

## Klimaatverandering en de afvoer van Rijn en Maas

RIZA memo: WRR/2007-006

# Klimaatverandering en de afvoer van Rijn en Maas

Auteurs:

Marcel de Wit<sup>1</sup>, Hendrik Buiteveld<sup>1</sup>, Willem van Deursen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Rijkswaterstaat RIZA WRR

<sup>2</sup> Carthago Consultancy, Rotterdam

Arnhem, Juni 2007

RIZA memo: WRR/2007-006

Rijkswaterstaat RIZA  
Postbus 9072  
6800 ED Arnhem  
The Netherlands

In deze memo wordt de visie van de auteurs weergegeven, niet die van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

## **Samenvatting**

De waterbeheerders in Nederland bereiden zich sinds het einde van de jaren negentig serieus voor op de gevolgen van klimaatverandering. Tot op heden gebeurde dit op basis van klimaatscenario's die in het kader van Waterbeheer 21<sup>ste</sup> eeuw (WB21) zijn gepresenteerd. De nieuwe KNMI06-scenario's geven de laatste inzichten in de gevolgen van klimaatverandering voor Nederland. In deze korte verkenning bekijken we of de in WB21 gehanteerde uitgangspunten voor Rijn en Maas nog actueel zijn. Hiertoe vergelijken we simulaties van het afvoerregime van Rijn en Maas met de oude en de nieuwe klimaatscenario's. Wij besteden speciale aandacht aan de verandering van de maatgevende afvoer van Rijn en Maas. Deze memo geeft tevens een overzicht van recente wetenschappelijke studies en inzicht in de onzekerheden die inherent zijn aan het inschatten van extreme omstandigheden in een 'verre' toekomst. Wij concluderen dat de KNMI06-scenario's vergelijkbare inzichten over de invloed van klimaatverandering op de maatgevende afvoer van Rijn en Maas opleveren als de WB21 scenario's.



## Scenario's voor het waterbeheer

In het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) zijn afspraken gemaakt tussen rijk, provincies, waterschappen en gemeenten om het watersysteem in 2015 op orde te hebben en te houden bij de verwachte klimaatverandering, zeespiegelstijging, bodemdaling en verstedelijking. Daarbij is een groot bewustzijn dat door klimaatverandering in de toekomst vaker situaties met wateroverlast en watertekorten te verwachten zijn. Ook wordt beseft dat het klimaatbestendig maken van Nederland zich verder uitstrekt dan alleen de watersector. Dit heeft bijvoorbeeld geleid tot het nationale programma "Adaptatie, Ruimte en Klimaatverandering" (ARK), dat in 2006 is gestart. Momenteel vormen de WB21 scenario's het uitgangspunt voor het toekomstig waterbeheer. Hierin wordt een laag, midden en hoog scenario onderscheiden. De bijbehorende karakteristieken voor verandering van onder meer temperatuur, neerslag, verdamping, en zeespiegelstijging zijn weergegeven in tabel 1. Bij uitwerking in het waterbeheer is vaak praktisch het middenscenario gehanteerd.

Tabel 1. Samenvatting van de verandering van variabelen in de WB21 scenario's (www.knmi.nl)

Scenario 2050	laag	midden	hoog
Stijging gemiddelde jaartemperatuur (°C)	+0.5	+1	+2
Gemiddelde jaarlijkse neerslag (%)	+1.5	+3	+6
Neerslag in zomerhalfjaar (%)	+0.5	+1	+2
Neerslag in winterhalfjaar (%)	+3	+6	+12
10-daagse neerslagsom (%)	+5	+10	+20
Dagelijkse neerslagsom met een huidige herhalingsstijg van eens in de 100 jaar (jaar)	90	78	62
Jaarlijkse evaporatie (%)	+2	+4	+8
Relatieve zeespiegelstijging (cm)	+10	+25	+45
Intensiteit van stormen (%)	-5 tot +5	-5 tot +5	-5 tot +5

Scenario 2100	laag	midden	hoog
Stijging gemiddelde jaartemperatuur (°C)	+1	+2	+4-6
Gemiddelde jaarlijkse neerslag (%)	+3	+6	+12
Neerslag in zomerhalfjaar (%)	+1	+2	+4
Neerslag in winterhalfjaar (%)	+6	+12	+25
10-daagse neerslagsom (%)	+10	+20	+40
Dagelijkse neerslagsom met een huidige herhalingsstijg van eens in de 100 jaar (jaar)	78	62	40
Jaarlijkse evaporatie (%)	+4	+8	+16
Relatieve zeespiegelstijging (cm)	+20	+60	+110
Intensiteit van stormen (%)	-5 tot +5	-5 tot +5	-5 tot +5

Gebaseerd op nieuwste inzichten van het wereldwijde klimaatonderzoek heeft het KNMI in 2006 nieuwe scenario's gepresenteerd (KNMI06 scenario's). Deze scenario's laten zien dat een temperatuurstijging van 1 graad (scenario G=gematigd) niet meer het midden maar juist een onderkant van de bandbreedte van temperatuurstijging vertegenwoordigt. De W staat voor warm. Bij de +scenario's (G+, W+) wordt uitgegaan van een verandering in de luchtstroming. In deze +scenario's worden de zomers fors droger vergeleken met de huidige situatie en ook met de WB21 scenario's. De bijbehorende karakteristieken voor verandering van onder meer neerslag, verdamping, en zeespiegelstijging voor alle vier de KNMI06 scenario's zijn weergegeven in tabel 2. Meer details over de KNMI06 scenario's zijn terug te lezen op de website van het KNMI en KNMI (2006).

