

Klimaatprojecties voor de Benelux

STUDIEDAG

De Schelde in 2050

Antwerpen, 6 oktober 2004

Jules J. Beersma
Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI)
Postbus 201
3730 AE De Bilt
Nederland
Tel. +31 30 2206475

Onderzoeker afdeling Klimaatonderzoek en Seismologie
Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI)
Wilhelminalaan 10
3732 GK De Bilt
Tel. +31 30 2206911
Fax. + 31 30 2210407

Inleiding

De wereldgemiddelde temperatuur aan het aardoppervlak is sinds 1860 met ongeveer 0,6 graden Celsius toegenomen. De temperatuurstijging in de tweede helft van de 20^{ste} eeuw is voor een belangrijk deel het gevolg van de uitstoot van broeikasgassen door de mens. Dit was één van de meest opmerkelijke conclusies van het meest recente Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) rapport, dat in 2001 verscheen. Ook in de Benelux is het merkbaar warmer geworden. Dit hangt deels samen met de wereldwijde opwarming en deels met een verandering van stromingspatronen. Met de huidige kennis over het klimaatstelsel is het mogelijk aan de hand van schattingen van toekomstige uitstoot van broeikasgassen uitspraken te doen over de ontwikkeling van het klimaat in de komende honderd jaar.

In dit referaat worden de meest opvallende mondiale klimaatveranderingen die in de 20^{ste} eeuw hebben plaatsgevonden beschreven. Daarna worden mondiale klimaatprojecties voor de 21^{ste} eeuw gegeven. Vervolgens wordt ingezoomd op de verwachte veranderingen van het klimaat in Europa en de Benelux, en tenslotte worden (voor zover mogelijk) enkele klimaatscenario's voor de Schelde in 2050 geschetst. Maar eerst wordt de rol van het IPCC bij het tot stand komen van klimaatprojecties voor de toekomst toegelicht.

Het IPCC

Wereldwijd werken duizenden klimaatwetenschappers aan een beter begrip van het klimaatstelsel. De invloed van de mens op het klimaat is daarbij één van de centrale vraagstukken. Vanwege het grote maatschappelijke belang, de veelheid aan informatie en om de balans van het klimaatvraagstuk te kunnen opmaken geeft het IPCC iedere 5 à 6 jaar een overzicht van de wetenschappelijke stand van zaken op het gebied van klimaatverandering.

Het IPCC is in 1988 opgericht door de Wereld Meteorologische Organisatie en de Verenigde Naties. Er zijn drie IPCC werkgroepen die elk een rapport schrijven op basis van de meest actuele inzichten. Werkgroep I richt zich op de wetenschappelijke aspecten van het klimaatstelsel en de natuurlijke en door de mens veroorzaakte veranderingen daarin. Werkgroep II houdt zich bezig met de effecten van door de mens veroorzaakte klimaatveranderingen, de noodzakelijke aanpassingen en de mogelijkheden daartoe. Werkgroep III brengt mogelijke beleidsmaatregelen in kaart die door de mens veroorzaakte klimaatveranderingen moeten tegengaan. De IPCC rapporten zijn gepubliceerd op internet (www.ipcc.ch).

In 2001 is het Third Assessment Report (TAR), het meest recente overzicht, gepubliceerd. In het deelrapport van Werkgroep I wordt o.a. de ontwikkeling van het mondiale klimaat in de loop van de 20^{ste} eeuw beschreven. Daarnaast zijn, uitgaande van verschillende sociaal-economische scenario's, uitspraken gedaan over de ontwikkeling van het mondiale klimaat in de 21^{ste} eeuw.

