



# Evaluatie van de effectiviteit van maatregelen ter verlaging van de hoogwaterstanden in de Rijn

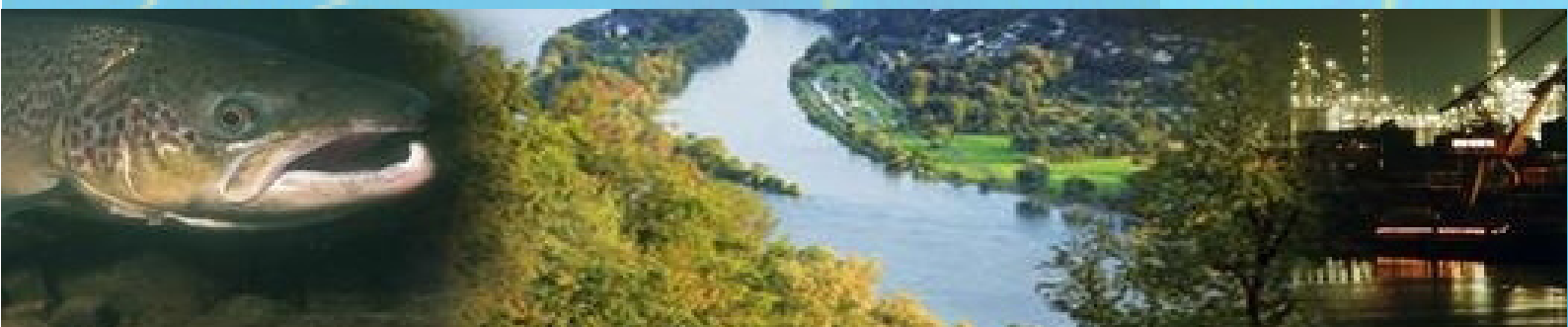
**Uitvoering van het Actieplan Hoogwater in de periode 1995-2010 en vooruitblik naar 2020 en 2020+**

Internationale  
Kommission zum  
Schutz des Rheins

Commission  
Internationale  
pour la Protection  
du Rhin

Internationale  
Commissie ter  
Bescherming  
van de Rijn

*Rapport Nr. 199*



## **Colofon**

### **Uitgegeven door de**

Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn (ICBR)

Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, 56068 Koblenz, Duitsland

Postbus 20 02 53, 56002 Koblenz, Duitsland

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

E-mail: sekretariat@iksr.de

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

ISBN 3-941994-20-4978-3-941994-20-1

© IKSР-CIPR-ICBR 2012

ICBR-expertgroep HVAL

G. Brahmer	Landesamt für Umwelt und Geologie, Hessen
M. Bremicker	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Baden-Württemberg
M. Brinkmann	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz, Noordrijn-Westfalen
H. Buiteveld	Ministerie van Infrastructuur en Milieu - Rijkswaterstaat – Waterdienst, Nederland
N. Busch	Bundesanstalt für Gewässerkunde, Duitsland
R. Creusot	Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement d'Alsace, Frankrijk
R. Diezig	Bundesamt für Umwelt, Zwitserland
F. Fever	Service de la Navigation de Strasbourg, Frankrijk
R. Friese	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Baden-Württemberg
M. Hammer	Bundesanstalt für Gewässerkunde, Duitsland
R. Lammersen	Ministerie van Infrastructuur en Milieu - Rijkswaterstaat – Waterdienst, Nederland
B. Mehlig	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz, Noordrijn-Westfalen
A. Meuser (voorzitter)	Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht, Rijnland-Palts
B. Plonka	Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht, Rijnland-Palts
A. Schmid-Breton	Secretariaat van de ICBR
A. Schulte-Wülwer-Leidig	Secretariaat van de ICBR
R. Vogt	Stadtentwässerungsbetriebe Keulen
A. Vogelbacher	Landesamt für Umweltschutz, Beieren
J-P. Wagner	Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement de Lorraine, Frankrijk
Marlene Willkomm	Stadtentwässerungsbetriebe Keulen

## **Inhoudsopgave**

### **Gebruikte afkortingen en symbolen**

### **Samenvatting**

### **Glossarium**

#### **1. Inleiding en opdracht**

#### **2. Ontstaan van hoogwater in het Rijngebied**

#### **3. Werkwijze**

#### **4. Modellen, waterbouwkundige toestanden en referentiemeetpunten**

##### **4.1 Modellen**

##### **4.2 Bekeken waterbouwkundige toestanden en stuurreglementen**

##### **4.2.1 Waterbouwkundige toestanden**

##### **4.2.2 Maatregelen ter bescherming tegen overstromingen, nagestreefde doelen en stuurreglementen**

##### **4.3 Referentiemeetpunten en geëvalueerde trajecten**

#### **5. Gebruikte hoogwatergebeurtenissen en modelhoogwaters**

##### **5.1 Geselecteerde historische hoogwatergebeurtenissen en invoergegevens**

##### **5.2 Modelhoogwaters**

#### **6. Analyse van de hoogwaterverlaging zonder dijkoverloop**

##### **6.1 Evaluatie van het Rijntraject van Maxau tot Worms in de referentietoestand 1977**

##### **6.2 Evaluatie van het Rijntraject van de Duits-Franse Bovenrijn (Maxau) tot de Rijndelta (Lobith) in de referentietoestand 1995**

#### **7. Analyse van de hoogwaterverlaging met dijkoverloop**

##### **7.1 Methode en basis voor de berekening**

##### **7.1.1 Ligging van de bekeken overstromingsgebieden en volumes aan de Duits-Franse Bovenrijn**

##### **7.1.2 Modellerings van de Duits-Franse Bovenrijn**

##### **7.1.3 Ligging, volume en modellering van de overstromingsgebieden aan de Duitse Nederrijn**

##### **7.2 Resultaten van de berekening van de hoogwaterverlaging met dijkoverloop**

## **Bibliografie**

## **Bijlagen**

## Gebruikte afkortingen en symbolen

APH	Actieplan Hoogwater
BfG	Duitse hydrologische dienst ( <i>Bundesanstalt für Gewässerkunde</i> )
BW	Baden-Württemberg
FR	Frankrijk
HLUG	Dienst voor milieu en geologie van de Duitse deelstaat Hessen ( <i>Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie</i> )
HQ	Hoogwaterafvoer [ $m^3/s$ ]
HQ <sub>T</sub>	Piekafvoer die in een lange reeks opeenvolgende jaren in een periode van T jaar één keer wordt bereikt of overschreden
HIRI	Expertgroep van de ICBR die zich bezighoudt met de ontwikkeling van een methode voor de evaluatie van de vermindering van schaderisico's
HKV	Nederlands ingenieursbureau voor waterbeheer en hydrologie
HSG	Hoogwaterstudiegroep voor het Rijntraject van Kaub tot Rolandswerth
HSK	Hoogwaterstudiecommissie voor de Rijn
HVAL	Expertgroep van de ICBR die zich bezighoudt met de validatie van de berekeningen in verband met de instrumenten voor de evaluatie van de effectiviteit van maatregelen ter verlaging van extreem hoge waterstanden
HW	Hoogwatergebeurtenis
ICBR	Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn
CHR	Internationale Commissie voor de Hydrologie van het Rijnstroomgebied
LANUV	Dienst voor natuur, milieu en consumentenbescherming van de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen ( <i>Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen</i> )
LUA	Milieudienst van de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen ( <i>Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen</i> )
LUBW	Dienst voor milieu, metingen en natuurbescherming van de Duitse deelstaat Baden-Württemberg ( <i>Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg</i> , voorheen LfU: Dienst voor milieubescherming, <i>Landesanstalt für Umweltschutz</i> )
LUWG	Dienst voor milieu, waterbeheer en arbeidsinspectie van de Duitse deelstaat Rijnland-Palts ( <i>Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz</i> , voorheen LfW: Dienst voor waterbeheer, <i>Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz</i> )
NAXOS	Conceptueel neerslag-afvoermodel van het Leichtweiß-instituut van de universiteit Braunschweig voor de maatregelen in het stroomgebied van de Lahn
NL	Nederland
NRW	Noordrijn-Westfalen
RP	Rijnland-Palts
RWS-RIZA	Rijkswaterstaat – Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling
RWS-WD	Rijkswaterstaat – Waterdienst
SOBEK	Hydrodynamisch model voor het traject van Worms tot de monding van de Rijn
SYNHP	Hydrodynamisch model voor het traject van Bazel tot Worms
Q	Afvoer [ $m^3/s$ ]
T	Herhalingsperiode
W	Waterstand [cm, m + Normalnull (NN)]
Z	Toestand

## Samenvatting

Het door de Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn (ICBR) tot stand gebrachte Actieplan Hoogwater (APH) voor de Rijn is vastgesteld tijdens de twaalfde Rijnministersconferentie op 22 januari 1998 in Rotterdam (ICBR, 1998). De actiedoelen van het APH ondersteunen de verbetering van de hoogwatersituatie in de Rijn benedenstrooms van Iffezheim. In het onderhavige rapport wordt er ingegaan op de in actiedoel 2 van het APH nagestreefde "verlaging van de hoogwaterstanden" met zo mogelijk 70 cm door het weer in gebruik nemen van overstromingsgebieden en het aanleggen van technische retentievoorzieningen aan de Rijn (verlaging met zo mogelijk 60 cm) en in het Rijnstroomgebied (ca. 10 cm). Meer bepaald wordt de balans opgemaakt van het effect van de maatregelen in 2010.

In 2005 was de evaluatie gebaseerd op slechts een klein aantal modelhoogwaters. Bij de evaluatie van 2010 is er in de modellen rekening gehouden met in totaal achttien historische hoogwatergebeurtenissen die zijn vergroot naar extremere niveaus, waardoor er in totaal 108 (kunstmatig gecreëerde) synthetische modelhoogwaters zijn verkregen. Anders dan in de evaluatie van 2005 zijn er voor het gehele stroomgebied uniforme factoren gebruikt. Door zo te werk te gaan, blijft het regionale onderscheid in de historische hoogwatergenese behouden.

De verlaging **in de Rijn** wordt beoordeeld op afzonderlijke punten (meetpunten) en riviertrajecten. Terwijl aan de Duits-Franse Bovenrijn en de Middenrijn de riviertrajecten worden vertegenwoordigd door geselecteerde meetpunten, worden de veranderingen van de waterstand in de Duitse Nederrijn en de Rijndelta ook per traject beoordeeld. Toen het APH-doel werd gesteld, is er tevens uitgegaan van een gering effect van waterstandverlagende maatregelen **in het stroomgebied** van ongeveer **10 cm**. Het nader onderzoek dat hiernaar nog moet worden gedaan, is wegens tijdgebrek uitgesteld. Daarom wordt er teruggegrepen op de informatie hierover in ICBR-rapport 153 (2006).

De meetpunten Maxau, Worms, Mainz, Kaub, Andernach, Keulen en Lobith zijn maatgevend voor de evaluatie van de bereikte veranderingen in piekafvoer en waterstand. De veranderingen in de waterstand die in de onderstaande tabellen op een rij zijn gezet, hebben voor de Duits-Franse Bovenrijn en de Middenrijn (tabellen 1 tot 5) betrekking op de meetpunten in kwestie, voor de Duitse Nederrijn en de Rijndelta (tabellen 6 tot 10) op trajecten waarvoor gemiddelde waterstandsveranderingen zijn berekend. In de tabellen 1 tot 10 wordt er per onderzochte waterbouwkundige toestand een overzicht gegeven van de veranderingen van de waterstand ten opzichte van de toestand 1995, verdeeld in drie verschillende overstromingskansen. De informatie over de overstromingskansen is over het algemeen gerelateerd aan de waterbouwkundige toestand 1977 (= afronding van de stuwbouw in de Duits-Franse Bovenrijn).

De modelberekeningen zijn dus gebaseerd op een spectrum van 108 verschillende modelhoogwaters die representatief zijn voor uiteenlopende golfvormen en ontstaanswijzen van hoogwater waarmee de bandbreedte van de effecten van beschermingsmaatregelen tegen overstromingen wordt weergegeven.

Hierbij moet worden bedacht dat er met name voor het niveau van het extreme hoogwater twee varianten zijn berekend voor de referentietoestand 1995 en voor de waterbouwkundige toestanden 2010 en 2020: een theoretische waarde die zich zou voordoen als de dijken ook bij extreem hoogwater niet overliepen en een (als realistischer te beschouwen) waarde waarin dijkoverloop bij extreem hoogwater wordt meegenomen.

In de gepresenteerde resultaten is er rekening gehouden met de voortgang in de planning van technische beschermingsmaatregelen tegen overstromingen, de verdere ontwikkeling van modellen, de uitbreiding van de evaluatiemethode en de controle en

aanvulling van de gegevensbases. Als gevolg daarvan zijn er numerieke verschillen ten opzichte van de resultaten van vroegere onderzoeken.

Tevens kunnen er verschillen zijn ten opzichte van de officiële berekeningen in het kader van de "Permanente Commissie voor de uitbreiding van de Duits-Franse Bovenrijn" en "Ruimte voor de Rivier" in Nederland, omdat er in de modelberekeningen volgens andere regels is gewerkt. Een directe vertaling van de hier vastgelegde rekenresultaten naar de effectiviteitsonderzoeken van andere overleggroepen is daarom technisch niet toegestaan.

De onderstaande tabellen bevatten voor de verschillende **waterbouwkundige toestanden 2005, 2010, 2020 en na 2020 (= 2020+)** de berekende **minimale, gemiddelde en maximale verandering van de waterstand** die als gevolg van de uitgevoerde retentiemaatregelen te verwachten is op de afzonderlijke **meetpunten dan wel trajecten van de Rijn**. De vet gedrukte **gemiddelden** hebben de grootste informatieve waarde.

Maxau	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de waterstand [cm] per onderzochte waterbouwkundige toestand ten opzichte van de toestand 1995											
	HQ <sub>10</sub>			HQ <sub>100</sub>			HQ <sub>extreem</sub>					
	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	zonder dijkoverloop			met dijkoverloop		
							min.	gem.	max.	min.	gem.	max.
$\Delta W$ 2005	0	<b>-3</b>	-13	3	<b>-6</b>	-12	3	<b>-3</b>	-10	-	-	-
$\Delta W$ 2010	0	<b>-3</b>	-13	3	<b>-6</b>	-12	3	<b>-3</b>	-10	1	<b>-2</b>	-4
$\Delta W$ 2020	2	<b>-3</b>	-14	0	<b>-10</b>	-18	3	<b>-6</b>	-16	2	<b>-3</b>	-7
$\Delta W$ 2020+	0	<b>-5</b>	-17	-10	<b>-18</b>	-26	-4	<b>-14</b>	-27	-	-	-

*Minima en maxima zijn geëvalueerd voor het 10- en het 90-percentiel, voor zover de klasse uit meer dan tien waarden bestaat.*

Tabel 1: Veranderingen van de waterstand (negatieve waarden zijn verlagingen) voor de onderzochte waterbouwkundige toestanden op het meetpunt Maxau ten opzichte van de toestand 1995 (ICBR-referentietoestand).

Worms	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de waterstand [cm] per onderzochte waterbouwkundige toestand ten opzichte van de toestand 1995											
	HQ <sub>10</sub>			HQ <sub>100</sub>			HQ <sub>extreem</sub>					
	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	zonder dijkoverloop			met dijkoverloop		
							min.	gem.	max.	min.	gem.	max.
Δ W 2005	0	<b>-3</b>	-11	-4	<b>-10</b>	-15	1	<b>-9</b>	-18	-	-	-
Δ W 2010	0	<b>-3</b>	-11	-5	<b>-10</b>	-16	0	<b>-9</b>	-18	0	<b>-5</b>	-12
Δ W 2020	1	<b>-7</b>	-18	-15	<b>-23</b>	-32	-4	<b>-21</b>	-36	-4	<b>-15</b>	-31
Δ W 2020+	-1	<b>-9</b>	-25	-18	<b>-31</b>	-43	-17	<b>-36</b>	-54	-	-	-

*Minima en maxima zijn geëvalueerd voor het 10- en het 90-percentiel, voor zover de klasse uit meer dan tien waarden bestaat.*

Tabel 2: Veranderingen van de waterstand (negatieve waarden zijn verlagingen) voor de onderzochte waterbouwkundige toestanden op het meetpunt Worms ten opzichte van de toestand 1995 (ICBR-referentietoestand).

Mainz	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de waterstand [cm] per onderzochte waterbouwkundige toestand ten opzichte van de toestand 1995											
	HQ <sub>10</sub>			HQ <sub>100</sub>			HQ <sub>extreem</sub>					
	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	zonder dijkoverloop			met dijkoverloop		
							min.	gem.	max.	min.	gem.	max.
Δ W 2005	-5	<b>-10</b>	-20	-6	<b>-11</b>	-15	-4	<b>-6</b>	-8	-	-	-
Δ W 2010	-5	<b>-11</b>	-21	-7	<b>-13</b>	-18	-4	<b>-6</b>	-8	-2	<b>-4</b>	-7
Δ W 2020	-5	<b>-16</b>	-30	-10	<b>-22</b>	-32	-7	<b>-11</b>	-15	-2	<b>-7</b>	-10
Δ W 2020+	-6	<b>-19</b>	-36	-13	<b>-36</b>	-54	-13	<b>-24</b>	-33	-	-	-

*Minima en maxima zijn geëvalueerd voor het 10- en het 90-percentiel, voor zover de klasse uit meer dan tien waarden bestaat.*

Tabel 3: Veranderingen van de waterstand (negatieve waarden zijn verlagingen) voor de onderzochte waterbouwkundige toestanden op het meetpunt Mainz ten opzichte van de toestand 1995 (ICBR-referentietoestand).



Kaub	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de waterstand [cm] per onderzochte waterbouwkundige toestand ten opzichte van de toestand 1995											
	HQ <sub>10</sub>			HQ <sub>100</sub>			HQ <sub>extreem</sub>					
	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	zonder dijkoverloop			met dijkoverloop		
							min.	gem.	max.	min.	gem.	max.
$\Delta W$ 2005	-6	<b>-12</b>	-24	-9	<b>-16</b>	-21	-9	<b>-15</b>	-23	-	-	-
$\Delta W$ 2010	-6	<b>-14</b>	-24	-11	<b>-19</b>	-25	-10	<b>-17</b>	-24	-4	<b>-13</b>	-22
$\Delta W$ 2020	-6	<b>-19</b>	-37	-17	<b>-29</b>	-42	-14	<b>-27</b>	-40	-4	<b>-21</b>	-32
$\Delta W$ 2020+	-6	<b>-23</b>	-44	-18	<b>-46</b>	-71	-25	<b>-41</b>	-63	-	-	-

*Minima en maxima zijn geëvalueerd voor het 10- en het 90-percentiel, voor zover de klasse uit meer dan tien waarden bestaat.*

Tabel 4: Veranderingen van de waterstand (negatieve waarden zijn verlagingen) voor de onderzochte waterbouwkundige toestanden op het meetpunt Kaub ten opzichte van de toestand 1995 (ICBR-referentietoestand).

Andernach	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de waterstand [cm] per onderzochte waterbouwkundige toestand ten opzichte van de toestand 1995											
	HQ <sub>10</sub>			HQ <sub>100</sub>			HQ <sub>extreem</sub>					
	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	zonder dijkoverloop			met dijkoverloop		
							min.	gem.	max.	min.	gem.	max.
$\Delta W$ 2005	0	<b>-6</b>	-15	0	<b>-6</b>	-13	3	<b>-1</b>	-7	-	-	-
$\Delta W$ 2010	0	<b>-8</b>	-18	-1	<b>-8</b>	-16	0	<b>-3</b>	-7	-8	<b>-10</b>	-13
$\Delta W$ 2020	-1	<b>-13</b>	-29	0	<b>-16</b>	-29	-3	<b>-7</b>	-12	-11	<b>-14</b>	-17
$\Delta W$ 2020+	-2	<b>-16</b>	-36	-1	<b>-29</b>	-56	-4	<b>-12</b>	-23	-	-	-

*Minima en maxima zijn geëvalueerd voor het 10- en het 90-percentiel, voor zover de klasse uit meer dan tien waarden bestaat.*

Tabel 5: Veranderingen van de waterstand (negatieve waarden zijn verlagingen) voor de onderzochte waterbouwkundige toestanden op het meetpunt Andernach ten opzichte van de toestand 1995 (ICBR-referentietoestand).

Riviertraject tussen de monding van de Sieg en de monding van de Ruhr	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de waterstand [cm] per onderzochte waterbouwkundige toestand ten opzichte van de toestand 1995											
	HQ <sub>10</sub>			HQ <sub>100</sub>			HQ <sub>extreem</sub>					
	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	zonder dijkoverloop			met dijkoverloop		
							min.	gem.	max.	min.	gem.	max.
$\Delta W$ 2005	5	<b>1</b>	-5	8	<b>2</b>	-10	5	<b>0</b>	-3	-	-	-
$\Delta W$ 2010	5	<b>-1</b>	-7	8	<b>0</b>	-10	5	<b>-1</b>	-8	4	<b>1</b>	-1
$\Delta W$ 2020	5	<b>-7</b>	-18	7	<b>-4</b>	-21	4	<b>-7</b>	-19	-1	<b>-4</b>	-6
$\Delta W$ 2020+	5	<b>-12</b>	-30	6	<b>-7</b>	-28	3	<b>-12</b>	-34	-	-	-

*Minima en maxima zijn geëvalueerd voor het 10- en het 90-percentiel, voor zover de klasse uit meer dan tien waarden bestaat.*

Tabel 6: Over het riviertraject tussen de monding van de Sieg en de monding van de Ruhr gemiddelde veranderingen van de waterstand (negatieve waarden zijn verlagingen) voor de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995 (ICBR-referentietoestand).

Riviertraject tussen de monding van de Ruhr en de Pannerdensche Kop	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de waterstand [cm] per onderzochte waterbouwkundige toestand ten opzichte van de toestand 1995											
	HQ <sub>10</sub>			HQ <sub>100</sub>			HQ <sub>extreem</sub>					
	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	zonder dijkoverloop			met dijkoverloop		
							min.	gem.	max.	min.	gem.	max.
$\Delta W$ 2005	2	<b>-2</b>	-7	4	<b>1</b>	-2	3	<b>2</b>	-1	-	-	-
$\Delta W$ 2010	2	<b>-2</b>	-8	6	<b>1</b>	-4	4	<b>3</b>	0	6	<b>3</b>	-1
$\Delta W$ 2020	-3	<b>-11</b>	-22	-4	<b>-14</b>	-25	-21	<b>-27</b>	-31	-9	<b>-17</b>	-23
$\Delta W$ 2020+	-4	<b>-13</b>	-27	-4	<b>-19</b>	-32	-22	<b>-33</b>	-40	-	-	-

*Minima en maxima zijn geëvalueerd voor het 10- en het 90-percentiel, voor zover de klasse uit meer dan tien waarden bestaat.*

Tabel 7: Over het riviertraject tussen de monding van de Ruhr en de Pannerdensche Kop gemiddelde veranderingen van de waterstand (negatieve waarden zijn verlagingen) voor de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995 (ICBR-referentietoestand).

Rivier Neder- Rijn/Lek	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de waterstand [cm] per onderzochte waterbouwkundige toestand ten opzichte van de toestand 1995											
	HQ <sub>10</sub>			HQ <sub>100</sub>			HQ <sub>extreem</sub>					
	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	zonder dijkoverloop			met dijkoverloop		
							min.	gem.	max.	min.	gem.	max.
$\Delta W$ 2005	0	<b>-1</b>	-4	0	<b>-1</b>	-3	0	<b>-1</b>	-3	-	-	-
$\Delta W$ 2010	0	<b>-2</b>	-5	-1	<b>-3</b>	-5	-1	<b>-2</b>	-3	0	<b>-2</b>	-5
$\Delta W$ 2020	-5	<b>-11</b>	-17	-4	<b>-10</b>	-17	-8	<b>-15</b>	-26	-6	<b>-9</b>	-16
$\Delta W$ 2020+	-5	<b>-12</b>	-20	-4	<b>-11</b>	-20	-9	<b>-20</b>	-32	-	-	-

*Minima en maxima zijn geëvalueerd voor het 10- en het 90-percentiel, voor zover de klasse uit meer dan tien waarden bestaat.*

Tabel 8: Over de rivier Neder-Rijn/Lek gemiddelde veranderingen van de waterstand (negatieve waarden zijn verlagingen) voor de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995 (ICBR-referentietoestand).

Rivier Waal	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de waterstand [cm] per onderzochte waterbouwkundige toestand ten opzichte van de toestand 1995											
	HQ <sub>10</sub>			HQ <sub>100</sub>			HQ <sub>extreem</sub>					
	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	zonder dijkoverloop			met dijkoverloop		
							min.	gem.	max.	min.	gem.	max.
$\Delta W$ 2005	0	<b>-2</b>	-5	0	<b>-3</b>	-5	-1	<b>-2</b>	-4	-	-	-
$\Delta W$ 2010	-1	<b>-3</b>	-6	-2	<b>-5</b>	-8	-3	<b>-5</b>	-6	0	<b>-2</b>	-7
$\Delta W$ 2020	-9	<b>-17</b>	-31	-11	<b>-19</b>	-24	-21	<b>-25</b>	-29	-12	<b>-19</b>	-26
$\Delta W$ 2020+	-9	<b>-18</b>	-32	-11	<b>-23</b>	-33	-26	<b>-32</b>	-41	-	-	-

*Minima en maxima zijn geëvalueerd voor het 10- en het 90-percentiel, voor zover de klasse uit meer dan tien waarden bestaat.*

Tabel 9: Over de rivier Waal gemiddelde veranderingen van de waterstand (negatieve waarden zijn verlagingen) voor de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995 (ICBR-referentietoestand).