**Tabel 2.** Samenvatting van de verandering van variabelen in de KNMI06 scenario's ([www.knmi.nl](http://www.knmi.nl))

Scenario 2050		G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging		+1°C	+1°C	+2°C	+2°C
Verandering in luchtstromingspatronen in West Europa		nee	ja	nee	ja
Winter	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,1°C	+1,8°C	+2,3°C
	koudste winterdag per jaar	+1,0°C	+1,5°C	+2,1°C	+2,9°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+4%	+7%	+7%	+14%
	aantal natte dagen (≥0,1 mm)	0%	+1%	0%	+2%
	10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+4%	+6%	+8%	+12%
Zomer	hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar	0%	+2%	-1%	+4%
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,4°C	+1,7°C	+2,8°C
	warmste zomerdag per jaar	+1,0°C	+1,9°C	+2,1°C	+3,8°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-10%	+6%	-19%
	aantal natte dagen	-2%	-10%	-3%	-19%
	dagsom van de neerslag die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+13%	+5%	+27%	+10%
Zeespiegel	potentiële verdamping	+3%	+8%	+7%	+15%
	absolute stijging	15-25 cm	15-25 cm	20-35 cm	20-35 cm

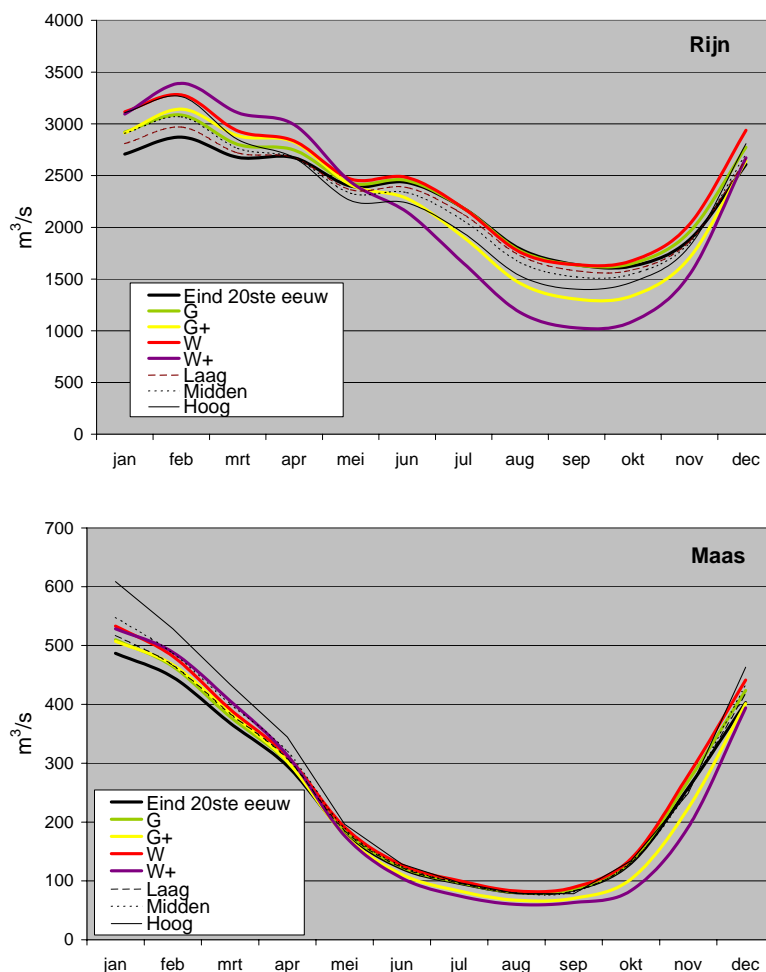
Scenario 2100		G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging in 2100		+2°C	+2°C	+4°C	+4°C
Verandering in luchtstromingspatronen in West Europa		nee	ja	nee	ja
Winter	gemiddelde temperatuur	+1,8°C	+2,3°C	+3,6°C	+4,6°C
	koudste winterdag per jaar	+2,1°C	+2,9°C	+4,2°C	+5,8°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+7%	+14%	+14%	+28%
	aantal natte dagen (≥0,1 mm)	0%	+2%	0%	+4%
	10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+8%	+12%	+16%	+24%
Zomer	hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar	-1%	+4%	-2%	+8%
	gemiddelde temperatuur	+1,7°C	+2,8°C	+3,4°C	+5,6°C
	warmste zomerdag per jaar	+2,1°C	+3,8°C	+4,2°C	+7,6°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+6%	-19%	+12%	-38%
	aantal natte dagen	-3%	-19%	-6%	-38%
	dagsom van de neerslag die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+27%	+10%	+54%	+20%
Zeespiegel	potentiële verdamping	+7%	+15%	+14%	+30%
	absolute stijging	35-60 cm	35-60 cm	40-85 cm	40-85 cm

## Verandering van het afvoerregime van Rijn en Maas

De in tabel 1 en 2 vermelde veranderingen zijn door het KNMI omgezet in gemiddelde veranderingen per decade. De decadegemiddelde verandering in temperatuur, neerslag en verdamping zijn rechtstreeks toegepast op gemeten temperatuur-, neerslag- en verdampingreeksen. Deze veranderde reeksen zijn vervolgens doorgerekend met een hydrologisch model voor het Rijn- en Maasstroomgebied. Figuur 1 geeft het huidige en veranderde afvoerregime van de Rijn en de Maas op basis van gemeten en veranderde temperatuur-, neerslag- en verdampingreeksen. Het laag, midden en hoog scenario refereren naar WB21 voor 2050 en de G, G+, W, W+ refereren naar de KNMI06 scenario's voor 2050. Uit alle scenario's ontstaat het beeld dat de afvoeren in de winter toenemen en in de zomer afnemen. Voor de Rijn komen voor de winterperiode de G en W scenario's ongeveer overeen met respectievelijk WB21 midden en WB21 hoog scenario. Voor de Maas komen voor de winterperiode de G en W scenario's ongeveer overeen met respectievelijk WB21 laag en WB21 midden scenario. In de zomer geven G+ en W+ een sterke daling van de afvoeren, sterker dan in de WB21-scenario's.

