



De (on)zekerheid van klimaatverandering

PETER DROOGERS, FUTUREWATER*

RONALD LOEVE, FUTUREWATER*

BART VAN DEN HURK, KNMI

Het Nationaal Bestuursakkoord Water gaat uit van een verandering van de neerslag die samenhangt met een mondiale temperatuurstijging van één graad Celsius in 2050 en twee graden Celsius aan het eind van de 21e eeuw. Berekeningen van neerslagverwachtingen met grootschalige klimaatmodellen, gebaseerd op een hoge uitstoot van broeikasgassen, zijn vergeleken met het toekomstbeeld uit het bestuursakkoord. De resultaten laten zien dat de spreiding tussen de neerslagprognoses van de klimaatmodellen vrij groot is, vooral in de winter. Wel bestaat een trend dat de meeste klimaatmodellen meer neerslag verwachten dan de toekomstbeelden waarop het Nationaal Bestuursakkoord Water gebaseerd is, wat deels samenhangt met de keuze voor het kooldioxide-emissiescenario. Lopend en nieuw op te starten onderzoek zal leiden tot nauwkeurigere neerslagverwachtingen en een betere afstemming tussen de vragers (waterbeheerders) en aanbieders (onder andere het KNMI) van klimaatinformatie.

Het is inmiddels een vaststaand feit dat het klimaat in de afgelopen honderd jaar sterk verandert. De zes warmste jaren sinds de waarnemingen van het KNMI begonnen, kwamen voor in de laatste tien jaar: 1995, 1997, 1998, 2001, 2002, 2003⁴⁾. Uitstoot van broeikasgassen, zoals kooldioxide, hebben geleid tot een ver-

sterkt broeikaseffect. Een verdere opwarming van de aarde lijkt onontkoombaar. Het waterbeleid in Nederland is er dan ook op gericht om te anticiperen op deze veranderingen. Zowel het rapport van de Commissie Waterbeheer 21e Eeuw (WB21) als het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) geven richt-

lijnen over de te verwachte klimaatveranderingen. Deze richtlijnen of toekomstbeelden** geven in een aantal scenario's het te verwachten klimaat in 2050 en 2100 weer en vormen voor de waterbeheerders een kapstok om hun beleid op te richten.

De vraag komt echter herhaaldelijk naar voren hoe representatief deze toekomstbeelden zijn. Ter illustratie analyseren we in dit artikel neerslagprojecties van een aantal zogeheten General Circulation Models (GCM's, zie het kader Klimaatmodellen), zoals gepubliceerd door het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Het is uitdrukkelijk niet de bedoeling om de toekomstbeelden zoals weergegeven in WB21 en NBW hier ter discussie te stellen: de bedoeling is om deze toekomstbeelden te beschouwen in het licht van de bestaande onzekerheid omtrent de ontwikkeling van het klimaat.

