



**Inschatting van de gevolgen van de
klimaatverandering
voor de toekomstige ontwikkeling
van de temperatuur van het Rijnwater
op basis van klimaatscenario's
Beknopt rapport**

Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Rapport Nr. 213



Impressum

Editeur:
Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR)
Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, D 56068 Coblenz
Postfach 20 02 53, D 56002 Coblenz
Téléphone +49-(0)261-94252-0, télécopieur +49-(0)261-94252-52
Courriel électronique: sekretariat@iksr.de
www.iksr.org

ISBN 3-941994-52-2
© IKS-R-CIPR-ICBR 2014

Inschatting van de gevolgen van de klimaatverandering voor de toekomstige ontwikkeling van de temperatuur van het Rijnwater op basis van klimaatscenario's

Samenvatting

Naar aanleiding van de hoge watertemperaturen van de Rijn tijdens hete zomerperiodes, vooral in de zomer van 2003 en 2006, toen de daggemiddelde watertemperatuur in de Middenrijn en de Duitse Nederrijn maxima bereikte tussen 28°C (grenswaarde van de Viswaterrichtlijn¹) en 29°C, is er op de Rijnministersconferentie (RMC) in oktober 2007 meer aandacht gegeven aan het onderwerp “watertemperatuur en klimaatverandering”. In een vervolgens in opdracht gegeven en door de ICBR uitgevoerde evaluatie van de literatuur over de bevindingen van tot begin 2009 verricht onderzoek naar klimaatverandering (ICBR 2009a) wordt er ook ingegaan op de tot die tijd waargenomen verandering in de temperatuur van het Rijnwater. De informatie heeft betrekking op meetwaarden van afzonderlijke meetpunten en op afgebakende periodes. In het kader van een tweede, door de RMC 2007 geformuleerde opdracht heeft de ICBR een studie naar scenario's voor het afvoerregime van de Rijn uitgewerkt (ICBR 2011).

Een beschrijving van de langjarige ontwikkeling van de watertemperatuur over de gehele Rijn en een inschatting van de toekomstige ontwikkeling van de temperatuur van het Rijnwater ontbraken tot dusver.

Begin 2013 heeft de ICBR een rapport gepubliceerd over de ontwikkeling van de temperatuur van het Rijnwater op basis van gevalideerde temperatuurmetingen uit de periode 1978-2011 (ICBR 2013a) en een rapport over de actuele stand van de kennis over mogelijke effecten van veranderingen in het afvoerregime en de watertemperatuur op het ecosysteem van de Rijn en mogelijke handelingsperspectieven (ICBR 2013b).

De inschatting van de toekomstige ontwikkeling van de temperatuur van het Rijnwater van Bazel tot de Rijndelta op basis van klimaatscenario's heeft de ICBR in juli 2012 opgedragen aan de expertgroep STEMP², die zich bezighoudt met “prognoses aan de hand van temperatuurmodellen”.

Bij de inschatting is er uitgegaan van bestaande waterhuishoudings- of waterbewegingsmodellen voor de Rijn die met een adequate temperatuurmodule ook simulatieberekeningen voor de watertemperatuur kunnen uitvoeren. Omdat er verschillende gebieden moesten worden bekeken, zijn er voor de simulaties modellen gekozen die van toepassing zijn op verschillende Rijntrajecten, in concreto LARSIM (LUBW³) voor het traject van Bazel tot Worms en SOBEK (RWS⁴) voor het traject van Worms tot de Rijndelta. Voor de gegevensoverdracht tussen de twee modellen is het meetpunt Worms aangewezen. Met de overige modellen die beschikbaar zijn voor deeltrajecten (LARSIM van HLUG⁵ en LUWG⁶ voor het traject van Worms tot Keulen en QSim van de BfG voor het traject van Karlsruhe tot Lobith) zijn er vergelijkende simulatieberekeningen uitgevoerd om de invloed van de modellen te kunnen beoordelen (zie figuur 1).

¹ Richtlijn 2006/44/EG van 6 september 2006 betreffende de kwaliteit van zoet water dat bescherming of verbetering behoeft teneinde geschikt te zijn voor het leven van vissen.