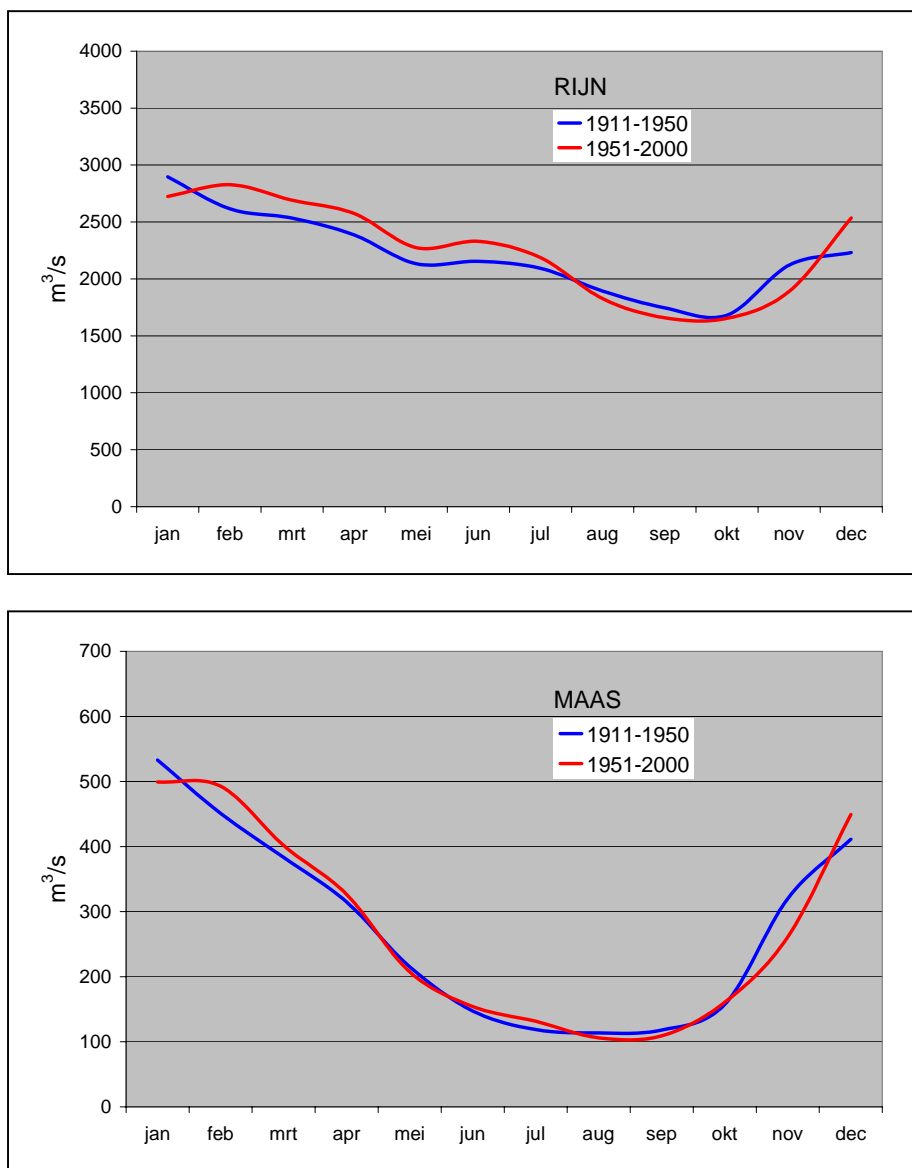
**Figuur 1.** Verandering in het afvoerregime van Rijn (Lobith) en Maas (Borgharen). Eind 20<sup>ste</sup> eeuw versus 2050.

Gebaseerd op een simulatie met Rhineflow en Meuseflow (van Deursen, 2006). Dezelfde exercitie is ook uitgevoerd met een ander hydrologisch model: HBV. Dit levert vergelijkbare uitkomsten op (zie te Linde, 2007).



Voor de Rijn bij Lobith zijn dagelijkse afvoermetingen vanaf 1901 aanwezig. Voor de Maas bij Borgharen zijn dagelijkse afvoermetingen vanaf 1911 aanwezig. Ter vergelijking van scenario's voor de 21<sup>ste</sup> eeuw is het interessant om te kijken of er over de afgelopen eeuw veranderingen in het afvoerregime van Rijn en Maas zijn waar te nemen. Dit vergelijking is weergegeven in figuur 2. Zowel voor de Rijn als de Maas is de gemiddeld hoogste en laagste maandafvoer niet wezenlijk veranderd. In beide rivieren lijkt de afvoer in het voorjaar wat te zijn toegenomen en in het najaar wat te zijn afgenomen. De waargenomen veranderingen binnen de 20<sup>ste</sup> eeuw zijn kleiner dan de verwachte veranderingen in de loop van de 21<sup>ste</sup> eeuw.

**Figuur 2.** Verandering in het afvoerregime van Rijn (Lobith) en Maas (Borgharen). Eerste helft 20<sup>ste</sup> eeuw (1911-1950) versus tweede helft 20<sup>ste</sup> eeuw (1951-2000). Voor de Maas is de meetreeks gecorrigeerd voor de onttrekkingen door de kanalen tussen Luik en Borgharen.