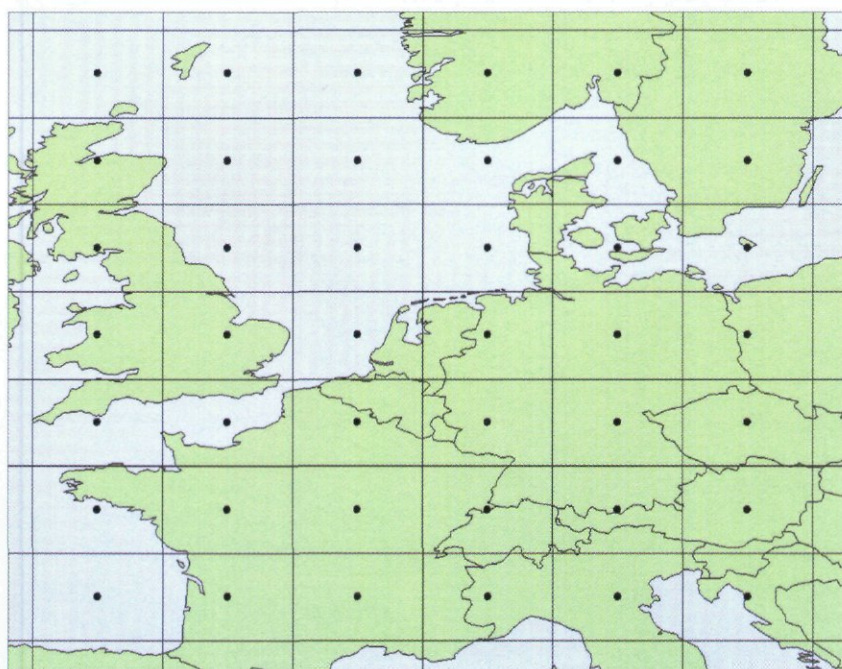
WB21- en NBW-scenario

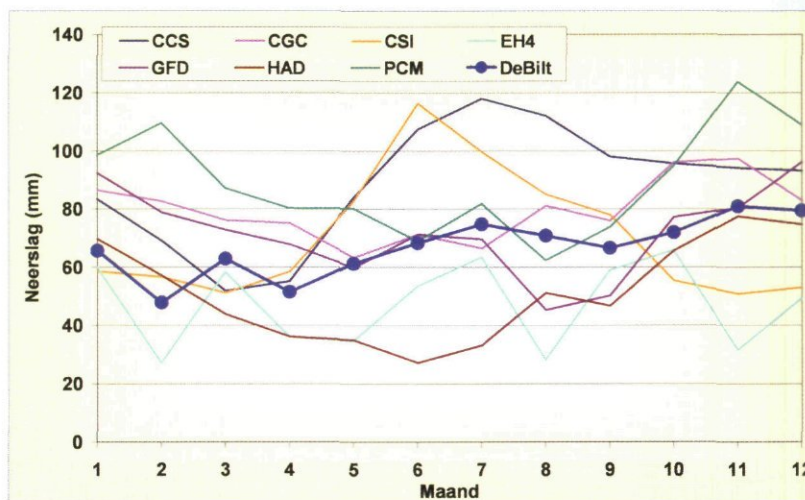
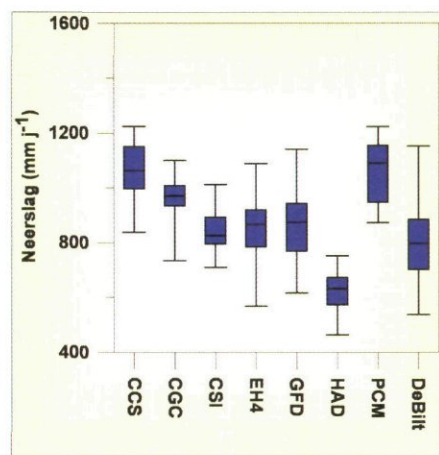
In het Nationaal Bestuursakkoord Water is duidelijk afgesproken om het watersysteem op orde te hebben en te behouden richting 2050. Klimaatverandering wordt als eerste van de vier redenen genoemd voor de veranderde wateropgave. In het NBW wordt aangegeven dat het als leidraad het middenscenario, zoals gedefinieerd in het rapport van de Commissie Waterbeheer 21e eeuw, moet dienen.

In WB21 wordt gesteld dat de problemen en knelpunten in het waterbeheer zullen toenemen en dat rekening moet worden gehouden met intensievere regenval, frequentere buien en langere periodes van regen. De kwantificering van deze toekomstbeelden (voor het 2050-middenscenario) zijn een stijging van de wereldgemiddelde temperatuur met één graad Celsius, een gemiddelde stijging van de jaarlijkse neerslag in Nederland met drie procent en een verhoogde intensiteit van de buien met tien procent. In het basisrapport van WB21 staat bovendien vermeld dat de zomerneerslag met één procent toeneemt en de winterneerslag met zes procent. Tenslotte wordt genoemd dat de verdamping met vier procent toeneemt, maar in het NBW is afgesproken om alleen de veranderingen in neerslag in beschouwing te nemen. Deze toename in verdamping zou echter de mogelijkheden van vasthouden in de bodem, om zodoende een gedeelte van de wateropgave op te lossen, aanzienlijk kunnen vergroten⁶⁾.