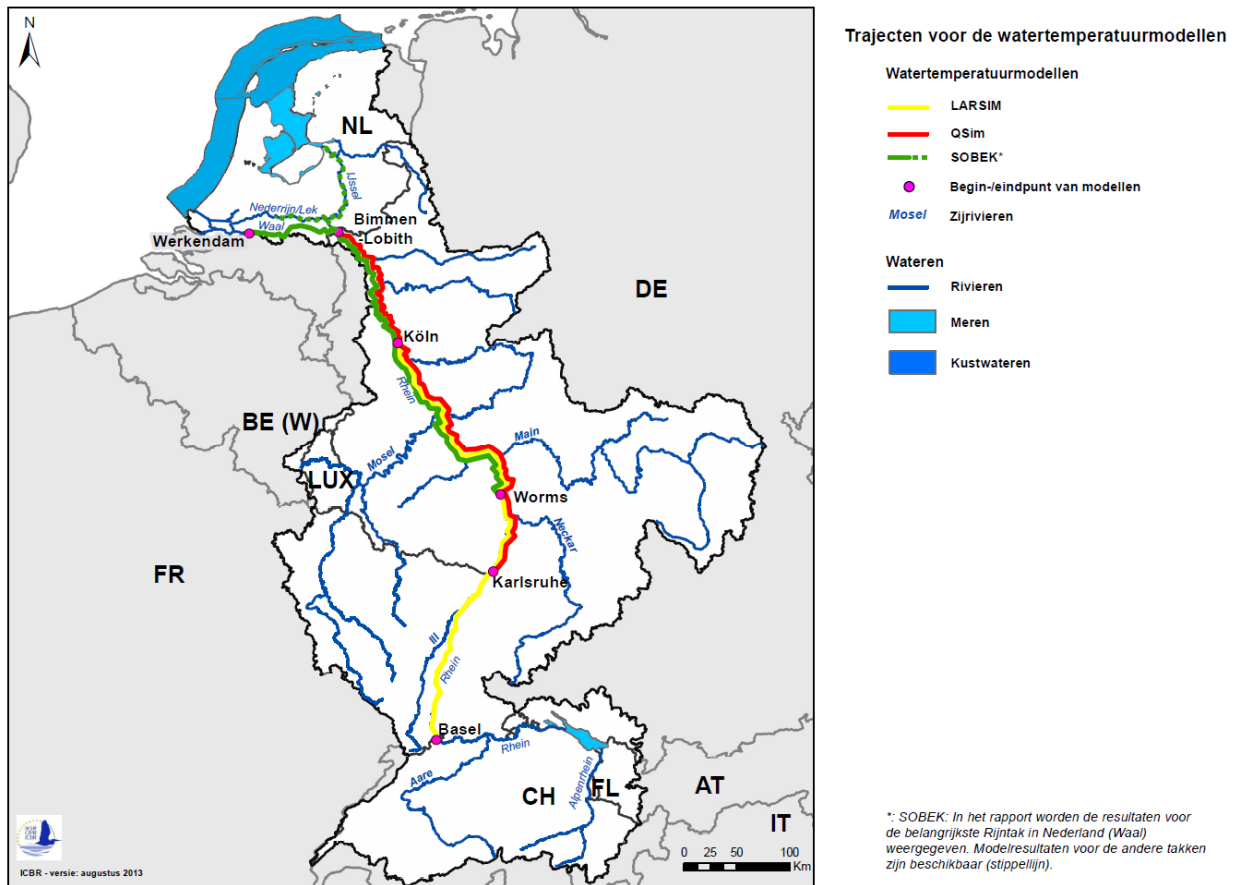
² Expertgroep “Temperatuurmodelprognoses” onder de werkgroep S (= stoffen) van de ICBR

³ Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

⁴ Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving

⁵ Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

⁶ Landesanstalt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz



Figuur 1: Kaart van de Rijntrajecten waarop de modellen LARSIM, QSim en SOBEK worden gebruikt

Als referentieperiode is 2001-2010 vastgesteld. De scenarioberekeningen hebben betrekking op de Studie naar klimatologische en hydrologische scenario's van de ICBR (ICBR 2011) met de tijdshorizonten 2021–2050 (nabije toekomst, NF) en 2071–2100 (verre toekomst, FF), zie tabel 1. De gehele referentieperiode, die zich kenmerkt door een grote variatie in watertemperatuur en afvoer, wordt doorgerekend voor aangepaste condities (meteorologie en afvoer) behorend bij deze scenario's. Op deze wijze kan inzicht worden verkregen in de gemiddelde verandering van de watertemperatuur ten opzichte van de referentiesituatie (de belangrijkste focus van deze studie) en de bandbreedte rondom dit gemiddelde (extremen).