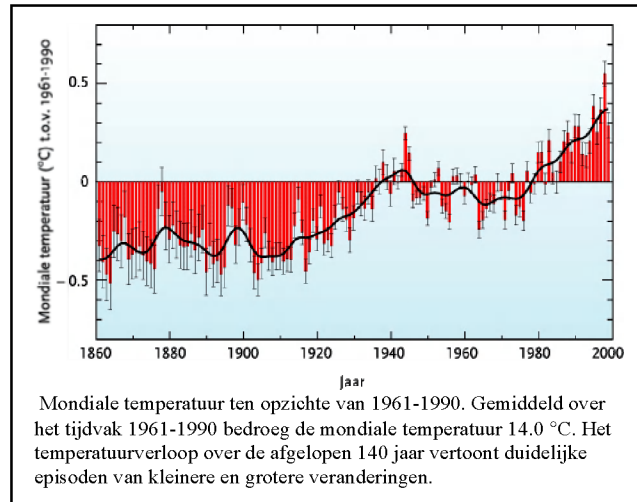
Mondiale klimaatveranderingen in de 20^{ste} eeuw

De mondiale temperatuur nabij het aardoppervlak is ongeveer 0,6°C gestegen

Gedurende de 20^{ste} eeuw is de mondiaal gemiddelde temperatuur (gemiddelde van de luchttemperatuur boven land en de zeewatertemperatuur) met ongeveer 0,6°C gestegen. Boven land steeg de temperatuur sneller dan boven zee; de trend in de luchttemperatuur is sinds 1950 ongeveer twee maal zo groot als die in de zeewatertemperatuur. De

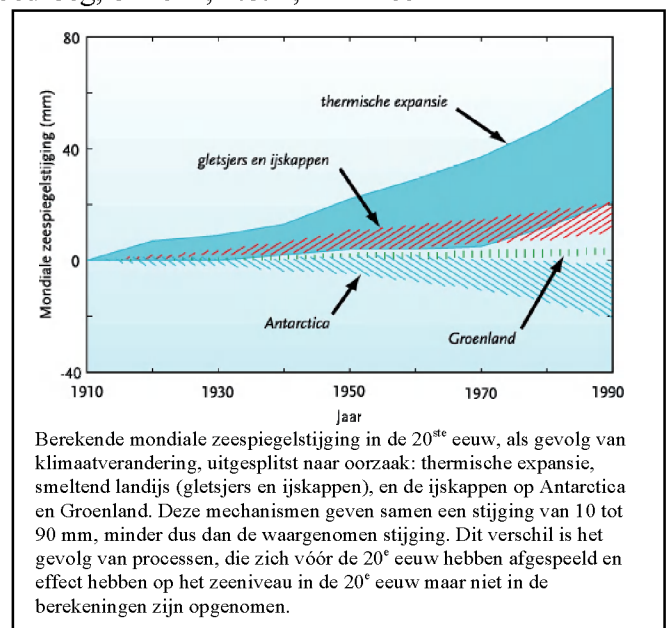
menselijke beïnvloeding van het klimaat is zichtbaar geworden in de temperatuurstijging sinds de jaren 1970. In het vorige IPCC rapport (1995), werd de toename van de mondiale temperatuur gedurende de 20^e eeuw nog geschat op ongeveer 0,45 °C. De warme jaren tussen 1995 en 2000 hebben dus een grote bijdrage geleverd aan de mondiale temperatuurstijging van de afgelopen eeuw. Vooral de minimumtemperaturen blijken te zijn gestegen. Extreem lage temperaturen zijn zeer waarschijnlijk zeldzamer geworden, terwijl een kleine toename optrad in de frequentie van extreem hoge temperaturen.

In het verloop van de wereldgemiddelde temperatuur zijn speciale gebeurtenissen zichtbaar, zoals de sterke 1997/98 El Niño en grote vulkaanuitbarstingen als de Pinatubo in 1991. Recente uitschieters in de temperatuur hebben de gemiddelde trend mede bepaald.



De zeespiegel steeg 0,1 tot 0,2 m

Thermische expansie is waarschijnlijk de hoofdoorzaak van de zeespiegelstijging, die volgens waarnemingen tussen de 1 en 2 mm/jaar bedroeg, ofwel 0,1 tot 0,2 m in een eeuw. Vergeleken met het smeltend landijs elders, leverde het afsmelten van de ijskap op Groenland slechts een geringe bijdrage aan de zeespiegelstijging. De Antarctische ijskap nam iets in volume toe, hetgeen de stijging beperkte. Slechts de helft van de waargenomen zeespiegelstijging kan worden verklaard uit veranderingen in het klimaat gedurende de 20^e eeuw. De grote thermische traagheid van de oceanen zorgt er namelijk voor dat klimaatveranderingen van honderden jaren geleden nog steeds in de zeespiegelstand doorwerken. De zeespiegelstijging is niet overal op aarde gelijk. Invloed van bodemdaling of -stijging, wind, oceaancirculatie en geografische



verdeling van zoutgehalte en temperatuur zorgen voor plaatselijke verschillen in de stijging van het zeeniveau.

