

# Studie naar scenario's voor het afvoerregime van de Rijn

Stand van april 2011

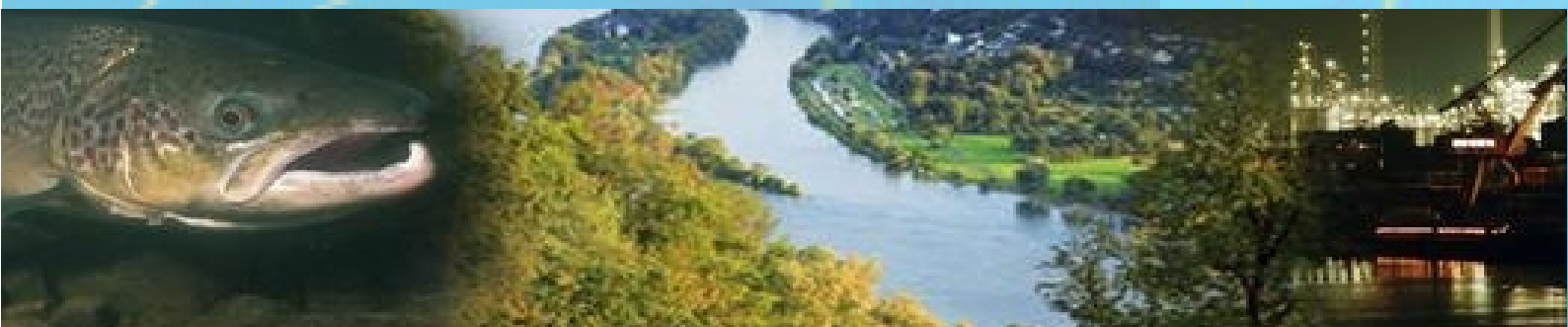


Internationale  
Kommission zum  
Schutz des Rheins

Commission  
Internationale  
pour la Protection  
du Rhin

Internationale  
Commissie ter  
Bescherming  
van de Rijn

*Rapport Nr. 188*



## **Colofon**

### **Uitgegeven door de**

Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn (ICBR)

Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, 56068 Koblenz, Duitsland

Postbus 20 02 53, 56002 Koblenz, Duitsland

Telefoon: +49-(0)261-94252-0, fax +49-(0)261-94252-52

E-mail: sekretariat@iksr.de

[www.iksr.org](http://www.iksr.org)

ISBN 3-935324-58-8

© IKSr-CIPR-ICBR 2011

*Leden van de EG KLIMA*

<b>Naam</b>	<b>Instituut</b>
Hugo Aschwanden	Bundesamt für Umwelt, Zwitserland
Anne Brune	Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement de Lorraine, Frankrijk
Hendrik Buiteveld	Rijkswaterstaat Waterdienst, Nederland
Florent Fever	Service de la Navigation de Strasbourg, Frankrijk
Klaus Görgen	Centre de Recherche Public Gabriel Lippmann, Luxemburg
Christine Hilbert-Bastian	Administration de la Gestion de l'Eau, Division de l'hydrologie, Luxemburg
Vassilios Kolokotronis	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Duitsland
Peter Krahe	Bundesanstalt für Gewässerkunde, Duitsland
Bernd Mehlig	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Noordrijn-Westfalen, Duitsland
Hans Moser	Bundesanstalt für Gewässerkunde, Duitsland, <i>voorzitter van de EG KLIMA</i>
Laurent Philippoteaux	Service de la Navigation de Strasbourg, Frankrijk
Ines Polenz	Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rijnland-Palts, Duitsland
Amélie Renaud	Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement de Lorraine, Frankrijk
Adrian Schmid-Breton Anne Schulte-Wülwer-Leidig	Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn
Reinhard Vogt	Stadtentwässerungsbetriebe Köln, Duitsland

*Auteurs van het rapport van de EG KLIMA*

<b>Naam</b>	<b>Instituut</b>
Peter Krahe	Bundesanstalt für Gewässerkunde, Duitsland
Enno Nilson	Bundesanstalt für Gewässerkunde, Duitsland
Kai Gerlinger	HYDRON GmbH, Duitsland ( <i>auteur van de literatuurevaluatie</i> )

*Inhoudsopgave*

<b>1. Opdracht</b>	<b>2</b>
<b>2. Kenmerken van het afvoerregime</b>	<b>2</b>
<b>3. Overzicht van de literatuur en de gegevens over het “Rijnstroomgebied”</b>	<b>3</b>
3.1 Opmerkingen vooraf	3
3.2 Bibliografische basis	4
3.2.1 Sleutelpublicaties – op mondiaal en Europees niveau	4
3.2.2 Kennis over de Rijn	4
3.3 Beoordeling van de huidige stand van zaken	8
<b>4. Synthese van de resultaten</b>	<b>11</b>
4.1 Waargenomen veranderingen in de 20 <sup>e</sup> eeuw	12
4.1.1 Gegevensbasis en weergave	12
4.1.2 Synopsis van de resultaten	13
4.2 Gemodelleerde veranderingen in de 21 <sup>e</sup> eeuw	15
4.2.1 Gegevensbasis en weergave	15
4.2.2 Synopsis van de resultaten	18
<b>5. Conclusies</b>	<b>22</b>
<b>Bibliografie</b>	<b>23</b>

*Bijlagen*

<b>Bijlage</b>	<b>Inhoud</b>
A	Veranderingen in de 20 <sup>e</sup> eeuw (stand: 2009)
B	Veranderingen in het midden van de 21 <sup>e</sup> eeuw (stand: 2009)
C	Overzichtskaart van de in de tekst genoemde evaluatiegebieden en meetpunten

## Afkortingen

Afkorting	Toelichting
BAFU	Zwitserse Milieudienst ( <i>Bundesamt für Umwelt</i> )
BfG	Duitse hydrologische dienst ( <i>Bundesanstalt für Gewässerkunde</i> )
BMVBS	Duits ministerie van Verkeer, Infrastructuur en Stedelijke Ontwikkeling ( <i>Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung</i> )
CHR	Internationale Commissie voor de Hydrologie van het Rijnstroomgebied
DWD	Duitse meteorologische dienst ( <i>Deutscher Wetterdienst</i> )
EG KLIMA	Expertgroep "Klimaat" van de ICBR
HQ <sub>T</sub>	Hoogwaterafvoer (hier: hoogste dagwaarde) die wordt berekend op basis van de periode van T opeenvolgende jaren
HYRAS	BfG-DWD-project "hydrometeorologische referentiegegevens voor Midden-Europa (rooster)" ( <i>Hydrometeorologische Referenzdaten für Mitteleuropa (Raster)</i> )
ICBR	Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn
IKSMS	Internationale Commissie ter Bescherming van de Moezel en de Saar ( <i>Internationale Kommissionen zum Schutze der Mosel und der Saar</i> )
IPCC	Intergouvernementele Werkgroep inzake Klimaatverandering ( <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> )
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
LANUV-NRW	Dienst voor Natuur, Milieu en Consumentenbescherming van de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen ( <i>Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen</i> )
MHQ	Rekenkundig gemiddelde van de hoogste dagafvoeren in overeenkomstige tijdspannes (bijv. hydrologische halfjaren) van de bekeken periode (bijv. 2021-2050)
MQ	Rekenkundig gemiddelde van alle dagafvoeren in overeenkomstige tijdspannes (bijv. hydrologische halfjaren, maanden) van de bekeken periode (bijv. 2021-2050)
NM7Q	Laagste rekenkundig gemiddelde van de afvoer over zeven dagen in overeenkomstige tijdspannes (bijv. hydrologische halfjaren) van de bekeken periode (bijv. 2021-2050)
OcCC	Adviescollege voor de klimaatverandering ( <i>Organe consultatif sur les changements climatiques</i> )
ONERC	Fransen, nationale voorlichtingsdienst over de effecten van de opwarming van de aarde ( <i>Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique</i> )
SomhN	Som van de neerslag in een gebied (gebiedsgemiddelde) over overeenkomstige tijdspannes (bijv. meteorologische seizoenen) van de bekeken periode (bijv. 2021-2050)
UBA	Duitse milieudienst ( <i>Umweltbundesamt</i> )
WG H, WG B, WG S	Werkgroep (H = Hoogwater, B = Ecologie, S = Waterkwaliteit/Emissies)
WMO	Wereld Meteorologische Organisatie

*Projecten*

(Voor zover genoemd in de tekst; alfabetische rangschikking op basis van het eventuele acroniem, anders op basis van de titel)

<b>Titel</b>	<b>Acroniem</b>	<b>Internetadres</b>
Developing adaptive capacity to extreme events in the Rhine basin	ACER	<a href="http://www.climateresearchnetherlands.nl">http://www.climateresearchnetherlands.nl</a>
Klimaatverandering en hydrologie in Zwitserland ( <i>Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz</i> )	CCHydro	<a href="http://www.bafu.admin.ch/wasser/01444/01991/10443/index.html?lang=de">http://www.bafu.admin.ch/wasser/01444/01991/10443/index.html?lang=de</a>
Coupled Model Intercomparison Project	CMIP	<a href="http://cmip-pcmdi.llnl.gov/">http://cmip-pcmdi.llnl.gov/</a>
A coordinated regional climate downscaling experiment	CORDEX	<a href="http://wcrp.ipsl.jussieu.fr/RCD_CORDEX.html">http://wcrp.ipsl.jussieu.fr/RCD_CORDEX.html</a>
Duitse adaptatiestrategie ( <i>Deutsche Anpassungsstrategie</i> )	DAS	<a href="http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php">http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php</a>
Deltaprogramma	(geen)	<a href="http://www.deltacommissaris.nl/">http://www.deltacommissaris.nl/</a>
ENSEMBLES – Climate change and its impacts	ENSEMBLES	<a href="http://ensembles-eu.metoffice.com">http://ensembles-eu.metoffice.com</a>
Onderzoek naar extreme waarden bij zware neerslag in Noordrijn-Westfalen ( <i>Extremwertuntersuchung Starkregen in Nordrhein-Westfalen</i> )	ExUS	<a href="http://www.klimawandel.nrw.de">http://www.klimawandel.nrw.de</a>
Flood, low water, Moselle and Saar	FLOW MS	<a href="http://www.flow-ms.eu">http://www.flow-ms.eu</a>
Interdisciplinair onderzoek naar klimaatverandering, gevolgen en adaptatie in Hessen ( <i>Interdisziplinäre Forschung zu Klimawandel, Folgen und Anpassung in Hessen</i> )	INKLIM-A, INKLIM2012	<a href="http://klimawandel.hlug.de/forschungsprojekte/inklim-a-und-weitere-projekte.html">http://klimawandel.hlug.de/forschungsprojekte/inklim-a-und-weitere-projekte.html</a>
Kennis voor Klimaat	(geen)	<a href="http://www.climateresearchnetherlands.nl">http://www.climateresearchnetherlands.nl</a>
Effecten van de klimaatverandering op het afvoerregime in wateren en stroomgebieden in Noordrijn-Westfalen ( <i>Auswirkungen des Klimawandels auf das Abflussverhalten in Gewässern und Einzugsgebieten Nordrhein-Westfalens</i> )	KLAVE	<a href="http://www.klimawandel.nrw.de">http://www.klimawandel.nrw.de</a>
Klimaatadaptatiestrategie voor Zwitserland ( <i>Klima-Anpassungsstrategie der Schweiz</i> )	(geen)	<a href="http://www.bafu.admin.ch/klima/00493/06573/index.html?lang=de">http://www.bafu.admin.ch/klima/00493/06573/index.html?lang=de</a>

Titel	Acroniem	Internetadres
Strategieën voor de adaptatie van het Oostenrijkse waterbeheer aan de klimaatverandering – beknopte versie ( <i>Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft - Kurzfassung</i> )	(geen)	<a href="http://publikationen.lebensministerium.at/publication/publication/view/3414/28637">http://publikationen.lebensministerium.at/publication/publication/view/3414/28637</a>
Samenwerkingsproject "Klimaatverandering en gevolgen voor het waterbeheer" (Duitse deelstaten Beieren, Baden-Württemberg, Rijnland-Palts en de Duitse meteorologische dienst) ( <i>Kooperationsvorhaben "Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft"</i> )	KLIWA	<a href="http://www.kliwa.de">http://www.kliwa.de</a>
Effecten van de klimaatverandering op waterwegen en scheepvaart – ontwikkeling van aanpassingsopties ( <i>Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt – Entwicklung von Anpassungsoptionen</i> )	KLIWAS	<a href="http://www.kliwas.de">http://www.kliwas.de</a>
Nationaal onderzoeksprogramma "duurzaam watergebruik" ( <i>Nationales Forschungsprogramm "Nachhaltige Wassernutzung"</i> )	NFP 61	<a href="http://www.nfp61.ch">http://www.nfp61.ch</a>
Prediction of regional scenarios and uncertainties for defining European climate change risks and effects	PRUDENCE	<a href="http://prudence.dmi.dk/">http://prudence.dmi.dk/</a>
Impact of regional climate change on discharge in the Rhine River basin	RheinBlick2050	<a href="http://www.chr-khr.org/de/node/266">http://www.chr-khr.org/de/node/266</a>
Statistical and regional dynamical downscaling of extremes for European regions	STARDEX	<a href="http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/">http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/</a>
World Climate Research Programme	WCRP	<a href="http://www.wmo.int/pages/prog/wcrp/wcrp-index.html">http://www.wmo.int/pages/prog/wcrp/wcrp-index.html</a>

## 1. Opdracht

Veranderingen van klimaatparameters beïnvloeden de hydrologische processen en hebben daarom gevolgen voor de waterhuishouding in stroomgebieden en voor het afvoerregime en de warmtehuishouding in wateren. Met dit in het achterhoofd heeft de Rijnministersconferentie de ICBR op 18 oktober 2007 de opdracht gegeven om een studie naar scenario's voor het afvoerregime van de Rijn uit te voeren (communiqué van de Rijnministersconferentie, 2007 – [www.iksr.org](http://www.iksr.org)).

