



**Analyse 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 stroomgebied van de Rijn
- literatuurevaluatie -**

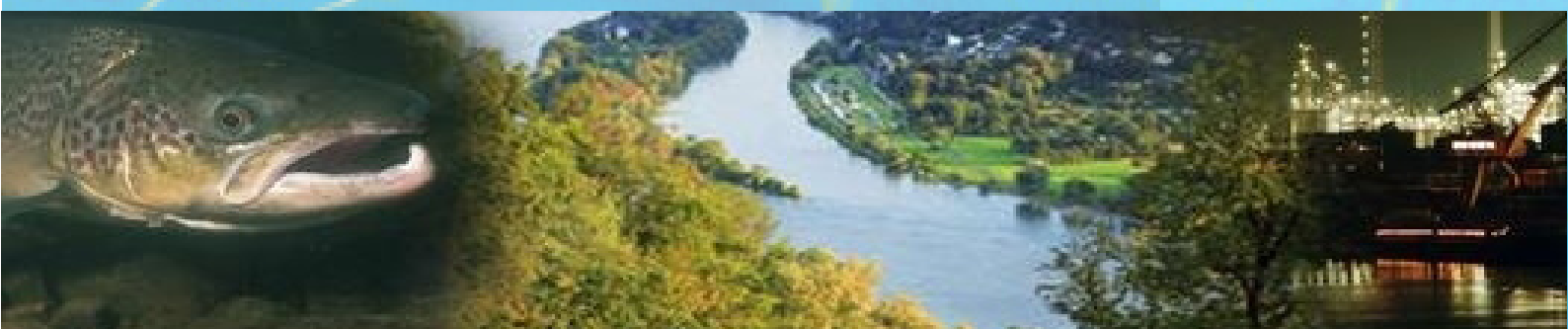
Stand: begin 2009

Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Rapport Nr. 174



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

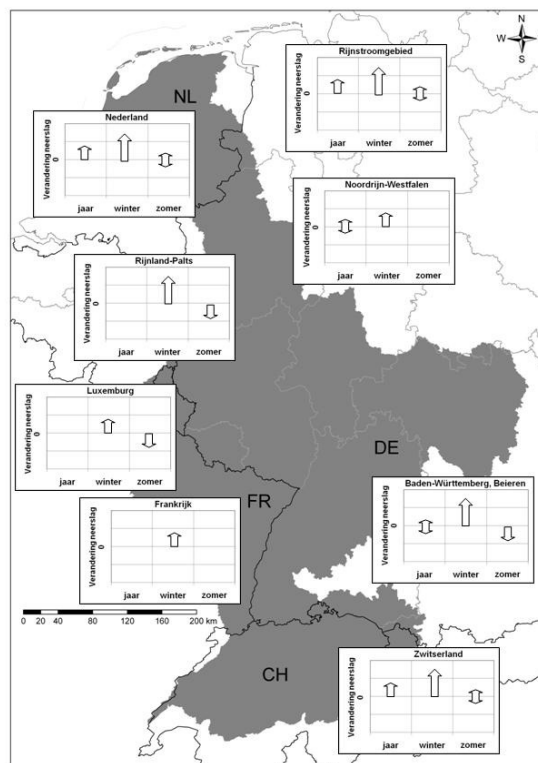
www.iksr.org

Vertaling: Fabienne van Harten, Marianne Jacobs

ISBN 3-935324-75-8

© IKSr-CIPR-ICBR 2009

Analyse 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 stroomgebied van de Rijn - literatuurevaluatie Stand: begin 2009



Opdrachtgever: Secretariaat van de Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn

Opgesteld door: Kai Gerlinger

Stand van het rapport: Eindversie van 30 april 2009

**Analyse 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 stroomgebied van de Rijn
- literatuurevaluatie -
Stand: begin 2009**

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
1. Taakstelling en methode	10
2. Algemeen onderzoek naar de klimaatverandering in het Rijnstroomgebied.....	12
3. Samenvattende analyse van de klimaatveranderingen tot dusver.....	15
3.1 Veranderingen tot dusver in de neerslag	15
3.2 Veranderingen tot dusver in de luchttemperatuur.....	17
3.3 Veranderingen tot dusver in de sneeuw en de gletsjers.....	19
4. Samenvattende analyse van de veranderingen tot dusver in de waterhuishouding	21
4.1 Veranderingen tot dusver in het afvoerregime	21
4.2 Veranderingen tot dusver in het hoogwater.....	22
4.3 Veranderingen tot dusver in het laagwater	24
4.4 Veranderingen tot dusver in de watertemperatuur	27
5. Inschatting van mogelijke klimaatveranderingen.....	29
5.1 Klimaatprojecties voor het Rijnstroomgebied	29
5.2 Mogelijke veranderingen in de neerslag.....	32
5.3 Mogelijke veranderingen in de luchttemperatuur	34
5.4 Mogelijke veranderingen in de sneeuw en de gletsjers.....	36

6. Inschatting van de gevolgen van mogelijke klimaatveranderingen voor de waterhuishouding ..	37
6.1 Simulatiemodellen voor de afvoer	37
6.2 Simulatiemodellen voor de watertemperatuur.....	38
6.3 Mogelijke veranderingen in het afvoerregime	39
6.4 Mogelijke veranderingen in het hoogwater	41
6.5 Mogelijke veranderingen in het laagwater	41
6.6 Mogelijke veranderingen in de watertemperatuur.....	42
7. Conclusies	43
8. Bibliografie.....	46

Bijlagen

- Figuur A-1: Trendontwikkeling van de gesommeerde gebiedsneerslag (SumhN) en van de gemiddeldeafvoeren (MQ) in het Rijngebied (CHR 2007)
- Figuur A-2: Trendontwikkeling van de NM7Q en de NM21Q (laagste rekenkundige gemiddelden van de afvoer over respectievelijk 7 en 21 opeenvolgende dagen) in het Rijngebied (CHR 2007)
- Figuur A-3: Trendontwikkeling van de hoogste afvoeren (HQ) in het Rijngebied (CHR 2007)
- Tabelle A-1: Gegevens van klimaatmodellen in Midden-Europa (Nilson 2008, geciteerd in Goergen 2008, veranderd)
- Tabelle A-2: Hydrologische projecties voor het Rijngebied (Nilson 2008, geciteerd in Goergen 2008, veranderd)
- Tabelle A-3: Overzicht van het gebruik van klimaatmodellen en hydrologische modellen in Nederland (Rijn en Maas) (Wit 2008)

Preambule

Aangezien de verandering van klimaatparameters de hydrologische processen en de waterhuishouding beïnvloedt, heeft de Rijnministersconferentie de ICBR opgedragen een studie op te stellen naar scenario's voor het afvoerregime van de Rijn.

De ICBR heeft daarom in 2008 een expertgroep KLIMA ingesteld die direct met haar werkzaamheden is begonnen en in een eerste stap een literatuurevaluatie in opdracht heeft gegeven met de titel "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". De resultaten worden in het onderhavige rapport gepresenteerd en vormen een belangrijke bouwsteen voor de verdere werkzaamheden. De lopende werkzaamheden hebben betrekking op de ondersteuning en begeleiding van de opzet van een studie naar scenario's met betrouwbare resultaten voor het afvoerregime van de Rijn. In een verdere stap zullen er binnen de ICBR op basis van deze resultaten adaptatiestrategieën worden uitgewerkt.

Samenvatting

Taakstelling en methode

De expertgroep KLIMA van de ICBR heeft HYDRON de opdracht gegeven om een overzicht op te stellen van de beschikbare onderzoeken naar klimaatverandering, teneinde de regionale gevolgen van de klimaatverandering voor het Rijnstroomgebied te kunnen inschatten. Dit overzicht bestaat uit drie delen:

- Overzicht van de algemene, actuele onderzoeken naar klimaatverandering.
- Samenvatting van de huidige stand van kennis over de veranderingen tot dusver in het klimaat en in de waterhuishouding.
- Inschatting van de toekomstige effecten van mogelijke klimaatveranderingen op de waterhuishouding.

Daarbij wordt alleen gekeken naar de twee parameters neerslag en luchttemperatuur die bepalend worden geacht voor de waterhuishouding. Bij de evaluaties van de waterhuishouding wordt de focus gelegd op de afvoer (gemiddelde afvoer, hoog- en laagwater) en op de watertemperatuur.

Het overzicht van de stand van kennis is opgesteld op basis van de documenten die de delegaties hebben ingediend. In totaal zijn er 110 documenten ter beschikking gesteld en samengevat. Dit overzicht pretendeert niet volledig te zijn, er is inmiddels immers veel informatie over de klimaatverandering beschikbaar.

De onderzoeken kunnen niet direct met elkaar worden vergeleken, omdat is uitgegaan van verschillende evaluatiemethoden en perioden. Bovendien worden de resultaten kort samengevat weergegeven waardoor de differentiatie in tijd en ruimte verloren gaat. Een beoordeling van de onderzoeken of de afleiding van conclusies maken geen deel uit van deze samenvatting.

Actuele onderzoeken naar klimaatverandering

Uit het overzicht van de algemene, actuele onderzoeken naar de klimaatverandering blijkt dat vooral de projecten "RheinBlick2050", KLIWAS en ACER zich bezighouden met de opzet van klimaat- en afvoerprojecties voor het hele Rijnstroomgebied.

In Zwitserland wordt onderzoek o.a. verricht onder leiding van het Zwitserse adviesorgaan voor klimaatonderzoek en klimaatverandering. De Duitse deelstaten Beieren, Rijnland-Palts en Baden-Württemberg onderzoeken in het kader van het project KLWA samen de effecten van de klimaatverandering op het waterbeheer. Baden-Württemberg en Rijnland-Palts onderzoeken daarnaast ook de gevolgen van de klimaatverandering voor de afvoer van de Rijn tot het meetpunt Worms. In de Duitse deelstaten Hessen en Noordrijn-Westfalen lopen er projecten over klimaatverandering op deelstaatniveau.

In Nederland worden talrijke projecten over verschillende aspecten van de klimaatverandering uitgevoerd (bijv. het project "Kennis voor Klimaat") waarbij vooral ook rekening wordt gehouden met adaptatiestrategieën (bijv. het project "Klimaat voor Ruimte" of de actuele werkzaamheden van de Deltacommissie).

Analyse van de veranderingen tot dusver in het klimaat

Uit de beschikbare meetgegevens blijkt dat er in alle regio's van het Rijnstroomgebied kan worden uitgegaan van een toename van de gesommeerde winterneerslag (fig. 1). Daarnaast wordt in grote delen van het Rijnstroomgebied (vooral in het zuiden) een afname van de gesommeerde zomerneerslag vastgesteld; deze afname is evenwel niet altijd significant. Afhankelijk van de mate waarin de zomerneerslag afneemt, verandert de som van de jaarneerslag niet (bijv. in Baden-Württemberg en Beieren) of neemt de jaarneerslag toe (bijv. in Zwitserland en Nederland). Deze toename van de jaarlijkse neerslag is wel altijd kleiner dan de toename van de winterneerslag. Vooral in de vlakkere deelstroomgebieden buiten de alpiene regio kan de toename van de neerslag hoofd-zakelijk worden toegeschreven aan de stijgende frequentie van natte circulatietypen.

Uit de onderzoeken naar de meetgegevens van de luchttemperatuur kunnen voor alle regio's van het Rijnstroomgebied duidelijke conclusies worden getrokken (fig. 2). Over de voorbije honderd jaar wordt er vooral in de winter een duidelijke toename van de luchttemperatuur vastgesteld (ca. $+1,0^{\circ}\text{C}$ tot $+1,6^{\circ}\text{C}$). De zomertemperaturen zijn daarentegen minder sterk gestegen (ca. $+0,6^{\circ}\text{C}$ tot $+1,1^{\circ}\text{C}$). Hieruit vloeit voor het Rijnstroomgebied een gemiddelde jaarlijkse temperatuurstijging voort van ca. $+0,5^{\circ}\text{C}$ tot $+1,2^{\circ}\text{C}$. Dat is ietwat meer dan het mondiale gemiddelde van ca. $+0,56^{\circ}\text{C}$ tot $+0,9^{\circ}\text{C}/100$ jaar.

In Zwitserland loopt het krimpen van de gletsjers in de pas met de stijging van de temperatuur. Daarnaast is er bij het onderzoek naar de sneeuwgrootheden, zoals bijv. de gemiddelde sneeuwhoogte een negatieve trend vastgesteld, die echter afneemt naarmate de hoogte toeneemt.

De resultaten van de los van elkaar verrichte onderzoeken tonen aan dat de klimaatverandering in het Rijnstroomgebied al kan worden waargenomen in de meetgegevens van de temperatuur en de neerslag.

Analyse van de veranderingen tot dusver in de waterhuishouding

Als gevolg van de temperatuurstijging, de neerslagtoename en de verminderde capaciteit voor de berging van sneeuw in de winter wordt er, vergeleken met de waarden uit het verleden, in het hele Rijnstroomgebied een toename vastgesteld in de over de maand gemiddelde afvoerwaarden in het winterhalfjaar. Deze toename kan worden veroorzaakt door het "westelijke cyclonale circulatietype" dat een belangrijke rol speelt bij de genese van overstromingen en in de winter niet alleen vaker, maar ook duidelijk langer voorkomt.

In het zomerhalfjaar nemen daarentegen in het zuidelijke deel van het Rijnstroomgebied de gemiddelde afvoeren af. Als gevolg van de verschuiving van de afvoer van het zomerhalfjaar naar het winterhalfjaar neemt in wateren met een glaciaal-nivaal regime de variabiliteit binnen een jaar af. De gemiddelde jaarafvoer blijft constant. De daling van gemiddelde afvoeren in het zomerhalfjaar wordt richting Rijnmond steeds kleiner. Daarom neemt als gevolg van de hogere afvoer in het winterhalfjaar de gemiddelde jaarafvoer daar toe. De wateren met een pluviaal regime vertonen dus als gevolg van de klimaatverandering een verhoging van de variabiliteit binnen een jaar.

Uit de onderzoeken blijkt op veel meetpunten in het Rijnstroomgebied een toename van de gemiddelde hoogwaterafvoeren in de winter. De trend in de jaarlijkse maximale afvoeren (HQ-waarden) is daarentegen minder duidelijk. Een significante, uitgestrekte verandering van de HQ-waarden kon bijv. op de meetpunten in Rijnland-Palts, Noordrijn-Westfalen en Baden-Württemberg niet worden vastgesteld.

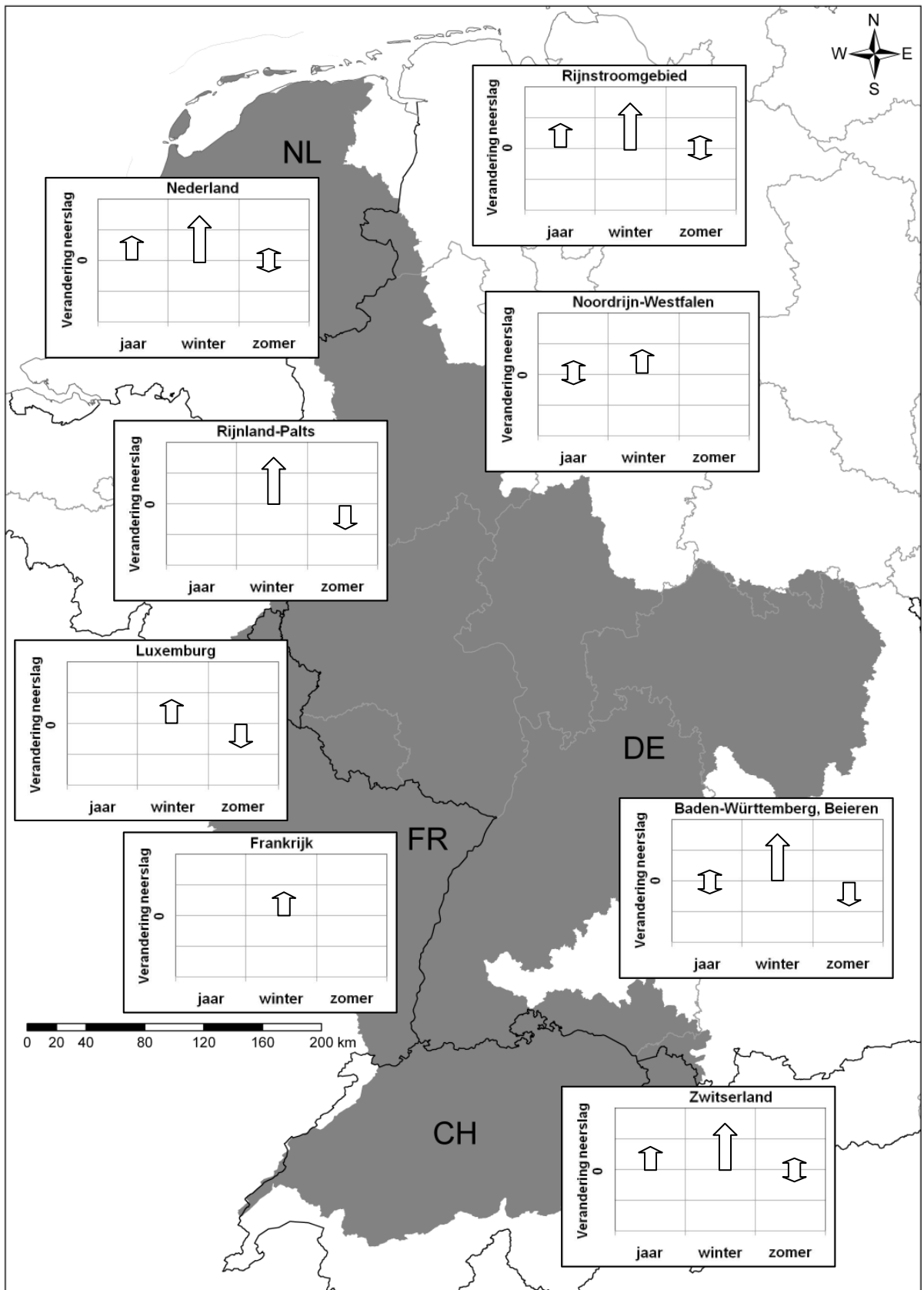


Fig. 1: Verandering in de neerslag in het Rijnstroomgebied in de 20^e eeuw voor het hydrologische winter- en zomerhalfjaar en voor het jaar (schematische weergave, gebaseerd op een heterogene gegevensbasis (Bader & Bantle 2004, Begert *et al.* 2005, KLIWA 2005c, KLIWA 2008a, KNMI 2008, LUWG 2007, LÖBF 2004, LÖBF 2006, Pfister *et al.* 2004))

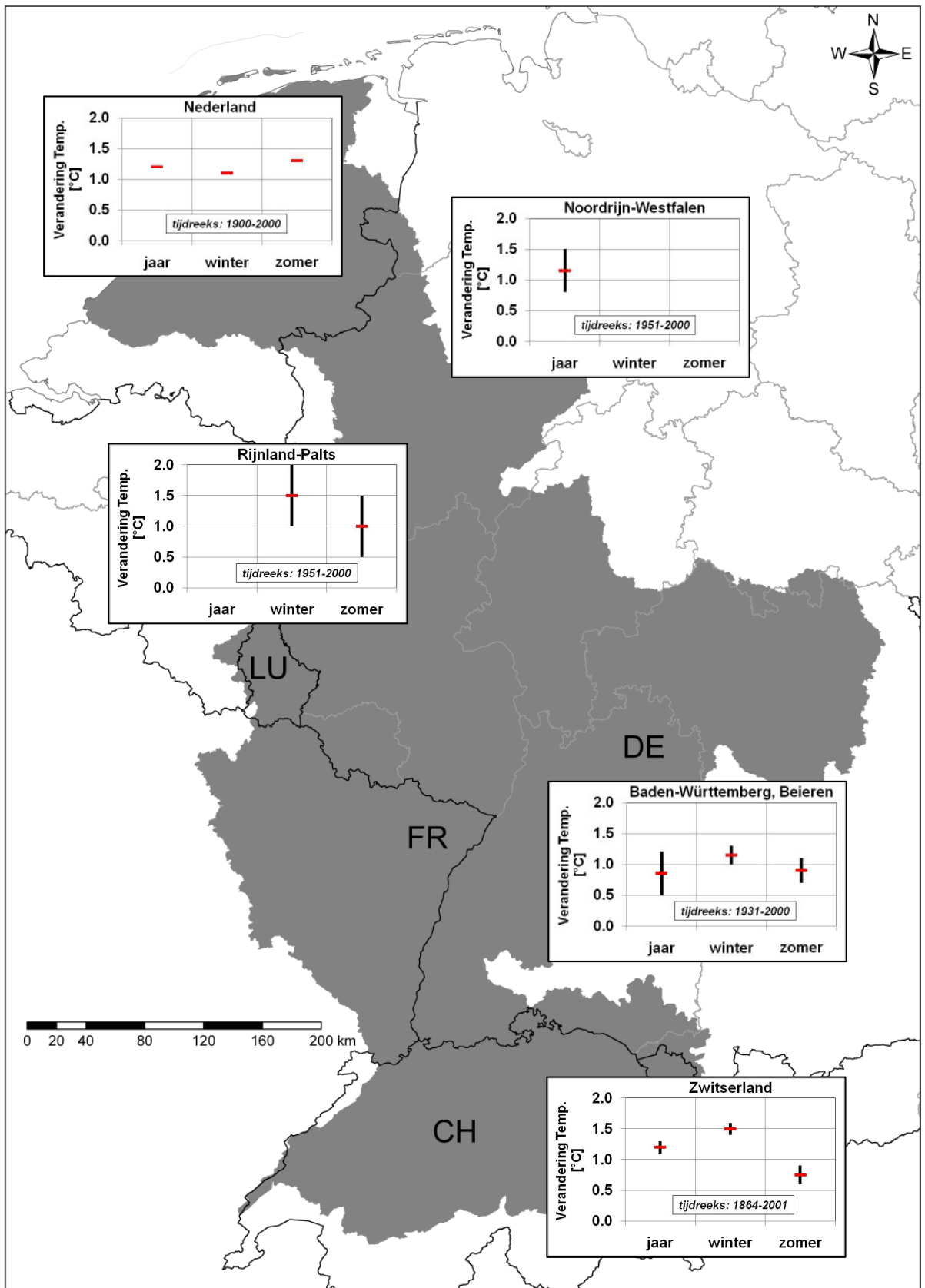


Fig. 2: Verandering in de luchttemperatuur (gemiddelden, minima en maxima) in het Rijnstroomgebied in de 20^e eeuw voor de meteorologische winter en zomer en voor het jaar (gebaseerd op een heterogene gegevensbasis (Bader & Bantle 2004, MeteoSchweiz 2008, KLIWA 2005a, KLIWA 2008a, KNMI 2008, LUWG 2007, LÖBF 2004))

De analyse van het hoogwater wordt zeer bemoeilijkt door de antropogene invloeden (bijv. waterbouwkundige maatregelen in de Rijn) en de toevalligheid van individuele gebeurtenissen.

Ook bij laagwater is het moeilijk om de gegevens te interpreteren vanwege bijv. de aanleg van stuwmeren en wateromleidingen. Wat in elk geval wel kon worden vastgesteld, is dat de toename van de gesommeerde winterneerslag en de verminderde capaciteit voor de berging van sneeuw tot hogere gemiddelde afvoeren in het winterhalfjaar leiden en hierdoor de laagwaterwaarden op de meetpunten met een glaciaal-nivaal regime significant stijgen. Op de meetpunten met een pluviaal regime kan wel een stijgende tendens, maar geen significante stijging worden vastgesteld in de grootheden die worden gebruikt voor de beschrijving van laagwater.

De natuurlijke watertemperatuur wordt hoofdzakelijk beïnvloed door de factoren die ook invloed hebben op de luchttemperatuur. Dientengevolge heeft de klimaatverandering ook bijgedragen tot een stijging van de watertemperatuur. De waargenomen toename van de watertemperatuur met ca. 1°C tot 3°C wordt echter grotendeels beïnvloed door factoren als lozingen van koelwater en verstedelijking.

Inschatting van de gevolgen van mogelijke klimaatveranderingen

De inschatting van de klimaatveranderingen is gebaseerd op emissiescenario's, die worden gebruikt om de toekomstige concentraties van broeikasgassen, zoals bijv. CO₂, te definiëren. Zulke emissiescenario's zijn ontwikkeld in het kader van de werkzaamheden van het IPCC.

Voor de berekening en de projectie van het klimaat in de toekomst worden er globale circulatiemodellen (GCM's) toegepast op basis van de bovengenoemde emissiescenario's. De GCM's simuleren de driedimensionale, complexe processen in de atmosfeer en zijn meestal gekoppeld aan een oceaanmodel (gekoppelde atmosfeer-oceaanmodellen).

De GCM's leveren op hun beurt de invoergegevens voor de regionale modellen waarmee regionale uitspraken kunnen worden gedaan over de klimaatverandering (bijv. de regionale modellen WETTREG, REMO, STAR).