Rivier IJssel	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de waterstand [cm] per onderzochte waterbouwkundige toestand ten opzichte van de toestand 1995											
	HQ <sub>10</sub>			HQ <sub>100</sub>			HQ <sub>extreem</sub>					
	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	zonder dijkoverloop			met dijkoverloop		
							min.	gem.	max.	min.	gem.	max.
Δ W 2005	0	-1	-3	0	-2	-4	-1	-2	-4	-	-	-
Δ W 2010	0	-2	-4	-1	-3	-6	-3	-5	-7	-1	-3	-7
Δ W 2020	-32	-38	-42	-39	-45	-56	-44	-52	-60	-41	-46	-53
Δ W 2020+	-32	-39	-45	-39	-46	-59	-46	-58	-73	-	-	-

*Minima en maxima zijn geëvalueerd voor het 10- en het 90-percentiel, voor zover de klasse uit meer dan tien waarden bestaat.*

Tabel 10: Over de rivier IJssel gemiddelde veranderingen van de waterstand (negatieve waarden zijn verlagingen) voor de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995 (ICBR-referentietoestand).

De bandbreedte van de bereikte veranderingen in de waterstand is weergegeven in de tabellen 1 tot 10. Maatgevend voor de totaalbeoordeling zijn echter de gemiddelde resultaten. De minima en maxima zijn slechts op zichzelf staande gevallen die verband houden met bepaalde gebeurtenissen en trajecten. Om de toevalsfactor in de weergave van de resultaten te minimaliseren, staat in de tabellen steeds het 10- en het 90-percentiel (voor zover de klasse uit meer dan tien waarden bestaat).

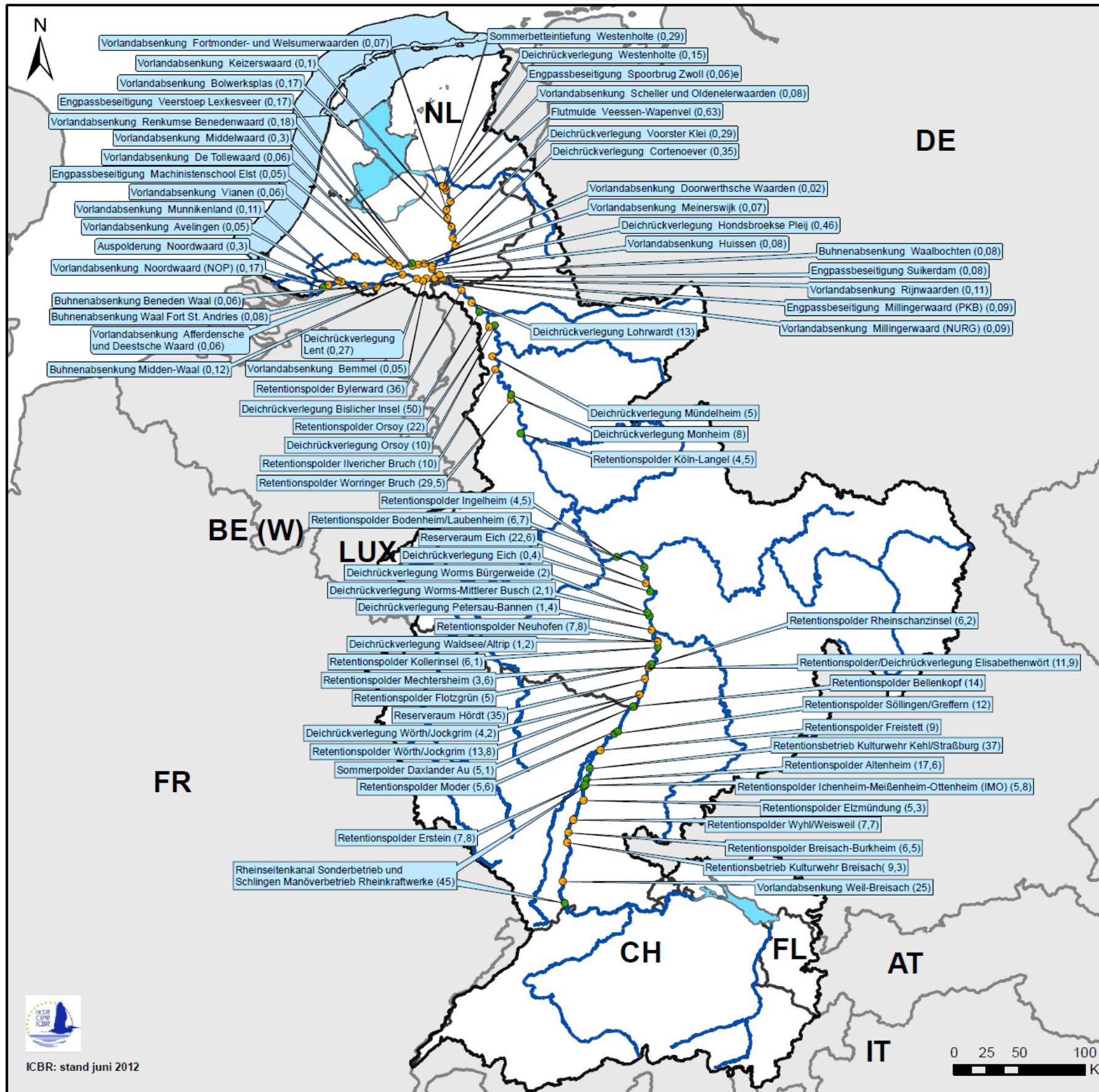
Verder moet er rekening mee worden gehouden dat het effect van retentiemaatregelen bij HQ<sub>extreem</sub> doorgaans zwakker is als gevolg van eventuele dijkoverloop. In het onderzoek wordt niet zozeer het effect van dijkoverloop op zich bekeken, als wel een schatting gemaakt van het effect van dijkoverloop op de doeltreffendheid van retentiemaatregelen.

Het onderzoek naar het effect van de maatregelen langs de Rijn van Bazel tot de Noordzee is gebaseerd op de rekenresultaten voor de volgende waterbouwkundige toestanden (voor de desbetreffende maatregelen zie de kaart op pagina 11 evenals de tabellen 11 en 12):

- **Waterbouwkundige toestand 1977** (= datum waarop de laatste stuw in de Duits-Franse Bovenrijn, de stuw te Iffezheim ter hoogte van Rijnkm 334, is opgeleverd) en nog voor de aanleg en ingebruikneming van retentiemaatregelen aan de Duits-Franse Bovenrijn. Op basis van de toestand 1977 kan de hoogwatersituatie in de Duits-Franse Bovenrijn zonder de werking van retentiemaatregelen worden beoordeeld<sup>1</sup>.
- **Waterbouwkundige toestand 1995** (referentietoestand in het ICBR-Actieplan Hoogwater). In de toestand 1995 was er 160 miljoen m<sup>3</sup> retentievolume operationeel langs de hoofdstroom van de Rijn.

<sup>1</sup> Reeds voor de goedkeuring van het APH in 1998 waren er op grond van het Duits-Franse Verdrag van 1969 afspraken gemaakt in verband met de aanleg van meerdere retentiegebieden voor hoogwater om de bescherming tegen hoogwater weer op het niveau te brengen van voor de afronding van de waterbouwkundige maatregelen aan de Bovenrijn in 1977. Als in het Actieplan Hoogwater als referentiejaar niet 1995 was vastgesteld, zou er in de actuele beoordeling van het effect van de tot 2010 uitgevoerde retentiemaatregelen ook rekening kunnen worden gehouden met de effectiviteit van de maatregelen die tussen 1977 en 1995 zijn uitgevoerd aan de Duits-Franse Bovenrijn en die goed zijn voor een stuurbaar retentievolume van ongeveer 105 miljoen m<sup>3</sup>.

- **Waterbouwkundige toestand 2005** (evaluatie datum in het ICBR-Actieplan Hoogwater ten opzichte van 1995). In de toestand 2005 was er in totaal ongeveer 211 miljoen m<sup>3</sup> retentievolume operationeel langs de hoofdstroom van de Rijn.
- **Waterbouwkundige toestand 2010** (ICBR-evaluatie datum ten opzichte van 1995). In de toestand 2010 was er in totaal 229 miljoen m<sup>3</sup> retentievolume operationeel langs de hoofdstroom van de Rijn.
- **Waterbouwkundige toestand 2020** (door de ICBR verwachte toestand ten opzichte van 1995). In de toestand 2020 zal er volgens de huidige stand van zaken 361 miljoen m<sup>3</sup> retentievolume operationeel zijn langs de hoofdstroom van de Rijn. Hierbij komen nog andere maatregelen ter verlaging van de waterstand in de Rijntakken benedenstrooms van Lobith.
- **Waterbouwkundige toestand 2020+** (door de ICBR verwachte toestand ten opzichte van 1995). De toestand 2020+ omvat alle geplande retentiemaatregelen aan de Duits-Franse Bovenrijn (ook die, die waarschijnlijk pas na 2020 in gebruik kunnen worden genomen), inclusief de ruimtelijke reserveringen in de Duitse deelstaat Rijnland-Palts en de gebieden die zijn opgenomen in het hoogwaterbeschermingsconcept van de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen. In de toestand 2020+ zal er waarschijnlijk 535 miljoen m<sup>3</sup> retentievolume operationeel zijn. Hierbij komen nog andere maatregelen ter verlaging van de waterstand in de Rijntakken benedenstrooms van Lobith.



### Maatregelen voor de retentie van hoogwater in de hoofdstroom van de Rijn

Stand van de uitvoering van de maatregelen

- Afgerond
- In uitvoering / in planning

Wateren

- Rivieren
- Kust- en overgangswateren

Toelichting bij de cijfers

Voor de waterstandverlagende maatregelen in de Rijndelta vanaf Lobith: verlaging van de waterstand in m

Voor de retentiemaatregelen tussen Bazel en Lobith: volumes in miljoen m<sup>3</sup>

*Opmerking: De Franse of Nederlandse naam van de maatregelen is te vinden in de bijgevoegde tabellen.*



ICBR: stand juni 2012

Rijnkm	Traject	(Deel) staat	Locatie van de maatregel	Type maatregel	Beschikbaar volume					
					[mln m <sup>3</sup> ]					
					1977	1995	2005	2010	2020	2020+
174 - 226 234 - 291		FR	Elzaskanaal en meanders	buitengewone bedrijfsvoering van de waterkrachtcentrales aan de Rijn		45	45	45	45	45
174,6 - 219		DE-BW	Weil-Breisach	uiterwaardvergraving					2,8 <sup>2)</sup>	25
224,8		DE-BW	Breisach	bediening van de stuw voor retentiedoelinden					9,3	9,3
228,4		DE-BW	Breisach-Burkheim	retentiepolder					6,5	6,5
243		DE-BW	Wyhl/Weisweil	retentiepolder						7,7
260,5		DE-BW	monding van de Elz	retentiepolder					5,3	5,3
272		DE-BW	Ichenheim-Meißenheim-Ottenham (IMO)	retentiepolder						5,8
276		FR	Erstein	retentiepolder						
278,4		DE-BW	Altenheim	retentiepolder		17,6	17,6	17,6	17,6	17,6
290,3		DE-BW	Kehl/Straatsburg	bediening van de stuw voor retentiedoelinden		37 <sup>1)</sup>	37	37	37	37
302		DE-BW	Freistett	retentiepolder						9
317,4		DE-BW	Söllingen/Greffern	retentiepolder			12	12	12	12
330		FR	Moder	retentiepolder			5,6	5,6	5,6	5,6
354,9		DE-BW	Bellenkopf	retentiepolder						14
357,5		DE-RP	Daxlander Au	zomerpolder	5,1 <sup>3)</sup>	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
368		DE-RP	Wörth/Jockgrim	dijkverlegging retentiepolder					4,2	4,2
377		DE-RP	Hördt	reservegebied						35
381,3		DE-BW	Elisabethenwört	retentiepolder/ dijkverlegging						11,9
390		DE-RP	Mechtersheim	retentiepolder					3,6	3,6
390,4		DE-BW	Rheinschanzinsel	retentiepolder					6,2	6,2
392,6		DE-RP	Flotzgrün	retentiepolder			5	5	5	5
409,9		DE-RP	Kollerinsel	retentiepolder			6,1	6,1	6,1	6,1
411,5		DE-RP	Waldsee/Altrip	dijkverlegging					1,2	1,2
436		DE-RP	Neuhofen	retentiepolder					7,8	7,8
439		DE-RP	Petersau-Bannen	dijkverlegging					1,4	1,4
440,2		DE-RP	Worms-Mittlerer Busch	dijkverlegging				2,1	2,1	2,1
440,2		DE-RP	Worms Bürgerweide	dijkverlegging			2	2	2	2
467,3		DE-RP	Eich	dijkverlegging			0,4	0,4	0,4	0,4
468,5		DE-RP	Eich	reservegebied						22,6
489,9		DE-RP	Bodenheim/ Laubenheim	retentiepolder				6,7	6,7	6,7
517,3		DE-RP	Ingelheim	retentiepolder				4,5	4,5	4,5
668,5		D-NRW	Keulen-Langel	retentiepolder				4,5	4,5	4,5
705,5		D-NRW	Worringer Bruch	retentiepolder					29,5	29,5
707,5		D-NRW	Monheim	dijkverlegging			8	8	8	8
750		D-NRW	Ilvericher Bruch	retentiepolder						10
760,5		D-NRW	Mündelheim	dijkverlegging					5	5
802		D-NRW	Orsoy	dijkverlegging			10	10	10	10
797,5		D-NRW	Orsoy	retentiepolder					22	22
818,5		D-NRW	Bislicher Insel	dijkverlegging	50 <sup>3)</sup>	50	50	50	50	50
832,5		D-NRW	Lohrwardt	dijkverlegging					13	13
850		D-NRW	Bylerward	retentiepolder						36
<b>Totaal van het retentievolumen van de waterstandverlagende maatregelen aan de Rijn per waterbouwkundige toestand</b>					<b>55,1</b>	<b>160,3<sup>1)</sup></b>	<b>212</b>	<b>229</b>	<b>361</b>	<b>535,2</b>
<sup>1)</sup> Stuw Kehl: tot 2002 in normale omstandigheden 13 mln m <sup>3</sup> beschikbaar, verdere 24 mln m <sup>3</sup> alleen in buitengewone situaties beschikbaar.										
<sup>2)</sup> 2,8 mln m <sup>3</sup> = traject I van in totaal 4 trajecten. In 2020 zullen er ook al delen van de trajecten III en IV gereed zijn.										
<sup>3)</sup> De Daxlander Au en de Bislicher Insel waren al voor de afronding van de maatregelen overstromingsgebieden bij hoogwater in de Rijn.										

Tabel 11: Retentiemaatregelen tussen Bazel en Lobith met bijbehorend volume (in miljoen m<sup>3</sup>)

Rivier-kilometer	Traject	(Deel)staat	Locatie van de maatregel	Type maatregel	Vereist minimaal waterstandverlagend effect <sup>4)</sup> (per maatregel) (m)				
					1995	2005	2010	2020	2020+
865	Bovenrijn/Waal/Merweddes	NL	Rijnwaarden	uiterwaardvergraving				0,11	0,11
871		NL	Millingerwaard (PKB)	verwijderen van obstakels				0,09	0,09
871		NL	Millingerwaard (NURG)	uiterwaardvergraving					
871		NL	Suikerdam	verwijderen van obstakels				0,08	0,08
878		NL	Bemmel	uiterwaardvergraving				0,05	0,05
882		NL	Lent	dijkverlegging				0,27	0,27
897		NL	Aferdensche en Deestsche Waard	uiterwaardvergraving				0,06	0,06
867		NL	Waalbochten	kribverlaging				0,08	0,08
887		NL	Midden-Waal	kribverlaging				0,12	0,12
916		NL	Waal Fort St. Andries	kribverlaging				0,08	0,08
934		NL	Beneden-Waal	kribverlaging				0,06	0,06
948		NL	Munnikenland	uiterwaardvergraving				0,11	0,11
955		NL	Avelingen	uiterwaardvergraving				0,05	0,05
964		NL	Noordwaard	ontpoldering				0,3	0,3
968		NL	Noordwaard (NOP)	uiterwaardvergraving			0,17	0,17	0,17
871	Pannerdensch Kanaal, Neder-Rijn, Lek	NL	Huissen	uiterwaardvergraving				0,08	0,08
883		NL	Meinerswijk	uiterwaardvergraving				0,07	0,07
893		NL	Doorwerthsche Waarden	uiterwaardvergraving				0,02	0,02
898		NL	Renkumse Benedenwaard	uiterwaardvergraving					
898		NL	Veerstoep Lexkesveer	verwijderen van obstakels			0,17	0,18	0,18
908		NL	Middelwaard	uiterwaardvergraving				0,03	0,03
911		NL	De Tollewaard	uiterwaardvergraving				0,06	0,06
917		NL	Machinistenschool Elst	verwijderen van obstakels				0,05	0,05
946	NL	Vianen	uiterwaardvergraving				0,06	0,06	
878	IJssel	NL	Hondsbroekse Pleij	dijkverlegging				0,46	0,46
918		NL	Cortenoever	dijkverlegging				0,35	0,35
930		NL	Voorster Klei	dijkverlegging				0,29	0,29
943		NL	Bolwerksplas	uiterwaardvergraving				0,17	0,17
947		NL	Keizerswaard	uiterwaardvergraving				0,1	0,1
957		NL	Fortmonder- en Welsumerwaarden	uiterwaardvergraving				0,06 - 0,08	0,06 - 0,08
961		NL	Veessen-Wapenveld	hoogwatergeul				0,63	0,63
977		NL	Scheller en Oldenelerwaarden	uiterwaardvergraving				0,08	0,08
978		NL	Spoorbrug Zwolle	verwijderen van obstakels				0,06	0,06
980		NL	Westenholte	dijkverlegging				0,15	0,15
980	NL	Westenholte	zomerbedverdieping				0,29	0,29	

<sup>4)</sup> Deze maatregelen dienen in de eerste plaats ter verhoging van de afvoercapaciteit in de Rijndelta. Daarom wordt alleen de beoogde verlaging van de waterstand per maatregel aangegeven. De maatregelen worden bijgevolg ook niet mee gerekend in de totale som van het retentievolume. In 2005 waren er al maatregelen met een totaal oppervlak van ca. 17 km<sup>2</sup> gerealiseerd (zie balans van het APH over 1995-2005). In 2010 bedroeg dit oppervlak dankzij de realisatie van extra maatregelen 38 km<sup>2</sup>.  
 PKB = Planologische Kernbeslissing  
 NURG = Nadere Uitwerking Riviereengebied  
 NOP = Natuurontwikkelingsproject

Tabel 12: Waterstandverlagende maatregelen in de Rijndelta vanaf Lobith met vereist minimaal waterstandverlagend effect (in m); weergegeven zijn alleen de belangrijkste maatregelen. In deze tabel staan alleen maatregelen die worden uitgevoerd in het kader van de planologische kernbeslissing Ruimte voor de Rivier (2006).

De in de tabellen genoemde types van maatregelen worden toegelicht in het glossarium.



## Overzicht van de resultaten

Voor de **toestand 2010** bedraagt de **gemiddelde verlaging** als gevolg van maatregelen bij een **HQ<sub>100</sub>**:

- Bovenrijn 6 tot 13 cm (afzonderlijke maximale waarde 25 cm)
- Middenrijn 8 tot 19 cm (afzonderlijke maximale waarde 33 cm)
- Nederrijn geen verlaging (afzonderlijke maximale waarde 11 cm)
- Rijndelta 3 tot 5 cm (afzonderlijke maximale waarde 8 cm)

Voor de **toestand 2010** bedraagt de **gemiddelde verlaging** als gevolg van maatregelen bij een **HQ<sub>extreem</sub>** (rekening houdend met dijkoverloop):

- Bovenrijn 2 tot 5 cm (afzonderlijke maximale waarde 14 cm)
- Middenrijn 10 tot 13 cm (afzonderlijke maximale waarde 22 cm)
- Nederrijn geen verlaging (afzonderlijke maximale waarde 6 cm)
- Rijndelta 2 tot 3 cm (afzonderlijke maximale waarde 7 cm)

Voor de **toestand 2020** bedraagt de **gemiddelde verlaging** als gevolg van maatregelen bij een **HQ<sub>100</sub>**:

- Bovenrijn 10 tot 23 cm (afzonderlijke maximale waarde 44 cm)
- Middenrijn 16 tot 29 cm (afzonderlijke maximale waarde 50 cm)
- Nederrijn 4 tot 14 cm (afzonderlijke maximale waarde 25 cm)
- Rijndelta 10 tot 45 cm (afzonderlijke maximale waarde 57 cm)

Voor de **toestand 2020** bedraagt de **gemiddelde verlaging** als gevolg van maatregelen bij een **HQ<sub>extreem</sub>** (rekening houdend met dijkoverloop):

- Bovenrijn 3 tot 15 cm (afzonderlijke maximale waarde 31 cm)
- Middenrijn 14 tot 21 cm (afzonderlijke maximale waarde 32 cm)
- Nederrijn 4 tot 17 cm (afzonderlijke maximale waarde 29 cm)
- Rijndelta 9 tot 46 cm (afzonderlijke maximale waarde 56 cm)

Samenvattend kan er voor ICBR-actiedoel 2 (verlaging van de hoogwaterstanden met zo mogelijk 70 cm: ca. 60 cm door waterretentie aan de Rijn en ca. 10 cm door waterretentie in het Rijnstroomgebied) worden gesteld:

- dat het destijds gestelde doel voor de verlaging van de waterstand met zo mogelijk 60 cm d.m.v. maatregelen aan de hoofdstroom in het licht van de nieuwe kennis over de maximumwaarde ambitieus blijkt te zijn;
- dat het maximale doel van 60 cm slechts lokaal en bij een klein aantal hoogwatergebeurtenissen kan worden bereikt, zelfs als er rekening wordt gehouden met alle thans voorgenomen maatregelen (conform de modeltoestand 2020+);
- dat uit het uitgevoerde onderzoek blijkt dat 60 cm waterstandverlaging alleen zeker zou kunnen worden gehaald als er meer retentiegebieden worden aangelegd en/of maatregelen worden uitgevoerd die de afvoer verbeteren, voor zover die geen bedreiging vormen voor benedenstrooms gelegen gebieden.

In het onderhavige onderzoek zijn er voor het eerst voor de gehele hoofdstroom van de Rijn en zijn retentiegebieden modelberekeningen uitgevoerd voor een groot aantal hoogwatergebeurtenissen. Op basis van de resultaten kan er, ook voor het eerst, een gefundeerde beoordeling worden gegeven van de mate waarin de destijds in het Actieplan Hoogwater gestelde doelen kunnen worden bereikt.

***Aanvullende opmerking***

Wordt het effect van alle in de periode 1977-2010 gerealiseerde maatregelen voor hoogwaterretentie meegenomen dan worden er duidelijk grotere verlagingen van de waterstand bereikt, die in de Duits-Franse Bovenrijn oplopen tot 20 tot 40 cm extra. De verlaging van de waterstand in de Middenrijn kan geheel worden toegeschreven aan de hoogwaterretentie aan de Duits-Franse Bovenrijn. Wat de verlaging van de topstanden in de Duitse Nederrijn betreft, zijn er geen substantiële verschillen tussen de waterbouwkundige toestanden 1977 en 1995.

De waterstandverlagende maatregelen op de drie Nederlandse Rijntakken hebben een verschillend effect; de waterstanddaling is het hoogst op de IJssel en lager op de Waal en de Lek. Maatregelen met een hydraulisch effect (bijv. Ruimte voor de Rivier) zijn met name mogelijk in de Rijndelta, omdat daar geen gevaar voor benedenstrooms gelegen gebieden bestaat.

---

## **GLOSSARIUM**

### **Beschermingsmaatregelen tegen overstromingen**

Maatregelen ter vermindering (of eliminatie) van overstromingsrisico's door verkleining van de kans op overstromingen en/of de effecten van overstromingen op een bepaalde locatie. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen actieve en passieve, bouwkundige (bijv. dijken) en niet-bouwkundige (bijv. overstromingspreventie), vaste en mobiele beschermingsmaatregelen.

### **Polder**

Polders zijn over het algemeen gebieden die normaal gesproken droog zijn, maar tijdelijk kunnen onderlopen. Dit onder water zetten of inunderen kan opzettelijk of onopzettelijk gebeuren en het gevolg zijn van overstromingen, opgestarte maatregelen of het falen van installaties.

Polders zijn dus bijv. gebieden achter waterkeringen, retentiegebieden om hoogwater vast te houden of ontwaterde zones die bedreigd zijn als de gemalen het laten afweten. Afhankelijk van de regio, de technische voorzieningen en de werking worden er verschillende uitdrukkingen gebruikt met het begrip "polder" erin, die hieronder worden uitgelegd.

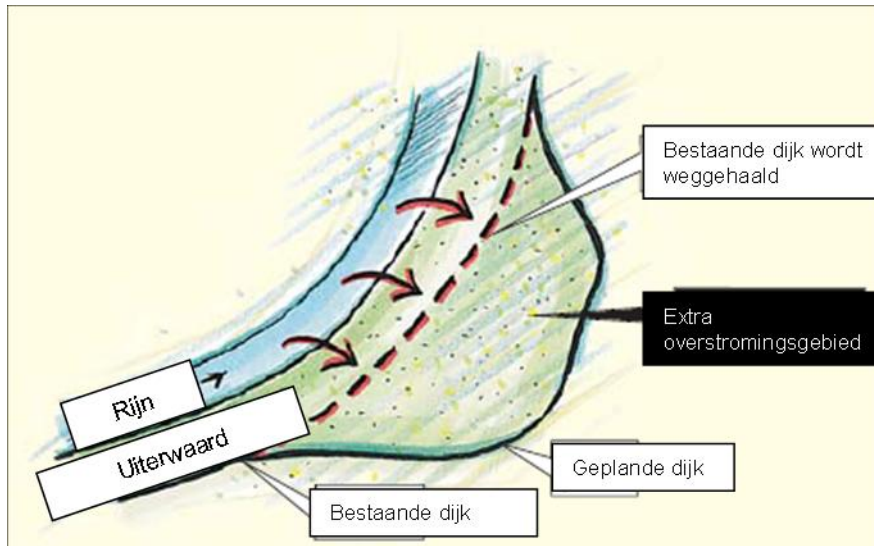
In het kader van technische bescherming tegen overstromingen is een polder een gebied dat door beschermingsmaatregelen is gescheiden van de natuurlijke overstromingsdynamiek. In zijn klassieke, vooral in Nederland gebezigde, betekenis kan het gebied daarom nagenoeg onafhankelijk van overstromingen worden gebruikt voor bebouwing, landbouw, enz.