Klimaatveranderingen hebben een effect op belangrijke deelgebieden van het waterbeheer, zoals bijv. hoogwaterbescherming, watervoorziening, waterbescherming, ecologische aspecten, hydromorfologische ontwikkeling, en op verschillende gebruiksfuncties van water (opwekking van hydro-elektriciteit, waterwegen, koelwatergebruik, drinkwaterproductie en agrarisch gebruik). Met het oog op de in projecties uitgedrukte, toekomstige evoluties moeten er eventueel specifieke adaptatiestrategieën worden ontwikkeld. Deze strategieën kunnen evenwel alleen doeltreffend zijn als ze steunen op een zo breed en concreet mogelijke gegevensbasis over de veranderingen in de bovengenoemde deelgebieden van het waterbeheer.

Bij de uitvoering van haar opdracht past de ICBR daarom een drietrapsaanpak toe:

- (a) Samenvattende analyse en presentatie van de veranderingen die zich tot dusver hebben voorgedaan en van de mogelijke toekomstige veranderingen in het klimaat, de hydrologie en de watertemperaturen in de planperiode tot 2050 (analyses van klimaatscenario's tot 2100);
- (b) Identificatie van de mogelijke gevaren en risico's (werkgroepen H, B en S);
- (c) Ontwikkeling van toekomstgerichte, duurzame, preventieve plannen/adaptatiestrategieën in het waterbeheer.

Om de onder (a) genoemde taken te volbrengen, heeft de ICBR in 2008 een expertgroep "Klimaat" (EG KLIMA) ingesteld die ressorteert onder de werkgroep Hoogwater (WG H). De verworven inzichten dienen op korte termijn te worden uitgewisseld met de werkgroepen "Hoogwater" (WG H), "Ecologie" (WG B) en "Stoffen" (WG S), teneinde de ontwikkeling van toekomstgerichte, duurzame adaptatiestrategieën in het waterbeheer voor te bereiden.

In het onderhavige rapport worden de bevindingen van de EG KLIMA in verband met de onder (a) genoemde taken samengevat.

## 2. Kenmerken van het afvoerregime

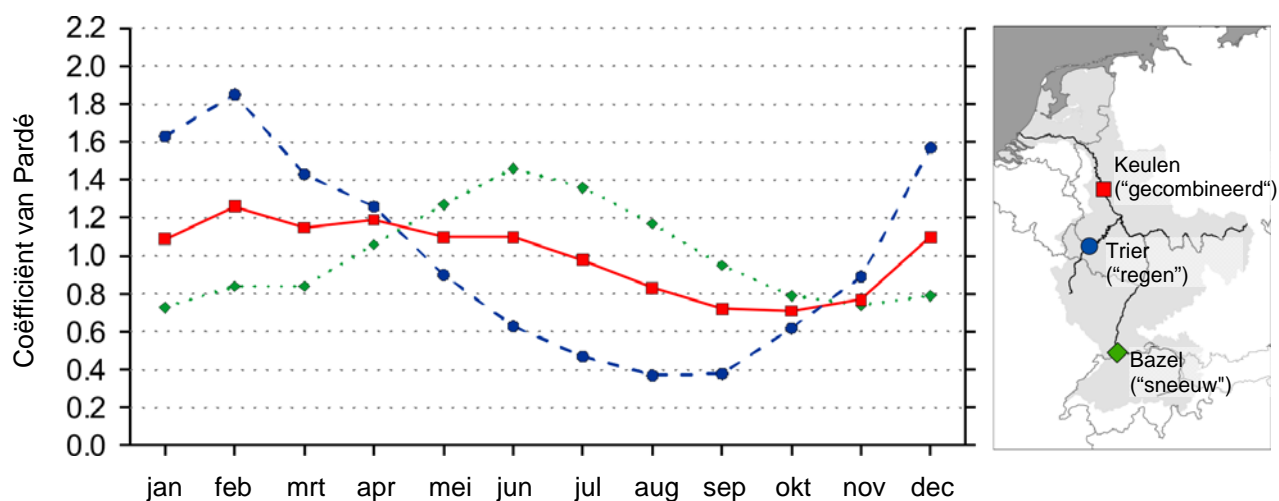
Het afvoerregime beschrijft het algemene afvoergedrag van rivieren ten aanzien van de langjarig gemiddelde jaarlijkse gang en de kenmerkende ontwikkelingen van extreme hoog- en laagwatersituaties (Belz et al., 2007). In het Rijnstroomgebied is er een overlap tussen verschillende afvoerregimes (figuur 1).

Het zuidelijke gebied rond de Alpen (meetpunt Bazel) wordt gekenmerkt door de afwisseling tussen de vorming van een sneeuwdek in de winter en het smelten van de sneeuw in de zomer en door relatief hoge zomerneerslag ("sneeuwregime" of nivaal regime). Deze omstandigheden hebben tot gevolg dat laagwatersituaties voornamelijk in de winter en hoogwatersituaties voornamelijk in de zomer optreden.

Kenmerkend voor de rivieren uit het Middelgebergte (Neckar, Main, Nahe, Lahn, Moezel, enz.; meetpunt Trier) is een "regenregime" (of pluviaal regime). Hoogwater zien we hier hoofdzakelijk in de winter en laagwater in de zomer.



Door de overlapping van de twee regimes verdeelt de afvoer zich Rijnafwaarts steeds gelijkmatiger over het jaar ("gecombineerd regime"; meetpunt Keulen).



**Figuur 1: Typisch afvoerregime in het Rijnstroomgebied volgens Pardé<sup>1</sup>; referentieperiode 1961-1990**

Veranderingen in de klimatologische randvoorwaarden hebben een effect op het afvoerregime. In de 20<sup>e</sup> eeuw was er een tendens naar "meer regen" (pluvialisering) als gevolg waarvan de afvoer in de winter is toegenomen (Belz et al., 2007). De verdeling van de afvoer over de seizoenen is hierdoor in het zuiden gelijkmatiger en in het noorden contrastrijker geworden. Deze tendensen zetten in de 21<sup>e</sup> eeuw door en zouden als gevolg van de afname van de afvoer in de zomer sterker kunnen worden (zie hoofdstukken 4.1 en 4.2).

### 3. Overzicht van de literatuur en de gegevens over het "Rijnstroomgebied"

#### 3.1 Opmerkingen vooraf

De Intergouvernementele Werkgroep inzake Klimaatverandering van de Verenigde Naties komt in zijn vierde evaluatierapport (IPCC, 2007a: p. 72) onder de "robuuste conclusies" tot de slotsom dat het klimaatsysteem, uitgaande van de luchttemperatuur, de watertemperatuur van de zee, het smelten van sneeuw en ijs en de zeespiegelstijging, "duidelijk" warmer is geworden, wat de afgelopen vijftig jaar voornamelijk te wijten is aan de toename van de uitstoot van antropogene broeikasgassen<sup>2</sup>. De antropogene opwarming heeft de afgelopen dertig jaar "waarschijnlijk" een merkbaar, mondiaal effect gehad op waargenomen veranderingen in veel fysische en biologische systemen.

Voor het onderzoek naar mogelijke toekomstige gevolgen van de klimaatverandering zijn modellen nodig, die zijn behept met onzekerheden (zie paragraaf 3.3, figuur 2). Hiermee moet ook rekening worden gehouden bij de interpretatie van de bevindingen van de EG KLIMA met betrekking tot de gevolgen van de klimaatverandering voor de Rijn, hoewel ze de meest recente stand van de kennis weerspiegelen. In de praktijk is het resultaat een bandbreedte van informatie en geen algemeen geldende conclusie. Als gevolg van het grotere aantal bronnen van onzekerheid geldt dit in het bijzonder voor

<sup>1</sup> Coëfficiënt van Pardé = verhouding van de langjarig gemiddelde maandafvoer tot de langjarig gemiddelde jaarafvoer

<sup>2</sup> "Antropogene klimaatverandering" (hierna kort "klimaatverandering")

ontwikkelingen in de toekomst en gevolgen van de klimaatverandering die normaal gesproken moeten worden ingeschat met complexe ketens van modellen.

Sinds tien jaar zijn er veel wetenschappelijke rapporten gepubliceerd en resultaten van projecten verkregen die de wetenschappelijke basis en de gegevens over mogelijke gevolgen van de klimaatverandering in het "Rijnstroomgebied" significant hebben verbeterd.

Deze informatie vormt een bijdrage om de betrouwbaarheid van afzonderlijke uitspraken te kunnen controleren. Bovendien zijn de resultaten van modellen bandbreedtes, die als ranges en niet als op zichzelf staande waarden zouden moeten worden gebruikt.

## **3.2 Bibliografische basis**

### **3.2.1 Sleutelpublicaties – op mondiaal en Europees niveau**

De afgelopen vijf jaar heeft de publicatie van

- (a) het vierde IPCC-evaluatierapport (IPCC, 2007), dat voornamelijk is gebaseerd op Phase 3 van het Coupled Model Intercomparison Project (CMIP, 2009) van het World Climate Research Programme (WCRP), en
- (b) de rapporten met de resultaten van de EU-projecten PRUDENCE (EU-FP5; PRUDENCE Partner, 2007), STARDEX (EU-FP5; STARDEX Partner 2005) en ENSEMBLES (EU-FP6; ENSEMBLES Partner, 2009)

in verband met de mondiale en de regionale klimaatverandering in Europa de kwaliteit, maar ook de diversiteit van de gegevensbases en methoden aanzienlijk verder ontwikkeld. Op basis hiervan werden en worden er in het kader van talrijke actuele projecten en werkgroepen mogelijke routes uitgestippeld om de toekomstige randvoorwaarden voor activiteiten op het gebied van het waterbeheer te ontwikkelen.

### **3.2.2 Kennis over de Rijn**

Over de klimaatverandering en de gevolgen daarvan voor het water in het Rijnstroomgebied is er al veel bekend. Echter, deze kennis heeft vaak alleen betrekking op deelgebieden of is gebaseerd op verschillende methodes en gegevens. Deze heterogeniteit bemoeilijkt de afleiding van concrete informatie voor de meetpunten langs de Rijn, die worden gebruikt in de praktijk van het waterbeheer.

Zoals hieronder aangegeven, heeft de EG KLIMA enerzijds een samenvatting opgesteld van de stand van zaken in 2009 en anderzijds een dialoog opgestart tussen wetenschappelijke instituten en waterbeheerders, die de stand van de kennis in 2010/2011 gaan vernieuwen of dit reeds hebben gedaan. Tot slot wijst de groep op de te verwachten vooruitgang die zich nu al aftekent voor de periode 2013+.

#### Stand van zaken in 2009:

Om overzicht te krijgen over alle begin 2009 beschikbare informatie over het onderwerp heeft de EG KLIMA een literatuurevaluatie laten uitvoeren (ICBR, 2009). In deze evaluatie is er rekening gehouden met onderzoeksresultaten die verschillende instituten in de staten en deelstaten langs de Rijn tussen 1997 en 2009 verkregen en in 110 wetenschappelijke bijdragen gepubliceerd hebben. Hier kunnen worden genoemd: bevindingen van het OcCC (Zwitserland), het ONERC (Frankrijk), het samenwerkingsproject KLIWA (Duitse deelstaten Beieren, Baden-Württemberg, Rijnland Palts en de DWD), het project INKLIM2012 (Duitse deelstaat Hessen), de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen (KLAVE, ExUS), de BfG (Duitsland), het UBA (Duitsland), het KNMI (Nederland), de Deltacommissie (Nederland) en verschillende projecten en rapporten van de CHR en de ICBR.

De lijst van geëvalueerde literatuur (zie ICBR, 2009: 44 e.v.) is niet uitputtend. De gebruikte gegevensbases, methodes en onderzoeksgebieden lopen ver uiteen. De belangrijkste resultaten zijn in de bijlagen A en B samengevat in tabellen.

#### Stand van zaken in 2010:

Na de literatuurevaluatie (ICBR, 2009) hebben er nog heel wat activiteiten plaatsgevonden die de kennis over de gevolgen van de klimaatverandering in het Rijnstroomgebied hebben verruimd. Essentiële werkzaamheden, hier bij wijze van voorbeeld genoemd, zijn uitgevoerd in het kader van het samenwerkingsproject "KLIWA" (KLIWA, 2009a en b), het Nederlandse "ACER"-project (Hurkmans, 2009; Te Linde et al., 2010a en b), de "KLAVE"- en "ExUS"-projecten van de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen (respectievelijk Richter et al., 2009 en LANUV-NRW, 2010), het CHR-project "RheinBlick2050" (Görgen et al., 2010) en het "KLIWAS"-project van het Duitse ministerie BMVBS (Nilson et al., 2010; Krahe et al., 2009).

KLIWA (2009a) heeft meer zicht gegeven op de watertemperatuur van het Bodensee bij de klimaatomstandigheden die zijn waargenomen in de periode 1960-2007 en op de complexe manier waarop het meer reageert op gewijzigde omstandigheden (luchttemperatuur, windveld).