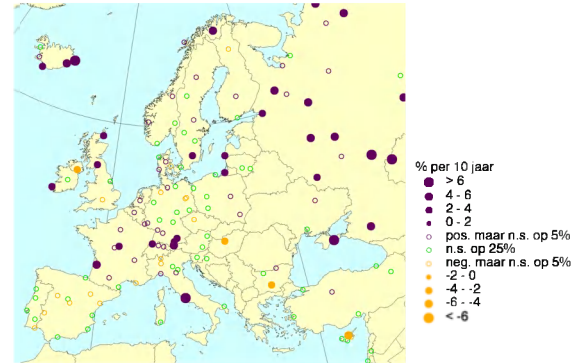
De hoeveelheid neerslag is in verschillende delen van de wereld toegenomen

Op de hogere breedtegraden van het noordelijk halfrond is de neerslag in de 20^{ste} eeuw tussen de 5 en 10% toegenomen, vooral in de continentale gebieden. De toename van de gemiddelde neerslag in de tweede helft van de 20^{ste} eeuw is voor een deel terug te voeren op een toename van extreme neerslag-

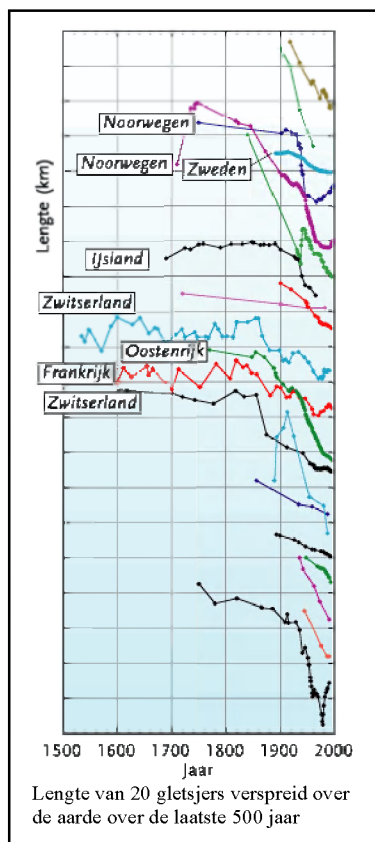
gebeurtenissen.

Gemiddeld over het noordelijk halfrond zijn deze waarschijnlijk met 2 tot 4% in aantal toegenomen. In de

20^{ste} eeuw is er gemiddeld over Nederland een significante toename van ongeveer 10% in de jaarlijkse neerslag opgetreden. Tevens heeft er een zwakke stijging van de maximale dagsommen in de winter plaats gevonden.



Europese trends in de jaarlijkse hoeveelheid neerslag (% per 10 jaar) in de periode 1946-1999. Paarse cirkels geven een toename weer, gele cirkels een afname. Open cirkels zijn niet-significante veranderingen. Voor Nederland is de trend in de winterneerslag sterker dan in de jaarlijkse hoeveelheid. (Bron: European Climate Assessment)



Sneeuw en ijsbedekking zijn afgenomen

Satellietwaarnemingen laten zien dat de afgelopen dertig jaar het gebied op het noordelijk halfrond dat 's winters met sneeuw is bedekt met circa 10% is afgenomen. Ook is een duidelijke afname van de lengte van gletsjers waargenomen, met uitzondering van gletsjers in gebieden waar de neerslag fors is toegenomen. De gemiddelde lengte van het seizoen waarin binnenmeren en riviermondingen op de gematigde en hogere breedtegraden van het noordelijk halfrond met ijs zijn bedekt is met ongeveer twee weken afgenomen.

