestrische, mariene en zoetwater systemen (MFW), mondiale veranderingen in fysische en biologische systemen

Gezondheidseffecten

Sinds kort wordt systematisch onderzoek gedaan naar gezondheidseffecten en sociaal-economische effecten. Deze hebben vooral betrekking op de negatieve aspecten van klimaatverandering.

- Het aantal dagen met extreem hoge temperaturen is toegenomen, wat vooral in stedelijke gebieden in Europa en Azië heeft geleid tot hogere sterftcijfers (*);
- Er zijn aanwijzingen voor veranderingen in verdelingspatronen van sommige ziekten en plagen in delen van Europa en Afrika. Er vindt een invasie van ziekten en plagen plaats in gebieden die voorheen ongeschikt leken zoals hoger gelegen gebieden. In gebieden op hogere en gematigde breedte neemt de overlast door pollenallergenen toe en deze begint ook vroeger (*).



Waterschaarste in Kenia

Toekomstige effecten

Sinds het derde assessment is er een duidelijker beeld ontstaan van wat de mogelijke consequenties van klimaatverandering zijn voor de verschillende thema's, sectoren en regio's op aarde.

Voor veel effectstudies vormde het derde assessment rapport van IPCC Werkgroep I, die zich bezig houdt met het klimaatsysteem, de basis voor het vaststellen van mogelijke toekomstige effecten op fysische en biologische systemen. De simulaties met klimaatmodellen zijn op hun beurt gebaseerd op het IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES) uitgebracht in 2000. Hierin worden vier verschillende scenario's voor sociaal-economische en technologische ontwikkelingen tot 2100 beschreven en worden op grond hiervan 4 verschillende toekomstige trends in broeikasgasemissies gegeven. In de volgende paragraaf worden eerst de gevolgen per thema beschreven, waarna wordt ingegaan op de gevolgen voor de verschillende regio's op aarde. Voor een overzicht wordt verwezen naar de tabellen in bijlage I.

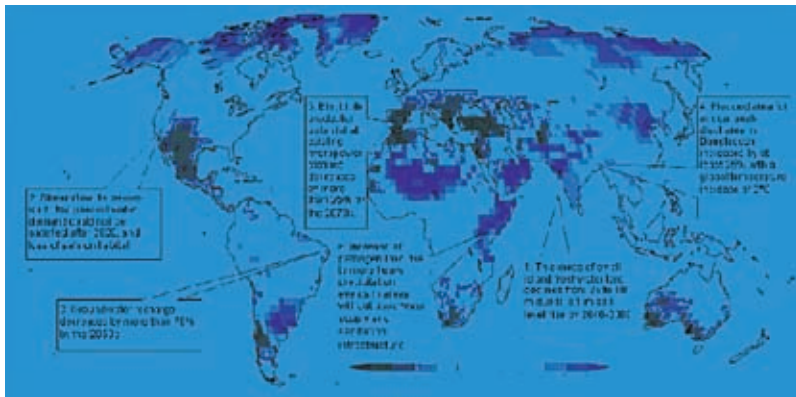
Gevolgen voor de verschillende sectoren en thema's

Voorraden en beschikbaarheid van zoetwater

De toename in temperatuur en verdamping, de toename in neerslag-intensiteit en -variabiliteit, en de stijging van de zeespiegel heeft een grote invloed op de voorraden en beschikbaarheid van zoetwater. Figuur 2 geeft een overzicht van mogelijke effecten voor de verschillende continenten.

3.

3.1



Figuur 2. Mondiaal overzicht van de mogelijke toekomstige effecten voor zoetwatervoorraden en –beschikbaarheid

- Watervoorraden opgeslagen in gletsjers en sneeuw in berggebieden nemen zeer waarschijnlijk af. In zomer en herfst leidt dit tot verminderde waterafvoer van rivieren die van gletsjer- en smeltwater afhankelijk zijn (**). Thans leeft meer dan een zesde van de wereldbevolking in deze gebieden;
- Waterafvoer door rivieren en beschikbaarheid van water nemen toe in noordelijke gebieden en in sommige natte tropische gebieden zoals dichtbevolkte gebieden in oost en zuidoost Azië (**);
- In semi-aride en aride gebieden (Middellandse Zeegebied, westen van de VS, Zuid-Afrika, noordoost Brazilië, zuid en zuidoost Australië) – gebieden waar nu al watertekorten heersen – neemt de beschikbaarheid van water verder af. De grondwaterstand in gebieden met waterstress herstelt zich niet of minder snel, mede als gevolg van een sterke toename van de vraag (**);
- De toename in neerslag - in frequentie en intensiteit - zal het risico op overstromingen in rivierbekkens verhogen (**). In 2080 zal 20% van de wereldbevolking hiermee te maken hebben (*);
- Het aantal mensen dat leeft in gebieden met ernstige waterstress, zal significant toenemen, van 1.4-1.6 miljard in 1995 tot 4.3-6.9 miljard in 2050 (*);
- De stijging van de zeespiegel leidt tot een toename van de verzilting van grondwater in kustgebieden en estuaria en afname van beschikbaarheid aan zoetwater (**);
- Hogere watertemperaturen, zwaardere regenbuien en langere perioden met lage waterstanden in rivieren verslechteren de waterkwaliteit met gevolgen voor ecosystemen, menselijke gezondheid en de betrouwbaarheid van watersystemen (**).