In KLIWA (2009b) werd er een laagwateranalyse uitgevoerd voor zijrivieren van de Rijn in de Duitse deelstaten Baden-Württemberg, Beieren en Rijnland-Palts. Het onderzoek heeft nieuwe kwantitatieve en regionaal gedifferentieerde bewijzen opgeleverd voor de algemene stellingen die in de literatuurevaluatie zijn geponeerd in verband met een toename van de laagwaterafvoer in de wintermaanden en een afname in de zomermaanden in de toekomst (hier: 2021-2050) ten opzichte van de referentieperiode (hier: 1971-2000).

In het kader van het ACER-project zijn er onder andere voor de gehele Rijn afvoeren gesimuleerd tot het jaar 2100. In tegenstelling tot de literatuurevaluatie laat het project voor de eerste helft van de 21<sup>e</sup> eeuw (hier: 2002-2050) op verschillende meetpunten alle maanden een toename zien van de gemiddelde afvoer (over de maand berekende MQ) met +5% tot +20% ten opzichte van de referentieperiode (hier: 1952-1998). De veranderingen in de hoogwaterafvoer (HQ<sub>50</sub>) komen in Lobith uit op een toename van +7,5% tot +21%, wat goed overeenstemt met vroegere resultaten (Hurkmans, 2009)<sup>3</sup>. De intensiteit van de laagwatersituaties<sup>4</sup> lijkt bij korte herhalingsperioden af te nemen ten opzichte van de referentieperiode, maar er wordt ook een aantal extreme laagwatersituaties gesimuleerd.

In het KLAVE-project zijn er voor verschillende meetpunten langs zijrivieren in Noordrijn-Westfalen afvoeren gesimuleerd tot 2100. De gemiddelde laagwaterafvoer, gemiddelde afvoer en hoogwaterafvoer in de periode 2021-2050 wijken niet of nauwelijks af van de waarden die zijn gemeten in 1971-2000 (veranderingen meestal < 10%)<sup>5</sup>. In het kader van het project "Onderzoek naar extreme waarden bij zware neerslag in Noordrijn-Westfalen (ExUS)" wordt onder andere onderzocht of er uit de meetgegevens van de neerslagstations in Noordrijn-Westfalen een verandering in het regime van de zware neerslag kan worden afgeleid. Uit de resultaten blijkt onder andere dat het aantal dagen met grote neerslaghoeveelheden de afgelopen 59 jaar (1950-2008) vooral in de winterhalfjaren is gestegen. De gemeten intensiteit bij zware neerslag laat geen toename zien.

De onderzoeken die tot dusver zijn genoemd en in de literatuurevaluatie zijn verwerkt, zijn gebaseerd op modelketens (zie paragraaf 3.3) met telkens één mondiaal en één

---

<sup>3</sup> Extreem hoogwater (HQ<sub>100</sub>; figuur 4.12 in Hurkmans, 2009) is alleen geëxtrapoleerd via een gegeneraliseerde verdeling van de extreme waarden. Synthetische tijdreeksen, die voor de analyse van extreem zeldzame gebeurtenissen raadzaam zijn, zijn bij Hurkmans (2009) niet gebruikt (zie Görgen et al., 2010).

<sup>4</sup> Som van de periodes waarin de FDC\_Q75 van de referentieperiode 1952-1998 wordt onderschreden.

<sup>5</sup> Geëvalueerd werden MNQ, MQ en MHQ voor meteorologische seizoenen.

regionaal klimaatmodel<sup>6</sup>. Het EU-project ENSEMBLES, dat in het najaar van 2009 ten einde is gebracht, heeft evenwel nog heel wat andere koppelingen van mondiale en regionale klimaatmodellen opgeleverd, die de Europese stand van de klimaatmodellering representeren.

In het kader van het CHR-project RheinBlick2050, en in de projecten die aan RheinBlick2050 ten grondslag liggen, zijn er op basis hiervan voor het eerst afvoerprojecties voor representatieve meetpunten in de Rijn opgesteld en geëvalueerd volgens een methode die internationaal is afgestemd tussen de deelnemende partners. Het project RheinBlick2050 heeft daarbij een coördinerende rol gespeeld: de resultaten van verschillende hydrologische instituten in het Rijnstroomgebied zijn erin geïntegreerd, onder andere ook gegevens van het BMVBS-project KLIWAS, dat een essentiële bijdrage heeft geleverd aan RheinBlick2050. De resultaten van RheinBlick2050 worden voorgesteld in hoofdstuk 4.2.

Om een wetenschappelijk gefundeerd beeld te krijgen van de effecten van de klimaatverandering op het waterbeheer in Oostenrijk heeft het Oostenrijks ministerie van Land- en Bosbouw, Milieu en Waterbeheer een onderzoek in opdracht gegeven, getiteld "Strategieën voor de adaptatie van het Oostenrijkse waterbeheer aan de klimaatverandering". In het eindrapport, dat in december 2010 is verschenen, zijn de kernuitspraken over de klimaatverandering tot 2050 samengevat in tien stellingen (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2010).

#### Stand van zaken in 2011:

Het onderzoek naar de gevolgen van de klimaatverandering in het Rijnstroomgebied wordt ook nu nog voortgezet.

Voor de Rijn benedenstroms van Bazel worden er betere basisgegevens voor het onderzoek naar veranderingen van de watertemperatuur verwacht. Zo heeft de Duitse Commissie ter Bescherming van de Rijn een ad-hocwerkgroep ingesteld die zich op dit moment bezighoudt met de totstandbrenging van een homogene gegevensbasis voor de modellering van de watertemperatuur (persoonlijke mededeling van de heer Keller, BfG)<sup>7</sup>. Rijkswaterstaat heeft Deltares een opdracht gegeven voor het opzetten van een watertemperatuurmodel voor de Rijn waarmee het effect van temperatuurlozingen en het effect van klimaatverandering in beeld gebracht kan worden. Deltares zal daarbij nauw samenwerken met de BfG.

In het kader van het samenwerkingsproject KLIWA zijn er eveneens voor begin 2011 nieuwe resultaten aangekondigd. De nieuwe studies zijn gebaseerd op nieuwe klimaatprojecties en hebben niet alleen betrekking op zijrivieren van de Rijn in de deelstaten in het zuiden van Duitsland, maar ook op meetpunten langs de hoofdstroom van de Rijn (Duitse Bovenrijn).

In Hessen is er onder het acroniem INKLIM-A een hele reeks van projecten aan de gang in verband met de gevolgen van de klimaatverandering en mogelijke adaptaties. Daarbij worden regionale klimaatprojecties verder ontwikkeld en toegepast. In het onderzoek wordt er gekeken naar extreme waarden uit de 20<sup>e</sup> en de 21<sup>e</sup> eeuw.

Aan de Moezel loopt onder leiding van de IKSMS en met medewerking van Rijnland-Palts, Saarland, Luxemburg en Frankrijk thans het INTERREG-IVa-project FLOW MS. Doelstellingen van dit project zijn onder andere de inschatting van mogelijke effecten van de klimaatverandering op de verhouding tussen hoog- en laagwater in het stroomgebied van Moezel en Saar en de ontwikkeling van adaptatiestrategieën.

Door de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen werd en wordt een geheel van 40 projecten rond de klimaatverandering gefinancierd. Ook hiervan worden heel wat vernieuwingen

---

<sup>6</sup> In Duitse studies wordt meestal gebruik gemaakt van het Duitse GCM ECHAM5 (run 1) dat is geregionaliseerd met WETTREG2006 of REMO\_UBA.

<sup>7</sup> De opdracht is gegeven op 27 april 2010 en wordt uitgevoerd met medewerking van de deelstaatsdiensten van Baden-Württemberg, Rijnland-Palts, Hessen en Noordrijn-Westfalen en de BfG.

verwacht op het gebied van regionale klimaatmodellering, analyse van effecten op de waterhuishouding en hydrologische extremen en mogelijkheden voor adaptatie.

Tot slot zullen ook de werkzaamheden in het kader van het KLIWAS-project worden voortgezet. Uitgaande van de tot dusver opgedane ervaringen worden modellen en methoden verbeterd en gegevensbases en analyses aangevuld, teneinde meer licht te werpen op hydrologische, hydraulische en morfologische aspecten van de klimaatverandering langs de Rijn en andere rivieren.

In Nederland loopt het onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat met daarin verschillende projecten die zich op de Rijn richten. Onderzoeksinstituten en universiteiten werken daar samen. Onderzocht worden de effecten van klimaatverandering op de Nederlandse samenleving gecombineerd met adaptatiestrategieën.

Het Deltaprogramma is een nationaal Nederlands programma. Rijksoverheid, provincies, gemeenten en waterschappen werken hierin samen met inbreng van maatschappelijke organisaties. Het doel is om Nederland, ook voor de volgende generaties, te beschermen tegen hoogwater en te zorgen voor voldoende zoet water.

### Vooruitblik naar 2012+

Geen van de bovengenoemde onderzoeken kan pretenderen volledig te zijn. Daarom wordt er in de studies en dit eindrapport een blik geworpen op de noodzakelijke onderzoeks- en ontwikkelingsactiviteiten in de toekomst. Er kan dus van worden uitgegaan dat de actuele kennis de komende jaren voortdurend zal worden herzien en verbeterd.

Op dit moment wordt bijvoorbeeld het volgende, vijfde evaluatierapport van de Intergouvernementele Werkgroep inzake Klimaatverandering (IPCC) voorbereid. Publicatie staat gepland voor 2013/2014. In het kader van de projecten CMIP5 en CORDEX worden berekeningen uitgevoerd met een nieuwe generatie mondiale klimaatmodellen en regionaliseringsmethodes. Dit heeft ook gevolgen voor de afgeleide simulaties. De simulatie van de waterhuishouding in het Rijnstroomgebied zal bijvoorbeeld worden herwerkt in het kader van KLIWAS.

Ook het KNMI zal naar verwachting in 2013 geactualiseerde klimaatscenario's presenteren.

Tot slot wordt er vooruitgang verwacht op het gebied van waarnemingsgegevens, het inzicht in het hydrologische systeem en de hydrologische modellering. De plausibiliteitscontrole van afvoergegevens en de invloed van de afvoer van gletsjers en sneeuw op de afvoer in de Rijn worden bijvoorbeeld bekeken in nieuwe CHR-projecten<sup>8</sup>.

De BfG en de DWD werken samen aan een nieuwe, grensoverschrijdende, meteorologische gegevensbasis die zal worden gebruikt als referentiesysteem, genaamd "HYRAS". Een uniforme gegevensbasis zal studies uit verschillende delen van het Rijnstroomgebied beter vergelijkbaar maken dan nu het geval is.

Van Zwitserse kant wordt in 2012 het eindrapport verwacht van het geïntegreerde project CCHydro (onder leiding van het BAFU). In CCHydro worden de bestaande klimaatscenario's voor Zwitserland geactualiseerd en de effecten op waterhuishouding, laagwater, hoogwater en (afvoer van) gletsjers ingeschat (Volken, 2010). Er wordt tevens gewerkt aan een pilotstudie naar "watertemperaturen".

Op 1 januari 2010 is het nationale Zwitserse onderzoeksprogramma "Duurzaam watergebruik" (NFP 61) van start gegaan. In dit programma, dat loopt tot 2013, worden wetenschappelijke basiselementen en methoden ontwikkeld voor een duurzame omgang