De klimaatprojecties die beschikbaar zijn voor het Rijnstroomgebied hebben vaak betrekking op het GCM ECHAM4 op basis van emissiescenario B2. Ook in het PRUDENCE-project, waarin verschillende regionale modellen onderling werden vergeleken, en bij de opzet van de vier KNMI-scenario's voor Nederland is er, als een van meerdere GCM's, gebruik gemaakt van ECHAM4.

Inmiddels zijn de rekenruns van het GCM ECHAM5 (emissiescenario's A1B, A2 en B1) beschikbaar. Dit model wordt naast WETTREG, REMO en STAR als extra regionaal model gebruikt voor het CLM-model. In Frankrijk wordt daarentegen het GCM ARPEGE gebruikt. Er wordt van uitgegaan dat het EU-project ENSEMBLES ("ENSEMBLEbased Predictions of Climate Changes and their Impacts") resulteert in actuele klimaatprojecties.

Scenariogegevens voor de neerslag kunnen ook door een neerslaggenerator worden gegenereerd die op basis van historische tijdreeksen en herverdeling nieuwe tijdreeksen berekent.

Uit de bestaande klimaatprojecties komt naar voren dat de gesommeerde winterneerslag de komende 50 tot 100 jaar zal toenemen (fig. 3). De gesommeerde zomerneerslag neemt daarentegen af.

De winterneerslagsom zal tot 2050 in Zwitserland toenemen met ca. +8% (afgeleid op basis van PRUDENCE), in Baden-Württemberg met max. +35% (ECHAM-WETTREG), in Noordrijn-Westfalen met +20% (ECHAM4-STAR) en in Nederland met +4% tot +11% (alle vier KNMI-scenario's).

Uitgaande van dezelfde modellen zal de zomerneerslag tot 2050 in Zwitserland afnemen met -17%, in Baden-Württemberg met -4%, in Noordrijn-Westfalen met maximaal -20% en in Nederland met -10% tot -19% (KNMI-scenario's G+ en W+).

De verandering die werd berekend op basis van PRUDENCE en ECHAM4 heeft betrekking op het emissiescenario B2 dat vergelijkbaar is met het KNMI-scenario G+. De verschillen tussen de emissiescenario's A1B, A2 en B2 zijn tot 2050 echter relatief klein. Alleen tussen de KNMI-scenario's bestaan er bij de neerslag grotere verschillen.

Een vergelijkbare toename van de winterneerslagsom met +19% tot +30% en een afname van de zomerneerslagsom met -17% tot -22% in Duitsland wordt met ECHAM5-WETTREG pas voor de periode tot 2100 gesimuleerd.

Ook de trends in de luchttemperatuur, die op basis van de analyse van de meetgegevens zijn vastgesteld, zetten zich door in de toekomst. Duidelijke temperatuurstijgingen komen voor in de winter (fig. 4). In tegenstelling tot de analyse van de meetwaarden stijgt de luchttemperatuur in de zomer in bepaalde rekenruns in de toekomst zelfs nog meer dan in de winter.

De winterse luchttemperatuur stijgt tot 2050 in Zwitserland met ca. +1,8°C, in Baden-Württemberg met ca. +2°C, in Noordrijn-Westfalen met +2,4°C en in Nederland met +1,1°C tot +2,3°C. De zomerse luchttemperatuur stijgt tot 2050 in Zwitserland met +2,7°C, in Baden-Württemberg met ca. +1,4°C, in Noordrijn-Westfalen met +1,8°C en in Nederland +1,4°C tot +2,8°C. Daarbij zijn dezelfde modelruns geëvalueerd als bij de neerslag.

Ook in de luchttemperatuur wordt met de modelketen ECHAM5-WETTREG pas in de periode tot 2100 een vergelijkbare verandering vastgesteld als bij de andere modellen in de periode tot 2050 (toename van de jaarlijkse luchttemperatuur met +1,8°C tot +2,3°C).

Inschatting van de gevolgen van mogelijke klimaatveranderingen voor de waterhuishouding

De resultaten van de regionale modellen kunnen worden gebruikt om met hydrologische modellen de effecten van de klimaatverandering op de waterhuishouding te onderzoeken. Voor de simulatie van de afvoer werden in het Rijnstroomgebied vooral de volgende modellen gebruikt: Rhineflow, HBV (alle twee in combinatie met het waterbewegingsmodel SOBEK), LARSIM en WaSIM-ETH (ASGi). Voor de simulatie van de watertemperatuur kunnen vooral de modellen SOBEK en LARSIM-WT worden gehanteerd.

Uit de resultaten van de hydrologische modellen op basis van de klimaatprojecties blijkt tot 2050 voornamelijk een duidelijke toename van de gemiddelde afvoer in het winterhalfjaar en een afname van de gemiddelde afvoer in het zomerhalfjaar.

Op het meetpunt Lobith neemt de gemiddelde afvoer in de winter toe met maximaal +16% en in de zomer af met -42% (modelketen: KNMI'06 (scenario W+) → HBV en Rhineflow; tot 2050).

De modelketen ECHAM4 (emissiescenario B2) → WETTREG → LARSIM (2021-2050) laat ook op meetpunten in Baden-Württemberg een duidelijke toename van de gemiddelde afvoer zien.

Volgens dit schema nemen in het winterhalfjaar de gemiddelde hoogwaterafvoeren op het meetpunt Rockenau/Neckar toe met ca. +40%, terwijl de gemiddelde laagwaterafvoeren in het zomerhalfjaar op hetzelfde niveau blijven.

De simulatieresultaten vertonen wel grote regionale verschillen. Op het meetpunt Schwaibach/Kinzig neemt de gemiddelde laagwaterafvoer in het zomerhalfjaar bijv. af met -16%.

De combinatie van het regionale model CHRM (op basis van HadAM3H, emissiescenario A2, periode 2071-2100 in vergelijking met 1961-1990) en het waterhuishoudingsmodel WaSIM resulteert voor het meetpunt Keulen in een daling van de gemiddelde afvoer in de zomer en de herfst met maximaal -42%, terwijl de gemiddelde afvoer in de winter met maximaal +14% stijgt.

Een vergelijkbaar resultaat m.b.t. de toekomstige veranderingen in de afvoer wordt voor het meetpunt Lobith verkregen met het model Rhineflow (op basis van het globale model HadCM3 (emissiescenario A2; periode 2070-2099) en HadRM3H): de gemiddelde afvoer neemt in de zomer af met -40% en in de winter toe met +30%. Hieruit resulteert een toename van de hoogwaterafvoer met een herhalingsstijd van 100 jaar HQ_{100} met +10% tot +30%.

Op basis van de modelresultaten van ECHAM4 (emissiescenario B2) → WETTREG → LARSIM (2021-2050) is er voor Baden-Württemberg ook statistisch onderzoek verricht naar de extreme waarden in de afvoerverandering. Op basis hiervan is er voor de periode tot 2050 een toename van de HQ_{100} -waarde met +15% tot +25% (regionaal gedifferentieerd) vastgelegd. De laagwaterafvoer met een herhalingsstijd van 100 jaar NQ_{100} neemt in de zijrivieren naar het Bodensee en in het Hoogrijngebied duidelijk af, terwijl de NQ_{100} -waarden in andere regio's ook kunnen toenemen.

Vast staat wel dat, als gevolg van de te stellen aannames t.a.v. de emissiescenario's en als gevolg van de onzekerheden in de modelketen van het globale model over het regionale model naar het hydrologische model, er met grotere zekerheid uitspraken kunnen worden gedaan over de toekomstige ontwikkeling van gemiddelde afvoeren dan over de minima en maxima, zoals bijv. de HQ -waarde, en vooral de extreme waarden, zoals de HQ_{100} -waarde.

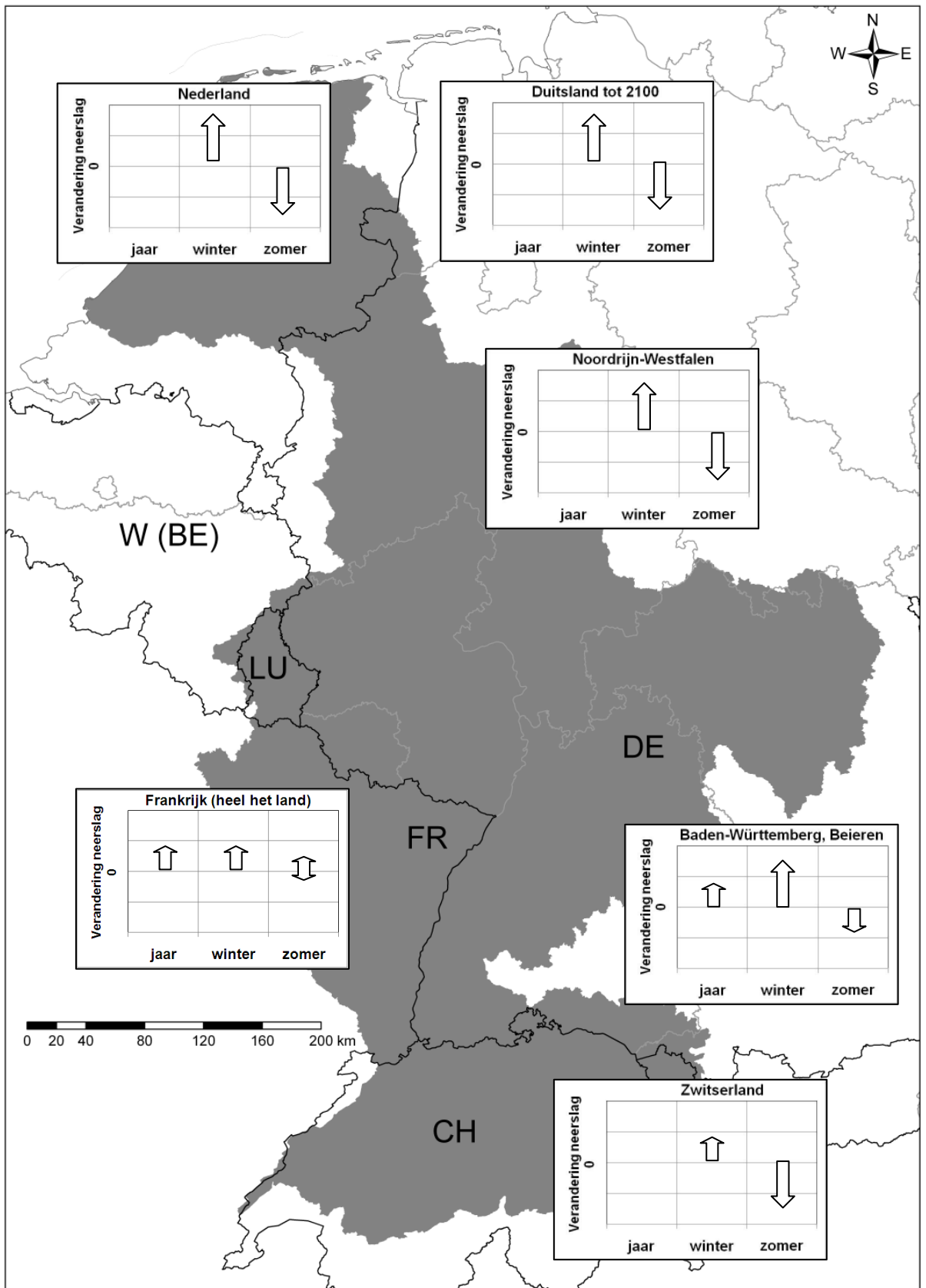


Fig. 3: Mogelijke toekomstige verandering in de neerslag in het Rijnstroomgebied tot 2050 voor het hydrologisch winter- en zomerhalfjaar en voor het jaar (schematische weergave, gebaseerd op een heterogene gegevensbasis (Frei 2004, KLIWA 2006c, KNMI 2006, LÖBF 2006, ONERC 2008b, ONERC 2008c, ONERC 2008d, UBA 2007a))

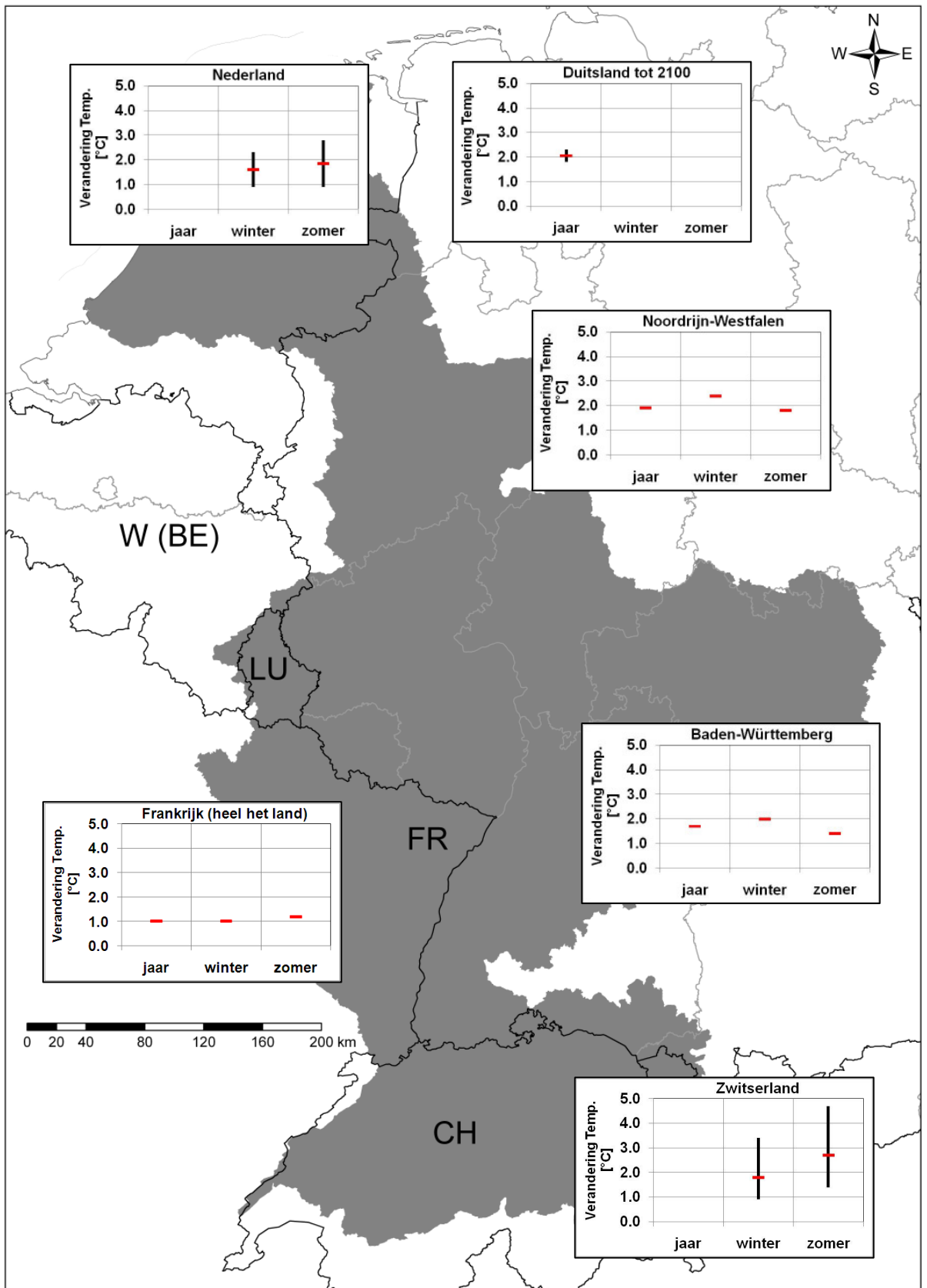


Fig. 4: Mogelijke toekomstige verandering in de luchttemperatuur (minima, gemiddelden en maxima) in het Rijnstroomgebied tot 2050 voor de meteorologische winter en zomer en voor het jaar (gebaseerd op een heterogene gegevensbasis (Frei 2004, KLIWA 2006c, KNMI 2006, LÖBF 2006, ONERC 2008e, ONERC 2008f, ONERC 2008g, UBA 2007a))

1. Taakstelling en methode

Een stijging van de mondiale temperaturen als gevolg van de antropogene emissies van broeikasgassen wordt inmiddels als bewezen aangenomen, omdat de meetgegevens significant zijn veranderd. Naast de temperatuur veranderen echter ook andere klimaatgrootheden, zoals bijv. de neerslag, zodat de klimaatverandering gevolgen heeft voor de hele waterhuishouding.

De veranderingen van de klimaatgrootheden als gevolg van de klimaatverandering verschillen van regio tot regio. De Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn (ICBR) heeft daarom de opdracht gekregen een onderzoek op te stellen naar scenario's voor het afvoerregime van de Rijn, teneinde de regionale gevolgen van de klimaatverandering voor het Rijnstroomgebied te kunnen inschatten.

In de ICBR is een expertgroep (EG) KLIMA ingesteld voor de uitwerking van het onderzoek naar scenario's. In een eerste stap zijn de volgende punten als kerntaken van de EG KLIMA gedefinieerd:

- Samenvattende analyse van de veranderingen die zich tot dusver hebben voorgedaan in het klimaat en de waterhuishouding en
- inschatting van de effecten van mogelijke klimaatveranderingen op de waterhuishouding ten behoeve van de beoordeling van toekomstige ontwikkelingen.

De leden van de expertgroep hebben publicaties en documenten over de actuele stand van de kennis over veranderingen in het klimaat en de waterhuishouding en over de effecten van de klimaatverandering op de waterhuishouding in het Rijnstroomgebied ter beschikking gesteld.

Hieronder wordt de door de leden ter beschikking gestelde informatie inhoudelijk en geografisch gerangschikt en kort beschreven.

- In een eerste stap wordt de informatie uitgesplitst naar de onderzochte parameters. Daarbij wordt bij de analyse van de klimaatverandering voornamelijk ingegaan op de twee bepalende grootheden voor de waterhuishouding: luchttemperatuur en neerslag. Voor de verandering van de waterhuishouding zelf worden in de eerste plaats de jaarlijkse gang van de gemiddelde afvoer (afvoerregime) en de jaarlijkse maximum- en minimumwaarden van de afvoer (HQ- en NQ-waarden) geëvalueerd. Daarnaast wordt ook nog gekeken naar de verandering van de watertemperatuur.
- In een tweede stap wordt de informatie geografisch ingedeeld. De informatie die betrekking heeft op het hele Rijnstroomgebied wordt in de opsomming eerst genoemd. Daarna volgt de informatie van de bovenloop van de Rijn (Zwitserland) tot aan de monding (Nederland).

Deze samenvatting heeft tot doel een overzicht te geven van de onderzoeken die op dit moment beschikbaar zijn in het Rijnstroomgebied. De onderzoeken worden niet beoordeeld op hun betrouwbaarheid en er worden ook geen conclusies uit getrokken. De onzekerheid die vooral bestaat bij de resultaten m.b.t. de mogelijke klimaatveranderingen op basis van modelresultaten wordt evenmin geanalyseerd.

De leden van de EG KLIMA hebben de informatie deels digitaal en deels op papier gestuurd. Sommige informatie kan van internet worden gedownload. De Nederlandse delegatie was zo vriendelijk en had reeds alle beschikbare informatie over Nederland samengevat en in het Engels ter beschikking gesteld.

De leden hebben in totaal 110 publicaties ingediend:

- Zwitserland: 23 publicaties (3 digitaal, 11 op papier, 9 internet)
- Baden-Württemberg: 16 publicaties (digitaal)
- Rijnland-Palts: 8 publicaties (overzichtstabel)
- Noordrijn-Westfalen: 6 publicaties (5 digitaal, 1 op papier)
- Bundesanstalt für Gewässerkunde: 8 publicaties (digitaal)
- ICBR: 3 publicaties (digitaal)
- Project RheinBlick: 8 publicaties, 1 bibliografielijst
- Frankrijk: 4 publicaties (1 digitaal, 3 internet)
- Luxemburg: 4 publicaties (4 digitaal), 1 bibliografielijst
- Nederland: 30 publicaties (digitaal), 1 samenvatting

Hieronder wordt alle aangeboden informatie weergegeven. In een paar gevallen zijn naast de info uit de ter beschikking gestelde documenten nog verdere gegevens opgenomen.

Dit overzicht pretendeert niet volledig te zijn. Bovendien wordt er op gewezen dat er grote verschillen kunnen bestaan tussen de publicaties.

- De evaluatiemethoden die voor de analyse van de gegevens werden toegepast, lopen uiteen (bijv. verschillende methoden voor de trendanalyse en voor het testen van de significantie van de veranderingen).
- De geëvalueerde perioden zijn op verschillende manieren gedefinieerd (bijv. winter: meteorologische winter (december tot februari) of hydrologisch winterhalfjaar (Zwitserland: oktober tot maart; Duitsland: november tot april). Er wordt geprobeerd om in de tekst tenminste een onderscheid te maken tussen winter c.q. zomer (drie maanden) en winterhalfjaar c.q. zomerhalfjaar (zes maanden) (voor zover dit ook duidelijk is in de publicaties).
- Er bestaan grote verschillen in de resolutie in ruimte en tijd van de gegevens (bijv. duur van de onderzochte tijdreeks, aantal meetstations).
- De onderzoeken hebben vaak geen betrekking op het Rijnstroomgebied, maar bijv. op deelstaten of andere regionale eenheden. Bij de synthese is geprobeerd de afzonderlijke onderzoeksresultaten, voor zover mogelijk, toe te passen op het Rijnstroomgebied.
- De gedifferentieerde resultaten van enkele, deels omvangrijke, onderzoeken worden slechts summier weergegeven.
- De documenten zijn op verschillende tijdstippen opgesteld. Vroegere uitspraken kunnen worden aangepast op basis van recentere inzichten. De datum van publicatie wijst op de mate van actualiteit van het document.
- Er is geen informatie beschikbaar over de kwaliteit van de geëvalueerde meetgegevens. Extreme waarden van laagwater en hoogwater moeten bijv. kritisch worden bekeken.

Omdat de gegevensbasis zo heterogeen is, dient de vergelijking van de afzonderlijke resultaten van de publicaties voornamelijk als overzicht van de beschikbare onderzoeken. Alle cijfers zijn slechts aanknopingspunten voor de verdere ontwikkeling.

2. Algemeen onderzoek naar de klimaatverandering in het Rijnstroomgebied

Rijnstroomgebied:

- Het project "RheinBlick2050" heeft tot doel gemeenschappelijke consistente klimaat- en afvoerprojecties voor het internationaal Rijngebied op te stellen om de toekomstige veranderingen van relevante hydrometeorologische parameters in het Rijnstroomgebied te bepalen. Daarnaast moet het leiden tot een beter inzicht in de effecten op hydrologische en hydraulische processen. Het project loopt van 2007 tot 2009. De CHR coördineert dit project (<http://www.chr-khr.org>).
- De effecten van de klimaatverandering op de waterwegen en de mogelijke te nemen maatregelen worden behandeld in het project KLIWAS (<http://www.kliwas.de>). De hydrometeorologische informatie uit een "ensemble" van klimaatmodellen wordt gebruikt om te komen tot betrouwbare uitspraken over de range van mogelijke klimaatveranderingen. Naast de klimaatmodellen worden verdere, op waarnemingsgegevens gebaseerde producten meegenomen in de beoordeling. Het project loopt van 2007 tot 2011. Het projectgebied omvat alle internationale stroomgebieden in Duitsland; maar de meer gedetailleerde evaluaties worden in de eerste plaats voor de Rijn uitgevoerd (BfG 2008a, BfG 2008b, Moser *et al.* 2008b). Een internationale werkgroep houdt zich bovendien bezig met de gevolgen van de klimaatverandering voor de scheepvaart aan de hand van het voorbeeld van de Rijn (Moser *et al.* 2008a).
- Voor de projecten KLIWAS en RheinBlick2050 worden in het deelproject HYRAS hydrologische relevante sets van rooster- en roosterpuntgegevens opgesteld voor Duitsland en voor de Duitse delen van de internationale stroomgebieden van de Rijn, de Donau en de Elbe op basis van meteorologische, op kwaliteit gecontroleerde waarnemingsgegevens. Op die manier ontstaat een uniforme basis met meetgegevens.
- Het project HYMOG ("Hydrologische Modellierungsgrundlagen im Rheingebiet") heeft tot doel de hydrologische basis voor de modellering in het Rijngebied te verbeteren (bijv. opstellen van consistente gegevensreeksen (uurwaarden W en Q)) en de hydraulische modellen aan te passen.
- Het ACER-project ("Developing Adaptive Capacity to Extreme events in te Rhine basin") onderzoekt hoe het waterbeheer in het Rijnstroomgebied wordt veranderd door ontwikkelingen op lange termijn (klimaatverandering, sociaaleconomische ontwikkelingen, ruimtelijke ordening en politieke veranderingen). Het doel bestaat erin een Rijnmodel op te stellen waarmee mogelijke toekomstige veranderingen in hoog- en laagwater kunnen worden gekwantificeerd (<http://ivm5.ivm.vu.nl/adaptation/project/acer>).