Neerslagprojecties met GCM's zijn veel minder nauwkeurig dan temperatuurprojecties. Daarom worden toekomstbeelden van deze voor het waterbeheer belangrijke variabele afgeleid uit de waargenomen correlatie tussen temperatuur en neerslag in Nederland

Afb. 1: Grid zoals toegepast voor de berekeningen van de klimaatprojecties door het klimaatmodel HadCM3.





Afb. 2: Vergelijking tussen de jaarlijkse neerslag, zoals gemeten bij De Bilt, en de zeven klimaatmodellen voor de periode 1961-1990 zonder lokale correctie. Links voor jaarlijkse totaal en rechts voor de maandelijkse verdeling.

Noot: de linker afbeelding is weergegeven als Box-Whisker plot. Hieraan zijn de minimale en maximale waarden weergegeven als lijnen, de 25 en 75%-waarden zijn als rechthoek weergegeven en de mediaan als lijntje in de rechthoek.

en gerelateerd aan GCM-projecties van de wereldgemiddelde temperatuur. De veranderingen in temperatuur in Nederland in de afgelopen eeuw lopen redelijk in de pas met de wereldgemiddelde temperatuurveranderingen.

Toch is het interessant om de neerslagprojecties uit de klimaatmodellen zelf eens te

vergelijken met de NBW-toekomstbeelden. De modellen zijn in de loop der jaren sinds het verschijnen van WB21 verbeterd. Bovendien geven de GCM-projecties een illustratie van de representativiteit van de NBW-norm, door analyse van de onderlinge verschillen tussen de projecties. De klimaatmodellen geven namelijk niet slechts één waarde, maar een spreiding van verwachtingen. Deze spreiding

heeft twee belangrijke oorzaken: de verschillen in de zeven klimaatmodellen en onzekerheid over de te verwachten uitstoot van kooldioxide, methaan en andere broeikasgassen. Voor dit laatste bestaan emissiescenario's, die gebaseerd zijn op verwachtingen voor bevolkingsgroei, economische groei en milieumaatregelen in de toekomst. In deze studie laten we resultaten zien van één van deze scenario's, het A2-scenario, wat een vrij pessimistische kijk op de wereld geeft voor wat de uitstoot van broeikasgassen betreft, maar nog steeds realistisch wordt genoemd. De toename van de temperatuur aan het eind van de 21e eeuw bedraagt volgens dit scenario gemiddeld ongeveer vier graden Celsius en twee graden Celsius rond 2050 volgens de GCM's. Deze waarden zijn dus hoger dan de temperatuurstijging waar het NBW van uitgegaan is, maar gelijk aan het maximumscenario van WB21.

Ondanks de verbeteringen van de klimaatmodellen die in de afgelopen jaren plaatsvonden, zijn lokale correcties noodzakelijk¹. We zullen eerst ingaan op de manier waarop deze correcties worden uitgevoerd en vervolgens de neerslagprojecties voor Nederland verder analyseren.

Lokale correctie GCM-projecties

De resultaten, zoals deze uit de verschillende klimaatmodellen naar voren komen, zijn vooral representatief voor grotere gebieden⁵. Als we kijken naar de GCM-projecties voor neerslag, zoals deze zijn uitgevoerd voor de referentieperiode 1961-1990, blijken ook verschillen te bestaan tussen de waarnemingen uit De Bilt en de klimaatberekeningen volgens de zeven klimaatmodellen (afbeelding 2). Hieruit blijkt dat de huidige neerslag voor Nederland