Nr.	Naam	Modellsimulatie	Periode	Warmtelozing	Lucht	Zomer-afvoer	Winter-afvoer
1	Referentie (Ref50)	Referentie (actueel) met warmtelozingen	2001-2010	50% van de vergunde lozingen in 2010	2001-2010	2001-2010	2001-2010
2	Referentie zonder warmtelozingen (Ref0)	Referentie (actueel) zonder warmtelozingen	2001-2010	Geen warmtelozingen	2001-2010	2001-2010	2001-2010
3	NF+Qmax	Scenario voor de nabije toekomst met maximale afvoer en warmtelozingen zoals in Ref50	2021-2050	50% van de vergunde lozingen in 2010	Gemiddelde luchttemperatuur in de zomer +1.5°C	+10%	+15%
4	NF+Qmin	Scenario voor de nabije toekomst met minimale afvoer en warmtelozingen zoals in Ref50	2021-2050	50% van de vergunde lozingen in 2010	Gemiddelde luchttemperatuur in de zomer +1.5°C	-10%	0%
5	FF+Qmax	Scenario voor de verre toekomst met maximale afvoer en warmtelozingen zoals in Ref50	2071-2100	50% van de vergunde lozingen in 2010	Gemiddelde luchttemperatuur in de zomer +4.0°C	-10%	+15%
6	FF+Qmin	Scenario voor de verre toekomst met minimale afvoer en warmtelozingen zoals in Ref50	2071-2100	50% van de vergunde lozingen in 2010	Gemiddelde luchttemperatuur in de zomer +4.0°C	-25%	-5%

Tabel 1: Uitgangspunten voor de modellsimulaties

De modellen zijn gekalibreerd op basis van de daadwerkelijke warmtelozingen en de hydrometeorologische meetwaarden voor de periode 2001-2010 of ten minste voor deelperiodes binnen de referentieperiode, bijvoorbeeld juli-september 2003, waarvoor aaneengesloten gegevens beschikbaar zijn.

Uit de vergelijking van de resultaten van de validatie van de drie modellen LARSIM, SOBEK en QSim blijkt dat er een zeer goede overeenstemming bestaat tussen gesimuleerde en gemeten watertemperaturen, waarbij LARSIM de beste overeenstemming oplevert.