Zwitserland:

- De expertgroepen hebben onder leiding van het Zwitserse adviesorgaan voor klimaatonderzoek en klimaatverandering (Occc) de verwachte effecten van de klimaatverandering op het milieu, de maatschappij en de economie verzameld (<http://www.occ.ch>). Het rapport van het OccC (2007) geeft een samenvatting van de stand van kennis over de klimaatverandering in Zwitserland. Het rapport bevat ook een hoofdstuk over de gevolgen voor het waterbeheer.

- Volgens Zwitserland worden de belangrijkste resultaten van het VN-klimaatrapport (IPCC 2007) samengevat in het OcCC (2008).
- In een oud rapport (OcCC 2003) wordt, nadat is ingegaan op het verschijnsel van extreme gebeurtenissen als gevolg van klimaatverandering (verklaring van de vaktermen en inleiding in de wetenschappelijke methoden en grondbeginselen), een overzicht gegeven van de stand van kennis over de belangrijkste categorieën van extreme gebeurtenissen in Zwitserland (extreme temperaturen, vorst, droogte, bosbrand, zware neerslag, hagel, hoogwater, bodembewegingen, lawines en winterstormen).
- Aan de hand van geselecteerde voorbeelden in BAFU (2007a) worden de relaties en het verband tussen klimaatverandering, toestand van het milieu en maatschappij gekenschetst en wordt vastgelegd hoe de politiek en de economie op deze veranderingen reageren.
- Uit onderzoeken naar de effecten van de klimaatverandering op de Zwitserse economie (nationale en internationale invloeden) blijkt dat de economische schade als gevolg van de klimaatverandering acceptabel is (BAFU 2007b).

Alpen:

- Het in 2008 afgeronde project ClimChAlp ("Climate change, impacts and adaptation strategies in the Alpine Space") was gericht op bewustmaking van het publiek door voorlichting over de gevolgen van de klimaatverandering voor de Alpenregio (<http://www.climchalp.org>).
- Het project AdaptAlp ("Adaptation to Climate Change in the Alpine Space") heeft tot doel de gevolgen van de klimaatverandering en de adaptatiestrategieën in de alpiene regio vast te stellen; het project loopt tot 2013 (<http://www.adaptalp.org>).

Rijnland-Palts, Baden-Württemberg en Beieren:

- In het samenwerkingsproject KLIWA ("klimaatverandering en gevolgen voor het waterbeheer") van de Duitse deelstaten Baden-Württemberg en Beieren, alsmede de Duitse meteorologische dienst worden de mogelijke effecten van een klimaatverandering op de waterhuishouding in de afzonderlijke stroomgebieden van de twee Duitse deelstaten ingeschat. In de onderzoeken die in 1999 zijn opgestart wordt de focus gelegd op de nu en de in de toekomst te verwachten klimatologische omstandigheden. Hierop voortbouwend worden de kwesties over het waterbeheer behandeld. Rijnland-Palts neemt sinds 2007 deel aan dit project (KLIWA 2006a, <http://www.kliwa.de/>).

Hessen:

- In Hessen worden de projecten rond klimaatverandering en de gevolgen voor het waterbeheer uitgevoerd in het kader van de INKLIM-programma's ("Geïntegreerde klimaatbeschermingsprogramma's") (Brahmer 2007, <http://www.hlug.de/medien/luft/inklim/index.htm>).

Noordrijn-Westfalen:

- Informatie over de klimaatverandering en de gevolgen hiervan voor Noordrijn-Westfalen is te vinden onder: http://www.lanuv.nrw.de/klima/home_klima.htm.

Duitsland:

- De Federale milieudienst (UBA) heeft een competentiecentrum KomPass ("gevolgen van de klimaatverandering en adaptatie") opgericht om informatie ter beschikking te stellen voor de preventie van de risico's van de klimaatverandering (<http://osiris.uba.de/gisudienste/Kompass/index.htm>).

Frankrijk:

- Boé (2007) en Terray & Braconnot (2007) geven een overzicht van de actuele onderzoeken naar de klimaatverandering in Frankrijk.
- Het Franse observatorium voor de gevolgen van de opwarming van de aarde (ONERC) is vertegenwoordigd in een werkgroep van de ministeries die de gevolgen van de klimaatverandering, de kosten van de schade en de adaptatiestrategieën evalueert (<http://www.ecologie.gouv.fr/-ONERC-.html>).

Nederland:

- In Loon & Droogers (2007) wordt een overzicht gegeven van de 134 onderzoeksprojecten in Nederland die verschillende aspecten van de klimaatverandering en adaptatiestrategieën behandelen.
- Algemene adaptatiestrategieën (ook voor hoogwater in het algemeen) zijn te vinden onder <http://www.ruimtevoorderivier.nl> of in VenW (2007a, geciteerd in Wit 2008) en VenW (2007b).
- Strategieën voor het overstromingsrisicobeheer zijn ontwikkeld in het kader van het IRMA-SPONGE-Project (Hooijer *et al.* 2001).
- Informatie over een project ter ontwikkeling van adaptatiestrategieën voor de klimaatverandering staat onder <http://www.kennisvoorklimaat.nl>, zie ook Kabat *et al.* (2005).
- Het onderzoeksproject "Ruimte voor Klimaat" bestudeert de gevolgen van klimaatverandering en de manieren om daarmee om te gaan (<http://www.klimaatvoorruimte.nl/>).
- De Deltacommissie heeft adviezen uitgewerkt om de gevolgen van de klimaatverandering m.b.t. hoogwater te mitigeren (<http://www.deltacommissie.com/>).
- Een samenvattend overzicht van de effecten van de klimaatverandering op verschillende aspecten (ook de waterkwaliteit) staat in MNP (2005).
- Schomaker (2007) geeft een algemene inschatting van de effecten van de klimaatverandering op de waterkwaliteit.

Europa:

- In het kader van het ECA&D-project ("European Climate Assessment & Dataset") worden indices voor de monitoring en de analyse van de klimaatveranderingen en de dagelijkse gegevens ter beschikking gesteld onder: <http://eca.knmi.nl/>.

3. Samenvattende analyse van de klimaatveranderingen tot dusver

3.1 Veranderingen tot dusver in de neerslag

Rijnstroomgebied:

- De gemiddelde neerslag in het Rijngebied vertoont over de twintigste eeuw veranderingen in de jaarwaarden en nog sterkere veranderingen in de halfjaarwaarden. Dit wordt veroorzaakt door veranderingen in de atmosferische circulatiepatronen. Bepalend daarbij zijn de natte circulatietypen, die steeds vaker voorkomen en vooral in vlakke deelstroomgebieden buiten de alpiene regio tot hogere jaarlijkse neerslagsommen hebben geleid.

Opgesplitst naar seizoenen nemen de neerslagsommen in het winterhalfjaar duidelijk en in het zomerhalfjaar licht toe. De laatstgenoemde sommen nemen in grote delen van het zuidelijke Rijngebied zelfs af, omdat hier de frequentie van de natte circulatietypen niet doorslaggevend toeneemt.

Op figuur A-1 in de bijlage worden de trends in de verandering van de jaarlijkse gebiedsneerslag weergegeven voor de tijdreeks 1901-2000 voor verschillende deelstroomgebieden van de Rijn (zonder de Alpenrijn) (CHR 2007).

Zwitserland:

- Significant stijgende trends in het aantal natte dagen en in de neerslaghoeveelheid, vooral in de winter en in de lente (109 stations, dagwaarden, tijdreeks 1931-2000). De trend is in de recentere periode 1971-2000 echter niet meer vast te stellen (Birsan *et al.* 2004, Birsan *et al.* 2005).
- Toename van de jaarlijkse neerslagsom in de twintigste eeuw met ca. 120mm (8%), waarbij vooral de som van de winterneerslag in het noordelijke en westelijke Alpengebied is toegenomen (Schädler 2007a, Schädler & Weingartner 2007, Schädler 2008a).
- Significante toename van de neerslagsom (in vier van negen stations, tijdreeks 1865-2001) in het winterhalfjaar, vooral sprongsgewijze toename van de neerslag aan het eind van de jaren zeventig. In het zomerhalfjaar en in de jaarwaarden (tijdreeks 1880-2001) treden geen significante veranderingen in de neerslag op (Bader & Bantle 2004, p. 2). In de tweede helft van de negentiende eeuw wordt een toename van zware neerslag, vooral in het zomerhalfjaar, vastgesteld (Bader & Bantle 2004, p. 36).
- Toename van de gesommeerde winterneerslag en deels ook van de jaarlijkse neerslag (jaarlijkse toename: 7% - 10%, toename in de winter: 16% - 37%) (twaalf stations ten noorden van de hoofdbergkam van de Alpen, tijdreeksen 1864-2000) (Begert *et al.* 2005).
- Toename van de gesommeerde winterneerslag in de loop van de twintigste eeuw, vooral in het noordelijke en westelijke deel van Zwitserland. De veranderingen in de neerslag op lange termijn worden echter pas langzaam zichtbaar, omdat de natuurlijke variabiliteit groot is. De laatste jaren valt er over Zwitserland even veel neerslag als in de periode 1961-1990 (OcCC 2008, p. 16).

Baden-Württemberg en Beieren:

- In meer dan 80% van de gebieden kan er geen trend worden vastgesteld in de jaarlijkse neerslagsom (ca. 2.000 stations, tijdreeks 1931-1997). Er wordt wel een afname van de gesommeerde zomerneerslag genoteerd (vooral door het dalende aantal dagen met hoge gebiedsneerslag (> 15mm/d) en een toename van de gesommeerde winterneerslag (door een stijging van de gemiddelde verwachte neerslag per dag, maar ook door een gestegen kans op dagen met zeer veel neerslag) (KLIWA 2005c).
- Slechts een lichte toename van de gemiddelde jaarneerslag in de periode 1931-2005, maar wel een duidelijke verschuiving van het zomerhalfjaar naar het winterhalfjaar (toename in het winterhalfjaar met max. 30% o.a. in het Rijndal) (KLIWA 2008a).
- Duidelijke toename van de neerslaghoeveelheid bij hevige neerslag (neerslagmaxima) in het winterhalfjaar (415 stations, periode 1931-2000). Daarentegen kan in het zomerhalfjaar geen duidelijke trend worden vastgesteld. Daarnaast toename van extreem natte perioden (vooral in het winterhalfjaar); de waarnemingen zijn evenwel minder significant dan bij de hevige neerslag. De oorzaak van de toename van de neerslag in het winterhalfjaar is te vinden in de hogere frequentie van zonale en gemengde circulatiepatronen (KLIWA 2006b).
- Uit het aanvullende onderzoek naar de jaren 2001-2005 is gebleken dat er over het algemeen geen verdere toename kan worden vastgesteld in de tot nu toe waargenomen trends in de maxima bij hevige neerslag (KLIWA 2008a).

Rijnland-Palts:

- Toename van de gemiddelde neerslaghoeveelheid in het winterhalfjaar (ook vaker westelijke circulatietypen) (tijdreeks 1954-2000). In de meeste gebieden toename van de neerslagsom in de winter en afname van de neerslagsom in de zomer (LUWG 2007, p. 36-40).

Noordrijn-Westfalen:

- Positieve trend in de jaarlijkse neerslagsom met een toename van meer dan 100mm in enkele regio's, in andere regio's daarentegen geen verandering (473 stations, tijdreeks 1951-2000). Meer winterneerslag. Stijging van het aantal dagen met zware neerslag (> 10mm) tot 8 dagen per jaar en duidelijke daling van het aantal dagen (tot 40) met geen of weinig neerslag (LÖBF 2004).
- In een vervolgonderzoek wordt de ontwikkeling van het klimaat in de afzonderlijke landschapsvormen in Noordrijn-Westfalen apart bekeken en naar seizoenen gedifferentieerd. Als gevolg van de regionale verschillen kan er geen uniforme trend worden vastgesteld in de jaarlijkse neerslag (473 stations, tijdreeks 1951-2000) (LÖBF 2006).

Luxemburg:

- Toename van de neerslagsom (ook toename van de neerslagintensiteit en -duur) in de winter en afname van de neerslagsom in de zomer (21 stations, tijdreeks 1954-2000). De toename van de neerslag in de winter is vooral toe te schrijven aan een significante toename van bepaalde westelijke luchtstromingen (Pfister *et al.* 2004).

Luxemburg, Frankrijk:

- Uit de analyse van de neerslag in het winterhalfjaar tijdens cyclonale, westelijke luchtstromingen blijkt een toename van de neerslagsom, vooral vanaf 1979 (95 stations, tijdreeks 1954-2000) (Drogue *et al.* 2006).

Frankrijk:

- Toename van de neerslag in het noorden van Frankrijk en afname in het zuiden in het winterhalfjaar (308 stations, vergelijking van 1900-2000 met 1950-2000) (Boé & Terray 2008).

Nederland:

- De gemiddelde jaarlijkse neerslaghoeveelheid is de voorbije honderd jaar met 18% toegenomen (KNMI 2008). Toename van de neerslagsom per seizoen: winter 26%, lente 21%, herfst 26%, zomer 3% (<http://www.knmi.nl>).
- Toename van het aantal dagen met neerslag ≥ 10 mm en ≥ 20 mm (gemiddelde van 13 stations) (<http://www.knmi.nl>, geciteerd in Wit 2008).
- Sinds 1980: toename van het aantal dagen met neerslag ≥ 10 mm in het winterhalfjaar in het Maasgebied (Tu *et al.* 2005b).
- Toenemende trend in de jaarlijkse neerslagsom, vooral in de gesommeerde neerslag in het winterhalfjaar, geen verandering in het zomerhalfjaar. Toename van het aantal dagen met veel neerslag (> 15 mm/dag) (station De Bilt, tijdreeks 1906-2003) (MNP 2005, p.27).

Europa:

- De weerstations in het Rijnstroomgebied vertonen een positieve trend in het aantal dagen met neerslag ≥ 20 mm (gegevensbasis: Europese weerstations, tijdreeks 1946–2004) (<http://eca.knmi.nl/>, geciteerd in Wit 2008).

3.2 Veranderingen tot dusver in de luchttemperatuur

Zwitserland:

- Significant positieve trends op jaarbasis maar ook per seizoen ten aanzien van de dagen met $t_{\min} > 0^{\circ}\text{C}$ (16 (tijdreeks 1931-2000) c.q. 46 (tijdreeks 1971-2000) stations, dagwaarden) (Birsan *et al.* 2004, Birsan *et al.* 2005).
- Toename van de temperatuur in de twintigste eeuw met $1,3^{\circ}\text{C}$ in het Duitstalige gedeelte van Zwitserland ($1,6^{\circ}\text{C}$ in West-Zwitserland) (mondiaal gemiddelde: $0,42^{\circ}\text{C}/100$ jaar; noordelijk halfrond: $0,63^{\circ}\text{C}/100$ jaar). In dit verband zijn er temperatuursprongen vastgesteld aan het begin en het einde van de 20^{ste} eeuw (Schädler 2007a, Schädler & Weingartner 2007).
- Hogere temperaturen in het winterhalfjaar (in acht van tien meetstations, tijdreeks 1864-2001) (trend tussen $+1,4^{\circ}\text{C}$ en $+1,6^{\circ}\text{C}/100$ jaar), los van de hoogte van het station. In de zomer ligt de vastgestelde trend tussen $+0,6^{\circ}\text{C}$ en $+0,9^{\circ}\text{C}/100$ jaar. Vooral snelle temperatuurstijging vanaf 1980 (Bader & Bantle 2004, p. 18).

- Stijging van de luchttemperatuur met $+1,1^{\circ}\text{C}/100$ jaar (tijdreeks 1864-2005), de lineaire trend over 1971-2005 bedraagt $+0,49^{\circ}\text{C}/10$ jaar (noordelijk halfmond: $+0,32^{\circ}\text{C}/10$ jaar) (MeteoSchweiz 2008).
- Toename van de gemiddelde luchttemperatuur in Zwitserland sinds 1970 met $+1,5^{\circ}\text{C}$ (OcCC 2008, p. 16).

Baden-Württemberg en Beieren:

- Stijging van de gemiddelde luchttemperatuur met $+0,5^{\circ}\text{C}$ tot $+1,2^{\circ}\text{C}$ (354 stations, tijdreeks 1931-2000), sterkste opwarming in december (toename met $+1,8^{\circ}\text{C}$ tot $+2,7^{\circ}\text{C}$). Toename vooral in de hoger gelegen gebieden tot ca. 500 meter boven NN (= "Normalnull", gemiddeld zeeniveau). In het winterhalfjaar hogere frequentie van westelijke en zuidwestelijke luchtstromingen en lagere frequentie van winterse circulatietypen uit noordelijke en noordoostelijke, oostelijke en zuidoostelijke richting. Minder duidelijke uniforme trends in het zomerhalfjaar (sterkste temperatuurstijging in augustus en oktober, in sommige gebieden met $+0,8^{\circ}\text{C}$ tot $+1,7^{\circ}\text{C}$) (KLIWA 2005a).
- Duidelijke toename van de gemiddelde luchttemperatuur (tijdreeks 2001-2005). Versterking van de positieve trends in de tijdreeks 1931-2000, vooral in het zomerhalfjaar. Uit waarnemingen op lange termijn blijkt de temperatuurstijging in het winterhalfjaar ($+1,0^{\circ}\text{C}$ tot $+1,3^{\circ}\text{C}$) groter te zijn dan in het zomerhalfjaar ($+0,7^{\circ}\text{C}$ tot $+1,1^{\circ}\text{C}$). Toename vooral in januari, augustus en december; amper significante veranderingen in april, juni, september en november (KLIWA 2008a).
- De stijgende luchttemperatuur kan niet worden toegeschreven aan een toename van de zonneshijnduur (26 stations, tijdreeks 1931-2006). De tijdreeks 1931-2000 vertoont significant negatieve trends in de jaarlijkse zonneshijnduur, in voor de periode 1951-2000 en in 2003 wordt evenwel een afzwakking van de negatieve trend vastgesteld (KLIWA 2008b).

Rijnland-Palts:

- Temperatuurstijging in de winter met $+1^{\circ}\text{C}$ tot $+2^{\circ}\text{C}$, in de zomer en de lente met $+0,5^{\circ}\text{C}$ tot $+1,5^{\circ}\text{C}$, in het najaar verandert de temperatuur bijna niet (tijdreeks 1951-2000). Toename van de gemiddelde jaartemperatuur met $+0,8^{\circ}\text{C}$ (tijdreeks 1901-2004) (LUWG 2007, p. 24 en volgende).

Noordrijn-Westfalen:

- Toename van de jaargemiddelde luchttemperatuur in enkele regio's met $+0,8^{\circ}\text{C}$ tot $+1,5^{\circ}\text{C}$ (217 stations, tijdreeks 1951-2000). Afname van het aantal vorstdagen met maximaal 20 dagen/jaar (gemiddeld per jaar nu tussen de 36 en 114 vorstdagen). Toename van het aantal zomerdagen met maximaal 20 dagen/jaar (gemiddeld per jaar nu, afhankelijk van de hoogteligging, tussen de 9 en 40 zomerdagen) (LÖBF 2004).
- Lichte temperatuurstijgingen tussen 1951 en 1990, pas in het decennium 1991-2000 wordt de opwarming duidelijker (LÖBF 2006).

Luxemburg:

- Toename van de maandgemiddelde dagmaxima met $+0,7^{\circ}\text{C}$ over het jaar en met $1,4^{\circ}\text{C}$ in de zomer en de winter. Lichtere toename van de maandgemiddelde dagminima ($+0,3^{\circ}\text{C}$ tot $+0,6^{\circ}\text{C}$ over het jaar en ca. $+0,9^{\circ}\text{C}$ in de zomer en de winter) (vijf stations, tijdreeks 1949-1998) (Droque *et al.* 2004).

Nederland:

- Stijging van de gemiddelde jaarlijkse luchttemperatuur met $1,2^{\circ}\text{C}$ (in de zomer $+1,3^{\circ}\text{C}$ en in de winter $+1,1^{\circ}\text{C}$) (tijdreeks 1900-2000, Station De Bilt). De lineaire trend bedraagt $+1,4^{\circ}\text{C}/100$ jaar over het jaar genomen ($+1,1^{\circ}\text{C}/100$ jaar in de winter, $+1,6^{\circ}\text{C}/100$ jaar in de zomer) (tijdreeks 1901-2007, Station De Bilt). De trend is alleen in de zomer enigszins lineair, terwijl er in de winter in de tweede helft van de twintigste eeuw een duidelijk toenemende trend wordt vastgesteld die boven de trend van de zomer ligt (Beersma 2008, http://www.knmi.nl/klimaatverandering_en_broeikaseneffect/klimaat_en_klimaatverandering/deel_4.html).
- Stijging van de luchttemperatuur in de twintigste eeuw, afname van het aantal koude dagen, toename van het aantal warme dagen (station De Bilt) (MNP 2005, p. 25 en 26).

3.3 Veranderingen tot dusver in de sneeuw en de gletsjers

Zwitserland:

- Afname van de massabalans, waarbij er grote verschillen bestaan tussen naast elkaar gelegen gletsjers (vier gletsjers, tijdreeks 1865-2006) (Huss *et al.* 2008).
- Toename van de massa tot ca. 1980, gevolgd door een significante afname tot het eind van de twintigste eeuw bij gemiddelde sneeuwhoogte, gemiddelde duur van het sneeuwdek en een gemiddeld aantal dagen met sneeuwval (190 stations, 275m tot 2.540m boven NN., tijdreeks 1931-1999). Geen trends voor stations boven 1.300m. Nadat de gletsjers in 1850 na de Kleine IJstijd hun maximale omvang hadden bereikt, is het oppervlak van de gletsjers nu met 40% en het volume van de gletsjers met ca. 50% gekrompen (Schädler & Weingartner 2007, Schädler 2008a).
- Afname van de gletsjermassa tot 45% (1974) en tot 24% (2000) van de massa in 1850 in het stroomgebied van het meetpunt Illanz (Voor-Rijn). De Rijn bij Illanz kreeg echter in de periode 1850-2000 per jaar gemiddeld minder dan 1% van zijn afvoer uit het smeltwater van gletsjers (CHR 2007, Belz 2005). De in de gletsjers vastgehouden hoeveelheid water speelt geen belangrijke rol in de waterhuishouding van Zwitserland (Schädler 2008a).
- Afname van de gemiddelde sneeuwbedekking in Zwitserland tussen 1975 en 1999 boven 440 meter met 50% en boven 2.200 meter met 15% (OcCC 2008, p. 27).
- Halvering van het oppervlak van de gletsjers en afname van het in de gletsjers vastgehouden watervolume met twee derde in de hele Europese Alpen (Schädler 2008a).

Baden-Württemberg en Beieren:

- Aantal dagen met een sneeuwdek, periode van de eerste tot de laatste dag met een sneeuwdek in een jaar, duur van de langste periode met een sneeuwdek, begindatum van de maximale hoogte van het sneeuwdek, dichtheid van het sneeuwdek, bestendigheid van het winterse sneeuwdek, maximumwaarde voor het waterequivalent: negatieve trend in alle genoemde grootheden, met uitzondering van de grootheid "periode van de eerste tot de laatste dag met een sneeuwdek" (tijdreeks 1951/52-1995/96). Deels geldt: hoe hoger het terrein, hoe zwakker de negatieve trend (KLIWA 2005b).

4. Samenvattende analyse van de veranderingen tot dusver in de waterhuishouding

4.1 Veranderingen tot dusver in de afvoer

Rijnstroomgebied:

- De over de maand gemiddelde afvoerwaarden (MQ(m)) van de winterhalfjaren vertonen afvoerverhogingen die het sterkst waren in februari, maart en december (38 meetpunten, tijdreeksen 1901-2000 en 1951-2000). De duidelijkste afvoerverhogingen worden vastgesteld in februari (vooral in de Middenrijn en de zuidelijke Duitse Nederrijn). De kleinste toenames worden geregistreerd in de Hoogrijn en de benedenloop van de Duitse Nederrijn.

Ten noorden van de Main zijn er in het zomerhalfjaar in augustus en september verlagingen van de MQ(m)-waarden vastgesteld. In totaal is daar over het jaar gezien de gemiddelde afvoer hoger. Ten zuiden van de Main neemt het aantal maanden met een lagere afvoer in de zomer toe en neemt de afvoer in het algemeen duidelijk af (vooral in juli). De variabiliteit binnen een jaar daalt in dit gebied (verschuiving van de afvoer van de zomermaanden naar de wintermaanden); de gemiddelde jaarafvoeren zijn amper veranderd.

Figuur A-1 in de bijlage geeft de trends in de ontwikkeling van de MQ(j)-waarden op de meetpunten (zonder de Alpenrijn) en de ontwikkeling van de jaarlijkse gebiedsneerslag voor de tijdreeks 1901-2000 weer (CHR 2007).

