

DI 365209

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat RIZA

## Toepassing klimaatscenario's in het waterbeheer en -beleid

Rapport

november 2007

**HANDCOLLECTIE  
WD**

C26915



Rijkswaterstaat RIZA  
Rijksinstituut voor  
Integraal Zoetwaterbeheer en  
Afwalwaterbehandeling  
Documentatie  
Postbus 17  
8200 AA Lelystad

Opdrachtgever:

**Rijkswaterstaat RIZA**

## **Toepassing klimaatscenario's in het waterbeheer en -beleid**

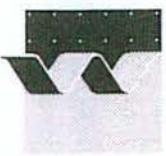
Saskia van Vuren en Jaap Kwadijk

Rapport

november 2007



**wl | delft hydraulics**



Opdrachtgever:	Rijkswaterstaat RIZA				
Titel:	Toepassing klimaatscenario's in het waterbeheer en -beleid				
Samenvatting:					
<p>De Regiegroep van het Landelijk Bestuurlijk Overleg Water (LBOW) heeft een brede werkgroep 'klimaatscenario's' ingesteld. Deze groep bereidt een bestuurlijk besluit voor over de toepassing van klimaatscenario's in het waterbeheer. WL   Delft Hydraulics (WL) onderzoekt in opdracht van de werkgroep een aantal inhoudelijke vraagstukken omtrent de toepassing van de nieuwe KNMI'06-scenario's in waterbeheer en -beleid. Het onderzoek omvat de een beschrijving van de KNMI'06-klimaatscenario's en een inventarisatie van de overeenkomsten en verschillen tussen de WB21- en KNMI'06-klimaatscenario's en een verkenning van de mogelijke consequenties van de KNMI'06-klimaatscenario's per beleidsthema in het waterbeheer. Hiervoor is een literatuuronderzoek uitgevoerd en een analyse van 1e (het klimaat) en 2e orde klimaateffecten (hydrologische veranderingen inclusief de zeespiegelstijging). De resultaten zijn besproken met een aantal deskundigen van diverse instituten.</p> <p>De consequenties van de nieuwe KNMI'06-scenario's verschillen sterk per beleidsthema. Voor droogtegerelateerde beleidsthema's (droogte, water infrastructuur, energie, drinkwater, natuur &amp; biodiversiteit) zijn met name de nieuwe KNMI'06-plus scenario's belangrijk, waarin de kans op droogte meer nadrukkelijk naar voren is gebracht. Indien het klimaat zich zou ontwikkelen volgens de plus-scenario's en in het huidige beleid is uitgegaan van één van de WB21-scenario's, dan heeft dat grote gevolgen voor het halen van beleidsdoelen en zijn extra maatregelen waarschijnlijk nodig. Voor wateroverlastgerelateerde beleidsthema's zijn de KNMI'06-W en -G scenario's, die extremere intensieve zomerbuien voorspellen, belangrijker. Met name voor het KNMI'06-W scenario neemt de extreme neerslag in de zomer sterk toe in vergelijking tot de WB21-scenario's. Indien het klimaat zich zou ontwikkelen volgens dit scenario, heeft dit grote consequenties voor het realiseren van beleidsdoelen.</p>					
Referenties:					
Ver	Auteur	Datum	Opmerk.	Review	Goedkeuring
	Saskia van Vuren	28 november 2007		Jos Dijkman	Kees Bons
Projectnummer:	Q4437				
Trefwoorden:	klimaatscenario's, waterbeheer, waterbeleid				
Aantal bladzijden:	89				
Classificatie:	Geen				
Status:	Definitief				

## Voorwoord

In februari 2007 zijn nieuwe klimaatscenario's uitgebracht door het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Het KNMI heeft de IPCC-scenario's uitgewerkt voor de Nederlandse situatie. Vanuit de waterschappen, provincies, gemeenten en regionale diensten van Rijkswaterstaat komen sindsdien veel vragen over de toepassing van deze scenario's in het waterbeheer. De Regiegroep van het LBOW heeft daarom op 29 maart 2007 besloten een werkgroep in te stellen die een bestuurlijk besluit over eenduidig gebruik van nieuwe klimaatscenario's in het waterbeheer voorbereidt. In de werkgroep zaten vertegenwoordigers van V&W (voorzitter), VROM, LNV, Unie van Waterschappen, IPO en VNG. Daarnaast waren de kennisinstituten Deltares (WL |Delft Hydraulics), de Rijkswaterstaat-Waterdienst en het KNMI in de werkgroep vertegenwoordigd. Het Milieu- en natuurplanbureau was agendalid. Tijdens het project zijn ook diverse deskundigen op het gebied van water en klimaat geïnterviewd.

Voorliggend rapport is het eindproduct van de werkgroep. Het bevat een advies aan de Regiegroep en het LBOW. Dit advies is eind augustus aangeboden aan de Regiegroep. Op 6 september 2007 heeft de Regiegroep dit advies besproken, en grotendeels overgenomen. Belangrijk discussiepunt was het gebruik van klimaatscenario's voor het bepalen van de wateroverlast in stedelijk gebied. Op dit onderdeel had het VNG bezwaren tegen het advies van de werkgroep. De Regiegroep heeft op dit punt een aangepast tekstvoorstel gemaakt, en voorgelegd aan het LBOW. Op 24 september 2007 heeft het LBOW dit voorstel goedgekeurd.

De door het LBOW goedgekeurde tekst is vervolgens opgenomen in de actualisatie van het Nationaal Bestuursakkoord Water. Over het concept is op 12 november 2007 gesproken in het LBOW. Wat betreft het gebruik van klimaatscenario's stond daarin het volgende:

- NBW-partijen spreken af om bij nieuw te berekenen wateropgaven op de volgende wijze met de vier nieuwe KNMI'06 scenario's om te gaan:
  - voor regionale wateroverlast wordt gebruik gemaakt van het KNMI'06 scenario G als ondergrens, die daarmee het middenscenario 2050 vervangt;
  - voor nieuw aan te leggen stedelijke locaties, bedrijventerreinen en infrastructuur én stedelijke vernieuwings- of herinrichtingsprojecten, wordt bij het ontwerpen daarvan gebruik gemaakt van de klimaatscenario's G en W. Gemotiveerd kan G+ worden gekozen als ondergrens vanwege de aanzienlijke financiële, ruimtelijke of andere maatschappelijke gevolgen;
  - voor watertekorten wordt voor de aanpak op de korte termijn (tot 2015) gebruik gemaakt van het KNMI klimaatscenario G en voor de aanpak op lange termijn (vanaf 2015) uitgegaan van een bandbreedte tussen G en G+;
  - voor waterkwaliteitsopgaven wordt uitgegaan van het KNMI'06 scenario G, met uitzondering van die gebieden die gevoelig zijn voor watertekorten, waarvoor ook scenario G+ wordt gebruikt voor het bepalen van de opgave.
- Voor reeds berekende wateropgaven houden NBW partners vast aan het uitgangspunt van het 'WB21-middenscenario 2050' daterende uit 2000, hetgeen qua opgave grosso modo overeenkomt met het KNMI'06 klimaatscenario G.

- Bij reeds berekende wateropgaven voeren NBW partners waar financieel en ruimtelijk mogelijk maatregelen extra robuust uit in het licht van omgaan met onzekerheden en de extremen van de KNMI'06 scenario's.
- Om tijdig te kunnen inspelen op veranderingen van het klimaat spreken NBW-partijen af de toetsing van het watersysteem periodiek te herhalen. Dit gebeurt voor het eerst in 2012 mits nieuwe inzichten in de klimaatsverandering door het IPCC dan hebben geleid tot een aanpassing van de KNMI'06 scenario's waarna besluitvorming door de NBW-partijen volgt hoe deze inzichten te gebruiken bij de herijking van de wateropgave. Een eventuele extra opgave die volgt uit deze periodieke toets wordt voor afloop van de tweede SGBP-periode (2015-2021) uitgevoerd door de betrokken NBW partners.

Deze aanpak resulteert in een opgave met een bandbreedte. Partijen nemen vervolgens een bestuurlijk besluit over een integraal maatregelenpakket en geven daarbij transparant aan waar zij in de bandbreedte zijn gaan zitten.

ir. L.J.J. Dijkhuis (DG-Water) voorzitter werkgroep klimaatscenario's

## Samenvatting van het advies van de Werkgroep Klimaatscenario's aan de Regiegroep en het LBOW

Om naar de toekomst toe adequaat met klimaatscenario's om te gaan heeft de Regiegroep een werkgroep ingesteld die een bestuurlijk besluit over gebruik van nieuwe klimaatscenario's in het waterbeheer voorbereidt. Dit naar aanleiding van het uitkomen van de KNMI'06-klimaatscenario's.

Op basis van literatuurstudie, interviews met een aantal toonaangevende Nederlandse klimaatdeskundigen en expertise van de werkgroep klimaat, komt de werkgroep tot de volgende conclusies en aanbevelingen:

**Conclusie 1:** Nieuwe wetenschappelijke inzichten hebben ertoe geleid dat nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's zijn ontwikkeld. Deze wijken op een aantal punten af van de WB21-scenario's, waarmee deze zijn achterhaald.

**Advies 1:** De werkgroep klimaat Regiegroep adviseert de Regiegroep om voortaan te werken met de KNMI'06-klimaatscenario's. Hierin zijn de nieuwste, breed gedragen wetenschappelijke inzichten verwerkt. Hoe de nieuwe scenario's kunnen worden gebruikt, en wat de gevolgen zijn voor de wateropgaven is in het vervolg van deze notitie voor een aantal opties uitgewerkt.

**Conclusie 2:** Er zijn diverse opties om met de KNMI'06-klimaatscenario's om te gaan, met elk hun eigen voor- en nadelen. De werkgroep klimaat heeft een aantal opties verkend:

1. gebruik van slechts 1 scenario, bijvoorbeeld G.
2. gebruik van de meest extreme scenario's (voorzorgprincipe)
3. combinatie van voorgaande opties.

Voorgaande opties zijn beoordeeld op de aspecten 'continuïteit beleid' en 'risico's voor het beleid'. Daaruit kwam naar voren dat het gebruik van slechts 1 van de 4 scenario's niet mogelijk is zonder grote risico's te lopen op het niet halen van de doelstellingen ('watersysteem op orde') en het gebruik van de meest extreme scenario's ook extreem duur is. Op basis van deze analyse wordt het volgende advies gegeven.

**Advies 2:** De werkgroep Klimaat adviseert om als basis voor de bestuurlijke afspraken in het waterbeheer te kiezen voor:

- G als basisscenario, aangevuld met
- W voor de thema's veiligheid en wateroverlast in nieuw of te vernieuwen stedelijk gebied, en
- G+ voor watertekorten.

Voor de reeds opgestelde wateropgave, voor 2015, heeft dit geen gevolgen. Dit omdat het WB21 midden scenario gelijk is aan het G-scenario.

Aanvullend adviseert de werkgroep bij nieuw te starten planstudies en uitvoeringsprojecten altijd gevoeligheidsanalyses uit te voeren voor alle 4 de scenario's (dus ook W+), omdat lokale omstandigheden ertoe kunnen leiden dat beter voor een meer verdergaand klimaatscenario's kan worden gekozen dan in het advies voor de bestuurlijke afspraken is aangegeven. Zo hebben sommige waterschappen bewust gekozen om voor wateroverlast in het landelijk gebied uit te gaan van het hoge WB21-scenario. Deze waterschappen zouden in het vervolg met het W-scenario kunnen werken.

**Conclusie 3:** Voor de continuïteit in het waterbeleid is het van belang ook continuïteit in de te hanteren klimaatscenario's te hebben.

**Advies 3:** De werkgroep klimaatscenario's adviseert om het gebruik van de KNMI'06-klimaatscenario's voor de bestuurlijke afspraken in het waterbeheer slechts dan aan te passen als het IPCC met nieuwe scenario's komt, en dan alleen als deze significant afwijken van de huidige. De volgende IPCC-update wordt over 6 jaar verwacht. Bij het daarop eerstvolgende moment in de beheerplancyclus waar wateropgave en beleidsdoelen opnieuw worden bepaald, kan indien wenselijk worden overgegaan op het gebruik van nieuwe klimaatscenario's.

## Samenvatting van dit rapport en vier beleidsalternatieven

De Regiegroep van het Landelijk Bestuurlijk Overleg Water (LBOW) heeft een brede werkgroep 'klimaatscenario's' ingesteld. Deze groep bereidt een bestuurlijk besluit voor over de toepassing van klimaatscenario's in het waterbeheer. WL | Delft Hydraulics (WL) onderzoekt in opdracht van de werkgroep een aantal inhoudelijke vraagstukken omtrent de toepassing van de nieuwe KNMI'06-scenario's in waterbeheer en -beleid. Het onderzoek omvat de een beschrijving van de KNMI'06-klimaatscenario's en een inventarisatie van de overeenkomsten en verschillen tussen de WB21- en KNMI'06-klimaatscenario's en een verkenning van de mogelijke consequenties van de KNMI'06-klimaatscenario's per beleidsthema in het waterbeheer. Hiervoor is een literatuuronderzoek uitgevoerd en een analyse van 1e (het klimaat) en 2e orde klimaateffecten (hydrologische veranderingen inclusief de zeespiegelstijging). De resultaten zijn besproken met een aantal deskundigen van diverse instituten.

De consequenties zijn in kaart gebracht voor de sectoren:

- Bescherming tegen overstromen;
- Overig waterbeheer inzake wateroverlast en droogte;
- Algemene nutsvoorzieningen;
- Natuur en biodiversiteit.

Per beleidsthema is antwoord gegeven op de vraag 'Veronderstel dat wordt uitgegaan van een van de het WB21-scenario's, maar op termijn blijkt dat het een van de KNMI'06-scenario's werkelijkheid wordt, wat zijn dan voor het beleid de risico's'? De criteria die hiervoor gebruikt zijn, zijn het risico op het niet halen van beleidsdoelen, het risico dat er over gedimensioneerd is (te veel geld is uitgegeven) en het risico dat er op termijn extra maatregelen nodig zullen zijn.

De consequenties van de nieuwe KNMI'06-scenario's verschillen sterk per beleidsthema. Voor droogtegerelateerde beleidsthema's (droogte, water infrastructuur, energie, drinkwater, natuur & biodiversiteit) zijn met name de nieuwe KNMI'06-plus scenario's belangrijk, waarin de kans op droogte meer nadrukkelijk naar voren is gebracht. Indien de plus-scenario's werkelijk worden en in het huidige beleid is uitgegaan van één van de WB21-scenario's, dan heeft dat grote gevolgen voor het halen van beleidsdoelen en zijn extra maatregelen waarschijnlijk nodig. Voor wateroverlastgerelateerde beleidsthema's zijn de KNMI'06-W en -G scenario's, die extremere intensieve zomerbuien voorspellen, belangrijker. Met name voor het KNMI'06-W scenario neemt de extreme neerslag in de zomer sterk toe in vergelijking tot de WB21-scenario's. Indien dit scenario werkelijkheid wordt, heeft dit grote consequenties voor het realiseren van beleidsdoelen.



Op grond van de resultaten worden hier vier beleidsalternatieven gegeven, waarin de risico's voor het realiseren van de beleidsdoelen worden besproken.

1. Alternatief 1: uitgangspunt blijft WB21-middenscenario;
2. Alternatief 2: uitgangspunt wordt extreem KNMI '06-W scenario;
3. Alternatief 3: uitgangspunt wordt extreem KNMI '06-W+ scenario;
4. Alternatief 4: uitgangspunt wordt sectorafhankelijk gemaakt en beleidsscenario's maken gebruik van verschillende KNMI'06-scenario's.

### Alternatief 1: uitgangspunt blijft WB21-middenscenario

Dit alternatief geeft weinig risico's voor de beleidsterreinen bescherming tegen overstromen en wateroverlast. Er is een gering risico dat er te veel beleid is ontwikkeld. Voor de kustveiligheid betekent dit dat het beleid robuust is. De risico's dat beleidsdoelen niet worden gehaald liggen voornamelijk op de terreinen die gevoelig zijn voor droogte. Beleid ten aanzien watertekorten is ontwikkeld, hierin spelen tot dusver eventuele gevolgen van klimaatverandering echter geen of een geringe rol.

Beleidsthema	Sub-thema	G	G+	W	W+
Bescherming tegen overstromen	Kust				
	Rivieren Rijn en Maas				
	IJsselmeer				
Waterbeheer inzake wateroverlast en droogte	Wateroverlast landelijk gebied				
	Wateroverlast stedelijk gebied				
	Droogte				
	Waterkwaliteit Rijn				
	Waterkwaliteit Maas				
Algemene nutsvoorziening	Energie				
	Drinkwater				
	Water infrastructuur Rijn				
	Water infrastructuur Maas				
Natuur en biodiversiteit	Terrestrische gebieden				
	Natuur rivierengebied				
	Aquatische natuur				
	Natuur kustzone				

Tabel 1.1 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's: Per beleidsthema is in deze tabel antwoord gegeven op de vraag 'Veronderstel dat wordt uitgegaan van het WB21-midden scenario, maar op termijn blijkt dat het KNMI'06-.... scenario werkelijkheid wordt, dan...'.  
 Rood: beleidsdoel halen is onwaarschijnlijk, extra maatregelen zijn zeer waarschijnlijk nodig, te veel beleid is onwaarschijnlijk; Groen beleidsdoel halen is waarschijnlijk, noodzaak voor extra maatregelen is niet waarschijnlijk, te veel beleid is niet waarschijnlijk; Blauw beleidsdoel halen is waarschijnlijk, noodzaak voor extra maatregelen is zeer onwaarschijnlijk, te veel beleid is waarschijnlijk

## Alternatief 2: uitgangspunt wordt extreem KNMI '06-W scenario

In dit alternatief is voor het beleidsthema veiligheid over-dimensionering een groter risico dat te weinig beleid wordt ontwikkeld. In het algemeen levert het hanteren van dit uitgangspunt voor het beleid minder risico's op het niet halen van beleidsdoelen dan indien uitgegaan wordt van het WB21-midden scenario. Echter voor een aantal thema's blijft er risico dat het beleid op termijn onvoldoende is. Dit is met name het geval omdat droogte een grotere rol gaat spelen. Dit zijn echter beleidsterreinen waar nog weinig beleid is ontwikkeld ten aanzien van klimaatadaptatie. Indien het KNMI'06-W scenario het uitgangspunt gaat vormen zal er een risico zijn dat aanvullende maatregelen op termijn noodzakelijk zullen zijn.

Beleids thema	Sub-thema	G	G+	W	W+
Bescherming tegen overstromen	Kust				
	Rivieren Rijn en Maas				
	IJsselmeer				
Waterbeheer inzake wateroverlast en droogte	Wateroverlast landelijk gebied				
	Wateroverlast stedelijk gebied				
	Droogte				
	Waterkwaliteit Rijn				
	Waterkwaliteit Maas				
Algemene nutsvoorziening	Energie				
	Drinkwater				
	Water infrastructuur Rijn				
	Water infrastructuur Maas				
Natuur en biodiversiteit	Terrestrische gebieden				
	Natuur rivierengebied				
	Aquatische natuur				
	Natuur kustzone				

Tabel 1.2 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's: Per beleidsthema is in deze tabel antwoord gegeven op de vraag 'Veronderstel dat wordt uitgegaan van het KNMI-06-W scenario, maar op termijn blijkt dat het KNMI'06-.... scenario werkelijkheid wordt, dan...'

Rood: beleidsdoel halen is onwaarschijnlijk, extra maatregelen zijn zeer waarschijnlijk nodig, te veel beleid is onwaarschijnlijk; Groen beleidsdoel halen is waarschijnlijk, noodzaak voor extra maatregelen is niet waarschijnlijk, te veel beleid is niet waarschijnlijk; Blauw beleidsdoel halen is waarschijnlijk, noodzaak voor extra maatregelen is zeer onwaarschijnlijk, te veel beleid is waarschijnlijk.

### Alternatief 3: uitgangspunt wordt extreem KNMI '06-W+ scenario

In dit alternatief wordt het risico dat beleidsdoelen niet worden gehaald klein voor nagenoeg alle beleidsthema's. De kans dat op te grote uitgaven door over-dimensionering wordt echter groot. Daarbij komt dat ondanks de vermoedelijk grote inspanning die geleverd moet worden er risico blijft dat op het beleidsthema wateroverlast in het stedelijke gebied de beleidsdoelen niet gehaald zullen worden. De oorzaak is dat in dit scenario, hoewel extreem, de extreme zomerbuien minder toenemen dan in het G en W scenario.

Beleids thema	Sub-thema	G	G+	W	W+
Bescherming tegen overstromen	Kust				
	Rivieren Rijn en Maas				
	IJsselmeer				
Waterbeheer inzake wateroverlast en droogte	Wateroverlast landelijk gebied				
	Wateroverlast stedelijk gebied				
	Droogte				
	Waterkwaliteit Rijn				
	Waterkwaliteit Maas				
Algemene nutsvoorziening	Energie				
	Drinkwater				
	Water infrastructuur Rijn				
	Water infrastructuur Maas				
Natuur en biodiversiteit	Terrestrische gebieden				
	Natuur rivierengebied				
	Aquatische natuur				
	Natuur kustzone				

Tabel 1.3 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's: Per beleidsthema is in deze tabel antwoord gegeven op de vraag 'Veronderstel dat wordt uitgegaan van het KNMI-06-W+ scenario, maar op termijn blijkt dat het KNMI'06-.... scenario werkelijkheid wordt, dan...?'.  
 Rood: beleidsdoel halen is onwaarschijnlijk, extra maatregelen zijn zeer waarschijnlijk nodig, te veel beleid is onwaarschijnlijk; Groen beleidsdoel halen is waarschijnlijk, noodzaak voor extra maatregelen is niet waarschijnlijk, te veel beleid is niet waarschijnlijk; Blauw beleidsdoel halen is waarschijnlijk, noodzaak voor extra maatregelen is zeer onwaarschijnlijk, te veel beleid is waarschijnlijk.

## Alternatief 4. Thema afhankelijke beleidsscenario's

In dit alternatief zijn de beleidsscenario's gebaseerd op verschillende KNMI-06-scenario's. Voor de uiteenlopende beleidsthema's zijn verschillende 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> orde klimaateffecten van belang. De keuze voor de scenario's is gedaan op grond van de verandering van de belangrijkste 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> orde effecten en de gewenste zekerheid dat de maatregelen voldoende zullen zijn. Dit laatste betekent dat voor maatregelen die een lange levensduur hebben en waarvan de initiële kosten om ze te maken groot zijn extremere scenario's zijn gekozen denk hierbij aan dijkverlegging en ruimtelijke ordeningsmaatregelen. Voor maatregelen waarbij gemakkelijker beleid bijgesteld kan worden, zijn minder extreme randvoorwaarden gekozen. In dit geval is gekozen om de risico's op eventueel extra maatregelen te minimaliseren.

Beleids thema	Sub-thema	Uitgangspunt lange termijn (2050)	Alternatief korte termijn (2015)	G	G+	W	W+
Bescherming tegen overstromen	Kust	HB	HB				
	Rivieren Rijn en Maas	HB	HB				
	IJsselmeer	HB	HB				
Waterbeheer inzake wateroverlast en droogte	Wateroverlast landelijk gebied	W	G				
	Wateroverlast stedelijk gebied	W	G				
	Droogte	G+	HB				
	Waterkwaliteit Rijn	W+	G+				
	Waterkwaliteit Maas	W+	G+				
Algemene nutsvoorziening	Energie	W+	G+				
	Drinkwater	W+	G+				
	Water infrastructuur Rijn	W+	G+				
	Water infrastructuur Maas	W+	G+				
Natuur en biodiversiteit	Terrestrische gebieden	W+	G+				
	Natuur rivierengebied	W+	G+				
	Aquatische natuur	W	W				
	Natuur kustzone	W	G				

Tabel 1.4 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's: Per beleidsthema zijn verschillende scenario's als uitgangspunt gehanteerd en is antwoord gegeven op de vraag 'Veronderstel dat wordt uitgegaan van dit KNMI-06-scenario, maar op termijn blijkt dat een ander KNMI'06-.... scenario werkelijkheid wordt, dan...'. HB betekent huidig beleid.

Rood: beleidsdoel halen is onwaarschijnlijk, extra maatregelen zijn zeer waarschijnlijk nodig, te veel beleid is onwaarschijnlijk; Groen: beleidsdoel halen is waarschijnlijk, noodzaak voor extra maatregelen is niet waarschijnlijk, te veel beleid is niet waarschijnlijk; Blauw: beleidsdoel halen is waarschijnlijk, noodzaak voor extra maatregelen is zeer onwaarschijnlijk, te veel beleid is waarschijnlijk.

Dit alternatief wordt gepresenteerd om te illustreren dat door het gebruik van meerdere scenario's risico's geminimaliseerd kunnen worden. Opgemerkt moet worden dat aan deze evaluatie geen daadwerkelijke kosten-baten analyses ten grondslag liggen. Voordat de beleidsscenario's definitief worden vastgesteld worden dergelijke analyses aanbevolen. Ook kan de keuze van het scenario afhangen van lokale omstandigheden. Wel suggereren de uitkomsten dat met de komst van de nieuwe scenario's het veiligheidsbeleid niet de eerste prioriteit heeft omdat onder het huidige beleid er weinig risico lijkt te zijn dat extra maatregelen nodig zullen zijn.

## Inhoud

<b>Voorwoord</b> .....	<b>Voorwoord</b>
<b>Samenvatting</b> .....	<b>Samenvatting</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>1-1</b>
1.1 Achtergrond.....	1-1
1.2 Doelstelling.....	1-1
1.3 Aanpak .....	1-2
1.4 Organisatie.....	1-3
1.5 Leeswijzer .....	1-3
<b>2 Verwachte klimaatveranderingen volgens de WB21- en KNMI'06-scenario's</b> .....	<b>2-1</b>
2.1 Achtergrond.....	2-1
2.2 KNMI'06-klimaatscenario's .....	2-2
2.3 WB21-klimaatscenario's .....	2-3
2.4 Vergelijking tussen WB21- en KNMI'06-klimaatscenario's .....	2-4
2.5 Interpretatie nieuwe klimaatscenario's voor waterbeheer .....	2-7
<b>3 Werkwijze om consequenties van KNMI'06-klimaatscenario's in kaart te brengen</b> .....	<b>3-1</b>
3.1 Consequenties klimaatscenario's voor het waterbeheer .....	3-1
3.1.1 Analyse van de tweede orde effecten .....	3-2
3.1.2 Consequenties van de KNMI'06-scenario's.....	3-2
3.2 Robuustheid en flexibiliteit .....	3-4
3.3 Is de gekozen maatregel flexibel ten aanzien van de implementatie op termijn van een alternatieve strategie.....	3-4
<b>4 Consequenties van KNMI'06-scenario's voor bescherming tegen overstromen</b> .....	<b>4-1</b>
4.1 Kust.....	4-1
4.2 Rivieren Rijn en Maas.....	4-4
4.3 IJsselmeer .....	4-10
<b>5 Consequenties van KNMI'06-scenario's voor waterbeheer inzake wateroverlast en droogte</b> .....	<b>5-1</b>
5.1 Wateroverlast landelijk gebied.....	5-1
5.2 Wateroverlast stedelijk gebied .....	5-6
5.3 Droogte.....	5-9
5.4 Waterkwaliteit.....	5-14

<b>6</b>	<b>Algemene nutsvoorzieningen.....</b>	<b>6-1</b>
6.1	Energie .....	6-1
6.2	Drinkwater .....	6-3
6.3	Infrastructuur .....	6-6
<b>7</b>	<b>Natuur en biodiversiteit.....</b>	<b>7-1</b>
<b>8</b>	<b>Consequenties van de KNMI'06-klimaatscenario's voor het waterbeheer: integratie van alle resultaten .....</b>	<b>8-1</b>
8.1	Overzicht van uitgangspunten in het huidige beleid .....	8-1
8.2	Integratie van alle resultaten .....	8-3
8.3	Consequenties van de klimaatscenario's voor het huidige beleid .....	8-5
<b>9</b>	<b>Conclusies .....</b>	<b>9-1</b>
<b>10</b>	<b>Literatuur .....</b>	<b>10-1</b>
<b>Bijlagen</b>		
<b>A</b>	<b>Robuustheid &amp; Flexibiliteit .....</b>	<b>A-1</b>

# I Inleiding

## I.1 Achtergrond

Het KNMI heeft in 2006 op basis van de meest recente resultaten van klimaatonderzoek vier nieuwe klimaatscenario's gepresenteerd voor Nederland (KNMI'06-scenario's). De klimaatscenario's geven een beeld van de veranderingen in temperatuur, neerslag, wind en zeespiegel voor een klimatologische periode van 30 jaar. De nieuwe klimaatscenario's vervangen de scenario's die in 2000 zijn opgesteld voor de Commissie Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw (WB21- scenario's).

De introductie van de nieuwe scenario's brengt veel vragen over de toepassing in het waterbeheer en -beleid met zich mee. In het verleden is in het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) afgesproken dat bij de toepassing van de WB21- klimaatscenario's in watervraagstukken tenminste van het middenscenario moet worden uitgegaan<sup>1</sup>. Met het ontbreken van een middenscenario in de nieuwe set KNMI'06-scenario's, welke uit vier scenario's bestaat, is het onduidelijk hoe in de toekomst met de nieuwe scenario's moeten worden omgegaan.

Het Landelijk Bestuurlijk Overleg Water (LBOW, regiegroep van het NBW) heeft een brede werkgroep 'klimaatscenario's' ingesteld. De werkgroep bestaat uit vertegenwoordigers van V&W, VROM, LNV, UvW, IPO, VNG, KNMI en MNP. De groep bereidt een bestuurlijk voor over het gebruik van klimaatscenario's in het waterbeheer.

Rijkswaterstaat RIZA, één van de V&W-vertegenwoordigers van de werkgroep, heeft WL | Delft Hydraulics (WL) opdracht verleend voor het onderzoeken van een aantal inhoudelijke vraagstukken omtrent de toepassing van de nieuwe KNMI'06-scenario's in waterbeheer en -beleid.