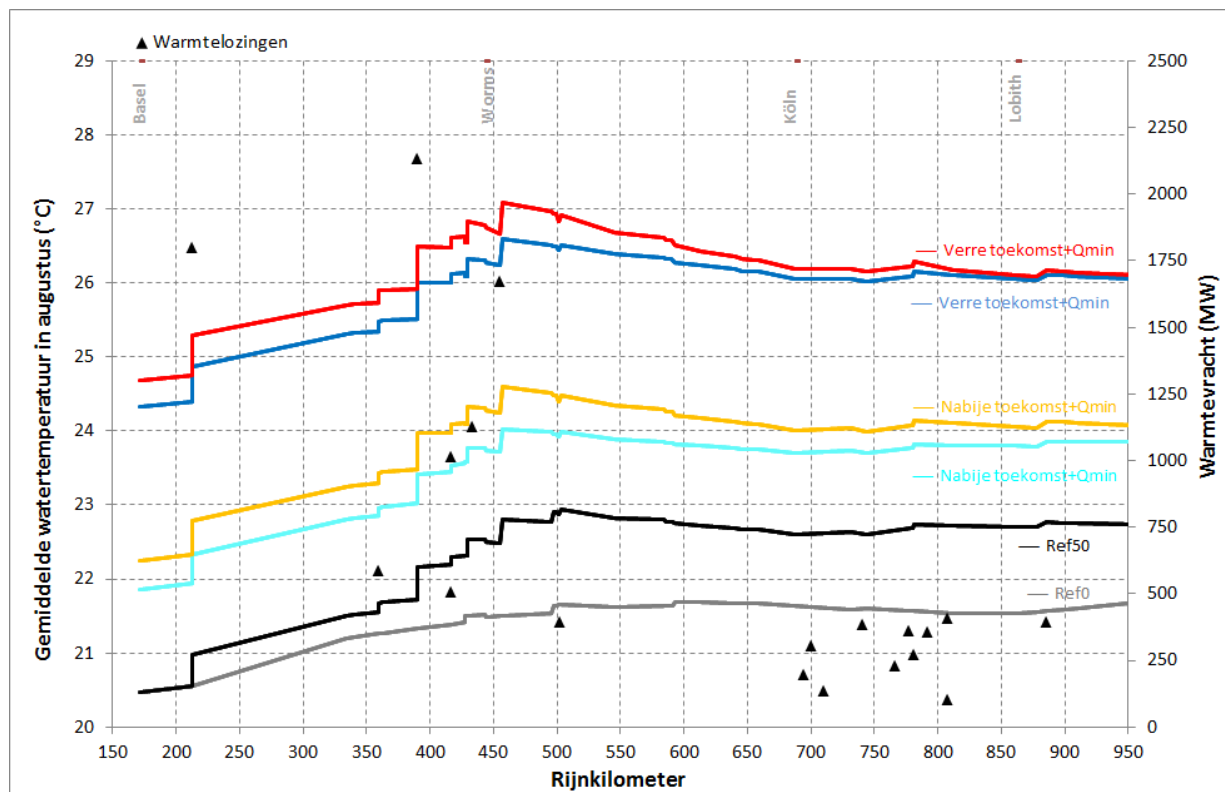
Voor de scenarioanalyses zijn er op basis van de uitkomst van de studie naar scenario's voor het afvoerregime van de Rijn (ICBR 2011) klimaatveranderingsvectoren vastgesteld, die zijn toegepast op de meteorologische meetgegevens van de referentieperiode. Omdat de omvang en de verdeling in de tijd van de toekomstige warmtelozingen onbekend is, is er met betrekking tot de warmtelozingen in alle scenario's uitgegaan van 50% van de vergunde lozingen in 2010. Deze waarden komen bij benadering overeen met de actuele warmtelozingen in de referentieperiode. De watertemperaturen aan de randen van het model (Rijn bij Bazel en zijrivieren, zoals bijvoorbeeld de Neckar) zijn bepaald rekening houdend met klimaatparameters. In LARSIM zijn hiervoor simulatieberekeningen uitgevoerd met behulp van regressiemodellen (de watertemperatuur is afhankelijk van de luchttemperatuur en de afvoer) en in SOBEK en QSim zijn de temperaturen geschat met behulp van een vereenvoudigd simulatiemodel. Hoewel de drie modellen verschillende methodes gebruiken, zijn de afwijkingen klein en amper van belang voor de resultaten.

De resultaten van SOBEK zijn weergegeven voor het traject van Worms tot het einde van de Rijntak de Waal bij Werkendam. De twee andere Rijntakken in de Rijndelta (de IJssel

tot Kampen en de Lek tot Schoonhoven) zijn weliswaar ook gemodelleerd, maar in het onderhavige rapport niet in detail gepresenteerd. De modelberekeningen voor de twee andere Rijntakken leveren vergelijkbare resultaten op als de berekeningen voor de Waal. Daarom is gekozen om alleen de belangrijkste Rijntak in Nederland, die circa twee derde van het water in de gehele Rijndelta afvoert, hier te presenteren.

In figuur 2 is een selectie van resultaten van modelberekeningen weergegeven. Afgebeeld zijn maandgemiddelde watertemperaturen voor augustus in de verschillende scenario's.

Als er in de referentieperiode 2001-2010 geen rekening wordt gehouden met warmtelozingen (Ref0) vertoont de watertemperatuur een graduele opwarming op het traject van Bazel tot Werkendam, waarbij de watertemperatuur het sterkst stijgt op het traject van de Duits-Franse Bovenrijn tot Worms. In de referentieperiode rekening houden met 50% van de vergunde warmtelozingen (Ref50) leidt voornamelijk stroomafwaarts van Worms gemiddeld tot een extra opwarming van ongeveer 1°C.