Klimaatmodellen

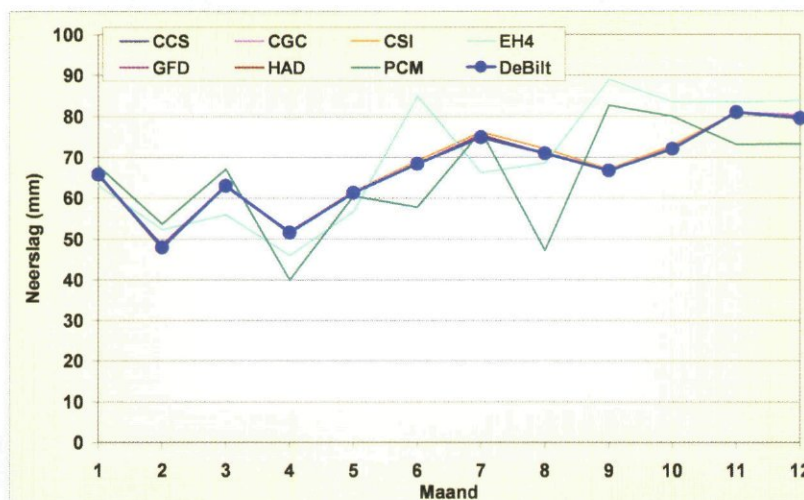
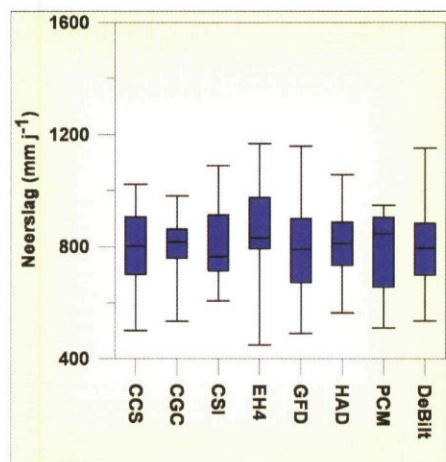
Klimaatmodellen worden gebruikt om projecties voor het toekomstige klimaat te genereren op wereldschaal. Deze klimaatmodellen zijn gebaseerd op fysische processen die beschreven worden door wiskundige vergelijkingen. Deze klimaatmodellen worden vaak aangeduid als General Circulation Model (GCM). Tegenwoordig wordt ook vaak de term AOGCM (Atmosphere-Ocean General Circulation Model) gebruikt, om expliciet te maken dat er een koppeling is tussen oceanografische en atmosferische modelcomponenten.

GCM's bereken het klimaat op wereldschaal door de hele aarde te verdelen in een driedimensionaal grid. De horizontale resolutie van dit grid is ongeveer 250 km en de verticale 1 km, afhankelijk van het gekozen klimaatmodel. Met andere woorden alle eigenschappen binnen een gebied van 250 bij 250 km worden geacht constant te zijn! Een illustratie van deze resolutie is te zien in afbeelding 1, waarbij duidelijk is dat heel Nederland wordt weergegeven door drie homogene gebieden. Interessant is nog dat het westelijke grid-punt dat over Nederland valt door het klimaatmodel wordt beschouwd als oceaan.

Momenteel zijn zeven klimaatmodellen opgenomen in de IPCC-dataset en zijn de wereldwijde klimaatprojecties hierop gebaseerd, waarvan de Nederlandse temperatuurverwachting, zoals beschreven in WB21, afgeleid zijn.

De zeven klimaatmodellen en de afkortingen zoals gebruikt in dit artikel zijn:

- CCS Japanese Centre for Climate System Research
- CGC Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis
- CSI Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
- EH4 Max-Planck-Institute (Hamburg)
- GFD US Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (Princeton)
- HAD Hadley Centre for Climate Prediction and Research (Bracknell)
- PCM National Centre for Atmospheric Research (Colorado)



Afb. 3: idem aan afbeelding 2, maar nu met correctie voor de lokale omstandigheden. Noot: EH4 en PCM zijn voor andere perioden gecorrigeerd en verschillen daardoor van de waarnemingen uit de periode 1961-1990.

niet goed berekend wordt en lokale correctie noodzakelijk is. Opmerkelijk is dat vooral het vaak toegepast HAD-model van het Britse Hadley Centre for Climate Change Projection een te lage schatting voor de neerslag laat zien. Ook tonen de meeste klimaatmodellen een geringere spreiding tussen de verschillende jaren dan de waargenomen spreiding.