Ecosystemen

Waarnemingen uit het verleden laten zien dat ecosystemen het vermogen hebben om zich aan te passen aan veranderende klimaatcondities. Of dit ook geldt voor de toekomst, is echter onzeker. Immers, ook andere factoren zoals verandering in landgebruik en de exploitatie van natuurlijke hulpbronnen, zijn van grote invloed op ecosystemen.

- Nog in deze eeuw zal de veerkracht van veel ecosystemen waarschijnlijk worden overschreden door een ongekende combinatie van een veranderd klimaat en daaraan gerelateerde verstoringen (b.v. bosbranden, insectenplagen), en andere mondiale verstoringen zoals de effecten van veel hogere CO₂ concentraties (**). De volgende ecosystemen lopen groot gevaar: toendra's, boreale bosgebieden, ecosystemen in berggebieden en in het Middellandse Zeegebied, mangrovebossen, zoutmoerassen, koraalriffen (b.v. de 'Great Barrier Reef') en flora en fauna in de polaire gebieden;
- Tot nu toe fungeert de vegetatie als een belangrijke opslag voor koolstof. Echter, in de tweede helft van deze eeuw kan dit omslaan en worden terrestrische ecosystemen een netto bron voor koolstof, daarmee het broeikas effect versterkend (*). Het versneld vrijkomen van opgeslagen koolstof uit veengebieden, toendra's, permafrostbodems, en bodems van boreale en tropische bosgebieden is nagenoeg zeker (**);
- 20-30% van de planten- en diersoorten loopt het risico uit te sterven, indien de mondiale temperatuur tot 2-3 °C boven het preïndustriële niveau stijgt. Vooral inheemse soorten lopen gevaar (*). Ook zullen er waarschijnlijk aanzienlijke veranderingen optreden in structuur en functioneren van terrestrische en mariene ecosystemen bij deze temperatuurstijging (**);
- Verzuring van oceanen door CO₂-opname vanuit de atmosfeer heeft een effect op de verzadigingsniveaus van calciumcarbonaat. Dit bemoeilijkt zeer waarschijnlijk de skeletgroei van vele kleine organismen die calciumcarbonaat als basisbouwstof gebruiken voor het opbouwen van harde structuren, zoals riffen en schelpen (*).

Voedsel-, vezel- en houtproductie

Mogelijke gevolgen van klimaatverandering en stijging van de CO₂-concentratie voor de productie in de land- en bosbouw zijn veel moeilijker vast te stellen omdat deze tevens afhankelijk zijn van een groot aantal andere factoren zoals sociaal-economische en technologische ontwikkelingen. De gevolgen van lokale veranderingen in het klimaat zullen vooral voor kleine boeren en traditionele vissers in tropische gebieden van belang zijn, omdat hun adaptatievermogen gering is (**).

- Een mondiale temperatuurstijging van 1-3 °C heeft een klein positief effect op de oogst in gematigde klimaatstreken (*). Echter, in subtropische en tropische gebieden leidt een dergelijke temperatuurstijging waarschijnlijk tot een oogstdaling van de belangrijkste graan- en gewassen. Een verdere opwarming zou tot oogstdalingen in alle regio's kunnen leiden (* /²);
- Free-Air Carbon Dioxide Enrichment (FACE) studies tonen aan dat bij een CO₂-concentratie van 550 ppmv, de oogst van zogenaamde C₃-gewassen (b.v. tarwe) met 10-20% toeneemt en die van C₄-gewassen (b.v. mais) met 0-10%. Dit geldt voor optimale groeiomstandigheden. Recente resultaten laten een verhoogde groei van jonge bosopstanden zien, terwijl voor oudere, volwassen bosopstanden geen effecten worden gevonden. Blootstelling aan ozon remt de CO₂-reactie van zowel gewassen als bossen (*);
- Klimaatverandering heeft slechts een marginaal effect op het aantal mensen dat het risico loopt om honger te lijden. Sociaal-economische ontwikkelingen hebben een (veel) grotere invloed (*);
- De toename in frequentie en intensiteit van extreme weergebeurtenissen (extreme hitte, droogte en overstromingen) zullen significante negatieve gevolgen hebben voor de productie in de land- en bosbouw. Hetzelfde geldt voor toename in risico voor het uitbreken van branden, ziekten en plagen (**).