## I.2 Doelstelling

De opdracht is gesplitst in twee fasen. Het doel van fase 1 is om de vraag te beantwoorden of de KNMI'06-klimaatscenario's aanleiding zijn om het vigerende waterbeleid ten aanzien van klimaatveranderingen aan te passen. Fase 2 richt zich op de vraag hoe in de toekomst moet worden omgegaan met voortschrijdend inzicht met betrekking tot klimaatveranderingen. Deze fase 2 heeft als doel om in samenwerking met de werkgroep tot een voorstel te komen omtrent de uitgangspunten voor het toekomstig gebruik van klimaatscenario's in het waterbeheer en beleid.

---

<sup>1</sup> Bij watervraagstukken mag wel van het zwaardere WB21-hoog scenario, maar niet van het minder zware WB21-laag scenario worden uitgegaan.



### 1.3 Aanpak

De gefaseerde aanpak voorziet de volgende werkzaamheden voor fase 1:

1. een literatuuronderzoek op basis waarvan:
  - a) een overzicht wordt opgesteld van de toepassing van de WB21- klimaatscenario's in het vigerende waterbeleid;
  - b) een beschrijving wordt gemaakt van de KNMI'06-klimaatscenario's; en
  - c) een inventarisatie wordt gemaakt van de overeenkomsten en verschillen tussen de 1<sup>e</sup> orde effecten van de WB21- en KNMI'06-klimaatscenario's. De 1<sup>e</sup> orde effecten zijn de effecten op klimaat (temperatuur, neerslag en verdamping);
2. een analyse, waarin de 2<sup>e</sup> orde effecten van klimaatverandering wordt geïnventariseerd, zoals zeespiegel, rivierafvoeren, waterbalans in het landelijk gebied en stijghoogte in grondwater (kwel, zoutlast en opbarsting), etc.; en
3. het ontwikkelen van een afwegingskader om de consequenties van de KNMI'06-klimaatscenario's in diverse sectoren van het waterbeheer inzichtelijk te maken.

De resultaten zijn besproken met de volgende deskundigen van diverse instituten:

- Bart van den Hurk, Geert Lenderink, Janette Bessembinder (KNMI);
- Hans Middelkoop (Universiteit Utrecht);
- Douwe Dillingh (Rijkswaterstaat RIKZ);
- Willem van Deursen (Carthago Consultancy);
- Johan Ellen (Waterschap – Waternet);
- Gualbert Oude Essink en Michelle van Vliet (TNO);
- Harry van Lujtelaar (RIONED);
- Willem Ligtvoet (MNP);
- Nicole Zantkuijl (Vewin);
- Marjolijn Haasnoot (WL | Delft Hydraulics).

De deskundigen hebben een adviserende rol in het onderzoek. Op basis van de resultaten en besprekingen met de deskundigen is voorliggend rapport opgesteld. Het rapport is gebruikt ter ondersteuning van het overleg met de werkgroep 'klimaatscenario's' over fase 2.

In fase 2 komt de hoofdvraag aan de orde, te weten hoe in de toekomst met voortschrijdend inzicht met betrekking tot klimaatveranderingen, zoals de KNMI'06-klimaatscenario's, moet worden omgegaan.

Indien de KNMI'06-klimaatscenario's in de toekomst inderdaad als basis gebruikt moeten worden voor het onderzoek naar de effecten van klimaatverandering in het waterbeheer en het waterbeleid, dan is het formuleren van eenduidige uitgangspunten ten aanzien van het gebruik van de klimaatscenario's van belang. Het is de vraag of er een keuze moet worden gemaakt, of dat het beleid gebaseerd moet worden op een combinatie van de scenario's.

In specifieke situaties zijn bovendien extra richtlijnen nodig om de KNMI'06-scenario's te vertalen naar voor de toepassing relevante en in de huidige scenario's ontbrekende informatie. Denk bijvoorbeeld aan de vertaalslag naar intensieve korte neerslagpatronen die nodig is om tijdens het ontwerp van rioleringsystemen in het stedelijk waterbeheer rekening te houden met klimaatveranderingen.

Richtlijnen met betrekking tot de uitgangspunten voor de toepassing van nieuwe klimaatscenario's en de mogelijke extra vertaalslagen, moeten het in de toekomst mogelijk maken om bij het verschijnen van nieuwe klimaatscenario's de in het beleid te gebruiken scenario's eenvoudig en snel te actualiseren.

Om hiervoor een aanzet te geven zijn de consequenties van een aantal beleidsalternatieven met betrekking tot het omgaan met de nieuwe KNMI'06-scenario's, inzichtelijk gemaakt. Het afwegingskader uit fase 1 is gebruikt om de voor- en nadelen van een aantal beleidsopties overzichtelijk op een rij te zetten en de keuze van de toepassing van klimaatscenario's in het waterbeheer te vergemakkelijken. Op basis hiervan heeft de werkgroep 'klimaatscenario's' een advies omtrent de toepassing van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's opgesteld voor het vervolg van Nationaal Bestuursakkoord Water.

## 1.4 Organisatie

De opdracht is uitgevoerd door Jaap Kwadijk en Saskia van Vuren. Jos Dijkman heeft de review van het rapport verzorgd. Saskia van Vuren trad op als projectleider. Het project is vanuit Rijkswaterstaat RIZA begeleid door Yvo Snoek en Hendrik Buiteveld. Gedurende de uitvoering is de inhoudelijke voortgang van het project besproken in vergaderingen met de leden van de werkgroep "Klimaatscenario's".

## 1.5 Leeswijzer

Het rapport is als volgt opgebouwd:

- Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving en vergelijking van de 1<sup>e</sup> orde effecten van de verwachte klimaatveranderingen volgens de WB21- en KNMI'06-scenario's.
- Hoofdstuk 3 beschrijft de werkwijze voor de volgende onderdelen:
  - een overzicht van de toepassing van de WB21- klimaatscenario's in het vigerende waterbeleid;
  - een vergelijking van de 2<sup>e</sup> orde effecten van de verwachte klimaatverandering tussen de WB21- en KNMI'06-scenario's; en

- een afwegingskader om de consequenties van de KNMI'06-klimaatscenario's te verkennen.
- In Hoofdstuk 4 tot en met 7 worden de onderdelen uit hoofdstuk 3 per thema uitgewerkt.
- Hoofdstuk 8 is een discussiehoofdstuk waarin de resultaten van de analyses bij elkaar zijn gebracht.
- Hoofdstuk 9 beschrijft de conclusies.
- In Hoofdstuk 10 wordt een samenvatting gegeven en zijn vier beleidsalternatieven gespecificeerd. Met het ontwikkelde afwegingskader zijn de consequenties van deze beleidsalternatieven inzichtelijk gemaakt en zijn de beleidsrisico's die samenhangen met de keuze van het ene of het andere klimaatscenario als uitgangspunt in beeld gebracht.

## 2 Verwachte klimaatveranderingen volgens de WB21- en KNMI'06-scenario's

### 2.1 Achtergrond

Het KNMI heeft in 2006 vier nieuwe klimaatscenario's gepresenteerd voor Nederland (KNMI'06-scenario's). De nieuwe klimaatscenario's geven de nieuwste inzichten weer ten aanzien van veranderingen in temperatuur, neerslag, wind en zeespiegel. De nieuwe klimaatscenario's vervangen de scenario's die in 2000 zijn opgesteld voor de Commissie Waterbeheer 21e eeuw (WB21- scenario's).

De nieuwe KNMI'06-scenario's wijken op een aantal punten sterk af van de WB21-scenario's. Dit is onder andere het gevolg van de wijze waarop de scenario's zijn afgeleid. Een verschil ten opzichte van de oude scenario's is dat voor het opstellen van de nieuwe scenario's rekening is gehouden met een eventuele verandering in grootschalige luchtcirculatie. Daarnaast zijn de nieuwe klimaatscenario's gebaseerd op de resultaten van een groot aantal mondiale en regionale klimaatmodellen en historische meetreeksen afkomstig van Nederlandse stations, terwijl voor de oude scenario's slechts een beperkt aantal mondiale klimaatmodellen is gebruikt. Die modellen gaven alleen een goede indicatie van de wereldwijde opwarming en zeespiegelstijging. De verandering in neerslag in Nederland werd voor de scenario's bepaald aan de hand van de statistische relatie tussen neerslag en temperatuur in meetreeksen. Daarbij werd ervan uitgegaan dat die relatie en de grootschalige luchtcirculatie niet wijzigt.

Er is voor de nieuwe KNMI'06-scenario's in tegenstelling tot de WB21- scenario's geen onderscheid gemaakt in een laag, midden en hoog scenario, maar in een warm en gematigd scenario, waarbij respectievelijk wel en geen rekening wordt gehouden met een verandering in de grootschalige luchtcirculatie. Zowel voor de nieuwe KNMI'06-scenario als voor de oude WB21-scenario's geldt dat niet kan worden aangegeven welk scenario het meest waarschijnlijk is.

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving en vergelijking van de 1<sup>e</sup> orde effecten van de verwachte klimaatveranderingen volgens de WB21- en KNMI'06-scenario's. Onder 1<sup>e</sup> orde effecten worden de primaire klimatologische effecten verstaan, zoals de effecten van klimaatverandering op temperatuur, neerslag, verdamping en wind.

Het KNMI heeft veel aandacht besteed aan een vergelijking tussen de oude WB21-scenario's en de nieuwe KNMI'06-scenario's. Derhalve is gebruik gemaakt van dit bestaande materiaal.

## 2.2 KNMI'06-klimaatscenario's

Het KNMI heeft in 2006 nieuwe klimaatscenario's (KNMI'06-scenario's) gepubliceerd, gebaseerd op de nieuwste inzichten van het wereldwijde klimaatonderzoek. Bij het samenstellen van de nieuwe klimaatscenario's is uitgegaan van hetzelfde bronmateriaal als in het 4<sup>e</sup> IPCC-rapport dat begin 2007 is verschenen.

De KNMI'06-klimaatscenario's zijn gebaseerd op de simulaties met een aantal mondiale klimaatmodellen (GCM's) die voor het 4<sup>e</sup> IPCC-rapport zijn gemaakt. Op basis van de IPCC-resultaten zijn regio-specifieke scenario's gemaakt voor de zeespiegelstijging in het oostelijke deel van de Atlantische Oceaan en voor de windsnelheden in het Noordzeegebied. Met de gemiddelde wereldwijde luchttemperatuur en luchtstromingspatronen als belangrijke invoervariabelen zijn vier klimaatscenario's voor Nederland gegenereerd. Deze scenario's leveren verwachtingen ten aanzien van neerslag, temperatuur en potentiële verdamping, zie Tabel 2-1.

De procentuele veranderingen zijn weergegeven ten opzichte van het klimaat omstreeks 1990 dat is afgeleid uit de weergegevens in de periode van 1976 tot 2005. De extreme temperatuur- en neerslagwaarden zijn gereconstrueerd op basis van een reeks experimenten met meerdere regionale klimaatmodellen gecombineerd met een statistische bewerking.

Tabel 2.1 Klimaatscenario's voor 2050 voor Nederland ten opzichte van 1990 (KNMI, 2006)

		G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging		+1°C	+1°C	+2°C	+2°C
Verandering in luchtstromingspatronen		nee	ja	nee	ja
Winter <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	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 (≥ 0,1 mm)	-2%	-10%	-3%	-19%
	dagsom van de neerslag die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+13%	+5%	+27%	+10%
	potentiële verdamping	+3%	+8%	+7%	+15%
Zeespiegel	absolute stijging	15-25 cm	15-25 cm	20-35 cm	20-35 cm

Het KNMI doet geen uitspraak over welk KNMI'06-scenario het meest waarschijnlijk is. Uitgangspunt van de verwachtingen ten aanzien van temperatuur, neerslag en verdamping van de KNMI'06-scenario is geweest om ongeveer 80% van het interval mee te nemen (Van den Hurk et al., 2006).

## 2.3 WB21-klimaatscenario's

In diverse studies op het gebied van het nationale en regionale waterbeheer is gebruik gemaakt van de klimaatscenario's die in 2000 voor de Commissie Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw (WB21- scenario's) zijn ontwikkeld.

De Commissie Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw had als opdracht om advies uit te brengen over de wenselijke aanpassingen in de waterhuishoudkundige inrichting van Nederland, met aandacht voor de gevolgen van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling. Door RIZA, WL | Delft Hydraulics en het KNMI zijn daartoe klimaatscenario's opgesteld die de verwachtingen geven ten aanzien van toekomstige veranderingen in temperatuur, neerslag, verdamping en zeespiegelstijging (Kors et al., 2000). Er is daarbij gebruik gemaakt van studies van het KNMI (Können et al., 1997; Können et al., 1999; en Können, 2001), waarin de mondiale prognoses van het IPCC (1995) vertaald zijn naar de situatie van Nederland en de stroomgebieden van Rijn en Maas, en studies die in het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma (NOP) zijn uitgevoerd (Middelkoop et al., 2000, Haasnoot et al., 1999 en Van Asselt et al., 2001). Tabel 2.2 vat de vier klimaatscenario's samen.

Tabel 2.2 Klimaatscenario's voor 2050 voor Nederland ten opzichte van 1990 (Kors et al., 2000)

Scenario's voor 2050	Huidige beleid	Trend nat	Erger nat	Extreem nat	Extreem droog
Temperatuur		+ 0,5°C	+ 1 °C	+ 2 °C	+ 2 °C
Jaarneerslag	700 - 900 mm	+ 1,5%	+ 3%	+ 6%	- 10%
Neerslag zomer totaal	350 - 475 mm	+ 0,5%	+ 1%	+ 2%	- 10%
Neerslag wintertotaal	350 - 425 mm	+ 3%	+ 6%	+ 12%	- 10%
Neerslag intensiteit in buien	Afhankelijk duur buien	+ 5%	+10%	+ 20%	- 10%
5 minuten neerslag NL	Afhankelijk frequentie	+ 5%	+ 10%	+ 20%	- 10%
10-daagse neerslagsom winter NL	Afhankelijk frequentie	+ 5%	+ 10%	+ 20%	- 10%
10-daagse neerslagsom winter België	Afhankelijk frequentie)	+ 5%	+ 10%	+ 20%	- 10%
Verdamping zomer NL	540 - 600 mm	+ 2%	+ 4%	+ 8%	+ 8%
Verdamping winter NL	(ca. 100 mm)	+ 2%	+ 4%	+ 8%	+ 8%
Verdamping jaar NL	620 - 720 mm	+ 2%	+ 4%	+ 8%	+ 8%
Relatieve zeespiegelstijging, NL <sup>1</sup>		+ 10 cm	+ 25 cm	+ 45 cm	+ 45 cm
Relatieve stijging hoogwater op zee <sup>1</sup>		+ 12,5 cm	+ 27,5 cm	+ 47,5 cm	+ 47,5 cm
Relatieve stijging laagwater op zee <sup>1</sup>		+ 7,5 cm	+ 22,5 cm	+ 42,5 cm	+ 42,5 cm

<sup>1</sup> In Kors et al. (2000) worden dit absolute stijgingen genoemd, terwijl het eigenlijk relatieve stijgingen betreft, dus stijging inclusief het effect van bodemdaling, zie Tabel 2.4.

Opvallend is dat ook in Kors et al. (2000) vier scenario's worden beschreven voor de zichtjaren 2050 en 2100. De terminologie "laag, midden en hoog scenario", zoals gebruikt in het Nationaal Bestuurakkoord Water (NBW) ontbreekt hier. Deze terminologie wordt wel gebruikt in het eindrapport van de WB21 studie. Onderzoek naar droge situaties maakte wel onderdeel uit van de WB21 studie, maar het droge scenario is niet opgenomen in het eindrapport van WB21.

Dit komt doordat de WB21 studie primair was ingesteld voor (extreem) natte scenario's. Ten behoeve van de WB21 studie zijn de klimaatscenario's samengevat tot een laag, midden en hoog scenario, zie Tabel 2-3.

Tabel 2.3 Klimaatscenario's "laag, midden en hoog" voor 2050 voor Nederland ten opzichte van 1990 (WB21, 2000)

<b>Scenario 2050</b>	<b>laag</b>	<b>midden</b>	<b>hoog</b>
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 herhalingsstijd 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

Op basis van eerder uitgevoerde studies zijn de gevolgen voor het waterbeheer van de verwachte klimaatveranderingen in kaart gebracht. Voor zover bekend zijn daarvoor geen of zeer beperkt additionele studies of nieuwe simulaties uitgevoerd. De scenario's zijn geïnterpreteerd in termen van veranderingen in rivierafvoeren, IJsselmeerpeilen, ijs, wateropzet gedurende stormen en bodemdaling. Voor neerslag en rivierafvoeren en -peilen en IJsselmeerpeilen zijn, zowel veranderingen in gemiddelde waardes als veranderingen in extremen afgeleid. De scenario's voor de gevolgen voor het waterbeheer zijn gepubliceerd in achtergrond rapporten (Kors et al., 2000).

## 2.4 Vergelijking tussen WB21- en KNMI'06-klimaatscenario's

De vergelijking tussen de klimatologische effecten van de WB21- en de KNMI'06-klimaatscenario's is gebaseerd op bestaand materiaal van het KNMI. Tabel 2.4 zet de verwachtingen ten aanzien van temperatuur, neerslag, verdamping en zeespiegelstijging van de scenario's naast elkaar. De belangrijkste overeenkomsten en verschillen zijn in het onderstaande samengevat. Deze informatie is overgenomen van de webpagina van het KNMI: [www.knmi.nl/klimaatscenarios/knmi06/samenvatting/](http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/knmi06/samenvatting/).

Tabel 2.4 Vergelijking tussen de WB21- en KNMI'06-scenario's voor 2050 (bron: [www.knmi.nl](http://www.knmi.nl)). WB21\* hoog-droog is een scenario gebruikt voor de droogtestudie maar vormde geen deel van de WB21-scenario's

	WB21	WB21	KNMI-06	WB21	KNMI-06	WB21*	KNMI-06	KNMI-06
Klimaatvariabele	laag	midden	G	hoog	W	hoog-droog	G+	W+
<b>Temperatuur</b>								
Gemiddeld winter <sup>1</sup>	+0,5	+1	+0,9	+2	+1,8	+2,0	+1,1	+2,3
Gemiddeld zomer <sup>1</sup>	+0,5	+1	+0,9	+2	+1,7	+3,1	+1,4	+2,8
<b>Neerslag zomer (%)</b>								
Gemiddeld (halfjaar)	+0,5	+1		+2				
Gemiddeld (JJA <sup>2</sup> )			+3		+6	-20	-10	-19
Intensiteit in buien	+5	+10		+20				
dagsom, eens in 10 jaar overschreden (JJA <sup>2</sup> )			+13		+27		+5	+10
Natte dag frequentie <sup>3</sup>	0	0	-2	0	-3	0	-10	-19
<b>Neerslag winter (%)</b>								
Gemiddeld (halfjaar)	+3	+6		+12				
Gemiddeld (DJF <sup>2</sup> )			+4		+7	+13	+7	+14
10-daagse som (halfjaar)	+5	+10		+20				
10-daagse som, eens in 10 jaar overschreden (DJF <sup>2</sup> )			+4		+8		+6	+12
Natte dag frequentie <sup>3</sup>	0	0	0	0	0	0	+1	+2
<b>Potentiële evaporatie (%)</b>								
Jaarlijks	+2	+4		+8		+8		
Zomer (JJA <sup>2</sup> )			+3		+7	+24	+8	+15
<b>Zeespiegel (cm)</b>								
Absolute stijging in 2050	+5	+20	+15 - +25	+40	+20 - +35	+40	+15 - +25	+20 - +35
Absolute stijging in 2100	+10	+50	+35 - +60	+100	+40 - +85	+100	+35 - +60	+40 - +85

<sup>1</sup> De verwachting ten aanzien van temperatuur in winter en zomer hebben voor de WB21-scenario's betrekking op een halfjaar en voor de KNMI'06-scenario's op drie maanden (voor de winter betreft dit de maanden december, januari en februari, en voor de zomer de maanden juni, juli en augustus)

<sup>2</sup> JJA staat voor de zomermaanden juni, juli en augustus. DJF staat voor de wintermaanden december, januari en februari.



## Overeenkomsten

De IPCC prognoses voor mondiale temperatuurstijging zijn als uitgangspunt voor de beide scenario's gebruikt. De mondiale temperatuurstijging van +2 °C in 2100 (of +1 °C in 2050) ten opzichte van 1990 wordt zowel in het oude "centrale" scenario gebruikt als in de nieuwe G en G+ scenario's. Een temperatuurstijging van +4 °C in 2100 (of +2 °C in 2050) ten opzichte van 1990 wordt zowel in het oude "hoge" scenario gebruikt als in de nieuwe W en W+ scenario's.

Als basisjaar wordt 1990 gebruikt (de gebruikte referentieperiode om het klimaat in 1990 te karakteriseren verschilt).

## Verschillen

In de KNMI'06-scenario's zijn zowel de wereldwijde temperatuurstijging als ook de mogelijke verandering in luchtstroming gebruikt voor de indeling van de scenario's. In de WB21- scenario's werd alleen de wereldwijde temperatuurstijging gebruikt als "stuurparameter", en werd verondersteld dat de luchtstroming niet zouden wijzigen.

Voor de KNMI'06-scenario's zijn recente uitkomsten geanalyseerd van een groot aantal mondiale en regionale klimaatmodellen. Voor de WB21-scenario's was slechts een beperkt aantal mondiale klimaatmodellen beschikbaar en daaruit werd alleen de wereldwijde opwarming en zeespiegelstijging gebruikt. Met de nieuwe analyses is de samenhang tussen de wereldwijde opwarming, veranderingen in de luchtstroming boven West Europa en klimaatverandering in Nederland systematisch in kaart gebracht. Het is voor het eerst dat dit gedaan is door de uitkomsten van een scala aan mondiale en regionale klimaatmodellen en meetreeksen te combineren.

De temperatuurstijging varieert in de nieuwe KNMI'06-scenario's tussen de 1°C en 3°C voor 2050. De temperatuurstijging van 0,5 °C van het WB21-laag scenario valt buiten deze range en is daarom achterhaald. De waargenomen wereldwijde temperatuurstijging is sinds 1990 zo sterk dat het WB21-laag scenario weinig aannemelijk lijkt.

In de WB21-scenario's is de temperatuurstijging in Nederland gelijk aan de wereldwijde temperatuurstijging. In de KNMI'06-scenario's is dit niet het geval. Vooral in de scenario's met verandering in luchtstroming is de temperatuurstijging in Nederland groter dan de wereldwijde temperatuurstijging.

De hevige neerslag in de winter neemt in de KNMI'06-scenario's minder toe dan in de WB21-scenario's.

In de WB21-scenario's werd nog de relatieve zeespiegelstijging gegeven; in de KNMI'06-scenario's wordt de absolute zeespiegelstijging gegeven. De waargenomen bodemdaling in de 20e eeuw varieerde zo sterk per locatie dat het inmiddels weinig relevant lijkt een gemiddelde bodemdaling voor Nederland te gebruiken.

De temperatuur, neerslag en verdamping in winter en zomer hebben voor de WB21-scenario's betrekking op een halfjaar en voor de KNMI'06-scenario's op drie maanden. Voor de winter betreft dit de maanden december, januari en februari, en voor de zomer de maanden juni, juli en augustus.

De WB21- en de KNMI'06-scenario's geven ten aanzien van de neerslagveranderingen een ander beeld. Voor de gemiddelde neerslag in de zomer was de verandering volgens droogste en het natste WB21-scenario +0,5 en +2% voor 2050. Voor de KNMI'06-scenario's liggen die waarden tussen de -19 en +6% voor 2050. Voor de winterperiode varieert de gemiddelde neerslag tussen de +3 en +12% voor 2050 volgens de WB21-scenario's; en tussen de +4 en +14% voor 2050 volgens de KNMI'06-scenario's. Dit betekent dat de verschillen tussen de WB21-scenario's zich in de eerste plaats in de gemiddelde zomerneerslagen manifesteren.

Hevige neerslag in de winter neemt volgens de KNMI'06-scenario's minder toe dan in de WB21-scenario's. De extreme zomerneerslag neemt volgens het KNMI'06-G en vooral het KNMI'06-W scenario's sterk toe. Deze toename is volgens het KNMI'06-W scenario zelfs groter dan volgens het WB21-hoog scenario.

De verdamping neemt volgens de KNMI'06-W en -G+ scenario's en met name W+ scenario veel sterker toe dan volgens de WB21-midden en laag scenario's. In combinatie met de mogelijke afname van de neerslag in de zomer zullen de KNMI'06-scenario's tot veel drogere omstandigheden leiden dan de WB21-scenario's.

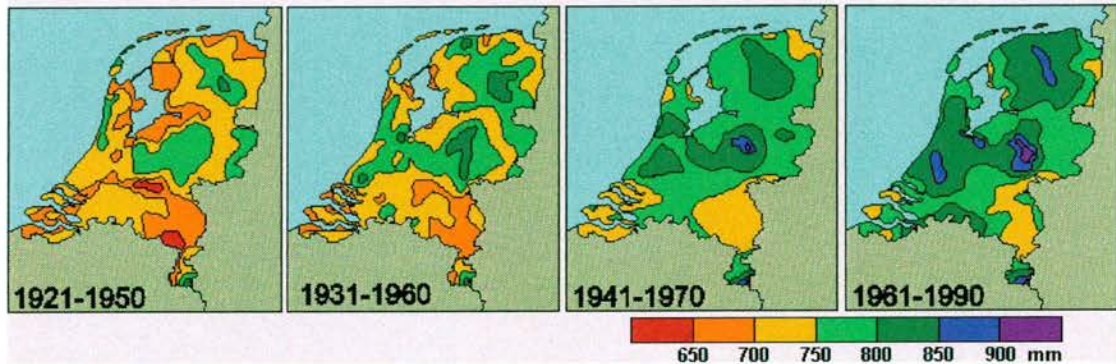
Samenvattend voor het waterbeheer verwachten de nieuwe KNMI'06-scenario's een sterkere trend naar een grotere variabiliteit in het weer dan de oude WB21-scenario's. Er wordt geconcludeerd dat:

1. net als in de WB21-scenario's de omstandigheden in de winter natter worden;
2. net als in de WB21-scenario's de extremere neerslag gedurende de winter toeneemt, echter de mate waarin neemt af;
3. zomerdroogte als reëlere optie wordt gezien, doordat er naast de twee natte scenario's (het KNMI'06-G en -W scenario) in de KNMI'06-scenario's ook twee droge scenario's (het KNMI'06-G+ en -W+ scenario) zijn opgenomen;
4. net als in de WB21-scenario's de extremere neerslag gedurende de zomer toeneemt, echter de mate waarin neemt toe; en
5. net als in de WB21-scenario's blijft de temperatuur stijgen.

## 2.5 Interpretatie nieuwe klimaatscenario's voor waterbeheer

Het KNMI geeft een indicatie voor hoe de verwachtingen ten aanzien van neerslag en temperatuur van de klimaatscenario's kunnen worden geïnterpreteerd. Verschillen tussen scenario's voor temperatuur kleiner dan 0,5°C kunnen als niet significant worden beschouwd. Met betrekking tot neerslag dienen verschillen in de orde van 5% als niet significant te worden beschouwd. Of de verschillen in klimaatveranderingen tussen de oude WB21 en nieuwe KNMI'06-scenario's voor het waterbeheer relevant zijn, is afhankelijk van de wijze waarop de cijfers geïnterpreteerd worden.

Behalve de natuurlijke variatie in de tijd, bestaan er ook ruimtelijke verschillen in neerslag binnen Nederland. Er is een aantal onderzoeken uitgevoerd naar de ruimtelijke verschillen in neerslag hoeveelheden binnen Nederland. Figuur 2-1 illustreert de variatie van de jaarneerslag binnen Nederland in de afgelopen eeuw (Van Boxel & Cammeraat, 1999).



Figuur 2-1 Ruimtelijke variatie in de gemiddelde neerslag in Nederland in de periode 1921 tot 1990 (van Boxel en Cammeraat, 1999)

Onderzoek uitgevoerd door het KNMI in samenwerking met HKV laat zien dat er binnen Nederland een verschil in het ruimtelijk neerslagpatroon is. Onderzocht zijn neerslagsommen voor verschillende neerslagduren (4 uur tot 10 dagen). Onderzocht zijn neerslagen met herhalingstijden van 10x per jaar tot eens in de 1000 jaar. Voor extremere neerslag (neerslag die eens in de 10 jaar optreedt) laat dat onderzoek zien dat ten opzichte van de Bilt de afwijkingen in de orde van 12% optreden. Tussen stations onderling kunnen de verschillen oplopen tot globaal 20%. Bij ontwerpen in het waterbeheer betekent dit dat het erg belangrijk is welke weerstation als uitgangspunt dient.

Hiermee rekening houdend vallen de veranderingen in zomerneerslag volgens de WB21-scenario's binnen de geografische variatie van de huidige neerslag binnen Nederland. Volgens de WB21-scenario's wordt het in de toekomst weliswaar natter, maar in het deel van Nederland waar nu zomers de minste regen valt, zal tot 2050 gemiddeld niet méér regen gaan vallen dan nu in het deel van Nederland waar de meeste regen valt. In het natste deel van Nederland gaat natuurlijk wel meer regen vallen en daar wordt het natter dan nu. Dit geldt ook voor de KNMI'06-W en -G scenario's.

Hetzelfde geldt voor de veranderingen in de gemiddelde winterneerslagen volgens het WB21 laag en midden scenario, het KNMI'06-W, -G en -G+ scenario. Het WB21 hoog en het KNMI'06-W+ scenario geven een verandering die in de orde is van de variatie die binnen Nederland optreedt (+12% en +14% voor 2050). Op deze wijze geïnterpreteerd zijn zelfs de veranderingen in de winter volgens het W+ scenario nauwelijks groter dan de onderlinge verschillen tussen de Nederlandse stations.

In de praktijk spelen ruimtelijke variaties in de neerslag binnen Nederland nauwelijks een rol in ontwerpen voor het waterbeheer. Vanuit dit oogpunt zouden de verwachte veranderingen in de zomer- en winterneerslag maar een beperkte betekenis hebben voor het waterbeheer.