Mondiale klimaatprojecties voor de 21^{ste} eeuw

De klimaatwetenschap heeft de afgelopen jaren flinke vorderingen gemaakt. Zo is nu aangetoond dat het klimaat aanzienlijk wordt beïnvloed door de menselijke uitstoot van broeikasgassen. De onzekerheden met betrekking tot het toekomstige klimaat zijn

evenwel groot gebleven. Enerzijds is het onmogelijk om een nauwkeurig beeld te geven van de toekomstige economische, demografische, sociale en technologische ontwikkelingen in de wereld, die uiteindelijk de toename van de hoeveelheid broeikasgassen en daarmee de verstoring van het klimaat bepalen. Anderzijds maakt de complexiteit van het klimaatsysteem dat de computermodellen waarmee klimaatverwachtingen worden opgesteld met onzekerheden zijn omgeven.

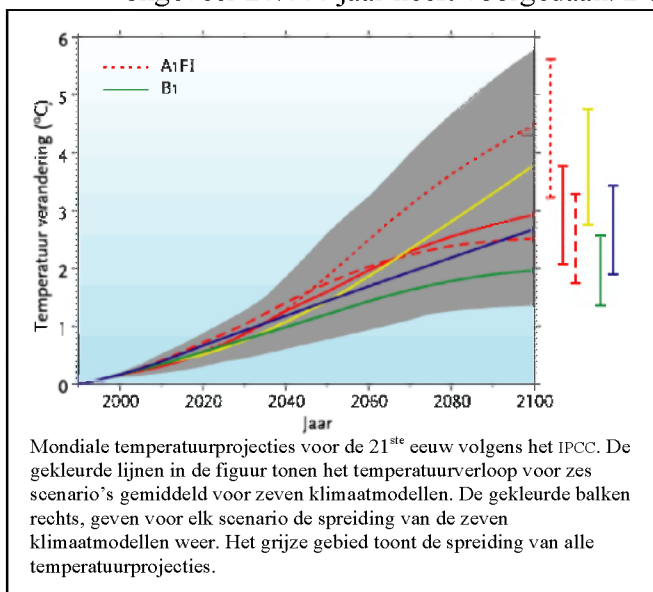
De onzekerheden in de toename van de broeikasgas concentraties worden in kaart gebracht door te werken met scenario's waarin ideeën over sociale, economische en technologische ontwikkelingen worden gecombineerd tot plausibele toekomstbeelden. Gezamenlijk schetsen de scenario's de contouren van de toekomst.

Ieder scenario wordt doorgerekend met een reeks van klimaatmodellen. De spreiding in het resultaat per scenario geeft zo een indruk van de onzekerheid van de modellen. Uiteindelijk levert deze werkwijze een waaier aan voorspellingen op. Op voorhand is niet aan te geven welke voorspelling de beste is. Daarom wordt de term voorspelling liever vermeden en spreekt men van projecties.

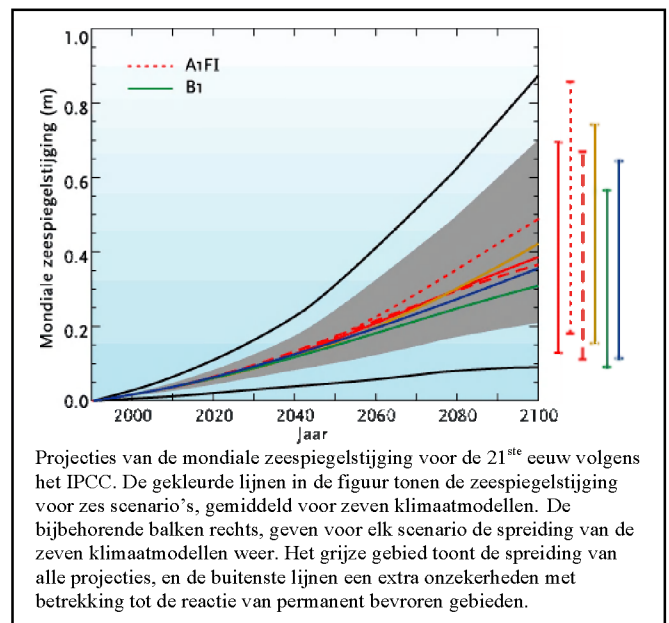
Het mondiale klimaat in de 21^{ste} eeuw