² uitgegaan wordt van een prognose van de wereldbevolking van 11,3 miljard mensen in 2050 (SRES A2 scenario); in 1995 woonden er 5,6 miljard mensen op aarde.



Figuur 3. Aantallen mensen dat door de huidige trend in de zeespiegel tot 2050, potentieel gevaar loopt. Extreem: 711 miljoen; hoog 1 miljoen – 50.000; medium 50.000 – 5000. De kwetsbaarheid van deze gebieden neemt door klimaatverandering toe

Kustgebieden en laaggelegen gebieden

Sinds de derde assessment is kennis over de mogelijke gevolgen voor kustsystemen en laaggelegen gebieden aanzienlijk toegenomen. In komende decennia zullen de kustgebieden te maken krijgen met een verscheidenheid aan effecten gerelateerd aan klimaatverandering:

- * Mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging in de orde van 0,2 tot 0,6 meter of meer; regionaal, zoals in de Noordzee, kan deze stijging oplopen tot 0,8 meter zijn (exclusief kust- en bodemdaling)
- * Heviger stormen door stijging oppervlakte zeevatertemperatuur
- * Toename van extreme golfhoogtes en stormvloed
- * Veranderingen in neerslag en waterafvoer door rivieren
- * Gevolgen van van het zuurder worden van de zee

De gevolgen van bovenstaande effecten zullen worden versterkt door een toenemende bevolkingsdruk in kustgebieden (**). Figuur 3 geeft een overzicht van de kwetsbaarheid van kustdelta's.

- Belangrijke ecosystemen zoals wetlands, zoutmoerassen en mangrovebossen zullen achteruitgaan en koraalriffen zullen verder afsterven (**). Het afsterven van koraalriffen wordt ingeleid door verbleking, een proces dat nu al volop aan de gang is;
- De kans op overstromingen neemt toe wat een bedreiging vormt voor honderden miljoenen mensen, vooral in dichtbevolkte en laaggelegen gebieden. Het aantal mensen dat gevaar loopt zal het grootst zijn in de megadelta's van Azië. De kans op overstroming is voor de kleine eilanden het grootst (**).

	Negative Impact	Positive Impact
Very High Confidence <i>Geographic range & incidence of malaria</i>	←	→
High Confidence <i>Undernutrition and consequent disorders</i>	←	
<i>Increase the number of people suffering from extreme events (heatwaves, storms, floods, droughts)</i>	←	
<i>Illnesses and death due to poor air quality</i>	←	
<i>Cold-related deaths</i>		→
Medium Confidence <i>Diarrheal diseases</i>	←	

Figuur 4. Richting en grootte van verandering in gezondheidseffecten ten gevolge van klimaatverandering

Industrie, nederzettingen en maatschappij

Technologische en sociaal-economische veranderingen zijn op een termijn van vele decennia moeilijk in te schatten. Hierdoor is ook het maken van projecties van mogelijke gevolgen van klimaatverandering voor industrie, nederzettingen en samenleving een moeilijke opgave. Daarom is hier voor een andere benaderingswijze gekozen, waarbij de kwetsbaarheid of gevoeligheid voor mogelijke gevolgen van klimaatverandering in beeld is gebracht.

- Industrie, nederzettingen en samenlevingen zijn vooral gevoelig voor extreme weergebeurtenissen, meer dan voor geleidelijke klimaatverandering (**);
- De meest kwetsbare industrie, vestigingen en maatschappijen bevinden zich in kustgebieden en riviervlakten. Dit geldt vooral voor gebieden met een grote urbanisatiegraad en een sterke afhankelijkheid van klimaatgevoelige hulpbronnen (***);
- De economische schade ten gevolge van extreme weergebeurtenissen zal aanzienlijk toenemen in hiervoor kwetsbare gebieden (**).

Gezondheid

Klimaatverandering zal waarschijnlijk een effect hebben op de gezondheid van miljoenen mensen. Figuur 4 geeft een overzicht van richting en grootte van veranderingen in gezondheidseffecten ten gevolge van klimaatverandering.