- Het afvoerregime op het meetpunt Bazel wordt in de loop van de twintigste eeuw evenwichtiger. De laagste afvoer wordt nu in november (periode 1975-2000) vastgesteld in plaats van in februari (periode 1900-1925). De afname van de gemiddelde afvoer in het zomerhalfjaar en de toename in het winterhalfjaar is ook duidelijk op het meetpunt Keulen. De neerslaggerelateerde verhoging van de afvoer in de winter leidt op de meetpunten ten noorden van de Main tot een vergroting van de schommeling in het afvoerregime (amplitude) (Belz 2005, Belz 2007).

Zwitserland:

- Toename van de gemiddelde jaarafvoer MQ(j) sinds 1961 vanwege de toename van de afvoeren in de winter en de lente, vooral verhoging van de winterse maximumafvoeren (in ca. 60-70% van de onderzochte meetstations) en van de matige tot lage afvoeren in de lente (49 meetpunten). Sterk verband tussen de trends in de afvoer en de gemiddelde hoogteligging van het stroomgebied, het oppervlak dat wordt bedekt door gletsjers en rotsen (positief) en de gemiddelde bodemdiepte in het stroomgebied (negatief). Dat betekent dus dat het regime in de alpiene afvoergebieden ingrijpend verandert (Birsan *et al.* 2004, Birsan *et al.* 2005).

Baden-Württemberg en Beieren:

- De wintermaanden na 1974 vertonen, vergeleken met vroegere jaren (tijdreeksen deels vanaf 1929), een toename van de maandgemiddelde hoogwaterafvoer MHQ, terwijl er in de andere maanden bijna geen verandering wordt vastgesteld (52 meetpunten) (KLIWA 2002).

Bodenmeer:

- Afname van de seizoenscomponent (schommelingen tussen het klassieke hoogwater in de zomer en de laagwaterstand in de winter) in het Bodenmeer sinds 1940. Afname van de jaarlijkse schommelingen met gemiddeld ca. 20% (Ostendorp *et al.* 2007).

Noordrijn-Westfalen:

- De jaargemiddelde afvoer verandert amper, maar er is wel een stijgende trend in het winterhalfjaar (ca. 5 tot 10%) en een dalende trend in het zomerhalfjaar (31 meetpunten, periode vanaf 1951). De gemiddelde laagwater- en hoogwaterafvoer (MNQ, MHQ) veranderen niet (MUNLV 2007b, p. 27).

Luxemburg:

- Significante afname van het aantal dagen met laagwater vanwege de toename van de basisafvoer als gevolg van de toename van de winterneerslag (negen meetpunten, tijdreeks 1954-2000) (Pfister *et al.* 2004).

Nederland:

- De analyse van de afvoeren (MQ(m)-waarden) op het meetpunt Lobith op basis van de vergelijking van het afvoerregime in 1911-1950 met het afvoerregime in 1951-2000 laat een lichte toename van de afvoeren in de winter en de lente zien (de Wit *et al.* 2007a, p. 8).
- Op het meetpunt Lobith (Rijn) is uitgaande van de MQ(m)-waarden in de periode 1975-2000 de winterafvoer gestegen en de zomerafvoer gedaald, vergeleken met eerdere perioden in de twintigste eeuw (MNP 2005, p. 40).

4.2 Veranderingen tot dusver in het hoogwater

Rijnstroomgebied:

- De toename van de jaarlijkse afvoermaxima (HQ-waarden) wordt veroorzaakt door de toename van de gesommeerde gebiedsneerslag in het winterhalfjaar en de hevige neerslag die zich tenminste in het zuidelijke stroomgebied steeds vaker voordoet (38 meetpunten, tijdreeksen 1901-2000 en 1951-2000). Daarnaast spelen ook andere processen een rol, zoals bijv. de veranderde looptijden van de hoogwatertopstanden in het hele waternet en antropogene invloeden. Op figuur A-2 in de bijlage worden de trends in de ontwikkeling van de HQ-waarden (zonder de Alpenrijn) voor de tijdreeks 1901-2000 weergegeven (CHR 2007).

De resultaten van de statistieken van extreme waarden op de meetpunten Maxau en Worms die de werkgroep "Manöver" van de Permanente Commissie in 2001 heeft gepubliceerd, verschillen niet van de resultaten van de Onderzoekscommissie Hoogwater uit 1978 (HSK 1978). Het onderzoek leidde tot de conclusie dat onder andere de verandering van de afvoeren HQ_{100} en HQ_{200} op de meetpunten Maxau en Worms (tijdreeks 1901-1999) geen klimatologische oorzaken heeft, maar het gevolg is van de waterbouwkundige ingrepen aan de Rijn.

Zwitserland:

- In de discussie over de klimaatverandering wordt vanwege de schommelingen van de hoogwaterfrequentie in de tijd de aanname van een aanhoudende trend in twijfel getrokken (NAEF 2007).
- Sinds 1500 zijn er aan de Rijn (meetpunt Bazel) meer dan vijftig overstromingen vastgesteld, maar vanwege de regulering van de meren aan de voet van de Alpen, de aanleg van krachtcentrales en de bebossing is het moeilijk om een trend af te leiden (Pfister 2006).

Baden-Württemberg:

- Nagenoeg alle grote overstromingen op de vijf onderzochte meetlocaties werden veroorzaakt door lang aanhoudende periodes (6-23 dagen) met cyclonale, westelijke stromingen in de winter (december-februari). Voor deze weersituatie wordt in de winter een significant stijgende trend (tijdreeks 1881-2005) vastgesteld, zowel in de frequentie alsook in de maximale duur van de aaneengesloten perioden (Caspary 2004, LUBW 2006a).

Baden-Württemberg en Beieren:

- Geen significante, vooral gebiedsdekkende verandering van de jaarlijkse afvoermaxima (HQ -waarden) en de gemiddelde afvoeren over lange tijdreeksen. Desalniettemin kan er de afgelopen dertig tot veertig jaar een stijgende trend in de overstromingsfrequentie, de hoogwaterafvoeren en de gemiddelde afvoeren worden vastgesteld in verschillende gebieden (160 meetpunten, tijdreeks 1932-1998) (KLIWA 2002, KLIWA 2003).
- De HQ -waarden vertonen op 80% van de negentig onderzochte meetpunten een stijgende trend (vooral in het winterhalfjaar), maar de trend is slechts significant op ca. 40% van de meetpunten; de ruimtelijke variabiliteit is groot (tijdreeks 1932-2005). Op de meeste meetpunten wordt in het zomerhalfjaar verder een dalende trend in de HQ -waarden vastgesteld (29% van de meetpunten). In vergelijking met de tijdreeks 1932-1998 is het aantal meetpunten en de significantie wel gedaald (KLIWA 2008a).

Rijnland-Palts:

- De analyse van de HQ -waarden sinds 1978 laat geen eenduidige trend zien (39 meetpunten, tijdreeks 1978-2003), d.w.z. dat de wateren amper reageren op de veranderde neerslagomstandigheden. Echter, sinds 1978 is de frequentie van alle hoogwatergebeurtenissen groter dan MHQ in vergelijking met de tijdreeks 1953-1977 gegroeid met ca. 25% en zijn de gemiddelde hoogwaterafvoeren gestegen met 20% (hogere frequentie van cyclonale, westelijke stromingen) (LUWG 2005, LUWG 2007, p. 60).

Als aanvulling op dit onderzoek is een statistische analyse uitgevoerd voor 25 meetpunten (intern rapport (KLIWA 2007b)).

Noordrijn-Westfalen:

- Er kunnen geen significante veranderingen in de HQ-waarden worden vastgesteld (31 meetpunten, tijdreeks vanaf 1951). De afzonderlijke jaarlijkse afvoermaxima in de halfjaren vertonen voor het merendeel van de meetpunten wel een licht stijgende trend in het winterhalfjaar, maar dit geldt alleen in een paar gevallen voor topstanden rond een afvoer met een herhalingsdij van 100 jaar HQ_{100} of zelfs meer. Vastgestelde veranderingen in de grootheden MHQ en HQx aan de Rijn worden door andere antropogene invloeden veroorzaakt zoals waterbouwkundige maatregelen aan de Duits-Franse Bovenrijn tot 1977 en aanleg van retentiegebieden aan de Duits-Franse Bovenrijn en de Duitse Nederrijn (MUNLV 2007a).

Luxemburg:

- Significante stijging van de jaarlijkse maximale waterstanden in het winterhalfjaar op de meeste meetpunten (negen meetpunten, tijdreeks 1954-2000) (Pfister *et al.* 2004).

Nederland:

- Analyse van de hoogwaterfrequentie in de Rijn (meetpunt Lobith; 1901-2003) en in de Maas (meetpunt Borgharen; 1901-2003) (Diermanse 2004a en 2004b, geciteerd in Wit 2008).
- De analyse van de dagen met een dagafvoer boven een drempelwaarde in de Rijn (meetpunt Lobith) en in de Maas (meetpunt Borgharen) in de periode 1911-2003 laat geen significante trend zien (Liefveld & Postma 2007, p. 60).
- De afvoergegevens van de Maas voor de periode 1911-2000 (meetpunt Borgharen) kunnen zonder inachtneming van de klimaatverandering met modellen worden gesimuleerd (Ashagrie *et al.* 2006).
- Toename van de jaarlijkse afvoermaxima in het stroomgebied van de Maas (meerdere meetpunten) sinds 1980 als gevolg van de toename van de neerslag in het stroomgebied (Tu *et al.* 2005a).

4.3 Veranderingen tot dusver in het laagwater

Rijnstroomgebied:

- Door de toename van de winterneerslag zijn de lage waterstanden vooral gemitigeerd in de gebieden met laagwater in de winter (zuidelijk, nivaal Rijngebied) (38 meetpunten, tijdreeksen 1901-2000 en 1951-2000). Geen significante verandering in het pluviale middengebergte en laagland. Op figuur A-3 in de bijlage worden voor de tijdreeks 1901-2000 de trends afgebeeld in de ontwikkeling van de NM7Q- en NM21Q-waarden (laagste rekenkundig gemiddelde van de afvoer over respectievelijk 7 en 21 opeenvolgende dagen binnen een bepaalde periode). Een significante stijging van de NM7Q-waarden kan alleen op de meetpunten Bazel en Maxau (nivaal regime) worden vastgesteld.

De toename van de jaarlijkse neerslag in de periode 1901-2000 kan vooral worden toegeschreven aan een stijging van de neerslaghoeveelheid in het winterhalfjaar, wat ook verklaart waarom de laagwaterwaarden op het meetpunt Bazel duidelijker toenemen. In kleinere deelstroomgebieden van de Rijn (bijv. de Lippe) spelen in de analyse van trends in het laagwater antropogene factoren een grotere rol. Ook in Zwitserland zijn er seizoensgebonden verschuivingen van de afvoer als gevolg van de wateropslag in de meren (water wordt in de zomer geborgen en in de winter afgevoerd) (gestuwd volume tot Bazel: 1,9 miljard m³).

Vanwege het kleine aandeel van de gletsjerafvoer aan de totale afvoer (meetpunt Bazel: 1,2% van de lokale MQ(m) van de maand augustus) draagt het "krimpen van de gletsjers" niet bij aan de extreem lage waterstanden en evenmin aan de veranderingen in de gemiddelde afvoer in de Rijn (kleinere stromende wateren in de directe omgeving van de gletsjers vormen hierop een uitzondering) (Belz 2005, Belz 2007, CHR 2007).

Zwitserland:

- Uit de studie naar de frequentie van extreem laagwater sinds 1540 blijkt dat de extreem lage waterstanden in de winter van 2005/2006 niet het gevolg zijn van de klimaatverandering. Integendeel, de variabiliteit is te hoog om het algemene klimaatsignaal duidelijk te kunnen omlijnen.

Als gevolg van de klimaatverandering en de daarmee gepaard gaande gestegen temperatuur en neerslag kwamen uitgesproken laagwaterperiodes in de 20^e eeuw zelden voor. De antropogene invloeden kunnen de stijging van de NM7Q-waarden op het meetpunt Bazel (tijdreeks 1870-2006) gedeeltelijk verklaren, maar de bijdrage van de waterkrachtcentrales wordt slechts op 14% geschat. De winter van 2005/2006 is dus een "anomalie" in de algemene trend naar hogere laagwaterafvoeren als gevolg van de klimaatverandering (Pfister 2006, Pfister *et al.* 2006, Weingartner 2007, Weingartner & Pfister 2007).

- Tijdens de hete zomer van 2003 zijn de gletsjers gedeeltelijk gesmolten, waardoor de afvoeren in de Alpenrivieren stegen, terwijl de lage afvoeren en de hoge watertemperaturen in het Juragebergte en het Zwitserse Middenland een bedreiging vormden voor de vissen (BAFU 2004).

Baden-Württemberg:

- Uit de evaluatie van droge periodes en circulatietypes blijkt dat het stromingspatroon "hogedrukbrug boven Midden-Europa" gedurende lange, aaneengesloten periodes doorslaggevend heeft bijgedragen aan alle droge periodes in de zomer en in het groeiseizoen (april-september). Dit circulatietype evenals andere circulatietypen die "kritische" droogteperiodes veroorzaken, vertonen zeer significant stijgende trends in de frequentie en de maximale duur (LUBW 2007).

Rijnland-Palts, Baden-Württemberg en Beieren:

- Onderzoek naar de ontwikkeling op lange termijn van de parameters grondwaterstand, bronafvoer en afvoer (in voorbereiding).

Nederland:

- Uit de analyse van de neerslag, de temperaturen en de afvoeren in het Maasgebied ter vaststelling van de omstandigheden die tot laagwater leiden, blijkt geen toename van laagwater (tijdreeks 1911-2003) (Wit *et al.* 2007b).

4.4 Veranderingen tot dusver in de watertemperatuur

Rijnstroomgebied:

- Uit de vergelijking van de warmtelozingen op de Rijn in 1989 en 2004 blijkt dat de antropogene warmtelozingen (zonder inachtneming van de lozingen van de rwzi's) in totaal met circa 7% zijn gedaald. Als alleen wordt gekeken naar de lozingen groter dan 200 MW op de hoofdstroom van de Rijn kan een reductie van 13% worden vastgesteld (ICBR 2006a).
- Omdat de maximale temperatuur van het Rijnwater in de zomer van 2003 de 28°C oversteeg, werden in de Rijnsoeverstaten maatregelen genomen ter beperking van de warmtelozingen in kritieke situaties (ICBR 2006b).
- Door de koelwaterlozingen vertoont de temperatuurcurve van de Rijn op bepaalde plaatsen sprongen van meer dan +1,5°C. In het kader van scenarioberekeningen wordt de stijging van de watertemperatuur als gevolg van koelwaterlozingen bij Karlsruhe geschat op +1,3 tot +2,4°C. Bij Mainz, stroomafwaarts van de grootste koelwaterlozing, liggen de waarden tussen +3,7 en +6,2°C.

Bij Lobith wordt een lichte schommeling vastgesteld tussen +2,4 en +3,5°C. Daarbij gaat het om maximale waarden, wanneer er geen rekening wordt gehouden met restricties op grond van wettelijke bepalingen.

Lozingsrestricties leiden tot een merkbare daling van de watertemperatuur in de Rijn. De grootste temperatuurdaling in vergelijking met het scenario zonder lozingsrestrictie wordt opgetekend bij Mainz (-1,8°C), maar ook bij Koblenz (<-1°C) en Lobith (<-0,9°C) vallen de effecten niet te miskennen.

Onder Worms daalt de watertemperatuur als gevolg van de gunstigere weersomstandigheden en van de grotere afvoer vanuit de zijrivieren (ICBR 2006c).

- Continue metingen van de watertemperatuur met een data logger zijn op grote schaal pas sinds een paar decennia technisch mogelijk. De evaluatie van de invloed van de klimaatverandering wordt zeer bemoeilijkt door koelwaterlozingen, verstedelijking (waterzuiveringsinstallaties) en de aanleg van stuwen en waterbergingen (Webb *et al.* 2008).

Zwitserland:

- De watertemperatuur is de voorbije decennia (tijdreeks 1954-2006) in zeven rivieren met wel +2°C gestegen (sterker in het Zwitserse Middenland dan in de alpiene regio's); er zijn ook antropogene belastingen (Schädler 2008b).
- Een analyse van de watertemperatuur in 25 alpiene wateren laat tussen 1978 en 2002 een substantiële opwarming met +0,4°C tot +1,6°C zien. Op een aantal trajecten werden temperaturen bereikt die aan de bovengrens liggen die leefbaar is voor forellen (15°C). Anderzijds kunnen door de opwarming ook nieuwe habitats worden ontsloten in wateren die tot dusver te koud waren. De water- en luchttemperaturen vertonen een soortgelijk variatiepatroon en een parallelle stijging (trend).

Bij de afvoeren wordt daarentegen in deze periode geen trend vastgesteld, waaruit wordt geconcludeerd dat de klimaatopwarming doorslaggevend bijdraagt aan de verhoging van de watertemperatuur (Hari 2004, Hari & Güttinger 2004, OcCC 2007 (p. 58)).

- Sinds de jaren vijftig van de negentiende eeuw wordt er in het Meer van Zürich een opwarming waargenomen met gemiddeld $+0,24^{\circ}\text{C}$ per decennium in de bovenste laag (epilimnion) en met $+0,13^{\circ}\text{C}$ per decennium in de diepere en koudere laag (hypolimnion). De stabiele stratificatie duurt ca. twee tot drie weken langer (OcCC 2007 (p. 58)).

Bodenmeer:

- De afgelopen tijd zijn er in het Bodenmeer steeds meer jaren met een uiterst slechte verticale menging. De thermische stratificatie lijkt inmiddels duidelijk vroeger in het voorjaar te beginnen. De gemiddelde jaarlijkse waterstanden in het Bodenmeer vertonen geen klimaatgerelateerde veranderingen (KLIWA 2007a).
- De jaargemiddelde watertemperaturen in de oppervlaktelaag (epilimnion) van het Bodenmeer zijn vooral de voorbije twintig jaar duidelijk gestegen; in de jaren zestig en zeventig van de twintigste eeuw was er daarentegen geen trend zichtbaar, de schommelingen tussen de jaren waren immers groot (Ostendorp *et al.* 2007).

Rijnland-Palts:

- Uit het onderzoek naar de minimale watertemperaturen van 1976 tot 2008 (1976-1992: minima over twee weken, 1993-2008: dagminima) in de Rijn bij Mainz blijkt een toename met ca. $+1,5^{\circ}\text{C}$ (LUWG 2008).

Noordrijn-Westfalen:

- Stijging van de watertemperatuur in de Rijn met $+1,2^{\circ}\text{C}$ (decennium 1978/1988 in vergelijking met het decennium 1995/2005, station Kleve-Kelle) (MUNLV 2007a). Over het geheel genomen stijgende trend in de gemiddelde en maximale watertemperaturen (MUNLV 2007b).

Nederland:

- Stijging van de watertemperatuur in de Rijn (meetpunt Lobith) en de Maas (meetpunt Eijsden) met meer dan $+3^{\circ}\text{C}$ tussen 1908 en 2000. Deze trend is gedeeltelijk toe te schrijven aan lozingen (Liefveld & Postma 2007).
- Stijging van de watertemperatuur in de Rijn (meetpunt Lobith) sinds 1900 met $+3^{\circ}\text{C}$, waarvan $+2^{\circ}\text{C}$ hun verklaring vinden in de lozing van koelwater en $+1^{\circ}\text{C}$ in de klimaatverandering. Stijgende trend in het aantal dagen met watertemperaturen hoger dan 20°C en 25°C (Van der Grinten *et al.* 2007, geciteerd in Peñailillo *et al.* 2008).

5. Inschatting van mogelijke klimaatveranderingen

5.1 Klimaatprojecties voor het Rijnstroomgebied

De klimaatverandering berust op de toename van antropogene emissies van broeikasgassen. Daarom moeten voor de inschatting van de mogelijke toekomstige klimaatverandering hypothesen worden opgesteld t.a.v. de verdere evolutie van de emissies, bijv. van de CO₂-concentratie. Deze evolutie is evenwel afhankelijk van economische, sociale en politieke ontwikkelingen, die in principe niet kunnen worden voorspeld.

Daarom zijn er verschillende emissiescenario's (SRES-scenario's (IPCC 2001)) gedefinieerd waarin rekening wordt gehouden met de mogelijke ontwikkelingen in de 21^e eeuw. De scenario's zijn onderverdeeld in vier hoofdgroepen: A1, A2, B1 en B2.

Voor de berekening en de projectie van het klimaat in de toekomst worden er globale circulatiemodellen (GCM's) toegepast op basis van de bovengenoemde emissiescenario's. De GCM's simuleren de driedimensionale, complexe processen in de atmosfeer en zijn meestal gekoppeld aan een oceaanmodel (gekoppelde atmosfeer-oceaanmodellen (AOGCM's)).

Voorbeelden van dergelijke gekoppelde modellen zijn het GCM ECHAM4 met het oceaanmodel OPY3 of het GCM ECHAM5 met het oceaanmodel OM. Vaak zijn daarbovenop nog andere modellen aan het GCM geschakeld (bijv. een sneeuw- en ijsmodel of een vegetatiemodel). Om de leesbaarheid van de tekst te verbeteren, wordt hieronder als er een GCM wordt genoemd het bijbehorende oceaanmodel niet expliciet vermeld.

De GCM's leveren op hun beurt de invoergegevens voor de regionale modellen waarmee regionale uitspraken kunnen worden gedaan over de klimaatverandering (bijv. de regionale modellen WETTREG, REMO, STAR). De actuele stand van de downscaling van de resultaten van de GCM's met regionale modellen voor hydrologische modelleringen wordt samengevat in Fowler *et al.* (2007).

De combinatie van de resultaten van de GCM's en de resultaten van de vervolgmogelijken binnen een modelketen wordt conform IPCC DDC (2007) "klimaatprojectie" genoemd. Een "klimaatprojectie" is bijgevolg een door klimaatmodellen afgeleide inschatting van het toekomstige klimaat. Een "klimaatscenario" krijgt een bredere definitie, omdat hieronder volgens IPCC DDC (2007) een coherente, intern consistente en plausibele beschrijving van een toekomstige toestand van een systeem wordt begrepen. De klimaatprojectie maakt derhalve deel uit van het klimaatscenario. Na beoordeling en analyse worden de klimaatprojecties meegenomen in de definitie van het klimaatscenario (Moser *et al.* 2008b).

In het onderhavige document worden de gepubliceerde evaluaties van de klimaatprojecties in het Rijnstroomgebied weergegeven en wordt er gewezen op een aantal nog lopende, niet afgesloten werkzaamheden.

In tabel A-1 in de bijlage wordt een overzicht gegeven van enerzijds de beschikbare modelgegevens uit klimaatprojecties van regionale modellen (RCM's) en globale modellen (GCM's) en anderzijds meetgegevens en heranalysegegevens in Midden-Europa.

Zwitserland:

- Uit de resultaten van een groot aantal berekeningen met regionale klimaatmodellen uit het EU-project PRUDENCE en het nationale onderzoek rond NCCR-Climat werd een regionale klimaatprojectie afgeleid (Frei 2004).

Baden-Württemberg en Beieren:

- Opzet van regionale klimaatprojecties voor Zuid-Duitsland met drie verschillende methodes (REMO, Meteo-Research (WETTREG), STAR) op basis van het globale model ECHAM4, emissiescenario B2 en de scenarioperiode tot 2050. De vergelijking en beoordeling van de drie regionale modellen heeft aangetoond dat voor de verdere evaluaties in de eerste plaats dient te worden uitgegaan van de resultaten van de methode van Meteo-Research (WETTREG) (KLIWA 2006c).

Noordrijn-Westfalen:

- Opzet van een regionale klimaatprojectie en vergelijking van de veranderingen in de periode 2046-2055 t.o.v. de gemiddelde omstandigheden in de periode 1951-2000. De modelleringen zijn gebaseerd op het regionale statistieke klimaatmodel STAR op basis van ECHAM4, emissiescenario B2 (LÖBF 2004).
- In het vervolgonderzoek zijn de resultaten uit 2004 aangevuld en uitgebreid. Ook daarbij werd gebruik gemaakt van het regionale statistische klimaatmodel STAR (LÖBF 2006).

Duitsland:

- In opdracht van de federale Milieudienst werden voor Duitsland met WETTREG en REMO regionale klimaatsprojecties opgesteld op basis van het mondiale model ECHAM5, de emissiescenario's A1B, A2 en B1 en de scenarioperiode tot 2100 (UBA 2007a, UBA 2007b). Inmiddels zijn er ook resultaten van het CLM-model beschikbaar (<http://www.clm-community.eu>). In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de regionaliseringsmethodes.