---

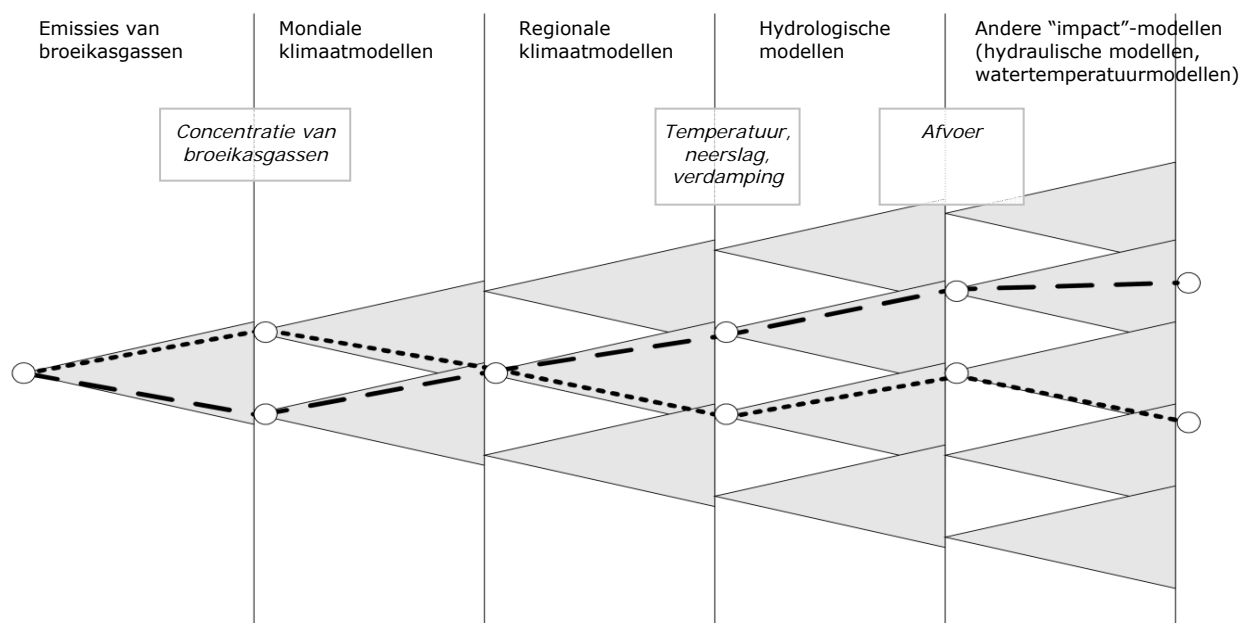
<sup>8</sup> CHR-projecten "HYMOG" (basis voor hydrologische modellering in het Rijnstroomgebied, *Hydrologische Modellierungsgrundlagen im Rheingebiet*) en "Aandeel van de afvoer in de Rijn en zijn zijrivieren uit het smelten van sneeuw en gletsjers in het licht van de klimaatverandering" (*Abflussanteile aus Schnee- und Gletscherschmelze im Rhein und seinen Zuflüssen vor dem Hintergrund des Klimawandels*)

met de watervoorraad, die onder steeds zwaardere druk komt te staan. In het kader van het NFP 61 worden de door klimatologische en maatschappelijke veranderingen teweeggebrachte effecten op de watervoorraad onderzocht en de risico's en toekomstige conflicten bepaald die samenhangen met het gebruik van water (bijv. Leibundgut, 2010). Tevens worden er strategieën ontwikkeld voor een duurzaam en integraal beheer van de watervoorraad. Reeds in 2009 heeft de Zwitserse regering de bestuurslichamen de opdracht gegeven om voor eind 2011 een nationale klimaatadaptatiestrategie te ontwikkelen. Deelstrategieën voor sectoren, o.a. voor het waterbeheer en natuurlijke gevaren, zijn sinds eind 2010 in concept gereed; de afgestemde integrale strategie wordt een jaar later gepresenteerd. Op parlementair verzoek moet er voor 2012 tevens een "Nationale Waterstrategie" worden opgesteld, die verder reikt dan de klimaatverandering. Daarbij dient ook de wet- en regelgeving te worden gecontroleerd, teneinde de toepassing ervan te garanderen.

### 3.3 Beoordeling van de huidige stand van zaken

De literatuur en kennis om uit de veelsoortige gegevens over de klimaatverandering en haar gevolgen relevante informatie voor de besluitvorming af te leiden, is heterogeen. Dit geldt voor de periode waarvoor er meetgegevens zijn (1901-2010), maar nog meer voor de projectieperiode (2001-2100). De studies verschillen van elkaar in onderzoeksgebied, onderzoeksperiode, gegevensbasis en methode. Ook de doelstellingen, en dus tevens de evaluatie en interpretatie van de resultaten, wijken van elkaar af.

Ondanks de heterogeniteit van de onderzoeken zijn er ook homogene tendensen en trends (zie bijlage A). Gedetailleerde kwantitatieve vergelijkingen en regionale differentiaties in de veranderingen zijn evenwel niet mogelijk, als gevolg van de brede waaier van methodes.



**Figuur 2: Schema van een modelketen voor de analyse van de gevolgen van de klimaatverandering met "onzekerheidscascade" als resultaat van de voortplanting van onzekerheden in elke schakel van de keten (op basis van Viner, 2002).**

*De stippel- en puntlijn maken duidelijk dat de keuze van specifieke "routes" door de onzekerheidscascade tot verschillende resultaten leidt.*

Wat onderzoeken die zich op uitspraken over mogelijke toekomstige ontwikkelingen concentreren gemeen hebben, is een zogenaamde modelketen. In zo'n keten worden, uitgaande van emissies (of concentraties) van broeikasgassen, met behulp van mondiale

en regionale klimaatmodellen projecties gemaakt van de belangrijkste invoerparameters voor modellen van het Rijnstroomgebied (of deelstroomgebieden), die op basis van deze gegevens afvoeren simuleren (figuur 2). Aan de keten kunnen eventueel nog andere "impact"-modellen worden gekoppeld.

De instrumenten die in de projecten worden gehanteerd voor de analyse van de gevolgen van de klimaatverandering zijn dus in principe onderling vergelijkbaar. Ook maken alle projecten in beginsel gebruik van actuele gegevens en up-to-date methoden. Echter, omdat deze gegevens en methoden specifieke discrepanties en tekorten vertonen, kunnen ze van elkaar verschillen. Dit betekent dat de keuze voor bepaalde gegevens of methoden het resultaat beïnvloedt.

Dit gegeven, waarmee bij de beoordeling van de situatie rekening moet worden gehouden, wordt hieronder nader belicht aan de hand van de modelketen.

### Emissiescenario's

Een van de grootste onzekerheidsfactoren bij de analyse van het toekomstige klimaat zijn de emissiescenario's voor gassen met een effect op het klimaat. Hoe de wereldeconomie, de wereldbevolking en de daarmee samenhangende emissies zich in de toekomst zullen ontwikkelen, is niet bekend. De scenario's die hier worden gebruikt, zijn hypothesen over mogelijke ontwikkelingsrichtingen die op dit moment plausibel lijken. De keuze van het emissiescenario beïnvloedt het resultaat van de modelberekening vooral voor de periode na 2050. De kans dat een scenario zich daadwerkelijk voordoet, kan uiteindelijk echter niet worden bepaald. Daarom moet er voor de tweede helft van de 21<sup>e</sup> eeuw rekening worden gehouden met zoveel mogelijk emissiescenario's.

### Monitoring en modellering van het klimaat

Grote onzekerheden zijn er ook bij de monitoring en de modellering van het klimaat. Gat en meetfouten beïnvloeden zowel de observatiegegevens als de modellen die op deze gegevens zijn gebaseerd. Bij de modellering komen daar nog onzekerheden bij, die enerzijds te wijten zijn aan ons gebrekkig inzicht in het systeem, aan noodzakelijke vereenvoudigingen en modelfouten, maar anderzijds ook worden veroorzaakt door het chaotische gedrag van het klimaatsysteem (vgl. Krahe et al., 2009). De onzekerheden die eigen zijn aan het systeem zullen nooit uit de weg kunnen worden geruimd, maar hoe meer klimaatsimulaties er zijn, hoe beter de onzekerheden kunnen worden ingeschat.

De modelgerelateerde onzekerheden bepalen onder andere de grootte van de zogenaamde "bias" van de klimaatmodellen, d.w.z. de min of meer systematische afwijking tussen over dezelfde periode gesimuleerde en waargenomen klimaatparameters. De biases zijn het onderwerp van huidig en toekomstig onderzoek. Op dit moment hebben ze nog een substantieel effect op de verschillen tussen klimaatsimulaties. De keuze van het klimaatmodel beïnvloedt de kenmerken van het resultaat (natte/droge, warme/koude varianten).

De manier waarop er wordt omgegaan met de onzekerheden van resultaten van regionale klimaatmodellen is een essentieel kenmerk waarin de bestaande methodes voor de afleiding van klimaatscenario's voor het Rijnstroomgebied zich onderscheiden. In de EG KLIMA zijn drie verschillende werkwijzen ingebracht:

1. De Nederlandse delegatie heeft ervaringen meegedeeld die zijn opgedaan bij de ontwikkeling van de zogenaamde "KNMI06-scenario's" (KNMI, 2006).

De KNMI06-klimaatscenario's reduceren het totale aantal klimaatscenario's en – projecties, dat zou resulteren uit de vele, denkbare combinaties van emissiescenario's en mondiale klimaatmodellen, tot vier mogelijkheden. De onzekerheden waarmee rekening wordt gehouden, betreffen twee atmosferische parameters: de temperatuurontwikkeling (+1°C of +2°C) en de verandering van de luchtcirculatie (sterk of zwak).

Dit is in beginsel een pragmatische, positief te beoordelen aanpak, omdat er een groot aantal mondiale klimaatmodellen wordt geëvalueerd (circa 20) en de selectie op transparante wijze gebeurt. In principe moet de bandbreedte van de KNMI-scenario's regelmatig worden gecontroleerd met de resultaten van de meest recente klimaatprojecties. De algemene scenario's voor toekomstige klimaatverandering in Nederland die het KNMI in 2006 heeft uitgegeven, zijn niet achterhaald door recente wetenschappelijke ontwikkelingen. Ook volgens de huidige inzichten beschrijven de vier KNMI'06-scenario's samen de meest waarschijnlijke veranderingen in Nederland met bijbehorende onzekerheden. Dat blijkt uit een evaluatie van onderzoek uit de afgelopen jaren waarbij specifiek is gelet op de betekenis voor klimaatverandering in onze omgeving (Klein Tank en Lenderink, 2009).

2. De Duitse deelstaten langs de Rijn leggen de nadruk op de "hydrologische plausibiliteit" van afzonderlijke runs van klimaatmodellen en gebruiken dit als doorslaggevend criterium voor de selectie en verdere behandeling van de runs in modelberekeningen in verband met de waterhuishouding. Een modelrun wordt plausibel geacht, wanneer hij een bevredigende weergave voortbrengt van (a) het huidige klimaat, zowel in de ruimte als in de tijd, en van (b) de orde van grootte van de klimaatparameters.

Van de modelruns die tot nog toe zijn onderzocht, voldoen de statistische regionaliseringsprocedures WETTREG2003 en WETTREG2006 evenals het dynamische regionaliseringsprocedé CCLM4.2 met hoge ruimtelijke resolutie aan de criteria (a) en (b). De evaluaties van CCLM4.8 zijn nog niet beschikbaar.

De voorgestelde procedure is transparant en omvat een gedetailleerde validatie van de regionale klimaatmodellen. Gezocht wordt het "beste" model volgens vastgestelde criteria. Niettemin moet er worden gezegd dat er tot dusver alleen rekening is gehouden met regionalisering op basis van een mondiaal klimaatmodel (ECHAM, versie 4 en 5), dat zijn eigen stempel drukt op de resultaten.

3. De partners die deelnemen aan de projecten RheinBlick2050 en KLIWAS hebben onderzoeksbouwen ontwikkeld waarin de verschillende methodes voor de totstandbrenging van regionale klimaat- en afvoerscenario's zijn geïntegreerd. Centraal staat een consequent toegepaste multimodelaanpak, d.w.z. dat alle beschikbare emissiescenario's evenals mondiale en regionale klimaatmodellen worden beoordeeld. Bij een beoordeling worden niet-plausibele simulaties of simulaties die niet de gehele Rijn omvatten buiten beschouwing gelaten. De resterende klimaatsimulaties worden gecorrigeerd voor bias (en zo dichtbij de observatiegegevens gebracht) en gebruikt als basis voor de afvoermodellering<sup>9</sup>.

Het voordeel van deze "multimodelaanpak" is dat de actuele kennis die is vergaard in het kader van het onderzoek naar de regionale gevolgen van de klimaatverandering nagenoeg volledig wordt meegenomen en beschikbaar gemaakt voor de inschatting van de hydrologische gevolgen van de klimaatverandering. Het nadeel is dat er soms grote biascorrecties nodig zijn om de resultaten van de klimaatmodellen bruikbaar te maken voor de modellering in stroomgebieden. Door de biascorrecties worden de modellen evenwel niet verbeterd. De effecten van al deze biascorrecties moeten nog worden geanalyseerd.

#### Hydrologische gegevens en modellen

Ook hydrologische gegevens en modellen hebben te maken met onzekerheden. Zo moeten de gevolgen van de toepassing van verschillende modellen voor de resultaten van simulaties voor de meetpunten langs de Rijn en zijn grote zijrivieren nog worden onderzocht.

Verder is bekend dat menselijke activiteiten<sup>10</sup> een uitwerking hebben op het afvoerregime. Deze invloed is in de loop der tijd groter geworden en zal zich in de

<sup>9</sup> Tot de zomer van 2010 waren er 37 klimaatsimulaties beoordeeld, waarvan er 20 bruikbaar zijn bevonden voor de simulatie van de afvoer in het Rijnstroomgebied.

<sup>10</sup> Waterbouwkundige activiteiten, waterbeheer, landgebruik, enz.



toekomst op onbekende wijze verder ontwikkelen, omdat evenmin vaststaat hoe de sociaaleconomische ontwikkeling zal verlopen. Terwijl er met de effecten die in het verleden zijn waargenomen rekening kan worden gehouden, althans gedeeltelijk, wordt in toekomstsimulaties meestal de huidige "status-quo" van de menselijke invloed voortgezet. De terugwerkende kracht van eventuele nieuwe adaptatiemaatregelen wordt nog niet in aanmerking genomen. De mogelijke toekomstige afvoeren die in het onderhavige rapport worden gepresenteerd, zijn dus alleen van toepassing als er wordt uitgegaan van het scenario "status-quo".

Op de modellering van extreem hoogwater wordt in de onderstaande alinea apart ingegaan.

#### Extreem hoogwater (HQ<sub>T</sub>-waarden, hoogwaterindices)

Uitspraken over de toekomstige ontwikkeling van extreme afvoeren zijn minder betrouwbaar dan uitspraken over gemiddelde afvoeren.

In het kader van de afleiding van hoogwaterextremen (HQ<sub>T</sub>-waarden) moet er bij de modellering van het golfverloop rekening worden gehouden met een groot aantal hydrodynamische aspecten (bijv. dijkoverloop en dijkdoorbraak, retentie-effect van uiterwaarden, maatregelen voor hoogwaterretentie, enz.). Dit geldt zowel voor het gesimuleerde verleden als voor toekomstprojecties.