## Wetenschappelijke inzichten

Er zijn de afgelopen jaren veel wetenschappelijke studies gewijd aan het simuleren van de gevolgen van klimaatveranderingen voor het optreden van hoogwater en laagwater in stroomgebieden in Noordwest Europa. Bij deze studies gebruikt men de oorspronkelijke uitkomsten van klimaatmodellen en niet de hieruit afgeleide overzichtsscenario's van WB21 (tabel 1) en KNMI06 (tabel 2).

Gellens & Roulin (1998) simuleren voor zes verschillende klimaatscenario's de gevolgen voor het afvoerregime van acht verschillende stroomgebieden in België. Deze simulaties wijzen over het algemeen op een toename van de overstromingsfrequentie in de winter, met name in de stroomgebieden waar een groot deel van het water oppervlakkig afstroomt (de Ardennen). In een gemeenschappelijke Belgische studie simuleren Smitz et al. (2002) voor drie verschillende klimaatscenario's de gevolgen voor het afvoerregime van de Ourthe en Jeker. Zij concluderen dat klimaatverandering een significante invloed kan hebben op het afvoerregime van Belgische rivieren. De verschillen tussen de klimaatscenario's zijn echter groot en variëren van een toename tot een afname van de gemiddelde winterafvoer. Booij (2005) modelleert het neerslag/afvoer proces in het Maasstroomgebied met en zonder klimaatverandering en voorziet een toename van de kans op extreem hoge afvoeren in de Maas. De verandering van het afvoerregime van de Rijn is de afgelopen jaren onder andere beschreven in Kwadijk (1993), Grabs et al. (1997), Middelkoop et al. (2001), Shabalova et al. (2003), Kleinn et al. (2005) en Lenderink et al. (2007). Het algemene beeld wat uit al deze studies rolt is dat de Rijnafvoer in de winter zal toenemen en in de zomer zal afnemen. De mate waarin hangt vooral sterk af van de klimaatscenario's (of modellen) die worden gebruikt. Vergelijkbare resultaten als hierboven beschreven voor Rijn- en Maasstroomgebied worden gerapporteerd voor Duitsland (Müller-Wohlfeil et al., 2000; Menzel et al., 2002), Saone en Seine (Tanguy, 2005) en Groot-Brittannië (Sefton & Boorman, 1996; Pilling & Jones, 1999).

In een aantal van de hierboven vermelde studies is de zogenaamde 'delta methode' toegepast. De verandering tussen huidig en toekomstig klimaat wordt rechtstreeks toegepast op gemeten reeksen van neerslag, temperatuur en verdamping. Nadeel van deze methode is dat veranderingen in de variabiliteit van bijvoorbeeld de neerslag niet worden meegenomen. Voordeel is dat het een robuuste methode is die niet hoeft te corrigeren voor afwijkingen tussen het gemeten huidige klimaat en het gemodelleerde huidige klimaat. Alternatief is de zogenaamde 'directe methode'. Hierbij bereken je zowel voor het huidige als het toekomstige klimaat de afvoeren op basis van de oorspronkelijke resultaten van een klimaatmodel. Lenderink et al. (2007) laat zien dat het nogal uitmaakt welk van de twee methode je kiest, vooral wanneer je in extreme afvoeren geïnteresseerd bent. Zo berekenen zij dat een Rijnafvoer met een terugkeertijd van eens in de 100 jaar volgens de directe methode met 10% zal toenemen en volgens de delta methode met 40%. Een recente (Leander & Buishand, 2007) en lopende (Leander et al., in voorbereiding) studie illustreren echter een belangrijke beperking bij het gebruik van de directe methode. De klimaatmodellen hebben moeite om de variabiliteit van de winterneerslag in het huidige klimaat goed te reproduceren. Dit geeft te denken over het vermogen

van deze modellen om de veranderingen in de variabiliteit van de winterneerslag in een toekomstig klimaat goed te kunnen simuleren.

Hogere temperaturen zullen er toe leiden dat de sneeuw in de Alpen eerder in het jaar smelt. Dat heeft tot gevolg dat de afvoeren op de Rijn in winter en vroege voorjaar zal toenemen en in zomer en vroege najaar zal afnemen. Bovendien zal door hogere temperaturen de sneeuwgrens opschuiven, waardoor er mogelijk ook minder buffering van neerslag in de vorm van sneeuw plaatsvindt. Tijdens droge perioden in de zomer is de bijdrage van sneeuwsmelt in de Alpen aan de afvoer bij Lobith groot. In zomers met een lage afvoer bestaat de afvoer van de Rijn bij Lobith voor meer dan 80% uit water dat uit Zwitserland afkomstig is. Het leidt dan ook weinig twijfel dat de toename van de temperatuur in de Rijn tot een toename van de kans op zomerlaagwater leidt.

De invloed van een mogelijke klimaatverandering op het voorkomen van extreem lage afvoeren in de Maas is minder eenduidig. Enerzijds zal een afname van de zomerneerslag en een toename van de verdamping tot een afname van de zomerafvoer leiden. Anderzijds leidt een toename van de winterneerslag tot een aanvulling van het grondwater en daarmee tot een verhoging van de basisafvoer (de Wit et al., 2007). Vraag is wat het verwachte gezamenlijke effect van deze beide veranderingen zal zijn.