Een aantal technieken voor lokale correctie zijn bekend³⁾, waarbij de meest toegepaste en

toegankelijke techniek 'statistical downscaling' is. Hierbij wordt voor een referentieperiode (1961-1990) de gemiddelde klimatologie van de waarnemingen en de GCM-projecties vergeleken en worden correctiefactoren afgeleid voor de GCM-waarden. Deze correctiefactoren worden vervolgens ook toegepast op de toekomstige klimaatverwachtingen. We nemen hierbij wel aan dat de oorzaken voor de verschillen tussen de berekeningen uit de klimaatmodellen en de waarnemingen in de referentieperiode niet zul-

len veranderen wanneer het klimaat verandert.

In deze studie gebruiken we een correctiemethode, waarbij zowel de maandelijks gemiddelde neerslag alsmede de maandelijks variatie in neerslag wordt meegenomen²⁾. Afbeelding 3 laat zien dat de correctie als effect heeft dat de maandelijks gemiddelde neerslag volgens de klimaatmodellen gelijk is aan de waargenomen neerslag. De twee uitzonderingen vormen het EH4- en het PCM-model, omdat deze geen resultaten voor 1961-1990 berekenen en de correctie gedaan is voor de periode 1990-1999 (EH4) en 1980-1990 (PCM). Afbeelding 3 (links) laat de jaarlijkse neerslag zien als mediaan, interkwartielen en spreiding. Opgemerkt dient te worden dat de maandelijks gemiddelde en de standaardafwijking voor de klimaatmodellen en de waarnemingen exact gelijk zijn als gevolg van de toegepaste correctiemethode. De jaarlijkse mediaan, interkwartielen en spreiding kunnen dus iets afwijken, aangezien de correctie per maand is uitgevoerd.

Tabel 1. Verwachte verandering van de neerslag in de zomer en winter, vergeleken met de waarnemingen van het KNMI (1961-1990). Schuin gedrukte waarden geven de range aan volgens de zeven klimaatmodellen aan. De percentages geven het verschil aan met de periode 1961-1990.

	jaar (mm)	zomer (mm)	winter (mm)	jaar (%)	zomer (%)	winter (%)
1961-1990	802	394	409			
2035-2064	882	388	494	+10	-2	+21
	810..1104	329-484	450-620	+1..+38	-16..+23	+10..+52
2070-2099	906	360	546	+13	-9	+33
	736..1186	254..458	461..800	-8..+48	-36..+16	+13..+96
NBW midden (2050)				+3	+1	+6
NBW maximum (2050)				+6	+2	+12

IPCC

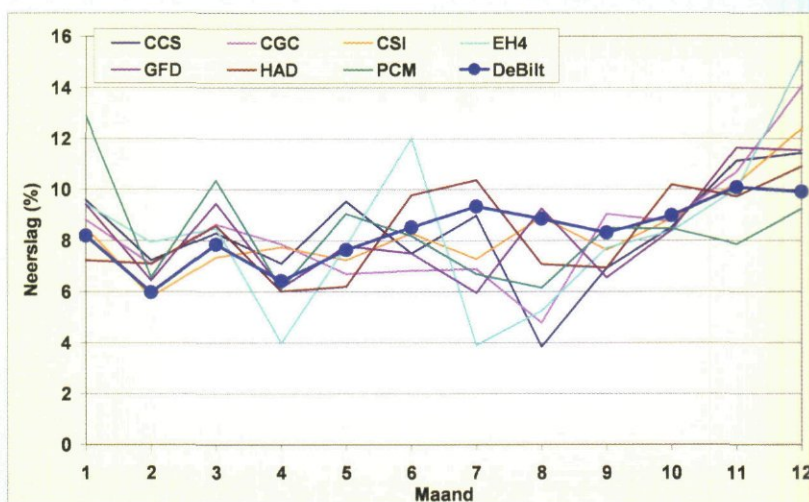
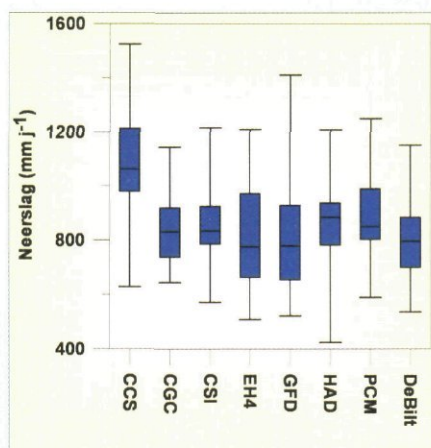
Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is het meest gezaghebbende orgaan op het gebied van klimaatverandering. Het inventariseert de wetenschappelijke, technische en socio-economische kanten van klimaatverandering, de mogelijke gevolgen en de wijze waarop vermindering van broeikasgasuitstoot en adaptatiestrategieën kunnen worden gerealiseerd.