Overstromingen in Madagascar (Afrika)

Gevolgen voor de verschillende regio's

3.2

Afrika

Landbouw vormt de voornaamste bijdrage aan de economie in veel landen (gemiddeld 21%). Klimaatverandering zal grote gevolgen hebben voor de agrarische productie en voedselzekerheid in veel Afrikaanse landen en regio's.

- De kans op honger zal toenemen door een afname van geschikte landbouwgrond, een afname van de lengte van het groeiseizoen en gewasopbrengst (**);
- Het aantal mensen dat te maken krijgt met waterschaarste zal sterk toenemen. Dit is te wijten aan zowel klimaatgerelateerde als niet-klimaat factoren zoals een gebrek aan samenwerking tussen landen bij het waterbeheer (**);
- De zeespiegelstijging vormt een bedreiging voor dicht bevolkte delta-gebieden zoals de Nijl- en de Nigerdelta (**);
- Mangrove bossen en koraalriffen zullen verder afsterven met gevolgen voor de visserij en toerisme (**);
- Zowel overbevissing als stijging van de watertemperatuur in de grote meren heeft negatieve gevolgen voor de visvangst en daarmee ingrijpende gevolgen voor de voedselvoorziening (**);
- Het risico op de malaria en andere infectieziekten neemt toe(**).

Azië

Uit waarnemingen blijkt dat de opgetreden klimaatverandering in de afgelopen decennia al heeft geleid tot effecten in veel sectoren (*). Extreme weergebeurtenissen zijn toegenomen, de gewasopbrengst in vele landen is afgenomen, het terugtrekken van gletsjers wordt waargenomen evenals de versnelde dooi van de permafrost in boreaal Azië.



Dijk in Dhaka (Bangladesh)

- Het smelten van ijs in de Himalaya zal de kans op overstromingen en rotslawines doen toenemen en leiden tot een vernietiging van de watervoorraden (*);
- De kans op overstromingen door rivieren en de zee zal in kustgebieden, vooral in de dichtbevolkte megadelta's in zuid, oost en zuidoost Azië, toenemen (**);
- De snelle verstedelijking, industrialisatie en economische ontwikkeling in veel Aziatische landen heeft geleid tot een toename van de lucht- en waterverontreiniging, landdegradatie en andere milieuproblemen met grote gevolgen voor de biodiversiteit, leefbaarheid en menselijk welzijn. De effecten van klimaatverandering zullen deze milieueffecten versterken, naar verwachting vooral in zuid en oost Azië (**);
- De toename in temperatuur en veranderingen in neerslag zullen waarschijnlijk leiden tot een afname in gewasproductiviteit waardoor de kans op voedseltekorten toeneemt (*).

Australië en Nieuw Zeeland

Sinds 1950 is de temperatuur in de regio met 0.3-0.7 °C toegenomen, met meer hittegolven, minder perioden met vorst, meer regen in noordwest Australië en zuidwest Nieuw Zeeland en minder regen in zuid en oost Australië en noordwest Nieuw Zeeland (**).

- In zuid en oost Australië en in delen van Nieuw-Zeeland zullen de problemen met de watervoorziening toenemen (**);
- De biodiversiteit in beide landen zal verder afnemen (***). Het betreft hier ecologisch rijke gebieden zoals de Great Barrier Reef, Kakadu wetlands, The Queensland Wet Tropics, sub-Antarctische eilanden en de alpine nationale parken in beide landen. Veel van deze gebieden staan op de lijst van Werelderfgoed van UNESCO;
- Kustgebieden met een bevolkingstoename zoals in de Cairns regio, zuidoost Queensland en Northland to Bay of Plenty, zullen meer risico lopen bij het vaker voorkomen van hevige stormen en overstromingen ten gevolge van zeespiegelstijging (***);



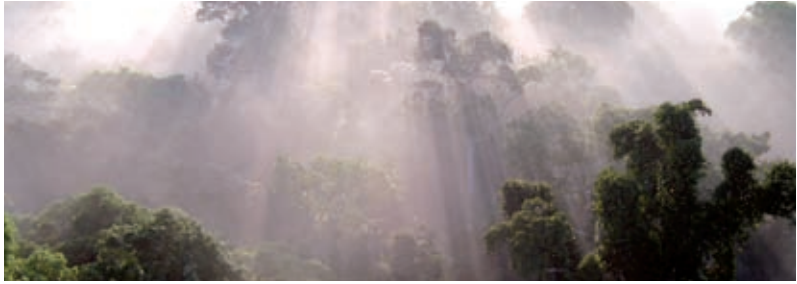
Zuidplaspolder (Nederland)

- Sommige gebieden, vooral in Nieuw-Zeeland en in delen van zuid Australië, zullen van een mondiale temperatuurstijging van 1-2 °C profiteren. Het groeiseizoen zal langer zijn, er treedt minder vorstschade op, er is minder energievraag, meer irrigatiewater beschikbaar en een groter potentieel voor hydro-elektriciteit. Een verdere temperatuurstijging zal dit doen omslaan (**).