Uit bovenstaande studies blijkt ook dat er nog veel onzekerheden zijn, zowel in de klimaatscenario's die worden gebruikt als in de hydrologische modellen. Die onzekerheden gelden vooral voor extreme condities. Vanuit de wetenschap is er geen eenduidig antwoord te geven op de vraag: wat is de maatgevende afvoer van de Rijn en Maas aan het einde van de 21<sup>ste</sup> eeuw? Dat neemt niet weg dat er over de afgelopen jaren wel een eenduidige richting is: toename van de kans op hoge winterafvoeren en, met name voor de Rijn, een toename van de kans op lage afvoeren in de zomer. Hetzelfde beeld dus als dat is weergegeven in figuur 1.

## **WB 21 scenario's voor de verandering van extreme afvoeren Rijn en Maas**

Op basis van de huidige wetenschappelijke inzichten verwachten we een toename van de maatgevende afvoer van Rijn en Maas. De bepaling van een toekomstige maatgevende afvoer is echter met grote onzekerheden gemoed. Als waterbeheerder kun je twee dingen doen. Je kunt redeneren dat het allemaal erg onzeker is. We wachten rustig af wat er komen gaat. Je kunt ook redeneren dat de maatregelen om in te spelen op een verandering van de maatgevende afvoer veel tijd en ruimte kosten en dat je beter nu al rekening kan houden met klimaatverandering. In Nederland doen wij iets wat er tussenin zit. Er zijn de afgelopen jaren verkennende studies uitgevoerd waarbij is gekeken naar de maatregelen die nodig zijn indien de verwachte toename van de maatgevende afvoer ook echt plaats vindt. De bevindingen van deze studies zijn gebruikt om de maatregelen die sowieso ('zonder' klimaatverandering) genomen moeten worden te toetsen op hun robuustheid voor een mogelijke toekomst met klimaatverandering. Maatregelen die ook in een toekomst met klimaatverandering effectief zijn verdienen de voorkeur boven maatregelen die dat niet zijn. Hieronder staat uiteengezet hoe de, in deze verkennende studies gebruikte, scenario's voor toekomstige maatgevende afvoeren van Rijn en Maas bepaald zijn.

De totnogtoe gebruikte scenario's voor de verandering van de maatgevende afvoer voor de Rijn zijn gebaseerd op een studie van Middelkoop et al. (2000). Hiervoor zijn de resultaten van het zogeheten UKHI-experiment van het Engelse Hadley Centre gebruikt. Dit experiment is uitgevoerd met de 'centrale schatting' IPCC emissiescenario IS92a zonder het effect van aërosolen, geprojecteerd op het jaar 2100. De stijging van de gemiddelde jaartemperatuur in het Rijngebied is volgens dit UKHI scenario ongeveer 4°C. Scenario's overeenkomstig een gemiddelde temperatuurstijging van +1°C, +2°C in het Rijngebied zijn verkregen door lineaire interpolatie van de verandering tussen nu en de veranderingen volgens het UKHI scenario in 2100. Voor de Rijn is voor de verschillende scenario's met het model RHINEFLOW de verandering van de afvoer bepaald (Kwadijk, 1993; Deursen, 1999a; Deursen, 1999b; Deursen, 2003). Met behulp van een zogenaamde statistische downscaling is vervolgens de decadegemiddelde uitvoer van RHINEFLOW naar dagwaarden geconverteerd en is de maatgevende afvoer voor de klimaatscenario's geschat (Middelkoop, 2000). Uit deze berekeningen volgde dat de toename van de maatgevende afvoer ongeveer vijf procent per graad temperatuurstijging bedroeg. Eerder is in een studie van de CHR (Grabs et al., 1997) per 1 graad temperatuurstijging een toename van extreme afvoeren tussen de 5 en 8% gekoppeld en aan een toename van 2 graden een toename van 10%. Uiteindelijk is voor WB21 voor de Rijn een toename van de maatgevende afvoer van 5% per graad temperatuurstijging gehanteerd (Kors et al. 1999).

WL (1994) berekent dat een toename van de winterneerslag in het Maasstroomgebied met 10% tot een toename van 13% van de maatgevende afvoer van de Maas leidt. Parmet & Burgdorffer (1995) berekenen een toename van 17% in de piekafvoeren voor de Maas voor een scenario waarbij de winterneerslag met 20% toeneemt. Op basis van deze studies is er voor gekozen een recht toe recht aan vuistregel te hanteren; de procentuele toename van het jaarlijks maximum van de 10-daagse

winter neerslagsom in het Maasstroomgebied leidt tot een zelfde toename van het door de Maas af te voeren volume tijdens maatgevend hoogwater. De in WB21 gehanteerde (afgeronde) scenario's voor maatgevende afvoeren van Rijn en Maas zijn weergegeven in tabel 3.

**Tabel 3.** Schatting van maatgevende afvoer ( $Q_{1250}$ ) Rijn (Lobith) en Maas (Borgharen) op basis van WB21 scenario. (Kors, 1999)

	Scenario	Rijn (Lobith)	Maas (Borgharen)
2001		16000	3800
2050	WB21 Laag	16400	4000
	WB21 Midden	16800	4200
	WB21 Hoog	17600	4550
2100	WB21 Laag	16800	4200
	WB21 Midden	17600	4550
	WB21 Hoog	19200	5300

De schatting van de verandering van de maatgevende afvoeren voor Rijn en Maas in tabel 3 is een grove benadering. Het is ook belangrijk om te beseffen dat klimaatverandering maar één van de onzekere factoren is bij de bepaling van de (toekomstige) maatgevende afvoer voor Rijn en Maas. De afvoerreeks voor beide rivieren omslaat maar honderd jaar en dat is tekort om een nauwkeurige schatting te maken van de afvoer die eens in de 1250 jaar voor komt. Diermanse (2004a & 2004b) laat zien dat het 95% betrouwbaarheidsinterval bij de bepaling van de maatgevende afvoer ( $Q_{1250}$ ) voor zowel de Rijn als de Maas groot is. Met name voor de Maas zie je dat het de afgelopen 25 jaar aanzienlijk vaker hoogwater is geweest dan in de periode 1911-1980 (Tu et al., 2005). De huidige maatgevende afvoer is gebaseerd op de reeks van 1911 tot het heden. Zou je alleen de laatste 25 jaar van de meetreeks gebruiken dan zou je op een veel hogere maatgevende afvoer uitkomen.