Bij de analyse van de uitspraken in verband met mogelijke toekomstige ontwikkelingen in hoofdstuk 3 is er geen rekening gehouden met deze hydrodynamische aspecten. Gelet daarop kunnen alleen de signalen van de verandering tussen het gesimuleerde heden en de gesimuleerde toekomst worden geïnterpreteerd als indicatoren voor mogelijke toekomstige ontwikkelingen. Deze zijn consistent binnen het gebruikte "modellandschap", hoewel de absolute waarden kunnen afwijken van de realiteit. Met name bij de extreem hoge afvoeren kan er een overschatting optreden, aangezien het afzwakkende effect van dijkoverloop niet is meegenomen.

Met het verschil tussen model en realiteit wordt in de presentatie in hoofdstuk 3 rekening gehouden door de hoogwaterparameters bewust niet weer te geven als HQ<sub>T</sub>-waarden, maar als indices voor "frequente", "middelgrote" en "extreme" hoogwatersituaties.

#### Watertemperaturen

De modellering van de watertemperatuur voor de Rijn als geheel is pas onlangs gestart. Eerste gegevens zijn opgenomen in de literatuurevaluatie (ICBR, 2009). Volgens deze studie is de watertemperatuur in de twintigste eeuw op enkele Rijntrajecten gestegen met ca. 1°C - 2,5°C (zie bijlage A). Er zijn echter nog niet genoeg gegevens en ook de gegevensdichtheid volstaat niet om modellen voor de gehele Rijn te kunnen bouwen.

## **4. Synthese van de resultaten**

Geïntegreerde studies op basis waarvan er voor het gehele Rijngebied consistente, maar tevens regionaal gedifferentieerde informatie kan worden gegeven over de klimaatverandering en haar gevolgen zijn schaars.

De cijfers hieronder zijn wat de veranderingen in de 20<sup>e</sup> eeuw betreft gebaseerd op het CHR-onderzoek van Belz et al. (2007) en wat de 21<sup>e</sup> eeuw betreft op het CHR-onderzoek van Gørgen et al. (2010). Beide projecten hebben slechts betrekking op het Rijnstroomgebied tot het meetpunt Lobith, omdat de Rijn zich in Nederland verdeelt over de Rijntakken. De gebruikte methoden en resultaten zijn afgestemd tussen meerdere hydrologische instituten en projectgroepen in de Rijnsoeverstaten.

De aanpak van het toekomstonderzoek bestaat erin zoveel mogelijk informatie mee te nemen in de modelketen, ook als daarvoor soms grote correcties nodig zijn. Dat betekent dat er een groot aantal actuele klimaatprojecties wordt beoordeeld en gebruikt, dat de huidige stand van de – zeker op bepaalde punten nog ontoereikende – kennis

weerspiegelt. Deze multimodelaanpak wordt ook als "good practice" aanbevolen door het IPCC (2007), het EU-guidance document 24 (European Communities, 2009) en het DAS (Bundeskabinett, 2008).

Resultaten uit vroeger onderzoek, voor deelgebieden of afzonderlijke meetpunten (ICBR, 2009) kunnen hier bij wijze van vergelijking worden opgevoerd.

## 4.1 Waargenomen veranderingen in de 20<sup>e</sup> eeuw

### 4.1.1 Gegevensbasis en weergave

De onderstaande synthese steunt op de basisgegevens die als gegevensbank bij het rapport van Belz et al. (2007) zijn gevoegd. De afvoergegevens zijn gecontroleerd, maar niet gecorrigeerd voor de antropogene invloeden in het stroomgebied (regulering van meren, enz.).

Tabel 2 bevat gemiddelden over periodes van dertig jaar aan het begin en aan het einde van de 20<sup>e</sup> eeuw evenals veranderingssignalen tussen deze periodes<sup>11</sup>. Er wordt gewerkt met periodes van dertig jaar om te voldoen aan afspraken binnen de WMO.

Geëvalueerd werden veranderingen in de gebiedsneerslag (SomhN), de gemiddelde afvoer (MQ) en de laagste gemiddelde afvoer over zeven dagen (NM7Q) per halfjaar evenals veranderingen in de hoogste gemiddelde dagafvoer (MHQ) per jaar. Veranderingen in de luchttemperatuur worden niet weergegeven in tabel 2, maar wel vermeld in de synopsis (paragraaf 4.1.2). MQ en NM7Q zijn gerelateerd aan hydrologische halfjaren (van november tot april en van mei tot oktober), MHQ heeft betrekking op hydrologische jaren (van november tot oktober). De gebiedsneerslag is gerelateerd aan de meteorologische zomer en winter (respectievelijk juni, juli, augustus en december, januari, februari).

De evaluatie van de neerslag slaat op de deelstroomgebieden bovenstrooms van de in tabel 2 genoemde meetpunten (vgl. kaart in bijlage C). Deze gebieden zijn zo gekozen dat de effecten van het Alpengebied (bovenstrooms van de meetpunten Bazel en Maxau), het middelgebergte (Neckar, Main, Moezel) en de gehele Rijn (bovenstrooms van Lobith) apart kunnen worden bekeken.

De meetpunten die zijn geselecteerd voor de afvoeranalyse liggen ook voor het merendeel langs de hoofdstroom. Aan de hand van de meetpunten Rockenau (Neckar), Würzburg (Main) en Trier (Moezel) kunnen daarnaast de belangrijkste bijzonderheden van het middelgebergte worden vastgelegd (kaart in bijlage C).

De kleurencode geeft de richting van de veranderingen weer. Blauw staat voor toename, oranje voor afname van de parameter in kwestie (tabel 1).

**Tabel 1: Kleurencode voor de veranderingssignalen in de 20<sup>e</sup> eeuw (vgl. tabel 2)**

Kleurencode	Betekenis	Toelichting
oranje	dalende tendens	waarden $\leq -5$ %
grijs	geen tendens	waarden van $-4,9$ % tot $+4,9$ %
blauw	stijgende tendens	waarden $\geq +5$ %
wit	geen uitspraak mogelijk	geen waarden

<sup>11</sup> Veranderingssignaal = verschil tussen eindwaarde en beginwaarde (d.w.z. het gemiddelde over de periode 1971-2000 ten opzichte van de periode 1901-1930) uitgedrukt in procent van de beginwaarde.

#### 4.1.2 Synopsis van de resultaten

**Tabel 2: Meerjarige gemiddelden van de gebiedsneerslag (SomhN), de gemiddelde afvoer (MQ), de laagwaterafvoer (NM7Q) en de hoogwaterafvoer (MHQ) aan het begin (1901-1930) en aan het einde (1971-2000) van de 20<sup>e</sup> eeuw en procentuele veranderingen tussen deze periodes. Voor de ligging van de meetpunten en de stroomgebieden zie bijlage C. Voor de kleurencode zie tabel 1 (Gegevensbasis: Belz et al., 2007).**

Parameter	Meetpunt	1901-1930	1971-2000	Verandering [%]
SomhN [mm] meteorologische zomer (juni/juli/augustus)	Stroomgebied tot Bazel	378	397	+5,1
	Stroomgebied tot Maxau	406	396	-2,4
	<i>Stroomgebied van de Neckar (Rockenau)</i>	262	259	-1,2
	<i>Stroomgebied van de Main (Würzburg)</i>	227	227	+0,2
	<i>Stroomgebied van de Moezel (Cochem)</i>	231	216	-6,5
	Stroomgebied tot Lobith	287	278	-3,1
SomhN [mm] meteorologische winter (december/januari/februari)	Stroomgebied tot Bazel	301	321	+6,8
	Stroomgebied tot Maxau	248	280	+13,1
	<i>Stroomgebied van de Neckar (Rockenau)</i>	176	211	+19,9
	<i>Stroomgebied van de Main (Würzburg)</i>	161	185	+16,2
	<i>Stroomgebied van de Moezel (Cochem)</i>	224	249	+11,2
	Stroomgebied tot Lobith	210	236	+12,7

Tabel 2 (vervolg)

Parameter	Meetpunt	1901-1930	1971-2000	Verandering [%]
MQ [m <sup>3</sup> /s] hydrologisch zomerhalfjaar (mei-oktober)	Bazel	1312	1218	-7,2
	Maxau	1460	1349	-7,6
	Worms	1559	1466	-6,0
	Kaub	1678	1642	-2,1
	Keulen	1900	1887	-0,7
	Lobith	2009	1963	-2,3
	Würzburg (Main)	72.1	76.5	+6,2
	Trier (Moezel)	161	151	-6,1
MQ [m <sup>3</sup> /s] hydrologisch winterhalfjaar (november-april)	Bazel	797	910	+14,1
	Maxau	1036	1170	+12,9
	Worms	1225	1386	+13,1
	Kaub	1531	1738	+13,5
	Keulen	2149	2401	+11,7
	Lobith	2406	2580	+7,2
	Würzburg (Main)	143	150	+4,8
	Trier (Moezel)	402	418	+4,0
NM7Q [m <sup>3</sup> /s] hydrologisch zomerhalfjaar (mei-oktober)	Bazel	688	648	-5,8
	Maxau	802	747	-6,9
	Worms	870	811	-6,7
	Kaub	965	929	-3,7
	Keulen	1112	1071	-3,7
	Lobith	1253	1151	-8,1
	Würzburg (Main)	40.4	43.3	+7,4
	Trier (Moezel)	72.1	57.8	-19,9
NM7Q [m <sup>3</sup> /s] hydrologisch winterhalfjaar (november-april)	Bazel	451	542	+20,4
	Maxau	576	688	+19,4
	Worms	676	775	+14,6
	Kaub	798	934	+17,1
	Keulen	991	1156	+16,6
	Lobith	1168	1252	+7,2
	Würzburg (Main)	55.0	59.2	+7,8
	Trier (Moezel)	121	113	-6,7
MHQ [m <sup>3</sup> /s] hydrologisch jaar (november- oktober)	Bazel	2492	2734	+9,7
	Maxau	2861	3168	+10,7
	Worms	3155	3568	+13,1
	Kaub	3916	4344	+10,9
	Keulen	5924	6538	+10,4
	Lobith	6454	6642	+2,9
	Würzburg (Main)	631	583	-7,6
	Trier (Moezel)	1683	2010	+19,4

### Ontwikkeling in de 20<sup>e</sup> eeuw

De temperatuurverandering in het Rijnstroomgebied bedraagt in de 20<sup>e</sup> eeuw afhankelijk van de bekeken regio +0,5°C tot +1,2°C en ligt daarmee iets boven het mondiale gemiddelde van +0,6 tot +0,9°C. De opwarming is sterker in de winter dan in de zomer en duidelijker in laag gelegen (< 500 m) dan in hoger gelegen gebieden (KLIWA, 2005; ICBR, 2009).

De winterneerslag is in het gehele Rijnstroomgebied toegenomen (+10 tot +20%). In de Alpen valt de toename iets zwakker uit. De zomerneerslag is amper veranderd (-5 tot +5%).

Dat ook de afvoerparameters MQ en NM7Q op de meetpunten langs de hoofdstroom van de Rijn een duidelijk stijgende tendens laten zien in de winter (meestal +10 tot +15% voor MQ en +15 tot +20% voor NM7Q) ligt in de lijn van het voorgaande. In de zomer bedraagt de daling voor MQ en NM7Q wel 8%. Dit moet grotendeels worden geïnterpreteerd als het resultaat van stijgende temperaturen (meer verdamping) in combinatie met stagnatie in de neerslagontwikkeling en tevens afname van het sneeuwvolume in de Alpen.

De hoogwaterafvoer (MHQ), die voor gehele hydrologische jaren (november-oktober) is geëvalueerd, neemt met ongeveer +10% toe. Deze toename wordt bij nadere beschouwing van de gegevens niet veroorzaakt door een stijging van de extreme afvoerpieken<sup>12</sup>, maar veeleer door een opeenstapeling van gemiddelde en hoge hoogwaterafvoeren.

De meetpunten Würzburg en Trier laten een afwijkende, voor een aantal parameters tegengestelde, ontwikkeling zien die niet altijd in overeenstemming kan worden gebracht met de veranderingen in de hydrometeorologische randvoorwaarden en het patroon in andere afvoerstations. Hetzelfde geldt voor de inconsistente ontwikkeling van een aantal parameters op de meetpunten Keulen en Lobith. Naar deze ontwikkeling moet nog nader onderzoek worden verricht.

## **4.2 Gemodelleerde veranderingen in de 21<sup>e</sup> eeuw**

### **4.2.1 Gegevensbasis en weergave**

De onderstaande synthese is gebaseerd op de resultaten van het CHR-project RheinBlick2050 (Görgen et al., 2010). De gegevens zijn verkregen met behulp van een groot aantal modelketens (figuur 3). Daarbij werd er uitgegaan van alle eind 2009 beschikbare regionale klimaatsimulaties, gerealiseerd in het kader van verschillende Europese en nationale onderzoeksprojecten. De gesimuleerde velden voor luchttemperatuur, neerslag en totale zonnestraling<sup>13</sup> zijn getoetst op fundamentele plausibiliteit, geselecteerd, gecorrigeerd voor bias en dan als invoergegevens gebruikt voor het hydrologische model HBV (Eberle et al., 2005). Met behulp van dit model zijn er dagelijkse afvoerreeksen gegenereerd voor verschillende meetpunten in het Rijnstroomgebied.