Vanuit een ander gezichtspunt zijn de verwachte veranderingen wel degelijk van belang. In het waterbeheer wordt gedimensioneerd op basis van herhalingstijd. De maatgevende afvoer voor rivieren heeft een herhalingstijd van  $T = 1250$  jaar, de dijken moeten bij een dergelijke afvoer voldoende hoog en sterk zijn; het regulier functioneren van een rioolstelsel wordt getoetst met behulp van een ontwerpbui met een herhalingstijd van  $T = 2$  jaar, een rioolstelsel moet deze ontwerpbui kunnen verwerken zonder wateroverlast. Tabel 2.5 geeft de neerslagstatistiek van Nederland in tabelvorm weer. Met behulp van deze tabel kan op basis van de veranderingen in extreme neerslag een schatting worden gemaakt van de bijbehorende verandering in herhalingstijd.

Het KNMI'06-W scenario veronderstelt een toename van de extreme zomerneerslag (dagsom die gemiddeld eens in de 10 jaar wordt overschreden) met 27% voor 2050. De 24-uurs som die onder de huidige omstandigheden eens in de 50 jaar valt, zal onder dit W scenario omstandigheden ongeveer eens in de 10 jaar gaan vallen. Indien de statistiek voor de extreme buien ook voor de zeldzamere gebeurtenissen geldt zal een bui die nu een verwachting heeft rond eens in de 500 jaar een verwachting krijgen rond eens per 100 jaar. Vanuit dit gezichtspunt geredeneerd zouden de veranderingen wel grote gevolgen hebben voor het ontwerp in het waterbeheer.

Tabel 2.5 Neerslagstatistiek van Nederland voor de Bilt (STOWA, 2004). De betekenis van de rode pijl wordt in bovenstaande tekst toegelicht.

jaar	uren				dagen			
	4	8	12	24	2	4	8	9
10x per jaar	9	12	13	15	19	-	-	-
5x per jaar	12	15	17	21	26	33	43	45
2x per jaar	16	20	23	28	35	45	61	64
1x per jaar	21	24	27	33	41	52	71	75
1x per 2 jaar	25	29	32	39	48	60	81	86
1x per 5 jaar	31	36	40	47	58	71	94	99
1x per 10 jaar	36	41	46	54	65	80	103	109
1x per 20 jaar	41	47	52	61	73	89	113	118
1x per 25 jaar	43	49	54	63	75	91	115	121
1x per 50 jaar	49	56	61	71	84	100	124	130
1x per 100 jaar	55	62	68	79	92	109	133	138
1x per 200 jaar	61	69	75	87	101	118	141	146
1x per 500 jaar	71	79	86	98	113	130	152	156
1x per 1000 jaar	78	88	95	108	123	140	159	163

### **3 Werkwijze om consequenties van KNMI'06-klimaatscenario's in kaart te brengen**

Dit hoofdstuk beschrijft de werkwijze om de consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's voor het waterbeheer en -beleid in kaart te brengen. De uitwerking hiervan volgt in hoofdstuk 4. In de uitwerking wordt aangegeven of naar verwachting een reële kans is dat de KNMI'06-scenario's zouden moeten leiden tot aanpassingen in het vigerende waterbeleid ten aanzien van klimaatveranderingen. Op grond van de resultaten wordt in fase 2 antwoord gegeven op vragen als 'hoe moet in de toekomst worden omgegaan met voortschrijdend inzicht met betrekking tot klimaatveranderingen?'.

#### **3.1 Consequenties klimaatscenario's voor het waterbeheer**

Om de consequenties in kaart te brengen is ten eerste geanalyseerd of de nieuwe KNMI'06-scenario's vanuit het oogpunt van waterbeheer en beleid significant afwijken van de oude WB21-scenario's. De thema's van het Nationaal Programma Adaptatie Ruimte en Klimaat (ARK) vormen het vertrekpunt van deze analyse. De ARK-thema's zijn gespecificeerd in de volgende, voor waterbeheer relevante, subthema's:

- Bescherming tegen overstromen:
  - Kust
  - Rivieren Rijn en Maas
  - IJsselmeer
- Overig waterbeheer inzake wateroverlast en droogte:
  - wateroverlast landelijk gebied
  - wateroverlast stedelijk gebied
  - droogte
  - waterkwaliteit
- Algemene nutsvoorzieningen:
  - Energie
  - Drinkwater
  - Water infrastructuur
- Natuur en biodiversiteit

### 3.1.1 Analyse van de tweede orde effecten

Voor elk thema zijn de relevante 2<sup>e</sup> orde effecten van de verwachte klimaatverandering van de WB21- en KNMI'06-scenario's met elkaar vergeleken. Met 2<sup>e</sup> orde effecten worden de effecten van klimaatveranderingen op het hydrologische systeem bedoeld. Voor het waterbeheer zijn de belangrijkste 2<sup>e</sup> orde effecten de stand van de zeespiegel, de rivierafvoeren, de waterbalans in zomer en winter en de grondwaterstanden.

De 2<sup>e</sup> orde effecten zijn vergeleken door middel van een semi-kwantitatieve analyse, waarin de verschillen tussen de WB21- en KNMI'06-scenario's gerelateerd zijn aan de natuurlijke variabiliteit in het watersysteem. De veronderstelling is dat het huidige waterbeheer is afgestemd op de huidige variabiliteit. Zolang de verschillen tussen de scenario's kleiner zijn dan de natuurlijke variabiliteit, is er weinig aanleiding om het huidige klimaatadaptatie-beleid aan te passen.

### 3.1.2 Consequenties van de KNMI'06-scenario's

In feite is niet zozeer van belang hoeveel de 2<sup>e</sup> orde effecten tussen de WB21- en KNMI'06-scenario's verschillen, maar is van belang of de verschillen zouden leiden tot een ander beleid. Per thema is gekeken of de verschillen zo groot zijn, dat gestelde beleidsdoelen niet of juist ruim gehaald worden, indien in het beleid rekening is of zou zijn gehouden met de oude WB21-scenario's, en het klimaat zich ontwikkeld volgens één van de KNMI'06-scenario's. Er vanuit gaande dat maatregelen en strategieën voor adaptatie aan klimaatverandering zijn afgestemd op het beleid dat met betrekking tot de WB21-scenario's is ontwikkeld, kan op basis hiervan worden bepaald of aanvullende maatregelen nodig zijn om aan de beleidsdoelen te voldoen indien een van de KNMI'06-scenario's realiteit zou worden. In deze studie wordt niet zozeer gekeken naar het type maatregel en strategie voor adaptatie aan klimaatverandering, maar wordt gekeken of ongeacht het type maatregel en strategie, de beleidsdoelen worden gerealiseerd.

Samengevat komt de analyse op het volgende neer:

*Stel dat er beleid was ontwikkeld uitgaande van één van de WB21-scenario's en op termijn blijkt dat het klimaat zich ontwikkeld volgens één van de KNMI'06-scenario's,*

1. *worden beleidsdoelen dan gehaald?*
2. *zijn extra maatregelen dan noodzakelijk?*
3. *is er dan te veel beleid ontwikkeld?*

Het antwoord op deze vragen wordt in drie kleuren gespecificeerd (Figuur 3-1):

- Rood betekent dat de onderlinge verschillen tussen de scenario's zodanig zijn dat er reden is om aan te nemen dat het beleid in de loop van de tijd aangepast zal moeten worden omdat onder de geschetste klimaatontwikkeling de gestelde beleidsdoelen vermoedelijk niet worden gehaald. De kans dat op termijn extra maatregelen nodig zijn is veel groter dan de kans dat er te veel beleid is ontwikkeld.
- Groen betekent dat de onderlinge verschillen tussen de scenario's zo klein zijn dat er weinig reden is om aan te nemen dat het nieuwe KNMI'06-scenario tot een ander beleid zou leiden. De ontwikkeling in het klimaat is zodanig dat de gestelde beleidsdoelen vermoedelijk gehaald gaan worden. De kans dat op termijn blijkt dat eventuele extra maatregelen nodig zijn of dat het blijkt dat er te veel beleid is ontwikkeld wordt ongeveer gelijk ingeschat.
- Blauw betekent dat de onderling verschillen tussen de scenario's zodanig zijn dat de verwachting is dat de beleidsdoelen ruim gehaald worden. De kans dat er te veel maatregelen zijn genomen is veel groter dan dat er te weinig zouden zijn. Dit laatste impliceert dat er mogelijk in financiële zin uitgaven zijn gedaan of zijn voorzien, die niet nodig waren. Bovendien is het mogelijk dat cultuur- en natuurwaarden en economische potenties van gebieden niet volledig zijn benut



Figuur 3-1. Classificatie voor de beoordeling van het waterbeheer beleid

Voor de thema's waar nog geen beleid voor ontwikkeld is, betreft het een academische analyse, waarin de drie WB21-scenario's zijn vergeleken met de vier KNMI'06-scenario's. Voor de thema's waar wel beleid ontwikkeld is, is de analyse in het bijzonder gericht op de consequenties van de nieuwe KNMI'06-scenario's in relatie tot het beleidsscenario. Deze in het beleid gehanteerde scenario's zijn niet altijd identiek met een van de WB21-scenario's

Voor de relevantie van de analyse wordt daarom nagegaan of er voor een thema al beleid is ontwikkeld voor klimaatadaptatie en welk scenario daarbij als uitgangspunt is gebruikt. Voor de mate van beleidsontwikkeling worden drie categorieën gebruikt:

- Maatregelen ten behoeve van een vergroting van de klimaatbestendigheid in uitvoering;
- Maatregelen ten behoeve van een vergroting van de klimaatbestendigheid in voorbereiding; en
- Maatregelen ten behoeve van een vergroting van de klimaatbestendigheid in studie.

## 3.2 Robuustheid en flexibiliteit

Om klimaatadaptatiebeleid te beoordelen dient te worden gekeken naar de robuustheid van het beleid en de flexibiliteit van het type maatregel dat in het kader van klimaatadaptatiebeleid wordt genomen. Deze termen zijn in het Nationaal Programma ARK gebruikt om een maat voor de klimaatbestendigheid te geven.

De mate waarin het klimaatadaptatiebeleid robuust is en de maatregelen flexibel zijn, hangt af van de strategie die gevolgd wordt. In dit onderzoek is niet naar het type maatregel en de strategie voor klimaatadaptatie gekeken. Een beoordeling op robuustheid en flexibiliteit valt daarom ook buiten het kader van dit onderzoek.

Er wordt aangeraden om in vervolgonderzoek het huidige klimaatadaptatiebeleid wel te beoordelen op robuustheid en flexibiliteit. Vanuit dat oogpunt zijn de termen robuustheid en flexibiliteit in Bijlage A omschreven.

Hoewel het huidige klimaatadaptatiebeleid niet beoordeeld wordt op de flexibiliteit van een gekozen strategie, wordt er in paragraaf 3.3 kort op ingegaan.

## 3.3 Is de gekozen maatregel flexibel ten aanzien van de implementatie op termijn van een alternatieve strategie

In het huidige beleid is een van de uitgangspunten dat er ruimte vrijgehouden moet worden voor water. Het is in het algemeen verstandiger om ruimte vrij te houden die later gebruikt zou kunnen worden voor water dan om nu de ruimte te gaan gebruiken en die later vrij te maken voor water. Deze laatste optie is economisch onaantrekkelijk, want erg duur. De ervaring leert bovendien dat ruimte vrij maken voor water ook bestuurlijk erg moeilijk uitvoerbaar is.

Op basis hiervan is het verstandiger om nu ruimte te reserveren voor hoogwaterbescherming voor de toekomst dan om nu in te zetten op de versterking van dijken en ervan uitgaan dat in een later stadium eventueel ruimte gemaakt kan worden ten behoeve van hoogwaterbescherming. Ruimte die nu niet gereserveerd wordt voor water, zal voor andere doelen gebruikt gaan worden met als gevolg dat de kosten om in een later stadium dit terug te draaien hoog zullen zijn. In termen van opeenvolgende strategieën om Nederland veilig te houden tegen overstromen, is de volgorde “ruimte voor water” en later eventueel aanvullen met technische maatregelen haalbaarder dan de volgorde “technische maatregelen” later eventueel aanvullen middels “ruimte voor water”.



Het vrijhouden van ruimte in Nederland is moeilijk door de grote druk op de ruimte. Zoals beschreven in het rapport *Klimaatbestendigheid van Nederland*, de nulmeting, zal door de grote onzekerheden rondom klimaatverandering elke strategie die ontwikkeld wordt om Nederland robuust te maken tegen klimaatverandering dit gegeven moeten incorporeren. Bestuurlijke en maatschappelijke sociale systemen passen zich niet zomaar eenzijdig aan, maar hebben het vermogen om veranderingen die gewenst worden vanuit een specifieke optiek te negeren, te vertalen in een meer haalbare verandering of vooruit te schuiven. De weerstand tegen verandering neemt over het algemeen toe naarmate de *'sense of urgency'* geringer is en naarmate het onduidelijker is wiens probleem het niet inspelen op de verandering nu eigenlijk is.

Bij klimaatverandering is dit het geval immers:

- Het gaat het om hele lange termijnveranderingen, die niet urgent lijken in de dagelijkse beslommeringen van het openbaar bestuur.
- Ook spelen klimaatveranderingen op diverse schaalniveaus gelijktijdig, waardoor geen van de bestuurlijke schaalniveaus in staat is om zelfstandig een adequate respons te ontwikkelen.
- Klimaatveranderingen kunnen effecten hebben die vrijwel onmogelijk onder ogen gezien kunnen worden. Zo is het vanuit een lege landkaart misschien wijs om niet in de Randstad, maar in de gebieden boven de zeespiegel te gaan wonen. Vanwege het reeds geïnvesteerde vermogen lijkt geen enkele overheid (behalve misschien die in China) in staat tot grootschalige landverhuizingen te besluiten.
- Tenslotte zal hier ook de *'tragedy of the commons'* gaan spelen: klimaatverandering is een gewichtig collectief probleem, maar laat mijn buurman het maar oplossen.

In het algemeen geldt dat de bestuurlijke mogelijkheden om Nederland klimaatbestendig te maken vooral toenemen wanneer bestendige maatregelen ook een sociale of economische uitdaging zijn, zoals dat gold voor de Deltawerken en de landaanwinningprojecten. Deze creëerden niet alleen meer bescherming en wierpen een (tijdelijke) dam op tegen het stijgende water, maar creëerden ook economische meerwaarde.

Klimaatbestendig beleid kan derhalve geen doel op zich zijn. Elk voorstel tot een klimaatbestendige strategie voor waterbeheer zal dus het vermogen in zich moeten dragen om meekoppelende belangen te vinden. In de strategie van het reserveren van de ruimte moet op de korte termijn de invulling in de eerste plaats aan een maatschappelijk gewenst doel voldoen zoals een verbetering van de kwaliteit van de leefomgeving. Voorbeelden zijn het handhaven van natuurlijke landschappen, vermeerderen van groene en blauwe zones in de stad of bijdragen aan internationaal belangrijke natuurwaarden. Van belang is dat deze invulling zo is dat het direct leidt tot een grotere klimaatbestendigheid of dat op termijn gemakkelijk (goedkoop, met weinig maatschappelijke weerstand) de ruimte zodanig aan te passen is dat dit leidt tot een grotere klimaatbestendigheid.

## 4 Consequenties van KNMI'06-scenario's voor bescherming tegen overstromen

### 4.1 Kust

#### Huidige beleid en gehanteerde uitgangspunten

Vanuit het oogpunt van klimaatverandering is voor het kustbeleid met name zeespiegelstijging en wind van belang. Scenario's ten aanzien van zeespiegelstijging zijn gedefinieerd in de kustnota's, het rapport van de Commissie WB21<sup>e</sup> eeuw en Leidraad Zandige Kust (2002). In het huidige beleid zijn de scenario's uit de Leidraad Zandige Kust richtinggevend.

Het huidige beleid gaat uit van drie beleidscenari'o's voor toekomstige zeespiegelstijging:

- een laag scenario van 20 cm per eeuw;
- een midden scenario van 60 cm per eeuw; en
- een hoog scenario van 85 cm per eeuw.

Het lage scenario is gebaseerd op een extrapolatie van de trend in de stijging van de zeespiegel gedurende de afgelopen eeuw. Dit scenario wordt toegepast bij beslissingen met een korte levensduur (orde 5 jaar), geringe investering of hoge mate van flexibiliteit en bij veiligheidstoetsing (korte termijn beleid). Een voorbeeld is het uitvoeren van zandsuppleties om de zandverliezen langs de kust te compenseren.

Bij beslissingen met langere ontwerpduur (orde 50-100 jaar), grote investeringen en weinig flexibiliteit (dijken en stormvloedkeringen) wordt in het algemeen het middenscenario toegepast (middellange-termijn beleid). Zo wordt bij ontwerp en uitvoering bij de aanleg van harde waterkeringen rekening gehouden met zeespiegelstijgingen tot rond de 60 cm per eeuw.

Voor het handhaven van de veiligheidsnorm op lange termijn wordt in de kustzone ruimte gereserveerd. Daarbij wordt rekening gehouden met een zichtduur van 200 jaar en met het hoge scenario, waarin een zeespiegelstijging van 85 cm per eeuw en een toename van de wind met 5% wordt voorzien. De toename van wind leidt tot een verdere verhoging van de waterstanden door stormopzet. Voor deze lange termijn wordt voorzien dat versterking van de kustverdediging extra ruimte aan de landzijde van de zeewering gaat vragen. Dit scenario is dan ook bedoeld voor de reservering van ruimte, teneinde in de toekomst de optie tot landwaartse versterking open te houden.

Kortom, maatregelen ten behoeve van een vergroting van de klimaatbestendigheid zijn in uitvoering. Voor het handhaven van de veiligheidsnorm op lange termijn wordt rekening gehouden met een zeespiegelstijging van het hoge scenario voor een zichtduur van 200 jaar. Voor het handhaven van de kustlijn worden kortere zichttijden gehanteerd.

## Vershil in tweede orde effecten tussen klimaatscenario's

De beleidsscenario's uit de Leidraad Zandige Kust (LZK) zijn in het huidige beleid richtinggevend, daarom vergelijken we deze scenario's met de KNMI'06-scenario's.

Tabel 4.1 geeft de verwachte zeespiegelstijging voor het zichtjaar 2050 per scenario ten opzichte van 1990.

Tabel 4.1 Absolute zeespiegelstijging voor het zichtjaar 2050 voor LZK klimaatscenario's<sup>1</sup>

Absolute zeespiegelstijging voor 2050					
Leidraad Zandige Kust <sup>2</sup> (relatieve zeespiegelstijging)	laag 12 cm	midden 36 cm		hoog 52 cm	
KNMI'06-scenario's (absolute zeespiegelstijging)		G 15-25 cm	G+ 15-25 cm	W 20-35 cm	W+ 20-35 cm

<sup>1</sup> In het LZK-midden (-hoog) scenario wordt van dezelfde mondiale temperatuurstijging uitgegaan als het KNMI'06-G en G+ (-W en W+) scenario.

<sup>2</sup> In de Leidraad Zandige Kust wordt de relatieve zeespiegelstijging. De absolute zeespiegelstijging is afgeleid door rekening gehouden 5 cm bodemdaling.

De beleidsscenario's uit de Leidraad Zandige Kust geven één waarde voor de zeespiegelstijging. In de KNMI'06-scenario's wordt voor elk scenario een interval in de verwachting gegeven. Voor de beoordeling van de veranderingen in de verwachtingen ten aanzien van de zeespiegelstijging is de volgende indeling gehanteerd:

- Neemt sterk toe (++) : LZK scenario kleiner dan de helft van de ondergrens in het KNMI'06-scenario;
- Neemt toe (+) : LZK scenario is kleiner dan de ondergrens in het KNMI'06-scenario;
- Blijft gelijk (o) : LZK scenario valt binnen de spreiding in het KNMI'06-scenario;
- Neemt af (-) : LZK scenario is groter dan de bovengrens in het KNMI'06-scenario; en
- Neemt sterk af (--): LZK scenario is groter dan 2x de bovengrens in het KNMI'06-scenario.

In principe is de vergelijking tussen het LZK-laag scenario en de KNMI'06-scenario's niet volledig juist, aangezien het LZK-laag scenario de historische zeespiegelstijging op basis van metingen weergeeft en de KNMI'06-scenario's de verwachtingen voor het zichtjaar 2050. De zeespiegelstijging in het LZK-laag scenario is geen ondergrens van de range voor 2050. Een zuivere vergelijking tussen de scenario's wordt verder bemoeilijkt omdat in de KNMI'06-scenario's de bodemdaling niet meer meegenomen omdat deze zeer grote lokale verschillen vertoont terwijl deze wel wordt meegenomen in de Leidraad Zandige Kust.

Het verschil in tweede orde effect is beperkt tot een beoordeling op zeespiegelstijging. Verwachtingen ten aanzien van windtoename is buiten beschouwing gebleven. De verwachting ten aanzien van extreme windsnelheid voor 2050 van de KNMI'06-scenario's ligt beneden de verwachting van de LZK-beleidsscenario's.

Tabel 4.2 geeft de verschillen in het 2<sup>e</sup> orde effect tussen de klimaatscenario's uit de Leidraad Zandige Kust en de KNMI'06-scenario's weer.

Tabel 4.2 Verschil in tweede orde effect tussen klimaatscenario's: absolute zeespiegelstijging

KNMI'06-scenario's →	G	G+	W	W+
Leidraad Zandige Kust scenario's ↓				
laag	+	+	+	+
midden	-	-	o	o
hoog	--	--	-	-

Consequenties van de nieuwe KNMI'06-scenario's Tabel 4.3 brengt de consequenties van de nieuwe klimaatscenario's in kaart. Met betrekking tot bescherming tegen overstroming wordt als doel het handhaven van de huidige veiligheidsnorm gesteld. In Tabel 4-1 is antwoord gegeven op de vraag 'Veronderstel dat wordt uitgegaan van ....., maar op termijn blijkt dat KNMI'06-.... scenario werkelijkheid wordt, wordt het beleidsdoel dan gehaald, zijn extra maatregelen dan noodzakelijk en is er dan te veel beleid ontwikkeld?'

Tabel 4.3 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's.

Bescherming tegen overstromen langs de kust				
Doel: het handhaven van de huidige beschermingsnorm				
Maar het wordt KNMI'06-scenario ....	G	G+	W	W+
Veronderstel dat wordt uitgegaan van Leidraad Zandige Kust scenario ....				
laag				
midden				
hoog				
Groen: het beleidsdoel wordt gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is niet te veel beleid ontwikkeld.				
Rood: het beleidsdoel wordt niet gehaald, er zijn extra maatregelen nodig en er is te weinig beleid ontwikkeld.				
Blauw: het beleidsdoel wordt ruim gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is te veel beleid ontwikkeld				

Voor het LZK-laag scenario zijn de verwachtingen ten aanzien van zeespiegelstijging naar boven bijgesteld, dat wil zeggen dat er een grotere zeespiegelstijging wordt verwacht in de KNMI'06-scenario's dan het LZK-laag scenario. Opgemerkt moet worden dat het LZK lage scenario niet wordt gebruikt voor lange termijn beleid. Er worden derhalve geen beleidsbeslissingen genomen op basis van een projectie van LZK-laag naar 2050.

De verwachtingen ten aanzien van de zeespiegelstijging van de KNMI'06-scenario's zijn min of meer gelijk aan de LZK-midden scenario. Voor het LZK-hoog scenario zijn de verwachtingen ten aanzien van zeespiegelstijging iets naar beneden bijgesteld.

Indien maatregelen genomen zouden zijn op basis van de LZK-hoog scenario's zijn deze meer dan toereikend voor de handhaving van de bescherming tegen overstroming tot 2050. Voor de lange termijn handhaving van de veiligheidsnorm wordt in het huidige beleid rekening gehouden met het LZK-hoog scenario. De nieuwe scenario's geven geen aanleiding om het huidige beleid aan te passen.

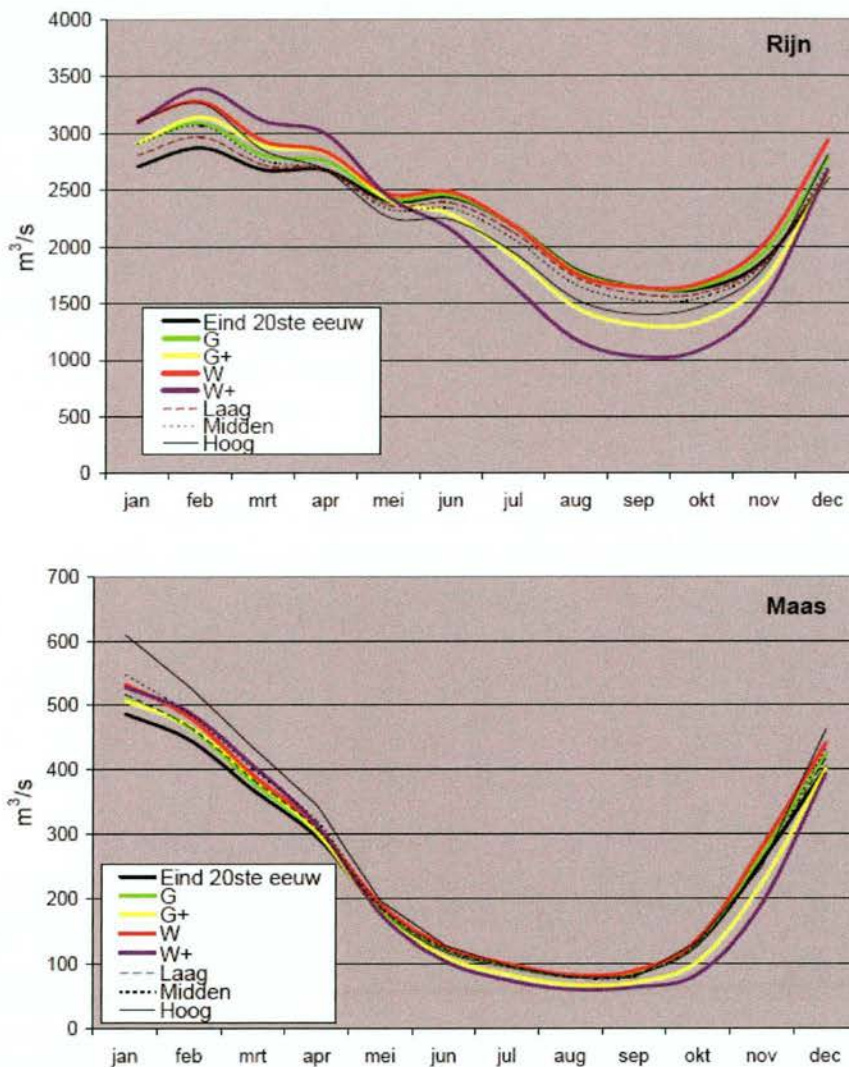
## 4.2 Rivieren Rijn en Maas

### Afvoerregimes

Het effect van de verwachte klimaatverandering volgens de WB21- en KNMI'06-scenario's op het afvoerregime van de Rijn en de Maas is onderzocht in De Wit et al. (2007). Middels een projectie van decadegemiddelde verwachte veranderingen van de klimaatscenario's ten aanzien van temperatuur, neerslag en verdamping op representatieve meetreeksen zijn toekomstige temperatuur-, neerslag- en verdampingreeksen gegenereerd. Met behulp van hydrologische neerslag-afvoermodellen van het Rijn- en het Maasstroomgebied zijn de nieuwe afvoerregimes van de Rijn (Lobith) en de Maas (Borgharen) afgeleid (Figuur 4-1).

De effecten van klimaatverandering op het afvoerregime van de regenwaterrivier Maas zijn met name terug te vinden in een verhoging van de winterafvoer. Veranderingen in lage afvoeren is minder eenduidig. Enerzijds zal een afname van de zomerneerslag en een toename van de verdamping tot een afname van de zomerafvoer leiden. Anderzijds zorgt de aanvulling van het grondwater door een toename van de neerslag in de winter voor een verhoging van de basisafvoer. Het is onduidelijk wat het gezamenlijke effect is van beide veranderingen.

De Rijn is een regen- en smeltwaterrivier, die gevoed wordt door water uit landen in het stroomgebied. Als gevolg van hogere temperaturen zal in de toekomst de sneeuwgrens hoger komen te liggen, waardoor er minder buffering van neerslag is in de vorm van sneeuw. Door de hogere temperaturen zal de sneeuw in de Alpen ook eerder in het jaar smelten. In de huidige situatie bedraagt de bijdrage van het Alpengebied aan de afvoer bij Lobith tijdens droge zomerperioden meer dan 80%. De verwachte klimaatverandering heeft tot gevolg dat de afvoeren op de Rijn in de winter en het vroege voorjaar toenemen. De gemiddelde winterafvoer wordt in het KNMI'06-W+ scenario omlaag gebracht door het voortduren van de zomerdroogte tot in december, met andere woorden het duurt tot in december voordat het grondwater weer is aangevuld. Voor de KNMI'06-plus en de WB21-midden en -hoog scenario's zien we dat de Rijnafoeren in de zomer en het vroege najaar afnemen. Het algemene beeld van een toename van Rijnafvoer in de winter en een afname in de zomer is te zien in Figuur 4-1; en Tabel 4.5 en Tabel 4.5. De mate waarin het afvoerregime verandert, hangt sterk af van de klimaatscenario's.



Figuur 4-1 Karakteristiek afvoerregime van de Rijn (Lobith) en de Maas (Borgharen) voor de huidige en voor het zichtjaar 2050 (De Wit et al., 2007).