In specifieke omstandigheden wordt het begrip "polder" vaak ook toegepast op gebieden die dankzij maatregelen in principe wel worden behoed voor overstromingen, maar in bijzondere gevallen (gericht) onder water (kunnen) worden gezet. Dan wordt het begrip "polder" in samenstellingen gebruikt, zoals "zomerpolder" (zie hieronder) of "retentiepolder" (zie hieronder), "inundatiepolder" of "inlaatpolder".

Voor de beoordeling van actiedoel 2 van het Actieplan Hoogwater onderzoekt de EG HVAL door middel van modellen de volgende soorten van waterstandverlagende maatregelen en retentie-effecten aan de Rijn:

## 1. Ongestuurde maatregelen ter verlaging van de waterstand

### 1a) Dijkverlegging



Door dijken landinwaarts te verleggen, worden de uiterwaarden weer breder en krijgt de rivier meer ruimte.

## 1b) Ontpoldering



De dijk aan rivierzijde van een polder wordt verder landinwaarts verlegd, doorgestoken of volledig verwijderd. De polder is dan ontpolderd en de rivier kan bij hoogwater het gebied weer in stromen.

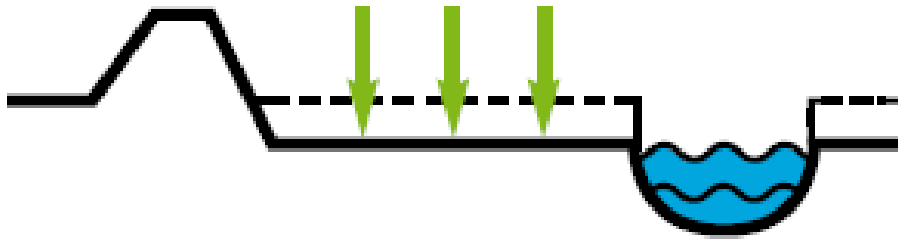
## 1c) Zomerpolder

Buitendijkse gebieden die door een kade ("zomerdijk") zijn gescheiden van het zomerbed van de Rijn worden bij lagere hoogwaters door een (ongestuurde) overstroming van de zomerdijk onder water gezet. Zomerpolders beschikken doorgaans niet over in- of uitlaatwerken.

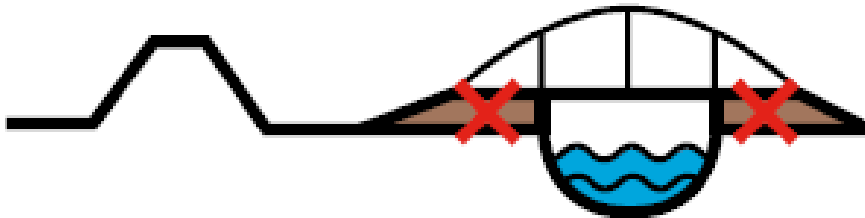
*Overstroming van de zomerdijk "Daxlander Au" (augustus 2007):*



*Zomerkade langs de Rijn bij overstroming in een poldergebied met stijgend waterpeil.*

**1d) Uiterwaardvergraving**

Door het afgraven van (delen van) de uiterwaard krijgt de rivier bij hoogwater meer ruimte.

**1e) Verwijderen van obstakels**

Een hydraulisch obstakel wordt verwijderd om een lokale wateropstuwung weg te werken. Hierdoor kan het water beter worden afgevoerd, wat leidt tot een verlaging van de waterstand bij hoogwater.

**1f) Kribverlaging**

Door kribben in waterwegen te verlagen, kan het water beter worden afgevoerd, wat leidt tot een verlaging van de waterstand bij hoogwater.

### 1g) Hoogwatergeul



Een hoogwatergeul is een bedijkt rivierbed dat aftakt van een rivier om een deel van het water via een andere route af te voeren.

### 1h) Zomerbedverdieping



De rivierbedding wordt verdiept door een bodemlaag af te graven. Hierdoor wordt de afvoercapaciteit verhoogd terwijl het waterpeil constant blijft.

## 2. Gestuurde retentiemaatregelen

### 2a) Buitengewone bedrijfsvoering van de waterkrachtcentrales aan de zuidelijke Bovenrijn

Door de doorstroming door de turbines op het door stuwen gereguleerde traject bij hoogwater gericht te verlagen, wordt er water naar de (niet bevaarbare) parallel met het gekanaliseerde gedeelte lopende hoofdstroom van de Rijn of de meanders afgevoerd, die daardoor als retentiegebied kunnen fungeren.



*In het Elzaskanaal en de meanders: door de afvoer in het kanaal te verlagen, treedt de rivier buiten haar oevers en wordt het water in het natuurlijke rivierbed vastgehouden.*

## 2b) Bediening van de stuwen in de zuidelijke Bovenrijn voor retentiedoeleinden

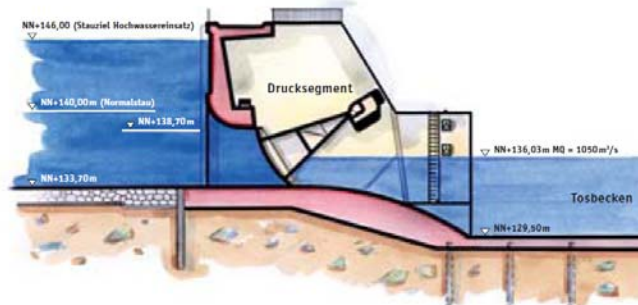
Met behulp van de stuwen wordt het grondwaterpeil voor de landbouw gestuurd.

Aan de stuwen in de hoofdstroom van de Rijn wordt er ook gericht water opgestuwd voor retentiedoeleinden. Er wordt een vast reglement toegepast op de stuwen in de Rijn om het waterpeil in het rivierbed en de overstromingsgebieden bovenstrooms van de stuw te beheren. Het reeds opgestuwde water wordt eerst afgelaten om vervolgens het hoogwater te kunnen opvangen. Door de gestegen waterstanden bovenstrooms van de stuw kan het water naar de aanpalende overstromingsgebieden stromen.

Nadat de stuw is neergelaten, wordt het retentiegebied opnieuw gelegegd. Stuwen kunnen net als polders gericht en zeer efficiënt worden ingezet om hoogwater vast te houden.



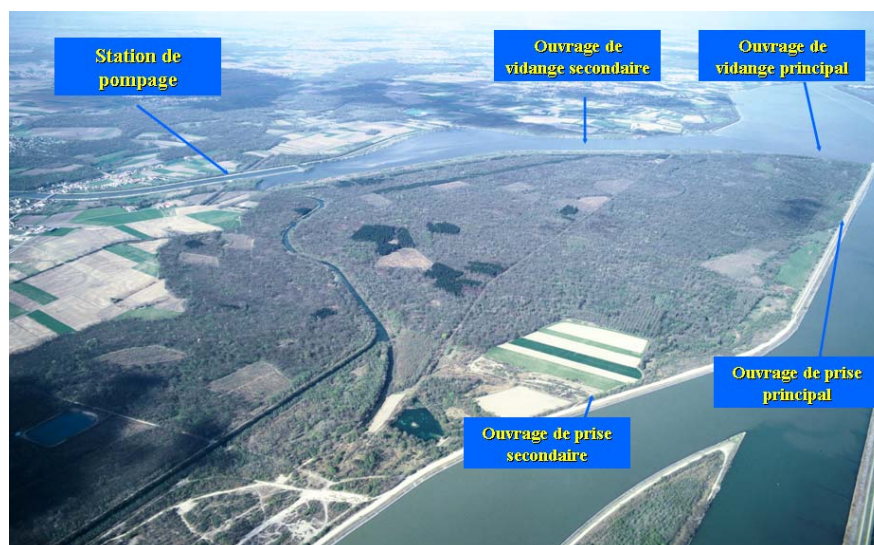
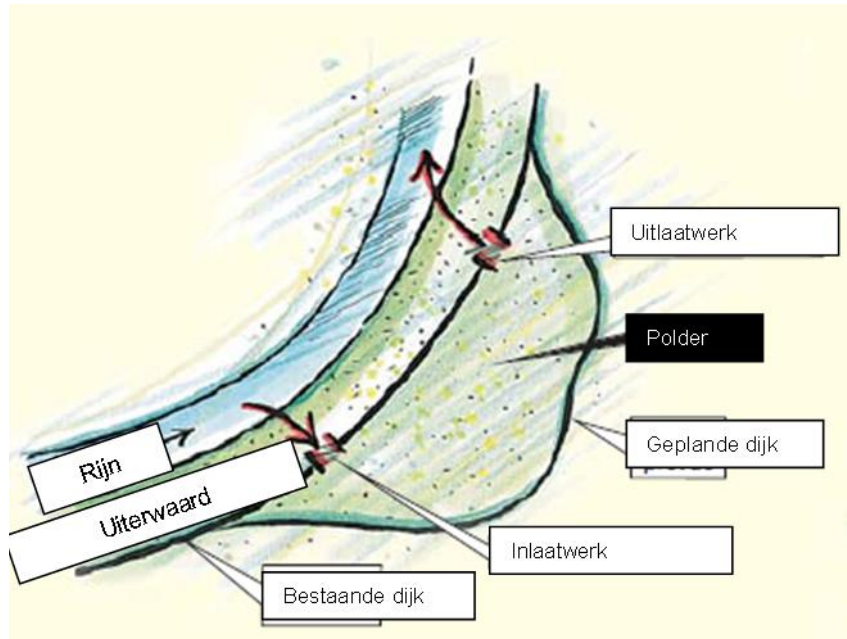
Stuw Kehl/Straatsburg





## 2c) Retentiepolder

Naast de Rijn gelegen polders worden bij hogere hoogwaters via inlaatwerken onder water gezet om de afvoergolf af te toppen en het water vast te houden. Als ecologische compensatiemaatregel bestaan er ook polders die bij lagere hoogwaters worden geïnundeerd ("ecologische inundaties"). Retentiepolders worden gewoonlijk hoogwaterretentiegebied of in andere stroomgebieden ook "inundatiepolder" genoemd.



*Polder Erstein*

## 2d) Reservegebieden (in de ICBR-brochure met voorzorgsmaatregelen tegen hoogwater uit 2002 worden de begrippen "noodoverloopgebieden" en "tweede verdedigingslinie" gebruikt)

Dit zijn naast de Rijn gelegen retentiegebieden die zeer zelden onder water worden gezet. Ze worden normaal gesproken pas gebruikt als de maatgevende afvoer van de dijken wordt overschreden en bieden daardoor veiligheid boven de maatgevende afvoer. Reservegebieden hebben meestal een veel groter volume dan normale retentiepolders.



### 3. Overstromingsgebieden bij extreem hoogwater

Bij extreem hoogwater, onder andere als de maatgevende afvoer wordt overschreden, kunnen dijken overlopen of breken, wat ervoor kan zorgen dat er achter de waterkeringen grote gebieden onder water komen te staan (hierdoor kunnen ook bebouwde gebieden zwaar worden getroffen).

Het wegvloeien van Rijnwater naar het achterland en het terugvloeien van dit water naar soms ver benedenstrooms gelegen delen van de rivier kan een aanzienlijke invloed hebben op de hoogwatergolf in de Rijn.



*Dijkdoorbraak aan de Duitse Bovenrijn in Flotzgrün (hoogwater in juni 1953)*

## 1. Inleiding en opdracht

Het door de Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn (ICBR) tot stand gebrachte Actieplan Hoogwater (APH) voor de Rijn is vastgesteld tijdens de twaalfde Rijnministersconferentie op 22 januari 1998 in Rotterdam (ICBR, 1998).

Het APH ondersteunt de doelstellingen ter verbetering van de hoogwatersituatie in de Rijn benedenstrooms van Iffezheim zoals vastgelegd in de Duits-Franse verdragen van 1969 en 1982. In het APH is in vier actiedoelen geformuleerd hoe de hoogwatersituatie in de Rijn door middel van uiteenlopende maatregelen kan worden verbeterd ten opzichte van de omstandigheden in het jaar 1995. Doordat er concrete doelen, maatregelen, kosten, termijnen, uitvoeringsstrategieën, enzovoort in zijn vastgelegd, is dit Actieplan richtinggevend voor de Rijn en sinds zijn publicatie ook medebepalend voor tal van actieplannen voor andere rivieren, zowel binnen als buiten het Rijnstroomgebied. In het onderhavige rapport wordt er ingegaan op de in actiedoel 2 van het APH vereiste "verlaging van de hoogwaterstanden" door preventieve retentiemaatregelen aan de Rijn en in zijn stroomgebied. Meer bepaald wordt de balans opgemaakt van de effecten van de maatregelen in 2010. Het beoogde doel was de "verlaging van de extreem hoge waterstanden benedenstrooms van het door stuwen gereguleerde gedeelte met zo mogelijk 30 cm voor 2005 en zo mogelijk 70 cm voor 2020" (ICBR, 1998).

Voor de realisatie van de doelstellingen heeft het Actieplan een lange looptijd tot 2020 gekregen en zijn er voor de actiedoelen termijnen gesteld in 2000, 2005 en 2020. Hierdoor kan er tijdens het gehele traject naar het doelbereik zicht worden gehouden op de voortgang. In 2001 heeft de ICBR een eerste balans van de verkregen resultaten gepresenteerd (ICBR, 2001). Hierin is uit de opsomming van de sinds 1995 aangelegde retentiegebieden opgemaakt dat "de nagestreefde verlaging van de waterstand met 5 cm bereikt" was (ICBR, 2001). In de balans van de uitvoering tot 2005 was de voortgangscontrole gebaseerd op resultaten van simulatieberekeningen met wiskundige afvoermodellen. De effectiviteit van de gerealiseerde maatregelen moest daarbij worden geëvalueerd uitgaande van een groep van modelhoogwaters die als voorbeeld werden genomen voor de ontwikkeling van hoogwater in het Rijnstroomgebied.

Als conclusie van het onderzoek voor de tweede balans tot 2005 (ICBR, 2006) werd gesteld dat de nagestreefde verlaging van de hoogwaterstanden in de Rijn met zo mogelijk 30 cm was bereikt in de Duits-Franse Bovenrijn dankzij de retentiegebieden voor hoogwater die tussen 1995 en 2005 waren aangelegd. In de Middenrijn bedroeg de vermindering circa 10 cm. Uit de berekeningen voor de Duitse Nederrijn bleek dat er voor het gebied rond Keulen ook een verlaging van circa 10 cm werd bereikt; voor het gebied rond de Duits-Nederlandse grens bedroeg de reductie maximaal 7 cm en bij maatgevend hoogwater 3 cm. Deze verlagingen werden niet in elk onderzocht geval bereikt. Soms werd er, afhankelijk van de hoogwatergenese, zo goed als geen verlaging van de topstanden vastgesteld. In het onderhavige onderzoek worden de voor de toestand 2005 beoogde maximale reducties met 30 cm niet gehaald in de zuidelijke Duits-Franse Bovenrijn. Dit kan in hoofdzaak worden verklaard door de vaststelling van nieuwe regels voor de berekening van de maximale afvoer vanuit hydrologisch oogpunt (HQ extreem conform ROR) op het meetpunt Bazel.

De expertgroep HVAL begeleidt en stuurt de met wiskundige afvoermodellen te verrichten onderzoeken voor de evaluatie van de effectiviteit van maatregelen die aan de Rijn worden genomen ter verlaging van de hoogwaterstanden overeenkomstig actiedoel 2 van het Actieplan Hoogwater. Zoals bij de tot eind 2005 gerealiseerde maatregelen worden de berekeningen voor de evaluatie van 2010 uitgevoerd op basis van modelhoogwaters. De modellen zijn inmiddels wel geactualiseerd. Voor de berekeningen zijn er verschillende waterbouwkundige toestanden geselecteerd die nauwkeurig worden beschreven in hoofdstuk 4.2.1:

- Waterbouwkundige toestand 1995 (referentietoestand)
- Waterbouwkundige toestand 2005
- Waterbouwkundige toestand 2010 (actueel)
- Waterbouwkundige toestand 2020 (gepland)
- Waterbouwkundige toestand 2020+ (volgens planning tot ongeveer 2030)

In deze berekeningen wordt er aanvullend nog rekening gehouden met de waterbouwkundige toestand 1977. In 1977 is de stuw in Iffezheim opgeleverd; daarmee werd er een voorlopig punt gezet achter de waterbouwkundige werkzaamheden aan de Duits-Franse Bovenrijn, die de hoogwatergolven versneld en daardoor het gevaar voor overstromingen substantieel vergroot hebben. Om in te gaan tegen deze antropogene verheving van het overstromingsgevaar is er na 1977 begonnen met de gerichte aanleg van retentiegebieden.

## **2. Ontstaan van hoogwater in het Rijngebied**

In buitengewone gevallen kan hoogwater in rivieren ontstaan door vloedgolven die worden veroorzaakt door de breuk van dammen of ijsbarrières. Versmallingen van het stroomvoerend profiel door ijs, scheepsongelukken, afkalving of afzetting van bodemmateriaal kunnen het water opstuwen en de waterstand, los van de ontwikkeling van de afvoer, tijdelijk verhogen. Echter, normaal gesproken wordt hoogwater teweeggebracht door zware neerslag (eventueel gekoppeld aan smeltende sneeuw) en de verdeling hiervan in ruimte en tijd. Verder zijn bepaalde factoren van de hydrologische regimes in de stroomgebieden en de rivieren van belang.

Het Rijngebied wordt het hele jaar door gedomineerd door westenwind die vanaf de Atlantische Oceaan vochtige lucht meebrengt die Midden-Europa oversteekt van het zuidwesten naar het noorden. In het bijzonder bij westelijke luchtstromingen in de winter valt er overal bovengemiddeld veel neerslag. Als de wind uit het zuidwesten komt, kan er vooral in het zuidwestelijke deel van het Rijngebied hoogwater ontstaan als gevolg van de combinatie van neerslag en stuwen. In de Alpen vormt zich dan in de hoger gelegen gebieden een blijvend sneeuwdek.

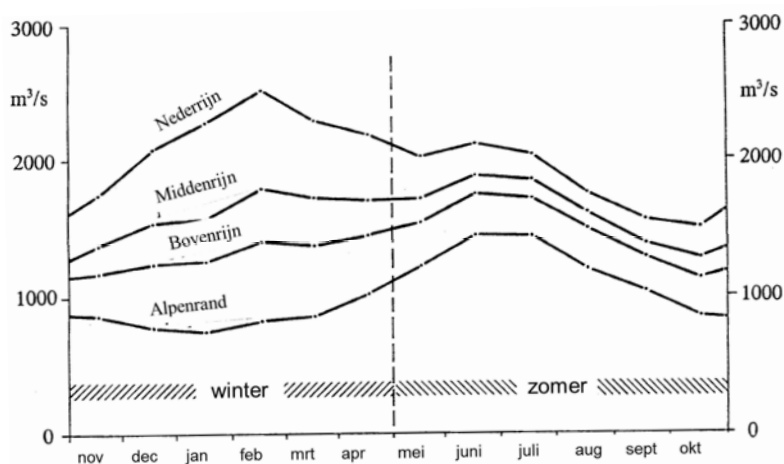
Omdat cyclonale circulatietypes zeer uiteenlopende weertypes veroorzaken, is de weersgesteldheid in het Rijngebied slechts bij hoge uitzondering homogeen. Een gevolg hiervan is bijvoorbeeld dat er in de lange reeks van hydrologische metingen sinds 1000 na Christus geen buitengewone hoogwatergebeurtenis te vinden is (CHR, 1995) die zich tegelijkertijd en met dezelfde intensiteit in alle deelstroomgebieden van de Rijn heeft voorgedaan. Hiervoor zijn ook de zeer verschillende afvoerregimes verantwoordelijk die het Rijngebied kenmerken.

In het glaciële (door gletsjers gedomineerde) regime hangt de afvoer af van de seizoensgebonden temperatuurschommelingen: minimum in de winter, maximum in de zomer. In het nivale regime komt de neerslag die in de wintermaanden als sneeuw is opgeslagen in de lente en de zomer tot afvoer als de sneeuw smelt. Afhankelijk van het aandeel dat wordt vastgehouden in gletsjers komen de hoogste daggemiddelde afvoeren in de Alpen voor in de periode van mei tot augustus. Hoe groter het bekeken deel van het Rijnstroomgebied, hoe groter de rol van de gebieden met een pluviaal regime, die niet meer tot het hooggebergte behoren en ook in de koude tijd van het jaar worden beheerst door de directe afvoer uit neerslag. Er is sprake van een overheersend pluviaal regime als de gemiddelden in de winter hoger zijn dan in de zomer.

Het meetpunt Rheinfelden/Hoogrijn weerspiegelt het afvoerregime in het hooggebergte. De jaarlijkse gang van de afvoer op dit meetpunt is in hoofdzaak opgebouwd uit de zeer evenwichtige afvoer uit het Bodensee en de afvoer uit de Aare die wordt beïnvloed door de meren aan de voet van de Alpen. De som van deze afvoeren levert een

geprononceerd maximum op in de zomer, meer bepaald in de maanden juni en juli, en lage afvoeren van oktober tot maart. De jaarlijkse gang van de rivieren in het middelgebergte vertoont een aanhoudend lage afvoer van juni tot oktober. In november begint de waterstand duidelijk te stijgen. Van december tot maart blijft de afvoer op een hoog niveau.

De verandering van het afvoerregime in de loop van de Rijn kan worden afgelezen van de maandgemiddelde afvoer op kenmerkende Rijntrajecten (figuur 2.1). Het wordt duidelijk in welk seizoen er voornamelijk hoogwater kan worden verwacht: in het gebied dat wordt beïnvloed door de Alpen in de zomer, verder stroomafwaarts in de winter. De overgang van het regime met maxima in de zomer naar het regime met maxima in de winter vindt plaats in de Middenrijn. Uit nader onderzoek blijkt evenwel dat het zwaartepunt van het hoogwaterregime, anders dan het regime van de gemiddelde afvoeren, verder zuidwaarts al verschuift van de zomer naar het winterhalfjaar. Het hoogwaterregime wordt al in Maxau aan de Duits-Franse Bovenrijn overwegend gevormd door hoogwater in het winterhalfjaar.



Figuur 2.1: Maandgemiddelde afvoer (1931/1990) op verschillende Rijntrajecten

Het stroomgebied van de Rijn kan worden verdeeld in verschillende hydrologische zones:

- het gebied van de Alpenrijn en de Hoogrijn met de elementen van het glaciaal-nivale regime van het hooggebergte;
- de drie gebieden van de Neckar, de Main en de Moezel met het pluviale regime van het middelgebergte;
- het verder benedenstrooms gelegen gebied van de Rijn waar de afvoer zich door de overlapping van de twee bovengenoemde regimes gelijkmatiger verdeelt over het jaar ("gecombineerd regime"; meetpunt Keulen).

De verschillende manieren waarop de gebieden reageren en de heterogene meteorologische omstandigheden zorgen ervoor dat hoogwater in de Rijn altijd een regionaal karakter heeft. Om buitengewone situaties op grote schaal te doen ontstaan in de Rijn moeten meerdere regio's complementair zijn getroffen. Dit blijkt uit de analyse van recente hoogwaters en ook uit de bestudering van rapporten over hoogwater in vroegere decennia en eeuwen.

In de Hoogrijn treedt extreem hoogwater gewoonlijk tussen mei en juli op. In die periode voeren niet alle rivieren in het middelgebergte grote hoeveelheden water aan, zodat dergelijke zomergolven normaal gesproken alleen van de zuidelijke Duits-Franse Bovenrijn tot de monding van de Neckar buitengewoon hoog zijn en verder stroomafwaarts meestal geen betekenis hebben. Een zeldzame uitzondering hierop was het hoogwater eind 1882 / begin 1883, toen in de gehele Duits-Franse Bovenrijn vanaf

Bazel de hoogste afvoeren ooit werden gemeten en dijken grotendeels werden weggespoeld. Ondanks de hieruit resulterende ontlasting behoort deze gebeurtenis tot in de Duitse Nederrijn tot de tien grootste sinds 1870.

Vanaf de middenloop van de Duits-Franse Bovenrijn en verder noordwaarts doet extreem hoogwater zich over het algemeen in het winterhalfjaar voor, met een verschillende toevoer vanuit het stroomgebied van de zijrivieren Neckar, Main en Moezel. De Neckar en de Moezel brengen eerder korte, steile golven voort, terwijl de Main gewoonlijk langgerekte golven oplevert met minder hoge topstanden. De golfvormen komen overeen met de bijbehorende neerslagzones. Aan de Neckar en de Moezel bewegen deze zones zich meestal synchroon met het verloop van de golf in kwestie, maar aan de Main verplaatsen ze zich in tegengestelde richting, wat in het ene geval een gestage verhoging en in het andere geval een gestage verlenging van de golf veroorzaakt. Dat betekent dat de topstanden in de Neckar en de Moezel de topstanden in de Rijn kunnen mislopen, terwijl de topstanden in de Main en de Rijn elkaar in de regel overlappen. Dit gebeurt niet als het Maingebied te maken krijgt met overvloedige, vanuit het oosten komende regen, bijvoorbeeld door een ver westwaarts reikend V b-weerpatroon. In dit geval is er sprake van aanhoudende, stationaire en intensieve neerslag die leidt tot extreem hoogwater, althans in de zomer (zoals bijv. in 1342), als overlap met hoogwater in de Rijn en de Moezel eerder onwaarschijnlijk is.