Europa

Klimaatscenario's laten een aanzienlijke opwarming zien (tot 5,5 °C, afhankelijk van scenario). De gemiddelde neerslag zal in het noorden toenemen en in het zuiden afnemen. Echter, de neerslag zal duidelijker seizoensgebonden zijn: in de zomer zal de neerslag afnemen, in het Middellandse Zeegebied zelfs met 30-45% in vergelijking met de huidige neerslag.

- De negatieve gevolgen van klimaatverandering zullen vooral in zuid Europa merkbaar zijn. Door vaker voorkomen van hittegolven neemt het overlijdensrisico toe. Andere gevolgen zijn: afname in de beschikbaarheid van water, minder mogelijkheden voor het opwekken van hydro-elektriciteit en afname in gewasopbrengsten. Daarnaast zullen bosbranden vaker optreden (**);
- In noord Europa brengt het veranderende klimaat ook voordelen. De koudeperiodes nemen af en de potentiële opbrengsten in de land- en bosbouw en visserij nemen toe. Ook worden de omstandigheden gunstiger voor het opwekken van Hydro-elektriciteit (**);
- In de nabije toekomst (2020) neemt het risico op rivieroverstromingen in geheel Europa toe (**). Hetzelfde geldt voor overstromingen in kustgebieden ten gevolge van de zeespiegelstijging. Voor het laatste verwacht men dat rond 2080 2,5 miljoen meer mensen (dus bovenop het huidige aantal) hiermee te maken krijgt (**);
- Natuurlijke systemen (gletsjers, permafrostgebieden, Alpen, kustgebieden) en de biodiversiteit zullen aanzienlijk te lijden hebben (**). Het grootste deel van organismen en ecosystemen is slecht in staat om zich aan te passen aan een veranderend klimaat (**).



Amazone regenwoud (Brazilië)

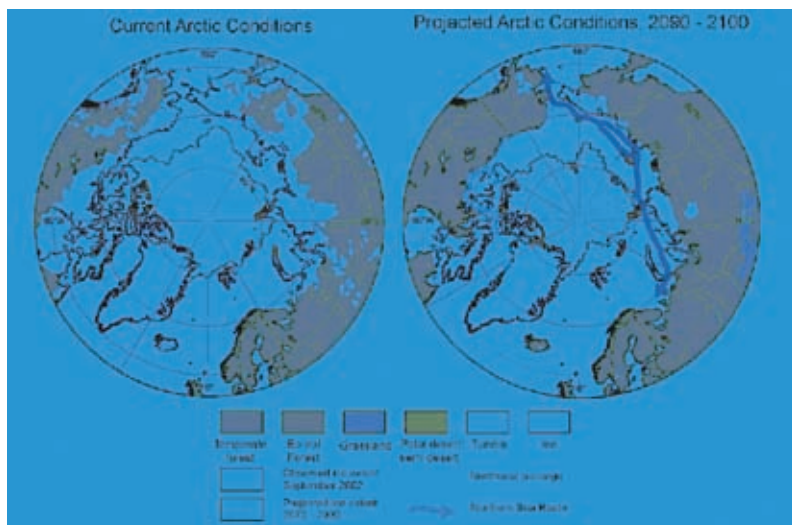
Latijns Amerika

In de afgelopen jaren hebben extreme weergebeurtenissen ernstige gevolgen in de Latijns Amerikaanse regio gehad. Extreem hoge neerslag (bijvoorbeeld in Venezuela in 1999 en 2005), overstromingen in de Argentijnse pampa's (2000, 2002), hagelbuien in Bolivia (2002) en in het gebied van Buenos Aires (2006) en de orkaan Katrina in de zuid Atlantische Oceaan (2004). Het jaar 2005 was recordjaar wat betreft orkanen in de Cariben. De gemiddelde opwarming tot aan het eind van de 21ste eeuw kan tot 6 °C (afhankelijk van het klimaatscenario) bedragen (*).