Tabel 1: Overzicht van gangbare regionaliseringsmethodes in het Duits onderzoek naar de gevolgen van de klimaatverandering (Moser *et al.* 2008b)

Methode/ model	Op basis van (AOGCM's)	Concept	Uitgevoerd door	In opdracht van	Jaar
REMO	MPI-ECHAM5-MPI-OM (run 1)	dynamisch	Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg	Umweltbundesamt, Dessau	2006
CLM	MPI-ECHAM5-MPI-OM (run 1, 2, 3)	dynamisch	Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg	Bundesministeriums für Bildung und Forschung	2007
WETTREG	MPI-ECHAM5-MPI-OM (run 1)	statistisch	MeteoResearch c.q. CEC Potsdam	Umweltbundesamt, Dessau	2006
STAR	(MPI-ECHAM5-MPI-OM)	statistisch	Potsdam Institut für Klimafolgenforschung	Potsdam Institut für Klimafolgenforschung	2006

Frankrijk:

- Regionalisering van de resultaten van het globale model ARPEGE met een statistische en een dynamische methode. De geregionaliseerde waarden worden als input gebruikt voor het hydrometeorologische model ISBA-MODCOU.

Met beide methodes konden m.b.v. NCEP-gegevens en het ISBA-MODCOU-model de waargenomen afvoeren aan 49 meetpunten (waaronder een meetpunt in de Maas en een in de Moezel) worden weergegeven (Boé 2007).

- In het project VulNaR wordt de invloed van de klimaatverandering op het grondwater in de Boven-Rijnslenk onderzocht. Daarvoor stelt Météo France scenariogegevens voor neerslag, temperatuur, enz. ter beschikking in een 8 x 8-km²-rooster. Deze gegevens worden dan als input gebruikt voor de hydro-meteorologische modellen ISBA-MODCOU (VulNaR 2008).
- Météo France biedt op internet een interactieve klimaatsimulator aan. Daarmee kan voor gebieden in Frankrijk onder andere de verandering van de luchttemperatuur (minima en maxima) en van de neerslag in de periode 2050-2100 worden weergegeven in vergelijking met de gemiddelde waarden uit de periode 1960-1990 (globaal model ARPEGE, emissiescenario's A2 en B2) (http://climat.meteofrance.com/chgt_climat/simulateur).
- In het stroomgebied van de Moezel wordt in 2009 onder leiding van de IKSMS het INTERREG-IVA-project FLOW MS opgestart. Het doel van het project is de verbetering van de hoogwaterpreventie, vooral door verbetering van de preventieve voorlichting van de burger, door vermindering van potentiële hoogwaterschade en door uitwerking van een laagwaterbeheer. De ontwikkeling van deze fenomenen zal met verschillende klimaatprojecties worden onderzocht.

Nederland:

- Het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) heeft in 2000 in het kader van "Waterbeheer 21^{ste} eeuw" scenario's gepubliceerd. In 2006 heeft het KNMI vier nieuwe klimaatscenario's voor Nederland gepresenteerd waarin de temperatuur, neerslag, wind en zeespiegel in de periode 2036-2065 worden afgezet tegen de huidige toestand (periode 1976-2005), zodat de veranderingen duidelijk worden.

De scenario's zijn uitgewerkt door globale en regionale klimaatmodellen (waaronder het door het KNMI ontwikkelde regionale model RACMO2) en meetreeksen te combineren. De vier klimaatscenario's worden aangeduid met G, G+ (gematigd: 1°C temperatuurstijging op aarde), W en W+ (warm: 2°C temperatuurstijging op aarde). Het plusteken staat voor een significante verandering in de luchtstromingspatronen. De KNMI-klimaatscenario's G en G+ zijn vergelijkbaar met de SRES-scenario's B1 en B2, terwijl de KNMI-scenario's W en W+ beter overeenstemmen met A1 en A2 (Hurk *et al.* 2006, Lenderink *et al.* 2007b; <http://www.knmi.nl/climatescenarios/index.html>).

- Kwadijk *et al.* (2007) geven een algemene inschatting van de consequenties van de KNMI'06 klimaatscenario's voor het waterbeheer.
- Ook met de aan het KNMI ontwikkelde stochastische neerslaggenerator worden scenario's uitgewerkt (GRADE-scenario's). Als invoergegevens voor de neerslaggenerator worden historische tijdreeksen (1961-1995) of gegevens van een regionaal klimaatmodel gebruikt. Door resampling wordt een gesimuleerde tijdreeks ontwikkeld waarbij historische dagen meermaals worden gebruikt. Op basis van de nieuwe volgorde van de gegevens kunnen ook hogere maxima ontstaan (bijv. grootste 4-daagse som). Dat betekent dat men voor neerslag en temperatuur kan beschikken over een tijdreeks van meer dan 1.000 jaar (Wit & Buishand 2007).

Europa:

- Voor Europa zijn er klimaatprojecties ontwikkeld in het kader van het project PRUDENCE (<http://prudence.dmi.dk/>). Daarbij werd er gebruik gemaakt van een modelketen met de twee globale modellen HadCM3 en ECHAM4 en acht verschillende regionale klimaatmodellen (waaronder REMO) (Christensen & Christensen 2007, Déqué *et al.* 2007, Jacob *et al.* 2007). De emissiescenario's die werden toegepast, waren de SRES-scenario's A2 en B2. Uit de runs met de resultaten van de verschillende regionale modellen voor de modellering van de afvoer bleek dat de keuze van het sturende globale model een grotere invloed heeft dan de keuze van het emissiescenario of het regionale model (Graham *et al.* 2007).
- Uit het ENSEMBLES-project ("ENSEMBLEbased Predictions of Climate Changes and their Impacts") worden actuele klimaatprojecties verwacht (zie ook tabel A-1 in de bijlage) (<http://www.ensembles-eu.org>). In dit project worden Europese klimaatmodellen (verschillende globale en regionale modellen) parallel toegepast met uniforme of vergelijkbare invoergegevens (Haylock *et al.* 2008). Daarnaast worden ook verdere randvoorwaarden gevarieerd (bijv. verschillende emissiescenario's). Door dit modelensemble kunnen aan gesimuleerde klimaatveranderingen en hun effecten onzekerheidsmarges of kansen worden toegekend. Het project is een verdere ontwikkeling van vorige EU-projecten, zoals PRUDENCE, MICE en STARDEX.
- De gegevens van de globale modellen uit het IPCC-rapport zijn te vinden onder <http://www.ipcc-data.org>.

5.2 Mogelijke veranderingen in de neerslag

Zwitserland:

- Tot 2050 zal in alle delen van het land de neerslagsom 's winters stijgen en 's zomers dalen. Aan de noordzijde van de Alpen zal de winterneerslag met ca. +8% toenemen (range -1% tot +21%) en de zomerneerslag met ca. -17% afnemen (range -7% tot -31%) (Frei 2004, OcCC 2008 (p.18)).
- De gemiddelde neerslagsom in de zomer zou tot 2100 met -30% kunnen afnemen (OcCC 2008, p. 18).

Baden-Württemberg en Beieren:

- Uitgaande van het regionale model WETTREG (op basis van ECHAM4, emissiescenario B2) voor de periode 2021-2050 is voor de jaargemiddelde neerslaghoeveelheid een toename van ca. +8% berekend met een range van ca. +4% tot ca. +17%. Afname van de neerslagsom in het zomerhalfjaar over grote delen van Zuid-Duitsland met ca. -4%. Toename van de neerslag in het winterhalfjaar (maximaal +35%) (KLIWA 2006c).

Rijnland-Palts:

- Uit de evaluatie van de neerslag in de WETTREG-klimaatprojecties (op basis van ECHAM 5; emissiescenario's A1B, B1 en A2; periode 2071-2100) blijkt dat de stijging van de neerslaghoeveelheden in het winterhalfjaar die al sinds het begin van de jaren zeventig wordt waargenomen ten westen van de Rijn nog verder in kracht zal toenemen. Tegen het midden van de eeuw zal daarbovenop in het hele zuidelijke deel van Rijnland-Palts en ten oosten van de Rijn een ontwikkeling naar kleinere neerslaghoeveelheden in het zomerhalfjaar beginnen. De verschillen tussen de drie emissiescenario's zijn gering. In Rijnland-Palts als geheel zal er tegen het einde van de eeuw een lichte toename van de jaarlijkse neerslaghoeveelheid en een duidelijke verschuiving van de neerslagkwantiteit naar het winterhalfjaar kunnen worden waargenomen (LUWG 2007, p. 41 en volgende).

Rijnland-Palts, Baden-Württemberg en Beieren:

- Evaluatie van de neerslag in de REMO- en WETTREG-klimaatprojecties (op basis van ECHAM5) voor elf KLIWA-regio's (emissiescenario's A1B, B1 en A2; periodes 2021-2050 en 2071-2100) (in voorbereiding).

Noordrijn-Westfalen:

- De toename van de neerslagsom die tussen 1951 en 2000 werd waargenomen, zet - zij het afgezwakt - door tot het midden van de twintigste eeuw (regionaal model STAR, op basis van ECHAM4, emissiescenario B2, periode 2046-2055). In een klein aantal gebieden kan een lichte afname worden vastgesteld. De verandering van het aantal dagen met zware neerslag (>10 mm) is evenredig met de verandering van de neerslaghoeveelheid. Het aantal dagen met weinig of geen neerslag is omgekeerd evenredig met de neerslaghoeveelheid (LÖBF 2004).
- Afname van de neerslaghoeveelheid in de zomer met -20% (al naargelang het gebied -10% tot -35%), toename in de winter en de lente met ca. +20% (al naargelang het gebied +0% tot +35%) (regionaal model STAR, op basis van ECHAM4, emissiescenario B2, periode 2046-2055) (LÖBF 2006).

Duitsland:

- Uitgaande van de emissiescenario's B1, A1B en A2 wordt in het regionale model WETTREG (op basis van ECHAM5) in 2100 een afname van de neerslagsom in de zomer (-17% tot -22%) en een toename van de neerslagsom in de winter (+19% tot +30%, vooral in bergachtige gebieden) vastgesteld (UBA 2007a, UBA 2007b).
- Uitgaande van de emissiescenario's B1, A1B en A2 wordt in het regionale model REMO (op basis van ECHAM5) in 2100 een afname van de neerslagsom in de zomer vastgesteld (in Zuid-, Zuidwest- en Noord-Duitsland tot -30%). De winters worden daarentegen natter (MUNLV 2007b, p. 15).

Frankrijk:

- Verandering van de neerslag in Frankrijk (geheel grondgebied) in vergelijking met de periode 1980-1999 (ARPEGE, emissiescenario B2): +4% over het jaar, +6% in het winterhalfjaar en +0% in het zomerhalfjaar voor de periode 2040-2059.

Voor de periode 2080-2099: verandering met -4% over het jaar, +4% in het winterhalfjaar en -17% in het zomerhalfjaar (ONERC 2008a, ONERC 2008b, ONERC 2008c, ONERC 2008d).

Nederland:

- Toename van de neerslagsom in de winter tot 2100 met +6% tot +25% (MNP 2005, p. 32).
- Volgens de KNMI-scenario's neemt de neerslagsom in de winter (december-februari) toe met +4% tot +11% voor 2050 en met +7% tot +24% voor 2100 (alle vier KNMI-scenario's). In de zomer (juni-augustus) neemt de neerslag in de scenario's G en W toe met +3% tot +6% voor 2050 en met +6% tot +12% voor 2100; echter, in de scenario's G+ en W+ neemt de zomerneerslag af met -10% tot -19% voor 2050 en met -19% tot -38% voor 2100 (KNMI 2006).

5.3 Mogelijke veranderingen in de luchttemperatuur

Zwitserland:

- Tot 2050 zal het in alle delen van Zwitserland en in alle seizoenen warmer worden. Ten noorden van de Alpen wordt in de winter een opwarming met +1,8°C (range van +0,9 tot +3,4°C) en in de zomer een opwarming met +2,7°C (range +1,4°C tot +4,7°C) verwacht (Frei 2004).
- In Zwitserland moet er voor 2050 worden uitgegaan van een opwarming met +2°C in de winter en +2,5°C in de zomer. In 2100 kan er worden gerekend op een toename van de zomertemperatuur met +3,5°C tot +7°C t.o.v. het gemiddelde in 1980-1999 (OcCC 2008, p. 18).

Baden-Württemberg en Beieren:

- Toename van de jaargemiddelde luchttemperatuur met ca. +1,7°C; in de winter stijging met ca. +2°C en in de zomer met ca. +1,4°C (regionaal model WETTREG, op basis van ECHAM4, scenario B2, periode 2021-2050). Toename van het aantal zomerdagen (dagen met $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) en het aantal hittedagen (dagen met $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) (in veel stations een verdubbeling van het aantal dagen per jaar). Toename van de maximale duur van periodes met zomerdagen in de meeste klimatologische stations. Afname van het aantal vorstdagen (dagen met $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$) (in de toekomst dertig dagen minder per jaar) en het aantal ijsdagen (dagen met $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$) (in de toekomst meer dan de helft minder). Afname van de maximale duur van periodes met vorstdagen (KLIWA 2006c).

Rijnland-Palts, Baden-Württemberg en Beieren:

- Evaluatie van de luchttemperatuur in de REMO- en WETTREG-klimaatprojecties (op basis van ECHAM5) voor elf KLIWA-regio's (emissiescenario's A1B, B1 en A2; periodes 2021-2050 en 2071-2100) (in voorbereiding).

Noordrijn-Westfalen:

- Toename van de jaargemiddelde luchttemperatuur met maximaal $+1,9^{\circ}\text{C}$ (regionaal model STAR, op basis van ECHAM4, emissiescenario B2, periode 2046-2055). De toename vertoont geen regionale verschillen (LÖBF 2004, LÖBF 2006).
- De temperatuurstijging bedraagt $+2,4^{\circ}\text{C}$ in de winter en $+1,8^{\circ}\text{C}$ in de zomer. Het aantal ijs- en vorstdagen neemt af, terwijl het aantal zomerdagen, hittedagen en tropische nachten toeneemt (regionaal model STAR, op basis van ECHAM4, emissiescenario B2, periode 2046-2055) (LÖBF 2006).

Duitsland:

- Stijging van de temperatuur in Duitsland met $+1,8^{\circ}\text{C}$ tot $+2,3^{\circ}\text{C}$ in de periode 2071-2100 (regionaal model WETTREG, op basis van ECHAM5, emissiescenario's B1, A1B en A2) (UBA 2007a, UBA 2007b).
- Stijging van de temperatuur in Duitsland met $+2,5^{\circ}\text{C}$ tot $+3,5^{\circ}\text{C}$ voor 2100 (regionaal model WETTREG, op basis van ECHAM5, emissiescenario's B1, A1B en A2). Bijzonder sterke opwarming in de winter in het zuiden en zuidoosten van Duitsland (tot $+4^{\circ}\text{C}$) (MNULV 2007b).

Frankrijk:

- Stijging van de luchttemperatuur in Frankrijk (geheel grondgebied) in vergelijking met de periode 1980-1999 (ARPEGE, emissiescenario B2): $+1^{\circ}\text{C}$ over het jaar én in de winter en $+1,2^{\circ}\text{C}$ in de zomer voor de periode 2040-2059. Voor de periode 2080-2099: toename met $+2,2^{\circ}\text{C}$ over het jaar, $+1,9^{\circ}\text{C}$ in de winter en $+2,9^{\circ}\text{C}$ in de zomer. Afname van het aantal vorstdagen (over het jaar genomen: daling van 44 dagen (1980-1999) naar 33 dagen (2040-2059) en naar 24 dagen (2080-2099)) (ONERC 2008a, ONERC 2008d, ONERC 2008e, ONERC 2008f).

Nederland:

- Stijging van de luchttemperatuur in Nederland tot 2100 met $+1^{\circ}\text{C}$ tot $+6^{\circ}\text{C}$ (MNP 2005, p. 32).
- Volgens de KNMI-scenario's neemt in de winter (december-februari) de temperatuur toe met $+0,9^{\circ}\text{C}$ tot $+2,3^{\circ}\text{C}$ voor 2050 en met $+1,8^{\circ}\text{C}$ tot $+5,8^{\circ}\text{C}$ voor 2100. In de zomer (juni-augustus) zijn er vergelijkbare temperatuurstijgingen ($+0,9^{\circ}\text{C}$ tot $+2,8^{\circ}\text{C}$ voor 2050 en $+1,7^{\circ}\text{C}$ tot $+5,6^{\circ}\text{C}$ voor 2100). De waarden zijn van toepassing op de verandering van de gemiddelde temperatuur. De minimumtemperatuur in de winter en de maximumtemperatuur in de zomer nemen meer toe dan de gemiddelde temperaturen.
(http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/knmi06/samenvatting/index.html#Inhoud_2)

5.4 Mogelijke veranderingen in sneeuw en gletsjers

Zwitserland:

- Uit modelberekeningen blijkt dat de gletsjers in de Alpen tegen het midden van de 21^e eeuw grotendeels (voor ca. 75%) zouden kunnen zijn verdwenen. Zelfs in optimistische scenario's blijft maar net de helft van het huidige gletsjeroppervlak behouden (OcCC 2008, p. 24).
- Het volume van het sneeuwdek in de alpiene stroomgebieden kan met 60% krimpen (regionaal model CHRM (op basis van HadAM3H, emissiescenario A2, periode 2071-2100 in vergelijking met 1961-1990) met het waterhuishoudingsmodel WaSIM).

De afname van het jaarlijks aantal dagen met een sneeuwdek (bijv. daling van vijftig naar zeven dagen op duizend meter boven het zeeniveau) komt overeen met een verticale verschuiving van de sneeuwomstandigheden over ca. vijfhonderd meter. De maximale afvoer van smeltende sneeuw doet zich vroeger in het jaar voor. Het aantal dagen met een sneeuwdek daalt per graad opwarming met ongeveer drie weken (Graham *et al.* 2007).

Baden-Württemberg:

- Berekeningen van de sneeuwhoogte voor de twee stations in het Rijnstroomgebied uitgaande van de resultaten van het regionale model WETTREG (op basis van ECHAM4, emissiescenario B2, periode 2021-2050) en het LARSIM-model laten in de toekomst een duidelijke reductie zien van het aantal dagen met een sneeuwdek en van andere sneeuwparameters (periode met een sneeuwdek, bestendigheid van het winterse sneeuwdek, dichtheid van het sneeuwdek) (LUBW 2006b).

6. Inschatting van de gevolgen van mogelijke klimaatveranderingen op de waterhuishouding

6.1 Simulatiemodellen voor de afvoer

In tabel A-2 in de bijlage staan de hydrologische modellen waarmee voor (delen van) het Rijnstroomgebied al berekeningen zijn uitgevoerd met gebruikmaking van modelgegevens uit klimaatprojecties.

In tabel A-3 in de bijlage staan apart de hydrologische modellen die tot dusver in Nederland worden toegepast op basis van resultaten van klimaatmodellen. Daarbij worden ook de drie methoden voor de vertaling van de resultaten van het globale model naar het regionale niveau kort toegelicht (*direct approach*, *delta approach* en *downscaling*).

Rijnstroomgebied (Zwitsers onderzoek):

- Op basis van gegevens van de ECMWF-heranalyse, het globale model HadAM3H (emissiescenario A2) en het regionale model CHRM werden m.b.v. WaSiM-ETH (1 x 1 km²-rooster) berekeningen uitgevoerd tot het meetpunt Keulen (Kleinn *et al.* 2005, Graham *et al.* 2007).

Rijnstroomgebied (Duits onderzoek):

- Voor simulatieberekeningen werden het waterhuishoudingsmodel LARSIM (18 x 18 km²-rooster) en het neerslag-afvoermodel HBV gebruikt (Moser *et al.* 2008a, Schwandt 2003, Ebel *et al.* 2000, Bronstert *et al.* 2003, Kempe & Krahe 2005).

Rijnstroomgebied (Nederlands onderzoek):

- In Nederland zijn de meeste hydrologische simulaties op basis van klimaatprojecties uitgevoerd met de volgende hydrologische modellen:
 - Rhineflow/Meuseflow (bijv. Kwadijk & Rotmanns 1995, van Deursen 1999 (geciteerd in Wit 2008), Deursen (2006), Middelkoop *et al.* (2001), Shabalova *et al.* (2003), Buishand & Lenderink 2004)). Rhineflow werd ook in de CHR (1997) gebruikt, maar voor kleinere stroomgebieden binnen het Rijngebied werden nog andere modellen toegepast, omdat de tijdelijke (maandwaarden en waarden over tien dagen) en ruimtelijke (3 x 3 km²-rooster) resolutie van Rhineflow niet zeer hoog is.
 - HBV-model (vgl.: <http://www.smhi.se>) (bijv. Booji 2005, Leander & Buishand 2007, Te Linde 2007).

Als klimaatprojecties werden meestal modelresultaten van het UK Hadley Centre gebruikt (HADCMx-modellen).

- Uit een vergelijking van modelberekeningen voor het Rijnstroomgebied bleek dat het VIC-model nauwkeurigere resultaten oplevert dan het STREAM-model (Hurkmanns *et al.* 2008).

- Te Linde *et al.* (2008) verkiest voor klimaatprojecties het HBV-model boven het VIC-model. Deze werkzaamheden zijn uitgevoerd binnen het ACER-project (<http://ivm5.ivm.vu.nl/adaptation/project/acer/>). In het kader van het ACER-project worden veranderingen in de frequentie en de omvang van hoog- en laagwater in het Rijnstroomgebied onderzocht m.b.v. het waterbewegingsmodel SOBEK, de hydrologische modellen HBV en VIC en het atmosferische model RAMS.
- De GRADE-scenario's worden met het neerslag-afvoermodel HBV en het waterbewegingsmodel SOBEK omgezet in afvoergolven (Wit & Buishand 2007, Lammersen & Kroekenstoel 2005, Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater 2004). GRADE werd ook gebruikt voor de simulatie van hoogwater in het Maasgebied (Leander *et al.* 2008).

Rijnland-Palts, Baden-Württemberg en Beieren:

- Voor simulatieberekeningen werd gebruik gemaakt van het LARSIM-model als 1 x 1 km²-roostermodel en als deelstroomgebiedsmodel (zijrivieren van de Rijn (bijv. Neckar, Nahe) en Rijnstroomgebied tot het meetpunt Worms). Voor het stroomgebied van de Main in Beieren werd het model ASGi gebruikt, dit is een vroegere versie van het WaSIM-model (Gerlinger 2004, KLIWA 2006c).

6.2 Simulatiemodellen voor de watertemperatuur

Rijnstroomgebied (Nederlands onderzoek):

- Met behulp van de twee modules TEMPER en HEATBAL kan voortbouwend op het waterbewegingsmodel SOBEK de watertemperatuur worden berekend voor lijnvormige wateren, zoals bijv. de Rijn (Peñailillo *et al.* 2008).

Zwitserland:

- Ontwikkeling van een warmtehuishoudingsmodel voor bergbekken dat werd geïntegreerd in het programma AQUASIM (<http://www.aquasim.eawag.ch>) (Meier 2002, Meier *et al.* 2003).

Baden-Württemberg:

- In het model LARSIM-WT (ontstaan door het waterhuishoudingsmodel LARSIM uit te breiden met warmtebalansberekening) wordt er rekening gehouden met de volledige energiebalans (consequent deterministische aanpak), met expliciete medeneming van warmtebronnen. Het model wordt gebruikt voor operationele voorspellingen van de watertemperatuur in het stroomgebied van de Neckar, rekening houdend met krachtcentralemodellen, gemeten en voorspelde meteorologische gegevens (Haag & Luce 2008).

6.3 Mogelijke veranderingen in het afvoerregime

Rijnstroomgebied (Duits onderzoek):

- Uit de toepassing van HBV en LARSIM (18 x 18 km²-modelrooster) met REMO (ECHAM4, emissiescenario B2, periode 2021-2050) blijkt een duidelijke toename van de gemiddelde afvoer (ca. 10% tot 20%) in het winterhalfjaar (meetpunten Rheinfelden, Würzburg, Cochem, Keulen). In het zomerhalfjaar vertoont de afvoer geen duidelijke trend (Moser *et al.* 2008a).

Rijnstroomgebied (Nederlands onderzoek):

- Aan de meetpunten Lobith (Rijn) en Luik (Maas) stijgt de gemiddelde afvoer (MQ(m)-waarden) in het winterhalfjaar tot 2100 in vergelijking met de huidige toestand. Aan het meetpunt Lobith daalt de gemiddelde afvoer in het zomerhalfjaar, terwijl aan het meetpunt Luik tot 2100 slechts kleinere veranderingen te verwachten vallen in de MQ(m)-waarden van het zomerhalfjaar (MNP 2005, p. 41). In het algemeen wordt een toename van gemiddeld hoogwater verwacht, terwijl er bij laagwater wordt uitgegaan van weinig verandering (MNP 2005, p. 45 en 46).
- De toepassing van de delta approach en de direct approach op het Rhineflow-model (op basis van het globale model HadCM3 (emissiescenario A2; 2070-2099) en HadRM3H) geeft voor de toekomstige veranderingen in de Rijnafvoer een vergelijkbaar beeld, met een toename van de gemiddelde afvoer met 30% in het winterhalfjaar en een afname van de gemiddelde afvoer met 40% in het zomerhalfjaar (Lenderink *et al.* 2007a).
- Op basis van het KNMI'06-scenario W+ en het HBV-model wordt voor het meetpunt Lobith (Rijn) een maximale toename van de gemiddelde winterafvoer van 16% berekend, terwijl de maximale afname van de zomerafvoer 42% bedraagt. Met het model Rhineflow worden voor het meetpunt Lobith vergelijkbare waarden gesimuleerd (Te Linde 2007, Wit *et al.* 2007a).
- In het kader van de Droogtestudie Nederland (zie <http://www.droogtestudie.nl>) worden de consequenties van de KNMI'06 klimaatscenario's geëvalueerd voor laagwater (bijv. scheepvaart) (Haas & Niemeijer 2007).