De bijdrage van de afzonderlijke deelstroomgebieden aan de omvang van golven is zoals verwacht zeer uiteenlopend. Bij gebeurtenissen in de winter liggen de percentages echter meestal binnen bepaalde grenzen. Het aandeel van de Moezel aan het golfvolume in Keulen schommelt bijvoorbeeld tussen 35 en 50%, de bijdrage van het alpiene stroomgebied ligt tamelijk constant op 20%. Tussen de omvang en de topstand van golven bestaat daarentegen geen systematisch verband.

In tabel 2.1 wordt een overzicht gegeven van de negen grootste hoogwaters in Keulen sinds 1925 met hun piekafvoer en volume boven de basisafvoer. Uit de gegevens kan worden opgemaakt dat het grootste hoogwatervolume in Keulen (1988) slechts tot de achtste piekafvoer heeft geleid en dat het hoogwater met de hoogste piekafvoer (1925/1926) slechts de derde plaats in de volumerij inneemt. De totale hoogwaterrelevante afvoer was in 1988 15% hoger dan in 1925/1926 en zelfs 35% hoger dan in 1995.

Uit deze beschrijving blijkt dat elk hoogwater afzonderlijk moet worden bekeken, waardoor retentiemaatregelen bijvoorbeeld niet volgens een vast en steeds geschikt stramien kunnen worden toegepast, aangezien het effect van dergelijke maatregelen verschilt per hoogwater en de manier waarop het is ontstaan.

Gebeurtenis	Piekafvoer		Volume	
	in m <sup>3</sup> /s	plaats	in mld m <sup>3</sup>	plaats
1925/26	11100	1	9,4	3
1995	11000	2	8,0	4
1993/94	10800	3	7,4	5
1947/48	9950	4	10,3	2
1983 (5)	9910	5	3,5	9
1970	9740	6	4,2	8
1983 (4)	9690	7	4,2	7
1988	9580	8	10,8	1
1955	9550	9	6,9	6

\* Basisafvoer = deel van de afvoer dat ook zonder hoogwater zou zijn afgevoerd

Tabel 2.1: De negen hoogste piekafvoeren op het meetpunt Keulen sinds 1925 en het volume van de bijbehorende afvoergolven boven de respectieve basisafvoeren\*

### 3. Werkwijze

In april 2009 heeft de expertgroep HVAL een plan gepresenteerd voor de evaluatie van het effect van maatregelen in het Rijnstroomgebied en de Rijn in 2010 – 2015 – 2020. Deze evaluatie bestond uit drie elementen:

- a) bepaling van het effect van de maatregelen langs de Rijn (op waterstand en afvoer);
- b) bepaling van het effect van de maatregelen in het gehele stroomgebied (op waterstand en afvoer in de Rijn);
- c) bepaling van de verandering van de overstromingskans als gevolg van de maatregelen.

In de loop van het project, waartoe medio 2009 het startschot is gegeven, bleek dat de in het plan beschreven werkzaamheden zeer omvangrijk zijn. Daarom is de nadruk gelegd op de onder a) genoemde activiteiten. Voor punt b) is er teruggегrepen op bestaand materiaal en punt c) zou later worden afgehandeld. Uitstel voor punt c) was mogelijk, omdat de werkzaamheden van de expertgroep HIRI, anders dan oorspronkelijk verwacht, niet meer afhankelijk waren van deze resultaten.

Hieronder wordt er een kort overzicht gegeven van de werkwijze. In de daaropvolgende hoofdstukken wordt er nader ingegaan op de methode en de resultaten van de door de EG HVAL verrichte onderzoeken in het kader van de evaluatie van de effectiviteit in 2010.

#### ***a) Effect van de maatregelen langs de Rijn***

Bij de evaluatie van de effectiviteit in 2005 is het effect van de maatregelen langs de Rijn benedenstrooms van Bazel bepaald op basis van de waterbewegingsmodellen SYNHP (traject Bazel-Worms) en SOBEK (traject Worms-Lobith) (zie PLEN 18-04 rev.19.09.04, HVAL 35-05 rev.23.6.2006). De berekeningen werden uitgevoerd voor drie tot vijf modelhoogwaters, afhankelijk van het evaluatiemeetpunt. De resultaten zijn geëvalueerd op de meetpunten Maxau, Worms, Kaub, Keulen en Lobith. Toentertijd werden alleen de maatregelen bekeken die in 2005 al gerealiseerd waren; hun effect werd bepaald ten opzichte van de toestand 1995, voor de Duits-Franse Bovenrijn ook ten opzichte van de toestand 1977.

Voor de evaluatie in 2010 is er afgesproken om een methode toe te passen die vergelijkbaar is met die van 2005 en om het onderzoek uit te breiden.

Daarom is er eerst gebruik gemaakt van dezelfde, maar wel geactualiseerde en verder ontwikkelde modelinstrumenten en is het onderzoeksgebied uitgebreid met de Rijndelta, zodat ook de maatregelen uit "Ruimte voor de Rivier" in de Nederlandse Rijntakken konden worden meegenomen. Samengevat zijn voor de Rijn de volgende modellen gebruikt:

- SYNHP-model voor de Rijn van Bazel tot Worms, inclusief belangrijke zijrivieren (LUBW Baden-Württemberg en LUWG Rijnland-Palts).
- SOBEK-model voor de Rijn van Worms tot de Noordzee, inclusief belangrijke zijrivieren (BfG, LANUV, RWS-WD).

Het effect van de maatregelen op de afvoer en/of de waterstand is niet alleen bepaald op de referentiemeetpunten Maxau, Worms, Mainz, Kaub, Andernach, Keulen en Lobith, maar waar het zinvol of noodzakelijk werd geacht, is de rivier in de lengterichting bekeken, omdat veel maatregelen een uiterst verschillend lokaal effect hebben en het beeld onvolledig blijft wanneer de analyse wordt beperkt tot slechts een paar punten.

In 2005 was de evaluatie gebaseerd op slechts een klein aantal modelhoogwaters. Bij de evaluatie van 2010 is er in de modellen rekening gehouden met in totaal achttien historische hoogwatergebeurtenissen die zijn vergroot naar extremere niveaus. Hiervoor zijn de afvoergolven van de historische gebeurtenissen vermenigvuldigd met factoren, teneinde (kunstmatig gecreëerde) synthetische modelhoogwaters te verkrijgen. Anders dan in de evaluatie van 2005 zijn er voor het gehele stroomgebied uniforme factoren gebruikt. Door zo te werk te gaan, blijft het regionale onderscheid in de historische hoogwatergenese behouden.

Een ander verschil tegenover 2005 is dat niet alleen de effectiviteit van de maatregelen in 2010 (ten opzichte van 1995) is onderzocht, maar dat er ook een prognose is berekend voor de toestanden 2020 en 2020+ (toestand 2020+ = toestand 2020 plus de oorspronkelijk voor 2020 geplande gebieden, die echter waarschijnlijk pas na 2020, d.w.z. ongeveer in 2030, zullen zijn voltooid, plus twee ruimtelijke reserveringen). Hiervoor moesten naast de watertoestand 2010 ook de referentietoestand 1995, de prognosetoestanden 2020 en 2020+ evenals voor de Duits-Franse Bovenrijn de toestand 1977 worden berekend. Op basis van de toestand 1977 kan de hoogwatersituatie zonder de werking van retentiemaatregelen worden beoordeeld.

Bij extreem hoogwater, met afvoeren die duidelijk boven de maatgevende waarden liggen, wordt de hydraulische capaciteit van de Rijn overschreden en komt het tot dijkoverloop of -doorbraak. Waar en wanneer de dijken precies overlopen of doorbreken verschilt per geval en kan niet nauwkeurig worden voorspeld.

Vooraf bij modelhoogwaters waarvan de piekafvoer hoger is dan de maatgevende afvoer is de verlaging van de afvoer als gevolg van dijkoverloop en eventueel dijkdoorbraak van essentieel belang voor het verloop van het hoogwater verder benedenstrooms. Daarom heeft de EG HVAL voor de toestanden 1995 (referentie), 2010 en 2020 voorbeeldberekeningen uitgevoerd waarin het effect van retentiemaatregelen en dijkoverloop wordt gecombineerd.

#### ***b) Effect van de maatregelen in het stroomgebied***

Voor de evaluatie in 2010 moest er een gevoeligheidsonderzoek worden uitgevoerd naar het effect van de verandering van de golven in zijrivieren, zowel in hoogte als in tijd. Daarbij moest er worden gekeken naar de in het APH voor 2020 nagestreefde realisatiegraad van maatregelen in het stroomgebied van geselecteerde, belangrijke zijrivieren van de Rijn. Vervolgens moest de weerslag van deze verandering op de afvoer in de Rijn van Bazel tot de Noordzee worden berekend. Dit onderzoek moest wegens tijdgebrek worden uitgesteld. Daarom wordt er hier teruggegrepen op de informatie hierover in ICBR-rapport 153, bijlage 2 (zie bijlage 1):

Uit de evaluatie van een op initiatief van de betrokken Duitse deelstaten opgerichte onderwerkgroep is gebleken dat het merendeel van de maatregelen in het stroomgebied (categorie 1) geen substantiële bijdrage kan leveren aan de verlaging van extreme hoogwaterstanden in de Rijn en dat een omslachtige beoordeling van hun effectiviteit met behulp van modellen verdedigbaar noch noodzakelijk is. Een groot aantal wetenschappelijke studies (CHR, 2003; ICBR, 2005) toont aan dat vooral maatregelen voor renaturering, extensivering van de landbouw, natuurontwikkeling/bebossing en ontharding slechts een gering hoogwaterstandverlagend effect hebben, althans als ze worden genomen in de onmiddellijke omgeving van kleinere rivieren. Dit staft ook de inschatting in het Actieplan Hoogwater, waarin aan de maatregelencategorie "waterretentie in het Rijnstroomgebied" een eerder beperkt verlagend effect op hoogwaterstanden in de Rijn wordt toegeschreven (ICBR, 1999). Voor de twee categorieën van maatregelen in het stroomgebied "weer in gebruik nemen van overstromingsgebieden" en "technische retentievoorzieningen" hebben de Duitse deelstaten geprobeerd om het effect van grotere maatregelen aan belangrijke zijrivieren van de Rijn rekenkundig te evalueren.

#### ***c) Verandering van de overstromingskans als gevolg van de maatregelen***

De verandering van de overstromingskans als gevolg van de uitgevoerde maatregelen zal de EG HVAL vanaf 2012 berekenen.

Voor de evaluatie van 2010 moest er een kansschatting worden gemaakt en aangeboden aan de ICBR-expertgroep HIRI. De te verrichten kansberekeningen moesten betrekking hebben op piekafvoeren van geselecteerde meetpunten langs de Rijn, zodat de veranderingen van de kans op de afzonderlijke meetpunten representatief konden zijn voor afzonderlijke Rijntrajecten. Uitgangs- en referentiepunt moesten de thans geldende statistieken zijn. De piekafvoeren van de historische en de extreme modelhoogwaters die

zijn berekend voor de toestand 1995 (meetpunt Kaub en verder stroomafwaarts) en 1977 (meetpunten Maxau en Worms) moesten per meetpunt een plaats krijgen ten opzichte van deze referentiestatistiek. Op die manier wordt aan elke piekafvoer een kans van optreden toegekend. In een vervolgstap moesten de door de maatregelen al dan niet veranderde piekafvoeren worden overgedragen op de modelhoogwaters. Daardoor krijgen de piekafvoeren dezelfde kans van optreden als de overeenkomstige modelhoogwaters in de toestand 1995 dan wel 1977.

## **4. Modellen, waterbouwkundige toestanden en referentiemeetpunten**

### **4.1. Modellen**

De diensten die meewerken aan de evaluatie van het effect van de waterstandverlagende maatregelen beschikken over een pool van modellen die in principe bestaat uit:

- SYNHP-modellen voor de Rijn van Bazel tot Keulen, inclusief belangrijke zijrivieren (LUBW Baden-Württemberg en LUWG Rijnland-Palts).
- SOBEK-modellen voor de Rijn van Maxau tot de Noordzee, inclusief belangrijke zijrivieren (BfG, LANUV, RWS-WD).

Bij de berekeningen voor de evaluatie in 2010 is er op het Rijntraject van Bazel tot Worms gebruik gemaakt van de SYNHP-modellen.

Het synoptische waterbewegingsmodel SYNHP behoort tot de familie van de hydrologische modellen waarvan de berekeningsmethodes zijn gebaseerd op de continuïteits- en de bewegingsvergelijking. SYNHP berekent de afvoer van willekeurige riviertrajecten in tijdstappen (synoptisch). Naast de translatie van afvoergolven en hun vervorming door verschillen in de bedgeometrie kan er met het model ook gestuurde en niet-gestuurde retentie in de rivier en in polders worden berekend.

In 2007 is het synoptische model geperfectioneerd, waardoor nu naast de hydrologische methode voor flood routing als tweede optie ook eendimensionale hydrodynamische berekeningsmethodes op basis van St.-Venantvergelijkingen kunnen worden gebruikt. De LUBW gebruikt de hydrodynamische berekeningsvariant van het synoptische model (SYNHP-1D) in eerste instantie voor het Rijntraject dat wordt beïnvloed door opstuwning vanuit de Neckar, tussen Germersheim-Sondernheim (Rijnkm 380,6) en Worms-Rheindürkheim (Rijnkm 450,6). De trajecten die hydrodynamisch kunnen worden berekend, worden stapsgewijs en naar behoefte uitgebreid. De LUWG past dit model ondertussen tot Andernach toe (Rijnkm 613,8).

De "Permanente Commissie voor de Uitbreiding van de Duits-Franse Bovenrijn" gebruikt het SYNHP-model als officieel instrument voor de vaststelling van de regels voor de sturing van de retentiemaatregelen aan de Bovenrijn tussen Bazel en Worms. Met dit model kunnen er verschillende retentiescenario's worden berekend. Het geldt voor de toestand van de Duits-Franse Bovenrijn na de aanleg van de stuwen. Het SYNHP-model wordt ook gebruikt voor de analyse van veranderingen in de hoogwaterafvoer in het gebied Bazel-Maxau-Worms als gevolg van waterbouwkundige maatregelen.

De totstandbrenging en actualisering van het model en de berekeningen zijn verricht door de LUBW.

De berekeningen voor het Rijntraject vanaf Worms tot en met de Rijndelta heeft de BfG uitgevoerd met het waterbewegingsmodel SOBEK. De noodzakelijke deelmodellen voor de trajecten

- Worms (Rijnkm 443,4) – Andernach (Rijnkm 613,8);
- Andernach (Rijnkm 613,8) – Lobith (Rijnkm 862,2);
- Rijndelta (vanaf Rijnkm 862,2)



zijn beschikbaar gesteld door BfG, LANUV en RWS-WD en vervolgens door de BfG aan elkaar gekoppeld in een totaalmodel.

Het SOBEK-model dat de toestand 2010 weergeeft van Worms tot de Noordzee bestaat uit het in 2009 ontwikkelde en door de BfG beschikbaar gestelde model Worms-Andernach, het in 2008 ontwikkelde en door de LANUV beschikbaar gestelde model Andernach-Lobith en het in 2010 ontwikkelde en door RWS-WD beschikbaar gestelde model Rijndelta (vanaf Rijnkilometer 862,2). Meer informatie over deze modellen en over alle andere (deel)modellen is te vinden in BfG (2011), LANUV (2011), Deltares (2010) en HKV (2011).

De gestage verbetering van de modellen en van hun uitbreidingsmodules kan er in principe toe leiden dat de verkregen rekenresultaten verschillen van de resultaten van zowel vroegere als latere analyses.

## 4.2 Bekeken waterbouwkundige toestanden en stuurreglementen

### 4.2.1 Waterbouwkundige toestanden

Het onderzoek naar het effect van maatregelen langs de Rijn van Bazel tot de Noordzee is gebaseerd op de rekenresultaten voor de volgende waterbouwkundige toestanden (zie de kaart op pagina 33, tabel 4.1 en tabel 4.2):

- **Waterbouwkundige toestand 1977** (= datum waarop de laatste stuw in de Duits-Franse Bovenrijn, de stuw te Iffezheim ter hoogte van Rijnkm 334, is opgeleverd) en nog voor de aanleg en ingebruikneming van retentiemaatregelen aan de Duits-Franse Bovenrijn. Op basis van de toestand 1977 kan de hoogwatersituatie in de Duits-Franse Bovenrijn zonder de werking van retentiemaatregelen worden beoordeeld.
- **Waterbouwkundige toestand 1995** (referentietoestand in het ICBR-Actieplan Hoogwater). In de toestand 1995 was er 160 miljoen m<sup>3</sup> retentievolume operationeel langs de hoofdstroom van de Rijn.
- **Waterbouwkundige toestand 2005** (evaluatiedatum in het ICBR-Actieplan Hoogwater ten opzichte van 1995). In de toestand 2005 was er in totaal ongeveer 211 miljoen m<sup>3</sup> retentievolume operationeel langs de hoofdstroom van de Rijn.
- **Waterbouwkundige toestand 2010** (ICBR-evaluatiedatum ten opzichte van 1995). In de toestand 2010 was er in totaal 229 miljoen m<sup>3</sup> retentievolume operationeel langs de hoofdstroom van de Rijn.
- **Waterbouwkundige toestand 2020** (door de ICBR verwachte toestand ten opzichte van 1995). In de toestand 2020 zal er volgens de huidige stand van zaken 361 miljoen m<sup>3</sup> retentievolume operationeel zijn langs de hoofdstroom van de Rijn. Hierbij komen nog andere maatregelen ter verlaging van de waterstand in de Rijntakken benedenstrooms van Lobith.
- **Waterbouwkundige toestand 2020+** (door de ICBR verwachte toestand ten opzichte van 1995). De toestand 2020+ omvat alle geplande retentiemaatregelen aan de Duits-Franse Bovenrijn (ook die, die waarschijnlijk pas na 2020 in gebruik kunnen worden genomen), inclusief de ruimtelijke reserveringen in de Duitse deelstaat Rijnland-Palts en de gebieden die zijn opgenomen in het hoogwaterbeschermingsconcept van de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen. In de toestand 2020+ zal er waarschijnlijk 535 miljoen m<sup>3</sup> retentievolume operationeel zijn. Hierbij komen nog andere maatregelen ter verlaging van de waterstand in de Rijntakken benedenstrooms van Lobith.

In de twee tabellen 4.1 en 4.2 staan voor deze waterbouwkundige toestanden telkens de operationele retentiemaatregelen en waterstandverlagende maatregelen langs de Rijn (zoals meegedeeld door de beheerders) waarvan het effect wordt meegenomen in de HVAL-berekeningen.

#### **4.2.2 Maatregelen ter bescherming tegen overstromingen, nagestreefde doelen en stuurreglementen**

Langs de Rijn wordt met behulp van vrij veel maatregelen ter bescherming tegen overstromingen geprobeerd om de waterstanden bij hoogwater te verlagen. Een overzicht van de belangrijkste is opgenomen in de tabellen 4.1 en 4.2. Hierbij zij gezegd dat het soort maatregelen, de nagestreefde doelen en de reglementering ervan in de loop van de rivier verschilt. Basisinformatie over de werking van hoogwaterretentiemaatregelen wordt gegeven in bijlage 2.

Aan de Duits-Franse Bovenrijn is er voornamelijk sprake van gestuurde retentiemaatregelen. Dijkverleggingen, enz. spelen hier kwantitatief gesproken een secundaire rol. Het doel van de maatregelen is het herstel van het beschermingsniveau tegen hoogwater dat bestond voor de waterbouwkundige uitbreiding van de Duits-Franse Bovenrijn. De maatregelen worden ingezet volgens een internationaal overeengekomen reglement. De WG Manoeuvres zorgt in opdracht van de "Permanente Commissie" voor de uitbreiding van de Duits-Franse Bovenrijn voor een geleidelijke actualisering van de stuurregels afhankelijk van de afgeronde en operationele maatregelen en past de regels zo nodig aan aan nieuwe randvoorwaarden of inzichten.

Dat betekent dat de reglementen in de loop der tijd kunnen veranderen, ook voor reeds opgeleverde maatregelen. Daarom wordt er bij de berekeningen met het synoptische model voor de bovengenoemde waterbouwkundige toestanden 1995, 2005 en 2010 telkens uitgegaan van het bijbehorende internationale reglement dat is overeengekomen tussen Frankrijk, de Duitse deelstaten Baden-Württemberg, Rijnland-Palts en Hessen en de Duitse Bond. Tussen 2005 en 2010 heeft het reglement voor de retentiemaatregelen aan de Duits-Franse Bovenrijn geen noemenswaardige actualiseringen ondergaan. Daarom kon het reglement voor de inzet van gestuurde retentiemaatregelen uit 2005 ook worden toegepast op de toestand 2010.

Voor de toestanden 2020 en 2020+ wordt het reglement in aansluiting op het totaalreglement voor alle bestaande en geplande maatregelen afgeleid uit de "Evaluatie van de effectiviteit van de maatregelen voor hoogwaterretentie aan de Bovenrijn tussen Bazel en Worms, rekening houdend met ecologische inundaties. WG Evaluatie van de effectiviteit" (*„Nachweis der Wirksamkeit der Hochwasserrückhaltmaßnahmen am Oberrhein zwischen Basel und Worms unter Einbeziehung ökologischer Flutungen. AG „Wirksamkeitsnachweis“*, 1998). Voor de hoogwaterretenties tussen Worms en de monding van de Nahe hebben de diensten voor waterbeheer van de Duitse deelstaat Rijnland-Palts stuurreglementen vastgesteld die vergelijkbaar zijn met die voor de zuidelijke Bovenrijn.

Als gevolg van het grote aantal berekeningen voor in totaal 972 modelhoogwaters (108 modelhoogwaters maal zes waterbouwkundige toestanden plus drie waterbouwkundige toestanden met dijkoverloop) kon er binnen de gestelde termijn niet over elk detail in het reglement (bijv. "kan-beslissingen") een hoogwaterspecifiek besluit worden genomen. Daarom is er bij de berekening van de maatregelen, net als bij het HVAL-onderzoek in 2005, uitgegaan van de volgende randvoorwaarden:

- Er wordt geen rekening gehouden met de eventuele ecologische inundatie van polders vóór de eigenlijke inzet voor retentiedoeleinden.
- De retentiemaatregelen worden in principe uitgevoerd conform de in het reglement vastgelegde afvoeren, die worden gemeten op de sturingspunten. Er wordt aangenomen dat er is voldaan aan eventuele extra, op verwachtingen gebaseerde criteria (bijv. als er overeenkomstig het reglement sprake is van een geval waarin de beoordeling wordt overgelaten aan experts wordt er in principe voor de inzet van de retentiemaatregel gekozen. Hierdoor is de te volgen procedure duidelijk).

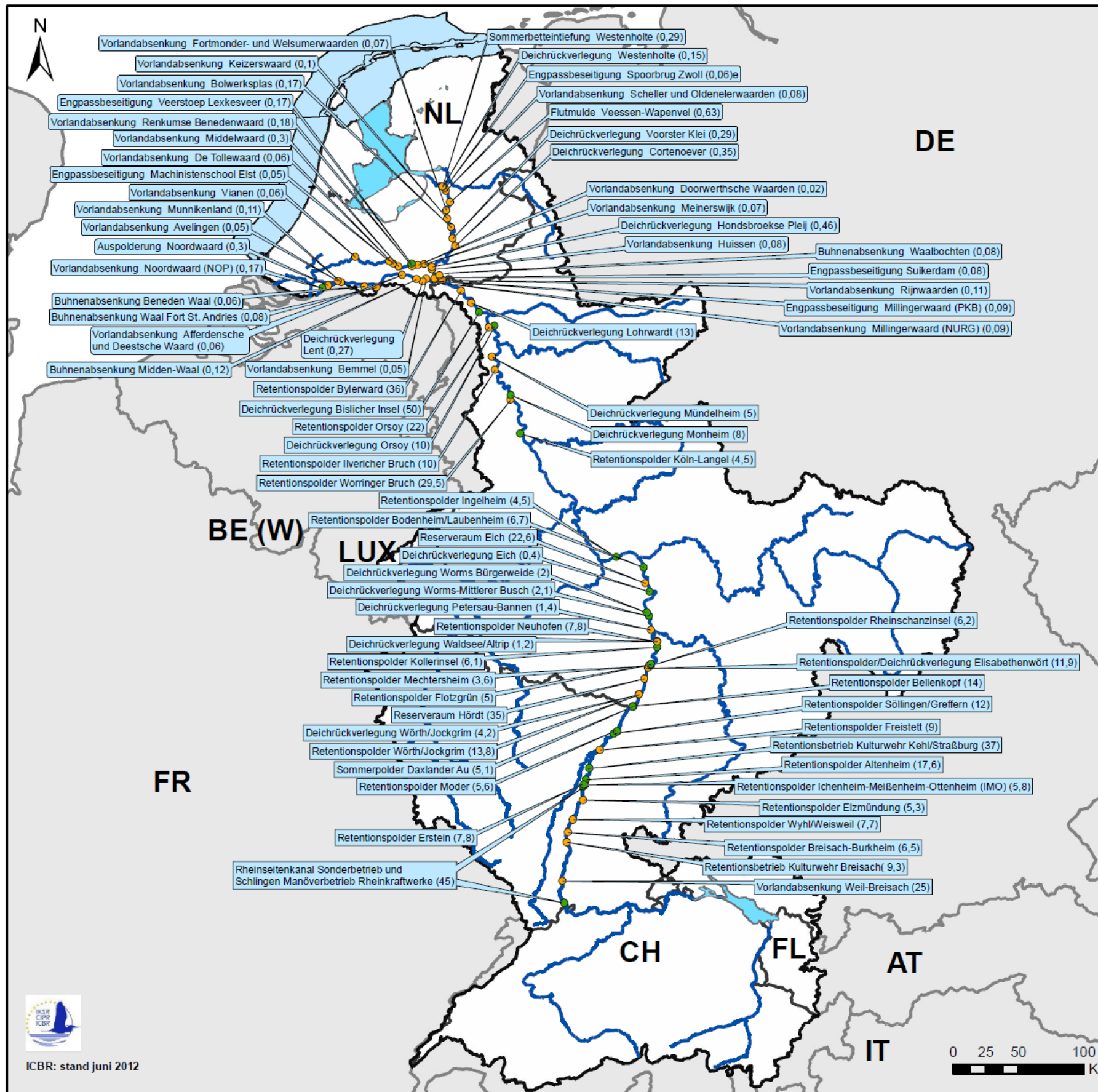
Langs de Rijn in Noordrijn-Westfalen zijn er zowel dijkverleggingen als retentiepolders. De beschermingsdoelen die met deze retentiegebieden worden nagestreefd, richten zich naar maatgevende hoogwaterstanden en dienen om de waterkeringen te beschermen

tegen overstroming. Omdat er in Noordrijn-Westfalen met verschillende maatgevende afvoeren wordt gewerkt, verschillen ook de retentiemaatregelen die worden genomen naargelang van de lokale en regionale omstandigheden. De reeds aangelegde polder in Langel functioneert volgens dit principe, maar ook de nog geplande retentiepolders in Worringen, Orsoy en Lohrwardt.