Daarnaast is er onzekerheid over de invloed van overstromingen bovenstrooms op de afvoer bij Lobith en Borgharen tijdens maatgevende condities. In hoeverre extreem hoge Rijnafoeren Nederland ook daadwerkelijk zullen bereiken, is mede afhankelijk van maatregelen die in de toekomst in Duitsland worden getroffen. Voor de Rijn bij Lobith is in de Niederrhein studie (Lammersen, 2004) vastgesteld dat het "fysisch" maximum op dit moment  $15500 \text{ m}^3/\text{s}$  bedraagt. Door bovenstrooms van Nederland noodmaatregelen te treffen zou maximum  $16000 \text{ m}^3/\text{s}$  ons land kunnen bereiken. Echter ook bovenstrooms van Nederland zal geanticipeerd worden op de klimaatverandering. Er bestaat een reële kans dat de afvoercapaciteit van de Rijn bovenstrooms van Nederland daardoor zal toenemen (hetzij door rivierversmalling hetzij door dijkverhoging).

De gevolgen van extreem hoge afvoeren op de Maas staan inmiddels ook op de agenda bij de Internationale Maas Commissie. Op basis van de inzichten die er nu zijn is er geen reden om aan te nemen dat de Maas bovenstrooms van Borgharen een beperkte afvoercapaciteit heeft (de Wit, 2003).

Weliswaar zal er bij een extreem hoogwater op de Maas veel overlast ontstaan in Frankrijk en België, maar het water zal uiteindelijk toch afstromen. Bovendien is het een logische veronderstelling dat bepaalde kwetsbare gebieden, zoals de mijnverzakkingsgebieden, met noodmaatregelen of structurele maatregelen ten alle tijden beschermd zullen worden.

Voor de lange termijn hanteert het kabinet het zogeheten voorzorgsprincipe en gaat het er vooralsnog van uit dat een afvoer van 18.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith en 4.600 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen (maatgevende afvoeren 2100 volgens WB21 middenscenario) tot de mogelijkheden behoren. Deze afvoeren zijn daarom gebruikt voor de uit WB21 voortkomende verkennende studies voor Maas en Rijntakken.



## Nieuwe scenario's voor de verandering van extreme afvoeren Rijn en Maas?

In de voorafgaande paragrafen is uiteengezet welke onzekerheden gemoeid zijn met de bepaling van de kans van voorkomen op extreme afvoeren in een verre toekomst. De bandbreedte bij de schatting van de maatgevende rivierafvoer in een verre toekomst is groot. Daarmee vergeleken is het verschil dat ontstaat door uit te gaan van oude klimaatscenario's (WB21) dan wel de nieuwste scenario's (KNMI06) klein. Deze laatste conclusie kun je al trekken zonder ingewikkelde berekeningen uit te voeren. Er is dan ook geen reden om de op WB21 gebaseerde verkennende rivierstudies overnieuw te gaan doen. De uitgangspunten blijven hetzelfde. Dat roept de volgende twee vragen op:

- 1) Is er behoefte aan een tabel met daarin een schatting van de toekomstige maatgevende afvoer Rijn en Maas op basis van de KNMI06 scenario's (update van tabel 3).
- 2) Zo ja, welke aannames maken wij dan om de vertaalslag te maken van het KNMI06 scenario naar toekomstige maatgevende afvoeren Rijn en Maas?

Het antwoord op de eerste vraag is niet aan ons en kan wellicht makkelijker beantwoord worden na beantwoording van vraag 2.

Er is een hele serie aannames/keuzen nodig om de vertaalslag te maken van het KNMI06 scenario naar toekomstige maatgevende afvoeren Rijn en Maas. Idealiter zou je met de ruwe data uit de klimaatmodellen, die ten grondslag liggen aan de KNMI06 scenario's, hydrologische simulaties uitvoeren voor huidig en toekomstig klimaat. Dat is in feite wat gedaan is in de eerder vermelde studies van bijvoorbeeld Lenderink et al. (2007), Kleinn et al. (2005) en Leander en Buishand (2007). Deze studies geven nieuwe inzichten maar leveren geen pasklare schattingen van de toekomstige maatgevende afvoer van Rijn en Maas. Zij illustreren vooral onzekerheden die gemoeid zijn met de aannames en de keuzes die gemaakt moeten worden bij een dergelijke exercitie.

Een alternatief is om de simpele vuistregel te hanteren die ook voor de Maas is toegepast bij de doorrekening van de WB21 scenario's: de toename van de maatgevende afvoer is evenredig aan de toename van de 10-daagse neerslagsom in het winterseizoen. Kanttekening hierbij is dat de WB21 scenario's refereren aan de '10-daagse neerslagsom' terwijl de KNMI06 scenario's refereren aan de '10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden'. Die twee grootheden zijn niet precies hetzelfde. Zou je deze vuistregel toch toepassen op de KNMI06 scenario's dan resulteert dat in de getallen die in tabel 4a staan.