In tabel 4 staan de veranderingen in de gebiedsneerslag (SomhN), de gemiddelde afvoer (MQ) en de laagste gemiddelde afvoer over zeven dagen (NM7Q) per halfjaar. Veranderingen in de luchttemperatuur worden niet weergegeven in de tabel, maar wel vermeld in de synopsis (paragraaf 4.2.2).

De in Görgen et al. (2010) voorgestelde hoogwaterparameters (MHQ en hoogste daggemiddelden met verschillende herhalingstijden) gaan uit van een beperkte selectie van klimaatprojecties, die met het oog op de bijzondere eisen die in de statistiek van extreme waarden worden gesteld, is geanalyseerd met andere methoden (niet-lineaire

---

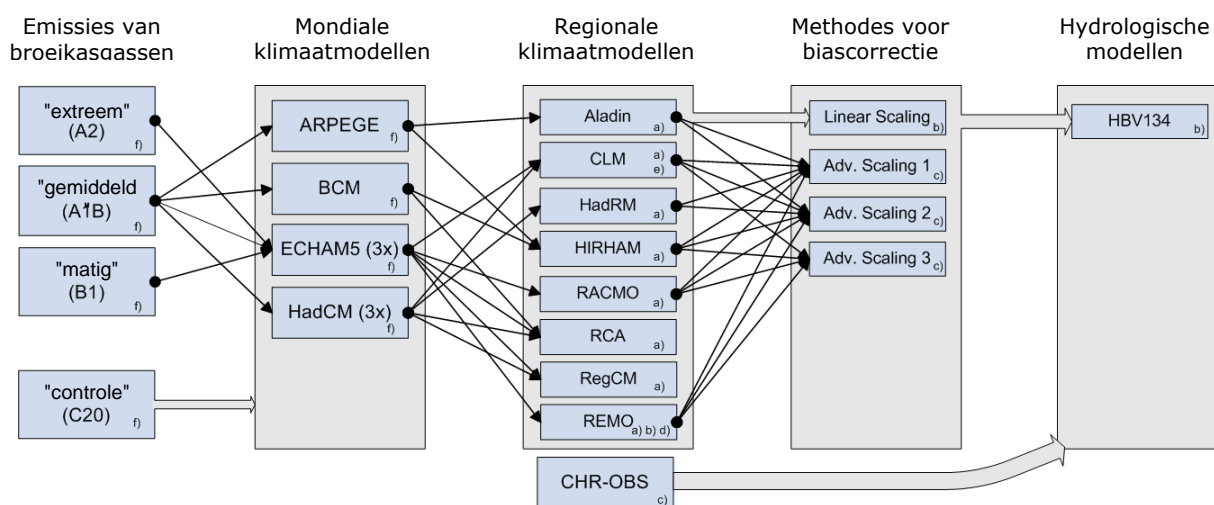
<sup>12</sup> Hier: hoogste gemiddelde dagafvoeren

<sup>13</sup> Sporadisch ook zonnenschijnduur

biascorrectie en een weergenerator). Er werd gewerkt met zeven simulatieruns, terwijl er voor de andere parameters meestal twintig simulaties zijn gebruikt<sup>14</sup>.

De resultaten van de analyse van de extreme hoogwaterwaarden worden daarom apart weergegeven (tabel 5). Aandacht moet ook worden gegeven aan de in paragraaf 3.3 genoemde beperkingen van hydrologische modellen bij de simulatie van extreme hoogwaterafvoeren. De waarden zijn indices van het overstromingsrisico voor "frequente", "middelgrote" en "extreme" hoogwatersituaties.

De gebruikte methoden zijn geschikt voor de meetpunten vanaf het middelgebergte, die worden gekenmerkt door winterhoogwater (benedenstrooms van Kaub), maar niet voor de Rijntrajecten die worden gekenmerkt door zomerhoogwater (van Bazel tot Worms). Daarom worden er voor de laatstgenoemde meetpunten geen uitspraken gedaan (wit in tabel 5). In verband hiermee worden er in 2011 nieuwe resultaten verwacht uit lopende onderzoeksactiviteiten en projecten (bijv. CCHydro, KLIWA, KLIWAS).



**Figuur 3: Overzicht van de modelkoppelingen waarop de analyse is gebaseerd (vgl. schematische voorstelling in figuur 2).**

Grijze vakken groeperen modellen die in het verdere proces op soortgelijke manier zijn behandeld. CHR-OBS staat voor hydrometeorologische observatiegegevens die zijn gebruikt ter validatie van het hydrologische model HBV134. De letters maken duidelijk waar de gegevens vandaan komen: (a) EU-ENSEMBLES, (b) BMVBS-KLIWAS, (c) CHR, (d) MPI-M-UBA, (e) BMBF-CLM, (f) CMIP3/IPCC\_AR4. Bron: Nilson et al. (2010, veranderd).

De gegevens in de tabellen 4 en 5 vertegenwoordigen veranderingssignalen<sup>15</sup> tussen periodes van dertig jaar: het gesimuleerde heden (1961-1990, de zogenaamde controle-run), het midden van de 21<sup>e</sup> eeuw (2021-2050, projectie voor de "nabije toekomst") en het einde van de 21<sup>e</sup> eeuw (2071-2100, projectie voor de "verre toekomst"). Voor de periode 2071-2100 zijn de in paragraaf 3.3 genoemde onzekerheid en spreiding van de verschillende emissiescenario's bijzonder relevant. Over de kans dat deze emissiescenario's zich voordoen, kan geen uitspraak worden gedaan. De evaluaties wijzen slechts op de thans bekende gevoeligheid van het regionale klimaat en de afvoeren in de Rijn voor een verdere toename van de concentraties broeikasgassen in de atmosfeer.

<sup>14</sup> Voor de analyse van de "verre" toekomst (2071-2100) zijn er 17 projecties. Voor de gebiedsneerslag is er voor de nabije en voor de verre toekomst telkens één projectie minder gebruikt.

<sup>15</sup> Veranderingssignaal = verschil tussen controlewaarde en projectiewaarde (d.w.z. het gemiddelde over de periode 1961-1990 ten opzichte van de periodes 2021-2050 en 2071-2100) uitgedrukt in procent van de controlewaarde.

De gebiedsneerslag is gerelateerd aan de meteorologische zomer en winter (respectievelijk juni, juli, augustus en december, januari, februari). De andere gegevens hebben betrekking op hydrologische halfjaren (respectievelijk van mei tot en met oktober en van november tot en met april voor MQ en NM7Q) of jaren (van november tot en met oktober voor alle hoogwaterparameters). In de neerslaganalyse is er deels uitgegaan van andere gebieden dan in paragraaf 4 (zie kaart in bijlage C)<sup>16</sup>. Bij de meetpunten wordt Würzburg vervangen door het verder benedenstrooms gelegen Raunheim, dat niet beschikbaar was voor de historische analyse (paragraaf 4.1).

De ranges geven niet de volledige omvang van het geëvalueerde "modelensemble" weer, maar per meetpunt en parameter slechts het deel dat bij de simulaties door verschillende modelketens bijzonder vaak als resultaat uit de bus kwam (zogenaamde scenariobandbreedtes, "interne" bandbreedtes, dichte zones). De methode om deze ranges te definiëren, wordt beschreven in Görger et al. (2010, p. 46 en volgende). Uitschieters worden daarbij buiten beschouwing gelaten.

Bij hoogwaterevaluaties (tabel 5) kijkt de procedure ook op dit punt af. Omdat er veel minder simulaties zijn uitgevoerd (7 in plaats van 20) wordt hier de volledige range (maximum en minimum) weergegeven als scenariobandbreedte.

De grenzen van de scenariobandbreedtes worden op 5 procent nauwkeurig aangegeven. Marges  $\geq 50\%$  krijgen de kleurencode voor "geen uitspraak mogelijk" (vgl. legenda bij tabel 3). Er is ook geen uitspraak mogelijk, zoals hierboven is uitgelegd, voor de hoogwaterparameters op de meetpunten Bazel, Maxau en Worms.

Via de kleurencode (zie tabel 3) worden de resultaten ook geïnterpreteerd ten aanzien van zich aftekenende vergelijkbare tendensen in de toekomstige ontwikkelingen. Opnieuw wordt er voor de hoogwaterevaluaties een andere methode toegepast.

**Tabel 3: Kleurencode voor de veranderingssignalen in de 21<sup>e</sup> eeuw (vgl. tabellen 4 en 5).** Omdat er andere gegevensbases en methodes worden gebruikt, kijkt de codering voor hoogwaterevaluaties (tabel 5) af van de andere parameters (tabel 4).

Kleurencode	Betekenis	Toelichting
oranje	dalende tendens	In tabel 4: De overgrote meerderheid (~80%) van de projecties vertoont een dalende tendens. <i>In tabel 5: Het gemiddelde van de projecties vertoont een tendens &lt; -5%.</i>
grijs	geen duidelijke tendens	In tabel 4: Ongeveer evenveel projecties vertonen een toename dan wel afname. <i>In tabel 5: Het gemiddelde van de projecties vertoont een tendens tussen -5% en +5%.</i>
blauw	stijgende tendens	In tabel 4: De overgrote meerderheid (~80%) van de projecties vertoont een stijgende tendens. <i>In tabel 5: Het gemiddelde van de projecties vertoont een tendens &gt; +5%.</i>
wit	geen uitspraak mogelijk	Marge $\geq 50\%$ of tekortkomingen in de methode.

<sup>16</sup> Het gebied "Middenrijn" komt niet overeen met de gebruikelijke definitie (zie kaart in bijlage C).

## 4.2.2 Synopsis van de resultaten

**Tabel 4: Procentuele verandering van de gebiedsneerslag (SomhN), de gemiddelde afvoer (MQ) en de laagwaterafvoer (NM7Q) tussen periodes van dertig jaar: het gesimuleerde heden (1961-1990), het midden van de 21<sup>e</sup> eeuw (2021-2050) en het einde van de 21<sup>e</sup> eeuw (2071-2100).**

De waarden uit de laatste periode (cursief gedrukt) tonen de algemene gevoeligheid van de neerslag en afvoer in het Rijnstroomgebied voor een verdere stijging van de concentraties broeikasgassen. Bij de interpretatie moet er rekening worden gehouden met de grote onzekerheden van emissiescenario's (paragraaf 2.3). Weergegeven zijn de scenariobandbreedtes van een ensemble van 20 afvoerprojecties (waarvan 17 voor de "verre toekomst"). Voor de ligging van de meetpunten, stroomgebieden en deelstroomgebieden zie bijlage C. Voor de kleurencode zie tabel 3 (Gegevensbasis: Görger et al., 2010).

Parameter	Meetpunt	Scenariobandbreedtes	
		Verandering in % Nabije toekomst	Verandering in % Verre toekomst
SomhN meteorologische zomer (juni/juli/augustus)	Stroomgebied tot Bazel	-10% tot +5%	-30% tot -10%
	Deelstroomgebied zuidelijke Bovenrijn	-10% tot +5%	-30% tot -15%
	Deelstroomgebied Middenrijn / noordelijke Bovenrijn	-10% tot +10%	-30% tot -10%
	Deelstroomgebied Nederrijn	-10% tot +10%	-30% tot -10%
	<i>Stroomgebied van de Neckar</i>	-10% tot +10%	-30% tot -10%
	<i>Stroomgebied van de Main</i>	-10% tot +10%	-30% tot -5%
	<i>Stroomgebied van de Moezel</i>	-15% tot +5%	-30% tot -15%
	Stroomgebied tot Lobith	-10% tot +5%	-25% tot -10%
SomhN meteorologische winter (december/januari/ februari)	Stroomgebied tot Bazel	0% tot +10%	0% tot +20%
	Deelstroomgebied zuidelijke Bovenrijn	0% tot +15%	+5% tot +25%
	Deelstroomgebied Middenrijn / noordelijke Bovenrijn	0% tot +10%	+10% tot +20%
	Deelstroomgebied Nederrijn	0% tot +15%	+5% tot +20%
	<i>Stroomgebied van de Neckar</i>	0% tot +10%	+5% tot +20%
	<i>Stroomgebied van de Main</i>	0% tot +15%	+10% tot +20%
	<i>Stroomgebied van de Moezel</i>	0% tot +10%	+5% tot +20%
	Stroomgebied tot Lobith	0% tot +15%	+5% tot +20%



Tabel 4 (vervolg)