Omdat niet overal hetzelfde stadium is bereikt in de planning en er met verschillende maatgevende afvoeren wordt gewerkt, is er op dit moment in Noordrijn-Westfalen geen sprake van een totaalreglement zoals aan de Duits-Franse Bovenrijn. In de gegevenssets voor de modellen is er voor de periodes in kwestie rekening gehouden met de inzet van de maatregelen.

Als gevolg van deze randvoorwaarden worden er over het geheel genomen geen relevante veranderingen in de onderzoeksresultaten (bijv. veranderingen van de kans) verwacht.

Op de Nederlandse Rijntakken wordt de verlaging van de waterstand in de eerste plaats bereikt met maatregelen die het rivierbed verruimen. Het streven is erop gericht om de in 2001 van 15.000 m<sup>3</sup>/s naar 16.000 m<sup>3</sup>/s verhoogde maatgevende afvoer te kunnen verwerken zonder de dijken te verhogen. Dijkverleggingen, krib- en uiterwaardverlagingen, verwijdering van hydraulische obstakels en aanleg van hoogwatergeulen behoren daarom tot het typische pakket van maatregelen. Daarbij wordt er rekening mee gehouden dat elke maatregel op zich een effect sorteert, dat met het effect van naburige maatregelen overlapt en synergieën vormt, waardoor er over het gehele traject waterstandverlagingen worden bereikt. Als gevolg hiervan zijn er in tabel 4.2 geen retentievolumes genoemd, maar wel beoogde waterstandverlagingen per maatregel.



### Maatregelen voor de retentie van hoogwater in de hoofdstroom van de Rijn

Stand van de uitvoering van de maatregelen

- Afgerond
- In uitvoering / in planning

#### Wateren

- Rivieren
- Kust- en overgangswateren

#### Toelichting bij de cijfers

Voor de waterstandverlagende maatregelen in de Rijndelta vanaf Lobith: verlagings van de waterstand in m

Voor de retentiemaatregelen tussen Bazel en Lobith: volumes in miljoen m<sup>3</sup>

*Opmerking: De Franse of Nederlandse naam van de maatregelen is te vinden in de bijgevoegde tabellen.*



ICBR: stand juni 2012



Rijnkm	Traject	(Deel) staat	Locatie van de maatregel	Type maatregel	Beschikbaar volume					
					[mln m <sup>3</sup> ]					
					1977	1995	2005	2010	2020	2020+
174 - 226 234 - 291		FR	Elzaskanaal en meanders	buitengewone bedrijfsvoering van de waterkrachtcentrales aan de Rijn		45	45	45	45	45
174,6 - 219		DE-BW	Weil-Breisach	uiterwaardvergraving					2,8 <sup>2)</sup>	25
224,8		DE-BW	Breisach	bediening van de stuw voor retentiedoelinden					9,3	9,3
228,4		DE-BW	Breisach-Burkheim	retentiepolder					6,5	6,5
243		DE-BW	Wuhl/Weisweil	retentiepolder						7,7
260,5		DE-BW	monding van de Elz	retentiepolder					5,3	5,3
272		DE-BW	Ichenheim-Meißenheim-Ottenham (IMO)	retentiepolder						5,8
276		FR	Erstein	retentiepolder			7,8	7,8	7,8	7,8
278,4		DE-BW	Altenheim	retentiepolder		17,6	17,6	17,6	17,6	17,6
290,3		DE-BW	Kehl/Straatsburg	bediening van de stuw voor retentiedoelinden		37 <sup>1)</sup>	37	37	37	37
302		DE-BW	Freistett	retentiepolder						9
317,4		DE-BW	Söllingen/Greffern	retentiepolder			12	12	12	12
330		FR	Moder	retentiepolder		5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
354,9		DE-BW	Bellenkopf	retentiepolder						14
357,5		DE-RP	Daxlander Au	zomerpolder	5,1 <sup>3)</sup>	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
368		DE-RP	Wörth/Jockgrim	dijkverlegging retentiepolder					4,2	4,2
377		DE-RP	Hördt	reservegebied						35
381,3		DE-BW	Elisabethenwört	retentiepolder/ dijkverlegging						11,9
390		DE-RP	Mechtersheim	retentiepolder					3,6	3,6
390,4		DE-BW	Rheinschanzinsel	retentiepolder					6,2	6,2
392,6		DE-RP	Flotzgrün	retentiepolder			5	5	5	5
409,9		DE-RP	Kollerinsel	retentiepolder			6,1	6,1	6,1	6,1
411,5		DE-RP	Waldsee/Altrip	dijkverlegging					1,2	1,2
436		DE-RP	Neuhofen	retentiepolder					7,8	7,8
439		DE-RP	Petersau-Bannen	dijkverlegging					1,4	1,4
440,2		DE-RP	Worms-Mittlerer Busch	dijkverlegging				2,1	2,1	2,1
467,3		DE-RP	Worms Bürgerweide	dijkverlegging			2	2	2	2
468,5		DE-RP	Eich	dijkverlegging			0,4	0,4	0,4	0,4
468,5		DE-RP	Eich	reservegebied						22,6
489,9		DE-RP	Bodenheim/ Laubenheim	retentiepolder				6,7	6,7	6,7
517,3		DE-RP	Ingelheim	retentiepolder				4,5	4,5	4,5
668,5		D-NRW	Keulen-Langel	retentiepolder				4,5	4,5	4,5
705,5		D-NRW	Worringer Bruch	retentiepolder					29,5	29,5
707,5		D-NRW	Monheim	dijkverlegging			8	8	8	8
750		D-NRW	Ilvericher Bruch	retentiepolder						10
760,5		D-NRW	Mündelheim	dijkverlegging					5	5
802		D-NRW	Orsoy	dijkverlegging			10	10	10	10
797,5		D-NRW	Orsoy	retentiepolder					22	22
818,5		D-NRW	Bislicher Insel	dijkverlegging	50 <sup>3)</sup>	50	50	50	50	50
832,5		D-NRW	Lohrwardt	dijkverlegging					13	13
850		D-NRW	Bylerward	retentiepolder						36
<b>Totaal van het retentievolumen van de waterstandverlagende maatregelen aan de Rijn per waterbouwkundige toestand</b>					<b>55,1</b>	<b>160,3<sup>1)</sup></b>	<b>212</b>	<b>229</b>	<b>361</b>	<b>535,2</b>
<sup>1)</sup> Stuw Kehl: tot 2002 in normale omstandigheden 13 mln m <sup>3</sup> beschikbaar, verdere 24 mln m <sup>3</sup> alleen in buitengewone situaties beschikbaar.										
<sup>2)</sup> 2,8 mln m <sup>3</sup> = traject I van in totaal 4 trajecten. In 2020 zullen er ook al delen van de trajecten III en IV gereed zijn.										
<sup>3)</sup> De Daxlander Au en de Bislicher Insel waren al voor de afronding van de maatregelen overstromingsgebieden bij hoogwater in de Rijn.										

Tabel 4.1: Retentiemaatregelen tussen Bazil en Lobith met bijbehorend volume (in miljoen m<sup>3</sup>)

Rivier-kilometer	Traject	(Deel)staat	Locatie van de maatregel	Type maatregel	Vereist minimaal waterstandverlagend effect <sup>4)</sup> (per maatregel) (m)				
					1995	2005	2010	2020	2020+
865	Bovenrijn/Waal/Merweddes	NL	Rijnwaarden	uiterwaardvergraving				0,11	0,11
871		NL	Millingerwaard (PKB)	verwijderen van obstakels				0,09	0,09
871		NL	Millingerwaard (NURG)	uiterwaardvergraving					
871		NL	Suikerdam	verwijderen van obstakels				0,08	0,08
878		NL	Bemmel	uiterwaardvergraving				0,05	0,05
882		NL	Lent	dijkverlegging				0,27	0,27
897		NL	Aferdensche en Deestsche Waard	uiterwaardvergraving				0,06	0,06
867		NL	Waalbochten	kribverlaging				0,08	0,08
887		NL	Midden-Waal	kribverlaging				0,12	0,12
916		NL	Waal Fort St. Andries	kribverlaging				0,08	0,08
934		NL	Beneden-Waal	kribverlaging				0,06	0,06
948		NL	Munnikenland	uiterwaardvergraving				0,11	0,11
955		NL	Avelingen	uiterwaardvergraving				0,05	0,05
964		NL	Noordwaard	ontpoldering				0,3	0,3
968		NL	Noordwaard (NOP)	uiterwaardvergraving			0,17	0,17	0,17
871	Pannerdensch Kanaal, Neder-Rijn, Lek	NL	Huissen	uiterwaardvergraving				0,08	0,08
883		NL	Meinerswijk	uiterwaardvergraving				0,07	0,07
893		NL	Doorwerthsche Waarden	uiterwaardvergraving				0,02	0,02
898		NL	Renkumse Benedenwaard	uiterwaardvergraving					
898		NL	Veerstoep Lexkesveer	verwijderen van obstakels			0,17	0,18	0,18
908		NL	Middelwaard	uiterwaardvergraving				0,03	0,03
911		NL	De Tollewaard	uiterwaardvergraving				0,06	0,06
917		NL	Machinistenschool Elst	verwijderen van obstakels				0,05	0,05
946		NL	Vianen	uiterwaardvergraving				0,06	0,06
878	IJssel	NL	Hondsbroekse Pleij	dijkverlegging				0,46	0,46
918		NL	Cortenoever	dijkverlegging				0,35	0,35
930		NL	Voorster Klei	dijkverlegging				0,29	0,29
943		NL	Bolwerksplas	uiterwaardvergraving				0,17	0,17
947		NL	Keizerswaard	uiterwaardvergraving				0,1	0,1
957		NL	Fortmonder- en Welsumerwaarden	uiterwaardvergraving				0,06 - 0,08	0,06 - 0,08
961		NL	Veessen-Wapenveld	hoogwatergeul				0,63	0,63
977		NL	Scheller en Oldenelerwaarden	uiterwaardvergraving				0,08	0,08
978		NL	Spoorbrug Zwolle	verwijderen van obstakels				0,06	0,06
980		NL	Westenholte	dijkverlegging				0,15	0,15
980	NL	Westenholte	zomerbedverdieping				0,29	0,29	

<sup>4)</sup> Deze maatregelen dienen in de eerste plaats ter verhoging van de afvoercapaciteit in de Rijndelta. Daarom wordt alleen de beoogde verlaging van de waterstand per maatregel aangegeven. De maatregelen worden bijgevolg ook niet mee gerekend in de totale som van het retentievolume. In 2005 waren er al maatregelen met een totaal oppervlak van ca. 17 km<sup>2</sup> gerealiseerd (zie balans van het APH over 1995-2005). In 2010 bedroeg dit oppervlak dankzij de realisatie van extra maatregelen 38 km<sup>2</sup>.  
 PKB = Planologische Kernbeslissing  
 NURG = Nadere Uitwerking Riviereengebied  
 NOP = Natuurontwikkelingsproject

Tabel 4.2: Waterstandverlagende maatregelen in de Rijndelta vanaf Lobith met vereist minimaal waterstandverlagend effect (in m); weergegeven zijn alleen de belangrijkste maatregelen. In deze tabel staan alleen maatregelen die worden uitgevoerd in het kader van de planologische kernbeslissing Ruimte voor de Rivier (2006).

### 4.3 Referentiemeetpunten en geëvalueerde trajecten

Voor de onderzoeken zijn als referentiemeetpunten gebruikt:

#### **Duits-Franse Bovenrijn**

Maxau

Worms

Mainz

#### **Middenrijn**

Kaub

Andernach

Voor de Duits-Franse Bovenrijn en de Duitse Middenrijn zijn de meetpunten Maxau, Worms en Mainz (Bovenrijn), Kaub en Andernach (Middenrijn) aangewezen als referentiemeetpunten. De meetpunten aan de Bovenrijn en het meetpunt Kaub worden ook gebruikt voor de sturing van de hoogwaterretentiemaatregelen. De twee meetpunten aan de Middenrijn kunnen worden beschouwd als bij uitstek representatief voor de waterstanden in de zuidelijke Middenrijn (meetpunt Kaub) en de noordelijke Middenrijn bovenstrooms van de monding van de Moezel (meetpunt Andernach). Ze worden onder andere ook door de lokale bevolking gebruikt om zicht te houden op het waterpeil, zodat er bij wassend water op tijd voorzorgsmaatregelen kunnen worden getroffen.

#### **Duitse Nederrijn**

Meetpunt Keulen (toepassingsgebied: monding van de Sieg – monding van de Ruhr)

Meetpunt Lobith (toepassingsgebied: monding van de Ruhr – Pannerdensche Kop)

#### **Rijndelta**

Meetpunt Lobith (toepassingsgebied: rivieren Neder-Rijn/Lek)

Meetpunt Lobith (toepassingsgebied: Waal)

Meetpunt Lobith (toepassingsgebied: IJssel)

Voor de Duitse Nederrijn wordt de afvoer op de meetpunten Keulen en Lobith representatief geacht voor respectievelijk het traject tussen de monding van de Sieg en de monding van de Ruhr en het traject tussen de monding van de Ruhr en de Pannerdensche Kop. Voor de Rijndelta en zijn takken Neder-Rijn/Lek, Waal en IJssel wordt (traditioneel) de afvoer op het meetpunt Lobith als uitgangspunt genomen (en niet de afvoer na de splitsing in de Rijntakken). Uit vroeger onderzoek blijkt echter dat het effect van waterstandverlagende maatregelen langs de Duitse Nederrijn en in Nederland zeer sterk varieert en dat de verlaging van de waterstand op deze meetpunten (zoals trouwens op elk ander punt) niet representatief is voor de genoemde riviertrajecten. Daarom wordt in de analyse van de resultaten de gemiddelde verlaging van de waterstand over de trajecten in kwestie geëvalueerd en weergegeven.



Figuur 4.1: Riviertrajecten van het zogenaamde "ruggengraatmodel" in het Rijnstroomgebied (bron: ICBR-rapport 153, 2006 (alleen beschikbaar in het Frans en het Duits))

## 5. Gebruikte hoogwatergebeurtenissen en modelhoogwaters

De berekeningen met de simulatiemodellen voor de evaluatie in 2010 zijn, net als in 2005, gebaseerd op modelhoogwaters. Modelhoogwaters worden gegenereerd uitgaande van historische hoogwaters door de historisch gemeten afvoergolven aan de randen van het model (d.w.z. op het meetpunt Basel of in de zijrivieren van de Rijn) om te rekenen naar hogere (sporadisch ook lagere) afvoerniveaus. Daarbij worden er uniforme factoren voor het Rijngebied gebruikt. Door zo te werk te gaan, blijft het regionale onderscheid in de historische hoogwatergenese behouden.

### 5.1 Geselecteerde historische hoogwatergebeurtenissen en invoergegevens

Om met zoveel mogelijk verschillende ontstaanswijzen en regionale hoogwatersituaties in de Rijn rekening te houden, heeft de EG HVAL 18 historische hoogwatergebeurtenissen uitgekozen die zich tussen 1882 en 2003 hebben voorgedaan in het Rijngebied<sup>2</sup>. Deze groep kan worden beschouwd als een representatieve selectie van hoogwaters in de Rijn, zowel wat de ontstaanswijze als de regionale betekenis ervan betreft. Vertegenwoordigd zijn hoogwaters in de winter en de zomer, gebeurtenissen waarvan de topstand één piek dan wel twee pieken vertoont en hoogwaters met een kortstondige dan wel langdurige topstand. Daarenboven omvat de groep belangrijke hoogwaters in de Hoogrijn, de Duits-Franse Bovenrijn, de Middenrijn, de Duitse Nederrijn en de Nederlandse Rijntakken.

<sup>2</sup> De inventarisatie van deze gegevens volgens afgesproken kenmerken en de resultaten van plausibiliteitscontroles zijn vastgelegd in een eerste tussentijds rapport van de BfG (zie bibliografie).



In tabel 5.1 wordt er een overzicht gegeven van de historische gebeurtenissen met hun op de toestand 1977 gehomogeniseerde piekafvoer (zonder retentiemaatregelen) en de overstromingskansen in de toestand 1977 die in vroeger onderzoek zijn gebruikt.

Afvoerkansen (Toestand 1977)	Meetpunt Bazel [m <sup>3</sup> /s]	Meetpunt Maxau [m <sup>3</sup> /s]	Meetpunt Worms [m <sup>3</sup> /s]	Meetpunt Mainz [m <sup>3</sup> /s]	Meetpunt Kaub [m <sup>3</sup> /s]	Meetpunt Andernach [m <sup>3</sup> /s]	Meetpunt Keulen [m <sup>3</sup> /s]	Meetpunt Lobith [m <sup>3</sup> /s]
HQ <sub>10</sub>	3980	4100	4750	5700	5800	8850	9010	9459
HQ <sub>100</sub>	4780	5300	6300	7900	8000	12200	12000	12675
HQ <sub>extreem</sub>	5480	6500	7600	10300	10400	15250	15300	16000
Afvoerpieken								
HW 1882/1883	4100	6260	7520	9668	9653	12470	12886	10690*
HW 1918/1919	3850	4480	4710	5163	5047	6680	6748	6896
HW 1919/1920	3160	4520	5380	7235	7365	10849	10951	11394
HW 1925/1926	2150	3260	4234	5923	5992	10394	11021	11694
HW 01 1955	3240	4560	6160	6836	6832	10340	10324	10328
HW 02 1957	3340	4140	4590	5606	5634	7530	7580	7807
HW 02/03 1970	3190	4200	4990	4823	7105	9340	10137	10780
HW 05 1978	3000	4180	5270	5800	5857	6339	6401	6656
HW 02 1980	3370	4160	4763	5939	6010	8666	9084	9630
HW 04 1983	2249	4110	4990	6178	6318	9736	9888	9817
HW 05 1983	3078	4260	5250	5967	6227	9768	9953	10043
HW 03 1988	3273	4090	5270	7161	7240	10029	10022	10852
HW 12 1993	2109	3020	4765	5567	6493	10600	10800	11039
HW 01 1995	3485	4080	4245	5935	6670	10200	10940	11885
HW 10 1998	2818	3320	3675	4881	5454	8360	8989	9487
HW 02 1999	3833	4490	4945	5597	6022	7778	8082	7974
HW 05 1999	5059	4720	4577	4455	4662	4643	4671	4516
HW 01 2003	2036	2810	3522	5060	5540	8722	9329	9451

Overstromingskansen op het meetpunt Bazel: LUBW/ BAFU, februari 2010: hoogwaterafvoer – lengteprofiel voor de Hoogrijn

Overstromingskansen op de meetpunten Maxau en Worms: onderwerkgroep Statistiek, 2001 (waarden voor winterhoogwater)  
Overstromingskansen op de meetpunten Mainz, Kaub en Andernach: hoogwaterstudiegroep Kaub-Rolandswerth, 1992 en referentieafvoeren voor overstromingsgevaarkaarten Rijn, 2009

Overstromingskansen op het meetpunt Keulen: referentieafvoeren voor overstromingsgevaarkaarten Rijn, 2009 en hoogwaterafvoeren met een bepaalde herhalingsperiode op de meetpunten in de Rijn, 2002

Overstromingskansen in Lobith: referentieafvoeren voor overstromingsgevaarkaarten Rijn, 2009 en Werklijn Lobith WD 10.2009

\* De daling van de afvoer tussen de meetpunten Keulen en Lobith is hoogstwaarschijnlijk het gevolg van dijkoverloop

Tabel 5.1: Hoogwaterafvoerpieken en overstromingskansen in de toestand 1977 voor de evaluatie van de effectiviteit van de maatregelen in 2010

Een overzicht van de simulatieperiodes per hoogwatergebeurtenis is opgenomen in bijlage 3.

De betrokken diensten hebben uitvoerig onderzoek verricht om de invoergegevens te verzamelen. Daarbij zijn de historische afvoergolven van alle meetpunten die relevant zijn voor de berekeningen opnieuw op een rij gezet. Voor de berekeningen aan de Duits-Franse Bovenrijn tot Worms gaat het om de afvoergolven op het meetpunt Bazel-Rheinhalle en in de zijrivieren Wiese, Leopoldkanaal, afvoerkanaal van de Ill, Kinzig, Ill, Acher/Rench, Moder, Murg, Sauer en Neckar. Voor het traject tussen Worms en Lobith gaat het om de afvoergolven in de zijrivieren Weschnitz, Modau, Main, Nahe, Wisper, Lahn, Moezel, Nette, Wied, Ahr, Sieg, Wupper, Erft, Ruhr, Emscher en Lippe en, voor vergelijkingsdoeleinden, om de afvoergolven op de meetpunten in de Rijn te Mainz, Kaub, Andernach, Keulen, Düsseldorf, Ruhrort, Wesel, Rees, Emmerik en Lobith (zie bijlage 4a). Voor het Nederlandse deel zijn de gegevens van de Oude IJssel en het Twentekanaal ter beschikking gesteld

(bijlage 4b) en gebruikt om de afvoer vanuit beken en sloten af te leiden (voor meer informatie, zie Deltares, 2010). Omdat de benedenloop van de Maas een gezamenlijke delta vormt met de Rijn moesten er ook voor de Maas afvoergolven beschikbaar worden gesteld.

## 5.2 Modelhoogwaters

In een vervolgstap zijn de afvoergolven op basis van deze historische hoogwaters vergroot met factoren, waardoor er nieuwe synthetische (kunstmatig gecreëerde) "modelhoogwaters" werden verkregen. Hierbij is er gebruik gemaakt van uniforme factoren voor het gehele Rijngebied, waardoor het regionale onderscheid in de historische hoogwatergenese behouden bleef.

In vooronderzoeken hebben de BfG en de LUBW eerst per gebeurtenis een vereenvoudigde inschatting gemaakt van de vergrotingsfactoren voor de afvoergolven (inclusief voor de watertoevoer op het meetpunt Bazel). Als oriënteringswaarden voor de bepaling van de grootste vergrotingsfactor per gebeurtenis is er gebruik gemaakt van de maatgevende afvoeren in de loop van de Rijn en van de waarden voor HQextreem.

De maatgevende afvoer is de maximale hoeveelheid water die onder de respectieve waakhogte zonder schade kan worden afgevoerd in de Rijn. In tabel 5.2 wordt er een overzicht gegeven van de maatgevende afvoeren op de Rijntrajecten benedenstrooms van Bazel.

Rijnkm	Toepassingsgebied	Maatgevende afvoer [m <sup>3</sup> /s] (stand: 2010) (bij omgeleide trajecten: som van de afvoer in de oude loop van de Rijn en in het kanaal)	
		links	rechts
van – tot			
166 - 282	Bazel – afvoerkanaal van de III (binnen het invloedsgebied van de stuw van Straatsburg)	6000	6000
282 - 298	stuw van Straatsburg (benedenstrooms het afvoerkanaal van de III) – monding van de Kinzig (binnen het invloedsgebied van de stuw van Gamsheim)	6500	6500
298 - 309	mondning van de Kinzig – stuw van Gamsheim (benedenstrooms van de monding van de Kinzig)	7200	7200
309 - 334	stuw van Iffezheim	7500	7500
334 - 428	benedenstrooms van Iffezheim – monding van de Neckar	5000	5000
428 - 497	mondning van de Neckar – monding van de Main	6000	6000
497 - 529	mondning van de Main – monding van de Nahe	7960	
	In de Middenrijn is er deels sprake van lokale bescherming tegen overstromingen op basis van verschillende maatgevende afvoeren		
640 - 659	grens van de deelstaat Noordrijn-Westfalen – monding van de Sieg	12600	12600
659 - 780	mondning van de Sieg – monding van de Ruhr	12900	12900
780 - 814	mondning van de Ruhr – monding van de Lippe	14800	14800
814 - 845	mondning van de Lippe – Grietherorter Altrhein	14700	14700
845 - ~ 862	Grietherorter Altrhein – grens tussen de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen en Nederland	14500	14500
vanaf ~ 862	vanaf de grens tussen de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen en Nederland	16000	16000

Tabel 5.2: Maatgevende afvoeren voor waterbouwwerken (met name dammen en dijken, gegevens zonder waakhogte), stand: 2010

De EG HVAL heeft vastgesteld dat bij de ontwikkeling van modelhoogwaters de waarden voor HQ-extreem ( $\sim HQ_{1000}$ ) zo mogelijk niet mogen worden overschreden. De richtwaarde is de maximale afvoer op het Rijnmeetpunt  $\leq 1.15 * HQ_{\text{extreem}}$ . In het eerste voortgangsrapport van de BfG wordt een beschrijving gegeven van de methode en de resultaten van deze voorlopige inschatting.