Een andere manier om de KNMI06 scenario's te vertalen naar toekomstige maatgevende afvoeren Rijn en Maas is door grafiek 1 met de verandering van het afvoerregime nog eens goed onder de loep te nemen. Voor de Rijn levert het vergelijk in de winterafvoeren met KNMI06 en WB21 scenario's het volgende beeld op: WB21 midden scenario komt ongeveer overeen met G, G+ en het WB21 hoge scenario komt ongeveer overeen met W, W+. Merk hierbij op dat de afweging wel of geen verandering in luchtstroming (gewone versus + scenario) vooral doorwerkt op de zomerafvoer en in mindere mate op de winterafvoer. Doorredenerend zou je dan de volgende vuistregel kunnen gebruiken: de

verandering van de maatgevende afvoer van de Rijn volgens G en G+ scenario zal ongeveer gelijk zijn aan de verandering in WB21 midden scenario en de verandering van de maatgevende afvoer van de Rijn volgens W en W+ scenario zal ongeveer gelijk zijn aan de verandering in WB21 hoog scenario. Voor de Maas levert het vergelijk in de winterafvoeren met KNMI06 en WB21 scenario's een ander beeld op: WB21 lage scenario komt ongeveer overeen met G, G+ en het WB21 midden scenario komt ongeveer overeen met W, W+. Doorredenerend zou je dan de volgende vuistregel kunnen gebruiken: de verandering van de maatgevende afvoer van de Maas volgens G en G+ scenario zal ongeveer gelijk zijn aan de verandering in WB21 lage scenario en de verandering van de maatgevende afvoer van de Maas volgens W en W+ scenario zal ongeveer gelijk zijn aan de verandering in WB21 midden scenario. Zou je deze vuistregels toepassen op de KNMI06 scenario's dan resulteert dat in de getallen die in tabel 4b staan.

**Tabel 4.** Schatting van maatgevende afvoer (1/1250 jaar) Rijn (Lobith) en Maas (Borgharen) op basis van KNMI06 scenario.

A: Op basis van de vuistregel: toename van de maatgevende afvoer is evenredig aan de toename van de 10-daagse neerslagsom in het winterseizoen  
 B: Op basis van vergelijk tussen verandering afvoerregime WB21 en KNMI06 scenario's

A			B		
	Rijn (Lobith)	Maas (Borgharen)		Rijn (Lobith)	Maas (Borgharen)
2001	16000	3800	2001	16000	3800
2050	G	16640	2050	G	16800
	W	17280		W	17600
	G+	16960		G+	16800
	W+	17920		W+	17600
2100	G	17280	2100	G	17600
	W	18560		W	19200
	G+	17920		G+	17600
	W+	19840		W+	19200

Het verschil tussen beide schattingen is niet erg groot. Ten opzichte van de schattingen gebaseerd op WB21 (tabel 3) zijn de getallen voor de Rijn iets omhoog gegaan (WB 21 laag buiten beeld) en de Maas iets omlaag gegaan (WB 21 hoog buiten beeld). De beperkte waarde van deze constatering blijkt uit het gegeven dat de afvoer van de Maas met een terugkeertijd van 1250 jaar onlangs is herberekend op 4000 m<sup>3</sup>/s (Diermanse, 2004b). Dit is gelijk aan het G scenario voor 2050! In 2002 en 2003 zijn er een aantal fikse hoogwaters geweest op de Maas die tot deze bijstelling hebben geleid. Deze observatie is eerder een aanleiding om de schattingen voor de Maas naar boven bij te stellen. Cruciaal hierbij is de afweging; beschouwen we de toename van het aantal hoogwater op de Maas over de afgelopen 30 jaar als natuurlijke variatie of als een reeds zichtbaar gevolg van klimaatverandering. Vooralsnog gaan we uit van het eerste.



## Conclusie

Het onderzoek dat de afgelopen jaren is uitgevoerd naar de invloed van klimaatverandering op het afvoerregime van Rijn en Maas laat een eenduidig beeld zien: toename van de winterafvoer en, met name voor de Rijn, een afname van de afvoeren in de zomer. De bandbreedte bij de schatting van de maatgevende rivierafvoer in een verre toekomst is groot. Daarmee vergeleken is het verschil dat ontstaat door uit te gaan van oude klimaatscenario's (WB21) dan wel de nieuwste scenario's (KNMI06) klein. Op basis van het WB21 midden scenario voor het einde van deze eeuw is voor de PKB Ruimte voor de Rivier een toekomstige maatgevende afvoer van 18.000 m<sup>3</sup>/s aangenomen en bij de Integrale Verkenning Maas een toekomstig maatgevende afvoer van 4.600 m<sup>3</sup>/s. De vergelijking op basis van tabel 4 laat zien dat deze getallen ook op basis van de nieuwe KNMI06 scenario's robuust zijn. De nieuwe KNMI scenario's illustreren dat een verandering van de luchtstroming (G+ en W+ scenario's) tot aanzienlijk lagere zomerafvoeren leiden dan de WB21 scenario's.