Rijnstroomgebied (tot meetpunt Worms):

- Berekening en evaluatie van WETTREG-klimaatprojecties (op basis van ECHAM5, emissiescenario A1B, periodes 2021-2050 en 2036-2065) met het waterhuishoudingsmodel LARSIM (1 x 1 km²-modelrooster) (in voorbereiding).

Rijnstroomgebied (tot meetpunt Keulen):

- De combinatie van het regionale model CHRM (op basis van HadAM3H, emissiescenario A2, periode 2071-2100 in vergelijking met 1961-1990) en het waterhuishoudingsmodel WaSIM resulteert voor het meetpunt Keulen in een daling van de MQ(m)-waarden in de zomer en de herfst met maximaal -42%, terwijl de MQ(m)-waarden in de winter met maximaal +14% stijgen (Graham *et al.* 2007).

Baden-Württemberg en Beieren:

- Afvoerberekeningen met de resultaten van het regionale model WETTREG (op basis van ECHAM4, emissiescenario B2, periode 2021-2050) en het LARSIM-model laten een verhoging zien van de maandgemiddelde laagwaterafvoer MNQ(m) (toename van de aanvulling van het grondwater in het winterhalfjaar). Tegelijkertijd duidelijke, regionaal verschillende afname van de MNQ(m)-waarden in het zomerhalfjaar (bijv. afname van de MNQ(m)-waarden op het meetpunt Schwaibach/Kinzig met ca. -16%). Vooral in het winterhalfjaar toename van de gemiddelde hoogwaterafvoer MHQ(m) op nagenoeg alle meetpunten (bijv. toename van de MHQ(m)-waarden op het meetpunt Rockenau/Neckar met ca. +40%) (KLIWA 2006c).

Baden-Württemberg:

- De evaluaties van de maandgemiddelde laagwaterafvoer MNQ(m) uitgaande van de resultaten van het regionale model WETTREG (op basis van ECHAM4, emissiescenario B2, periode 2021-2050) en het LARSIM-model voor 75 meetpunten in Baden-Württemberg laten een van regio tot regio verschillend beeld zien. De maandgemiddelde laagwaterafvoer MNQ(m) neemt in Baden-Württemberg in de maanden juli tot september duidelijk af met gemiddeld ongeveer -14%. De grootste afname wordt vastgesteld in het stroomgebied van de Rijn tussen de Wutach (Hoogrijn) en de Murg (Duits-Franse Bovenrijn) met dalingen van ca. -30%. De daling van de MNQ(m) zwakt, behalve in de maanden juli tot september, zeer snel af. De laagwaterafvoer in het hydrologische winterhalfjaar zal als gevolg van de hogere neerslag in dit seizoen naar verwachting overal toenemen (Hennegriff *et al.* 2008).
- Uit de vergelijking tussen de HadAM3P-controleruns en vier HadAM3P-scenario's in de toekomst (emissiescenario's A2 en B2) blijkt geen toename van de frequenties en de maximale duur van de kritische circulatiepatronen die vaak aanleiding geven tot hoogwater, zodat er dus niet moet worden uitgegaan van een toename van de zonale stroming in de winter (LUBW 2006a).

Rijnland-Palts:

- Berekening en evaluatie van WETTREG-klimaatprojecties (op basis van ECHAM5, emissiescenario's A1B en A2, periodes 2021-2050 en 2071-2100) met het waterhuishoudingsmodel LARSIM in het stroomgebied van de Nahe (in voorbereiding).

Luxemburg:

- Afvoerberekeningen met het "Hydrological recursive Model" op basis van de resultaten van de verandering in de neerslag, de temperatuur en de verdamping tot 2050 uit KNMI- en UKHI-scenario's (verhoging van de neerslagsom met +6% tot +12,6% in de winter, met +15% tot -1,9% in de zomer, temperatuurstijging met +2,4°C in de winter en met +1,9°C in de zomer). De gemiddelde maandafvoer in het winterhalfjaar neemt toe met +8% tot +30%, aan bepaalde stations zelfs met +40%. In het zomerhalfjaar daalt de afvoer met gemiddeld ca. -8%. De resultaten van de verschillende KNMI- en UKHI-scenario's lopen evenwel sterk uiteen (Drogue *et al.* 2004b).

6.4 Mogelijke veranderingen in het hoogwater

Baden-Württemberg en Beieren:

- Omdat de afvoer als gevolg van de klimaatverandering toeneemt, worden verhoogde afvoeren met een bepaalde herhalingstijd na de statistische analyse van extreme waarden gedefinieerd met een “klimaatveranderingsfactor”. De klimaatveranderingsfactoren zijn in Baden-Württemberg naargelang van de herhalingstijden regionaal verschillend vastgesteld met gebruikmaking van de resultaten van het regionale model WETTREG (op basis van ECHAM4; periode 2021-2050) en het LARSIM-model.

Vooraf hoogwater van kleine en gemiddelde omvang zal waarschijnlijk duidelijk toenemen. Op de hoogwaterafvoer met een herhalingstijd van honderd jaar (HQ_{100}) wordt een correctie toegepast van +15% tot +25%. In Beieren is voor hoogwaterafvoeren met herhalingstijden tot honderd jaar voorlopig een standaardcorrectiefactor van +15% genomen, maar deze factor kan om gegronde redenen ook regionaal worden aangepast (LfU Baden-Württemberg 2005a, KLIWA 2006c).

Nederland:

- De afvoer met een herhalingstijd van 1.250 jaar stijgt tot 2050 aan de Rijn met +3% tot +10% en aan de Maas met +5% tot +20% (MNP 2005, p. 42 en 43).
- Uit de toepassing van de delta approach en de direct approach blijkt voor de Rijn (meetpunt Lobith) een toename van de afvoer met een herhalingstijd van honderd jaar met +10% (direct approach) en +30% (delta approach) (Lenderink *et al.* 2007a).
- Uitgaand van de KNMI'06-scenario's stijgt de verwachte afvoer met een herhalingstijd van 1.250 jaar in vergelijking met de huidige waarden aan het meetpunt Lobith (Rijn) tot 2050 met +4% tot +10% en tot 2100 met +8% tot 22% (Wit 2007a).
- In opdracht van de Deltacommissie is berekend dat er in het “ongunstigste” klimaatveranderingsscenario een toename van de extreme afvoer (HQ_{extrem}) kan worden verwacht van + 3% tot +19% in 2050 en van +6% tot +38% in 2100 (Deltacommissie 2008 (bijlage 3)).

6.5 Mogelijke veranderingen in het laagwater

Baden-Württemberg:

- Afvoerberekeningen met de resultaten van het regionale model WETTREG (op basis van ECHAM4, emissiescenario B2, periode 2021-2050) en het LARSIM-model voor 75 meetpunten laten zien dat de jaarlijkse laagwaterafvoer $NQ(j)$ zich als gevolg van de toekomstige klimaatverandering ongeveer een maand vroeger zal voordoen dan nu. In de huidige situatie valt de jaarlijkse minimumafvoer NQ op ca. 55% van de meetpunten in oktober, in de toekomst wordt deze afvoer op ca. 65% van de meetpunten al in september bereikt.

In het Rijnstroomgebied in Baden-Württemberg neemt de laagwaterafvoer met een herhalingsjijd van honderd jaar NQ_{100} in de zijrivieren naar het Bodenmeer sterk en in de Hoogrijn duidelijk af. In de zijrivieren van de zuidelijke Duits-Franse Bovenrijn vertonen de NQ_{100} -waarden daarentegen een zwakke toename; in de zijrivieren van de noordelijke Duits-Franse Bovenrijn (vanaf de Murg) nemen de NQ_{100} -waarden zelfs sterk toe (toename van de NQ_{100} -waarden in het zomerhalfjaar $> +20\%$).

Ook in de toekomstige ontwikkeling van de duur van de laagwaterperiodes wordt een zeer uniforme stijgende trend vastgesteld (Hennegriff *et al.* 2008).

- Binnen het Rijnstroomgebied neemt de frequentie en de intensiteit van droge periodes aan de Hoogrijn en de Duits-Franse Bovenrijn toe (HadCM3, hydrologisch model WaterGAP, emissiescenario IS92a, periode tot 2070) (Lehner *et al.* 2001).

6.6 Mogelijke veranderingen in de watertemperatuur

Zwitserland:

- De gemiddelde watertemperatuur in juli is met een eenvoudig regressiemodel ingeschat op basis van drie scenario's voor de stijging van de luchttemperatuur tot 2050 (met ca. $+1^{\circ}\text{C}$, ca. $+2,5^{\circ}\text{C}$ en $+5,5^{\circ}\text{C}$). Als gevolg van de berekende stijging van de watertemperatuur zou het leefgebied van de beekforel in Zwitserland tot 2050 6% tot 44% kleiner worden. In het slechtste geval zou de beekforel verdwijnen uit het Zwitserse Middenland (Notter 2009).
- In Zwitserland zal de watertemperatuur in de rivieren en in de bovenste laag van de meren van het Middenland tot 2050 ongeveer $+2^{\circ}\text{C}$ stijgen ten opzichte van 1990 (OcCC 2007 (p. 58)).

Baden-Württemberg:

- Met het model LARSIM-WT (Haag & Luce 2008) en de WETTREG-klimaatprojecties (op basis van ECHAM4, emissiescenario B2, periode 2021-2050) werden voor de Neckar berekeningen uitgevoerd m.b.t. de invloed van de klimaatverandering op de watertemperatuur (LfU Baden-Württemberg 2005b). De daarbij berekende stijging van de watertemperatuur in vergelijking met de periode 1971-2000 bedraagt gemiddeld $+1,8^{\circ}\text{C}$. De resultaten voor de middenloop van de Neckar komen op hoofdlijnen overeen met de resultaten uit studies naar andere gebieden (Haag 2009a, Haag 2009b). Hieruit blijkt ook duidelijk dat er in de toekomst vaker en vroeger in het jaar sprake zal zijn van watertemperaturen boven de 25°C . Bovendien doen de resultaten vermoeden dat naast de luchttemperatuur ook de veranderde stralingssituatie een duidelijke invloed heeft op de watertemperaturen die in de toekomst kunnen worden verwacht (Haag 2009a, Haag 2009b).
- De effecten op de ecosystemen van de als gevolg van de toename van de luchttemperatuur verwachte stijging van de watertemperatuur in het Bodenmeer worden beschreven in Ostendorp *et al.* (2007).

7. Conclusies

Uit de documenten van de verschillende delen van het Rijnstroomgebied, die los van elkaar zijn opgesteld, blijkt dat de klimaatverandering duidelijk kan worden afgeleid uit de analyse van de meetgegevens. Ondanks de heterogeniteit van de gegevens, waardoor de resultaten niet direct met elkaar kunnen worden vergeleken, kunnen in de lucht- en watertemperatuur overeenstemmende stijgende trends worden waargenomen. Ook worden er veranderingen in de neerslag en de gemiddelde afvoer vastgesteld; meestal gaat het om een toename van de neerslag en de gemiddelde afvoer in de winter.

De trends in de gegevens lopen op hoofdlijnen gelijk, maar er zijn ook regionale verschillen in de effecten van de klimaatverandering. Voor een precieze ruimtelijke differentiatie is onder andere de gegevensbasis echter te dispaaraat.

Niet voor alle delen van het Rijnstroomgebied zijn er even veel onderzoeken naar de klimaatverandering opgenomen (tabel 2). Dit kan enerzijds worden verklaard door de samenstelling van de expertgroep KLIMA. Omdat er bijv. geen vertegenwoordiger van Hessen in de groep zetelt, is in het overzicht geen rekening gehouden met onderzoek uit deze deelstaat.

Tabel 2: Overzicht van de ter beschikking gestelde documenten uit de verschillende delen van het Rijnstroomgebied (x = minstens een publicatie beschikbaar, - = geen publicatie ter beschikking gesteld)

	Rijnstroomgebied	Zwitserland	Baden-Württemberg	Rijnland-Palts	Frankrijk	Noordrijn-Westfalen	Nederland
Analyse van de veranderingen tot dusver							
Neerslag	x	x	x	x	x	x	x
Luchttemperatuur	-	x	x	x	-	x	x
Sneeuw en gletsjers	-	x	x	-	-	-	-
Afvoerregime	x	x	x	-	-	-	x
Hoogwater	x	x	x	x	-	x	x
Laagwater	x	x	x	-	-	x	x
Watertemperatuur	x	x	-	-	-	x	x
Analyse van de toekomstige veranderingen							
Neerslag	-	x	x	x	x	x	x
Luchttemperatuur	-	x	x	x	x	x	x
Sneeuw en gletsjers	-	x	x	-	-	-	-
Afvoerregime	x	x	x	x	-	-	x
Hoogwater	-	x	x	-	-	-	x
Laagwater	-	-	x	-	-	-	-
Watertemperatuur	-	x	x	-	-	-	-

Anderzijds is er in bepaalde gebieden blijkbaar minder onderzoek verricht. Voor het Franse deel van het stroomgebied van de Moezel zijn er bijv. geen gegevens over de klimaatverandering tot dusver ter beschikking gesteld.

In Zwitserland en Nederland daarentegen zijn de effecten van de klimaatverandering zeer goed onderzocht aan de hand van de vergaarde meetgegevens. Voor Duitsland moet vooral worden gewezen op het uitgebreid onderzoek naar de veranderingen van verschillende klimaatparameters in het kader van het KLIWA-project. Dit onderzoek wordt ook voortgezet in het kader van een monitoringprogramma om beter zicht te krijgen op de dynamiek van de klimaatverandering.

In het KLIWA-project wordt de aandacht gericht op de klimaatveranderingen tot dusver én in de toekomst. Dit is nu nog een unicum, omdat het meeste onderzoek ofwel naar het verleden ofwel naar de toekomst kijkt. Door de twee richtingen te combineren, kan beter worden gecontroleerd of de klimaatprojecties de huidige toestand juist weergeven en of de aansluiting aan de trend in de meetgegevens in het toekomstscenario plausibel is.

Met uitzondering van het CHR-project over de verandering van het afvoerregime in de Rijn zijn er geen grensoverschrijdende, gecoördineerde onderzoeken naar de klimaatverandering in het Rijnstroomgebied beschikbaar. Met KLIWAS en RheinBlick2050 zijn projecten opgestart die een totaaloverzicht kunnen geven van de klimaatverandering in het Rijnstroomgebied. Juist de vaststelling van gelijksoortige evaluatiemethodes en het gebruik van identieke tijdreeksen zijn basisvoorwaarden om de resultaten uit verschillende staten te kunnen vergelijken.

Dit geldt zowel voor de analyse van de klimaatverandering tot dusver aan de hand van meetwaarden als voor de evaluatie van de te verwachten klimaatverandering. Omdat de modelketen van het globale model over het regionale model naar het hydrologische model thans nog is behept met grote onzekerheden kunnen de resultaten van de verschillende modelleringen slechts in beperkte mate met elkaar worden vergeleken. In de geanalyseerde documenten worden hier ook de grootste verschillen aangetroffen wat aanpak en resultaten betreft.

Daarom is het erg belangrijk dat er een gezamenlijke catalogus met criteria wordt vastgesteld voor de evaluatie van de meetgegevens (bijv. het soort trendanalyse en het soort statistische tests) en voor de inschatting van de kwaliteit van de klimaatprojecties en de hydrologische modellen. In het document KLIMA(2)08-04-02, dat is opgesteld in het kader van de EG KLIMA, worden de opdrachten die hieruit voortvloeien samengevat.

De uitwerking van vergelijkende modelstudies is wel zeer arbeidsintensief. In projecten als HYRAS (voor de creatie van vergelijkbare invoergegevens m.b.t. de huidige toestand) of PRUDENCE en ENSEMBLES (voor de vergelijking van globale en regionale modellen) worden al belangrijke basiselementen op een rij gezet.

Ook de mogelijke ruimtelijke resolutie van de modelresultaten moet worden geanalyseerd. De ruimtelijke onnauwkeurigheid in de orde van grootte van twee tot drie roostercellen die mogelijk is bij dynamische regionale modellen kan bijv. voor de hydrologische beschouwing van stroomgebieden van doorslaggevend belang zijn. Hiermee moet rekening worden gehouden als uitspraken worden gedaan over de toekomstige effecten van de klimaatverandering in kleinere stroomgebieden, wat erop neerkomt dat hier naar moet worden gekeken in het kader van regionaal onderzoek, zoals bijv. in de afzonderlijke Duitse deelstaten.

Naast de ruimtelijke nauwkeurigheid is ook de nauwkeurigheid van de extreme waarden die zijn berekend met de modellen een element waarop een kritische blik moet worden geworpen. De klimaatprojecties zijn gericht op de ontwikkeling van gemiddelde resultaten die in statistieken steeds als geheel moeten worden bekeken.

Dit is in tegenstrijd met de wens om, rekening houdend met kwetsbaarheid en adaptatiestrategieën, betrouwbare uitspraken te verkrijgen over de frequentie en de omvang van zeldzame extreme gebeurtenissen. Als gevolg van de te stellen aannames t.a.v. de emissiescenario's en als gevolg van de onzekerheden in de modelketen van het globale model via het regionale model naar het hydrologische model kunnen er met grotere zekerheid uitspraken worden gedaan over de toekomstige ontwikkeling van gemiddelde afvoeren dan over minima en maxima, zoals bijv. de HQ-waarde, om van extreme waarden, zoals de HQ₁₀₀-waarde, maar te zwijgen.

Niet alleen bij de toepassing van toekomstige extreme waarden in modellen, maar reeds bij de analyse van deze waarden op basis van meetgegevens treden er problemen op. De kwaliteit van gemeten maxima en minima, zoals bijv. m.b.t. laag- en hoogwater, moet als gevolg van onnauwkeurigheden bij het meten kritisch worden beoordeeld. Dit is waarschijnlijk ook een van de redenen waarom de beschikbare onderzoeken, wat de beoordeling van de veranderingen van de maxima en minima tot dusver en in de toekomst betreft, minder eenduidig zijn.

De vaststelling van maximale en minimale afvoerwaarden heeft niet alleen te lijden onder problemen met de meetnauwkeurigheid, de waarden ondergaan ook een ingrijpende antropogene invloed. De laagwaterafvoer is bijv. in de loop der tijd beïnvloed door de aanleg van stuwen en waterbergingen of de omleiding van rivieren. Bij de hoogwaterafvoer kunnen onder andere waterbouwkundige maatregelen aan waterwegen en retentiemaatregelen worden genoemd als beïnvloedende factoren.

De kwantificering van deze invloeden vormt een probleem bij de evaluatie van de effecten van de klimaatverandering tot nu toe. Om alleen de invloed van de klimaatverandering te kunnen identificeren, moeten afvoerreeksen worden bekeken die zijn ontdaan van de antropogene invloed.

Dit geldt niet alleen voor de afvoer, maar ook en vooral voor de ontwikkeling van de watertemperatuur. Door koelwaterlozingen, de verstedelijking (waterzuiveringsinstallaties) en de aanleg van stuwen en waterbergingen kunnen de meetreeksen alleen worden gebruikt voor de analyse van de klimaatverandering als er rekening kan worden gehouden met het aandeel van de antropogene opwarming. Daarvoor zijn normaal gesproken modellen nodig. Voor de Rijn zijn dergelijke evaluaties uitgevoerd, voor de nevenwateren van de Rijn niet.

Tot dusver is voor de berekening van toekomstscenario's slechts in zeer beperkte mate gebruik gemaakt van watertemperatuurmodellen. Daarom zijn er geen publicaties ter beschikking gesteld over de toekomstige effecten van de klimaatverandering op de watertemperatuur in het Rijnstroomgebied. Zoals blijkt uit tabel 2 zijn er over het geheel genomen slechts weinig onderzoeken naar de watertemperatuur beschikbaar gesteld.

8. Bibliografie

- Ashagrie A.G., de Laat P.J.M., de Wit M.J.M., Tu M. & Uhlenbrook S. (2006): Detecting the influence of land use changes on floods in the Meuse river basin. The predictive power of a ninety-year rainfall-runoff relation. - *Hydrology and Earth System Sciences*, 10, p. 691-701.
- Bader S. & Bantle H. (2004): Das Schweizer Klima im Trend. Temperatur- und Niederschlagsentwicklung 1864-2001. – publicatie van MeteoSchweiz Nr. 68, p. 45 (kan worden gedownload onder:
http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klimaentwicklung/tt_rr_1864.html).
- BAFU (2004): Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. - Schriftenreihe Umwelt Nr. 369 (kan worden gedownload onder:
<http://www.bafu.admin.ch/dokumentation/medieninformation/00962/index.html?lang=de&msg-id=1111>).
- BAFU (2007a): Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. - (kan worden gedownload onder:
http://www.bafu.admin.ch/publikationen/index.html?action=show_thema&lang=de&id_thema=1).
- BAFU (2007b): Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (nationale und internationale Einflüsse). - (kan worden gedownload onder:
<http://www.bafu.admin.ch/klima/00493/00501/index.html?lang=de>).
- Begert S., Schlegel T. & Kirchhofer W. (2005): Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. - (abstract beschikbaar onder:
<http://www3.interscience.wiley.com/journal/109865269/abstract?CRETRY=1&SRETRY=0>)
- Belz J.U. (2005): Niedrigwasser-Abflüsse im Rheingebiet im 20. Jahrhundert – Veränderungen und Ursachen. - In: BfG-Veranstaltungen 5/2005 „Erfahrungen zur Niedrigwasserbewirtschaftung“, Koblenz, december 2005, p. 113-129.
- Belz J. U. (2007): Low Flow Conditions in the Rhine Basin – Developments in the 20th Century. – In: KHR/CHR-Workshop and Expert Consultation "Low Flows and Droughts", Book of abstracts, p. 27-34. Würzburg.
- Beersma J. (2008): E-mail aan de heer Buiteveld (Rijkswaterstaat) van 18 november 2008.
- Birsan M.-V., Molnar P., Burlando P. & Pfandler M. (2004): Trends in schweizerischen Abflussreihen. - *Wasser Energie Luft*, 96. Jahrgang, Heft 1/2, p. 29-38.
- Birsan M.-V., Molnar P., Burlando P. & Pfandler M. (2005): Streamflow trends in Switzerland. - *Journal of Hydrology* 314, p. 312-329.
- BfG (2008a): Das Projekt KLIWAS – Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserstraßen, Handlungsoptionen für Wirtschaft und Binnenschifffahrt. - flyer.
- BfG (2008b): The KLIWAS project - Consequences of climate change for waterways, Options for the economy and inland navigation. - flyer.

- Boé J. (2007): Changement global et cycle hydrologique: Une étude de régionalisation sur la France. - Thèse, Université de Toulouse (kan worden gedownload onder: http://www.cerfacs.fr/globc/publication/thesis/2007/these_boe.pdf).
- Boé J. & Terray L. (2008): A weather type approach to analysing winter precipitation in France: twentieth century trends and role of anthropogenic forcing. - *Journal of Climate* 21 (13), p. 3118 en volgende.
- Booij M.J. (2005): Impact of climate change on river flooding assessed with different spatial model resolutions. - *Journal of Hydrology* 303, p. 176-198.
- Brahmer H. (2007): Klimawandel und seine Konsequenzen in Hessen. - In: AK KLIWA (Hrgs): 3. KLIWA-Symposium 25.-26.10.2006 in Stuttgart, Fachvorträge. KLIWA-Berichte, Heft 10, p. 211-222 (kan worden gedownload onder: <http://www.kliwa.de>).
- Bronstert A., Bardossy A., Bismuth C., Buiteveld H., Busch N., Disse M., Engel H., Fritsch U., Hundecha Y., Lammersen R., Niehoff D. & Ritter N. (2003): LAHoR - Quantifizierung des Einflusses der Landoberfläche und der Ausbaumaßnahmen am Gewässer auf die Hochwasserbedingungen im Rheingebiet. – Reports of the Commission for Hydrology of the River Rhine (CHR/KHR), Series II, No. 18.
- Bronstert A., Kolokotronis V., Schwandt D. & Straub H. (2007): Comparison and evaluation of regional climate scenarios for hydrological impact analysis. - *Int. J. Climatol.*, 27, p. 1579–1594.
- Buishand T.A. & Lenderink G. (2004): Estimation of future discharges of the river Rhine in the SWURVE project. - Technical Report TR -273, p. 1-43.
- Caspary H. (2004): Zunahme „kritischer“ Wetterlagen als Ursache für die Entstehung extremer Hochwasser in Südwestdeutschland. - In: AK KLIWA (Hrgs): 2. KLIWA-Symposium 03.-04.05.2004 in Würzburg, Fachvorträge. KLIWA-Berichte, Heft 4, p. 135-152 (kan worden gedownload onder: <http://www.kliwa.de>).
- CHR (1997): Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin. - CHR report Report no I-16 of the CHR, International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin, Lelystad.
- CHR (2007): Das Abflussregime des Rheins und seiner Nebenflüsse im 20. Jahrhundert 2007. - CHR Bericht Nr. I-22, International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin, Lelystad.
- Christensen J.H. & Christensen O.B. (2007): A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. - *Climatic Change*, 81, p. 7-30.
- Deltacommissie (2008): Samenwerken met water. Een land dat leeft, werkt aan zijn toekomst. Bevindingen van de Deltacommissie 2008 (kan worden gedownload onder: http://www.deltacommissie.com/doc/advies_samenvatting_en_aanbevelingen.pdf).
- Déqué M., Rowell D.P., Luethi D., Giorgi F., Christensen J.H., Rockel B., Jacob D., Kjellstroem E., Castro M. de & van den Hurk B.J.J.M. (2007): An intercomparison of regional climate simulations for Europe: assessing uncertainties in model projections. - *Climatic Change*, 81, p. 53-70.