Parameter	Meetpunt	Scenariobandbreedtes	
		Verandering in % Nabije toekomst	Verandering in % Verre toekomst
MQ hydrologisch zomerhalfjaar (mei-oktober)	Bazel	-10% tot +5%	-25% tot -10%
	Maxau	-10% tot +5%	-25% tot -10%
	Worms	-10% tot +5%	-25% tot -10%
	Kaub	-10% tot +10%	-25% tot -10%
	Keulen	-10% tot +10%	-25% tot -10%
	Lobith	-10% tot +10%	-25% tot -10%
	<i>Raunheim (Main)</i>	0% tot +25%	-20% tot +10%
	<i>Trier (Moezel)</i>	-5% tot +10%	-25% tot -5%
MQ hydrologisch winterhalfjaar (november- april)	Bazel	0% tot +20%	+5% tot +25%
	Maxau	0% tot +20%	+5% tot +25%
	Worms	0% tot +20%	+5% tot +25%
	Kaub	0% tot +20%	+5% tot +25%
	Keulen	0% tot +15%	+5% tot +25%
	Lobith	0% tot +15%	+5% tot +25%
	<i>Raunheim (Main)</i>	0% tot +25%	+15% tot +40%
	<i>Trier (Moezel)</i>	0% tot +20%	+10% tot +30%
NM7Q hydrologisch zomerhalfjaar (mei-oktober)	Bazel	-10% tot +10%	-20% tot -10%
	Maxau	-10% tot +10%	-20% tot -10%
	Worms	-10% tot +10%	-25% tot -10%
	Kaub	-10% tot +10%	-25% tot -10%
	Keulen	-10% tot +10%	-30% tot -10%
	Lobith	-10% tot +10%	-30% tot -10%
	<i>Raunheim (Main)</i>	0% tot +20%	-20% tot 0%
	<i>Trier (Moezel)</i>	-20% tot +20%	-50% tot -20%
NM7Q hydrologisch winterhalfjaar (november- april)	Bazel	+5% tot +15%	0% tot +15%
	Maxau	0% tot +10%	-5% tot +15%
	Worms	+5% tot +15%	-5% tot +15%
	Kaub	0% tot +15%	-5% tot +15%
	Keulen	0% tot +15%	0% tot +20%
	Lobith	0% tot +15%	-5% tot +15%
	<i>Raunheim (Main)</i>	+5% tot +15%	0% tot +20%
	<i>Trier (Moezel)</i>	-15% tot +15%	0% tot +20%

**Tabel 5: Procentuele verandering van de gemiddelde hoogwaterafvoer (MHQ) en van de afvoer bij "frequente", "middelgrote" en "extreme" hoogwatersituaties (herhalingstijden in de orde van grootte van 10, 100 en 1000 jaar) tussen periodes van dertig jaar: het gesimuleerde heden (1961-1990), het midden van de 21<sup>e</sup> eeuw (2021-2050) en het einde van de 21<sup>e</sup> eeuw (2071-2100).**

De waarden uit de laatste periode (cursief gedrukt) tonen de algemene gevoeligheid van de afvoer in het Rijnstroomgebied voor een verdere stijging van de concentraties broeikasgassen. Bij de interpretatie moet er rekening worden gehouden met de grote onzekerheden van emissiescenario's (hier: scenario A1B; paragraaf 2.3). Weergegeven is de range van het ensemble van zeven projecties (waarvan zes voor de "verre toekomst"). Voor de kleurencode zie tabel 3 (Gegevensbasis: Görngen et al., 2010).

Index	Meetpunt	Scenariobreedtes	
		Nabije toekomst	Verre toekomst
MHQ hydrologisch jaar (november-oktober)	Bazel	-5% tot +10%	-25% tot +15%
	Maxau	-5% tot +15%	-20% tot +15%
	Worms	-10% tot +20%	-15% tot +15%
	Kaub	-5% tot +25%	-10% tot +20%
	Keulen	0% tot +20%	-5% tot +20%
	Lobith	0% tot +20%	-5% tot +20%
	<i>Raunheim (Main)</i>	0% tot +35%	0% tot +35%
	<i>Trier (Moezel)</i>	-10% tot +15%	-10% tot +20%
Afvoer bij "frequente" hoogwatersituaties	Bazel	-10% tot +10%	-20% tot +20%
	Maxau	-15% tot +20%	-15% tot +25%
	Worms	-15% tot +15%	-10% tot +35%
	Kaub	-15% tot +15%	-5% tot +40%
	Keulen	-5% tot +15%	0% tot +40%
	Lobith	-5% tot +15%	0% tot +35%
	<i>Raunheim (Main)</i>	0% tot +30%	5% tot +40%
	<i>Trier (Moezel)</i>	-5% tot +15%	0% tot +25%
Afvoer bij "middelgrote" hoogwatersituaties	Bazel	-20% tot +10%	-30% tot +25%
	Maxau	-10% tot +15%	-25% tot +30%
	Worms	-5% tot +20%	-25% tot +35%
	Kaub	-5% tot +20%	-10% tot +25%
	Keulen	0% tot +20%	0% tot +25%
	Lobith	0% tot +20%	0% tot +25%
	<i>Raunheim (Main)</i>	0% tot +20%	0% tot +35%
	<i>Trier (Moezel)</i>	-5% tot +30%	-5% tot +25%
Afvoer bij "extreme" hoogwatersituaties	Bazel	-20% tot +35%	-10% tot +50%
	Maxau	-20% tot +35%	-20% tot +65%
	Worms	-15% tot +30%	-20% tot +45%
	Kaub	-5% tot +25%	-10% tot +30%
	Keulen	-5% tot +25%	0% tot +30%
	Lobith	-5% tot +20%	-5% tot +30%
	<i>Raunheim (Main)</i>	-5% tot +40%	0% tot +45%
	<i>Trier (Moezel)</i>	-35% tot +20%	-20% tot +45%

### Ontwikkeling tot 2050

De ontwikkeling tot 2050 wordt volgens de beschikbare projecties gekenmerkt door een zich voortzettende temperatuurstijging, die voor het gehele Rijnstroomgebied in de periode 2021-2050 gemiddeld tussen +1 en +2 °C bedraagt ten opzichte van het heden (1961-1990). De stijgende tendens is in het zuiden (Alpen) duidelijker dan in het noorden.

De neerslag laat in de zomer geen grote veranderingen zien. In de winter tonen de projecties gematigde toenames die over de hele Rijn bekeken tussen 0% en +15% bedragen. Dat betekent dat de neerslagtendensen die zijn bepaald voor de twintigste eeuw blijven gelden.

Met deze ontwikkelingen gaan overwegend gematigde veranderingen in de afvoer gepaard. De gemiddelde afvoer en de laagwaterafvoer (MQ en NM7Q) blijven in de zomer bijvoorbeeld min of meer onveranderd ten opzichte van de huidige situatie. Een toename van de winterneerslag, die als gevolg van de temperatuurstijging bovendien steeds vaker in vloeibare vorm valt, leidt tot een toename van de gemiddelde afvoer en de laagwaterafvoer in het winterhalfjaar met ongeveer +10% (mediaan van de bandbreedtes: 0% tot +20% en 0% tot +15% voor respectievelijk MQ en NM7Q). Voor de hoogwaterafvoer worden benedenstrooms van het meetpunt Kaub meestal ranges geregistreerd van -5% tot +15%, van 0% tot +20% en van -5% tot +25% voor respectievelijk "frequente", "middelgrote" en "extreme" hoogwatersituaties. Voor Bazel, Maxau en Worms worden wegens tekortkomingen in de methode geen uitspraken gedaan (zie paragraaf 3.3).

De resultaten van de evaluaties voor de bekeken zijrivieren (Main, Moezel) wijken soms licht af van de bovengenoemde bevindingen. De zomerneerslag in het Moezelgebied vertoont een dalende tendens, de projecties voor de Main laten veelal een toename van de gemiddelde afvoer en de laagwaterafvoer in de zomer zien.

### Gevoeligheidsonderzoek tot 2100

Uit de hypothese dat de concentraties broeikasgassen in de atmosfeer blijven toenemen tot het einde van de 21<sup>e</sup> eeuw komen duidelijke veranderingen ten opzichte van het heden (1961-1990) voort.

De geprojecteerde temperatuurstijging bedraagt +2 tot +4 °C (tot 2100). De regionaal verschillende tendensen – grotere opwarming in het zuiden dan in het noorden – blijven onveranderd ten opzichte van de "nabije" toekomst. Verder is de stijging in de zomer sterker dan in de winter. In tegenstelling tot de vastgestelde veranderingen in het neerslagpatroon tot 2050 worden er nu in het Rijnstroomgebied forse dalingen genoteerd in de zomermaanden (meestal tussen -10% en -30%). De op basis hiervan gesimuleerde afname van de gemiddelde afvoer en de laagwaterafvoer in de zomer ligt in een vergelijkbare orde van grootte.

De tot 2100 geprojecteerde neerslagtoename in de wintermaanden bedraagt over de gehele Rijn meestal tussen +5% en +20%. Dit resultaat valt hoger uit dan de waarden die zijn berekend voor de nabije toekomst (0% tot +15%). De stijging van de gemiddelde afvoer en de laagwaterafvoer in de winter komt grotendeels overeen met de stijging van de gebiedsneerslag.

Wat de hoogwaterparameters betreft, wijzen veel projecties op een toename op de meetpunten benedenstrooms van Kaub (tot +30%). Een aantal projecties duidt echter op tegenovergestelde ontwikkelingen, waardoor het gehele ensemble deels grote bandbreedtes vertoont (Trier: -20% tot +45%). Voor Bazel, Maxau en Worms worden om de onder 3.3 genoemde redenen geen uitspraken gedaan.

## 5. Conclusies

In het onderhavige rapport zijn actuele bevindingen over de mogelijke gevolgen van de klimaatverandering langs de Rijn op een rij gezet. In het kader van interinstitutionele onderzoeksactiviteiten en projecten (KLIWA, KLIWAS, CHR-projecten "Afvoerregime" en "RheinBlick2050") zijn er voor verschillende parameters van de waterhuishouding in het Rijnstroomgebied grote gegevensbestanden geëvalueerd met behulp van grensoverschrijdend afgestemde methodes, waardoor er een geïntegreerde kijk kan worden gegeven op de huidige stand van de kennis. Precieze en "ware" uitspraken over de toekomst zijn niet mogelijk. In plaats daarvan vertonen de resultaten grote bandbreedtes.

Dit geldt in het bijzonder voor simulaties van afvoerextremen. De methode voor de behandeling van hoogwater met een lange herhalingstijd vertoont tekortkomingen, die met name zichtbaar worden aan de Duits-Franse Bovenrijn. Ook wordt er op dit moment geen rekening gehouden met een aantal hydrodynamische aspecten, zoals bijv. het retentie-effect van dijkoverloop en dijkdoorbraak, het retentie-effect van uiterwaarden, maatregelen voor hoogwaterretentie, enz.

De bandbreedte van veranderingen die in dit rapport wordt gepresenteerd voor het midden van de 21<sup>e</sup> eeuw (2021-2050) omvat de tot dusver gepubliceerde waarden in meerdere gevallen (vgl. bijlage B; ICBR, 2009; KLIWA, 2006). De weergegeven bandbreedtes maken de onzekerheden bij de simulatie met de huidige modellen transparant. Daarbij moet worden bedacht dat de "echte" toekomst nog buiten deze bandbreedte zou kunnen liggen, ondanks de hoge complexiteit en het grote aantal gebruikte modellen. In de actuele modellen wordt er nog geen rekening gehouden met alle elementen van het klimaatsysteem en de waterhuishouding, in de mondiale klimaatmodellen ontbreekt bijvoorbeeld nog een gekoppelde koolstofkringloop. Hier zal binnenkort verandering in komen, wanneer het volgende IPCC-rapport wordt gepubliceerd (in 2013/2014).

De hier voorgestelde resultaten zijn in het midden van het ensemble (mediaan, centrale schatting) meestal gematigder dan de waarden die tot nog toe zijn gepubliceerd. Dit mag evenwel geenszins worden geïnterpreteerd als zou "alle gevaar geweken zijn". De in recente berekeningen verkregen veranderingen bedragen soms meerdere tientallen procenten en als ze waar blijken te zijn, zullen ze een grote aanpassingscapaciteit ("adaptive capacity") vergen van het "Rijnsysteem", bovenop het adaptatievermogen waarvan het al in de 20<sup>e</sup> eeuw blijf moet geven. Als er bovendien wordt uitgegaan van een verdere toename van de concentraties broeikasgassen tot het einde van de 21<sup>e</sup> eeuw zullen de veranderingen nog veel significanter zijn, zoals blijkt uit de gepresenteerde gevoeligheidsonderzoeken.

In dit rapport is er bewust geen ensemblecentrum weergegeven. Deze waarde vertegenwoordigt in het geval van de mediaan slechts het middelpunt van een range van simulaties die allemaal even waarschijnlijk moeten worden geacht<sup>17</sup>. De keuze van deze waarde kan niet objectief worden gemotiveerd. De adaptatiediscussie reduceren tot een enkele "klimaatwaarde" kan leiden tot een vertekening van de werkelijke stand van de kennis over mogelijke gevolgen van de klimaatverandering.

Bij de besluitvorming over een adaptatiestrategie moet er rekening worden gehouden met de onzekerheden van de toekomstprojecties. Een deel van de verantwoordelijkheid van de besluitvormer is de beantwoording van de vraag of een adaptatiemaatregel wordt gedimensioneerd op basis van de bovengrens, de ondergrens of de centrale schatting van een ensemble.

---

<sup>17</sup> In principe dient er bij analyses op basis van scenario's geen sprake te zijn van objectieve waarschijnlijkheden. "Waarschijnlijkheden" worden in dit verband altijd beïnvloed door de subjectief gekozen hypothesen en modellen.

## Bibliografie

(De weblinks zijn vanaf 12 april 2011 actief.)

Belz, J.U., Brahmer, G., Buiteveld, H., Engel, H., Grabher, R., Hodel, H., Krahe, P., Lammersen, R., Larina, M., Mendel, H.-G., Meuser, A., Müller, G., Plonka, B., Pfister L. & W. Van Vuuren (2007): Das Abflussregime des Rheins und seiner Nebenflüsse im 20. Jahrhundert – Analyse, Veränderungen, Trends. KHR-Schriften Bd. I-22, Koblenz und Lelystad: 377 p.