De mondiale temperatuur zal in de periode 1990-2100 verder stijgen met 1,4 tot 5,8°C. De bovengrens van deze range is van dezelfde orde als de natuurlijke temperatuuroptima sinds de laatste ijstijd, die zich over een veel langere periode van ongeveer 20.000 jaar heeft voorgedaan. De temperatuuroptima boven de continenten

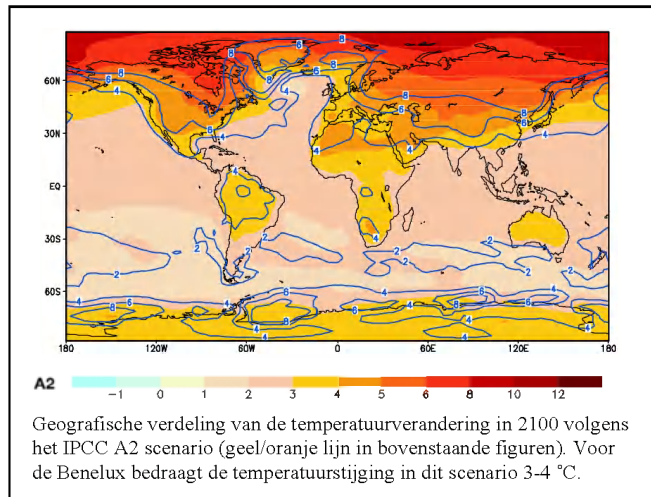
van het noordelijk halfrond zal tot 40% sterker zijn dan boven zee. De waterkringloop intensificeert waardoor er mondiaal gezien meer en heviger neerslag wordt verwacht. Die toename zal



vermoedelijk vooral plaatsvinden op de gematigde breedten, terwijl in de subtropen juist een afname wordt voorzien. Deze veranderingen gaan gepaard met toenemende jaarlijkse verschillen. Zee-ijs, gletsjers en landijs zullen zich verder terugtrekken, terwijl de ijsmassa van Antarctica door de



vergroting van de lokale hoeveelheid neerslag juist zal toenemen. Het niveau van de zeespiegel zal naar verwachting met 9 tot 88 cm stijgen. De opwarming zal na de 21^e eeuw, ook bij gelijkblijvende concentraties broeikasgassen, nog vele eeuwen doorwerken. Uiteindelijk wordt op een termijn van duizend jaar een zeespiegelstijging van enkele meters verwacht.

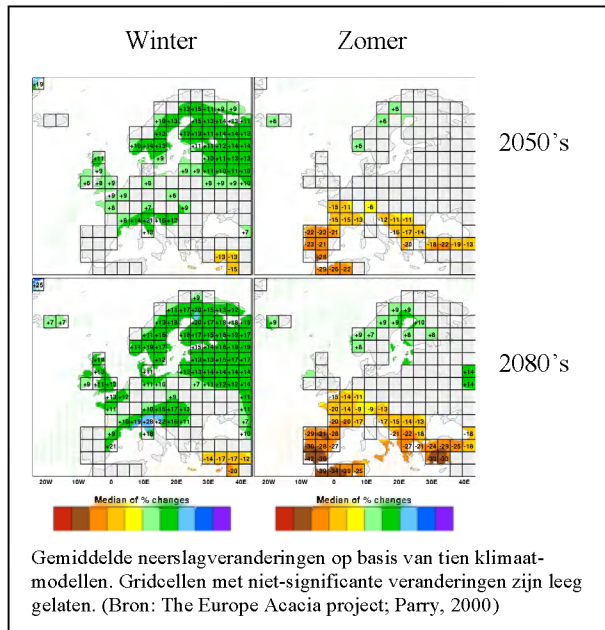


Klimaatprojecties voor Europa in de 21^{ste} eeuw

Naast de klimaatmodellen die het complete wereldklimaat simuleren worden steeds vaker fijnmazige klimaatmodellen voor bepaalde regio's gebruikt. Dergelijke regionale klimaatmodellen zijn nodig om betrouwbare uitspraken te kunnen doen over de gevolgen van de wereldwijde opwarming voor bijvoorbeeld West Europa.