- Deursen W. van (1999): Rapportage Meuseflow 2.0. Rapportage aan Rijkswaterstaat RIZA (geciteerd in Wit 2008).
- Deursen W. van (2006): Rapportage Rhineflow / Meuseflow. Nieuwe KNMI scenario's mei 2006. - Carthago Consultancy, Rotterdam, The Netherlands.
- Diermanse F.L.M. (2004a): HR2006-herberekening werklijn Rijn. Rapportage project Q3623 aan RIZA, WL|Delft Hydraulics, Delft (geciteerd in Wit 2008).
- Diermanse F.L.M. (2004b): HR2006-herberekening werklijn Maas. Rapportage project Q3623 aan RIZA, WL|Delft Hydraulics, Delft (geciteerd in Wit 2008).
- D-NL-WG Hoogwater (2004): Grensoverschrijdende effecten van extreem hoogwater op de Niederrhein. - Uitg.: Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW, Provincie Gelderland, Ministerie van Verkeer en Waterstaat Arnhem.
- Drogue G., Hoffmann L., Iffly J.F. & Pfister L. (2004a): Recent warming in a small region with semi-oceanic climate, 1949-1998: what is the ground truth? - *Theoretical and Applied Climatology*, 81, p. 1-10.
- Drogue G., Pfister L., Leviandier L., El Idrissi A., Iffly J.-F., Humbert J. & Hoffmann L. (2004b): Simulating the spatio-temporal variability of streamflow response to climate change scenarios in a mesoscale basin. - *Journal of Hydrology*, 293, p. 255-269.
- Drogue G., Wagner C., Mahr N., Hoffmann L. & Pfister L. (2006): Topography and recent winter rainfall regime change in temperate western european areas: a case study in the Rhine-Meuse basin. - *International Journal of Climatology*, 26, p. 785-796.
- Ebel M., Ludwig K. & Richter K.G. (2000): Mesoskalige Modellierung des Wasserhaushaltes im Rheineinzugsgebiet mit LARSIM. - *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, Heft 6 (44), p. 308-312.
- Fowler H.J., Blenkinsop S. & Tebaldi C. (2007): Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. - *International Journal of Climatology* 27, p. 1547-1578.
- Frei C. (2004): Die Klimazukunft der Schweiz – eine probabilistische Projektion (kan worden gedownload onder: http://www.occc.ch/Products/CH2050/ch2050_scenario_d.html).
- Gerlinger K. (2004): Simulation des Wasserhaushalts im Neckareinzugsgebiet unter Verwendung regionaler Klimaszenarien. - In: AK KLIWA (Hrgs): 2. KLIWA-Symposium 03.-04.05.2004 in Würzburg, Fachvorträge. KLIWA-Berichte, Heft 4, p. 87-102 (kan worden gedownload onder: <http://www.kliwa.de>).
- Goergen K. (2008): Compilation by the CHR RheinBlick2050 project of the state of the art of past and future climate change and its hydrological impacts in the Rhine basin as a contribution to the IKSR / EG Klima mandate.
- Graham L.P., Hagemann S., Jaun S. & Beniston M. (2007) : On interpreting hydrological change from regional climate models. - *Climatic Change*, 81, p. 97-122.
- Gurtz J., Baltensweiler A., Lang H., Menzel L. & Schulla J. (1997): Auswirkungen von klimatischen Variationen von Wasserhaushalt und Abfluss im Flussgebiet des Rheins. - In NRP 31: Climate Change and Natural Disasters. ETH Zürich.

- Haag (2009a): Die mögliche Wirkung des Klimawandels auf Wassertemperaturen von Fließgewässern. – WWF Deutschland (Hrsg.).
- Haag (2009b): The potential impact of climate change on stream water temperatures. – WWF Deutschland (Ed.).
- Haag I. & Luce A. (2008): The integrated water-balance and heat-temperature model LARSIM-WT. - Hydrological Processes, 22, p. 1046-1056.
- Haas S.A. de & Niemeijer A.H. (2007): Investeringsruimte voor toekomstige droogte. Verkenning van de hydrologische effecten en economische schade in de KNMI'06 klimaatscenarios. - Rapportage in opdracht van Rijkswaterstaat RIZA. Royal Haskoning, The Netherlands.
- Hagemann S. & Jacob D. (2007): Gradient in the climate change signal of European discharge predicted by a multi-model ensemble. - Climatic Change, 81, p. 309-327
- Hari R. (2004): Temperaturparameter von 25 Flüssen in den 2 Perioden 1978-1987 und 1988-2002 und der Vergleich mit dem optimalen Temperaturband für Bachforellen.
- Hari R. & Güttinger H. (2004): Temperaturverlauf in Schweizer Flüssen 1978-2002 Auswertungen und grafische Darstellungen fischrelevanter Parameter. - EAWAG, Teilprojekt-Nr. 01/08.
- Haylock M.R., Hofstra N., Klein Tank A.M.G., Klok E.J., Jones P.D. & New M. (2008): A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation for 1950-2006. - J. Geophys. Res. (ter perse).
- Hennegriff W., Ihringer J. & Kolokotronis V. (2008): Prognose von Auswirkungen des Klimawandels auf die Niedrigwasserverhältnisse in Baden-Württemberg. - Korrespondenz Wasserwirtschaft 2008 (1), Nr. 6, p. 309-314.
- Hooijer A., Klijn F., Kwadijk J. & Pedroli B. (2001): Towards Sustainable Flood Risk Management in the Rhine and Meuse River Basins, Main results of the IRMA SPONGE research program. - WL|Delft Hydraulics, Delft. (vgl. ook <http://www.irma-sponge.org>).
- Hurkmans R. T. W., De Moel H., Aerts J. C. J. H. & Troch P. A. (2008): Water balance model versus land surface scheme to model river Rhine discharges. - Water Resour. Res., Vol. 44, doi:10.1029/2007WR006168.
- Hurk B.J.J.M. van den, Klein Tank A.M.G., Lenderink G., Ulden A.P. van, Oldenborgh G.J. van, Katsman C.A., Brink H.W. van den, Keller F., Bessembinder J.J.F., Burgers G., Komen G.J., Hazeleger W. & Drijfhout S.S. (2006): KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. - KNMI-Publicatie: WR-2006-01, 30/5/2006, p. 82.
- Huss M., Bauder A., Funk M. & Hock R. (2008): Determination of the seasonal mass balance of four Alpine glaciers since 1865. - Journal of Geophysical Research, Vol. 113, p. 1-11.
- HSK (1978): Hochwasser-Studienkommission für den Rhein - Schlussbericht.
- ICBR (2006a): Vergelijking van de warmtelozingen in 1989 en in 2004 langs de Rijn. – ICBR-rapport nr. 151.
- ICBR (2006b): Maatregelen inzake de warmtebelasting van de Rijn tijdens extreem warme en droge periodes. – ICBR-rapport nr. 152.
- ICBR (2006c): Invloed van warmtelozingen op de watertemperatuur van de Rijn. Rapport van de Nederlandse delegatie. – ICBR-rapport S 78-106.

- IPCC (2001): Special Report on Emissions Scenarios (SRES). Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. - Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.), Cambridge.
- IPCC (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report (kan worden gedownload onder http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf).
- IPCC DDC (2007): Definition of Terms Used Within the Data Distribution Centre (DDC) Pages. (beschikbaar onder: http://www.ipcc-data.org/ddc_definitions.html).
- Jacob D., Barring L., Christensen O. B., Christensen J. H., de Castro M., Déqué M., Giorgi F., Hagemann S., Lenderink G., Rockel B., Sanchez E., Schär C.; Seneviratne S. I., Somot S., Ulden A. van & Hurk B. van den (2007): An inter-comparison of regional climate models for Europe: model performance in present-day climate. - *Climatic change*, 81, p. 31-52.
- Kabat P., Vellinga P., Aerts J., Veraart J. & van Viersen W. (2005): Climate Proofing The Netherlands. - *Nature*, 438, p. 283-284 ISI 32.2.
- Kempe S. & Krahe P. (2005): Water and Biogeochemical Fluxes in the River Rhine catchment. - *Erdkunde*, Band 59, p. 216-250.
- Kleinn J., Frei C., Gurtz J., Lüthi D., Vidale P. L. & Schär C. (2005): Hydrologic simulations in the Rhine basin driven by a regional climate model. - *J. Geophys. Res.*, 110, D04102, doi:10.1029/2004JD005143
- KLIWA (2002): Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg und Bayern. - KLIWA-Heft 2, 98 p., Karlsruhe (kan worden gedownload onder: <http://www.kliwa.de>).
- KLIWA (2003): Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse in Baden-Württemberg und Bayern. - KLIWA-Heft 3, 93 p., Karlsruhe (kan worden gedownload onder: <http://www.kliwa.de>).
- KLIWA (2005a): Langzeitverhalten der Lufttemperatur in Baden-Württemberg und Bayern. - KLIWA-Heft 5, 76 p., München (kan worden gedownload onder: <http://www.kliwa.de>).
- KLIWA (2005b): Langzeitverhalten der Schneedecke in Baden-Württemberg und Bayern. - KLIWA-Heft 6, 88 p. München (kan worden gedownload onder: <http://www.kliwa.de>).
- KLIWA (2005c): Langzeitverhalten des Gebietsniederschlags in Baden-Württemberg und Bayern. - KLIWA-Heft 7, 160 p., München (kan worden gedownload onder: <http://www.kliwa.de>).
- KLIWA (2006a): Fachlicher Rahmen für die Zusammenarbeit der Länder Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Bayern sowie des Deutschen Wetterdienstes im Vorhaben KLIWA (kan worden gedownload onder: [www.kliwa.de//index.php?pos=waswg/vorgehenskonzept](http://www.kliwa.de/index.php?pos=waswg/vorgehenskonzept)).
- KLIWA (2006b): Langzeitverhalten der Starkniederschläge in Baden-Württemberg und Bayern. - KLIWA-Heft 8, 93 p., Offenbach (kan worden gedownload onder: <http://www.kliwa.de>).
- KLIWA (2006c): Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland - Abschätzung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt. - KLIWA-Heft 9 (kan worden gedownload onder: <http://www.kliwa.de>).
- KLIWA (2007a): Zum Einfluss des Klimas auf den Bodensee. - KLIWA-Heft 11 (kan worden gedownload onder: <http://www.kliwa.de>).
- KLIWA (2007b): Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse und mittleren Abflüsse an ausgewählten Pegeln in Rheinland-Pfalz (intern rapport).

- KLIWA (2008a): Klimamonitoring im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA - Monitoringbericht 2008.
- KLIWA (2008b): Langzeitverhalten von Sonnenscheindauer und Globalstrahlung sowie von Verdunstung und Klimatischer Wasserbilanz in Baden-Württemberg und Bayern. - KLIWA-Heft 12, 147 p., Offenbach (kan worden gedownload onder: <http://www.kliwa.de>).
- KNMI (2006): KNMI Klimaatscenario's: Samenvatting. – (kan worden gedownload onder: http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/knmi06/samenvatting/index.html#Inhoud_2).
- KNMI (2008): Wat weten we over het klimaat in het verleden. – (kan worden gedownload onder: http://www.knmi.nl/klimaatverandering_en_broeikaseffect/klimaat_en_klimaatverandering/deel_4.html).
- KOHS (2007): Auswirkungen der Klimaänderung auf den Hochwasserschutz in der Schweiz. – Wasser Energie Luft 1, p. 55-57.
- Kwadijk J. & Rotmans J. (1995): The impact of climate change on the river Rhine: a scenario study. - Climatic Change, 30, p. 397-426.
- Kwadijk J., van Vuren S., Wierenga K. & Dijkhuis L.J. (2007): Een afwegingskader voor de keuze van klimaatscenario's in het waterbeheer. H2O 22, p. 32-35.
- Lammersen R. & Kroekenstoel D. (2005): Transboundary effects of floods along the Rhine in Northrhine-Westfalia (Germany) and Gelderland (The Netherlands). - In: Proceedings International Conference on Floods, from Defence to Management (J. van Alphen, E. van Beek & M. Taal, Eds.): pp. 531-536. Taylor and Francis Group, London, UK.
- Leander R. & Buishand T.A. (2007): Resampling of regional climate model output for the simulation of extreme river flows. - Journal of Hydrology 332, p. 487-496.
- Leander R., Buishand T.A., van den Hurk B. & De Wit M.J.M. (2008): Estimated changes in flood quantiles of the river Meuse from resampling of regional climate model output. - Journal of Hydrology, 351, p. 331-343.
- Lehner B., Henrichs T., Döll P. & Alcamo J. (2001): EuroWasser – Model-based assessment of European water resources and hydrology in the face of global change. - Kassel World Water Series 5, Center for Environmental Systems Research, University of Kassel (kan worden gedownload onder: <http://www.usf.uni-kassel.de/usf/archiv/dokumente/kwws/kwws.5.en.htm>).
- Lenderink G., Buishand T.A. & van Deursen W.P.A. (2007a): Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. - Hydrology and Earth System Sciences 11, p. 1145-1159.
- Lenderink G., Ulden A. van, Hurk B. van den & Keller, F. (2007b): A study on combining global and regional climate model results for generating climate scenarios of temperature and precipitation for the Netherlands. - Clim. Dyn., 29, p. 157-176.
- LfU Baden-Württemberg (2005a): Festlegung des Bemessungshochwassers für Anlagen des technischen Hochwasserschutzes. - Leitfaden. 91 p.; Karlsruhe (kan worden gedownload onder: www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/14024/?highlight=bemessung).

- LfU Baden-Württemberg (2005b): Untersuchungen zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Wassertemperaturen im Mittleren Neckar. - Untersuchung des Ing.-Büros Dr. Ludwig im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt Baden Württemberg (heute: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg) (intern rapport).
- Liefveld W.M. & Postma R. (2007): Two rivers: Rhine and Meuse. - Rijkswaterstaat Waterdienst. Lelystad, The Netherlands.
- LÖBF (2004): Erstellung regionaler Klimaszenarien für Nordrhein-Westfalen. - Bericht zum Werkvertrag der Firma BRUECKE-Potsdam und dem Landesamt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten Nordrhein-Westfalen.
- LÖBF (2006): Fortschreibung der Klimaszenarien für Nordrhein-Westfalen. - Bericht zum Werkvertrag der Firma CEC Potsdam und dem Landesamt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten Nordrhein-Westfalen.
- Loon van A.F. & Droogers P. (2007): Klimaatverandering en adaptatie. Inventarisatie onderzoeksprojecten ten behoeve van ARK. - Rapportage Future Water in opdracht van ARK en Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- LUBW (2006a): Analyse "kritischer" Wetterlagen für die Hochwasserbildung in Südwestdeutschland auf der Basis von NCEP-Reanalysen und HadAM3P-Klimamodell-daten. - Untersuchung von Prof. H. Caspary im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden Württemberg (intern rapport).
- LUBW (2006b): Veränderung des Abflussverhaltens in Baden-Württemberg in Folge der Klimaänderung. - Untersuchung des Ing.-Büros Dr. Ludwig im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden Württemberg (intern rapport).
- LUBW (2007): Trockenperioden, Niedrigwasser und Hitzewellen in Südwestdeutschland auslösende "kritische" Wetterlagen- - Untersuchung von Prof. H. Caspary im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden Württemberg (intern rapport).
- LUWG (2005): Analyse der langjährigen Abflussverhältnisse im Hochwasserbereich vor dem Hintergrund eines Klimawandels. - LUWG RLP-Bericht 07/2005 (kan worden gedownload onder: <http://www.luwg.rlp.de>).
- LUWG (2007): Klimabericht Rheinland-Pfalz 2007. - (kan worden gedownload onder: <http://www.mufv.rlp.de/fileadmin/img/inhalte/klima/KlimaberichtRLP2007.pdf>).
- LUWG 2008: Zusammenstellung der Minima der Wassertemperatur des Rheins bei Mainz (intern rapport).
- Meier W.K. (2002): Modellierung der Auswirkungen von Wasserkraftanlagen auf physikalische und chemische Eigenschaften von Bergbächen. - Diss. ETH Nr. 14'526. Ökostrom Publikationen Band 11.
- Meier W.K., Bonjour C., Wüest A. & Reichert P. (2003): Modeling the effect of water diversion on the temperature of mountain streams. - Journal of Environmental Engineering, Vol. 129, No. 8, p. 755-764.
- MeteoSchweiz (2008): Trend der Temperatur in der Schweiz. - (kan worden gedownload onder: http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klimaaenderung/temperaturtrend_schweiz.html).

- Middelkoop H., Daamen K., Gellens D., Grabs W., Kwadijk J., Lang H., Parmet B., Schädler B., Schulla J. & Wilke K. (2001): Impact of Climate Change on Hydrological Regimes and Water Resources Management in the Rhine basin. - *Climate Change* 49, p. 105-128.
- MNP (2005): The effect of climate change in the Netherlands. - Netherlands Environmental Assessment Agency. Report nr. 773001037. Bilthoven, The Netherlands.
- Moser H., Hawkes P., Arntsen O., Gaufres P., Mai S. & White K. (2008a): Impacts of Climate Change on Navigation. – Paper Task group 3 of PIANC – ENVICOM (ongepubliceerd).
- Moser H., Krahe P., Maurer T., Nilson E., Rothstein B. & Scholten A. (2008b): Wasserstraßen - Handlungsoptionen für Wirtschaft und Binnenschifffahrt. - Schriftenreihe „Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung“, DWA, Heft 24/08. p. 137-155
- MUNLV (2007a): Klimawandel in Nordrhein-Westfalen – Wege zu einer Anpassungsstrategie. - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.
- MUNLV (2007b): Hintergrundpapier für eine Klimafolgenstrategie für den Geschäftsbereich des MUNLV. - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.
- Moser H., Hawkes P., Arntsen O., Gaufres P., Mai S. & White K. (2008a): Impacts of Climate Change on Navigation.
- Moser H., Krahe P., Maurer T., Nilson E., Rothstein B. & Scholten A. (2008b): Wasserstraßen - Handlungsoptionen für Wirtschaft und Binnenschifffahrt. - DWA.
- Naef F. (2007): Extreme Hochwasser verstehen – Beispiel aus der Schweiz. - *Wiener Mitteilungen* Band 206, p. 59-68.
- Nilson B. (2008): Regionale Klimaprojektionen. – Zusammenstellung im Rahmen des KLIWAS-Projekt (ongepubliceerd).
- Notter B. (2009): Lebensraum der Bachforelle um 2050 - Schätzung anhand eines GIS-basierten Modells. - *Gas Wasser Abwasser* 01/2009, p. 39-44.
- OcCC (2003): Extremereignisse und Klimaänderung. - (kan worden gedownload onder: http://www.occc.ch/reports/Extremereignisse03/Extrem03_Bericht.html).
- OcCC (2007): Klimaänderung und die Schweiz 2050 - Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. - (kan worden gedownload onder: http://www.proclim.ch/products/ch2050/CH2050-bericht_d.html).
- OcCC (2008): Das Klima ändert – was nun? Der neue UN-Klimabericht (IPCC 2007) und die wichtigsten Ergebnisse aus Sicht der Schweiz. - (kan worden gedownload onder: <http://proclimweb.scnat.ch/Products/OcCC-IPCC/OcCC-IPCC-lowres.pdf>).
- ONERC (2008a): Description des expériences. – (kan worden gedownload onder: <http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/PdE.pdf>).
- ONERC (2008b): Indices de précipitations (année). – (kan worden gedownload onder: <http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/AnP.pdf>).
- ONERC (2008c): Indices de précipitations (saison chaude (du 1 avril au 30 septembre)). – (kan worden gedownload onder: <http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/SCP.pdf>).

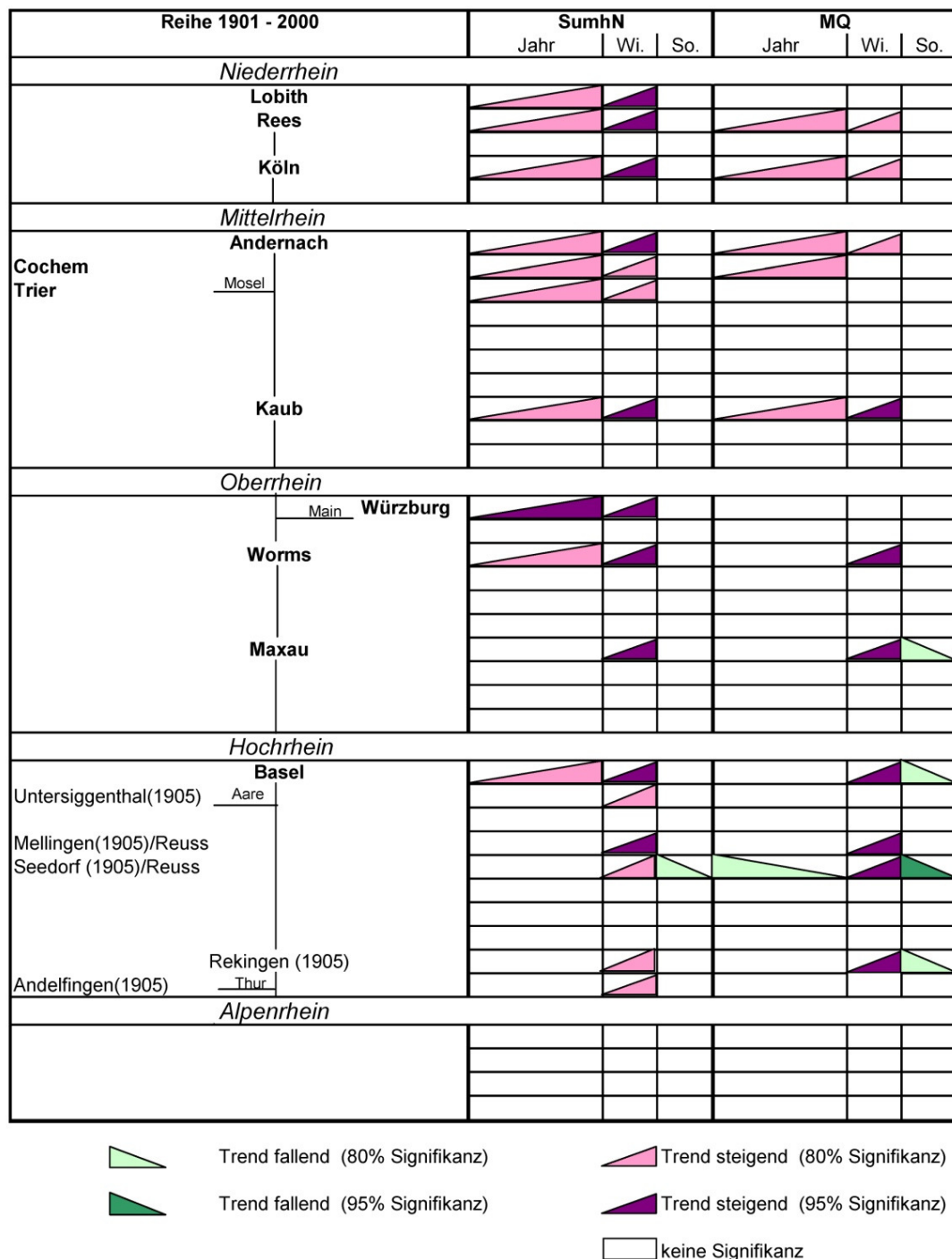
- ONERC (2008d): Indices de précipitations (saison froide (du 1 octobre au 31 mars)). – (kan worden gedownload onder: <http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/SCF.pdf>).
- ONERC (2008e): Indices de température (année). – (kan worden gedownload onder: <http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/AnT.pdf>).
- ONERC (2008f): Indices de température (été). – (kan worden gedownload onder: <http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/ET.pdf>).
- ONERC (2008g): Indices de température (hiver). – (kan worden gedownload onder: <http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/HT.pdf>).
- Ostendorp W., Brem H., Dienst M., Jöhnk K., Mainberger M., Peintinger M., Rey P., Rossknecht H., Schlichtherle H., Straile D. & Strang I. (2007): Auswirkungen des globalen Klimawandels auf den Bodensee. - Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung, 125, p. 199-244.
- Peñailillo R., Icke J. & Jeuken A. (2008): Effects of the meteorological conditions and cooling water discharges on the water temperature of Rhine River. - 12th International Conference on Integrated Diffuse Pollution Management, Khon Kaen University, Thailand; 25-29 August 2008.
- Pfister C. (2006): Überschwemmungen und Niedrigwasser im Einzugsgebiet des Rheins 1500-2000. - Der Rhein – Lebensader einer Region, p. 265-273.
- Pfister C., Weingartner R. & Luterbacher J. (2006): Hydrological winter droughts over the last 450 years in the Upper Rhine basin: a methodological approach. - Hydrol. Sciences, 51(5), p. 966-985.
- Pfister L., Drogue G., El Idrissi A., Iffly J.-F., Poirier C. & Hoffmann L. (2004): Spatial variability of trends in the rainfall-runoff relationship: A mesoscale study in the Mosel basin. - Climatic Change, 66, p. 66-87.
- Schädler B. (2007a): Klimaänderung und Wasser in der Schweiz – Erwartete Auswirkungen für die Wasserwirtschaft bis 2050. – Gas Wasser Abwasser 9, p. 663-669.
- Schädler B. (2007b): Die Schweiz im Jahre 2050: Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserwirtschaft und auf andere wichtige Bereiche. In: AK KLIWA (Uitg.): 3. KLIWA-Symposium 25.-26.10.2006 in Stuttgart, Fachvorträge. KLIWA-Berichte, Heft 10, S. 229-240 (kan worden gedownload onder: <http://www.kliwa.de>).
- Schädler B. & Weingartner R. (2007): Impact of 20th Century Climate Change on Water Resources in Mountainous Regions of Switzerland. - Proceedings of the Third International Conference on Climate and Water, Helsinki, Finland, 3-6 September 2007, p. 411-416.
- Schädler B. (2008a): Klimawandel – geht uns das Wasser aus? – Gas Wasser Abwasser 10, p. 763-769.
- Schädler M. (2008b): Die Temperatur schweizerischer Fließgewässer – ein Überblick über die natürlichen und beeinflussten Temperaturverhältnisse in schweizerischen Fließgewässern. – BAFU (ongepubliceerd).
- Schomaker A.H.H.M. (2007): Klimaatverandering en kwaliteit van oppervlaktewater. Een nationale verkenning. - Rapportage in opdracht van Rijkswaterstaat RIZA. Royal Haskoning, 's-Hertogenbosch. The Netherlands.