De afvoergolven uit de zijrivieren, die werden vermenigvuldigd met de vooraf geschatte vergrotingsfactoren (VGF) (en eventueel beperkt tot de maximale capaciteit), zijn vervolgens als invoergegevens gebruikt in het synoptische model Bazel-Worms om de overeenkomstige Rijnafoeren in de waterbouwkundige toestand 1977 te berekenen. Als afvoergolven worden beperkt tot de maximaal mogelijke afvoer wordt de golf bij het bereiken van het maximum in kwestie (zie bijlage 5) "getopt", d.w.z. dat de golf wordt beperkt tot de vergrotingswaarde waarbij de afvoergolf de maximaal mogelijke afvoer bereikt.

De maximale VGF-waarden voor de zijrivieren van de Duits-Franse Bovenrijn zijn zodanig bijgesteld op basis van de berekende piekafvoeren op de meetpunten Maxau en Worms dat het HQextreem weliswaar wordt bereikt op de meetpunten Maxau en Worms, maar niet duidelijk wordt overschreden.

Met behulp van de aldus bepaalde factoren zijn ten slotte ook alle verdere afvoergolven uit zijrivieren benedenstrooms van Worms vergroot, eventueel beperkt tot de in bijlage 5 genoemde maximale afvoeren.

In tabel 5.3 wordt er een overzicht gegeven van de factoren.

Hoogwater	Vergrotingsfactoren						
	Gekozen VGF-ophoging	VGF1	VGF2	VGF3	VGF4	VGF5	VGF <sub>max</sub>
1882	0,05	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
1918	0.10	0,90	1,00	1,15	1,25	1,35	1,45
1919	0.05	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20
1925	0.15	0,85	1,00	1,15	1,30	1,45	1,60
1955	0.05	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20
1957	0.10	0,90	1,00	1,05	1,15	1,25	1,35
1970	0.10	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40
1978	0.10	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40
1980	0.15	0,85	1,00	1,15	1,30	1,45	1,60
1983 april	0.10	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40
1983 mei	0.10	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40
1988	0.10	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40
1993	0.10	0,90	1,00	1,15	1,25	1,35	1,45
1995	0.15	0,85	1,00	1,10	1,25	1,40	1,55
1998	0.20	1,00	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10
1999 februari	0.15	0,90	1,00	1,15	1,25	1,35	1,50
1999 mei	0.05	0,95	1,00	1,10	1,15	1,20	1,25
2003	0.25	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25

Tabel 5.3: Vergrotingsfactoren voor het genereren van modelhoogwaters

## 6. Analyse van de hoogwaterverlaging zonder dijkoverloop

Omdat hoogwaterstatistieken in principe betrekking hebben op afvoeromstandigheden zonder retentiemaatregelen vereist de statistische indeling van de kans van de HVAL-modelhoogwaters dat de hoogwaters eerst zonder de invloed van retentiemaatregelen worden gemodelleerd. Voor de Duits-Franse Bovenrijn komt dit overeen met de waterbouwkundige toestand van 1977.

Vervolgens worden de HVAL-hoogwaters gemodelleerd op de waterbouwkundige toestand van 1995, omdat die in het ICBR-Actieplan Hoogwater als referentie wordt genomen voor de bepaling van de hoogwaterverlaging in 2005, 2010, 2020 en 2020+.

De simulaties van het golfverloop voor de referentietoestand 1995, de toestand 2005, de actuele toestand 2010, de geplande toestand 2020 en de geplande toestand 2020+ zijn uitgevoerd door de LUBW en de BfG. De resultaten voor de toestanden 1977, 1995, 2005, 2010, 2020 en 2020+ op de meetpunten (of riviertrajecten) Maxau, Worms, Mainz, Kaub, Andernach, Keulen en Lobith worden beschikbaar gesteld in de vorm van figuren en in de vorm van tabellen (zie bijlage).

In de figuren zijn eerst voor Maxau en Worms (referentietoestand 1977) en vervolgens voor elk van de zeven referentiemeetpunten de daar berekende piekafvoeren voor de referentietoestand 1995 weergegeven (gerangschikt) in opklimmende volgorde. Deze rangschikking van de resultaten voor de toestand 1995 wordt gehandhaafd voor de weergave van de verkregen resultaten voor de toestanden 1977, 2005, 2010, 2020 en 2020+. Hierdoor kunnen door maatregelen veroorzaakte verschillen tussen de afzonderlijke tijdshorizonten worden afgelezen per gebeurtenis. De voor 1977 geldende, in statistieken van extreme waarden gebruikte afvoerwaarden  $HQ_{10}$ ,  $BHQ$ ,  $HQ_{100}$  en  $HQ_{\text{extreem}}$  zijn eveneens gerelateerd aan de linker Y-as afgebeeld.

De resulterende verschillen tussen topstanden (in cm) zijn berekend tussen de toestanden 1977-1995, 2005-1995, 2010-1995, 2020-1995 en 2020+-1995 en in de figuren voor de meetpunten Maxau, Worms, Mainz, Kaub en Andernach gerelateerd aan de rechter Y-as.

Benedenstrooms van de monding van de Sieg zijn de topafvoeren op de meetpunten Keulen en Lobith in de figuren weergegeven in de vorm van over de trajecten gemiddelde verlagingen van de topstand, omdat de resultaten voor de hier gebruikte meetpunten Keulen en Lobith niet representatief zijn voor de trajecten in kwestie. In de overeenkomstige figuur wordt de topafvoer op het meetpunt Keulen weergegeven door middel van de gemiddelde verlagingen van de topstand over het traject van 120,9 km (242 dwarsprofielen) tussen de monding van de Sieg en de monding van de Ruhr. De, eveneens over de trajecten gemiddelde, verlagingen van de waterstand tussen de monding van de Ruhr en de Pannerdensche Kop, in de Neder-Rijn/Lek, de Waal en de IJssel worden afgebeeld ten opzichte van de topafvoer op het meetpunt Lobith.

Omdat 1995 als referentietoestand is gekozen en het verschil wordt berekend door de bewerking  $HW_{Zx} - HW_{1995}$  betekent een negatieve waarde in de figuren een verlaging van de topstand ten opzichte van de toestand 1995 en een positieve waarde een verhoging van de topstand ten opzichte van 1995.

## 6.1 Evaluatie van het Rijntraject van Maxau tot Worms voor de referentietoestand 1977

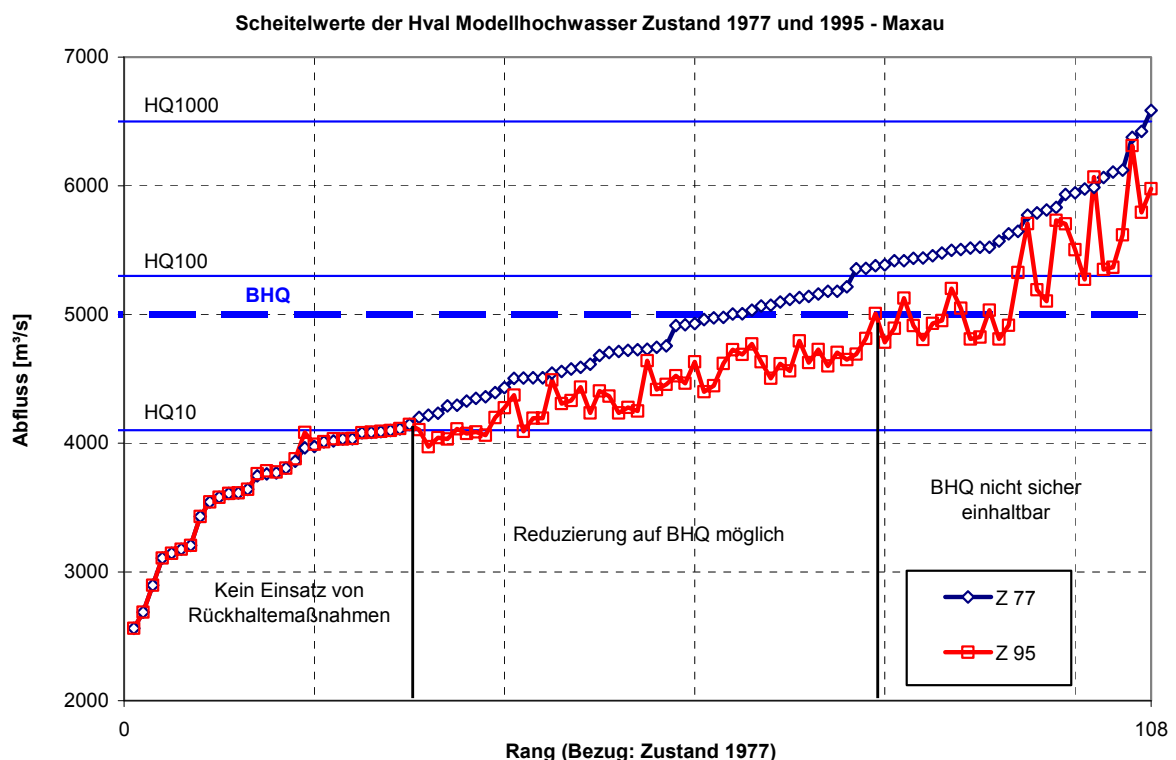
De onderstaande rekenresultaten voor het Rijntraject van Maxau tot Worms zijn gebaseerd op het onderzoek dat de LUBW heeft uitgevoerd met behulp van het synoptische model van Bazel tot Worms. In de figuren is de bekeken waterbouwkundige toestand telkens afgezet tegen de referentietoestand.

De onderzochte waterbouwkundige toestanden zijn 1977 en 1995.

In de figuren 6.1 tot 6.10 zijn de piekwaarden op de meetpunten Maxau en Worms gerangschikt ten opzichte van de toestand 1977.

### Effect van de in 1995 operationele maatregelen op het meetpunt Maxau:

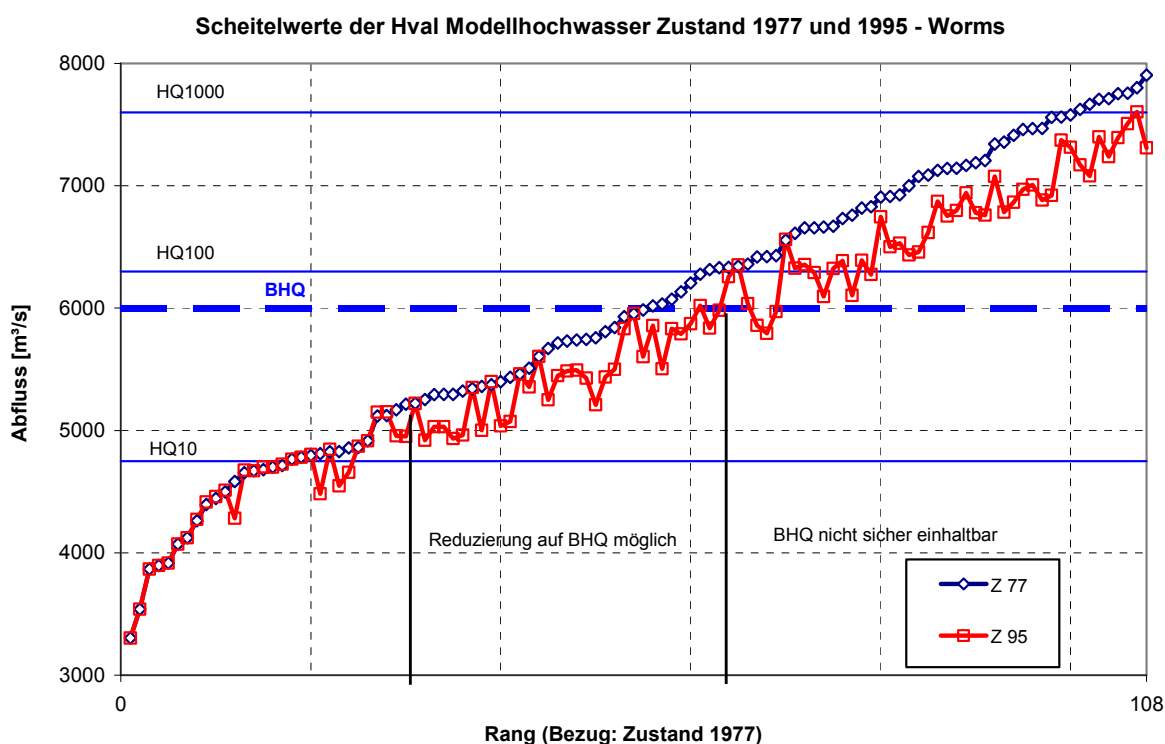
- Tot ongeveer HQ<sub>10</sub> worden er geen retentiemaatregelen ingezet.
- Bij de lage hoogwaters kunnen de piekwaarden in 1995 (iets) hoger zijn dan in 1977. Dit kan worden verklaard door de voorverlaging aan de stuwen in Kehl en Breisach.
- De grootste afvoerverlagingen worden bereikt tussen HQ<sub>10</sub> en HQ<sub>200</sub>. Vanaf HVAL-hoogwaters van ongeveer HQ<sub>100</sub> overschrijden afzonderlijke gebeurtenissen de maatgevende afvoer.
- De maximale piekverlaging bedraagt bij één enkel modelhoogwater circa 760 m<sup>3</sup>/s (bij ongeveer HQ<sub>150</sub>).



Figuur 6.1: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1977 en 1995 op het meetpunt Maxau. Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1977.

### Effect van de in 1995 operationele maatregelen op het meetpunt Worms:

- In 1995 waren er tussen Maxau en Worms nog geen retentiemaatregelen in gebruik. Daarom bestaan er in de toestand 1995 nog geen maatregelen die gericht kunnen worden toegepast om de piek op het meetpunt Worms te verlagen.
- Afhankelijk van de verhouding tussen het peil van het hoogwater in de Rijn bovenstrooms van de Neckar en het peil van het hoogwater in de Neckar zelf is er geen sprake van een uniforme tendens in de verlaging van de piek gerelateerd aan de herhalingsstijd van het hoogwater in Worms.
- De maximale piekverlaging bedraagt bij één enkel modelhoogwater circa 660 m<sup>3</sup>/s (bij ongeveer HQ<sub>200</sub>).



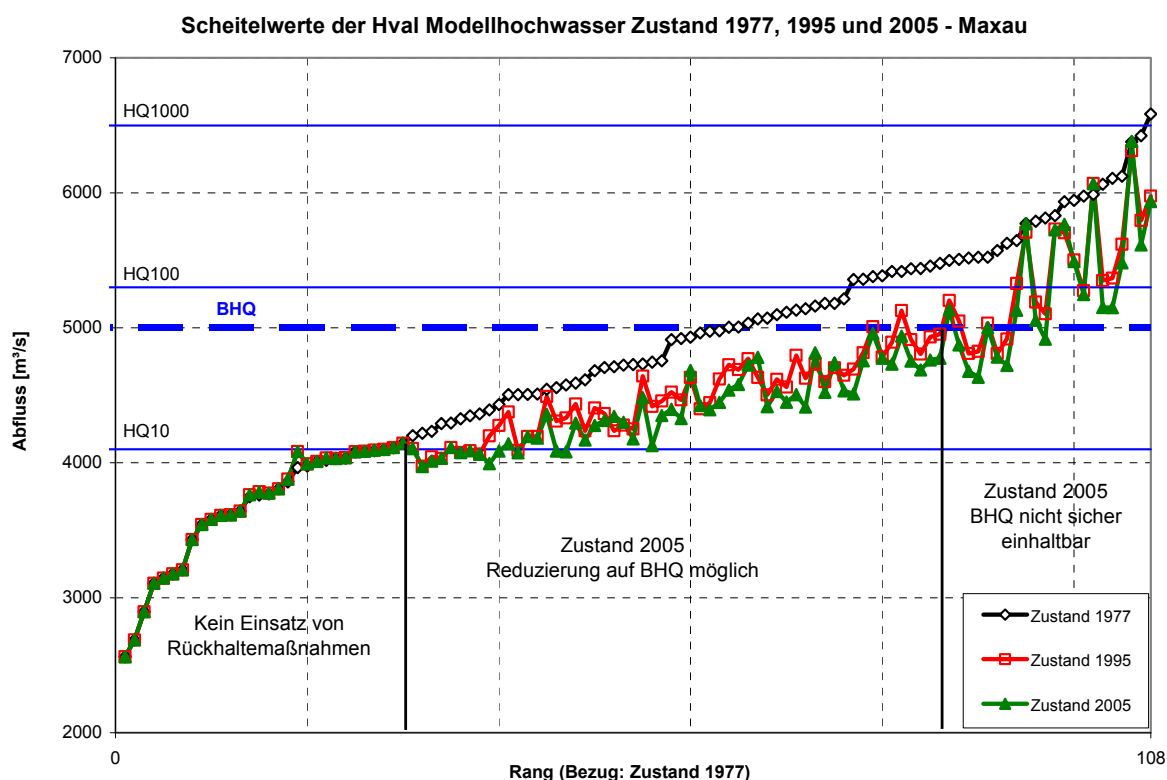
Figuur 6.2: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1977 en 1995 op het meetpunt Worms. Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1977.

## Verlaging in 2005 ten opzichte van 1995

In de figuren 6.3 en 6.4 zijn de piekwaarden van de modelhoogwaters in de toestanden 1995 en 2005 weergegeven voor de meetpunten Maxau en Worms. Hieruit kunnen de belangrijkste resultaten voor de waterbouwkundige toestand 2005 worden afgeleid. Bovenstrooms van het meetpunt Maxau zijn ten opzichte van de toestand 1995 de polders Erstein en Söllingen erbij gekomen. Benedenstrooms van Maxau zijn als extra maatregelen operationeel: de polders Flotzgrün en Kollerinsel evenals de dijkverlegging Worms-Bürgerweide.

### Effect van de in 2005 operationele maatregelen op het meetpunt Maxau:

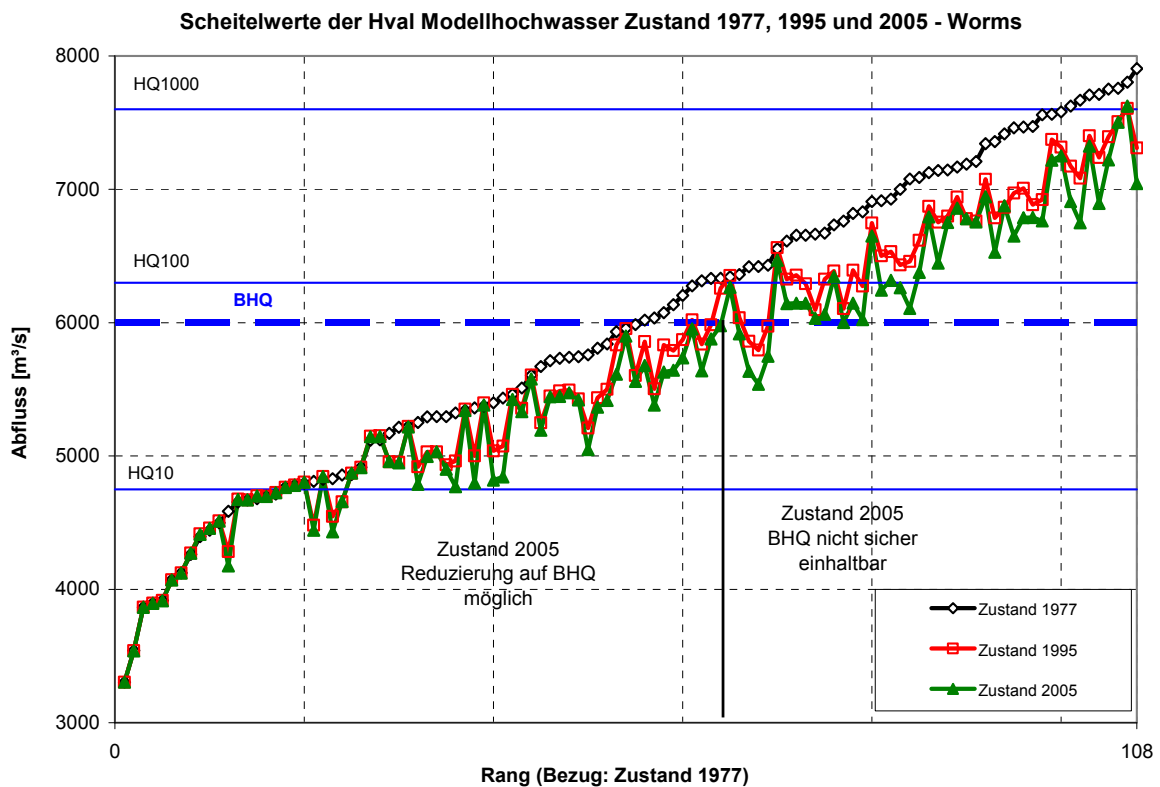
- De piekwaarden zijn verder gedaald ten opzichte van 1995. De extra verlagingen zijn niet zo uitgesproken als tussen 1977 en 1995. Dit kan worden verklaard door het feit dat elke extra topverlaging moet inwerken op een breder (d.w.z. langer durend) gebied van de hoogwatergolf, waardoor er onevenredig veel meer volume nodig is voor een topverlaging ("volumeprogressie").
- De maatgevende afvoer wordt iets minder vaak overschreden dan in de toestand 1995. HVAL-hoogwaters tot ongeveer  $HQ_{120}$  kunnen worden verlaagd tot ze voldoen aan de maatgevende afvoer.
- De maximale verlaging ten opzichte van de toestand 1995 bedraagt  $290 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- De maximale verlaging ten opzichte van de toestand 1977 bedraagt  $959 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Figuur 6.3: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1977, 1995 en 2005 op het meetpunt Maxau. Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1977.

### Effect van de in **2005** operationele maatregelen op het **meetpunt Worms**:

- De invloed van de nieuwe retentiemaatregelen (benedenstrooms van Maxau ca. 13 miljoen m<sup>3</sup>) is ook bij hoogwaters met hoge herhalingsstijden duidelijk waarneembaar.
- De grootste verlaging ten opzichte van de toestand 1995 bedraagt ongeveer 350 m<sup>3</sup>/s.
- De maximale verlaging ten opzichte van de toestand 1977 bedraagt 969 m<sup>3</sup>/s.



Figuur 6.4: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1977, 1995 en 2005 op het meetpunt Worms. Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1977.

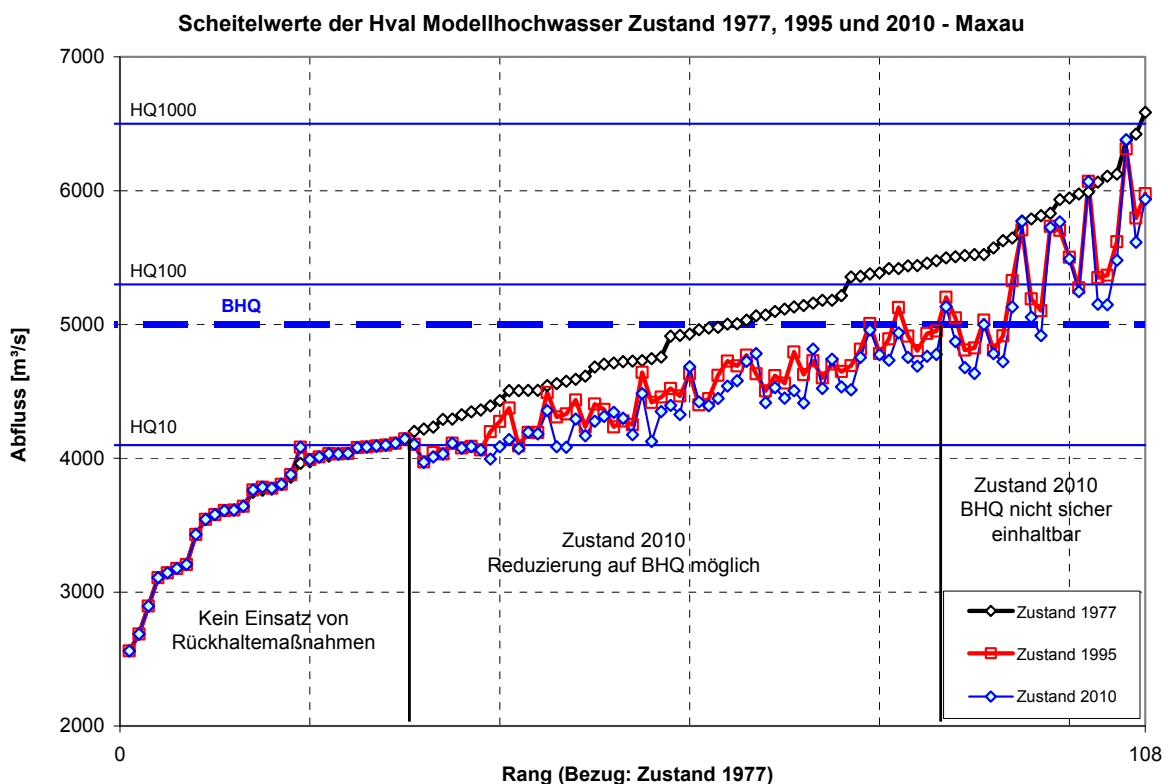


### Verlaging in 2010 ten opzichte van 1995

Het enige verschil tussen de waterbouwkundige toestanden 2010 en 2005 is de dijkverlegging Worms-Mittlerer Busch, die een extra volume oplevert van ongeveer 2 miljoen m<sup>3</sup>. De berekende piekwaarden zijn weergegeven in de figuren 6.5 en 6.6.