Naast een secretariaat in Zwitserland zijn er wereldwijd honderden instituten en tienduizenden mensen die op één of andere manier bij het IPCC betrokken zijn. De belangrijkste uitgaven van de IPCC zijn de Assessments Reports, welke ongeveer elke vijf jaar verschijnen. Het tweede rapport uit 1995 vormde de basis voor het WB21. In dit artikel gebruiken we de gegevens van het derde Assessment Report uit 2001. Het vierde rapport zal waarschijnlijk in 2007 verschijnen.

Verwachtingen voor de toekomst

Na het bepalen van de lokale correctiefactoren kunnen we dus analyseren wat de klimaatmodellen voor neerslagprojecties laten zien en wat de variatie in deze projecties is. Hierbij richt de aandacht zich op het klimaat halverwege en aan het einde van deze eeuw. Voor de neerslagprojecties voor 2050 is de 30-jarige periode 2034-2065 gekozen. De zeven GCM-projecties laten gemiddeld een jaarlijkse neerslag van 882 mm zien, tegenover een waargenomen neerslag in De Bilt van 802 mm (1961-1990): een toename van tien procent (tabel 1). Door de resultaten van de klimaatmodellen afzonderlijk te bekijken, blijkt de toename van jaarlijkse neerslag te liggen tussen één (CGC) en 38 procent (CCS).

Als we echter kijken naar de verdeling tussen zomer- en winterneerslag (tabel 1 en



Afb. 4: Jaarlijkse (links) en maandelijks (rechts) neerslagverwachtingen voor de periode 2035-2064 volgens de zeven klimaatmodellen. De maandelijks waarden (rechts) zijn weer- gegeven als percentages van de jaarlijkse gemiddelde neerslag. Waarden van De Bilt zijn voor de referentieperiode 1961-1990.

afbeelding 4 rechts) blijkt de toename vooral in de winter plaats te vinden, waarbij de klimaatmodellen een toename van gemiddeld 21 procent laten zien. Wederom zijn er nogal wat verschillen: de toename ligt tussen de tien en 52 procent. Alle klimaatmodellen berekenen meer jaarlijkse neerslag: tussen de 8 en 302 mm per jaar, met een gemiddelde van 80 mm. Voor de winterneerslag laten de GCM-waarden zien tussen de 41 en 211 mm meer neerslag dan in de periode 1961-1990. Ter vergelijking: in het NBW wordt uitgegaan van 25 mm (zes procent) voor de winter.

Tenslotte kijken we nog even naar de projecties voor het einde van deze eeuw, waarvoor de 30-jarige periode van 2070-2099 is genomen. De berekende gemiddelde jaarlijkse neerslag ligt 13 procent hoger dan nu, waarbij de variatie ligt tussen acht procent droger en 48 procent natter (tabel 1). De verdeling tussen zomer- en winterneerslag wordt volgens de klimaatmodellen echter nog extremer en winters zullen gemiddeld 33 procent natter worden met een variatie tussen 13 en 96 procent.

Conclusies

De gepresenteerde resultaten zijn gebaseerd op grootschalige projecties, zoals berekend met behulp van zeven klimaatmodellen die door het IPCC zijn gepubliceerd. Het WB21 is voor wat betreft neerslag niet van deze grootschalige projecties uitgegaan, vanwege hun beperkte nauwkeurigheid op lokale schaal.