Figuur 2: Gemiddelde watertemperatuur in augustus in het lengteprofiel van de Rijn zoals gesimuleerd door LARSIM (Bazel-Worms) en SOBEK (Worms-Werkendam)

Terwijl de augustustemperatuur in het lengteprofiel in de nabije toekomst NF (2021-2050) circa 1,5°C hoger is dan in de referentieperiode, ligt de stijging van de gemiddelde Rijntemperatuur in augustus in de verre toekomst FF (2071-2100) in de orde van grootte van 3,5°C. In beide gevallen wordt de opwarming veroorzaakt door het klimaat, zonder aanvullend significant effect van warmtelozingen. Zoals verwacht is de stijging van de watertemperatuur bij hoge afvoeren (Qmax) kleiner dan bij lage afvoeren (Qmin). Vergeleken met de absolute temperatuursverandering als gevolg van de verwachte klimaatverandering is het effect op de toekomstige watertemperatuur dat resulteert uit de twee verschillende afvoerhypothesen gering.

De natuurlijke variabiliteit in klimaat- en afvoerwaarden tijdens de referentieperiode leidt ook tot een significante spreiding in de watertemperaturen. In het scenario Ref50 zijn de 90-percentielwaarden voor de augustusmaanden in de periode 2001-2010 2°C hoger dan de gemiddelde waarden voor augustus in dezelfde periode; de gemiddelden voor augustus 2003 zijn zelfs 3°C hoger dan de gemiddelden voor augustus in de periode 2001-2010. De

gemiddelde waarden voor augustus 2003 komen ongeveer overeen met de gemodelleerde gemiddelde waarden voor augustus in de verre toekomst FF, wat betekent dat de watertemperatuur van augustus 2003 al als maatstaf voor de watertemperatuur in de verre toekomst FF kan worden beschouwd.

		Bazel	Worms	Keulen	Lobith
Ref50: gemiddelde waarden voor augustus 2001-2010	T (°C)	20.5	22.5	22.6	22.7
Ref50: 90-percentielwaarden voor augustus 2001-2010	T (°C)	22.4	24.1	24.6	25.3
Augustus 2003: maandgemiddelden	T (°C)	23.8	26.5	25.6	25.5 ⁷
FF+Qmax: gemiddelde waarden voor augustus 2001-2010	T (°C)	24.3	26.3	26.1	26.0

Tabel 2: Vergelijking van de simulatieresultaten (Ref50 en FF+Qmax uit figuur 2) met alternatieve typering van referentieperiode: de 90-percentielwaarde van de augustusmaanden uit 2001-2010 en het augustus 2003 maandgemiddelde

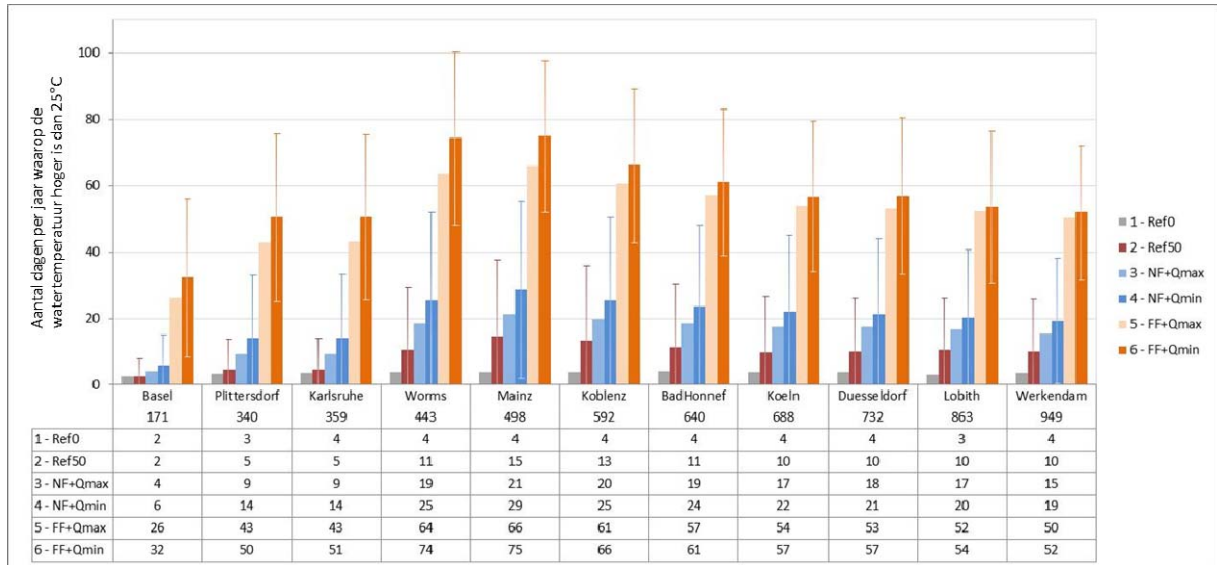
Organismen kunnen hun levensverrichtingen (bijvoorbeeld voortplanting) alleen binnen een bepaalde temperatuurrange volledig ontplooiën. Temperaturen van meer dan 25°C kunnen stress veroorzaken bij fauna en flora. Als bijvoorbeeld bepaalde vissoorten over een langere periode zijn blootgesteld aan temperaturen boven 25°C is hun levensverwachting veel lager.