### Effect van de in 2010 operationele maatregelen op het meetpunt Maxau:

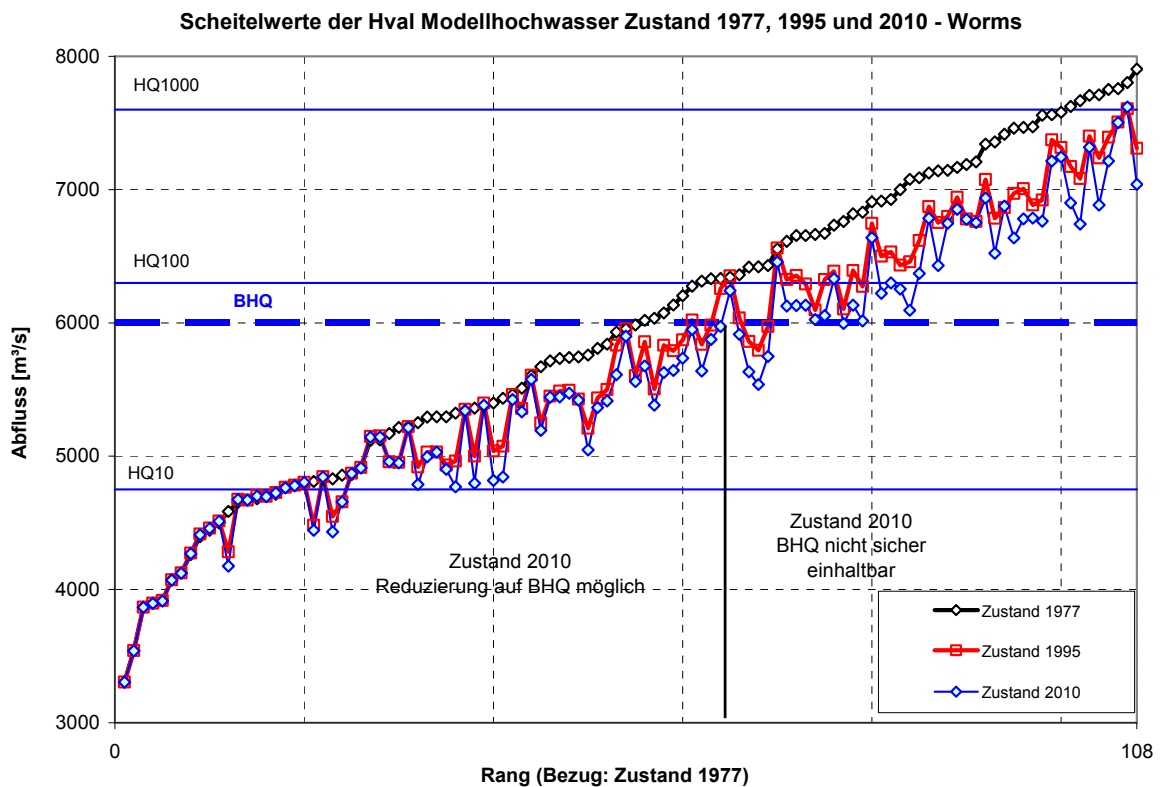
- Omdat er op het traject tot Maxau geen nieuwe maatregelen in gebruik zijn genomen ten opzichte van de toestand 2005, zijn de rekenresultaten voor 2010 hetzelfde als voor 2005.



Figuur 6.5: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1977, 1995 en 2010 op het meetpunt Maxau. Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1977.

**Effect van de in 2010 operationele maatregelen op het meetpunt Worms:**

- Overeenkomstig met de slechts zeer kleine toename van het retentievolume ten opzichte van de toestand 1995 zijn ook de verschillen in de piekwaarden slechts zeer klein.



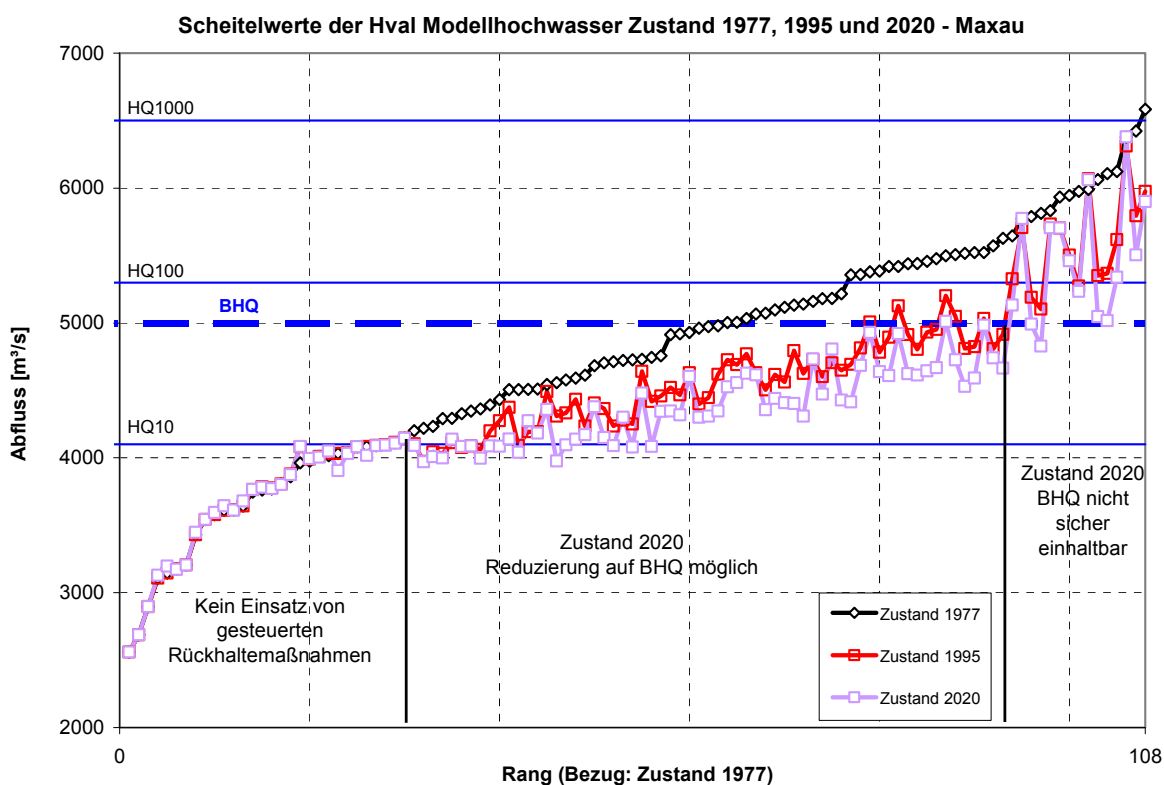
Figuur 6.6: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1977, 1995 en 2010 op het meetpunt Worms. Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1977.

## **Verlaging in 2020 ten opzichte van 1995**

In de waterbouwkundige toestand 2020 is het retentievolume van de maatregelen aan de Duits-Franse Bovenrijn duidelijk verhoogd. Op het traject tot Maxau bedraagt de toename ca. 24 miljoen m<sup>3</sup>, van Maxau tot Worms komen hier nog 38 miljoen m<sup>3</sup> bij.

### **Effect van de in 2020 operationele maatregelen op het meetpunt Maxau:**

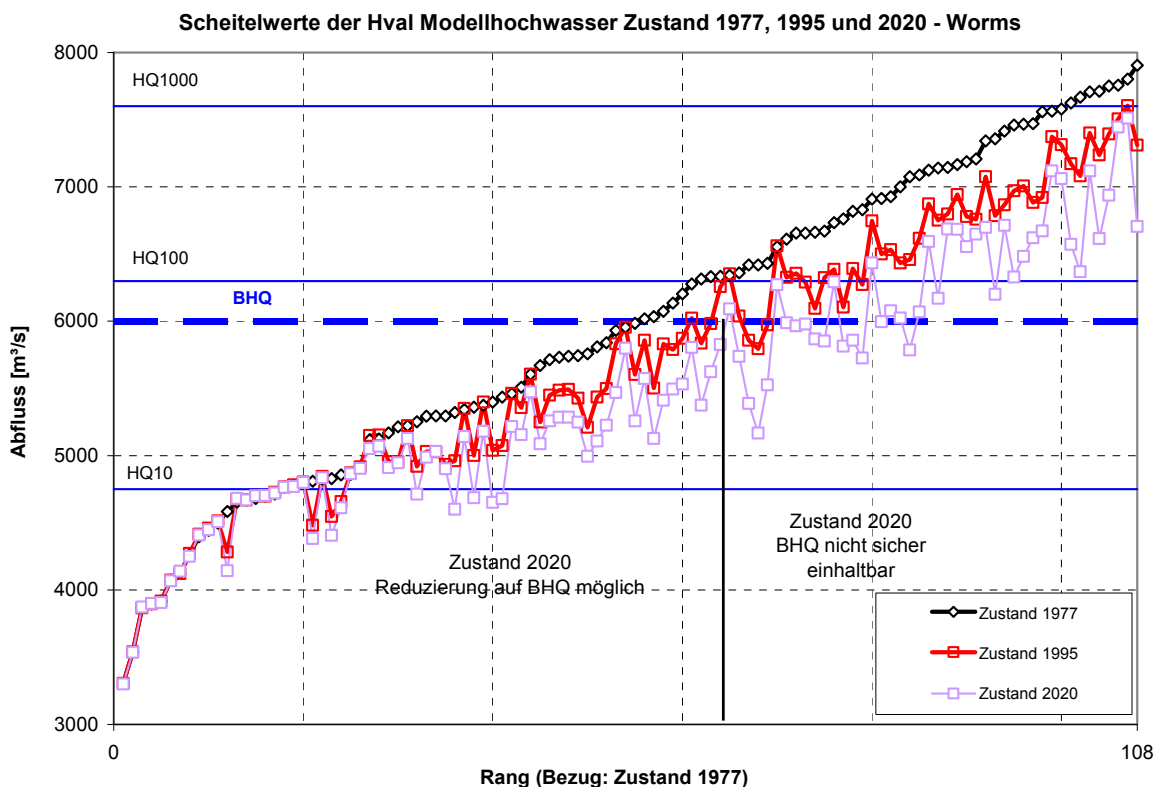
- Dankzij de uiterwaardverlaging door grindafgraving ter hoogte van Weil-Breisach kunnen de piekwaarden ook al bij lagere afvoeren worden beïnvloed.
- Een nieuwe maatregel waarmee rekening wordt gehouden in 2020 is de stuw in Breisach, die wordt gebruikt om het waterpeil te regelen voor de omliggende landbouwgrond. Het reeds opgestuwde water wordt eerst afgelaten om vervolgens het hoogwater te kunnen opvangen. Dit kan leiden tot waterstandverhogingen bij lage afvoeren (dit effect en de verlagende werking van de bovengenoemde uiterwaardverlaging overlappen elkaar).
- De overschrijding van de maatgevende afvoer neemt ten opzichte van de toestand 2005 in die mate af dat het nu lukt om HVAL-hoogwaters van iets meer dan HQ<sub>150</sub> te verlagen tot de maatgevende afvoer (zie figuur 6.7).
- De maximale verlaging van de piekafvoer ten opzichte van de waterbouwkundige toestand 1977 bedraagt 1.090 m<sup>3</sup>/s.
- De maximale verlaging van de piekafvoer ten opzichte van de waterbouwkundige toestand 1995 bedraagt 392 m<sup>3</sup>/s.



Figuur 6.7: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1977, 1995 en 2020 op het meetpunt Maxau. Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1977.

### Effect van de in 2020 operationele maatregelen op het meetpunt Worms:

- De verlaging van de piekwaarde is voor veel van de HVAL-hoogwaters duidelijk groter dan in de waterbouwkundige toestand 2010, zeker ook bij de gebeurtenissen boven HQ<sub>100</sub> (zie figuur 6.8).
- De maximale verlaging van de piekafvoer ten opzichte van de toestand 1977 bedraagt 1.300 m<sup>3</sup>/s.
- De maximale verlaging van de piekafvoer ten opzichte van de toestand 1995 bedraagt 714 m<sup>3</sup>/s.
- Wat opvalt, is dat het aantal hoogwaters waarvoor de maatgevende afvoer niet zeker kan worden aangehouden zo goed als niet verandert. De reden hiervoor is het HVAL-hoogwater van oktober 1998 (vergroot met een factor 1,70). Ondanks de effectievere verlaging van de piek in 2020 ten opzichte van de voorafgaande waterbouwkundige toestanden kan de topafvoer niet worden verlaagd tot onder de maatgevend afvoer. Dit wordt in dit modelhoogwater veroorzaakt door het extreem vroege optreden en de relatief hoge piekafvoer van het hoogwater in de Neckar (> 3.300 m<sup>3</sup>/s). De interactie tussen deze twee feiten zorgt ervoor dat de retentiemaatregelen op het traject bovenstrooms van Maxau vrijwel geen invloed hebben op de topafvoer op het meetpunt Worms.



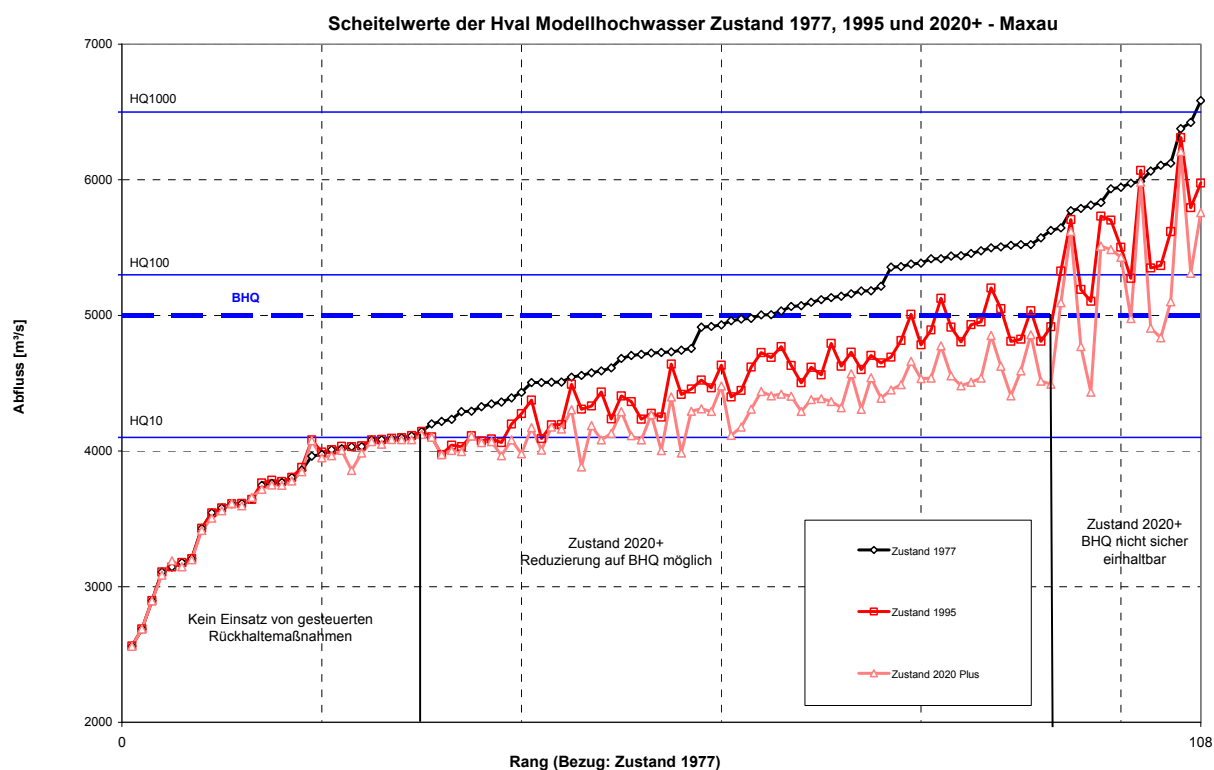
Figuur 6.8: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1977, 1995 en 2020 op het meetpunt Worms. Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1977.

## Verlaging in 2020+ ten opzichte van 1995

In de uiteindelijke waterbouwkundige toestand 2020+ is er ten opzichte van de toestand 2020 ongeveer 106 miljoen m<sup>3</sup> extra retentievolume operationeel, waarvan ca. 22 miljoen m<sup>3</sup> ongestuurd wordt beheerd. Ongeveer 59 miljoen m<sup>3</sup> van de totale toename wordt bereikt op het traject van Bazel tot Maxau. Benedenstreams van Maxau (tot Worms) komt er nog 47 miljoen m<sup>3</sup> bij.

### Effect van de in 2020+ operationele maatregelen op het meetpunt Maxau:

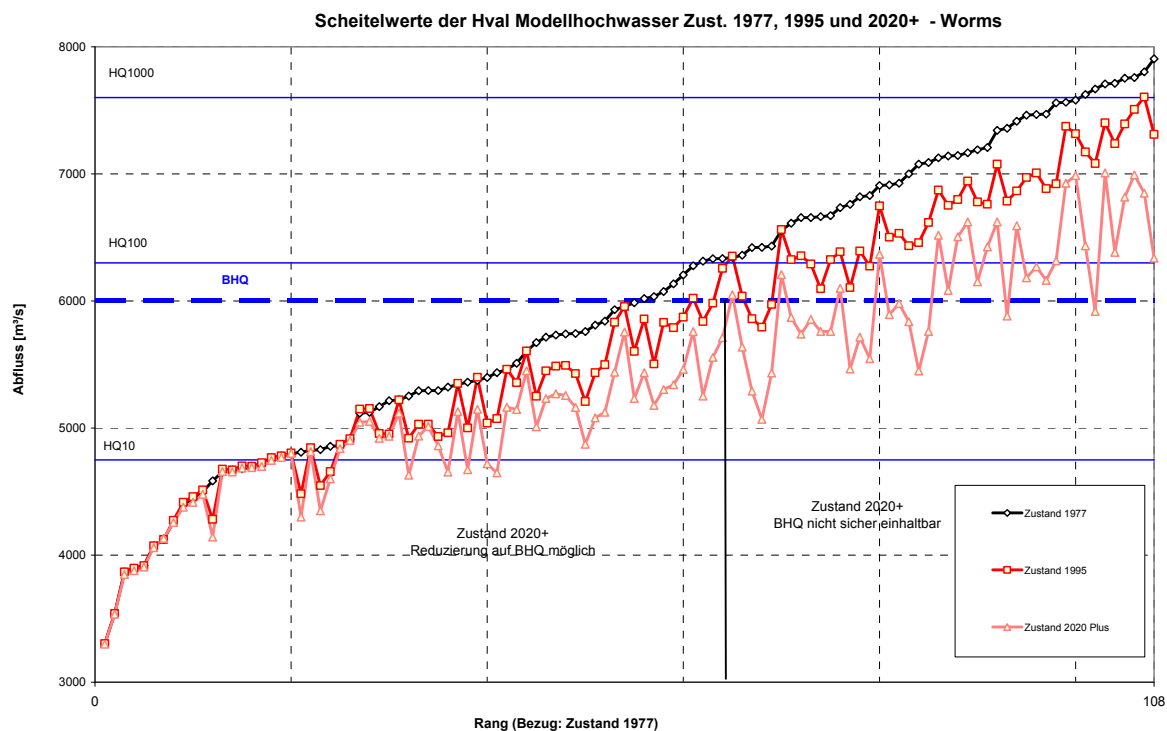
- Het door grindwinning verkregen volume in de regio Weil-Breisach bedraagt circa 25 miljoen m<sup>3</sup>. Deze ongestuurde retentiemaatregel is dus duidelijk groter geworden ten opzichte van de waterbouwkundige toestand 2020 (stijging van het volume met ongeveer 22 miljoen m<sup>3</sup>).
- Het extra retentievolume van de nieuwe, gestuurde maatregelen Wyhl/Weisweil, Ichenheim/Meissenheim/Ottenheim (IMO), Freistett en Bellenkopf bedraagt in totaal ca. 37 miljoen m<sup>3</sup>.
- De maximale verlaging van de piekafvoer ten opzichte van de waterbouwkundige toestand 1995 bedraagt 670 m<sup>3</sup>/s.
- De maximale verlaging van de piekafvoer ten opzichte van de waterbouwkundige toestand 1977 bedraagt 1.379 m<sup>3</sup>/s.
- Met het beschikbare retentievolume in de waterbouwkundige toestand 2020+ is het op het meetpunt Maxau mogelijk om een piekafvoer tussen HQ<sub>150</sub> en HQ<sub>200</sub> te verlagen naar de maatgevende afvoer.



Figuur 6.9: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1977, 1995 en 2020+ op het meetpunt Maxau. Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1977.

### Effect van de in **2020+** operationele maatregelen op het **meetpunt Worms**:

- De bovengenoemde retentiemaatregelen worden benedenstrooms van Maxau nog aangevuld met de polder Elisabethenwört en het reservegebied Hördt.
- Deze twee gestuurde maatregelen verhogen het retentievolume met ongeveer 47 miljoen m<sup>3</sup>.
- De maximale verlaging van de piekafvoer ten opzichte van de waterbouwkundige toestand 1995 bedraagt op het meetpunt Worms 1.164 m<sup>3</sup>/s.
- De maximale verlaging van de piekafvoer ten opzichte van de waterbouwkundige toestand 1977 bedraagt 1.750 m<sup>3</sup>/s.
- Net zoals in de toestand 2020 lukt het ook in de toestand 2020+ niet om het hoogwater van oktober 1998 met een vergrotingsfactor 1,70 te verlagen tot onder de maatgevende afvoer. Zoals reeds uitgelegd bij de toestand 2020 ligt dit aan de extreem vroege en relatief hoge piekafvoer vanuit de Neckar. Ondanks de geprononceerde invloed van de retentiemaatregelen, die de piekafvoer ook bij veel hoogwatergebeurtenissen met duidelijk hogere piekwaarden dan HQ<sub>100</sub> verlagen, blijft als gevolg van de invloed van het hoogwater van oktober 1998 de zone waar de maatgevende afvoer niet zeker wordt onderschreden onveranderd ten opzichte van de toestand 2020.



Figuur 6.10: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1977, 1995 en 2020+ op het meetpunt Worms. Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1977.

In de figuren 6.1 tot 6.10 is er gekozen voor de referentietoestand 1977 om recht te doen aan de bijzondere omstandigheden in de Duits-Franse Bovenrijn.

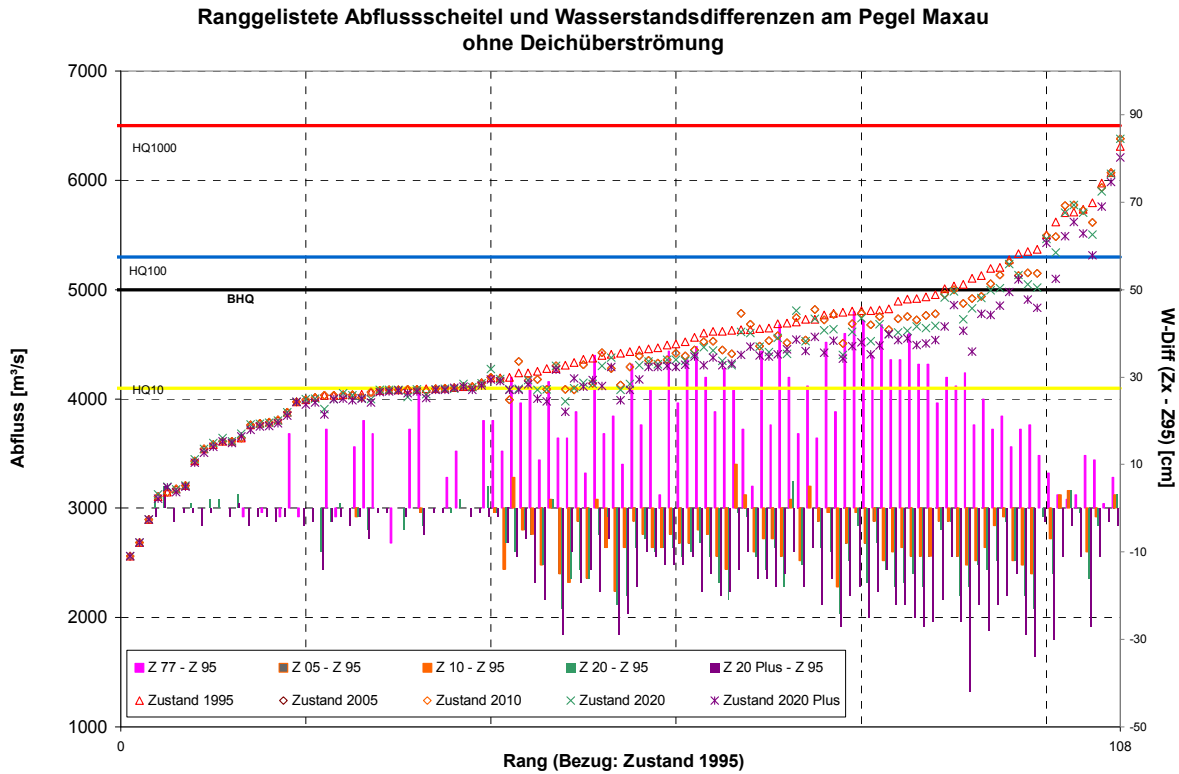
## **6.2 Evaluatie van het Rijntraject van de Duits-Franse Bovenrijn (Maxau) tot de Rijndelta (Lobith) in de referentietoestand 1995**

De onderstaande rekenresultaten voor het Rijntraject van Maxau tot de Rijndelta (Lobith) zijn gebaseerd op onderzoek van de LUBW, dat is uitgevoerd met het synoptische model van Bazel tot Worms, en op onderzoek van de BfG, dat is uitgevoerd met het SOBEK-model van Worms tot de Rijndelta (meetpunt Lobith). In de figuren is de bekeken waterbouwkundige toestand telkens afgezet tegen de referentietoestand 1995.