Regionale klimaatverwachtingen zijn relatief lastig omdat kleine verschuivingen in ruimtelijke klimaatpatronen al snel een groot verschil maken op de regionale schaal. Bovendien zijn de jaar tot jaar fluctuaties in specifieke regio's over het algemeen veel groter dan de veranderingen in het wereldgemiddelde. De komende jaren staat de verdere verbetering van regionale klimaatprojecties dan ook hoog op de onderzoeksagenda.

De gemiddelde temperatuur in Europa zal vermoedelijk iets sterker toenemen dan het wereldgemiddelde. De kans op hittegolven neemt toe, de kans op vorstdagen neemt af. In de Scandinavische landen zal de wintertemperatuur waarschijnlijk veel sterker stijgen dan het wereldgemiddelde. In Zuid Europa lijken juist de zomertemperaturen omhoog te gaan. De zeespiegelstijging voor West Europa zal niet wezenlijk afwijken van het wereldgemiddelde, al moet men voor de Benelux ook nog rekening houden met een autonome bodemdaling. Voor Nederland bedraagt die daling ongeveer 10 cm per eeuw, vanwege inklinking van de veengronden.

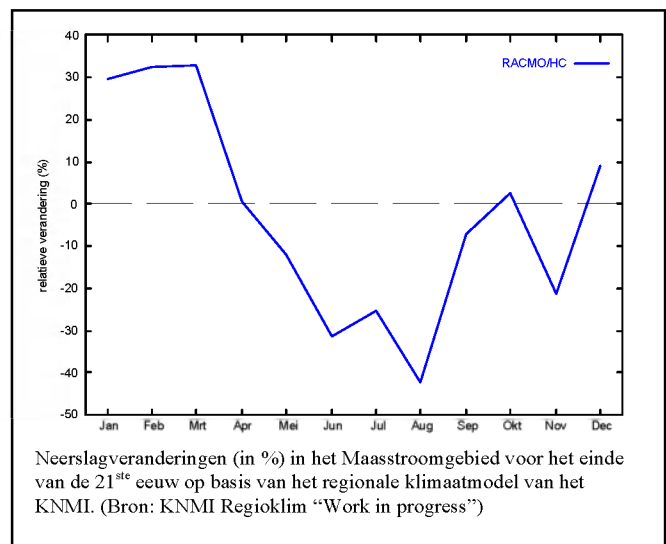
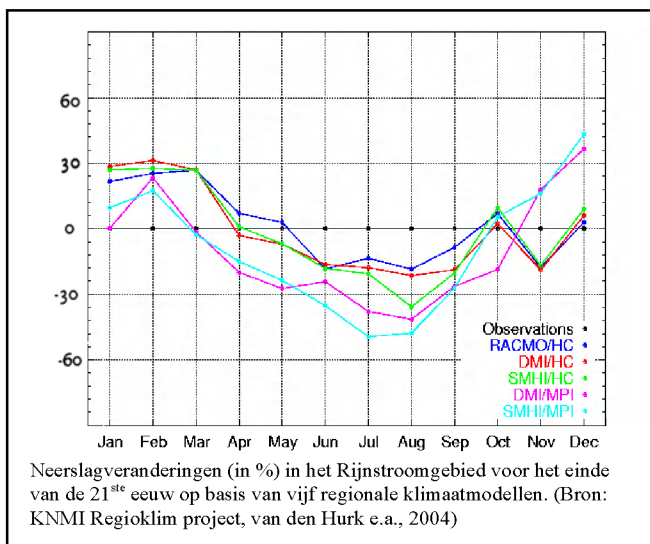


Het grillige karakter van neerslag maakt uitspraken over toekomstige ontwikkelingen onzeker. Er is een redelijke wetenschappelijke overeenstemming dat de winterneerslag in Noord Europa met 5 tot 20% zal toenemen, met name in Scandinavië, maar ook op lagere breedtegraden. De zomerneerslag kan in Zuid Europa wel tot 40% afnemen. In de zomer is de neerslagverandering vrij onzeker. Voor de Benelux komt dit mede omdat het niet zonder meer duidelijk is of de Benelux tot Noord – of Zuid Europa gerekend moet worden.