Tabel 4.4 Huidige en toekomstige (2050 scenario) gemiddelde maandafoeren voor de Rijn (de Wit et al, 2007; Van Deursen, 2006)

Rijn afvoeren	20e eeuw	WB21-L	WB21-M	WB21-H	G	G+	W	W+
Januari	2839	2944	3049	3259	3062	3054	3268	3244
Februari	2544	2631	2718	2891	2733	2783	2905	3006
Maart	2698	2742	2785	2873	2824	2909	2957	3133
April	2487	2487	2487	2487	2556	2628	2637	2784
Mei	2298	2265	2231	2164	2326	2310	2364	2337
Juni	2252	2207	2161	2069	2270	2108	2297	1986
Juli	2236	2174	2113	1990	2235	1949	2235	1690
Augustus	1929	1859	1789	1649	1910	1572	1895	1268
September	1704	1642	1580	1457	1702	1358	1705	1068
Oktober	1709	1668	1628	1546	1735	1406	1764	1146
November	1927	1911	1895	1862	2005	1749	2081	1582
December	2445	2492	2539	2634	2602	2478	2754	2505

Tabel 4.5 Huidige en toekomstige (2050 scenario) gemiddelde maandafvoeren voor de Maas (de Wit et al, 2007; Van Deursen, 2006)

Maas afvoeren	20e eeuw	Laag	Midden	Hoog	G	G+	W	W+
Januari	463	492	521	579	485	483	507	503
Februari	420	439	458	497	437	440	453	460
Maart	386	404	421	456	398	405	411	426
April	280	291	303	326	286	287	295	297
Mei	172	176	179	186	176	168	181	167
Juni	114	115	117	121	116	104	120	98
Juli	90	91	91	91	92	78	95	70
Augustus	56	56	56	55	57	47	58	42
September	64	63	61	59	65	53	67	48
Oktober	147	148	150	152	151	117	156	95
November	247	245	243	238	258	214	268	183
December	434	450	467	499	457	432	475	424

Om de verschillen in afvoerregimes tussen de WB21- en KNMI'06-scenario's te beoordelen is uitgegaan van de natuurlijke variabiliteit van de seizoensafvoeren. Op basis van afvoermetingen gedurende een periode van 100 jaar is daartoe een 30-jarig lopend gemiddelde bepaald van de zomerafvoer in de maanden juni, juli en augustus en de winterafvoer in de maanden december, januari en februari. Het verschil tussen de maximale en minimale waarde van het lopend gemiddelde van de zomerafvoer en de winterafvoer is als maat voor de langjarige variabiliteit in de seizoensafvoeren genomen.

Voor de Rijn is de natuurlijke variatie in de winterafvoer is tussen de +9 en -5% rondom een gemiddelde van 2580 m<sup>3</sup>/s. Voor de Rijn is de natuurlijke variatie in de zomerafvoer tussen de +7 en -6% rondom een gemiddelde van 2090 m<sup>3</sup>/s. Voor de Maas varieert de winterafvoer varieert tussen de +7 en -5% rondom een gemiddelde van 430 m<sup>3</sup>/s. Voor de Maas is de natuurlijke variatie in de zomer tussen de +14 en -12% rond een gemiddelde van 100 m<sup>3</sup>/s.

Om de verschillen in afvoerregimes tussen de WB21- en KNMI'06-scenario's te beoordelen, zijn de volgende scores gehanteerd:

Neemt zeer sterk toe (+++):	toename van de afvoer tussen de scenario's is groter dan 3x de natuurlijke variatie;
Neemt sterk toe (++):	toename van de afvoer tussen de scenario's valt tussen 2 en 3x de natuurlijke variatie;
Neemt toe (+):	toename van de afvoer tussen de scenario's valt tussen 1 en 2 x de natuurlijke variatie;
Blijft gelijk (o):	toename van de afvoer tussen de scenario's valt binnen de natuurlijke variatie;
Neemt af (-):	afname van de afvoer tussen de scenario's valt tussen 1 en 2 x de natuurlijke variatie;
Neemt sterk af (--):	afname van de afvoer tussen de scenario's valt tussen 2 en 3x de natuurlijke variatie; en
Neemt zeer sterk af (---):	afname van de afvoer tussen de scenario's is groter dan 3x de natuurlijke variatie.

Tabel 4.6 Verschil in tweede orde effect tussen klimaatscenario's: winterafvoer Rijn en Maas

KNMI'06-scenario's →	G	G+	W	W+
WB21-scenario's ↓				
<i>Winterafvoer Rijn (Lobith)</i>				
laag	0	0	+	0 <sup>1</sup>
midden	0	0	0	0
hoog	0	0	0	0
<i>Winterafvoer Maas (Borgharen)</i>				
laag	0	0	0	0
midden	-	-	0	0
hoog	--	---	--	--

<sup>1</sup> De gemiddelde winterafvoer wordt in het KNMI'06-W+ scenario omlaag gebracht als gevolg van het voortduren van de zomerdroogte tot in december

Tot 2050 blijven de verschillen in de gemiddelde winterafvoeren tussen de scenario's merendeels binnen de huidige langjarige variaties. Ten opzichte van het WB21-hoog scenario zijn de verschillen in winterafvoeren op de Maas groot. In de nieuwe scenario's nemen de winterafvoeren minder sterk toe dan volgens het oude WB21-hoog scenario.

Tabel 4.7 toont dat met name de KNMI'06-G+ en -W+ scenario's onderscheidend zijn, omdat volgens deze scenario's de zomerafvoeren in de Rijn en de Maas zullen afnemen. Dit effect is het duidelijkst zichtbaar onder het KNMI'06-W+ scenario voor de Rijn.

Tabel 4.7 Verschil in tweede orde effect tussen klimaatscenario's: zomerafvoer Rijn en Maas

KNMI'06-scenario's →	G	G+	W	W+
WB21-scenario's ↓				
<i>Zomerafvoer Rijn</i>				
laag	0	-	0	--
midden	+	-	+	--
hoog	+	0	+	--
<i>Zomerafvoer Maas</i>				
laag	0	-	0	-
midden	0	-	0	-
hoog	0	-	0	-

## Huidige beleid en gehanteerde uitgangspunten

In de Wet op de Waterkeringen (1996) is de bescherming van Nederlandse dijkkringgebieden vastgelegd. Nederland is daarbij ingedeeld in dijkkringgebieden die elk hun eigen beschermingsniveau hebben. De dijkringen langs Rijn en Maas moeten voldoen aan een beschermingsniveau van 1/1250 per jaar. De waterstanden die tijdens de zogenaamde maatgevende afvoer, de afvoer die gemiddeld eens in de 1250 jaar wordt overschreden, optreden vormen de basis van het ontwerp en de aanleg van rivierdijken die het rivierengebied tegen overstromingen moeten beschermen.

Elke vijf jaar wordt getoetst of de rivierdijken nog aan het gewenste beschermingsniveau voldoen. Traditioneel werden de dijken versterkt en opgehoogd indien dit niet het geval was.



Vanaf eind jaren 90 is het beleid 'Ruimte voor de Rivier' van kracht, waarin dijkversterking niet meer de voorkeur krijgt, maar de afvoercapaciteit van de rivier wordt vergroot door rivierverruimende maatregelen, zoals het verlagen van uiterwaarden en kribben en de aanleg van nevengeulen. In dit beleid wordt ook rekening gehouden met klimaatverandering.

Het hoofddoel van de PKB Ruimte voor de Rivier is te voldoen aan de maatgevende afvoer van de Rijn van 16.000 m<sup>3</sup>/s. Dit moet in 2015 gerealiseerd zijn. Daarnaast is er een doorkijk naar het eind van de eeuw door met een afvoer van 18.000 m<sup>3</sup>/s rekening te houden. Dit is gebaseerd op het WB21-middenscenario. De afvoer van 18.000 m<sup>3</sup>/s is tevens een afvoer die Nederland pas kan bereiken als in Duitsland maatregelen zijn genomen om lokale overstromingen tegen te gaan.

In de Integrale Verkenning Maas is rekening gehouden met een toekomstige maatgevende afvoer van 4.600 m<sup>3</sup>/s, welke gebaseerd is op het WB21-midden scenario. In de sectie hieronder wordt beschreven hoe deze toekomstige maatgevende afvoeren zijn afgeleid.

Naast de studie PKB Ruimte voor de Rivier en de Integrale Verkenning Maas wordt klimaatverandering ook meegenomen in de nieuwe leidraad rivieren.

### Verschil in tweede orde effecten tussen klimaatscenario's

Met betrekking tot bescherming tegen overstroming is met name de maatgevende afvoer van belang. Het effect van klimaatverandering op de maatgevende afvoeren van de Rijn en Maas is in de studie WB21<sup>e</sup> eeuw onderzocht. De verandering in maatgevende afvoer van de Rijn is gebaseerd op een studie van Middelkoop et al. (2000). Uit deze studie volgde dat de maatgevende afvoer met ongeveer vijf procent toeneemt per graad temperatuurstijging. Op basis van een tweetal studies, WL (1994) en Parmet & Burgdorffer (1995), is voor de maatgevende afvoer van de Maas de volgende rekenregel afgeleid: de procentuele toename van de maatgevende afvoer is gelijk aan de procentuele toename van het jaarlijks maximum van de 10-daagse neerslagsom in het Maasstroomgebied.

Tabel 4.8 geeft de maatgevende afvoeren van de Rijn en de Maas uit de WB21-studie weer.

Tabel 4.8      Inschatting van de maatgevende afvoer voor het zichtjaar 2050 voor WB21-klimaatscenario's (De Wit et al., 2007)

Maatgevende afvoer voor 2050	laag	midden	hoog
Rijn (Lobith)	16.400 m <sup>3</sup> /s	16.800 m <sup>3</sup> /s	17.600 m <sup>3</sup> /s
Maas (Borgharen)	4.000 m <sup>3</sup> /s	4.200 m <sup>3</sup> /s	4.550 m <sup>3</sup> /s

In de Wit et al. (2007) zijn de maatgevende afvoeren voor de nieuwe KNMI'06-scenario's ruwweg afgeleid op basis van twee methoden. Enerzijds is een rekenregel toegepast waarin de procentuele toename van de maatgevende afvoer gelijk wordt gesteld aan de procentuele toename van de 10-daagse neerslagsom in het winterseizoen die eens in de 10 jaar wordt overschreden. Anderzijds is een schatting gemaakt aan de hand van de afvoerregimes in Figuur 4-1. Tabel 4.9 toont de resultaten.

Tabel 4.9 Inschatting van de maatgevende afvoer voor het zichtjaar 2050 voor KNMI'06-klimaatscenario's (De Wit et al., 2007)

Maatgevende afvoer voor 2050		G	G+	W	W+
Rijn (Lobith)	Methode 1	16.640 m <sup>3</sup> /s	16.960 m <sup>3</sup> /s	17.280 m <sup>3</sup> /s	17.920 m <sup>3</sup> /s
	Methode 2	16.800 m <sup>3</sup> /s	16.800 m <sup>3</sup> /s	17.600 m <sup>3</sup> /s	17.600 m <sup>3</sup> /s
Maas (Borgharen)	Methode 1	3.952 m <sup>3</sup> /s	4.028 m <sup>3</sup> /s	4.104 m <sup>3</sup> /s	4.256 m <sup>3</sup> /s
	Methode 2	4.000 m <sup>3</sup> /s	4.000 m <sup>3</sup> /s	4.200 m <sup>3</sup> /s	4.200 m <sup>3</sup> /s

De tabel toont dat de maatgevende afvoer voor de Rijn voor alle KNMI'06-scenario's ten opzichte van het WB21-laag scenario hoger uitvallen. Het WB21-hoog scenario ligt nagenoeg gelijk met het hoogste KNMI'06-scenario. In vergelijking met het WB21-midden scenario neemt de maatgevende afvoer van de warme KNMI'06-scenario's toe. De geschatte maatgevende scenario afvoeren zijn alle kleiner dan de maatgevende afvoer van 18.000 m<sup>3</sup>/s die in het klimaatadaptatiebeleid voor het einde van de 21<sup>e</sup> eeuw gehanteerd wordt.

Voor de Maas nemen de maatgevende afvoeren volgens de nieuwe KNMI'06-scenario's minder sterk toe dan volgens de oude WB21-midden en -hoog scenario's. De nieuwe klimaatscenario's stellen de maatgevende afvoer dus ten opzichte van de oude midden en hoogscenario's naar beneden bij. In vergelijking met het WB21-laag scenario neemt de maatgevende afvoer voor de warme KNMI'06-scenario's toe en blijft deze voor de gemiddelde KNMI'06-scenario's ongeveer gelijk. De geschatte maatgevende scenario afvoeren zijn alle kleiner dan de maatgevende afvoer van 4.600 m<sup>3</sup>/s die in het klimaatadaptatiebeleid gehanteerd wordt.

### Onzekerheden in de maatgevende afvoeren

De schatting van de verandering van de maatgevende afvoeren voor Rijn en Maas in Tabel 4.8 en Tabel 4.9 zijn benaderingen. Het is 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 gemeten afvoerreeds 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 (1/1250 jaar) voor zowel de Rijn als de Maas groot is. Met name voor de Maas is 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. Indien alleen de laatste 25 jaar van de meetreeks wordt gebruikt, dan resulteert dit in een hogere maatgevende afvoer.

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 m<sup>3</sup>/s bedraagt. Door bovenstrooms van Nederland noodmaatregelen te treffen zou maximum 16000 m<sup>3</sup>/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 rivierverruiming hetzij door dijkverhoging).

### Consequenties van de nieuwe KNMI'06-scenario's

Het is belangrijk te beseffen dat de maatgevende afvoer een schatting is van de afvoer die gemiddeld eens in de 1250 jaar voorkomt, terwijl deze is vastgesteld op basis van slechts 100 jaar metingen. In het licht van de onzekerheid rondom de geschatte maatgevende scenario afvoeren, zie voor meer detail de studie van De Wit et al., 2007, zijn de verschillen tussen de maatgevende afvoeren afgeleid voor de WB21-scenario's en de KNMI'06-scenario's erg klein. De verwachting is dat de nieuwe KNMI'06-scenario's dan ook geen consequenties hebben van met betrekking tot het huidige beleid t.a.v. bescherming tegen overstromen in het rivierengebied ten opzichte van de WB21-scenario's.

## 4.3 IJsselmeer

### Huidige beleid en gehanteerde uitgangspunten

Een stijgende zeespiegel, hogere rivierafvoeren en een toename van de afvoer van water door extremere neerslag zullen ook de waterhuishouding in het IJsselmeer beïnvloeden. De zeespiegelstijging zal de spuicapaciteit onder vrij verval beperken. In de komende decennia (naar verwachting tot 2050) kan het IJsselmeerpeil door de vergroting van de huidige spuicapaciteit, die in 2013 gerealiseerd moet zijn, gehandhaafd blijven.

Het beleid, waarin rekening wordt gehouden met het WB21-midden scenario, beoogt dat het IJsselmeerpeil op de lange termijn met de zeespiegel mee zal stijgen. De dijken langs het IJsselmeer zullen dan moeten worden verhoogd. Als alternatief voor dijkversterking wordt in het Water Innovatie (WINN) project onderzoek gedaan naar het grootschalig herinrichten van het IJsselmeergebied door het aanleggen van geulen, ondieptes, eilanden en vooroevers.

### Verskil in tweede orde effecten tussen klimaatscenario's

Het WIN project analyseert de stijging van het IJsselmeerpeil voor de WB21-klimaatscenario's. Tabel 4.10 geeft de verwachte stijging van het IJsselmeerpeil in de winter weer. Deze tabel heeft betrekking op de situatie met extra spuicapaciteit.

Tabel 4.10 Schatting van de stijging van het IJsselmeerpeil voor het zichtjaar 2050 voor WB21-klimaatscenario's, waarbij rekening is gehouden met extra spuicapaciteit.

Stijging van het IJsselmeerpeil (winter) in 2050	laag	midden	hoog
IJsselmeerpeil	0 m	0 m	0,12 m

Aangezien de verwachte zeespiegelstijgingen in de KNMI'06-scenario's niet veel afwijken van het WB21-midden scenario dat in het huidige beleid wordt gehanteerd, zijn deze waarden niet herzien (Van Velzen & Beyer, 2007).

Aan de hand van de verwachte zeespiegelstijging in Tabel 4.11 is geschat dat voor alle KNMI'06-scenario's het IJsselmeerpeil gehandhaafd blijft. Er zijn dus geen verschillen ten opzichte van het WB21-laag scenario. Ten opzichte van het WB21-hoog scenario wordt een kleinere stijging van het IJsselmeerpeil in de KNMI'06-scenario's verwacht. De stijging is kleiner voor de KNMI'06-G en -G+ scenario's dan voor de KNMI'06-W en -W+ scenario's.

Voor de beoordeling van de verschillen in het tweede orde effect tussen de twee sets klimaatscenario's is dezelfde methode gebruikt in paragraaf 4.1. De resultaten zijn samengevat in Tabel 4.12.

Tabel 4.11 Zeespiegelstijging voor het zichtjaar 2050 voor WB21-klimaatscenario's

Absolute zeespiegelstijging voor 2050					
WB21-scenario's	laag 5 cm	midden 20 cm		hoog 40 cm	
KNMI'06-scenario's		G 15-25 cm	G+ 15-25 cm	W 20-35 cm	W+ 20-35 cm

Tabel 4.12 Verschil in tweede orde effect tussen klimaatscenario's: stijging IJsselmeerpeil

KNMI'06-scenario's	→	G	G+	W	W+
WB21-scenario's	↓				
laag		++	++	++	++
midden		0	0	0	0
hoog		-	-	-	-

### Consequenties van de nieuwe KNMI'06-scenario's

Tabel 4.13 brengt de consequenties van de nieuwe klimaatscenario's in kaart. Met betrekking tot bescherming tegen overstromen in het IJsselmeergebied wordt het handhaven van de huidige veiligheidsnorm als doel gesteld. Er is antwoord gegeven op de vraag 'Veronderstel dat wordt uitgegaan van ....., maar op termijn blijkt dat KNMI'06-.... scenario werkelijkheid wordt, wordt het beleidsdoel dan gehaald, zijn extra maatregelen dan noodzakelijk en is er dan te veel beleid ontwikkeld?'

Kortom, met uitzondering van de WB21-hoog scenario's hebben de nieuwe KNMI'06-scenario's geen consequenties voor het beleid. De WB21-hoog scenario's leiden wellicht tot het zichtjaar tot een iets ongunstigere verwachte toekomstige situatie dan de KNMI'06-scenario's. Toch is het de verwachting dat het IJsselmeerpeil in de toekomst mee zal moeten groeien met de zeespiegel. Vanuit dat oogpunt hoeft men van eventueel te veel genomen maatregelen geen spijt te hebben.

Tabel 4.13 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's.

<b>Bescherming tegen overstromen voor het IJsselmeergebied</b>				
<b>Doel: het handhaven van de huidige veiligheidsnorm</b>				
<b>Maar het wordt KNMI'06-scenario ....</b>	<b>G</b>	<b>G+</b>	<b>W</b>	<b>W+</b>
<b>Veronderstel dat wordt uitgegaan van WB21-scenario ....</b>				
laag				
midden				
hoog				

Groen: het beleidsdoel wordt gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is niet te veel beleid ontwikkeld.  
Rood: het beleidsdoel wordt niet gehaald, er zijn extra maatregelen nodig en er is te weinig beleid ontwikkeld.  
Blauw: het beleidsdoel wordt ruim gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is te veel beleid ontwikkeld

## 5 Consequenties van KNMI'06-scenario's voor waterbeheer inzake wateroverlast en droogte

### 5.1 Wateroverlast landelijk gebied

#### Huidige beleid en gehanteerde uitgangspunten

In het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) is vastgelegd dat watersystemen in 2015 op orde moeten zijn om wateroverlast met het oog op klimaatverandering tot 2050, te voorkomen. Het NBW stelt daarbij dat bij het bepalen van de wateropgave, een maat voor wateroverlast, tenminste van het WB21-midden scenario moet worden uitgegaan. Er wordt onderscheid gemaakt tussen een regionale en een stedelijke wateropgave. Waterschappen toetsen de regionale watersystemen aan de werknormen, gemeenten brengen de stedelijke wateropgave in beeld. Deze paragraaf richt zich op wateroverlast in regionale watersystemen door inundatie van oppervlaktewater.

In de periode 2003-2005 hebben de waterschappen de regionale wateren getoetst aan de NBW-normen en is in kaart gebracht welke inspanning nodig is om het watersysteem in 2015 op orde te brengen. De NBW normen zijn uitgedrukt in de jaarlijks toelaatbare kans dat het waterpeil het niveau van het maaiveld mag overschrijden voor verschillende typen grondgebruik.

Kragt et al. (2006) hebben een analyse gemaakt van de wateroverlastopgaven die 26 waterschappen hebben gemaakt. Uit deze analyse blijkt dat de meeste waterschappen zijn uitgegaan van een verwachte 10% toename van de neerslagintensiteit van het WB21-midden scenario. Eén waterschap heeft met een lagere toename (6%) en vier waterschappen hebben met een hogere toename van de neerslagintensiteit (20%) gerekend. Uit een aantal van deze laatste berekeningen blijkt dat een extra toename van de neerslagintensiteit tot 20% tot een verdubbeling van het overstromd areaal kan leiden. Dit wordt verklaard met het feit dat de berging in het watersysteem reeds verbruikt is, waardoor iedere toename in neerslag tot overstroming leidt.

Kors & Delsman (2005) hebben onderzocht of rijkswateren, waarop de regionale wateren afwateren, op orde zijn om wateroverlast met het oog op klimaatverandering tot 2050, te voorkomen. Overeenkomstig de wateropgave voor regionale watersystemen is voor klimaatverandering rekening gehouden met het WB21-midden scenario.

#### Verskil in tweede orde effecten tussen klimaatscenario's

Wateroverlast ontstaat vaak als gevolg van extreme neerslag. In de winter kan dit het gevolg zijn van langdurige regenval, terwijl in de zomer wateroverlast kan ontstaan door korte intensieve buien. Met betrekking tot overlastsituaties zijn extreme neerslagcondities dus belangrijk.

Verkade (2006) heeft de implicaties van de KNMI'06-scenarios voor lokaal waterbeheer met betrekking tot waterlast als gevolg van extreme neerslag verkend. Ter illustratie van de gevolgen van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's is een schatting gemaakt van de wateropgave voor vier polders in het studiegebied Westeramstel voor zowel de WB21 als de KNMI'06-scenario's. Hiertoe zijn de verwachtingen ten aanzien van neerslag en potentiële verdamping van de WB21 en de KNMI'06-scenario's geprojecteerd op neerslag- en verdampingreeksen die gemeten zijn in De Bilt. Met de nieuwe verdamping- en neerslagreeksen is een berekening uitgevoerd met een neerslag-afvoermodel om uiteindelijk de wateropgaven te bepalen.

Verkade (2006) laat zien dat de berekende wateropgave sterk beïnvloed wordt door de keuze van een klimaatscenario. Bovendien reageren de polders verschillend op de scenario's. In het NBW wordt aangegeven dat bij de toetsing van een watersysteem tenminste met het WB21-midden scenario rekening moet worden gehouden. Verkade (2006) adviseert om in de toekomst niet één maatgevend scenario aan te wijzen, maar een afgewogen keuze te maken door de gevolgen van de KNMI'06 per polder of zelfs per peilgebied inzichtelijk te maken.

Wateroverlast kan ook ontstaan door een toename van de stijghoogtes van het grondwater en de daarmee samenhangende toename van kwel en opbarstingsrisico.

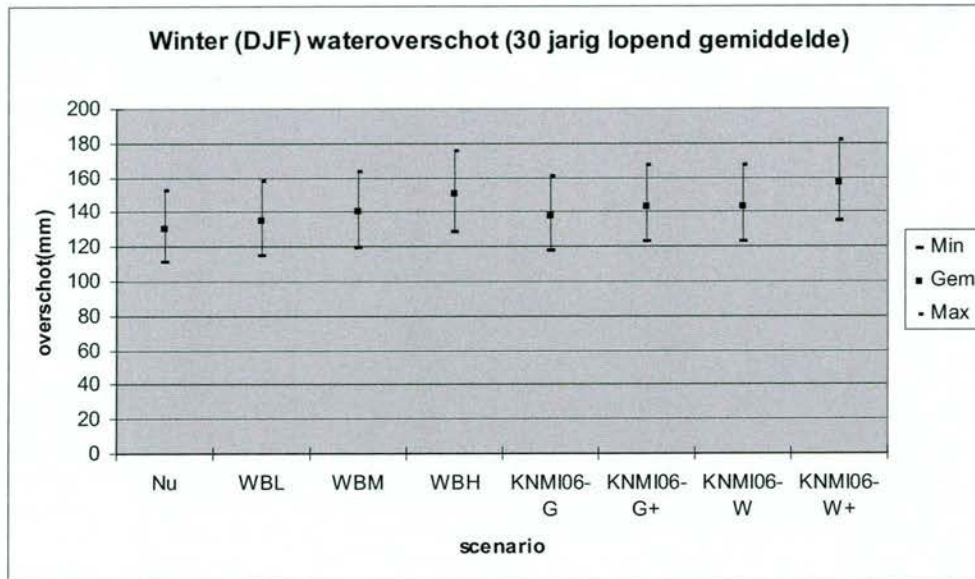
Om te bepalen in welke mate wateroverlast in landelijk gebieden in de KNMI'06- en WB21-scenario's verschillen, wordt naast wateroverlast door de langdurige regenval in de winter en door korte intensieve regenval in de zomer, ook ingegaan op het verschil in toename van stijghoogtes.

### **Wateroverlast als gevolg van langdurige regenval in de winter**

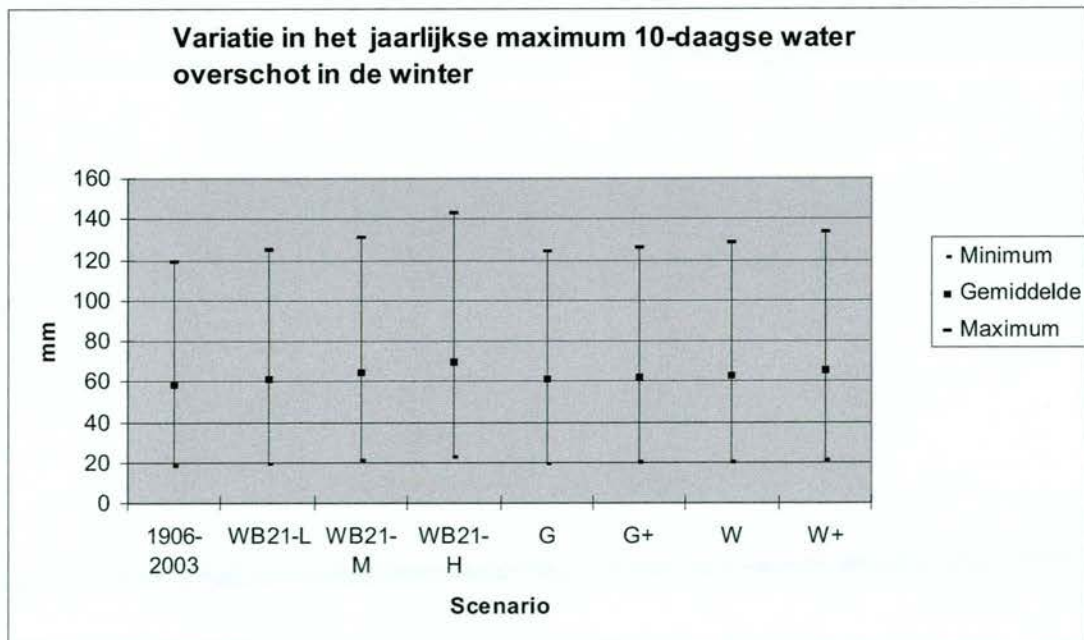
Als eerste stap is het wateroverschot door langdurige regenval in het landelijk gebied in de winter voor de scenario's in kaart gebracht. Hiertoe is voor de periode 1906-2001 voor elk jaar het wateroverschot (neerslag-verdamping) in de winterperiode tussen december en februari berekend. Dit levert een serie van 95 getallen op die ieder het gemiddelde wateroverschot in een bepaald jaar representeren. Deze serie is geanalyseerd met een 30-jarig lopend gemiddelde. Dit levert een reeks van 65 getallen op die ieder het 30-jarig gemiddelde neerslagoverschot in de winter representeren. Van 65 getallen zijn vervolgens de gemiddelde, maximale en minimale waarde bepaald. De spreiding tussen dit maximum en minimum is een maat voor de lang-jarige natuurlijke variatie in het wateroverschot in het landelijke gebied in de winter.

Voor elk van de scenario's is vervolgens de neerslagreeks aangepast met de gemiddelde neerslagverandering. De verwachte gemiddelde neerslagverandering is voor beide sets klimaatscenario's ongeveer gelijk aan de verwachte veranderingen in de langdurige neerslag, de 10-daagse neerslagsom. Een voorbeeld: voor WB21-midden scenario is voor elke wintermaand de winterneerslag in de reeks 1906-2001 verhoogd met 6%. Op grond van de nieuwe reeksen is per jaar het wateroverschot in de winterperiode berekend. Ook voor deze reeksen is op basis van het 30-jarig lopend gemiddelde, het gemiddelde, het maximum en het minimum van het wateroverschot in de winter vastgesteld.

Figuur 5-1 geeft is het gemiddelde, het maximum en het minimum van het 30-jarig lopend gemiddelde wateroverschot in de winter weer. Het gemiddelde wateroverschot in de winter ligt voor alle vier de KNMI'06-scenario's binnen de spreiding van de WB21-scenario's. Ten opzichte van de historisch geobserveerde spreiding zijn ook de jaarlijkse maximale 10-daagse sommen voor het wateroverschot verschillen weinig van De scenario's zijn dus niet erg onderscheidend voor de winterperiode, zie Tabel 5-1.



Figuur 5-1 Spreiding in het wateroverschot gedurende de winter voor de WB21- en KNMI'06-scenario's.



Figuur 5-2 Spreiding in het jaarlijkse 10 daagse maximum wateroverschot gedurende de winter voor de WB21- en KNMI'06-scenario's.