- In oost Amazonië zal temperatuurstijging en afname van bodemwater leiden tot vervanging van tropische regenwoud door savanne. In noord Brazilië en noord Mexico zullen semi-aride gebieden vervangen worden door vegetatie die in droge gebieden voorkomt. In tropische bossen zullen steeds meer soorten uitsterven (**);
- In droge gebieden leidt klimaatverandering tot verzilting en verwoestijning van landbouwgrond. De opbrengsten van sommige belangrijke gewassen zullen dalen en de productiviteit van vee zal afnemen. In gematigde gebieden zal de opbrengst van soja toenemen (*);
- De stijging van de zeespiegel veroorzaakt een verhoogd risico op overstroming in laag gelegen gebieden (bijvoorbeeld in El Salvador, Guyana en in het Rio de la Plata estuarium (**));
- De toename in watertemperatuur heeft negatieve gevolgen voor de Midden-Amerikaanse koraalriffen, en veroorzaakt verplaatsing van de visgronden.

Noord Amerika

Noord-Amerika heeft een enorme capaciteit om zich aan te passen, maar deze capaciteit is niet altijd in staat om de bevolking



Figuur 5. De oppervlakten van verschillende vegetatietypen in gebieden rondom de Noordpool. Links: de huidige situatie en rechts: de met een model berekende situatie in 2090-2100 (volgens emissiescenario IS92a)

- In de westelijke berggebieden veroorzaakt de temperatuurstijging een verdere afname van de sneeuwbedekking, meer overstromingen in de winter en een verminderde waterafvoer in de rivieren in de zomer. Klimaatverandering zal waarschijnlijk de nu al intensief gebruikte watervoorraden verder belasten (**);
- In bosgebieden zullen bosbranden, ziekten en plagen vaker voorkomen (**);
- Het aantal hittegolven zal toenemen met negatieve gevolgen voor de gezondheid (**);
- De zeespiegelstijging en hevige stormen vormen een groter risico voor de bevolking in kustgebieden (**).

Polaire gebieden

In het Noordpoolgebied zal de oppervlakte met zee-ijs naar verwachting zijn afgenomen met ca. 30% in 2080-2100; voor Antarctica variëren de voorspellingen van een lichte toename tot een volledig verdwijnen van het zee-ijs in de zomer (**). Ook voorziet men een aanzienlijke afname in dikte en oppervlakte van de gletsjers en ijskappen in het Noordpoolgebied en een verder afsmelten van de Groenlandse ijsvlakte. In west Antarctica gaat het dunner worden van de ijskap door, evenals de afbrokkeling van het Antarctisch schiereiland (**). De omvang van de permafrostgebieden zal in 2050 met 20-35% zijn afgenomen (**).

- Bovenstaande veranderingen hebben grote gevolgen voor de flora en fauna in deze gebieden (**, Figuur 5);
- Beide polaire gebieden bezitten specifieke ecosystemen en niche habitats die bijzonder gevoelig zijn voor de invasie van vreemde soorten (**).

Kleine eilanden

- De stijging van de zeespiegel en het vaker voorkomen van hevige stormen leidt tot het verder afkalven van de kusten en een verhoogd risico voor overstroming (**);
- Voor veel kleine eilanden geldt dat de watervoorziening gevaar loopt door stijging van de zeespiegel en een vermindering in gemiddelde neerslag (**);
- Op eilanden die zich op gematigde en noordelijke breedten bevinden, neemt de invasie van vreemde soorten toe (**).

*Industrie in Europa*

Reactie op klimaatverandering: adaptatie en mitigatie

4.

De opwarming van de aarde is onontkoombaar en aanpassen (adaptatie) is noodzakelijk om de gevolgen te verkleinen. Echter, de mogelijkheden voor adaptatie zijn beperkt. Mitigatie blijft noodzakelijk om de mondiale temperatuurstijging te verminderen, waardoor de gevolgen op langere termijn minder ernstig zullen zijn en adaptatie beter mogelijk is. Kortom: geen adaptatie zonder mitigatie.

Adaptatie

4.1

Vanouds heeft de mens geleerd om zich aan te passen aan veranderende weer- en klimaatomstandigheden om zo zijn bestaan veilig te stellen. Adaptatie is dus van alle tijden en vindt ook nu plaats. Veelal zijn aanpassingen aan klimaatverandering een onderdeel van een groot pakket aan maatregelen om de gevolgen van het huidige weer en klimaat te verminderen zoals bij integraal waterbeheer, het ontwerp van rampenplannen, en bij de inrichting van gebieden en ontwerp van infrastructuur.