Naast veranderingen in de gemiddelde neerslag wordt er een toename van

langdurig zware neerslag en de kans op extreme buien verwacht.

De hogere temperaturen brengen meer verdamping met zich mee. In de zomer zal de (potentiële) verdamping meer toenemen dan de neerslag, terwijl in de winter de toename van neerslag de overhand heeft. De kans op zomerdroogte neemt daardoor toe, met name in Zuid Europa.



In de bovenstaande twee figuren worden de neerslagveranderingen voor het Rijn- en Maasstroomgebied op basis van regionale klimaatmodellen gepresenteerd. Voor beide stroomgebieden is, afhankelijk van het model, in de winter de neerslagtoename aan het eind van de 21^{ste} eeuw maximaal ongeveer 30% en in de zomer de neerslagafname maximaal 40-50%. Daar het stroomgebied van de Schelde heel dicht bij dat van de Maas

ligt kunnen we voor de Schelde vergelijkbare neerslagveranderingen verwachten als voor de Maas.

KNMI klimaatscenario's voor de Benelux in 2050

De huidige klimaatmodellen geven aan dat de te verwachten temperatuurstijging in de Benelux nagenoeg in de pas loopt met de stijging van de mondiale temperatuur.

Uitgaande van de mondiale temperatuurprojecties van het IPCC heeft het KNMI een drietal klimaatscenario's ontwikkeld voor het klimaat van de Benelux in het jaar 2050.

Voor wat betreft de neerslag zijn deze scenario's opgesteld door waargenomen verbanden tussen neerslag en temperatuur in Nederland door te trekken naar de toekomstige temperaturen. Daarbij is aangenomen dat die verbanden ook geldig zijn in het veranderde klimaat. Bovendien is aangenomen dat de atmosferische circulatie en het aantal dagen waarop neerslag valt niet wezenlijk veranderen. Afhankelijk van de temperatuurstoename in 2050 worden deze klimaatscenario's aangeduid met lage, centrale en hoge schatting (zie onderstaande tabel). In deze 3 scenario's is de relatieve toename van de neerslag in de winter groter dan in de zomer. De relatieve toename van de verdamping (voornamelijk door de hogere temperaturen) is in de zomer en winter gelijk. De absolute toename van de verdamping is – door de veel grotere verdamping in de zomer – in de zomer aanzienlijk groter dan in de winter, maar ook groter dan de absolute toename van de neerslag in de zomer, met een grotere kans op zomerdroogte als gevolg.

KNMI Klimaatscenario's voor de Benelux in 2050

Grootheid	Lage schatting	Centrale schatting	Hoge schatting	Droge zomers
Temperatuur	+0.5 °C	+1 °C	+2 °C	+2 °C (W) +3 °C (Z)
Gemiddelde winterneerslag	+3 %	+6 %	+12 %	+13 %
Gemiddelde zomerneerslag	+0.5 %	+1 %	+2 %	–20 %
Verdamping	+2 %	+4 %	+8 %	+8 % (W) +24 % (Z)
Zeespiegelstijging	+10 cm	+25 cm	+45 cm	+45 cm

Naast deze 3 scenario's is er nog een 4^e scenario geformuleerd waarin de neerslag verandering in de zomer overeenstemt met een relatief grote neerslagafname in een aantal regionale klimaatmodellen. Dit scenario wordt aangeduid met “droge zomers” en lijkt wat betreft de veranderingen in de winter (W) sterk op het scenario “hoge schatting”. Echter, in de zomer (Z) is de toename van de temperatuur en de verdamping in dit scenario groter en is er sprake van een aanzienlijke afname van de neerslag in tegenstelling tot een lichte toename in de overige scenario's (zie bovenstaande tabel).