In figuur 3 is het aantal dagen weergegeven waarop de watertemperatuur in de gemodelleerde scenario's hoger zal zijn dan 25°C. Uit de simulaties voor de nabije toekomst NF blijkt dat het aantal dagen met watertemperaturen boven 25°C zal toenemen ten opzichte van de referentierun Ref50; bij lage afvoeren (Qmin) kan er sprake zijn van een verdubbeling. In de verre toekomst FF zal het aantal dagen waarop de temperatuur de waarde van 25°C overschrijdt fors toenemen. In Worms zal bijvoorbeeld het jaarlijkse aantal dagen met een overschrijding vergeleken met de referentierun Ref50 stijgen van 11 naar 64 tot 74 in de verre toekomst FF. Met andere woorden: in de verre toekomst FF zal de gemiddelde watertemperatuur in Worms in de zomer circa tien weken lang hoger zijn dan 25°C.

In figuur 3 wordt voor de diverse scenario's naast het aantal overschrijdingsdagen ook de bandbreedte weergegeven waarbinnen 80% van de gevonden resultaten in de periode 2001-2010 valt. Hiermee wordt duidelijk gemaakt dat er in de nabije toekomst NF nog steeds jaren zonder overschrijdingen zullen zijn. Echter, in de verre toekomst FF worden jaren zonder overschrijding van een watertemperatuur van 25°C een zeldzaamheid. Dit geldt ook voor de overschrijding van de grens van 28°C in de verre toekomst FF.

Verder zijn er ook berekeningen uitgevoerd om het aantal dagen te bepalen waarop de watertemperatuur lager zal zijn dan 3°C, omdat deze fases een positief effect hebben op de verspreiding van macrozoöbenthossoorten die kenmerkend zijn voor de Rijn en tevens warmteminnende exoten terugdringen. In de nabije toekomst zal het aantal dagen met een watertemperatuur onder 3°C op het traject tot Worms afnemen van tien naar nul ten opzichte van Ref0 zonder warmtelozingen. Op het traject tot Lobith, dat minder wordt beïnvloed door warmtelozingen, schommelt het aantal dagen waarop de watertemperatuur niet hoger is dan 3°C bij Ref50 tussen vier en zes; in de nabije toekomst daalt dit aantal naar één à drie en in de verre toekomst naar nul à één.

⁷ De maandgemiddelde afvoer van augustus 2003 voor Lobith bedroeg 1.013 m³/s, hetgeen 55% lager uitvalt dan de gemiddelde afvoer over de referentieperiode 2001-2010 (2.264 m³/s), 50% lager dan de gemiddelde afvoer in het scenario NF+Qmin en 40% lager dan de gemiddelde afvoer in het scenario FF+Qmin.



Figuur 3: Gemiddeld aantal dagen per jaar waarop de watertemperatuur in de loop van de Rijn hoger is dan 25°C, bepaald met behulp van LARSIM (Basel-Worms) en SOBEK (Worms-Werkendam). De bandbreedte in de figuur, alleen weergegeven voor de scenario's Ref50, NF+Qmin en FF+Qmin, geeft 80% van de gevonden variatie in de periode 2001-2010 aan. Dit betekent dat 80% van de gevonden waarden binnen deze bandbreedte valt.

In de onderhavige samenvatting is een kort overzicht gegeven van de relevante resultaten uit het Engelstalige rapport "Estimation of the effects of climate change scenarios on future Rhine water temperature development" (CIPR Report No. 214). Bibliografische referenties zijn opgenomen in het uitgebreide rapport.