Kan worden gedownload onder: <http://www.chr-khr.org/files/RapportI-22.pdf>

Bundeskabinett (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel.

Kan worden gedownload onder: [www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php](http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php)

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2010): Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft – Studie der ZAMG und der TU Wien im Auftrag von Bund und Ländern, Kurzfassung, Wien, 21 p.

Kan worden gedownload onder:

<http://wasser.lebensministerium.at/filemanager/download/69493/>

CMIP (2009): Coupled Model Intercomparison Project.

Kan worden gedownload onder: <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/>

Eberle, M., Buiteveld, H., Wilke K. & P. Krahe (2005): Hydrological Modelling in the River Rhine Basin, Part III – Daily HBV Model for the Rhine Basin. – Bericht BfG-1451, Koblenz.

ENSEMBLES (2009): Climate change and its impacts at seasonal, decadal and centennial timescales. Abschlussbericht ENSEMBLES. 164 p.

Kan worden gedownload onder: [http://ensembles-eu.metoffice.com/docs/Ensembles\\_final\\_report\\_Nov09.pdf](http://ensembles-eu.metoffice.com/docs/Ensembles_final_report_Nov09.pdf)

European Communities (2009): Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC). Guidance document No. 24. River basin management in a changing climate. Technical Report - 2009 - 040. 132 p. Kan worden gedownload onder:

[http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework\\_directive/guidance\\_documents/management\\_finalpdf/EN\\_1.0\\_&a=d](http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework_directive/guidance_documents/management_finalpdf/EN_1.0_&a=d)

Görgen, K., Beersma J., Brahmer, G., Buiteveld, H., Carambia, M., De Keizer, O., Krahe, P., Nilson, E., Perrin, C., Lammersen, R. & D. Volken (2010): Assessment of climate change impacts on discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 project. KHR-Schriften Bd. I-23, Koblenz and Lelystad: 211 p.

Kan worden gedownload onder: [http://www.chr-khr.org/files/CHR\\_I-23.pdf](http://www.chr-khr.org/files/CHR_I-23.pdf).

Hurkmans, R.T.W.L. (2009): Effects of climate variability and land use change on the water budget of large river basins. Dissertation Univ. Wageningen. 174 p.

ICBR (2007): Mandaat van de EG KLIMA van de WG H conform § 26 van het Rijnministerscommuniqué. Studie naar scenario's voor het afvoerregime van de Rijn. H(2)10-07nl. Niet gepubliceerd.

ICBR (2009): Analyse van de stand van de kennis over de veranderingen die zich tot dusver hebben voorgedaan in het klimaat en over de gevolgen van de klimaatverandering voor de waterhuishouding in het Rijnstroomgebied – literatuurevaluatie. ICBR-rapport 174. 67 p. Kan worden gedownload onder:

[http://www.iksr.org/uploads/media/Bericht\\_174\\_nl\\_01.pdf](http://www.iksr.org/uploads/media/Bericht_174_nl_01.pdf)

INKLIM-A (2009): Interdisziplinäre Forschung zu Klimawandel, Folgen und Anpassung in Hessen.

Kan worden gedownload onder: <http://klimawandel.hlug.de/forschungsprojekte/inklim-a-und-weitere-projekte.html>

IPCC (2007a): Climate Change 2007: Synthesis Report. 74 p.

Kan worden gedownload onder: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf)

IPCC (2007b): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 996 p. Kan worden gedownload onder:

[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_wg1\\_report\\_the\\_physical\\_science\\_basis.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm)

Klein Tank, A.M.G., Lenderink, G. (red.) (2009): Klimaatverandering in Nederland; Aanvullingen op de KNMI'06 scenario's, KNMI, De Bilt.

Kan worden gedownload onder: <http://www.knmi.nl/klimaatscenario's/>

KLIWA (2005): Langzeitverhalten der Lufttemperatur in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Heft 5. 76 p.

Kan worden gedownload onder: <http://www.kliwa.de>

KLIWA (2006): Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland. KLIWA-Heft 9. 104 p.

Kan worden gedownload onder: <http://www.kliwa.de>

KLIWA (2009a): Modellgestützte Untersuchungen zum Einfluss des Klimas auf den Bodensee. KLIWA-Heft 13. 123 p.

Kan worden gedownload onder: <http://www.kliwa.de>

KLIWA (2009b): Auswirkungen des Klimawandels auf Niedrigwasserverhältnisse in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. KLIWA-Heft 14. 114 p.

Kan worden gedownload onder: <http://www.kliwa.de>

KNMI (2006): KNMI Klimaatscenario's: Samenvatting.

Kan worden gedownload onder: <http://www.knmi.nl/klimaatscenario's/>

Krahe, P., Nilson, E., Carambia, M., Maurer, T., Tomassini, L., Bülow, K., Jacob, D., Moser, H. (2009): Wirkungsabschätzung von Unsicherheiten der Klimamodellierung in Abflussprojektionen – Auswertung eines Multimodell-Ensembles im Rheingebiet. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. Heft 5/2009. p. 316-331.

LANUV-NRW (2010): Extremwertstatistische Untersuchung von Starkniederschlägen in NRW (ExUS) – Veränderung in Dauer, Intensität und Raum auf Basis beobachteter Ereignisse und Auswirkungen auf die Eintretenswahrscheinlichkeit. 304 p. Kan worden gedownload onder:

[http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/klimawandel/bericht\\_exus\\_teil1.pdf](http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/klimawandel/bericht_exus_teil1.pdf)

[http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/klimawandel/bericht\\_exus\\_teil2.pdf](http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/klimawandel/bericht_exus_teil2.pdf)

Leibundgut, C. (2010): Nachhaltige Sicherung von Wasserressourcen – das NFP 61 im Spiegel globaler und nationaler Herausforderungen. Wasser Energie Luft. 102/3. p. 222-228.

Moser, H., Krahe, P., Maurer, T. & E. Nilson (2008): Wasserstraßen - Handlungsoptionen für Wirtschaft und Binnenschifffahrt. Beitrag zum Symposium Klimaänderung - Was kann die Wasserwirtschaft tun? am 24./25 Juni 2008 in Nürnberg, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung der Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften in der DWA (FgHW), Heft 24.08 (ISBN: 978-3-940173-97-3)

Nilson, E., Carambia, M., Krahe, P., Maurer, T., H. Moser (2010): Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland. KLIWA-Heft 15. p. 265-277. Kan worden gedownload onder: <http://www.kliwa.de>

PRUDENCE (2007): Prediction of Regional Scenarios and Uncertainties for Defining European Climate Change Risks and Effects: The PRUDENCE Project. Climatic Change 81, Supplement 1.

Rijnministersconferentie (2007): De Rijn leeft en verbindt – een stroomgebied als gemeenschappelijke uitdaging. Communiqué van de Rijnministersconferentie op 18 oktober 2007 te Bonn. 10 p.

Kan worden gedownload onder:

[http://www.iksr.org/fileadmin/user\\_upload/Dokumente\\_nl/MIN07-02nl.pdf](http://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/Dokumente_nl/MIN07-02nl.pdf)

Richter, K-G., Schlaffer, S., Chomoev, E., & M. Hunger (2009): Untersuchung zur Auswirkung des Klimawandels auf das Abflussverhalten in Gewässern in NRW.

Projektbericht im Auftrag des LANUV NRW. 79 p.

Kan worden gedownload onder:

[http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/klimawandel/abfluss\\_studie.pdf](http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/klimawandel/abfluss_studie.pdf)

Te Linde, A.H., Aerts, J.C.J.H. and Kwadijk, J.C.J. (2010a): Effectiveness of flood management strategies on peak discharges in the Rhine basin. *Journal of Flood Risk Management*, 3: 248-269.

Te Linde, A.H., Aerts, J.C.J.H., Bakker, A.M.R. and Kwadijk, J.C.J. (2010b): Simulating low probability peak discharges for the Rhine basin using resampled climate modeling data. *Water Resources Research*, 46 (WR03512).

Viner, D. (2002): A qualitative assessment of the sources of uncertainty in climate change impacts assessment studies. In: Beniston, M. (Hrsg.): *Climatic Change*. 10. Implications for the Hydrological Cycle and for Water Management. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. p. 139-149.

Volken, D. (2010): CCHydro – Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserressourcen und die Gewässer der Schweiz. *KLIWA-Heft 15*. p. 279-284. Kan worden gedownload onder: <http://www.kliwa.de>.

**Bijlage A**

*Veranderingen in de 20<sup>e</sup> eeuw (stand: 2009)*

**Tabel 6: Samenvatting van de veranderingen van (hydro)meteorologische parameters in de 20<sup>e</sup> eeuw, op basis van een heterogene gegevensbasis<sup>18</sup> (geciteerd in: ICBR, 2009).** Winter en zomer worden begrepen als meteorologische seizoenen (december/januari/februari, juni/juli/augustus). Bron: ICBR (2009)

Parameter	Resultaat
Winterneerslag	Algemene toename, met +16% tot +37%
Zomerneerslag	Overwegend afname, vooral in het zuiden
Jaarlijkse neerslag	Afhankelijk van de seizoenschommeling toename (met +8% tot +10%) of geen verandering
Luchttemperatuur in de winter	Sterke stijging, met +1 tot +1,6°C
Luchttemperatuur in de zomer	Stijging, met +0,6 tot +1,1°C
Gemiddelde jaartemperatuur	Stijging, met +0,5 tot +1,2°C
Gletsjers en sneeuw	Afname (sneeuwhoogte, aantal dagen met een sneeuwdek, aantal dagen met sneeuwval, gletsjervolume, enz.)
Luchtstromingspatronen	Toename van vochtige lucht in het gebied buiten de Alpen. Toename van westelijke, cyclonale stromingen in de winter (werkt hoogwater in de hand).

**Tabel 7: Samenvatting van de veranderingen van hydrologische parameters in de 20<sup>e</sup> eeuw, op basis van een heterogene gegevensbasis (geciteerd in: ICBR, 2009).** Winter en zomer worden begrepen als meteorologische seizoenen (november-april, mei-december). Bron: ICBR (2009)

Parameter	Resultaat
Jaarlijkse ontwikkeling	Verschuiving van de afvoer van de zomer naar de winter. Daardoor toename van de variabiliteit binnen het jaar in het pluviale regime (middelgebergte in het noorden) en afname in het glaciaal-nivale regime (Alpen in het zuiden).
Jaarafvoer	Geen verandering in het zuiden, toename in het noorden
Hoogwater	Algemene toename van de gemiddelde hoogwaterafvoer in de winter
Hoogwater (zeldzaam)	Geen (duidelijke) tendens
Laagwater	Toename: significant stijgende (nivaal regime) of stijgende tendens (pluviaal regime)
Watertemperatuur	Stijging

<sup>18</sup> Tenzij anders aangegeven, gaat het om veranderingen van de gemiddelden. In het kader van deze samenvatting kan er geen onderscheid worden gemaakt tussen significante en niet-significante tendensen. Evenmin zijn er voor alle parameters kwantitatieve uitspraken mogelijk. Meer informatie is opgenomen in het overzicht van de ICBR (2009) en in de aldaar aangehaalde literatuur.



**Bijlage B**

*Veranderingen in het midden van de 21<sup>e</sup> eeuw (stand: 2009)*

**Tabel 8: Samenvatting van de veranderingen van (hydro)meteorologische parameters tot het midden van de 21<sup>e</sup> eeuw, op basis van een heterogene gegevensbasis (geciteerd in: ICBR, 2009).** Winter en zomer worden begrepen als meteorologische seizoenen (december/januari/februari, juni/juli/augustus). Vgl. voetnoot 17. Bron: ICBR (2009)

Parameter	Resultaat
Winterneerslag	Toename, met +4% tot +35%, afhankelijk van regio en modelketen
Zomerneerslag	Afname, met -4% tot -20%, afhankelijk van regio en modelketen
Jaarlijkse neerslag	g.g.
Luchttemperatuur in de winter	Stijging, met +1,1 tot +2,4°C
Luchttemperatuur in de zomer	Stijging, met +1,4 tot +2,8°C
Gemiddelde jaartemperatuur	g.g.
Gletsjers en sneeuw	g.g.
Luchtstromingspatronen	g.g.

**Tabel 9: Samenvatting van de veranderingen van hydrologische parameters in de eerste helft van de 21<sup>e</sup> eeuw, op basis van een heterogene gegevensbasis (geciteerd in: ICBR, 2009).** Winter en zomer worden begrepen als meteorologische seizoenen (november-april, mei-december). Bron: ICBR (2009)

Parameter	Resultaat
Jaarlijkse ontwikkeling	Toename in de winter, met +14% tot +40% Geen verandering of afname in de zomer, met 0% tot -42% afhankelijk van regio en modelketen
Jaarafvoer	g.g.
Hoogwater	Algemene toename van de gemiddelde hoogwaterafvoer in de winter
Hoogwater (zeldzaam)	Toename, met +15% tot +25%
Laagwater	Afname van de afvoer naar het Bodenmeer en van de afvoer in het Hoogrijngebied, verder ook toename
Watertemperatuur	g.g.

**Bijlage C**

**Figuur 4: Overzichtskaart van de in de tekst genoemde evaluatiegebieden en meetpunten.** De hier gekozen afbakening van de regio's "deelstroomgebied Nederrijn", "deelstroomgebied Middenrijn en noordelijke Bovenrijn" en "deelstroomgebied zuidelijke Bovenrijn" wijkt af van de gebruikelijke definities (bijv. de KRW-werkgebieden).