Er zijn nog maar weinig adaptatiemaatregelen die direct rekening houden met de mogelijk toekomstige gevolgen van klimaatverandering. Voorbeelden zijn: het aanpassen van de kustverdediging aan zeespiegelstijging, het gedeeltelijk draineren van gletsjermereen (b.v. in Nepal) om overstromingen tegen te gaan, projecten in Australië om het waterbeheer te verbeteren en daarmee de gevolgen van droogte te verminderen, projecten in Europa om de rivieren meer ruimte te geven en de maatregelen van Europese overheden om de gevolgen van hittegolven te beperken



Adaptatie in Nederland: dijkverzwaring

Sinds het derde assessment zijn er meer studies uitgevoerd waarin de verschillende opties voor adaptatie worden verkend. Het algemene beeld is dat sociaal-economische factoren en technologische ontwikkelingen sterk bepalend zijn voor de kwetsbaarheid van een maatschappij voor veranderende weer –en klimaatomstandigheden. Het vermogen tot adaptatie is sterk verschillend, niet alleen tussen landen en regio's, maar ook tussen verschillende groepen binnen een maatschappij. Arme landen en arme groepen hebben een gering vermogen tot adaptatie en zullen dan ook meer de gevolgen van klimaatverandering ondervinden. Echter, een groot adaptatievermogen betekent nog niet automatisch dat ook maatregelen worden ondernomen. Een voorbeeld is de adaptatie aan hittestress in steden: Ondanks een groot adaptatievermogen, blijft het sterftecijfer ten gevolge hiervan in sommige Europese steden voorlopig hoog.

Voor het doorvoeren van adaptatiemaatregelen is er een groot aantal hindernissen te nemen, op het gebied van kennis en technologie, financiën, gedrag, maatschappij en cultuur. Veel maatregelen kunnen tegen relatief lage kosten worden uitgevoerd, maar eenduidige schattingen over kosten en baten ontbreken vooralsnog.



Adaptatie in Bangladesh: Krottenwoningen op bamboestokken

Adaptatie en mitigatie

4.2

De effecten van adaptatie en mitigatie verschillen in tijd en plaats. Adaptatie heeft vooral voordelen voor de lokale en regionale schaal; de effecten zijn op relatief korte termijn merkbaar, vooral indien zij reeds bescherming bieden tegen huidige klimaatomstandigheden. Mitigatie biedt vooral voordelen op mondiale schaal. Echter, door een vertraging in het klimaat- en aardsystemen zijn tot het midden van 21ste eeuw de effecten nauwelijks merkbaar.

Zowel adaptatie als mitigatie zijn nodig: het zijn complementaire strategieën om de gevolgen van klimaatverandering te verminderen. Adaptatie is nodig omdat zelfs de meest vergaande maatregelen klimaatverandering niet kunnen verhinderen. En mitigatie is nodig omdat anders de gevolgen een zodanige omvang kunnen aannemen dat effectieve adaptatie niet of alleen tegen een zeer hoge prijs mogelijk is. Hoe sneller en ambitieuzer de emissiereducties, des te groter is de kans dat de gevolgen milder zullen zijn, waardoor adaptatie beter mogelijk is.

Een palet aan mitigatie- en adaptatiemaatregelen is nodig om de risico's gerelateerd aan klimaatverandering te verminderen. In dit verband is het stimuleren van technologische ontwikkelingen en wetenschappelijk onderzoek om inzicht te krijgen in de effecten van mogelijke maatregelen zeer belangrijk. Om de kosteneffectiviteit te verhogen is het vaststellen van synergie belangrijk, om te komen tot een optimale 'mix' van adaptatie- en mitigatiemaatregelen.

Verschillende actoren dienen bij de implementatie van maatregelen te worden betrokken. Voor mitigatiemaatregelen heeft men te maken met een beperkt aantal, vastomlijnde sectoren zoals de energie- en transportsector, de industrie, huishoudens en de land- en bosbouwsector. Voor adaptatiemaatregelen is er sprake van een grote verscheidenheid aan actoren. Bijvoorbeeld uit de landbouw, volksgezondheid, toerisme en recreatie, drinkwatervoorziening, kustverdediging, stadsplanning en natuurbeheer.

Klimaatverandering kan de vooruitgang in de richting van duurzame ontwikkeling in de tweede helft van onze eeuw vertragen doordat het aanpassingsvermogen van landen dan sterk is afgenomen (**). Echter, een tijdig ingezette koers op duurzame ontwikkeling kan het adaptatievermogen doen toenemen en daarmee bijdragen aan het verminderen van de kwetsbaarheid voor klimaatverandering (**).