Tabel 5.1 Verschil in tweede orde effect tussen klimaatscenario's: wateroverschot in de winter

KNMI'06-scenario's →	G	G+	W	W+
WB21-scenario's ↓				
laag	0	0	0	0
midden	0	0	0	0
hoog	0	0	0	0

### Wateroverlast als gevolg van korte intensieve buien in de zomer

Om de verschillen tussen de verwachte veranderingen in extreme zomerneerslagen te beoordelen, is rekening gehouden met een deskundigenoordeel van het KNMI. De klimaatvariabele voor korte intensieve buien in de WB21-scenario's, de verandering in de buienintensiteit in de zomer, is anders dan de klimaatvariabele die in KNMI'06-scenarios gespecificeerd is korte intensieve buien, namelijk de dagsom van zomerneerslag die gemiddeld eens in de 10 jaar worden overschreden. Voor een inschatting van al dan niet toenemen van het risico op wateroverlast is dit onderscheid vermoedelijk verwaarloosbaar en is hiermee hier geen rekening gehouden.

Deskundigen van het KNMI stellen dat verschillen in extreme neerslag kleiner dan 5% als geen verschil mogen worden beschouwd, zie paragraaf 2.4. De verschillen zijn bepaald als veelvoud van deze 5% (Tabel 5.2). Deze aanpak levert de volgende scores:

Neemt zeer sterk toe (+++):	het KNMI'06-scenario is meer dan 15% groter dan het WB21-scenario
Neemt sterk toe (++):	het KNMI'06-scenario is tussen de 10 en 15% groter dan het WB21-scenario
Neemt toe (+):	het KNMI'06-scenario is tussen de 5 en 10% groter dan het WB21-scenario
Blijft gelijk (o):	het verschil tussen de KNMI'06- en WB21-scenario is kleiner dan 5%
Neemt af (-):	het KNMI'06-scenario is tussen de 5 en 10% kleiner dan het WB21-scenario
Neemt sterk af (--):	het KNMI'06-scenario is tussen de 10 en 15% kleiner dan het WB21-scenario
Neemt zeer sterk af (---):	het KNMI'06-scenario is meer dan 15% kleiner dan het WB21-scenario

De verschillen tussen de WB21-laag en -midden scenario en de KNMI'06-scenario's zijn klein, met uitzondering van het KNMI'06-W scenario. De extreme neerslag in de zomer neemt voor het W scenario juist sterk toe in vergelijking met de WB21 laag en midden scenario's. In vergelijking met het WB21-hoog scenario nemen de intensieve buien in de zomer juist af voor het KNMI'06-G, G+ en W+ scenario. Voor het KNMI'06-W scenario is de toename van de extreme zomerneerslag echter groter dan volgens het WB21-hoog scenario.

Tabel 5.2 Verschil in tweede orde effect tussen klimaatscenario's: extreme neerslag in de zomer

KNMI'06-scenario's →	G	G+	W	W+
WB21-scenario's ↓				
laag	+	0	+++	0
midden	0	0	+++	0
hoog	-	--	+	-

### Wateroverlast door grondwater als gevolg van kwel en opbarsting

Wateroverlast kan ook ontstaan door toename van de stijghoogtes van het grondwater en de daarmee samenhangende toename van de kwel en het opbarstingsrisico (ontstaan van wellen). De stijghoogte van het watervoerend pakket wordt onder andere beïnvloed door de zeespiegel en de waterstand in grote rivieren. Daarnaast is de stijghoogte ook afhankelijk van lokale onttrekkingen. In overleg met TNO zijn de verschillen tussen de klimaatscenario's samengevat in Tabel 5.3. Binnen het project was geen ruimte om berekeningen voor verschillende scenario's te maken. De schattingen zijn derhalve gebaseerd op expert judgement. De verwachting van TNO is dat alle KNMI'06-scenario's resulteren in een grotere stijghoogte dan in het WB21-laag scenario, de stijghoogte ten opzichte van het WB21-midden scenario blijft ongeveer gelijk en ten opzichte van het WB21-hoog scenario zou de stijghoogte in alle KNMI'06-scenario's minder worden.

Tabel 5.3 Verschil in tweede orde effect tussen klimaatscenario's: stijghoogte van het watervoerend pakket

KNMI'06-scenario's →	G	G+	W	W+
WB21-scenario's ↓				
laag	+	+	++	++
midden	0	0	+	+
hoog	--	--	-	-

### Consequenties van de nieuwe KNMI'06-scenario's

Voor opbarstingsrisico is tot 2050 de bodemdaling vermoedelijk belangrijker dan de zeespiegelstijging. De consequentie van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's zijn daarom beschreven vanuit het oogpunt van wateroverlast door extreme neerslag. Omdat de WB21-scenario's uiteenlopend zijn geïnterpreteerd en toegepast, is de analyse niet toegespitst op een vergelijking van de KNMI'06-scenario's met één WB21-scenario.

Tabel 5.4 brengt de consequenties van de nieuwe klimaatscenario's in kaart. Met betrekking tot wateroverlast in het landelijk gebied wordt het handhaven van de huidige kans op wateroverlast als doel gesteld. Er is antwoord gegeven op de vraag 'Veronderstel dat wordt uitgegaan van ....., maar op termijn blijkt dat KNMI'06-.... scenario werkelijkheid wordt, wordt het beleidsdoel dan gehaald, zijn extra maatregelen dan noodzakelijk en is er dan te veel beleid ontwikkeld?'

De KNMI'06- en WB21-scenario's zijn niet erg onderscheidend voor neerslag gedurende de winterperiode. Op basis van de verwachtingen van veranderingen in extreme neerslag in de winter, zou Tabel 5.4 geheel groen zijn gekleurd. Met andere woorden het beleidsdoel zou worden gehaald, er zouden geen extra maatregelen nodig zijn en er zou niet te veel beleid zijn ontwikkeld. De scenario's verschillen wel van elkaar als gekeken wordt naar de intensieve buien in de zomer. Het maakt niet zozeer uit of wateroverlast plaatsvindt in de zomer of in de winter, belangrijker is of het naar verwachting wel of niet vaker voorkomt. Tabel 5.4 is daarom mede gebaseerd op de verschillen tussen de klimaatscenario's in de zomerperiode.

De consequenties kunnen groot zijn indien het KNMI'06-W scenario werkelijkheid wordt, aangezien de extreme neerslag in de zomer voor dit scenario veel meer toeneemt in vergelijking tot elk van de WB21-scenario's. Echter in de winter neemt de wateroverlast in het W scenario ten opzichte van het WB21-hoog scenario af. Daarom is de verwachting dat ten opzichte van het WB21 hoog scenario het uiteindelijke risico voor een toename van de wateroverlast klein is. Lokale condities zullen in de beoordeling een belangrijke rol spelen.

Tabel 5.4 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's.

Wateroverlast in het landelijk gebied				
Doel: het handhaven van de huidige kans op wateroverlast				
Maar het wordt KNMI'06-scenario ....	G	G+	W	W+
Veronderstel dat wordt uitgegaan van WB21-scenario ....				
laag				
midden				
hoog				
Groen: het beleidsdoel wordt gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is niet te veel beleid ontwikkeld.				
Rood: het beleidsdoel wordt niet gehaald, er zijn extra maatregelen nodig en er is te weinig beleid ontwikkeld.				
Blauw: het beleidsdoel wordt ruim gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is te veel beleid ontwikkeld				

## 5.2 Wateroverlast stedelijk gebied

### Huidige beleid en gehanteerde uitgangspunten

Extreme buien kunnen in het stedelijk gebied incidenteel tot wateroverlast leiden. Belangrijke oorzaken zijn onvoldoende afvoercapaciteit van de riolering, onvoldoende buffercapaciteit voor regenwater op straat en onvoldoende capaciteit in het watersysteem waardoor de werking van de riolering wordt belemmerd. Deze studie beperkt zich tot overlast vanuit het riool.

Het functioneren van een rioolstelsel wordt getoetst met behulp van een ontwerpbui, meestal met een herhalingstijd van 2 jaar. Een rioolstelsel moet deze bui kunnen verwerken zonder dat er water op straat optreedt. Bij zwaardere buien ontstaat water op straat als de combinatie van berging in de riolering en de afvoercapaciteit naar de overstorten overbelast raakt.

Een rioolstelsel is een snel afvoerend systeem, waardoor water op straat vaak van korte duur zal zijn. Een normaal ontworpen rioolsysteem kan per dag ongeveer de gemiddelde jaarlijkse neerslagsom afvoeren.

Water op straat is niet hetzelfde als wateroverlast. We spreken van wateroverlast in de stedelijke omgeving als er sprake is van water dat gebouwen binnenstroomt (materiele schade), langdurige hinder van belangrijke verkeersroutes (economische schade en gevaar) en van afvalwater dat uit de riolering grootschalig op straat komt te staan. Er is discussie of een zekere mate van ongemak uit oogpunt van doelmatigheid geaccepteerd zou moeten worden.

Een bui van 40mm in een uur kan door veel rioolstelsels worden verwerkt zonder dat overlast met schade ontstaat. Wel kan tijdelijk sprake zijn van hinder door water op straat. Een dergelijke situatie heeft een herhalingsstijd van ongeveer 50 tot 100 jaar.

Bij water op straat wordt onderscheid gemaakt in verschillende gradaties:

- hinder - voor een zeer korte duur (15 – 30 minuten) beperkte hoeveelheden water op straat
- ernstige hinder - voor een korte duur (30 – 120 minuten) forse hoeveelheden water op straat, ondergelopen tunnels en opdrijvende putdeksels
- overlast – voor een langere duur en op grotere schaal water op straat waardoor overlast met materiele of economische schade ontstaat

Intensievere regenbuien als gevolg van veranderingen in het klimaat zullen de stedelijke omgeving in de toekomst zwaarder belasten. Met betrekking tot wateroverlast in het stedelijk gebied is het effect van klimaatverandering op het regulier functioneren van het stedelijk (afval)watersysteem bij een ontwerp-bui met een herhalingsstijd van 2 jaar minder interessant. Het effect van het functioneren tijdens extremere neerslagomstandigheden met grotere herhalingsstijden is interessanter. Het identificeren van knelpunten bij extreme neerslagomstandigheden of wel het lokaliseren van kritische punten waar water op straat wateroverlast kan veroorzaken, is daarbij belangrijk (Van Luijtelaar et al., 2006).

Bij het identificeren van deze knelpunten speelt de mogelijkheid tot berging van water op straat een belangrijke factor. Echter de huidige rekenmodellen schieten nog te kort om het functioneren van het rioolsysteem in combinatie met de bovengrond te beoordelen. Dit pleit voor de ontwikkeling van technieken of modellen, waarmee de knelpunten in het bovenstroomse systeem toch kunnen worden geïdentificeerd.

Van Luijtelaar geeft aan dat vanuit het oogpunt van klimaatverandering het generiek opschroeven van de capaciteit van bestaande rioolsysteem op basis van verandering in de ontwerp-bui met een herhalingsstijd van twee jaar minder zinvol is. (Voor het dimensioneren van nieuwbouw systemen is dit wel een optie) Een rioolsysteem met een afvoercapaciteit van bijvoorbeeld 40 mm per uur in plaats van 32 mm per uur, zal immers tijdens zeer extreme omstandigheden ook hinder of overlast kunnen veroorzaken. Bij reguliere vervangingen aan de riolering worden bovendien vaak slechts beperkte delen van een systeem aangepast. Het effect op de totale capaciteit van een systeem is vaak marginaal.

De oplossing voor klimaatadaptatie kan beter gezocht worden in meer doelgerichte maatregelen zoals de berging van grote hoeveelheden regenwater bovengronds of het realiseren van extra afvoercapaciteit via een speciaal regenwaterriool. Met een extra regenwaterriool kunnen bestaande systemen op kritische punten worden ontlast en wordt het regenwater bovendien gescheiden van het afvalwater.

Op dit moment is er geen landelijk beleid ten aanzien van klimaatadaptatie met betrekking tot wateroverlast in het stedelijk gebied. Gemeenten zijn zelf verantwoordelijk voor de wijze waarop ze hun rioolsysteem ontwerpen. In principe wordt de Leidraad Rioleringsrichtlijn gehanteerd. Er wordt steeds meer rekening gehouden met de effecten van klimaatveranderingen. Een belangrijke bottleneck in de onderbouwing van noodzaak en effect van maatregelen voor de verwerking van extreme hoeveelheden neerslag in korte duur is nog het modelleren van het functioneren van het bovengrondse infrastructuur.

Voor het ontwerp van nieuwe rioolsystemen adviseert Van Luijtelaar in de toekomst van het meest extreme KNMI'06-klimaatscenario uit te gaan. Om effectief te anticiperen op klimaatontwikkeling verdient het aanbeveling om niet alleen te kijken naar het regulier functioneren van de riolering bij een ontwerpbui met een herhalingstijd van  $T = 2$  jaar maar ook naar de totale verwerking van veel extremere hoeveelheden regenwater in het stedelijke gebied via ondergrondse en bovengrondse systemen. Bij de inrichting van de bebouwde omgeving moet meer rekening worden gehouden met capaciteit voor de verwerking van extreme neerslaghoeveelheden (bergen en afvoeren).

### **Verskil in tweede orde effecten tussen klimaatscenario's**

De KNMI'06-scenario's geven geen informatie over extreme neerslag over periodes korter dan een dag, zoals kwartier- of uursommen. Deze zijn voor het beoordelen van het functioneren van rioolsystemen belangrijk. Om toch een indicatie te krijgen van het effect van klimaatverandering op het functioneren van het rioolstelsel, worden de twee sets klimaatscenario's op basis van de verwachtingen ten aanzien van korte intensieve buien in de zomer met elkaar vergeleken. De vergelijking van de KNMI'06 met de WB21-scenario's laat zien dat met name het KNMI'06-W scenario tot een ongunstigere situatie leidt.

De extreme neerslag in de zomer neemt voor het KNMI'06-W scenario sterk toe in vergelijking met de WB21-scenario's. Voor het functioneren van rioolstelsels zijn vooral die uitschieters ongunstig.

### **Consequenties van de nieuwe KNMI'06-scenario's**

Tabel 5.5 brengt de consequenties van de nieuwe klimaatscenario's in kaart. Met betrekking tot wateroverlast in het stedelijk gebied wordt het handhaven van de huidige kans op wateroverlast als doel gesteld. Er is antwoord gegeven op de vraag 'Veronderstel dat wordt uitgegaan van ....., maar op termijn blijkt dat KNMI'06-.... scenario werkelijkheid wordt, wordt het beleidsdoel dan gehaald, zijn extra maatregelen dan noodzakelijk en is er dan te veel beleid ontwikkeld?'

De KNMI'06-G+ en -W+ scenario's, waarin rekening wordt gehouden met een verandering in luchtstroming, geven een neerslagtoename in extreme buien die ongeveer overeenkomt met de WB21 laag en midden scenario's. Deze scenario's hebben dan ook geen consequenties voor wateroverlast in het stedelijk gebied. De KNMI'06-W en G scenario's, waarin aangenomen wordt dat de luchtstroming niet verandert, voorspellen een veel grotere toename van de dagsom in de zomer. Met name voor het W scenario neemt de extreme neerslag in de zomer sterk toe in vergelijking met de WB21-scenario's. Indien dit scenario werkelijkheid wordt, zal dit grote consequenties voor het realiseren van beleidsdoelen hebben. Voor het dimensioneren van het stedelijk watersysteem (combinatie van het rioolstelsel en het bovengrondse systeem) is een neerslagtoename tot 27% in extreme buien volgens het W scenario een factor om rekening mee te houden.

Tabel 5.5 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's.

<b>Wateroverlast in het stedelijk gebied</b>				
<b>Doel: het handhaven van de huidige kans op wateroverlast</b>				
<b>Maar het wordt KNMI'06-scenario ....</b>	<b>G</b>	<b>G+</b>	<b>W</b>	<b>W+</b>
<b>Veronderstel dat wordt uitgegaan van WB21-scenario ....</b>				
laag				
midden				
hoog				
Groen: het beleidsdoel wordt gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is niet te veel beleid ontwikkeld.				
Rood: het beleidsdoel wordt niet gehaald, er zijn extra maatregelen nodig en er is te weinig beleid ontwikkeld.				
Blauw: het beleidsdoel wordt ruim gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is te veel beleid ontwikkeld				

## 5.3 Droogte

### Droogtestudie en WB21 studie

Diepe ontwatering, snelle afvoer van water, toename van de onttrekking van grondwater en herinrichting en ingrijpende veranderingen in grondgebruik, waardoor ruimte is onttrokken aan het watersysteem, hebben de afgelopen decennia geleid tot daling van grondwaterstanden, meer droogteschade voor landbouw en toenemende verdroging van natuurterreinen. Droogte door neerslagtekort vanaf de maand april (neerslag min potentiële verdamping) in combinatie met extreem lage rivierafvoeren vermindert de beschikbaarheid van water voor verschillende functies: scheepvaart op de binnenwateren, landbouw, natuur, koelwater, publieke watervoorziening en recreatie. Daarnaast kan tijdens lage afvoeren zout water verder landwaarts indringen en zodoende als gevolg van verzilting negatieve gevolgen hebben voor landbouw, drinkwater en natuur. De effecten op de natuur worden in hoofdstuk 7 beschreven.

Naast de invloed van droogte op bovenstaande functies, wordt een verdere bodemdaling verwacht door inklinking van klei- en veenlagen als gevolg van het verlagen van grondwaterstanden en door oxidatie van veengebieden als gevolg van intensievere ontwatering.

In de landelijke verdringingsreeks is aangegeven hoe het beschikbare water in de door het Rijk beheerde wateren wordt verdeeld in tijden van watertekort. De reeks bestaat uit de volgende vier categorieën:

- Categorie 1: bescherming tegen overstroming en het voorkomen van onomkeerbare schade
  - stabiliteit van waterkeringen
  - klink en zetting
  - natuur
- Categorie 2: nutsvoorziening
  - drinkwatervoorziening
  - energievoorziening
- Categorie 3: kleinschalig hoogwaardig gebruik
  - tijdelijke beregening van kapitaalintensieve gewassen
  - proces water
- Categorie 4: overige belangen (economische afweging, ook voor natuur)
  - scheepvaart
  - landbouw
  - natuur (zolang er geen sprake is van onomkeerbare schade)
  - industrie
  - waterrecreatie
  - binnenvisserij

Binnen de eerste twee categorieën is er een prioriteitsvolgorde. Bij de andere categorieën vindt onderlinge prioritering plaats door minimalisering van de maatschappelijke schade. Het voorkomen van onomkeerbare schade, in de hoogste categorie van de verdringingsreeks.

Op advies van de commissie Waterbeheer 21<sup>e</sup> is daarom de droogtestudie uitgevoerd. In de eerste fase is in Beersma et al. (2004) in aanvulling op de WB21-scenario's een nieuw droog klimaatscenario ontwikkeld. Het nieuwe droge klimaatscenario is geïnspireerd op simulaties met klimaatmodellen die een droger en warmer klimaat voorspellen voor West-Europa. Tabel 5-6 geeft de verwachte veranderingen in temperatuur, neerslag en potentiële verdamping per seizoen zijn weer. De getallen voor de WB21-scenario's in de Tabel 5-6 zijn niet identiek aan die in de WB21 achtergrond rapporten worden genoemd (Tabel 2.4). De verschillen voor het waterbeheer zijn echter verwaarloosbaar. In de hier uitgevoerde analyses is uitgegaan van de getallen gepubliceerd in Kors et al (2000), Tabel 2.4) omdat deze publicatie geldt als het officiële achtergrond document voor de WB21 studie.

Tabel 5.6 Klimaatscenario's voor 2050 voor Nederland (Beersma et al., 2004).

Scenario's voor 2050	WB21-klimaatscenario's			Droogscenario
	Laag	Midden	Hoog	
<i>Temperatuur</i>				
Jaar	+ 0,5°C	+ 1 °C	+ 2 °C	+ 2,3 °C
Zomer (JJA <sup>1</sup> )	+ 0,5°C	+ 1 °C	+ 2 °C	+ 3,1 °C
Winter (DJF <sup>1</sup> )	+ 0,5°C	+ 1 °C	+ 2 °C	+ 2,0 °C
<i>Neerslag</i>				
Jaar	+ 1.5%	+ 3%	+ 6%	- 4%
Zomer (JJA <sup>1</sup> )	+ 0,7%	+ 1,4%	+ 2,8%	- 20%
Winter (DJF <sup>1</sup> )	+ 3%	+ 6%	+ 12%	+ 13%
<i>Potentiële verdamping</i>				
Jaar	+ 1,9%	+ 3,9%	+ 7,8%	+ 18%
Zomer (JJA <sup>1</sup> )	+ 1,7%	+ 3,3%	+ 6,6%	+ 24%
Winter (DJF <sup>1</sup> )	+ 2,8%	+ 5,6%	+ 11,2%	+ 8%

<sup>1</sup> JJA staat voor de zomermaanden juni, juli en augustus. DJF staat voor de wintermaanden december, januari en februari.

De grootste verschillen tussen het droge scenario en de WB21-scenario's zijn terug te vinden in de zomer. De temperatuuroptename is in de zomer groter (+ 3,1° C), de zomerneerslag neemt af (afname van 20% in plaats van een toename van ~ 3%), en de potentiële verdamping in de zomer is aanzienlijk groter (24% in plaats van ~ 7%).

In Beersma et al. (2004) is het effect van het droge scenario op de zomerafvoeren van de Rijn en de Maas onderzocht. Het droge scenario leidt tot een afname van de zomerafvoeren in de orde van 50-60% voor zowel de Rijn als de Maas. Uit de verkenningen in het kader van het Nationaal Onderzoeks Programma (NOP) blijkt dat de afvoeren lager dan 1000 m<sup>3</sup>/s in de Rijn gemiddeld niet alleen lager worden, maar ook vaker per jaar zullen voorkomen.

In Hoofdstuk 6 gaan we verder in op de effecten van klimaatverandering op de energie-, drinkwater- en scheepvaartsector. Deze paragraaf richt zich op droogte met name in relatie tot landbouw. Het feit dat de droogteschade voor de landbouw als gevolg van de droogte in 1976 vele malen groter was dan de natschade voor de landbouw door de wateroverlast van 1998, geeft aan dat droogte een belangrijk aandachtspunt is.

### Huidige beleid en gehanteerde uitgangspunten

Voor klimaatadaptatiebeleid met betrekking tot droogte geldt dat maatregelen ten behoeve van een vergroting van de klimaatbestendigheid in voorbereiding zijn. Er wordt dus wel gekeken naar klimaatadaptatie, maar tot nu toe is klimaatverandering nog geen reden geweest om het beleid ten aanzien van droogte aan te passen.



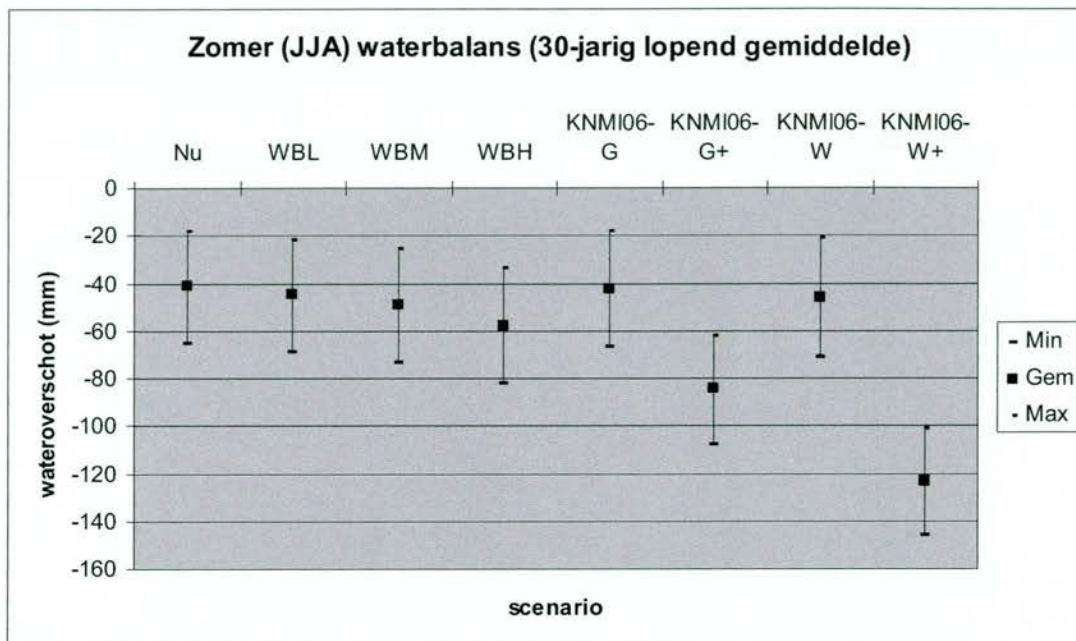
## Vershil in tweede orde effecten tussen klimaatscenario's

Om de tweede orde effecten van de scenario's voor droogte in het landelijke gebied in kaart te brengen, kijken we daarom naar de waterbalans in het landelijk gebied in de zomer. Het potentiële watertekort in de zomer is voor de KNMI'06-scenario's vergeleken met de WB21-scenario's. Er is geen vergelijking gemaakt met het oude WB21-droge scenario. Voor de periode 1906-2001 is voor elk jaar het potentiële watertekort in de zomer berekend door het verschil te nemen tussen de totale neerslag en potentiële verdamping van de maanden juni tot en met augustus. Deze series zijn geanalyseerd met behulp van de 30-jarig lopend gemiddelde. Deze serie kan worden opgevat als het klimaat van de Nederlandse waterbalans. Van dit 30 jarig lopende gemiddelde is vervolgens de maximale en de minimale waarde vastgesteld. De spreiding tussen dit maximum en minimum is een maat voor de langjarige variatie in de Nederlandse waterbalans in de zomer.

Voor elk van de scenario's is de neerslagreeks en de verdampingsreeks aangepast met de gemiddelde scenario verandering. Als voorbeeld: voor WB21-midden is voor elke zomermaand de neerslag in de reeks 1906-2001 verhoogd met 1% en de verdamping met 4%. Op grond hiervan is opnieuw per jaar de zomer waterbalans berekend. Vervolgens is de serie met een 30-jarig lopend gemiddelde geanalyseerd en is een 30-jarig-gemiddelde, een -maximum en een -minimum vastgesteld.

Figuur 5-3 geeft het gemiddelde, het maximum en het minimum van het 30-jarig lopend gemiddelde watertekort in de zomer weer. De verschillen tussen de klimaat-scenario's zijn als volgt geïnterpreteerd:

Neemt sterk toe (++):	het minimale watertekort volgens het KNMI'06-scenario is groter dan het maximale tekort volgens het WB21-scenario
Neemt toe (+):	het gemiddelde watertekort volgens het KNMI'06-scenario is groter dan het maximale watertekort volgens het WB21-scenario
Blijft gelijk (o):	het gemiddelde KNMI'06-scenario ligt binnen de spreiding in het WB21-scenario
Neemt af (-):	het gemiddelde watertekort volgens het KNMI'06-scenario is kleiner dan het minimale watertekort volgens het WB21-scenario
Neemt sterk af (--):	het maximale watertekort volgens het KNMI'06-scenario is kleiner dan het minimale watertekort volgens het WB21-scenario



Figuur 5-3 Spreiding in het watertekort gedurende de zomer voor de WB21- en KNMI'06-scenario's.

Tabel 5.7 Verschil in tweede orde effect tussen klimaatscenario's: watertekort in de zomer

KNMI'06-scenario's	→	G	G+	W	W+
WB21-scenario's	↓				
laag		0	+	0	++
midden		0	+	0	++
hoog		0	+	0	++

De figuur en de tabel tonen dat vooral de KNMI'06-G+ en W+ scenario onderscheidend zijn. Voor deze klimaatscenario's neemt de gemiddelde neerslag in de zomer sterk af, in plaats van een toename in de WB21-scenario's. Bovendien neemt in het KNMI'06-W+ scenario, de potentiële verdamping veel sterker toe dan in de WB21-scenario's. Opgemerkt moet worden dat het actuele watertekort sterk kan afwijken omdat in een groot deel van Nederland via peilbeheer de grondwaterstand en daarmee de hoeveelheid water in de bodem geregeld wordt. Bovendien is hier de beschikbaarheid van zoet water uit de grote rivieren van belang. Ook hiermee is hier geen rekening gehouden.

De bepaling van droogteschade (en ook natschade) gebeurt in de landbouw aan de hand van de zogenaamde HELP-tabellen (Werkgroep HELP-tabel, 1987), waarin het percentage opbrengstverlies is weergegeven als functie van Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG). Kortom, de wijziging in het grondwaterstandsregime is erg bepalend voor de schade aan gewassen. Voor droogte is de gemiddelde laagste grondwaterstand van belang. De grondwaterstand in het freatische vlak wordt beïnvloed door de waterbalans in het landelijk gebied, het beheer en de zeespiegel.

Consequenties van de nieuwe KNMI'06-scenario's Tabel 5.8 brengt de consequenties van de nieuwe klimaatscenario's in kaart. Met betrekking tot droogte wordt het handhaven van de huidige kans op droogteschade en het handhaven van de huidige zomergrondwaterstanden als doel gesteld.

Er is antwoord gegeven op de vraag 'Veronderstel dat wordt uitgegaan van ....., maar op termijn blijkt dat KNMI'06-.... scenario werkelijkheid wordt, wordt het beleidsdoel dan gehaald, zijn extra maatregelen dan noodzakelijk en is er dan te veel beleid ontwikkeld?'

Zomerdroogte wordt in de KNMI'06-scenario's als reëlere optie gezien, doordat er naast de twee natte scenario's zoals in de WB21-scenario's, in de KNMI'06-scenario's ook twee droge scenario's (het KNMI'06-G+ en -W+ scenario) zijn opgenomen. De KNMI'06-G+ en W+ scenario laten dus zien dat het in de zomer wel eens droger kan worden in plaats van natter. Indien de scenario's waarin het droger wordt werkelijkheid worden, heeft dat grote consequenties voor het halen van beleidsdoelen. Extra maatregelen zijn nodig om in te spelen op de toename van het watertekort in de zomer, als gevolg van drogere zomers.

Tabel 5.8 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's.