In de vier klimaatscenario's voor 2050 varieert de zeespiegelstijging van 10 tot 45 cm waarbij rekening is gehouden met een autonome bodemdaling zoals die in Nederland plaats vindt.

De klimaatscenario's in de tabel moeten gezien worden als mogelijke realisaties van het klimaat in de Benelux binnen de onzekerheden zoals door het IPCC verwoordt. Een aantal veronderstellingen, waarvan het waarheidsgehalte niet is vast te stellen, ligt er aan ten grondslag. Andere aannamen leiden tot andere getallen. Dit neemt niet weg dat de klimaatscenario's in de tabel gebruikt kunnen worden als een plausibel uitgangspunt voor verkennende studies van de gevolgen van klimaatverandering in de Benelux. Zo wordt in Nederland het nationale waterbeleid voor de 21^{ste} eeuw mede gebaseerd op deze klimaatscenario's.

Samenvatting & conclusies

Hieronder volgt een samenvatting van de mogelijke veranderingen in het Schelde-klimaat en de mogelijke gevolgen voor de Schelde delta. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de veranderingen die naar verwachting in het winterseizoen dan wel in het zomerseizoen op zullen treden.

Veranderingen in het Schelde-klimaat in 2050 in de winter

- Een toename van de gemiddelde neerslag met 3 tot 13 %
- Een toename van de verdamping met 2 tot 8 % (NB deze toename is verwaarloosbaar t.o.v. de neerslagtoename omdat de verdamping in de winter klein is t.o.v. de neerslag)
 - Gemiddeld wordt het daardoor **natter**, omdat $\Delta(\text{Neerslag} - \text{Verdamping})$ **positief** is
- Een zeespiegelstijging van 10 tot 45 cm

Mogelijke gevolgen

- Een hogere gemiddelde afvoer in de Schelde rivier →
 - En daarmee een verhoogde kans op overstromingen (vooral een gevolg van het natter worden)
- Toename kusterosie in de zee-Schelde (een gevolg van de zeespiegelstijging)
- Verminderde mogelijkheden voor waterafvoer naar zee (een combinatie van de hogere gemiddelde afvoer en de zeespiegelstijging)

Veranderingen in het Schelde-klimaat in 2050 in de zomer

- Een verandering van de gemiddelde neerslag met +2 tot -20 %
- Een toename van de verdamping met 2 tot 24 % (NB nu **niet** verwaarloosbaar omdat de verdamping in de zomer ongeveer even groot is als de neerslag)
 - Gemiddeld wordt het daardoor **droger**, omdat $\Delta(\text{Neerslag} - \text{Verdamping})$ **negatief** is (het is echter onduidelijk hoeveel droger)

- Een zeespiegelstijging van 10 tot 45 cm

Mogelijke gevolgen

- Een lagere gemiddelde afvoer in de Schelde rivier →
 - Een toename van de zoutwater indringing
 - Een afname van de waterkwaliteit (chemisch en biologisch)
 - Een toename van kans op waterschaarste (water van voldoende kwaliteit)
 - Hinder (binnen)scheepvaart
- Toename kusterosie in de zee-Schelde (een gevolg van de zeespiegelstijging)

Referenties

Hurk, B. van den, M. Hirschi, G. Lenderink, E. van Meijgaard, A. van Ulden, B. Rockel, S. Hagemann, P. Graham and E. Kjellström, 2004. Soil control on runoff response to climate change in regional climate model simulations. Submitted to *Journal of Climate*.

Parry, M.L. (Ed.), 2000. Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: The Europe ACACIA Project. Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, UK, 320pp.

Websites

European Climate Assessment (ECA) project: <http://www.knmi.nl/samenw/eca/>

IPCC Rapporten: <http://www.ipcc.ch/>

KNMI Regioklim project: <http://www.knmi.nl/samenw/regioklim/>

KNMI Klimaatscenario's:

http://www.knmi.nl/onderzk/reindex.html?klmscen/Scenarios2001_Web.htm

The Europe Acacia project: http://www.jei.uea.ac.uk/projects/acacia_report.htm