Kennisbehoefte

Sinds het verschijnen van het derde assessment rapport is er grote wetenschappelijke vooruitgang geboekt. Er kan een veel betere inschatting worden gemaakt over mogelijke consequenties van klimaatverandering voor natuurlijke systemen, sectoren en thema's. Desondanks zijn er nog belangrijke kennislacunes met betrekking tot:

- De gevolgen bij voor een breder scala aan scenario's voor sociaal-economische en technologische ontwikkelingen;
- De potentiële kosten van de gevolgen van klimaatverandering, met en zonder adaptatie- en mitigatiemaatregelen;
- De veerkracht van systemen; wanneer drempelwaarden worden overschreden of in hoeverre het 'point of no return' al is bereikt;
- Interacties met andere effecten veroorzaakt door bijvoorbeeld globalisering, armoede en institutionele ontwikkelingen;
- Synergie tussen duurzame ontwikkeling en adaptatie.
- Er is een behoorlijk tekort aan geografische balans in data en literatuur voor wat betreft waargenomen veranderingen, met voornamelijk schaarste in ontwikkelingslanden. (zie SPM pagina 2 - 2e alinea onderdeel B laatste zin)

Het IPCC pleit voor een groter aantal lange termijn studies, waarin voor grotere gebieden - meer fijnmazig en systematisch - waarnemingen worden gedaan. Vooral gebieden waarvan nog onvoldoende resultaten beschikbaar zijn, dienen hierin te worden betrokken. In dit verband is verdere vooruitgang in data-acquisitie en -analyse belangrijk om grotere hoeveelheden data te kunnen verwerken.

Wat betreft adaptatie stelt het IPCC dat vooral praktische ervaringen - 'learning-by-doing' - onze kennis hierover vergroten. Voor het bepalen van een optimale strategie is het daarbij van belang een beter beeld te verkrijgen van de kosten en baten van adaptatie- en mitigatiemaatregelen.

Temperatuurstijging °C >1990					
+0° C	+1° C	+2° C	+3° C	+4° C	+5° C
water	<p>toename irrigatievraag</p> <p>toename waterbeschikbaarheid in natte tropen en op hogere breedten</p> <p>afname waterbeschikbaarheid en droogte in gebieden dicht bij de evenaar</p> <p>honderden miljoenen mensen blootgesteld aan een toegenomen waterstress</p>			ca. 20% van de wereldbevolking heeft last van overstromingen	
ecosystemen		<p>20-30% van de soorten loopt groot gevaar om uit te sterven</p> <p>meeste koraal verbleekt</p> <p>15% van oppervlak ondergaat veranderingen</p>	<p>wijdverbreid afsterven koraal</p> <p>terrestrische ecosystemen worden een netto koolstofbron</p>	<p>verdwijning van soorten</p> <p>40% van het oppervlak ondergaat veranderingen</p>	
+0° C	+1° C	+2° C	+3° C	+4° C	+5° C
Temperatuurstijging °C >1861-1890					

Tabel 1.1. Mondiale effecten per thema ten gevolge van temperatuurstijging (geel: temperatuurstijging omstreeks 2020, roze omstreeks 2050 en blauw omstreeks 2080)

Temperatuurstijging °C >1990					
+0° C	+1° C	+2° C	+3° C	+4° C	+5° C
voedsel	<p>gewas-opbrengst neemt af op lagere breedten</p> <p>gewas-opbrengst neemt toe op hogere breedten</p>		<p>adaptief vermogen van veel gewassen wordt op lagere breedten overschreden</p>		
kusten	<p>toename schade door overstromingen en stormen</p>	<p>miljoenen meer mensen lopen risico door overstromingen</p>	<p>30% verlies aan kust en wetlands</p>		
Gezondheid	<p>verandering in verspreiding van ziekten en plagen en allergene pollen</p> <p>toename gevolgen van ondervoeding, diaree, hart- en vaatziekten en infectieziekten</p> <p>toename ziekte en sterfte door hittegolven, overstromingen en droogte</p>		<p>aanzienlijke belasting op gezondheidsdiensten</p>		
stijging zeespiegel	6 – 9 cm	15-24 cm	29-45 cm		
+0° C	+1° C	+2° C	+3° C	+4° C	+5° C
Temperatuurstijging °C >1861-1890					

vervolg Tabel 1.1.



landbouw, natuurbeheer
en visserij

Brochure IPCC Working Group II Fourth Assessment Report