<b>Droogte</b>				
<b>Doel: het handhaven van de huidige kans op droogteschade en het handhaven van de huidige zomergrondwaterstanden</b>				
Maar het wordt KNMI'06-scenario ....	G	G+	W	W+
<b>Veronderstel dat wordt uitgegaan van WB21-scenario ....</b>				
laag				
midden				
hoog				

Groen: het beleidsdoel wordt gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is niet te veel beleid ontwikkeld.  
Rood: het beleidsdoel wordt niet gehaald, er zijn extra maatregelen nodig en er is te weinig beleid ontwikkeld.  
Blauw: het beleidsdoel wordt ruim gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is te veel beleid ontwikkeld

## 5.4 Waterkwaliteit

### Huidige beleid en gehanteerde uitgangspunten

Voor waterkwaliteit speelt klimaatverandering enerzijds een rol in relatie tot droogte, in de vorm van onder andere een grotere kans op stratificatie (door temperatuurstijging en vermindering watertoevoer) en op algenbloei in stilstaande en langzaam stromende wateren, zoals meren en sloten (door stijging van de watertemperatuur), een toename van de inlaat van nutriënten door een grotere inname van gebiedsvreemd water (door mogelijk drogere zomers) en verzuring door de afbraak van veen (door temperatuurstijging). Anderzijds is klimaatverandering belangrijk in relatie tot wateroverlast met het oog op emissie riooloverstorten, afspoelende verontreinigingen en periodieke inundatie bergingsgebieden. Het huidige beleid ten aanzien van waterkwaliteit richt zich met name op het beperken van diffuse- en puntbronnen en is onder andere opgenomen in de Kaderrichtlijn Water en de Nitraatrichtlijn.

Effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit zijn tot op heden nog niet vaak in kaart gebracht. Dat klimaatverandering wel zeker belangrijk is voor waterkwaliteit laten Van Vliet & Zwolsman (2007), Van Bokhoven & Zwolsman (2007) en Doomen et al. (2006) in verkennende studies zien voor de rivieren Rijn en Maas. Voor andere rivieren, Eems, Schelde, Overijsselse Vecht e.d. zijn geen studies bekend. In waterkwaliteitsbeleid speelt klimaatadaptatie echter nog geen belangrijke rol.

### **Waterkwaliteit van rivieren en klimaatverandering**

Waterkwaliteit van rivieren is het meest kritisch onder extreme afvoeren (hoogwater en laagwater) en onder hoge temperaturen. Daarom hebben bovengenoemde studies zich dan ook gericht op veranderingen in waterkwaliteit tijdens droogte en hoogwater. Van Vliet & Zwolsman (2007) hebben het effect van klimaatverandering op de waterkwaliteit in de Maas onderzocht. Doomen et al. (2006) analyseren de waterkwaliteitsparameters voor een aantal belangrijke waterkwaliteitsparameters een inventarisatie gemaakt van de veranderingen in concentratie van de Rijn en de Maas bij de lage afvoeren in de gedurende de droge zomer van 2003. In een vervolgstudie van Van Vliet & Zwolsman (2007) zijn de effecten van droogtes (1976, 2003) en hoogwaters (1993, 1995 en 2003) op de waterkwaliteit en drinkwaterfunctie van de Maas onderzocht voor ongeveer 40 verschillende waterkwaliteitsparameters. Een vergelijkbare studie is ook uitgevoerd voor de Rijn door Van Bokhoven & Zwolsman (2007). De belangrijkste resultaten van de studie voor de Maas uit Van Vliet & Zwolsman (2007) zijn hieronder samengevat:

Droogtes (in combinatie met hittegolven):

- Hogere temperaturen van het rivierwater
- Sterke toename in concentratie van macro-ionen (Cl, Br, F, SO<sub>4</sub>) en nutriënten (NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>) als gevolg van verminderde verdunning van de chemische belasting (met name afkomstig van puntbronnen).
- Afname zuurstofconcentraties door hogere watertemperaturen (lagere zuurstofoplosbaarheid). Tijdens de extreem warme perioden van de droogtes zijn echter incidenteel extreem hoge zuurstofconcentraties (oververzadiging) overdag waargenomen als gevolg van algenbloei.
- Afname in concentratie van alle stoffen met sterke adsorptie aan zwevend stof (zware metalen, polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)) door afname in zwevend stof concentratie in het rivierwater.
- Afname in concentratie zware metalen en nitraat, als gevolg van verminderde aanvoer van deze stoffen via ondiep grondwater en directe afstroming (diffuse bronnen).

### Hoogwaters:

- Toename in totaal concentraties van stoffen die sterk aan zwevend stof hechten (zware metalen, totaal fosfaat en PAK's) door toename zwevend stof concentratie.
- Hogere concentraties zware metalen en nitraat als gevolg van toename in aanvoer vanuit ondiep grondwater en oppervlakte afstroming.
- Tijdelijke dalingen in concentraties van stoffen die voornamelijk afkomstig zijn van puntbronnen (macro-ionen (o.a. Cl, F), NH<sub>4</sub>) door toenemende verdunning van de chemische belasting.

De effecten waargenomen voor de Maas zijn in Van Vliet & Zwolsman (2007) vergeleken met resultaten van andere onderzoeken die zich ook gericht hebben op de invloed van klimaatveranderingen (in bijzonder extreme afvoeren) op waterkwaliteit. Hieruit is gebleken dat de algemene effecten die zijn waargenomen voor de Maas (zie hierboven) overeenkomen met de effecten waargenomen voor andere rivieren. Echter, de *mate* van veranderingen in waterkwaliteit varieert en wordt voornamelijk bepaald door andere factoren, bijvoorbeeld de invloed van menselijke activiteiten in stroomgebied (verdeling van diffuse- en puntbronnen, landgebruik), rivier regime, aanvoer vanuit ondiep grondwater en oppervlakteafstroming. Deze factoren zijn specifiek voor het riviersysteem en stroomgebied.

De gevoeligheid van rivierenwaterkwaliteit voor klimaatveranderingen kan daarom sterk verschillen. Van Vliet & Zwolsman (2007) concluderen dat een mogelijke toename in frequentie, duur en intensiteit van extreme afvoeren in combinatie met een stijging van de watertemperatuur in de toekomst vaker zal leiden tot situaties waarin een tijdelijke verslechtering van de waterkwaliteit van de Maas optreedt. Vanuit het oogpunt van de drinkwatervoorziening en ecologie zijn vooral de droogtes relevant, omdat deze veel langer aanhouden dan de hoogwaters.

### **Verskil in tweede orde effecten tussen klimaatscenario's**

Voor waterkwaliteit is klimaatverandering met name belangrijk met oog op veranderingen in zomertemperatuur en extreme afvoeren (hoogwater en laagwater).

De verandering in afvoerregime zijn uitgebreid beschreven in paragraaf 4.2. De verschillen tussen klimaatscenario's manifesteren zich met name in de lage zomerafvoeren. De KNMI'06-plus scenario's laten zien dat het klimaat ook droger kan worden, waardoor de zomerafvoer in zowel de Rijn als de Maas in vergelijking tot de WB21-scenario's veel lager wordt.

Het KNMI geeft aan dat met betrekking tot temperatuur afwijkingen van 0,5 °C als niet significant beschouwd dienen te worden. Tabel 5-9 toont de stijging van de zomertemperatuur voor de WB21 en de KNMI'06-scenario's.

Tabel 5.9 Gemiddelde zomertemperatuurstijging voor het zichtjaar 2050 voor WB21-klimaatscenario's

Zomertemperatuurstijging voor 2050				
WB21-scenario's	laag + 0,5 °C	midden + 1 °C		hoog + 2 °C
KNMI'06-scenario's		G + 0,9 °C	G+ + 1,4 °C	W + 1,7 °C W+ + 2,8 °C

De verschillen in zomertemperatuurstijging tussen de WB21 en de KNMI'06-scenario's zijn als volgt beoordeeld:

Neemt zeer sterk toe (+++):	het KNMI'06-scenario is meer dan 2 °C groter dan het WB21-scenario
Neemt sterk toe (++):	het KNMI'06-scenario is tussen de 1 °C - 2 °C groter dan het WB21-scenario
Neemt toe (+):	het KNMI'06-scenario is tussen de 0,5 °C - 1 °C groter dan het WB21-scenario
Blijft gelijk (o):	het verschil tussen de KNMI'06- en WB21-scenario is kleiner dan 0,5 °C
Neemt af (-):	het KNMI'06-scenario is tussen de 0,5 °C - 1 °C kleiner dan het WB21-scenario
Neemt sterk af (--):	het KNMI'06-scenario is tussen de 1 °C - 2 °C kleiner dan het WB21-scenario
Neemt zeer sterk af (---):	het KNMI'06-scenario is meer dan 2 °C kleiner dan het WB21-scenario

Tabel 5.10 Verschil in tweede orde effect tussen klimaatscenario's: temperatuur

KNMI'06-scenario's	→	G	G+	W	W+
WB 21 scenario's	↓				
laag		0	+	++	+++
midden		0	0	+	++
hoog		--	-	0	+

De warme KNMI'06-scenario's laten de grootste verschillen met de WB21-scenario's zien. De stijging van de zomertemperatuur neemt ten opzichte van het WB21-laag en -midden scenario aanzienlijk toe. De zomertemperatuurstijging blijft voor de gemiddelde KNMI'06-scenario's achter bij het WB21-hoog scenario.

### Consequenties van de nieuwe KNMI'06-scenario's

Tabel 5-11 brengt de consequenties van de nieuwe klimaatscenario's in kaart. Daarbij is gekeken of het grootste verschil tussen de WB21 en de KNMI'06-scenario's komt door het verschil in afname is de zomerafvoer (Tabel 4.6) of door het verschil in temperatuurstijging in de zomer (Tabel 5.10). Met betrekking tot waterkwaliteit wordt het handhaven van de huidige waterkwaliteit als doel gesteld. Er is antwoord gegeven op de vraag 'Veronderstel dat wordt uitgegaan van ....., maar op termijn blijkt dat KNMI'06-.... scenario werkelijkheid wordt, wordt het beleidsdoel dan gehaald, zijn extra maatregelen dan noodzakelijk en is er dan te veel beleid ontwikkeld?'

Indien één van de KNMI'06-plus scenario's werkelijkheid wordt, wordt het klimaat veel droger dan op grond van de WB21-scenario's wordt verwacht. De problemen met waterkwaliteit in de zomer- en najaarperiode zullen dan groter worden.

Afvoerprojectie van de KNMI'06-W en -G scenario's liggen veel dichterbij WB21-scenario's en daarom is het halen van de beleidsdoelen indien puur naar zomerafvoer wordt gekeken waarschijnlijk. De sterkere toename in temperatuur in de zomer voor het KNMI'06-W scenario zorgt echter wel voor meer problemen voor de waterkwaliteit gedurende de zomerperiode.

De KNMI'06-plus en de warme KNMI'06-scenario's hebben duidelijk consequenties ten aanzien van de klimaatadaptatiebeleid voor waterkwaliteit.

Samenvattend zal een mogelijke toename in frequentie, duur en intensiteit van extreme afvoeren in combinatie met een stijging van de watertemperatuur voor de Rijn en de Maas vaker leiden tot situaties waarin een verslechtering van de waterkwaliteit optreedt. In overeenstemming met de toename in overschrijding van normen voor waterkwaliteit en drinkwaterproductie is ook effect te verwachten in het aantal dagen dat de inname van oppervlaktewater gestopt moet worden.

Tabel 5.11 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's.

<b>Waterkwaliteit</b>				
<b>Doel: het handhaven van de huidige waterkwaliteit</b>				
<b>Maar het wordt KNMI'06-scenario ....</b>	<b>G</b>	<b>G+</b>	<b>W</b>	<b>W+</b>
<b>Veronderstel dat wordt uitgegaan van WB21-scenario ....</b>				
<i>Stroomgebied van de Rijn</i>				
laag				
midden				
hoog				
<i>Stroomgebied van de Maas</i>				
laag				
midden				
hoog				
Groen: het beleidsdoel wordt gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is niet te veel beleid ontwikkeld.				
Rood: het beleidsdoel wordt niet gehaald, er zijn extra maatregelen nodig en er is te weinig beleid ontwikkeld.				
Blauw: het beleidsdoel wordt ruim gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is te veel beleid ontwikkeld				

## 6 Algemene nutsvoorzieningen

### 6.1 Energie

#### Huidige beleid en gehanteerde uitgangspunten

De energiesector is afhankelijk van oppervlaktewater voor koeling van centrales. Koelwater wordt ingenomen en na gebruik weer geloosd in het oppervlaktewater. De temperatuur van het geloosde water is doorgaans hoger dan het ingenomen water hetgeen leidt tot een hogere temperatuur van het oppervlaktewater.

Uit onderzoek van Ploumen & Van Veen (2004) blijkt dat de temperatuur van het Rijnwater een belangrijkere rol speelt bij de kans op koelwaterbeperkingen dan het debiet van de Rijn. Aan de warmtevracht en de temperatuur van het geloosde water zijn daarom afhankelijk van de watertemperatuur en de stroming van het ontvangende water beperkingen gesteld. In de periode 1909 tot en met 2003 is de temperatuur van Rijnwater bij Lobith gemiddeld met 0,033 °C per jaar toegenomen. Een groot deel hiervan is toe te schrijven aan het toegenomen koelwatergebruik in Duitsland. Het komt in zomerperiodes steeds vaker voor dat de watertemperatuur bij Lobith hoger is dan 24 °C.

Voor de Maas is juist de koelwatervraag in verhouding tot het debiet belangrijk voor koelwaterbeperkingen. De koelcapaciteit in de Maas is doorgaans beperkt van de zomerperiode van 1 april tot en met eind september.

In het Amsterdam-Rijnkanaal en het Noordzeekanaal is de koelwatervraag in verhouding tot het debiet ook groot. Door indien beschikbaar een grotere afvoer door het Amsterdam-Rijnkanaal te sturen kan wordt dit probleem tijdelijk worden ondervangen. Toch is het niet te voorkomen dat er de hoge koelwatervraag tot beperkingen van de aangelegde centrales leidt.

Het effect van een afname van de zomerafvoeren en naar hogere watertemperaturen door klimaatverandering op koelwatertekorten voor de energiesector in Nederland is dus belangrijk. Voor de energiesector is klimaatadaptatiebeleid slechts in studie. Er is nog geen echt klimaatadaptatiebeleid ontwikkeld om met toekomstig hogere zomerafvoeren en watertemperaturen om te gaan. Klimaatmitigatiebeleid lijkt voor de energiesector echter minstens zo belangrijk.

#### Verskil in tweede orde effecten tussen klimaatscenario's

Stijging van de watertemperatuur en afname van de lage zomerafvoeren kunnen de koelwaterbeperkingen in de toekomst vergroten. Uit het bovenstaande blijkt dat met betrekking tot koelwatertekorten voor de Rijn de hoge watertemperaturen en voor de Maas de beperkte afvoer de belangrijkste rol spelen.



Paragraaf 4.2 beschrijft het effect van klimaatverandering op de zomerafvoer. Tabel 4.7 laat het verschil in de verandering van de lage zomerafvoeren van de Rijn en de Maas zien, tussen de klimaatscenario's.

Hieruit blijkt dat met name de KNMI'06-G+ en W+ scenario's onderscheidend zijn, omdat volgens deze scenario's de zomerafvoeren in de Rijn en de Maas vergeleken met de WB21-scenario's sterk zullen afnemen.

De warme KNMI'06-scenario's laten de grootste verschillen met de WB21-scenario's zien. De stijging van de zomertemperatuur neemt ten opzichte van het WB21-laag en -midden scenario aanzienlijk toe.

Consequenties van de nieuwe KNMI'06-scenario's Tabel 6.1 brengt de consequenties van de nieuwe klimaatscenario's in kaart. Voor de energiesector wordt het handhaven van de huidige frequentie van koelwaterbeperkingen als doel gesteld. Er is antwoord gegeven op de vraag 'Veronderstel dat wordt uitgegaan van ....., maar op termijn blijkt dat KNMI'06-.... scenario werkelijkheid wordt, wordt het beleidsdoel dan gehaald, zijn extra maatregelen dan noodzakelijk en is er dan te veel beleid ontwikkeld?'

Tabel 6.1 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's.

<b>Energiesector</b>				
<b>Doel: het handhaven van de huidige frequentie van koelwaterbeperkingen</b>				
Maar het wordt KNMI'06-scenario ....	G	G+	W	W+
Veronderstel dat wordt uitgegaan van WB21-scenario ....				
<i>Stroomgebied van de Rijn</i>				
laag				
midden				
hoog				
<i>Stroomgebied van de Maas</i>				
laag				
midden				
hoog				
Groen: het beleidsdoel wordt gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is niet te veel beleid ontwikkeld.				
Rood: het beleidsdoel wordt niet gehaald, er zijn extra maatregelen nodig en er is te weinig beleid ontwikkeld.				
Blauw: het beleidsdoel wordt ruim gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is te veel beleid ontwikkeld				

De zomerafvoeren die in de toekomst op basis van de KNMI'06-W en -G scenario's worden verwacht, liggen dicht bij WB21-scenario's. Deze scenario's hebben naar verwachting geen consequenties voor beleid.

De KNMI'06-plus scenario's hebben wel consequenties en versterken de wens voor klimaatadaptatiebeleid. Indien één van de plus-scenario's werkelijkheid wordt, wordt het klimaat veel droger dan op grond van de WB21-scenario's wordt verwacht. Koelwaterbeperkingen zullen hierdoor in de zomer- en najaarperiode toenemen.

De warme KNMI'06-scenario's laten zien dat de toename in watertemperatuur vaker tot koelwaterbeperkingen in de zomerperiode kunnen leiden. Dit betekent dat er een voorkeur kan zijn om centrales langs de kust te bouwen of dat de centrales over grotere koelcapaciteit moeten beschikken

## 6.2 Drinkwater

### Huidige beleid en gehanteerde uitgangspunten

Drinkwater komt als tweede in de verdringingsreeks en heeft daarmee een hoge prioriteit bij de verdeling van water tijdens droge perioden. In de toekomst zal door een warmer wordend klimaat de vraag naar drinkwater stijgen. Vanwege de toename van verdroging en de negatieve invloed van het onttrekken van grondwater voor de productie van drinkwater op verdroging, zal in de toekomst meer gebruik moeten worden gemaakt van oppervlaktewater.

Met het oog op klimaatverandering spelen de afname van de rivierafvoer in de zomer, het effect van klimaatverandering op de waterkwaliteit en de toename van verzilting door zeespiegelstijging en bodemdaling, een rol. Waterkwaliteit is daarbij een belangrijk zorgpunt.

De belangrijkste gevolgen voor de drinkwater sector zijn met betrekking tot de waterkwaliteit zijn:

- Door de zeespiegelstijging neemt de verzilting van het oppervlaktewater en grondwater in West-en Noord-Nederland toe. Te hoge zoutconcentraties geven problemen met de zuivering en kunnen er toe leiden dat winningslocaties gesloten dienen te worden. Alternatieve locaties dienen dan te worden gezocht.
- Door warmtelozingen op de rivieren en de hogere zomertemperaturen zal de 25° grens – de grens waarboven water niet meer kan worden ingenomen voor drinkwaterproductie i.v.m. kwaliteitsrisico's - vaker en langduriger worden overschreden.
- Door de hogere temperaturen in de zomer verslechtert de biologische kwaliteit van het oppervlaktewater (bijv. toename van de groei van cyanobacteriën, botulisme) structureel gedurende de zomerperioden.
- Gedurende langdurige droogteperioden neemt de kans op kans op hoge concentraties van (nog niet bekende) chemische verontreinigingen in het oppervlaktewater toe. Er vindt immers minder verdunning plaats.
- Ten gevolge van hevige regenbuien in de zomer - en dus meer overstorten van de riolering - verslechtert de microbiologische kwaliteit van het oppervlaktewater aanzienlijk.

Ook de hoeveelheid van de voor drinkwater beschikbare bronnen komt onder druk te staan:

- Oppervlaktewater: indien er onvoldoende water beschikbaar is tijdens langdurige droogte voor alle functies dienen er keuzes te worden gemaakt. Dit is geregeld in de verdringingsreeks waarbinnen drinkwater een hoge plaats inneemt.
- Grondwater: toename van de regionale verdroging, die kan worden versterkt door een eventuele toename van de winning van grondwater door andere gebruikers. De mogelijkheden om grondwater te winnen zonder nadelige gevolgen voor de natuur nemen dan af. Dit speelt met name in het oosten van het land.
- Bij overstromingen kunnen wingebeden voor langdurige perioden niet meer geschikt zijn voor drinkwaterwinning.

De potentiële gevolgen voor de productie & distributie zijn:

- Door de hogere watertemperatuur worden de zuiveringsrendementen negatief beïnvloed.
- Hittegolven zullen leiden tot een toename van de watervraag en de piekvragen.
- In warme zomers neemt de temperatuur in het leidingnet verder toe. De microbiologische kwaliteit van het drinkwater in het distributienet neemt daardoor af.
- Langdurige droogteperioden kunnen in zettingsgevoelige gebieden meer breuken veroorzaken.

In paragraaf 5.4 wordt aangegeven dat klimaatverandering de waterkwaliteit van oppervlaktewater sterk kan beïnvloeden. Een toename van drinkwaterbereiding uit oppervlaktewater zal dan leiden tot extra hoge zuiveringskosten. Bovendien zorgt zeespiegelstijging in combinatie met een afname van de laagwaterafvoer voor een verdere landwaartse zoutindringing. Indien het zoutgehalte hoger is dan 200 mg/l wordt de inname voor drinkwaterbereiding gestaakt. Voorraadvorming zal dus in de toekomst belangrijk worden om perioden met incidentele verontreinigingen of hoge zoutgehalten te overbruggen.

Concreet Klimaatadaptatiebeleid in de drinkwatersector ontbreekt nog. Binnen de drinkwatersector is er al wel geruime tijd aandacht voor klimaatveranderingen. Deze was wel gefragmenteerd (bijvoorbeeld kwantiteit / kwaliteit en temperatuur bronnen, zuiveringsproces, distributie, energie-effectiviteit). Het beleid wordt nu bij elkaar gebracht over de volle breedte van de betekenis van klimaatveranderingen voor de drinkwatersector. De ruimtelijke ontwikkelingen almede ontwikkelingen t.a.v. de bronnen worden regionaal door de drinkwaterbedrijven zelf opgepakt. Dit i.s.m. waterschappen, provincies en gemeenten.

### **Vershil in tweede orde effecten tussen klimaatscenario's**

De volgende 2<sup>e</sup> orde effecten zijn voor de drinkwatervoorziening vooral van belang:

- Rivierafvoer en watertemperatuur met het oog op waterkwaliteit.
- Zeespiegelstijging in combinatie met de afname van lage rivierafvoeren met het oog op verzilting van het oppervlaktewater.

Vanwege de hoge plaats in de verdringingreeks is de hoogte van de rivierafvoer met het oog op waterbeschikbaarheid minder relevant.

Voor het tweede orde effect rivierafvoer wordt verwezen naar paragraaf 4.2. De verschillen tussen de scenario's manifesteren zich met name in de zomerafvoeren. Aangezien met uitzondering van het WB21-hoog scenario, de zeespiegelstijging in de KNMI'06-scenario's niet veel afwijken van de WB21-scenario's, zijn dus met name de veranderingen in de laagwaterafvoeren van belang. De verschillen in zomerafvoeren zijn geanalyseerd, zoals eerder al is opgemerkt in paragraaf 4.2.

Het verschil tussen de KNMI'06- en de WB21-scenario's blijkt het grootst voor de KNMI'06-scenario's waarin rekening wordt gehouden met een verandering in de luchtstroming. De laagwaterafvoer zal in de toekomst volgens de KNMI'06-plus scenario's sterker afnemen dan voor de overige klimaatscenario's wordt voorspeld.

De stijging van de zomertemperatuur in de warme KNMI'06-scenario's neemt ten opzichte van het WB21-laag en -midden scenario aanzienlijk toe, zie paragraaf 5.4.

Consequenties van de nieuwe KNMI'06-scenario's Tabel 6.2 brengt de consequenties van de nieuwe klimaatscenario's in kaart. Voor de drinkwatersector wordt als doel gesteld het handhaven van de huidige kans dat reguliere drinkwater-voorziening in Nederland niet aan de vraag kan voldoen. Er is antwoord gegeven op de vraag 'Veronderstel dat wordt uitgegaan van ....., maar op termijn blijkt dat KNMI'06-.... scenario werkelijkheid wordt, wordt het beleidsdoel dan gehaald, zijn extra maatregelen dan noodzakelijk en is er dan te veel beleid ontwikkeld?'

Tabel 6.2 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's.

<b>Drinkwater</b>				
<b>Doel: het handhaven van de huidige kans dat reguliere drinkwatervoorziening in Nederland niet aan de vraag kan voldoen</b>				
<b>Maar het wordt KNMI'06-scenario ....</b>	<b>G</b>	<b>G+</b>	<b>W</b>	<b>W+</b>
<b>Veronderstel dat wordt uitgegaan van WB21-scenario ....</b>				
<i>Stroomgebied van de Rijn</i>				
laag	■	■	■	■
midden	■			
hoog	■	■	■	■
<i>Stroomgebied van de Maas</i>				
laag	■	■	■	■
midden	■			
hoog	■	■	■	■
Groen: het beleidsdoel wordt gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is niet te veel beleid ontwikkeld. Rood: het beleidsdoel wordt niet gehaald, er zijn extra maatregelen nodig en er is te weinig beleid ontwikkeld. Blauw: het beleidsdoel wordt ruim gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is te veel beleid ontwikkeld				

De KNMI'06-plus scenario's laten zien dat de zomerafvoeren wel eens veel sterker kunnen afnemen dan in de WB21-scenario's het geval is. Een sterkere afname van de laagwaterafvoeren zal de waterkwaliteit negatief beïnvloeden en zal leiden tot een verdere zoutindringing. Op die manier zullen ze een grotere invloed hebben op de drinkwatersector. Het effect van klimaatverandering op de drinkwatervoorziening is voor de KNMI'06-plus scenario's veel groter dan voor de WB21-scenario's. Dit heeft grote consequenties voor het halen van beleidsdoelen. Indien beleid gebaseerd zou zijn op de WB21-scenario's en een KNMI'06-plus scenario wordt werkelijkheid, dan zijn extra maatregelen nodig. De nieuwe scenario's versterken de wens tot studies waarin maatregelen voor adaptatie aan klimaatveranderingen in de drinkwatersector worden onderzocht.

Temperatuur is met name van belang voor de waterkwaliteit. De warme KNMI'06-scenario's laten een grotere stijging van de zomertemperatuur zien dan het WB21-laag en -midden scenario.

## 6.3 Infrastructuur

### Huidige beleid en gehanteerde uitgangspunten

Internationaal binnenvaarttransport is vanuit economisch oogpunt erg belangrijk voor Nederland. Ongeveer 55% van het internationaal transport en 25% van het nationaal transport gaat over water. De Nederlandse Rijn fungeert als een natuurlijke toegangsweg voor een groot deel van het Europese vaste land. De Rijntakken Boven-Rijn, Waal, Neder-Rijn en Lek vormen de Oost-West assen in het goedertransport. De IJssel en de onbedijkte Maas zijn belangrijke vaarwegen voor het Noord-Zuid transport.

Binnenvaart gaat in de toekomst ook op de Maas een belangrijke rol spelen. Het project Maasroute, waarin de Maas en haar kanalen, die samen de Noord-Zuidverbinding vormen, geschikt worden gemaakt voor grotere binnenvaartschepen, maakt een belangrijk onderdeel uit van het project Maaswerken. In de periode tot 2019 worden bruggen verhoogd, nieuwe sluizen gebouwd, bestaande sluizen verdiept, sluiscolken verlengd en bochten verruimd. Door de verbetering van de vaarroute wordt de Maas geschikt voor tweebaksduwvaart met schepen van 190 m lang, 11,4 m breed en met een diepgang van 3,5 m.

In het tweede Structuurschema Verkeer en Vervoer (SVV) en het Nationaal Verkeer en Vervoerplan (NVVP) wordt per vaarweg aangegeven voor welke scheepvaartklasse de vaarweg geschikt moet zijn en aan welke condities de vaarweg voor deze scheepvaartklasse moet voldoen. Er worden daarbij eisen gesteld ten aanzien van vaarbaanbreedte en vaarbaandiepte. Volgens het SVV en het NVVP moet de vaarwegen tijdens afvoeren groter dan de Overeengekomen Lage Afvoer van 1020 m<sup>3</sup>/s (OLA, de afvoer die gemiddeld 5% per jaar wordt onderschreden) aan de vereiste vaarwegcondities voldoen. De totale vereiste vaarbaanbreedte wordt bepaald door het aantal strooksverkeer van de betreffende scheepvaartklasse en de vereiste veiligheidsmarge.

De afname van de afvoer tijdens droge zomers zal naar verwachting de scheepvaart in de Rijn en de Maas aanzienlijk beïnvloeden. De OLA wordt net zoals de maatgevende afvoer elke vijf jaar opnieuw vastgelegd. Het zal steeds moeilijker worden om bij een toekomstige afname van de OLA aan de vereiste scheepvaartcondities te blijven voldoen.

Dit probleem wordt versterkt doordat in de nabije toekomst de vaarbaaneisen op de Rijn zelfs verder worden aangescherpt.

Zo moet de vaarbaan van de Boven-Rijn en de Waal in de toekomst tijdens afvoeren hoger dan OLA voldoen aan een breedte van 170 m en een diepte van 2,8 m, in plaats van een breedte van 150 m en een diepte van 2,5 m.

In het deelproject Duurzame Vaardiepte Rijndelta (DVR) het project Toekomstvisie Waal is de Directie Oost-Nederland van Rijkswaterstaat op zoek naar technische maatregelen om enerzijds de vaarwegverruiming te realiseren, maar anderzijds ook in te kunnen spelen op toekomstige klimaatveranderingen. Een voorbeeld van een technische maatregel is de aanleg van langsdammen, waarbij de rivier grootschalig wordt versmald bij lage afvoeren en wordt verruimd bij hoge afvoeren. De maatregel heeft dus een tweeledig doel: de bevaarbaarheid van de rivier te verbeteren én de afvoercapaciteit tijdens hoogwater te vergroten. In het DVR project wordt rekening gehouden met klimaatverandering door van uit te gaan van 10% lagere laagwaterafvoeren, die 10% langer aanhouden. Deze veranderingen in laagwaterafvoeren zijn afgeleid van het WB21-midden scenario.