- Schulla J. (1997): Hydrologische Modellierung von Flussgebieten zur Abschätzung der Folgen von Klimaänderungen. - Zürcher Geographische Schriften Heft 69.
- Schwandt D. (2003): Abflußentwicklung in Teileinzugsgebieten des Rhein-Einzugsgebiets - Simulationen für den Ist-Zustand und für Klimaszenarien. – Dissertation Universität Potsdam.
- Shabalova M.V., van Deursen W.P.A., Buishand T.A. (2003): Assessing future discharge of the river Rhine using regional climate model integrations and a hydrological model. - *Climate Research* 23, p. 233-246.
- Te Linde A.H. (2007): Effect of climate change on the discharge of the rivers Rhine and Meuse. Applying the KNMI 2006 scenarios using the HBV model. - *WL | Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands Q4286*, p. 1–30.
- Te Linde A.H., Aerts J.C.J.H., Hurkmans R.T.W.L. & Eberle M. (2008): Comparing model performance of two rainfall-runoff models in the Rhine basin using different atmospheric forcing data sets. - *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, (ter perse).
- Terray L. & Braconnot P. (Ed.) (2007): *Livre Blanc Escrime – étude des scénarios climatiques*.
- Tu M., Hall M.J., de Laat P.J.M. & de Wit M.J.M. (2005a): Extreme floods in the Meuse river over the past century: aggravated by land-use changes? - *Physics and Chemistry of the Earth*, 30 4-5, p. 267-276.
- Tu M., de Laat P.J.M., Hall M.J. & de Wit M.J.M. (2005b): Precipitation variability in the Meuse basin in relation to atmospheric circulation. - *Water Science and Technology*, 51-5, p. 5-14.
- UBA (2007a): Neue Ergebnisse zu regionalen Klimaänderungen - Das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG. - (kan worden gedownload onder: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/Regionale-Klimaaenderungen.pdf>).
- UBA (2007b): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. - (kan worden gedownload onder: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3133.pdf>).
- Van der Grinten, E., van Herpen F.C.J., van Wijnen H.J., Evers C.H.M., Wuijts S. & Verweij W. (2007): Afleiding maximumtemperatuurnorm goede ecologische toestand (GET) voor Nederlandse grote rivieren. RIVM Rapport 607800003/2007 (geciteerd in Peñailillo *et al.* 2008).
- VenW (2007a): Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het rivierengebied. - Ministry of Transport, Public Works and Watermanagement. The Netherlands (geciteerd in Wit 2008).
- VenW (2007b): Safeguarding our future. The government's vision of national water policy. - Ministry of Transport, Public Works and Watermanagement. The Netherlands.
- VulNaR (2008): *Vulnérabilité de l'Aquifère du Rhin Supérieur au changement climatique*. Ongepubliceerd.
- Webb B.W., Hannah D.M., Moore R.D., Brown L.E. & Nobilis F. (2008): Recent advances in stream and river temperature research. - *Hydrol. Process.*, 22, p. 902-918.

- Weingartner R. (2007): Der trockene Winter vor einem Jahr – atypisch für ein warmes Klima. - Neue Zürcher Zeitung online, 31 januari 2007.
- Weingartner R. & Pfister C. (2007): Wie außerordentlich war das Niedrigwasser im Winter 2005/2006 – eine hydrologisch-historische Betrachtung des Rheinabflusses in Basel. - Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 51, Heft 1, p. 22- 26.
- Wit M.J.M. de (2008): Climate change Rhine – overview of dutch studies and policy documents, prepared for the International Rhine Commission (ongepubliceerd).
- Wit M.J.M. de, Buiteveld H. & van Deursen W. (2007a): Klimaatverandering en de afvoer van Rijn en Maas. - Arnhem: Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA). RIZA memo: WRR/2007-006.
- Wit M.J.M. de, van den Hurk B., Warmerdam P.M.M., Torfs P.J.J.F., Roulin E. & van Deursen W.P.A. (2007b): Impact of climate change on low-flows in the river Meuse. - Climatic Change, 82 (3), p. 351-372.
- Wit M.J.M. de & Buishand T.A. (2007): Generator of Rainfall And Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins. - RIZA report 2007.027/ KNMI publication 218. Rijkswaterstaat RIZA, Lelystad.

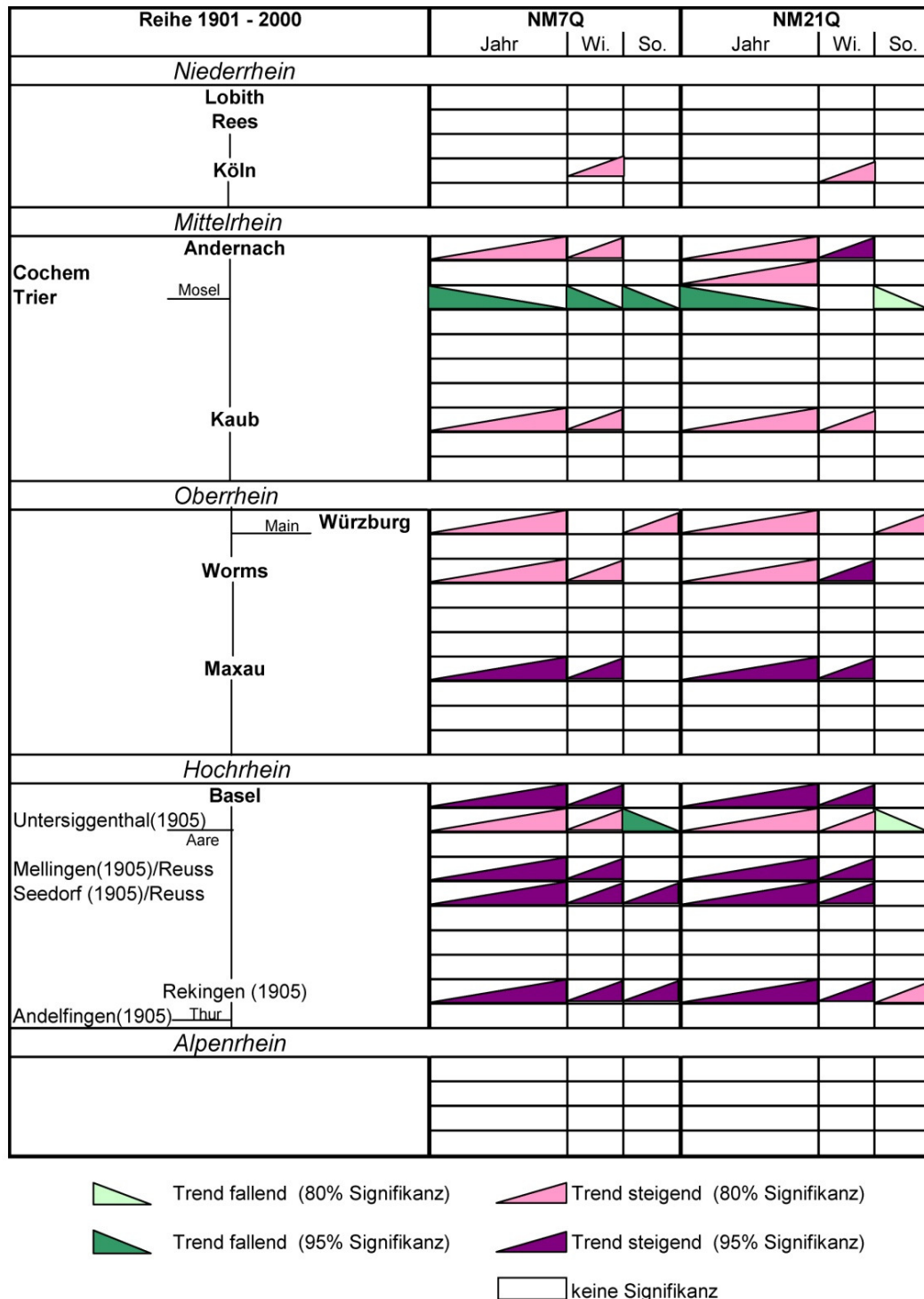
Bijlagen

Figuur A-1: Trendontwikkeling van de gesommeerde gebiedsneerslag (SumhN) en van de gemiddelde afvoer (MQ) in het Rijngebied (CHR 2007)



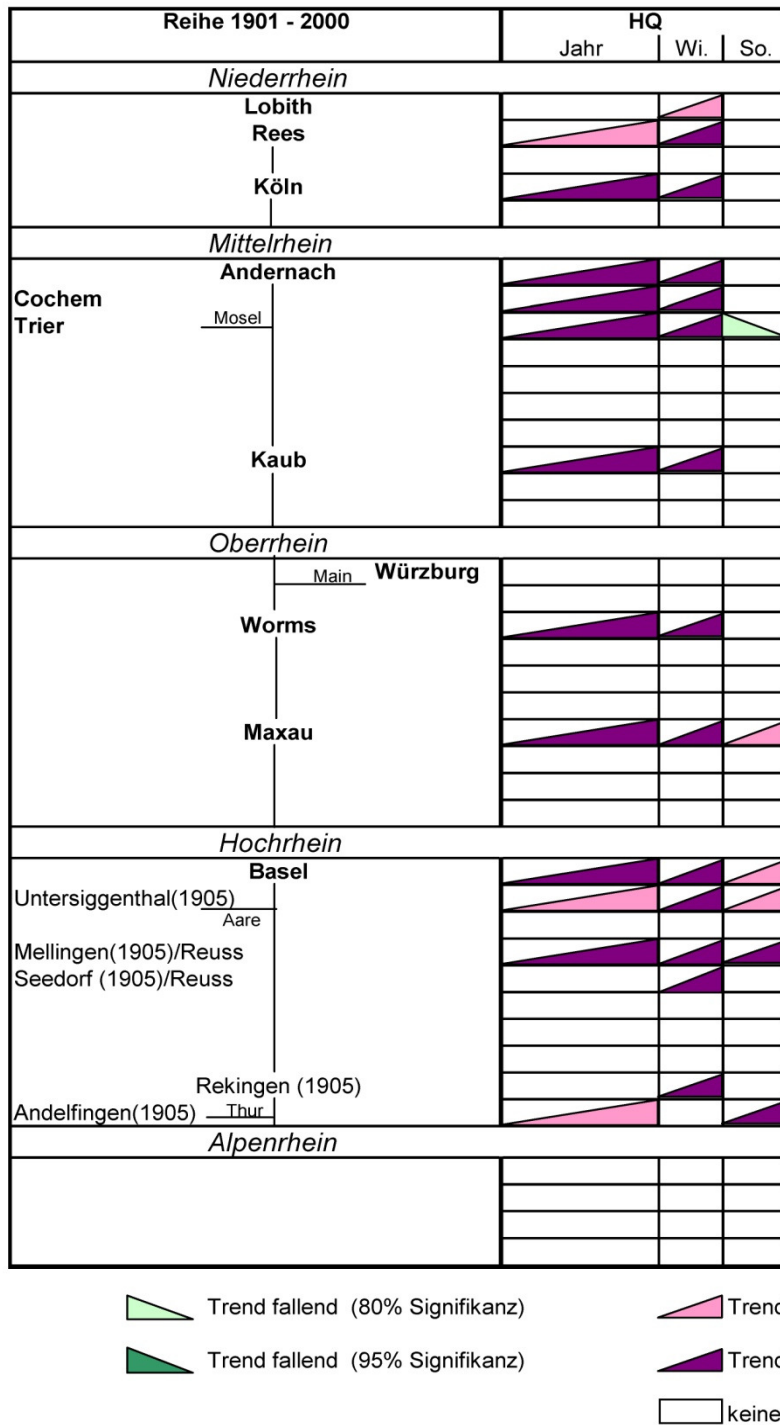
Synoptische weergave van de trendontwikkeling van de gesommeerde gebiedsneerslag (SumhN) en van de gemiddelde afvoer (MQ) in het Rijngebied, periode 1901-2000 (de uitzonderingen waarin de periode 1905-2000 werd onderzocht, zijn gemarkeerd)

Figuur A-2: Trendontwikkeling van de NM7Q en NM21Q (laagste rekenkundig gemiddelde van de afvoer over respectievelijk 7 en 21 opeenvolgende dagen) in het Rijngebied (CHR 2007)



Synoptische weergave van de trendontwikkeling van NM7Q en NM21Q in het Rijngebied, periode 1901-2000 (de uitzonderingen waarin de periode 1905-2000 werd onderzocht, zijn gemarkeerd)

Figuur A-3: Trendontwikkeling van de hoogste afvoeren (HQ) in het Rijngebied (CHR 2007)



Synoptische weergave van de trendontwikkeling van de hoogste afvoeren (HQ) in het Rijngebied, periode 1901-2000 (de uitzonderingen waarin de periode 1905-2000 werd onderzocht, zijn gemarkeerd)

Tabelle A-1: Gegevens van klimaatmodellen in Midden-Europa (Nilson 2008, geciteerd in Goergen 2008, veranderd)

Type	Naam (versie)	Sturende scenario's, model (land)	Max. hor. resolutie		Max. tijd. resolutie	Max. periode	RCM opgesteld door (land) Gegevensbank
			°	km			
dynamische downscaling	CLM (2.4.11)	Scenario's 20C, A1B, B1, A2 MPI-ECHAM5-MPI-OM (D) run 1, 2 und 3	0.165	18	H	1960-2100	CLM-Community (D) CERA
klimaatmodel RCM	REMO (UBA)	Scenario's 20C, A1B, B1, A2 MPI-ECHAM5-MPI-OM run 1 (D)	0.088	10	H	1950-2100	MPI-M (D) CERA
dynamische downscaling	REMO (BFG)	Scenario's 20C, A1B MPI-ECHAM5-MPI-OM run 2 (D)	0.088	10	H	1950-2100	BfG, MPI-M (D)
statistische downscaling	STAR (2.0)	Scenario A1B (MPI-ECHAM5-MPI-OM (D))	stations	stations	D	2001-2055	PIK (D)
statistische downscaling	WETTREG (UBA)	Scenario's A1B, B1, A2 MPI-ECHAM5-MPI-OM (D)	stations	stations	D	1961-2100	Meteo Research (D) CERA
dynamische downscaling	HIRHAM	ERA40, scenario's 20C, A1B MPI-ECHAM5-MPI-OM (D) CNRM-CM3 (F)	0.22	25	H	1950-2100	DMI (DK) ENSEMBLES
dynamische downscaling	RCA	ERA40, scenario's 20C, A1B HADGEM1 (GB) HADCM3 (GB) NERSC-BCCR_BCM2 (US)	0.22	25	H	1950-2050	SMHI (S) ENSEMBLES
dynamische downscaling	RACMO	ERA40, scenario's 20C, A1B MPI-ECHAM5-MPI-OM (D)	0.22	25	H	1950-2050	KNMI (NL) ENSEMBLES
dynamische downscaling	RegCM	ERA40, scenario's 20C, A1B MPI-ECHAM5-MPI-OM (D)	0.22	25	H	1950-2050	ICTP (I) ENSEMBLES
dynamische downscaling	HadRM	ERA40, scenario's 20C, A1B HADGEM1 (GB) HADCM3 (GB) MPI-ECHAM5-MPI-OM (D)	0.22	25	H	1950-2100	METO-HC (GB) ENSEMBLES
dynamische downscaling	ARPEGE	ERA40, scenario's 20C, A1B CNRM-CM3 (F)	0.22	25	H	1950-2050	CNRM (F) ENSEMBLES
dynamische downscaling	REMO	ERA40, scenario's 20C, A1B MPI-ECHAM5-MPI-OM run 3 (D) IPSL-CM4 (CH)	0.22	25	H	1950-2100	MPI-M (D) ENSEMBLES
dynamische downscaling	PROMES	ERA40, scenario's 20C, A1B HADGEM1 (GB) HADCM3 (GB)	0.22	25	H	1950-2050	UCLM (E) ENSEMBLES
dynamische downscaling	CHRM	ERA40, scenario's 20C, A1B HADGEM1 (GB) HADCM3 (GB)	0.22	25	H	1950-2050	ETH (CH) ENSEMBLES
dynamische downscaling	CLM	ERA40, scenario's 20C, A1B ????	0.22	25	H	1950-2100	ETHZ, GKSS ENSEMBLES

Onvolledige lijst (stand: zomer 2008). Informatie over actuele gegevensbronnen onder <http://ensembles-eu.metoffice.com/> (ENSEMBLES-gegevensbank) en <http://cera-www.dkrz.de/> (CERA-gegevensbank).

Tabelle A-2: Hydrologische projecties in het Rijngebied (Nilson 2008, geciteerd in Goergen 2008, veranderd)

Type	Naam (versie)	Sturende scenario's, klimaatmodel	Max. periode (resolutie)	Generatie IPCC	Modelgebied	Project, projectleider	Literatuur
Waterhuishoudingsmodel	RhineFlow	UKHI (UK), XCCCC (CA) GCM's geïnterpoleerd op 0.5°	2050 und 2100 (M)	SAR	Rijn	EU-project "Impact of Climate Change on Hydrological Regimes and Water Resources in the European Community" CHR	CHR (1997), Schulla (1997), Gurtz <i>et al.</i> (1997), Middelkoop <i>et al.</i> (2001)
Neerslag-afvoermodel	HBV (D)	ECHAM4/OPYC3_GHG, HADCM3_GGa1 Downscaling met "EDS-methode"	2100	TAR	Moezel, Steg, Main	Deelproject "Hydrologische modellering" van het Duits Onderzoeksnet voor Natuurrampen (Duits ministerie voor onderwijs en onderzoek, BMBF)	Schwandt (2003)
Neerslag-afvoermodel Waterhuishoudingsmodel	HBV (IWS) WASiM-ETH,	ECHAM4/OPYC3 Downscaling met "EDS-methode" Bürger (1996)	1970-1997, 2070-2097	TAR	Rijn	IRMA-project "Kwantificering van de invloed van het landoppervlak en de waterbouwkundige maatregelen aan de Rijn op de hoogwateromstandigheden in het Rijngebied (LAHoR)"	Bronstert <i>et al.</i> (2003)
Neerslag-afvoermodel Waterhuishoudingsmodel	HBV (SMHI), LARSIM (18km)	KLIWA-scenario's REMO	1961-2050	TAR	Rijn	RhineLUCIFS, KLIWA	Kempe & Krahe (2005)
Neerslag-afvoermodel	HD-Model (0.5°, 1/6°)	PRUDENCE	1961-1990, 2071-2100	TAR	Europa	EU-project PRUDENCE	Hagemann & Jacob (2007)
Waterhuishoudingsmodel	LARSIM (1 km)	ECHAM4 B2 STAR, WETTREG, REMO	1971-2000 2021-2050	TAR	Deelstaten Baden-Württemberg, Beieren, Rijnland-Palts	WG KLIWA, BW, BY, RP, DWD (D)	Bronstert <i>et al.</i> (2007) Gerlinger (2004) KLIWA (2006c)
Waterhuishoudingsmodel	LARSIM (18 km)	REMO	1961-2100	TAR	Rijn	BMBF-project "Regionaal klimaatmodel voor de meteorologische en hydrologische voorspelling van extreme gebeurtenissen aan de hand van het voorbeeld van het Rijnstroomgebied"	Ebel <i>et al.</i> (2000)
Waterhuishoudingsmodel	LARSIM (1 km)	ECHAM4 B2 WETTREG, REMO	1971-2000 2021-2050	TAR	Deelstaat Hessen	IMKLIM 2012 (HLUG)	Brahmer (2007)
Waterhuishoudingsmodel	RhineFlow	HADRM2, HADRM3H	1950-2000, 2070-2100 (10D)	TAR		SURWE-project "Estimation of future discharge of the river Rhine"	Buishand & Lenderink (2004)
Watervoorraad model	WaterGAP (2.1), 0.5°	HADCM3	2070	TAR	Europa	BMBF-project EUROWASSER	Lehner <i>et al.</i> (2001)
...	...	PRUDENCE	1900-2070	TAR	Zwitserland	OcCC (o.a. BafU)	Schädler (2007b)
Neerslag-afvoermodel Waterhuishoudingsmodel	HBV, RhineFlow3 WASiM-ETH	WB21-scenario's KNMI-scenario's G, G+, W, W+	1000 - 2050	AR4	Rijn	RIZA	Te Linde (2007) Deursen (2006)

Onvolledige lijst (stand: zomer 2008).

Tabelle A-3: Overzicht van het gebruik van klimaatmodellen en hydrologische modellen in Nederland (Rijn en Maas) (Wit 2008)

	Studie ¹	Klimaatmodel / gebruikt scenario	Vertaling van de output uit het klimaatmodel ²	Hydrologisch model
Rijn	Kwadijk & Rotmans (1995)	ESCAPE (combinatie van 7 GCM's)	delta approach	Rhineflow
	Middelkoop <i>et al.</i> (2001)	UKHI & XCCC	delta approach	Rhineflow
	Shabalova <i>et al.</i> (2003)	HADRM2	delta approach	Rhineflow
	Lenderink <i>et al.</i> (2007a)	HADRM3H	delta en direct approach	Rhineflow
	Te Linde (2007)	KNMI'06 scenario's	delta approach	HBV en Rhineflow
Maas	Wit (2001)	HadCM2Gsa1	delta approach	Meuseflow en schema's
	Booij (2005)	CGCM1, HadCM3, CSIRO9, HadRM2, HIRHAM4	downscaling	HBV
	Wit (2007)	7 RCM's op basis van HadRM3H 2 RCM's op basis van ECHAM4	direct approach	HBV
	Leander & Buishand (2007)	RACMO-HadAM3H	direct approach	HBV
	Te Linde (2007)	KNMI'06 scenario's	delta approach	HBV en Meuseflow
	Leander <i>et al.</i> (2008)	RACMO-HadAM3H, RAO-HadAM3H, RAO-ECHAM4	direct approach	HBV

¹ Bibliografische gegevens onder hoofdstuk 8

²Delta approach: De verwachte veranderingen in de relevante klimaatparameters, zoals bijv. de luchttemperatuur, worden toegepast op de historische meetgegevens (bijv. verhoging van de luchttemperatuur met een bepaalde waarde). De tijdreeksen die op die manier zijn veranderd, worden dan als input gebruikt voor de hydrologische modellen.

Downscaling: Regionalisering van de resultaten van het klimaatmodel in de ruimte en/of de tijd op de voor het hydrologisch onderzoek noodzakelijke schaal. Dit kan gebeuren met verschillende (statistische) methoden.

Direct approach: De resultaten van een globaal of regionaal klimaatmodel worden onveranderd gebruikt als input in een hydrologisch model.