## Literatuur

- Booij, M.J., 2005. Impact of climate change on river flooding assessed with different spatial model resolutions. *Journal of Hydrology*. 303, 176-198.
- Deursen W.P.A. van, 1999a. Impact of climate change on the river Rhine discharge regime. Scenario runs using RHINEFLOW-2. Report of NRP project 952210.
- Deursen W.P.A. van, 1999b. RHINEFLOW-2. Development, calibration and application. Report of NRP project 952210.
- Deursen, W.P.A. van, 2003. Klimaatveranderingen in de stroomgebieden van Rijn van en Maas: modelstudies met Rhineflow-3 en Meuseflow-2. Carthago Consultancy, Rotterdam.
- Deursen W.P.A. van, 2006. Rapportage Rhineflow / Meuseflow. Nieuwe KNMI scenario's mei 2006. Carthago Consultancy, Rotterdam, the Netherlands.
- Diermanse, F.L.M., 2004a. HR2006-herberekening werklijn Rijn. WL|Delft Hydraulics, Project nr. Q3623. Delft, The Netherlands.
- Diermanse, F.L.M., 2004b. HR2006-herberekening werklijn Maas. WL|Delft Hydraulics, Project nr. Q3623. Delft, The Netherlands.
- Gellens, D. & Roulin, E., 1998. Streamflow Response of Belgian Catchments to IPCC Climate Change Scenarios. *Journal of Hydrology* 210, 242-258.
- Grabs, W. (Ed.), 1997. Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin. CHR report no I-16. Lelystad.
- Kleinn, J., Frei, C., Gurtz, J., Lüthi, D., Vidale, P.L. and Schär, C., 2005. Hydrological simulations in the Rhine basin driven by a regional climate model. *Journal of Geophysical Research* 110, doi:10.1029/2004JD005143, 2005
- KNMI, 2006. KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. KNMI Scientific report WR 2006-01. KNMI The Netherlands.
- Kors, A., F.A.M. Claessen en J.W. Wesseling, 1999. Scenario's extreme krachten t.b.v. WB21. RIZA en WL|Delft Hydraulics
- Kwadijk, J., 1993. The impact of climate change on the discharge of the River Rhine. PhD thesis Universiteit Utrecht, vakgroep Fysische Geografie. KNAG/NGS publicatie 171.
- Lammersen, R., 2004. Grensoverschrijdende effecten van extreem hoogwater op de Niederrhein. Gezamenlijke uitgave van: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Provincie Gelderland, Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland.
- Leander, R. en Buishand, T.A., 2007. Resampling of regional climate model output for the simulation of extreme river flows. *Journal of Hydrology* 332, 487– 496
- Leander, R., Buishand, T.A., de Wit, M.J.M. (in prep.) Resampling of regional climate model output for the simulation of extreme river flows. Submitted to *Journal of Hydrology*.
- Lenderink, G., Buishand, T.A. en van Deursen, W.P.A., 2007. Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. *Hydrology and Earth System Sciences* 11, 1145-1159.
- Linde, A., te, 2007. Effect of climate change on the rivers Rhine and Meuse. Applying the KNMI 2006 scenarios using the HBV model. WL|Delft Hydraulics. Rapportage aan RIZA Project nr. Q4286.
- Menzel, L., Niehoff, D., Bürger, G. Bronstert, A., 2002. Climate Change Impacts on River Flooding: A modelling Study of Three Meso-Scale Catchments. *Advances Global Climate Research* 10, 249-269
- Middelkoop, H., [Ed], 2000. The impact of climate change on the river Rhine and the implications for water management in the Netherlands. RIZA, RIZA rapport 2000.010, Arnhem
- Middelkoop, H., Daamen, K., Gellens, D., Grabs, W., Kwadijk, J., Lang, H., Parmet, B., Schädler, B., Schulla, J. and Wilke, K., 2001. Impact of Climate Change on Hydrological Regimes and Water Resources Management in the Rhine basin. *Climate Change* 49, 105-128.
- Müller-Wohlfeil, D.-I., Bürger, G., and Lahmer, W., 2000. Response of a river catchment to Climate Change: Application of Expanded Downscaling to Northern Germany. *Climate Change* 47, 61-89.
- Parmet, B. & Burgdorffer, M., 1995. Extreme Discharges of the Meuse in the Netherlands: 1993, 1995 and 2100. Operational Forecasting and Long term expectations. *Phys. Chem. Earth* 20 5-6, pp. 485-489.
- Pilling, C. & Jones, J.A.A., 1999. High resolution climate change scenarios: implications for British runoff. *Hydrological Processes* 13, p. 2877-2895.
- Sefton, C.E.M., and Boorman, D.B., 1996. A regional investigation of climate change impacts on UK streamflows. *Journal of Hydrology* 195, 26-44.

- Shabalova, M.V., van Deursen, W.P.A. & Buishand, T.A., 2003. Assessing future discharge of the river Rhine using regional climate model integrations and a hydrological model. *Climate Research* 23, 233-246.
- Smitz, J.S., S. Dautrebande, J. Feyen, G.R. Démaree, A. Monjoie and A. Dassargues, 2002. Integrated modelling of the hydrological cycle in relation to global climate change. In *Global Change and Sustainable Development, Scientific Support Plan for a Sustainable Development Policy Final Reports Summaries*, Edited by Federal Science Policy Office, Brussels, 181-195.
- Tanguy, J., 2005. *Le Changement climatique affectera-t-il nos hydrosystèmes. Le cas des bassins du Rhône et de la Seine*. Schapi. Toulouse, France.
- Tu, M., de Laat, P.J.M., Hall, M.J., & de Wit, M.J.M., 2005. Precipitation variability in the Meuse basin in relation to atmospheric circulation. *Water Science and Technology*, 51-5, pp. 5-14.
- Wit, M.J.M., de, 2004. Hoeveel (hoog-)water kan ons land binnen komen via de Maas, nu en in de toekomst? Arnhem: Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA). Report no. 2004.151x.
- Wit, M.J.M., de ,van den Hurk, B., Warmerdam, P.M.M., Torfs, P.J.J.F., Roulin, E., van Deursen, W.P.A., 2007. Impact of climate change on low-flows in the river Meuse. *Climatic Change*, 82 (3), pp. 351-372. DOI 10.1007/s10584-006-9195-2.
- WL, 1994. *Onderzoek Watersnood Maas. Deelrapport 4: Hydrologische Aspecten*. Waterloopkundig Laboratorium, Delft.