## Verschil in tweede orde effecten tussen klimaatscenario's

Voor de scheepvaart is niet alleen het effect van klimaatveranderingen op de OLA van belang, maar is ook het effect op de lage zomerafvoeren die hoger zijn dan de OLA belangrijk. Bij afvoeren hoger dan OLA moet de Boven-Rijn en de Waal een minimaal vaardiepte van 2,5 m (en in de toekomst 2,8 m) hebben. Aangezien de diepgang van vrachtschepen op de Rijn varieert tussen de 2,5 en 4,5 m, ondervindt de scheepvaart al eerder beperkingen doordat niet volledig geladen kan worden gevaren. Om de verschillen tussen de tweede orde effecten te onderzoeken wordt daarom gekeken naar het effect van klimaatverandering op de laagwaterafvoer in de zomer.

De Wit et al. (2007) heeft het effect van de verwachte klimaatveranderingen op het afvoerregime bepaald door de decadegemiddelde verwachte veranderingen ten aanzien van temperatuur, neerslag en verdamping op meetreeksen te projecteren, zie Figuur 4-1. De verschillen tussen de klimaatscenario's zijn gepresenteerd in Tabel 4.7 en geven een duidelijk signaal af. Een verschil tussen de WB21- en KNMI'06-scenario's is dat de zomers in de KNMI'06-plus scenario's veel droger worden. De afname van de gemiddelde zomerneerslag voor de Rijn zorgt voor een extra afname van de rivierafvoeren die niet in de WB21-scenario's zijn opgenomen.

## Consequenties van de nieuwe KNMI'06-scenario's

Tabel 6.3 brengt de consequenties van de nieuwe klimaatscenario's in kaart. Met betrekking tot de scheepvaart op de Nederlandse binnenwateren wordt het handhaven van het huidige aantal dagen zonder scheepvaartbeperkingen als doel gesteld. Er is antwoord gegeven op de vraag 'Veronderstel dat wordt uitgegaan van ....., maar op termijn blijkt dat KNMI'06-.... scenario werkelijkheid wordt, wordt het beleidsdoel dan gehaald, zijn extra maatregelen dan noodzakelijk en is er dan te veel beleid ontwikkeld?

Tabel 6.3 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's.

Algemene nutsvoorzieningen: scheepvaart				
Doel: het handhaven van de huidige aantal dagen zonder scheepvaartbeperkingen				
Maar het wordt KNMI'06-scenario ....	G	G+	W	W+
Veronderstel dat wordt uitgegaan van WB21-scenario ....				
<i>Stroomgebied van de Rijn</i>				
laag				
midden				
hoog				
<i>Stroomgebied van de Maas</i>				
laag				
midden				
hoog				
Groen: het beleidsdoel wordt gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is niet te veel beleid ontwikkeld.				
Rood: het beleidsdoel wordt niet gehaald, er zijn extra maatregelen nodig en er is te weinig beleid ontwikkeld.				
Oranje: het beleidsdoel wordt ruim gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is te veel beleid ontwikkeld				

De verwachtingen op basis van de KNMI'06-W en -G scenario's komen overeen met het beeld van de WB21-scenario's en hebben dus geen nadelige consequenties ten aanzien van het niet halen van beleidsdoelen.

De droge KNMI'06-plus scenario's geven aan dat verwachte de afname in laagwater afvoeren veel sterker kan zijn dan tot nu toe op basis van de WB21-scenario's werd verondersteld. Indien maatregelen zijn gebaseerd op het beleid dat op basis van het WB21 midden scenario is ontwikkeld, zijn extra maatregelen vereist om toch op de negatieve effecten van lagere afvoeren in te spelen.

## 7 Natuur en biodiversiteit

### Huidige beleid en gehanteerde uitgangspunten

De effecten van klimaatverandering verschillen per type natuur. Dit heeft te maken met het feit dat voor verschillende natuurtypen andere milieucondities van belang zijn. Voor terrestrische natuur zijn naast de temperatuur, de grondwaterstand, het zoutgehalte en het nutriëntengehalte belangrijke factoren die het vóórkomen en de kwaliteit van terrestrische vegetatietypen bepalen. Deze vegetatietypen vormen een habitat voor fauna. Voor aquatische natuur zijn de temperatuur, waterdiepte, waterstroming en waterkwaliteit (nutriënten, zuurgraad en doorzicht) belangrijke factoren voor de kwaliteit en ontwikkeling van verschillende flora en fauna. Langs de rivieren zijn de overstromingsduur en -frequentie belangrijke omgevingsfactoren. Bij de kustnatuur zijn voornamelijk de hydro- en morfodynamiek van belang. De hydrodynamiek vanuit zee en de rivier bepaalt ook de saliniteit welke vanzelfsprekend mede bepaalt welke vegetatie tot ontwikkeling komt.

Een verandering in milieucondities als gevolg van klimaatverandering en zeespiegelstijging zullen gevolgen hebben voor natuur. Uit de eerdere hoofdstukken in dit rapport blijkt duidelijk dat klimaatverandering en zeespiegelstijging gevolgen hebben voor deze milieucondities. Daarnaast zullen ook de anticiperende maatregelen die vanuit waterbeheer genomen worden, effecten hebben op natuur. Deze effecten kunnen groter zijn dan de effecten van klimaatverandering zelf (Haasnoot et al. 2004).

Een groot aantal huidige terrestrische natuurgebieden staat onder druk door menselijke activiteiten. De ontwatering van gebieden ten behoeve van de landbouw en wonen en ook de onttrekkingen ten behoeve van drinkwaterwinning hebben geleid tot een structurele verdroging van natuurgebieden. De KNMI'06-G+ en- W+ scenario's leiden tot aanmerkelijk drogere omstandigheden in de zomer. Het verdrogingsbeleid had tot voor kort tot doel de verdroging met 40% te reduceren in 2010. Sinds begin 2007 richt de verdrogingsbestrijding zich op de gebieden die op de TOP-lijsten staan. Dat zijn tenminste de Natura 2000-gebieden met (grond)waterafhankelijke natuur, en daarnaast overige prioritaire gebieden (niet alle) van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS) (Ministerie V&W, 2006). Waterschappen stellen voor medio 2007 concept-GGOR's (Gewenste Grond en Oppervlaktewater Regime's) op, die voor 2015 moeten worden bereikt. In 2010 en 2015 zal worden gekeken of de doelen (kunnen) worden gehaald. Indien dit niet het geval is (bijvoorbeeld als de benodigde maatregelen buiten het beschikbare budget vallen), kunnen extra maatregelen worden getroffen, of de doelen worden gefaseerd of bijgesteld. Naar aanleiding van de droogte in 2003 en de eerste resultaten van de droogtestudie heeft natuur een expliciete plek in de verdringsreeks gekregen (zie paragraaf 5.3).

De drie natuurgerelateerde EU-richtlijnen, de KaderRichtlijn Water (KRW) (2000/60/EG), Vogelrichtlijn (79/409/EEC) en Habitatrichtlijn (92/43/EEC) bepalen op dit moment voor een belangrijk deel het Nederlandse natuurbeleid. In Nederland zijn de Vogel en Habitat Richtlijnen (VHR) opgenomen in de natuurbeschermingswet en de Flora en Faunawet.



De KaderRichtlijn Water moet nog juridisch worden geïmplementeerd en gaat ervan uit dat het aquatische milieu beschermd dan wel verbeterd moet worden o.a. door een forse vermindering van lozingen, emissies en de verontreiniging. Ook mogen water-afhankelijke ecosystemen niet achteruit gaan.

De KRW heeft tot doel een goede ecologische en chemische toestand te realiseren voor grond- en oppervlaktewater in 2015 met mogelijkheid tot uitstel tot 2027. Om aan te geven hoe en of deze toestand gehaald kan worden, moet iedere zes jaar (vanaf 2009), een stroomgebiedbeheersplan worden opgesteld door rijk, provincies en waterschappen gezamenlijk. De Vogelrichtlijn heeft tot doel alle in het wild levende vogels te beschermen middels het behouden en inrichten van habitats van voldoende diversiteit en grootte. De Habitatrictlijn staat voor het behoud van biodiversiteit door het beschermen van natuurlijke habitats voor wilde flora en fauna. Ook voor deze richtlijnen moeten beheerplannen gemaakt worden. Nederland heeft vooralsnog bij het vaststellen van de KRW- en VHR-doelen geen rekening gehouden met klimaatverandering (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2006).

In de studie WB21 werd beleid rondom natuur nauwelijks genoemd. De WB21commissie heeft pakketten van maatregelen gedefinieerd. Het WB21-principe "*vasthouden, bergen afvoeren*" is gunstig voor natuur, aangezien deze te lijden heeft onder de versnelde afvoer ten behoeve van landbouw en wonen. Daarnaast noemt WB21 dat er betere kansen zijn voor natuur als er grotere eenheden zijn met eigen waterhuishouding. Dit sluit aan op het beleid van de VHR (Natura 2000 netwerk). Ook het aanpassen van de natuurdoelen behoort volgens WB21 tot de mogelijkheid.

### **Verschil in tweede orde effecten tussen klimaatscenario's**

Door klimaatverandering kunnen droge zomers vaker voorkomen en ook ernstiger van aard zijn. Dit leidt tot lagere grondwaterstanden en lagere rivierafvoeren dan eerder voorspeld. Hierdoor zal mogelijk ook vaker gebiedsvreemd water worden ingelaten, wat effect heeft op voedselarme natuur vooral in West-Nederland. Met name de KNMI'06-G+ en -W+ scenario's zijn hierin verschillend van de ander scenario's. Naast grondwaterstand zal voor de terrestrische natuur in laag Nederland ook de zeespiegelstijging en daarmee de toename van zoutbezwaar in het grond- en oppervlakte water belangrijk zijn. Voor brakke natuur is dit gunstig, terwijl de ontwikkeling van zoete natuur (grootste deel) hierdoor verslechtert.

Een toename van de temperatuur en een toename van uitspoeling van nutriënten door een verhoogde neerslagintensiteit kan leiden tot een grotere kans op algenbloei wat een negatief effect kan hebben op het behalen van de ecologische doelen. Algen groeien over het algemeen sneller bij hogere lichtintensiteiten en watertemperaturen, wanneer er voldoende nutriënten beschikbaar zijn voor de groei. Hier is er ook een grotere kans op ziekteverwekkende bacteriën, wat de kans op bijvoorbeeld botulisme vergroot. Algen groei kan leiden tot zuurstofloze condities, waardoor aquatische waterplanten en vissen dood gaan. Daarnaast kan het vaker voorkomen van hogere temperaturen leiden tot grotere sterftcijfers van aquatische fauna (Blauw et al. 2006). De temperatuurverschillen tussen de scenario's zijn van dien aard dat er verschillende effecten te verwachten zijn. De natuurlijke variabiliteit is echter groter dan de stijgingen in de scenario's.

Voor het uiteindelijke effect van klimaatverandering op aquatische natuur spelen ook fysisch-chemische reacties (zware metalen, afbraak veen, vrijkomen nutriënten) een rol en is ook de interactie tussen parameters belangrijk. Bovenstaande is een kwalitatieve inschatting, de effecten van klimaatverandering op waterkwaliteit de effecten daarvan op ecologie zijn nog weinig onderzocht.

Alle scenario's geven aan dat de rivierafvoeren in de winter hoger worden. Dit leidt tot een verschuiving van milieuzones met overstromingsduren en daarmee ook tot een verschuiving in ecotopen (Haasnoot et al. 2002). De areaal veranderingen hangen niet alleen af van andere rivierafvoeren, maar ook van de morfologie van het gebied. Indien zones verschuiven naar een gebied met een steilere helling dan neemt het areaal af. Ook speelt de rand van het riviereengebied een rol; op een gegeven moment is opschuiven niet meer mogelijk vanwege dijken of stedelijk gebied. Bovengenoemde verschuivingen voor de WB21-scenario's bleken gering, maar voor sommige waardevolle ecotopen relatief groot. In het benedenriviereengebied zijn de effecten van de zeespiegelstijging groter dan de verandering in rivierafvoeren. In het voorjaar worden zaden afgezet langs de rivier. Dit bepaalt mede het voorkomen van rivierbegeleidende natuur. Voor vegetatie is met name het (grond)waterpeil in het voorjaar belangrijk. Lagere afvoeren en een lager neerslagoverschot kunnen leiden tot zeer lage waterstanden in poeltjes en vennen langs de rivieren, waarin waardevolle aquatische natuur voorkomt.

Langs de kust zal vooral de zeespiegelstijging een rol spelen bij de effecten op natuur. In principe zouden verschillende milieuzones (met verschillende hydrodynamiek, morfodynamiek en zoutgehalte) landwaarts opschuiven. Echter door menselijke activiteiten is de ruimte voor dergelijke verschuivingen gering waardoor gebieden slechts verdrinken.

### **Consequenties van de nieuwe KNMI'06-scenario's**

Het huidig beleid naar aanleiding van de verwachte klimaatverandering en zeespiegelstijging concentreert zich vooral op wateroverlast. Watertekort krijgt inmiddels steeds meer aandacht. Daar er voor KRW, VHR en verdrogingsdoelen nog geen rekening gehouden is met klimaatverandering en zeespiegelstijging zullen extra (of misschien wel andere) maatregelen nodig zijn om de doelen te halen.

Kijkend naar de verdrogingsdoelstelling en grondwaterafhankelijke natuur zijn extra maatregelen nodig als men was uitgegaan van een van de WB21-scenario's en het KNMI'06-G+ of -W+ wordt. Indien het KNMI'06-G of -W scenario werkelijkheid wordt en men was uitgegaan van een van de WB21-scenario's dan was er voldoende beleid gemaakt. Wat betreft de verzilting zijn geen extra effecten te verwachten met de KNMI'06-scenario's. Was men uitgegaan van een van de WB21-scenario's dan is er in het geval de nieuwe KNMI'06-scenario's werkelijkheid worden nog geen probleem.

Voor de KRW en VHR doelstellingen is niet eenduidig een uitspraak te doen, omdat het hier gaat om verschillende typen natuur. Ten behoeve van KRW en de VHR zijn voor sommige gebieden reeds ecologische doelstellingen bepaald en voor anderen zijn deze nog in ontwikkeling.

De doelstellingen van de Kaderrichtlijn Water moeten in principe de doelstellingen in 2015 gehaald worden, Vogel- en Habitatrichtlijn heeft geen eindtermijn. Klimaatverandering en zeespiegelstijging kunnen gevolgen hebben voor het behalen van deze doelen. Op deze korte termijn zullen effecten van klimaatverandering en zeespiegelstijging beperkt zichtbaar worden. Echter de Kaderrichtlijn Water gaat uit van het 'stilstand'-principe, daarnaast is Nederland van plan de doelstellingen gefaseerd te gaan behalen door gebruik te maken van de uitstel mogelijkheden tot 2027 en dan is het waarschijnlijker dat effecten merkbaar worden.

Alle KNMI'06-scenario's geven grotere temperatuurstijgingen dan het WB21-laag scenario. Een halve graad temperatuurstijging kan leiden tot meer algenbloei en daarmee ongunstigere condities voor waterplanten en fauna. Ten opzichte van het WB21-midden scenario geven het KNMI'06-G+, -W en -W+ scenario's ook extra temperatuurstijgingen van meer dan een halve graad. Voor het KNMI'06-W+ en -G+ speelt ook mee dat het in de zomer veel droger wordt dan het WB21-midden scenario. Als men was uitgegaan van het WB21-hoog scenario, dan is de temperatuurstijging in de KNMI'-06-scenario's vergelijkbaar voor het KNMI'06-W en -G+. WB21-hoog geeft een grotere temperatuurstijging dan KNMI'06-G, en maar kleiner dan het KNMI'06-W+ scenario. Doordat de +-scenario's aangeven dat het droger wordt in de zomer zal hier extra beleid nodig zijn.

In het riviereengebied, waar voor de overstromingsduren belangrijk zijn voor natuur, zijn de rivierafvoeren bij de KNMI'06-G+ en -W+ scenario's heel anders dan de WB21-scenario's. In het geval dat een van deze scenario's werkelijkheid wordt is het dus nodig het beleid bij te stellen.

De zeespiegelstijging is in nieuwe scenario's hoger dan WB21-laag en ongeveer gelijk aan het middenscenario. Wanneer men was uitgegaan van WB21-hoog is er een kleine overschatting. Echter in KNMI'06-G+ en -W+ is temperatuur stijging in zomer zo veel hoger dan in WB21-midden en -laag, dat vanwege verhoogde kans op algengroei KRW en VHR doelen mogelijk niet gehaald worden.

Tabel 7.1 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's.

<b>Natuur</b>				
<b>Doel: het behalen verdrogingsdoelstelling en KRW en VHR doelen in terrestrische gebieden</b>				
Maar het wordt KNMI'06-scenario ....	G	G+	W	W+
Veronderstel dat wordt uitgegaan van WB21-scenario ....				
laag				
midden				
hoog				
Groen: het beleidsdoel wordt gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is niet te veel beleid ontwikkeld.				
Rood: het beleidsdoel wordt niet gehaald, er zijn extra maatregelen nodig en er is te weinig beleid ontwikkeld.				
Blauw: het beleidsdoel wordt ruim gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is te veel beleid ontwikkeld				

Tabel 7.2 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's.

<b>Natuur</b>				
<b>Doel: het behalen van VHR en KRW doelen in het boven-rivierengebied</b>				
Maar het wordt KNMI'06-scenario ....	G	G+	W	W+
Veronderstel dat wordt uitgegaan van WB21-scenario ....				
laag				
midden				
hoog				
Groen: het beleidsdoel wordt gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is niet te veel beleid ontwikkeld.				
Rood: het beleidsdoel wordt niet gehaald, er zijn extra maatregelen nodig en er is te weinig beleid ontwikkeld.				
Blauw: het beleidsdoel wordt ruim gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is te veel beleid ontwikkeld				

Tabel 7.3 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's.

<b>Natuur</b>				
<b>Doel: het behalen KRW en VHR doelen voor aquatische natuur</b>				
Maar het wordt KNMI'06-scenario ....	G	G+	W	W+
Veronderstel dat wordt uitgegaan van WB21-scenario ....				
laag				
midden				
hoog				
Groen: het beleidsdoel wordt gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is niet te veel beleid ontwikkeld.				
Rood: het beleidsdoel wordt niet gehaald, er zijn extra maatregelen nodig en er is te weinig beleid ontwikkeld.				
Blauw: het beleidsdoel wordt ruim gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is te veel beleid ontwikkeld				

Tabel 7.4 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's.

<b>Natuur</b>				
<b>Doel: het behalen KRW en VHR doelen voor kustnatuur</b>				
Maar het wordt KNMI'06-scenario ....	G	G+	W	W+
Veronderstel dat wordt uitgegaan van WB21-scenario ....				
laag				
midden				
hoog				
Groen: het beleidsdoel wordt gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is niet te veel beleid ontwikkeld.				
Rood: het beleidsdoel wordt niet gehaald, er zijn extra maatregelen nodig en er is te weinig beleid ontwikkeld.				
Blauw: het beleidsdoel wordt ruim gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is te veel beleid ontwikkeld				

## **8 Consequenties van de KNMI'06- klimaatscenario's voor het waterbeheer: integratie van alle resultaten**

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de analyses bij elkaar gebracht. Eerst is een overzicht gegeven van het huidige klimaatadaptatiebeleid per thema, waarbij wordt aangegeven of er in het huidige beleid rekening wordt gehouden met klimaatveranderingen én welke uitgangspunten daarbij gehanteerd zijn. Vervolgens zijn consequenties voor de diverse beleidsthema's in één tabel samengevat. Het hoofdstuk eindigt met een discussie over de consequenties van de nieuwe klimaatscenario's voor het vigerende klimaatadaptatiebeleid.

### **8.1 Overzicht van uitgangspunten in het huidige beleid**

Nog lang niet voor alle rond waterbeheer relevante beleidsthema's in het waterbeheer is beleid ontwikkeld voor klimaatadaptatie. Tabel 8.1 geeft een inventarisatie van het bestaande klimaatadaptatiebeleid op de relevante beleidsthema's, de uitgangspunten en de bijbehorende beleidsdoelen. Er zijn beleidsthema's waar 1) maatregelen voor adaptatie aan verandering in klimaat in uitvoering zijn, 2) klimaatadaptatiebeleid in voorbereiding is, en 3) het effect van klimaatverandering en klimaatbestedigheid wordt onderzocht in verkennende studies.

Tabel 8.1 Inventarisatie van het bestaande beleid op relevante beleidsthema's, de uitgangspunten en de bijbehorende beleidsdoelen.

Beleidsthema	Sub-thema	Klimaatadaptatie-beleid ontwikkeld? ++ maatregelen in uitvoering + beleid in voorbereiding 0 beleid in studie	Uitgangspunt in beleid	Beleidsdoel
Bescherming tegen overstromen	Kust	++	Midden en hoog scenario Leidraad Zandige Kust	Handhaven huidige veiligheidsnorm en handhaven huidige kustlijn
	Rivieren Rijn en Maas	++	WB21-midden scenario	Handhaven huidige veiligheidsnorm
	IJsselmeer	++	WB21-midden scenario	Handhaven huidige veiligheidsnorm
Waterbeheer inzake wateroverlast en droogte	Wateroverlast landelijk gebied	++	Toegepast WB21-scenario varieert per studie	Handhaven huidig kans op wateroverlast
	Wateroverlast stedelijk gebied	0	geen	Handhaven huidig kans op riooloverstort
	Droogte	0	geen	Handhaven huidig kans op droogte en handhaven huidige zomergrondwaterstanden
	Waterkwaliteit	0	geen	Handhaven huidige waterkwaliteit
Algemene nutsvoorziening	Energie	0	geen	Handhaven huidige frequentie van koelwaterbeperkingen
	Drinkwater	0	geen	Handhaven huidig kans dat drinkwatervoorziening in Nederland niet aan de vraag kan voldoen
	Water infrastructuur	+	WB21-midden scenario	Handhaven huidige aantal dagen met scheepvaartbeperkingen
Natuur en biodiversiteit	Terrestrische gebieden	0	geen	Realiseren van huidige KRW en VHR doelen
	Natuur in het rivierengebied	0	geen	Realiseren van huidige KRW en VHR doelen
	Aquatiscche natuur	0	geen	Realiseren van huidige KRW en VHR doelen
	Natuur in de kustzone	0	geen	Realiseren van huidige KRW en VHR doelen

## 8.2 Integratie van alle resultaten

De tabellen 8-2 tot en met 8-4 tonen de consequenties van de nieuwe KNMI'06-scenario's voor de diverse beleidsthema's. Deze tabellen zijn samengesteld op basis van de tabellen uit de eerdere hoofdstukken. Per beleidsthema is antwoord gegeven op de vraag 'Veronderstel dat wordt uitgegaan van het WB21-..... scenario, maar op termijn blijkt dat KNMI'06-..... scenario werkelijkheid wordt, wordt het beleidsdoel dan gehaald, zijn extra maatregelen dan noodzakelijk en is er dan te veel beleid ontwikkeld? Tabel 8-1 geeft de betekenis van de keuren in de tabellen.



Figuur 8-1. Classificatie voor de beoordeling van het waterbeheer beleid

Tabel 8.2 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's: Per beleidsthema is in deze tabel antwoord gegeven op de vraag 'Veronderstel dat wordt uitgegaan van het WB21-laag scenario, maar op termijn blijkt dat het KNMI'06-.... scenario werkelijkheid wordt, dan...'.

Beleidsthema	Sub-thema	G	G+	W	W+
Bescherming tegen overstromen	Kust				
	Rivieren Rijn en Maas				
	IJsselmeer				
Waterbeheer inzake wateroverlast en droogte	Wateroverlast landelijk gebied				
	Wateroverlast stedelijk gebied				
	Droogte				
	Waterkwaliteit Rijn				
	Waterkwaliteit Maas				
Algemene nutsvoorziening	Energie				
	Drinkwater				
	Water infrastructuur Rijn				
	Water infrastructuur Maas				
Natuur en biodiversiteit	Terrestrische gebieden				
	Natuur rivierengebied				
	Aquatische natuur				
	Natuur kustzone				

Tabel 8.3 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's: Per beleidsthema is in deze tabel antwoord gegeven op de vraag 'Veronderstel dat wordt uitgegaan van het WB21-midden scenario, maar op termijn blijkt dat het KNMI'06-.... scenario werkelijkheid wordt, dan...'.

Beleidsthema	Sub-thema	G	G+	W	W+
Bescherming tegen overstromen	Kust				
	Rivieren Rijn en Maas				
	IJsselmeer				
Waterbeheer inzake wateroverlast en droogte	Wateroverlast landelijk gebied				
	Wateroverlast stedelijk gebied				
	Droogte				
	Waterkwaliteit Rijn				
	Waterkwaliteit Maas				
Algemene nutsvoorziening	Energie				
	Drinkwater				
	Water infrastructuur Rijn				
	Water infrastructuur Maas				
Natuur en biodiversiteit	Terrestrische gebieden				
	Natuur rivierengebied				
	Aquatische natuur				
	Natuur kustzone				



Tabel 8.4 Consequenties van de nieuwe KNMI'06-klimaatscenario's: Per beleidsthema is in deze tabel antwoord gegeven op de vraag 'Veronderstel dat wordt uitgegaan van het WB21-hoog scenario, maar op termijn blijkt dat het KNMI'06-.... scenario werkelijkheid wordt, dan...?'

Beleidsthema	Sub-thema	G	G+	W	W+
Bescherming tegen overstromen	Kust				
	Rivieren Rijn en Maas				
	IJsselmeer				
Waterbeheer inzake wateroverlast en droogte	Wateroverlast landelijk gebied				
	Wateroverlast stedelijk gebied				
	Droogte				
	Waterkwaliteit Rijn				
	Waterkwaliteit Maas				
Algemene nutsvoorziening	Energie				
	Drinkwater				
	Water infrastructuur Rijn				
	Water infrastructuur Maas				
Natuur en biodiversiteit	Terrestrische gebieden				
	Natuur rivierengebied				
	Aquatise natuur				
	Natuur kustzone				

### 8.3 Consequenties van de klimaatscenario's voor het huidige beleid

**Voor bescherming tegen overstromen langs de kust wordt geconcludeerd dat net als in de WB21-scenario's de zeespiegel blijft stijgen.** Om de bescherming tegen overstromen vanuit zee te handhaven wordt in het beleid uitgegaan van het midden en hoge scenario van de beleidsscenario's van de Leidraad Zandige Kust. De zeespiegelstijging volgens deze beleidsscenario's is gelijk of groter dan de verwachte zeespiegelstijging in de KNMI'06-scenario's. De nieuwe scenario's geven dan ook geen aanleiding om te verwachten dat extra beleid noodzakelijk zal zijn. Wordt het voorgenomen beleid uitgevoerd op basis van het LZK-midden of -hoog scenario, dan is de kans dat het beleid moet worden aangepast voor 2050 gering.

**Voor bescherming tegen overstromen in het rivierengebied Rijn en Maas wordt geconcludeerd dat net als in de WB21-scenario's de rivierafvoeren in de winter toenemen. Deze toename is voor de Maas mogelijk minder sterk.** Om de bescherming tegen overstromen vanuit de rivieren te handhaven wordt in het klimaatadaptatiebeleid rekening gehouden met het WB21-hoog scenario.

Dit komt neer op een maatgevende afvoerscenario op de Rijn van 18.000 m<sup>3</sup>/s en op de Maas van 4.550 m<sup>3</sup>/s. De maatgevende afvoeren die op basis van de nieuwe KNMI'06-scenario's zijn afgeschat, blijven tot het zichtjaar 2050 onder deze beleidsafvoeren. Worden maatregelen uitgevoerd op basis van het WB21-hoog scenario dan is de kans dat extra maatregelen nodig zijn klein. De verwachting is dat de KNMI'06-scenario's geen gevolgen hebben voor het halen van beleidsdoelen tot het zichtjaar 2050.

**Voor bescherming tegen overstromen in het rivierengebied wordt geconcludeerd dat net als in de WB21-scenario's het waterpeil van het IJsselmeer blijft stijgen.** De grootte van de veranderingen in het IJsselmeerpeil is sterk gerelateerd aan de stijging van de zeespiegel en wordt tevens beïnvloed door de instroom vanuit de IJssel. Het huidige beleid houdt met het WB21-midden scenario als uitgangspunt, met een grotere zeespiegelstijging scenario rekening dan de KNMI'06-scenario's. Bovendien is reeds aangegeven dat het verschil in de winterafvoer in de Rijn tussen de WB21- en KNMI'06-scenario's kleiner is dan de natuurlijke variatie in de winterafvoer. De kans dat het beleid voor het waterbeheer in het IJsselmeer ten aanzien van hoogwater moet worden aangepast is naar verwachting klein.

**Voor wateroverlast in het landelijke gebied wordt geconcludeerd dat net als in de WB21-scenario's de wateroverlast door langdurige regenval in de winter en extreme buien in de zomer toeneemt.** Regionale beheerders hebben in beleid ten aanzien van wateroverlast in het landelijke gebied, verschillende uitgangspunten met betrekking tot klimaatscenario's gehanteerd.

De veranderingen in het gemiddelde wateroverschot in de winter zijn volgens alle klimaatscenario's kleiner dan de langjarige natuurlijke variatie. Het gemiddelde wateroverschot in de winter ligt voor alle vier de KNMI'06-scenario's binnen de spreiding van de WB21-scenario's. De scenario's zijn dus niet erg onderscheidend voor de winterperiode, zie Tabel 5-1. Indien het waterbeheer ten aanzien van wateroverlast in de winter gebaseerd is op het WB21-hoog scenario is de kans klein dat beleidsdoelen ten aanzien van wateroverlast niet worden gehaald. Indien het beleid is gebaseerd op het WB21-midden scenario is, zijn met betrekking tot het KNMI'06-W+ scenario aanvullende maatregelen waarschijnlijk nodig. De gevolgen van de KNMI'06-scenario's zijn afhankelijk van de gehanteerde uitgangspunten.