De resultaten laten zien dat de projecties onderling nog sterk verschillen. De toekomstbeelden uit het NBW vallen echter binnen de grenzen die de klimaatmodellen tonen voor de jaarlijkse neerslag, maar de toekomstbeelden voor de winterneerslag vallen aan de lage kant uit.

Zoals eerder aangegeven heeft deze studie slechts één scenario voor de GCM-projecties in beschouwing genomen (het A2-scenario), wat voor de temperatuur afwijkt van het WB21-middenscenario en meer op het WB21-maximumscenario lijkt. Indien we de GCM-projecties zouden vergelijken met dit maximumscenario, blijkt echter ook nog steeds dat GCM-projecties hogere verwachtingen voor met name winterneerslag laten zien dan de huidige NBW-toekomstbeelden (tabel 1).

Het is echter nog niet aan de orde om de NBW-toekomstbeelden aan te passen. De neerslagprognoses van de klimaatmodellen zijn nog niet voldoende betrouwbaar. Deze vergelijking geeft echter wel een indicatie dat een eventuele bijstellingen van de NBW-toekomstbeelden richting het maximumscenario eerder naar boven (dus meer neerslag) dan naar beneden zullen moeten plaatsvinden.

Hoe nu verder? Het lopende en nieuw onderzoek aan klimaatmodellen en emissiescenario's zal naar verwachting een betrouwbaarder beeld opleveren van de mogelijke toekomstige klimaatontwikkelingen. Rond 2007 zal het IPCC nieuwe projecties publiceren, gebaseerd op verbeterde inzichten en wetenschappelijke ontwikkelingen én op nieuwe meetreeksen.

Ontwikkelingen van de maandgemiddelde neerslag is niet voor alle toepassingen toereikend. Het is vooral van belang hoe herhalings- tijden van toekomstige kortdurende neerslag- extremen zich zullen ontwikkelen. Ook hier staat het onderzoek niet stil. Een aantal initiatieven is inmiddels gelanceerd om meer in te kunnen spelen op de specifieke informatiebe- hoeftte van waterbeheerders⁷⁾ en het BSIK- onderzoeksprogramma 'Klimaat voor ruimte' geleid door onder andere het KNMI. 

LITERATUUR

- 1) Aerts J. en P. Droogers (2004). Climate change in contrasting river basins: Adaptation strategies for water, food, and environment.
- 2) Gomez B., M. Njie, B. Jallow, M. Hellmuth, J. Callaway en P. Droogers (2004). Adaptation to climate change for agriculture in The Gambia. Assessment of impact and adaptation to climate change. AIACC working paper (submitted).
- 3) IPCC-TGCI (1999). Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment, version 1. Prepared by Carter T., M. Hulme, en M. Lal. 4) KNMI (2003). De toekomst van het klimaat in Nederland.
- 5) Kors A., F. Claessen, J. Wesseling en G. Können (2000). Scenario's externe krachten t.b.v. WB21. RIZA.
- 6) Meijer F., M. Jaarsma, R. Loeve en P. Droogers (2004). Vasthouden van water met regelbare stuwen. H₂O nr. 12, pag. 24-27.
- 7) STOWA (2002). Statistiek van extreme neerslag in Nederland, definitiestudie. STOWA-rapport 2002-24.

NOTEN

- * FutureWater is een advies- en onderzoeksbureau dat zich richt op de duurzame toekomst van het water.
- ** Over het gebruik van woorden als toekomstbeelden, scenario's, projectie, verwachtingen en voorspellingen bestaat veel discussie. In dit artikel maken we gebruik van 'scenario' om aan te geven dat er verschillende mogelijkheden voor de toekomst zijn (afhankelijk van onder andere bevolkingsgroei, economische groei en milieubeleid) en dat voor elk scenario een bepaalde verwachting geldt. Een toekomstbeeld is dan een combinatie van een scenario met de bijbehorende verwachting. De term 'projectie' wordt hier gebruikt om aan te geven dat het om verwachtingen gaat die berekend zijn met klimaatmodellen.