De KNMI'06-G+ en -W+ scenario's geven een neerslagtoename in extreme buien in de zomer die ongeveer overeenkomt met de WB21-laag en -midden scenario's. Deze scenario's hebben dan ook geen consequenties voor het beleid ten aanzien van wateroverlast. De KNMI'06-W en -G scenario's voorspellen een veel grotere toename van de dagsom in de zomer. De consequenties kunnen groot zijn indien het KNMI'06-W scenario werkelijkheid wordt, aangezien de extreme neerslag in de zomer voor dit scenario veel meer toeneemt in vergelijking tot elk van de WB21-scenario's. Echter in de winter neemt de wateroverlast in het W scenario ten opzichte van het WB21-hoog scenario af. Daarom is de verwachting dat ten opzichte van het WB21-hoog scenario het uiteindelijke risico voor een toename van de wateroverlast klein is. Lokale condities zullen in de beoordeling een belangrijke rol spelen.

**Voor de waterinfrastructuur kan worden geconcludeerd dat net als in de WB21-scenario's de rivier afvoer van de Rijn in de zomer afneemt. Deze afname is sterker voor de KNMI'06-plus scenario's. Voor de Maas blijven de zomerafvoeren in de WB21-scenario's nagenoeg onveranderd maar nemen ze in de KNMI'06-plus scenario's af.** In het project Duurzame Vaardiepte Rijndelta wordt bij het ontwerp van maatregelen ter verbetering van de vaarweg, rekening gehouden met het WB21-midden scenario. De KNMI'06-plus scenario's leiden voor de Rijn en de Maas tot een sterkere afname in de zomerafvoeren dan de WB21-scenario's. De KNMI'06-W en G scenario's zijn met betrekking tot de zomerafvoer nauwelijks onderscheidend van de WB21-scenario's. De KNMI'06-plus scenario's kunnen dus grote gevolgen hebben voor het beleidsthema water infrastructuur. De kans is groot dat beleidsdoelen niet gehaald worden en dat het nemen van aanvullende maatregelen nodig is.

## 9 Conclusies

De Regiegroep van het Landelijk Bestuurlijk Overleg Water (LBOW) heeft een brede werkgroep 'klimaatscenario's' ingesteld. Deze groep bestaat uit vertegenwoordigers van V&W, VROM, LNV, UvW, IPO, VNG, KNMI en MNP. Deze groep bereidt een bestuurlijk besluit voor over de toepassing van klimaatscenario's in het waterbeheer. WL onderzoekt in opdracht van de werkgroep een aantal inhoudelijke vraagstukken omtrent de toepassing van de nieuwe KNMI'06-scenario's in waterbeheer en -beleid. Het onderzoek omvat de een beschrijving van de KNMI'06-klimaatscenario's en een inventarisatie van de overeenkomsten en verschillen tussen de WB21- en KNMI'06-klimaatscenario's en een verkenning van de mogelijke consequenties van de KNMI'06-klimaatscenario's in diverse sectoren van het waterbeheer. Hiervoor is een literatuuronderzoek uitgevoerd en een analyse van 1e (het weer) en 2e orde klimaateffecten (hydrologische veranderingen inclusief de zeespiegelstijging). De resultaten zijn besproken met een aantal deskundigen van diverse instituten.

### Eerste orde klimaateffecten

De nieuwe KNMI'06-scenario's zijn wetenschappelijk veel beter onderbouwd dan de oude WB21-scenario's. Beide generaties moeten als scenario's worden opgevat, hetgeen betekent dat het ene scenario niet waarschijnlijker is dan het andere. Echter de betere onderbouwing betekent dat de nieuwe scenario's een betrouwbaarder uitgangspunt zijn om de gevolgen voor het Nederlandse waterbeheer van de globale klimaatverandering te beoordelen dan de oude WB21-scenario's.

Voor het waterbeheer verwachten de nieuwe KNMI'06-scenario's een sterkere trend naar een grotere variabiliteit in het weer dan de oude WB21-scenario's. Er wordt geconcludeerd dat:

1. net als in de WB21-scenario's de omstandigheden in de winter natter worden;
2. net als in de WB21-scenario's de extremere neerslag gedurende de winter toeneemt, echter de mate waarin neemt af;
3. zomerdroogte als reëlere optie wordt gezien, doordat er naast de twee natte scenario's; (het KNMI'06-G en -W scenario) in de KNMI'06-scenario's ook twee droge scenario's (het KNMI'06-G+ en -W+ scenario) zijn opgenomen;
4. net als in de WB21-scenario's de extremere neerslag gedurende de zomer toeneemt, echter de mate waarin neemt mogelijk toe; en
5. net als in de WB21-scenario's blijft de temperatuur stijgen.

### Tweede orde klimaateffecten en gevolgen voor het beleid

Voor de 2e orde klimaateffecten is de analyse uitgevoerd voor waterbeheer relevante subthema's. In de eerste plaats is geanalyseerd of de KNMI'06-scenario's sterk afwijkende hydrologische effecten hebben ten opzichte van de WB21-scenario's.

Vervolgens is in kaart gebracht of de grootte van de verandering zodanig is dat te verwachten is dat dit tot aanpassingen in het waterbeleid zal leiden. Opgemerkt moet worden dat de beoordeling vooral gestoeld is op basis van expert judgement.

Er zijn betrekkelijk weinig nieuwe studies uitgevoerd naar de hydrologische gevolgen van de nieuwe KNMI'06-scenario's. Dergelijke studies worden wel aanbevolen.

Er wordt geconcludeerd dat:

**Net als in de WB21-scenario's blijft de zeespiegel stijgen.** Om de bescherming tegen overstromen vanuit zee te handhaven wordt in het beleid uitgegaan van het midden en hoge scenario van de beleidsscenario's van de Leidraad Zandige Kust. De zeespiegelstijging volgens deze beleidsscenario's is gelijk of groter dan de verwachte zeespiegelstijging in de KNMI'06-scenario's. De nieuwe scenario's geven dan ook geen aanleiding om te verwachten dat extra beleid noodzakelijk zal zijn. Wordt het voorgenomen beleid uitgevoerd op basis van het LZK-midden of -hoog scenario, dan is de kans dat het beleid moet worden aangepast voor 2050 gering.

**Net als in de WB21-scenario's nemen de rivierafvoeren in de winter toe. Deze toename is voor de Maas mogelijk minder sterk.** Alle scenario's gaan uit van een toename van de winterneerslag, hetgeen tot hogere afvoeren in de winter leidt. De KNMI'06-scenario's verwachten echter in vergelijking tot de WB21-scenario's een minder sterke toename in de extreme winterneerslag. Door het voortduren van de zomerdroogte in de KNMI'06-plus scenario's, neemt de winterafvoer minder sterk toe dan op grond van de veranderingen in winterneerslagen verwacht zou worden. In het algemeen het verschil in de winterafvoer in de Maas en in de Rijn tussen de WB21- en KNMI'06-scenario's kleiner dan de natuurlijke variatie in de winterafvoer. Een uitzondering vormt de winterafvoer op de Maas. Hiervoor geldt dat de KNMI'06-scenario's tot minder hoge winterafvoeren leiden dan het WB21-hoog scenario, en dat de winterafvoer voor de warme KNMI'06-scenario's lager is winterafvoer voor het WB21-midden scenario.

Om de bescherming tegen overstromen vanuit de rivieren te handhaven wordt in het klimaatadaptatiebeleid rekening gehouden met het WB21-hoog scenario, dat wil zeggen een maatgevende Rijnafvoer van 18.000 m<sup>3</sup>/s en Maasafvoer van 4.600 m<sup>3</sup>/s. De maatgevende afvoeren die op basis van de nieuwe KNMI'06-scenario's zijn afgeschat, blijven tot het zichtjaar 2050 onder deze beleidsafvoeren. Wordt het voorgenomen beleid uitgevoerd op basis van het WB21-midden of hoog scenario dan is de kans dat extra maatregelen nodig zijn klein. De verwachting is dat de KNMI'06-scenario's geen gevolgen hebben voor het halen van beleidsdoelen tot het zichtjaar 2050.

**Net als in de WB21-scenario's nemen de rivierafvoer van de Rijn in de zomer af. Deze afname is sterker voor de KNMI'06-scenario's. Voor de Maas neemt de zomerafvoer alleen in de KNMI'06-plus scenario's af.** De KNMI'06-plus scenario's tonen een aanzienlijke afname van de gemiddelde zomerneerslag, terwijl de WB21-scenario's een toename laten zien. In het KNMI'06-W+ neemt bovendien de potentiële verdamping veel sterker toe dan in de WB21-scenario's. Hierdoor leiden de KNMI'06-plus scenario's voor de Rijn en de Maas tot een sterkere afname in de zomerafvoeren dan de WB21-scenario's. De KNMI'06-W en G scenario's zijn met betrekking tot de zomerafvoer nauwelijks onderscheidend van de WB21-scenario's. In het project Duurzame Vaardiepte Rijndelta wordt bij het ontwerp van maatregelen ter verbetering van de vaarweg, rekening gehouden met het WB21-midden scenario.

De KNMI'06-plus scenario's kunnen dus grote gevolgen hebben voor het beleidsthema water infrastructuur. De kans is groot dat beleidsdoelen niet gehaald worden en dat het nemen van aanvullende maatregelen nodig is.

**Net als in de WB21-scenario's blijft het waterpeil van het IJsselmeer stijgen.** De grootte van de veranderingen in het IJsselmeerpeil is sterk gerelateerd aan de stijging van de zeespiegel en wordt tevens beïnvloed door de instroom vanuit de IJssel. Het huidige beleid houdt met het WB21-midden scenario als uitgangspunt, met een grotere zeespiegelstijging scenario rekening dan de KNMI'06-scenario's. Bovendien is reeds aangegeven dat het verschil in de winterafvoer in de Rijn tussen de WB21- en KNMI'06-scenario's kleiner is dan de natuurlijke variatie in de winterafvoer. De kans dat het beleid voor het waterbeheer in het IJsselmeer ten aanzien van hoogwater moet worden aangepast is naar verwachting klein.

**De gevolgen voor het IJsselmeer van mogelijke lage rivierafvoeren in combinatie met stijgende zeespiegel zijn nog onbekend.** In het laagwaterbeheer in het IJsselmeer wordt nog geen rekening gehouden met klimaatverandering. Gezien de verwachtingen omtrent de zeer lage zomerafvoeren in de KNMI'06-plus scenario's wordt onderzoek naar de gevolgen hiervan wel aanbevolen.

**Net als in de WB21-scenario's neemt wateroverlast door langdurige regen in het landelijk gebied toe.** De veranderingen in het gemiddelde wateroverschot in de winter zijn volgens alle klimaatscenario's kleiner dan de langjarige natuurlijke variatie. Er zijn kleine verschillen tussen de gemiddelde wateroverschotten in de winter volgens de KNMI'06-G, G+ en W scenario en het WB21-midden scenario. Door regionale beheerders zijn verschillende scenario's gehanteerd. Indien het waterbeheer ten aanzien van wateroverlast in de winter gebaseerd is op het WB21-hoog scenario is de kans klein dat beleidsdoelen ten aanzien van wateroverlast niet worden gehaald. Indien het beleid is gebaseerd op het WB21-midden scenario is, zijn alleen met betrekking tot het KNMI'06-W scenario aanvullende maatregelen waarschijnlijk nodig.

**Net als in de WB21-scenario's neemt wateroverlast door extreme zomerbuien toe. Deze toename is sterker voor het KNMI'06-W scenario.** Hoewel de extreme zomerbuien met name van belang zijn voor het stedelijk waterbeheer, is voor de stedelijke rioleringsystemen nog geen klimaatadaptatiebeleid ontwikkeld. De regionale beheerders hebben in beleid ten aanzien van het waterbeheer in de regionale watersystemen verschillende klimaatscenario's gehanteerd.

De KNMI'06-G+ en -W+ scenario's geven een neerslagtoename in extreme buien die ongeveer overeenkomt met de WB21-laag en midden scenario's. Deze scenario's hebben dan ook geen consequenties voor het beleid ten aanzien van wateroverlast. De KNMI'06-W en G scenario's voorspellen een veel grotere toename van de extreme neerslag in de zomer dan de WB21-midden en -hoog scenario's. Met name voor het W scenario neemt de extreme neerslag in de zomer sterk toe in vergelijking tot alle WB21-scenario's. Indien dit scenario werkelijkheid wordt, zal dit grote consequenties voor het realiseren van beleidsdoelen hebben.

**Net als in de WB21-scenario's zal in de zomer vaker watertekort optredende. De KNMI'06-plus scenario's laten zien dat extreme zomerdroogte een reëlere optie is.** Het watertekort in de zomer neemt volgens de KNMI'06-plus scenario's en met name volgens het KNMI'06-W+ scenario zodanig toe dat deze groter is dan de langjarige natuurlijke variaties. Dit geldt niet voor de WB21-scenario's en de KNMI'06-G en W scenario's.

Indien de scenario's waarin het droger wordt werkelijkheid worden, heeft dat grote consequenties voor het halen van beleidsdoelen. Extra maatregelen zijn dan nodig om in te spelen op de toename van het watertekort in de zomer, als gevolg van veel drogere zomers. Bovendien is het de vraag of de rivieren gedurende deze droge periodes kunnen voldoen aan de watervraag vanuit het landelijke gebied.

**Voor waterkwaliteit is de zomerafvoer, het zomerwatertekort en de temperatuur van belang. Vooral in de KNMI'06-plus scenario's nemen de rivierafvoeren in de zomer af en neemt het zomerwatertekort toe. In de warme KNMI'06-scenario's stijgt temperatuur sterker dan in de WB21- midden en -laag scenario's.** Indien één van de KNMI'06-plus scenario's werkelijkheid wordt, wordt het klimaat veel droger dan op grond van de WB21-scenario's wordt verwacht. De problemen met waterkwaliteit in de zomer- en najaarperiode zullen dan groter worden. De verwachtingen ten aanzien van de laagwaterafvoer liggen voor KNMI'06-W en -G scenario's veel dicht bij WB21-scenario's en daarom is het halen van de beleidsdoelen indien alleen naar zomerafvoer wordt gekeken waarschijnlijk.

**Voor de drinkwatersector is de zomerafvoer en de temperatuur van belang. Vooral in de KNMI'06-plus scenario's nemen de rivierafvoeren in de zomer af en neemt het zomerwatertekort toe. In de warme KNMI'06-scenario's stijgt temperatuur sterker dan in de WB21- midden en -laag scenario's.** In de drinkwatersector is nog geen klimaatadaptatiebeleid ontwikkeld. De KNMI'06-plus scenario's laten zien dat de zomerafvoeren wel eens veel sterker kunnen afnemen dan in de WB21-scenario's het geval is. Een sterkere afname van de laagwaterafvoeren zal de waterkwaliteit negatief beïnvloeden en zal leiden tot een verdere landinwaartse zoutindringing. Op die manier hebben de scenario's een grotere invloed op de drinkwatersector. Het effect van klimaatverandering op de drinkwatervoorziening is voor de KNMI'06-plus scenario's veel groter dan voor de WB21-scenario's. Dit heeft grote consequenties voor het halen van beleidsdoelen. Indien beleid gebaseerd zou zijn op de WB21-scenario's en een KNMI'06-plus scenario wordt werkelijkheid, dan zijn extra maatregelen nodig. Temperatuur is met name van belang voor de waterkwaliteit. De warme KNMI'06-scenario's laten een grotere stijging van de zomertemperatuur zien dan het WB21-laag en -midden scenario, en kunnen daarom consequenties hebben voor beleid.

**Voor de energiesector is de zomerafvoer en de temperatuur van belang. Vooral in de KNMI'06-plus scenario's nemen de rivierafvoeren in de zomer af en neemt het zomerwatertekort toe. In de warme KNMI'06-scenario's stijgt temperatuur sterker dan in de WB21- midden en -laag scenario's.** De zomerafvoeren die in de toekomst op basis van de KNMI'06-W en -G scenario's worden verwacht, liggen dicht bij WB21-scenario's. Deze scenario's hebben naar verwachting geen consequenties voor beleid. Wel zou de toename in watertemperatuur in de warme KNMI'06-scenario's vaker tot koelwaterbeperkingen in de zomerperiode kunnen leiden. De KNMI'06-plus scenario's versterken de wens voor klimaatadaptatiebeleid.

Indien één van de plus-scenario's werkelijkheid wordt, wordt het klimaat veel droger dan op grond van de WB21-scenario's wordt verwacht. Koelwaterbeperkingen zullen hierdoor in de zomer- en najaarperiode toenemen.

**Voor de natuur en biodiversiteit** blijft de snelheid van de klimaatverandering van belang. De snelheid van de klimaatverandering volgens de nieuwe scenario's wijkt weliswaar niet sterk af van de oude scenario's, maar de snelheid van de temperatuur toename voor de W en W+ scenario's wordt groter dan de twee graden per eeuw die door de IPCC wordt gehanteerd als bovengrens voor het adaptatievermogen. Hieruit volgt ook de inschatting dat er aanmerkelijke risico bestaat dat natuurdoelen niet gehaald worden. Mogelijk moet bij het vaststellen van de doelen voor de natuur en biodiversiteit rekening gehouden gaan worden met klimaatverandering. De effecten van klimaatverandering op de ecologie blijven echter zeer slecht voorspelbaar. Het beleid is er derhalve op gericht de natuur zoveel mogelijk de ruimte te geven. De nieuwe scenario's geven geen aanleiding om van deze strategie te gaan afwijken.

## 10 Literatuur

- Beersma, J. J., Buishand, T. A. & Buiteveld, H. (2004). Droog, droger, droogst. KNMI/RIZA-bijdrage aan de tweede fase van de Droogtestudie Nederland. KNMI-publicatie 199-II.
- Blauw, A., S. Groot, M. Haasnoot, R. Hulsbergen, J. Icke, H. Los, M. Yossef (2006). Analyse invloed IJburg 2e fase op de waterkwaliteit in het IJmeer. Planstudie IJburg 2e fase. WL | Delft Hydraulics rapport Q4257
- De Wit, M., Buiteveld, H. & Deursen, W. (2007). Klimaatverandering en de afvoer van Rijn en Maas. RIZA memo WRR/2007-006
- Doomen, A., Zwolsman, G., Van der Hoek, J. P., Kortleve, M. (2006). Waterkwaliteit van de Rijn en de Maas bij lage afvoeren: een verkenning aan de hand van de droge zomer van 2003. H<sub>2</sub>O nr. 13, pag 46-49.
- Haasnoot, M., Vermulst, J.A.P.H., Middelkoop, H. (1999). Impacts of climate change and land subsidence on the water systems in the Netherlands. Terrestrial areas, RIZA rapport 99.049, NRP project 952210, ISBN 902210. (NOP2 incl. CO<sub>2</sub>)
- Haasnoot, M., Ververs, M. & Duel, H. (2003). Effecten van klimaatverandering op ecotopen van rijkswateren. WL | Delft Hydraulics rapport Q3258
- Haasnoot, M., Duel, H., van der Lee, G., Baptist, M., van der Molen, D.T. & Platteeuw, M. (2004). Impact of climate change on floodplain ecosystems of the River Rhine, the Netherlands. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Ecohydraulics. Aquatic Habitats: Analysis & restoration. September 12-17, Madrid, Spain. Paper. pp 1389-1393
- KNMI (2006). Klimaatscenario's in de 21e eeuw. KNMI, De Bilt.
- Können, G.P., W. Fransen, R. Mureau (1997). Meteorologie ten behoeve van de 'Vierde Nota Waterhuishouding (NW4)'. KNMI, De Bilt.
- Können, G.P. et al. (1999). De Toestand van het klimaat in Nederland 1999. KNMI, De Bilt.
- Können, G.P. (2001). Climate scenarios for impact studies in the Netherlands. KNMI, De Bilt.
- Kors, A.G., F.A.M. Claessen, J.W. Wesseling, and G.P. Können (2000). *Scenario's externe krachten voor WB21*. RIZA/WL and KNMI publicatie.
- Kors, A. & Delsman, J. (2005). Quickscan wateroverlast en rijkswateren, rapportage van het project Robuust Hoofdsysteem. Werkdocument 2005.147X. Rijkswaterstaat RIZA.
- Kragt, F. J., Van Gaalen, F. W., Cleij, P. & Ligtvoet, W. (2006). Audit Waterbeleid 21e eeuw. Analyse van de opgaven wateroverlast volgens het Nationaal Bestuursakkoord Water. Milieu en Natuur Planbureau.
- 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.
- Middelkoop, H., Asselman, N.E.M., Buitenveld, H., Haasnoot, M., Kwaad, F.J.P.M., Kwadijk, J.C.J., van Deursen, W.P.A., van Fijk, P.M., Vermulst, J.A.P.H. & Wesseling, C. (2000). The impact of climate change on the river Rhine and the implications for water management in the Netherlands. Summary report of the NRP project 952210. RIZA report 2000.010. (NOP2 eindrapport)
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2006). Decembernota 2006 KRW/WB21. Beleidsbrief.
- Parnet, 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.
- Ploumen, P. L. & Van der Veen, W. (2004). Droogtestudie Koelwaterbepalingen E-productie. KIWA. Arnhem.
- STOWA, (2004). Statistiek van extreme neerslag in Nederland. Rapport 26. ISBN-90.5773.261.0.
- Technische Advies Commissie – TAW (2002). Leidraad Zandige Kust. ISBN 90-369-5541-6. DWW rapport 2003-046. pp 224.
- 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.



- Van Asselt, M.B.A., H. Middelkoop, S.A. van 't Klooster, W.P.A. van Deursen, M. Haasnoot, J.C.J. Kwadijk, H. Buitenveld, G.P. Können, J. Rotmans, N. van Gemert & P. Valkering (2001). Integrated water management strategies for the Rhine and Meuse basins in a changing environment. Final report of the NRP project O/958273/01 (NOP3 eindrapport)
- Van Bokhoven & Zwolsman (2007). Klimaatverandering en de waterkwaliteit van de Rijn. H2O nr 9. pag 34 – 37.
- Van Boxel, J. H. & Cammeraat, L. H (1999). Wordt Nederland steeds natter? Meteorologica, (8), pag. 11-15.
- Van den Hurk, B., Klein Tank, A., Lenderink, G., Van Ulden, A., Van Oldenborgh, G. J., Katsman, C., Van den Brink, H., Keller, F., Bessembinder, J., Burgers, G., Komen, G., Hazeleger, W. & Drijfhout, G. (2006). KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. KNMI Scientific Report WR 2006-01. KNMI, De Bilt.
- Van Deursen, WPA, (2006). Rapportage Rhineflow/Meuseflow. Nieuwe KNMI scenario's. Mei 2006. Rapport voor Rijkswaterstaat RIZA. Carthago Consultancy, Rotterdam.
- Van Luijtelaar, H. (Tauf bv.), Stapel, W. (DHV Water), Moens, M. (Arcadis)& Dirkzwager, A. (RIZA) (2006). Klimaatontwikkeling n Riolering: Strategie Maatregelen. Bijlage in vakblad Riolering. januari 2006.
- Van Velzen, E. H & Beyer, D. (2007). Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het Rivierengebied, behorend bij de Leidraad voor rivieren. Rijkswaterstaat RIZA.
- Van Vliet, M.T.H. & J.J.G Zwolsman (2007). Klimaatverandering en de waterkwaliteit van de Maas, H<sub>2</sub>O nr. 9, pag 29-33.
- Verkade, J. (2006). KNMI'06-scenario's. Gevolgen voor NBW-toetsing – een eerste verkenning. WL | Delft Hydraulics. WL-rapport Q4138.
- WB21 (2000). Waterbeleid voor de 21e eeuw. Advies van de Commissie Waterbeheer 21e eeuw.
- Werkgroep HELP-tabel (1987) De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie. Meded. 176. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- WL, (1994). Onderzoek Watersnood Maas. Deelrapport 4: Hydrologische Aspecten. Waterloopkundig Laboratorium, Delft.

## A Robuustheid & Flexibiliteit

In het Nationaal Onderzoeksprogramma ARK zijn de termen robuustheid en flexibiliteit gebruikt om een maat voor de klimaatbestendigheid van Nederland te geven. In die studie worden de termen als volgt omschreven:

### Robuustheid

Robuustheid is het vermogen van een systeem om goed te blijven functioneren onder de externe druk van de natuurlijke variabiliteit van het klimaat (bijv. droogte, extreme neerslag, storm). Robuustheid is daarmee een maat voor de 'range' waarbinnen het systeem 'normaal' blijft functioneren. Robuustheid kan worden gemeten door te kwantificeren – of kwalificeren – hoe vaak een systeem faalt, en hoe ernstig het dan faalt (als maat voor het herstelvermogen), gegeven de variabiliteit van het huidige en/of toekomstige klimaat. Als indicatoren voor het vaststellen van robuustheid worden vastgesteld:

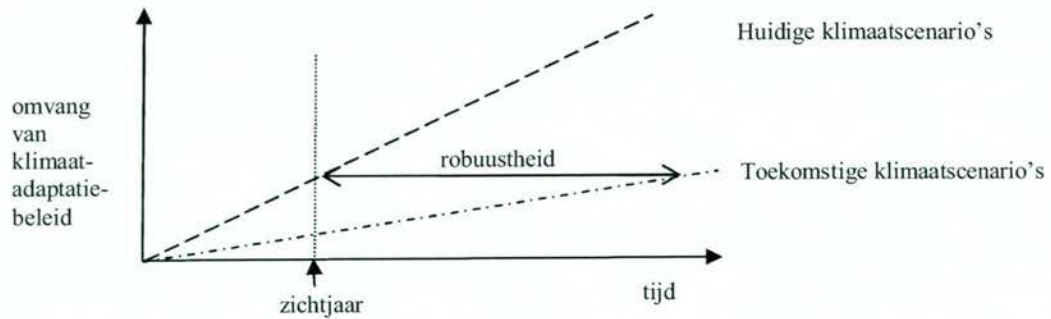
- Kans op falen (door huidige klimaatvariabiliteit);
- Consequenties van dat falen (jaargemiddelden, range, worst case, ...).

### Flexibiliteit of aanpassingsvermogen

Flexibiliteit is het vermogen (de eigenschappen van) een systeem aan te passen aan veranderende omstandigheden. Daarbij gaat het er enerzijds om ontwikkelingen te kunnen bijhouden (voldoende snel kunnen aanpassen) en anderzijds geen spijt te krijgen van een achteraf bezien overmatige of onvoldoende aanpassing. Aanpassingsvermogen is vooral nodig omdat omvang en tempo van klimaatverandering onzeker zijn. Flexibiliteit is dus geen systeemeigenschap op een bepaald moment, maar wordt veeleer bepaald door de beschikbaarheid van een veranderingsstrategie van een (beleids)sector c.q. een deel van de maatschappij. Hierbij is een maat voor de flexibiliteit enerzijds de mogelijkheid om bestaande maatregelen in de loop van de tijd te intensiveren (bijvoorbeeld stap voor stap dijken verhogen of meer of minder zand te suppleren langs de kust). Anderzijds is een maat voor de flexibiliteit de beoordeling of er op termijn gemakkelijk tot een alternatieve strategie kan worden overgegaan als blijkt dat de veranderingen zodanig groot worden dat intensivering van de bestaande maatregelen niet meer haalbaar zijn.

### Beoordeling ten aanzien van de robuustheid

In de beoordeling van het beleid ten aanzien van de nieuwe klimaatscenario's kan de robuustheid van de maatregelen na het zichtjaar worden gebruikt (Figuur A1). Een maat voor robuustheid van beleid is dan de duur van periode na het zichtjaar dat de maatregelen die op dit beleid zijn genomen nog zouden voldoen, met andere woorden de houdbaarheidsdatum.



Figuur A1. Robuustheid van beleid na het zichtjaar van 2050.

### Beoordeling ten aanzien van de flexibiliteit

Voor een beoordeling ten aanzien van de flexibiliteit is het nodig de om in te gaan op specifieke strategieën en hun directe en indirecte gevolgen op termijn. Dit is buiten de omvang van deze studie. Echter het effect van strategische keuzes ten aanzien van het type maatregel of strategie is wel van belang. Zo hangt de mate van flexibiliteit ten aanzien van de adaptatiesnelheid om alternatieve maatregelen te nemen, af van de gekozen strategie (hier bedoeld als een serie maatregelen zie Figuur A2). Omdat klimaatverandering grote onzekerheden kent en de mogelijke veranderingen groot kunnen zijn, is het zo dat een gekozen strategie niet voor alle mogelijke veranderingen optimaal hoeft te zijn.

Op termijn is het zeer wel denkbaar dat de aanpassingen niet meer kunnen bestaan uit een intensivering van de maatregelen zelf. Er zal in dat geval naar andere strategieën uitgekeken moeten worden. Het is belangrijk om te analyseren of een eenmaal gekozen strategie op termijn leidt tot een situatie waarbij overstappen op een andere strategie vanuit technisch, economisch, sociaal of politiek oogpunt moeilijk uitvoerbaar wordt.



Figuur A2. Illustratie van het begrip flexibiliteit

We illustreren dit met een voorbeeld. Om wateroverlast te voorkomen is de strategie meer ruimte voor waterberging te maken. Aan deze strategie zitten grenzen, er zullen gebieden zijn waar bij toenemende neerslag onvoldoende ruimte beschikbaar is. Er zal dan naar een andere strategieën uitgekeken moeten worden.





## **WL | Delft Hydraulics**

Rotterdamseweg 185  
postbus 177  
2600 MH Delft  
telefoon 015 285 85 85  
telefax 015 285 85 82  
e-mail [info@wldelft.nl](mailto:info@wldelft.nl)  
internet [www.wldelft.nl](http://www.wldelft.nl)

Rotterdamseweg 185  
p.o. box 177  
2600 MH Delft  
The Netherlands  
telephone +31 15 285 85 85  
telefax +31 15 285 85 82  
e-mail [info@wldelft.nl](mailto:info@wldelft.nl)  
internet [www.wldelft.nl](http://www.wldelft.nl)