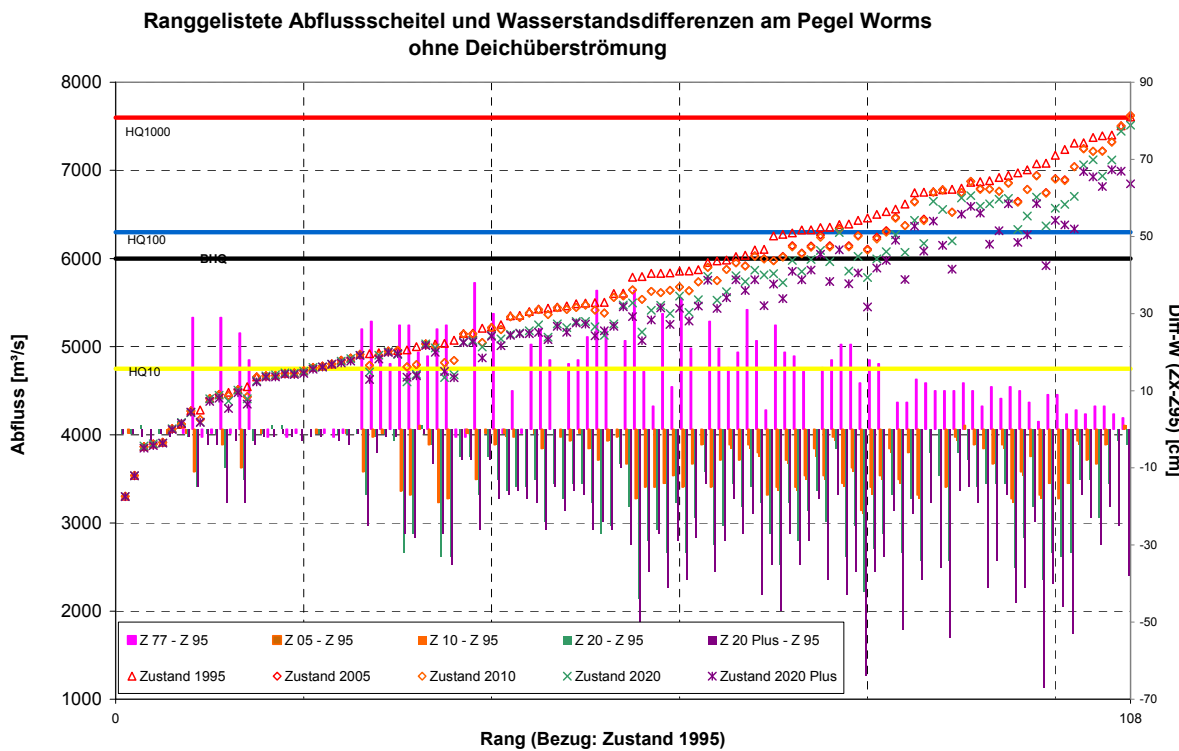
De piekwaarden [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] en de verlaging van de topstanden [cm] tussen de verschillende waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995 zijn grafisch weergegeven in figuur 6.11 voor het meetpunt Maxau en in figuur 6.12 voor het meetpunt Worms.

Het effect van de retentiemaatregelen aan de Duits-Franse Bovenrijn kan als volgt worden samengevat:

- (1) Tot ongeveer  $HQ_{10}$  worden er zo goed als geen retentiemaatregelen ingezet. Vanaf de waterbouwkundige toestand 2020 kunnen de piekwaarden als gevolg van de uiterwaardvergraving Weil-Breisach ook al bij lagere afvoeren worden beïnvloed.
- (2) Bij lagere hoogwaters kunnen de piekwaarden iets hoger worden dan in de toestand 1977. Dit kan worden verklaard door de voorverlaging aan de stuw in Kehl (vanaf de waterbouwkundige toestand 1995) en aan de stuw in Breisach (vanaf de waterbouwkundige toestand 2020).
- (3) Afhankelijk van de verhouding tussen het peil van het hoogwater in de Rijn bovenstrooms van de Neckar en het peil van het hoogwater in de Neckar zelf is er geen sprake van een uniforme tendens in de verlaging van de piek gerelateerd aan de herhalingstijd van het hoogwater in Worms.  
(Voorbeeld van het modelhoogwater van oktober 1998: Deze gebeurtenis wordt gekenmerkt door het extreem vroege optreden en de relatief hoge piekafvoer van het hoogwater in de Neckar ( $> 3.300 \text{ m}^3/\text{s}$ ). De interactie tussen deze twee feiten zorgt ervoor dat de retentiemaatregelen op het traject bovenstrooms van Maxau vrijwel geen invloed hebben op de topafvoer op het meetpunt Worms.)



Figuur 6.11: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2005, 2010, 2020 en 2020+ op het meetpunt Maxau (berekend zonder dijkoverloop). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.



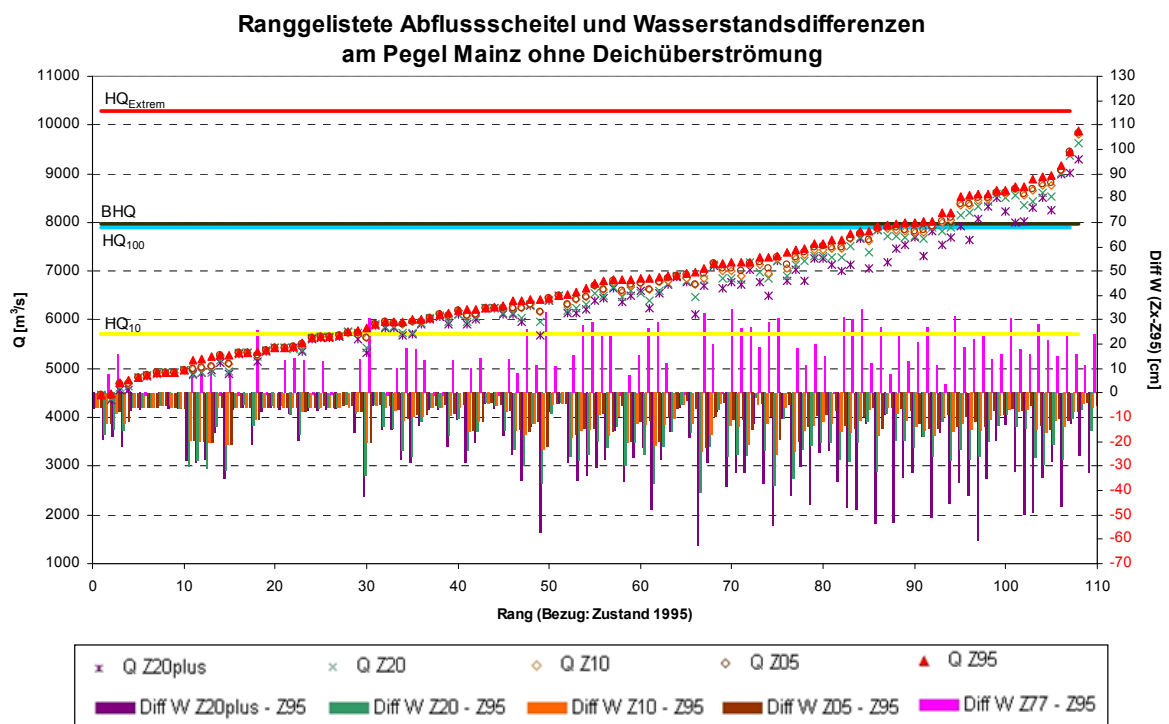
Figuur 6.12: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2005, 2010, 2020 en 2020+ op het meetpunt Worms (berekend zonder dijkoverloop). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.



De evaluatie zonder dijkoverloop wordt voor het meetpunt Mainz weergegeven in figuur 6.13. Aan de hand van de gerangschikte piekafvoeren in de referentietoestand 1995 (rode driehoeken) en de in statistieken van extreme waarden gebruikte afvoeren, hier weergegeven als horizontale lijnen, is het mogelijk om een kans van optreden toe te kennen aan de rekenresultaten.

Duidelijk wordt dat op het meetpunt Mainz de vastgestelde topafvoeren van ca. 70 modelgebeurtenissen de afvoer van  $HQ_{10}$  overschrijden.  $HQ_{\text{extreem}}$  wordt niet overschreden.

De topafvoeren in de toestand 2005 (bruine cirkels) en 2010 (oranje ruiten), die ook zijn gerelateerd aan de linkerass, geven de door maatregelen beïnvloede piekwaarden weer op de respectievelijke tijdstippen. Deze waarden liggen grotendeels onder de piekwaarden in de toestand 1995 en drukken zodoende het afvoerverlagende effect van uitgevoerde maatregelen uit op de topafvoer in de verschillende toestanden. Echter, als gevolg van het instationaire effect van maatregelen in verband met het legen van onder water gezette gebieden, maar ook als gevolg van het gebruik van verschillende modellen voor de Rijntoestanden kunnen de topafvoeren sporadisch licht stijgen.



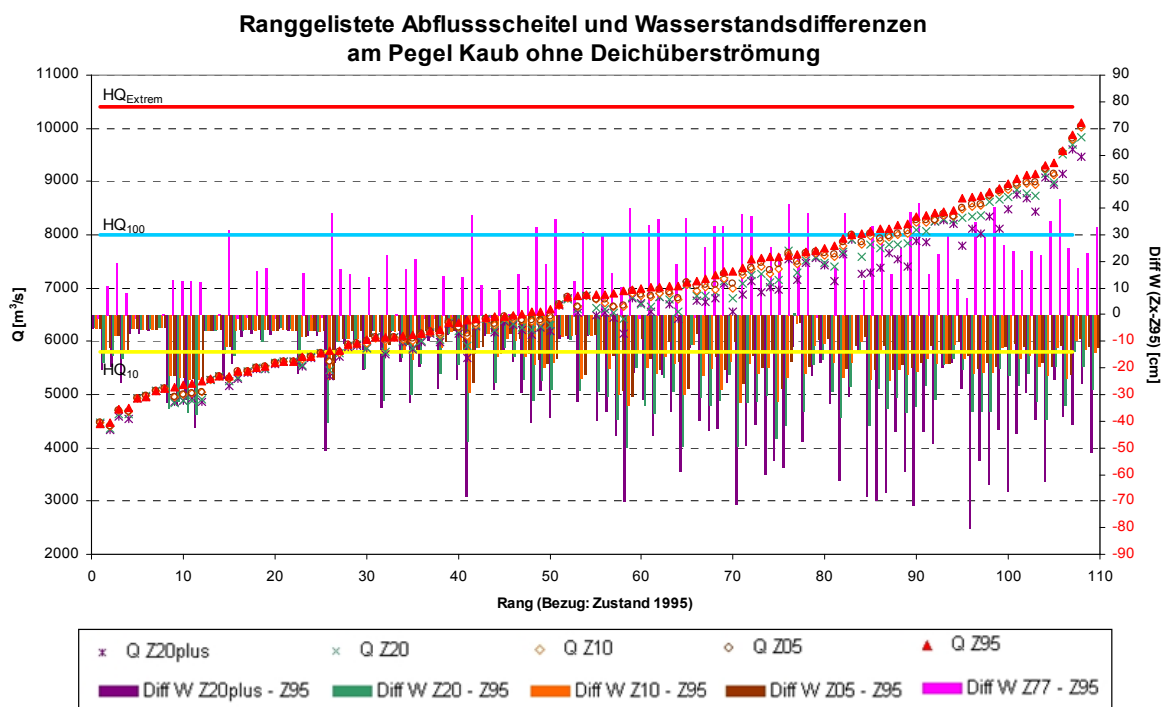
Figuur 6.13: Piekafvoeren en verschil tussen de topstanden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2005, 2010, 2020 en 2020+ op het meetpunt Mainz (berekend zonder dijkoverloop). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.

In tegenstelling tot de duidelijk afwijkende topafvoeren in 2020 (groene kruisen) en 2020+ (paarse sterren) ten opzichte van 1995 kan er tussen de Rijntoestanden 2005 en 2010 geen groot verschil worden ontdekt in figuur 6.13, wat te verwachten was gelet op de extra retentievolumes van ca. 8,8 miljoen  $m^3$  die tussen 2005 en 2010 zijn beschikbaar gekomen tussen Bazel en Mainz. De duidelijke verlaging van de topafvoeren in 2020 is het resultaat van het effect van een extra retentievolume van ca. 57,6 miljoen  $m^3$  tussen Breisach en Mainz waarvan de oplevering gepland staat voor die datum. De topafvoeren per gebeurtenis en toestand zijn gekoppeld aan de respectieve veranderingen van de topstand (Diff W), die zijn gerelateerd aan de rechterass. In de toestand 1977 zijn de topstanden duidelijk hoger dan in de toestand 1995 (het verschil ten opzichte van 1995 is hier weergegeven in de vorm van verticale roze

balken). De belangrijkste reden voor de lagere waterstanden in 1995 zijn de retentiemaatregelen met een volume van ongeveer 110 miljoen m<sup>3</sup> die al tussen 1977 en 1995 zijn gerealiseerd aan de Duits-Franse Bovenrijn. In de periode 1995-2005 is er tussen Bazel en Mainz nog eens ca. 57,3 miljoen m<sup>3</sup> retentievolume bij gekomen. De hieruit resulterende topstandverlaging met maximaal 23 cm (bruine balken – toestand 2005) verschilt amper van de verlaging met maximaal 25 cm die is bepaald voor 2010 (oranje balken). Tussen 2005 en 2010 is er op het Rijntraject tussen Breisach en Mainz ca. 8,8 miljoen m<sup>3</sup> extra retentievolume gecreëerd, het verschil tussen de waterstandverlaging in 2005 en 2010 is dan ook klein. De gemiddelde verlaging van de topstand bij een HQ<sub>100</sub> bedraagt in 2010 13 cm, in de toestand 2020 22 cm en in de toestand 2020+ 36 cm ten opzichte van 1995.

Uit de evaluatie van het meepunt Kaub blijkt dat het debiet tussen 1995 en 2010 lokaal is gewijzigd als gevolg van morfologische veranderingen in de bedding (bodemerosie). Met name als er afzonderlijke frequente hoogwaters worden bekeken, worden hier ondanks de toename van de afvoer waterstanddalingen geconstateerd.

De geval per geval bepaalde verlagingen van de topstand van maximaal 34 cm in de toestand 2010 en 31 cm in de toestand 2005 ten opzichte van de referentietoestand 1995 zijn opnieuw weergegeven als verticale balken (oranje en bruin). De daling van de piekafvoer en de topstand wordt hier ook beïnvloed door de zijrivieren Selz, Nahe en Wisper en door de maatregel retentiepolder Ingelheim.



Figuur 6.14: Piekafvoeren en verschil tussen de topstanden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2005, 2010, 2020 en 2020+ op het meetpunt Kaub (berekend zonder dijkoverloop). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.

In figuur 6.14 worden de berekende piekwaarden van de modelhoogwaters op het meetpunt Kaub geëvalueerd zonder dijkoverloop.

In de toestand 2010 zijn de topstanden op het meetpunt Kaub bij  $HQ_{100}$  gemiddeld -19 cm en bij  $HQ_{\text{extreem}}$  gemiddeld -17 cm verlaagd ten opzichte van de toestand 1995. De bandbreedte van de topstandverlaging tussen overstromingen met een grote kans (rond  $HQ_{10}$ ) en overstromingen met een kleine kans ( $HQ_{\text{extreem}}$ ) varieert tussen -3 cm en -34 cm.

In tegenstelling tot de duidelijk afwijkende topafvoeren in 2020 (groene kruisen) en 2020+ (paarse sterren) ten opzichte van 1995 kan er tussen de resultaten voor de Rijntoestanden 2005 en 2010 geen groot verschil worden ontdekt in figuur 6.14, wat te verwachten was gelet op de extra retentievolumes van ca. 13,3 miljoen  $m^3$  die tussen 2005 en 2010 zijn beschikbaar gekomen tussen Bazel en Kaub. De duidelijke verlaging van de topafvoeren in 2020 is het resultaat van het effect van een extra retentievolume van ca. 62,1 miljoen  $m^3$  tussen Breisach en Kaub waarvan de oplevering gepland staat voor die datum.

In de toestand 1977 zijn de topstanden duidelijk hoger dan in de toestand 1995 (verticale roze balken). De belangrijkste reden voor de lagere waterstanden in 1995 zijn de retentiemaatregelen met een volume van ongeveer 110 miljoen  $m^3$  die al tussen 1977 en 1995 zijn gerealiseerd aan de Duits-Franse Bovenrijn. Omdat er in het ICBR-Actieplan Hoogwater wordt gestreefd naar een extra verlaging van de waterstand ten opzichte van 1995 worden de waterstandverlagingen die al tussen 1977 en 1995 zijn bereikt hier apart weergegeven en niet meegerekend in het doelbereik voor de toestanden 2005 tot 2020+. In bepaalde gevallen laten de resultaten van de simulatieberekeningen voor de jaren 2005 (bruine balken) en 2010 (oranje balken) een daling van de topstand zien van wel 30 cm ten opzichte van de referentietoestand 1995. In de periode 1995-2005 is er tussen Bazel en Kaub ca. 57,3 miljoen  $m^3$  extra retentievolume beschikbaar gesteld. Omdat er in de vijf jaar tussen 2005 en 2010 op hetzelfde Rijntraject nog ca. 13,3 miljoen  $m^3$  retentievolume is gecreëerd, valt het verschil tussen de waterstanddaling in 2005 en 2010 klein uit. In figuur 6.14 zijn de balken van de topstandverlagingen dan ook nagenoeg even lang.

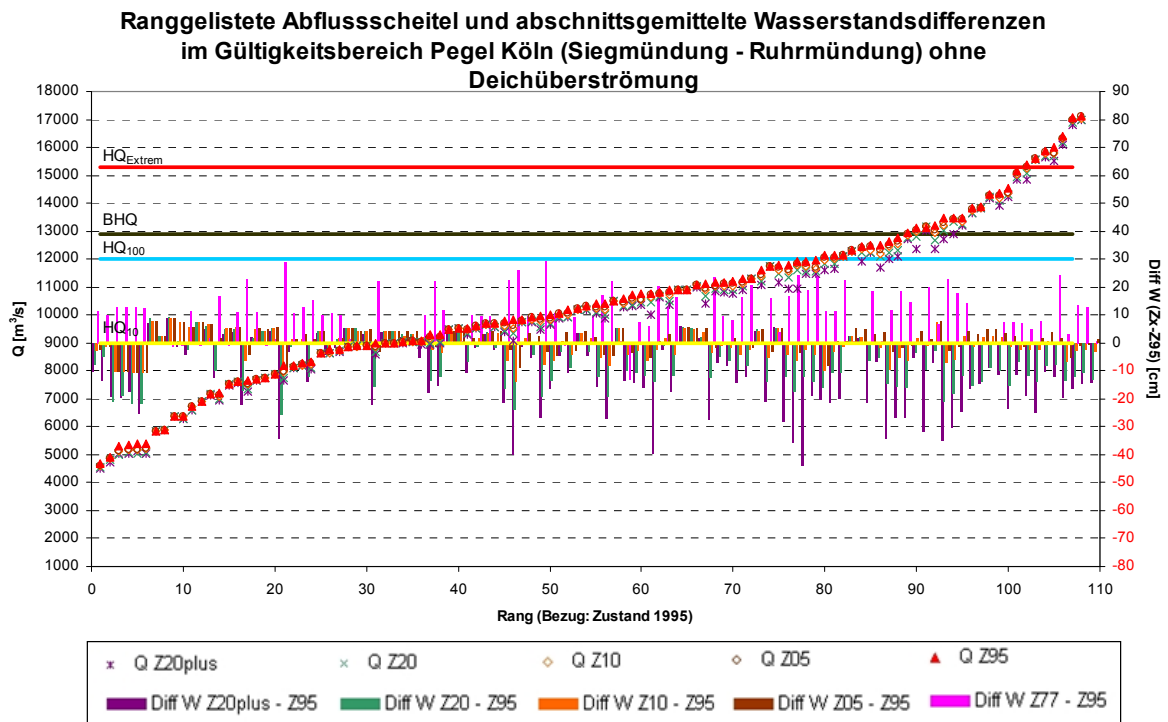
In de toestand 2010 zijn de topstanden op het in figuur 6.15 weergegeven meetpunt Andernach bij  $HQ_{100}$  gemiddeld -8 cm en bij  $HQ_{\text{extreem}}$  gemiddeld -3 cm verlaagd ten opzichte van de toestand 1995. De bandbreedte van de topstandverlaging tussen overstromingen met een grote kans (rond  $HQ_{10}$ ) en overstromingen met een kleine kans ( $HQ_{\text{extreem}}$ ) varieert tussen +9 cm en -25 cm.

De statistische analyse laat voor het meetpunt Andernach een fenomeen zien dat praktisch het spiegelbeeld is van de situatie op het bijna 68 km verder bovenstrooms gelegen meetpunt Kaub. Hier zijn de veranderingen in de bedding (bodemverhoging) zelfs bij kleine afvoerverlagingen zichtbaar in lichte verhogingen van de waterstand. De incidentele afvoerhoogingen kunnen echter ook verband houden met het opnieuw legen van onder water gezette gebieden, een proces dat te volgen is in het golfverloop van deze gebeurtenissen. Hier wordt tevens voor het eerst het effect van de belangrijke zijrivier de Moezel op het golfverloop afgebeeld. Bij het modelhoogwater van 1998 VGMax leidt een verlaging van de piekafvoer met  $-73 \text{ m}^3/\text{s}$  bij  $HQ_{\text{extreem}}$  in de toestand 2010 bijvoorbeeld tot een verhoging van de waterstand met +1 cm (zie bijlage). In de toestand 2020+ wordt er een topstandreductie van maximaal 59 cm bereikt.



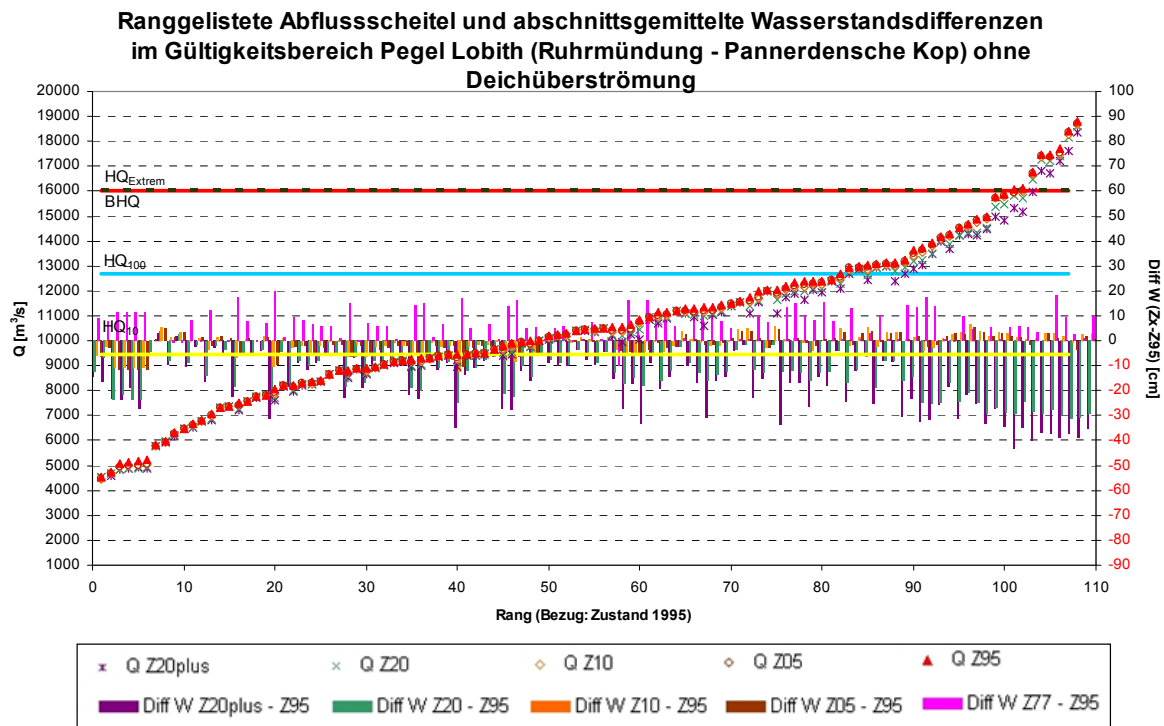
Figuur 6.15: Piekafvoeren en verschil tussen de topstanden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2005, 2010, 2020 en 2020+ op het meetpunt Andernach (berekend zonder dijkoverloop). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.

In figuur 6.16 worden de piekafvoeren op het meetpunt Keulen en de gemiddelde waterstandverlagingen op het traject tussen de monding van de Sieg en de monding van de Ruhr weergegeven. Iets meer dan 30% van de modelhoogwaters vertoont een afvoerpiek in de orde van grootte van een  $HQ_{100}$  of meer; 12% hiervan kan worden ingedeeld bij  $HQ_{\text{extreem}}$ . In de toestand 2010 zijn de topstanden op het traject tussen de monding van de Sieg en de monding van de Ruhr bij  $HQ_{100}$  gemiddeld 0 cm en bij  $HQ_{\text{extreem}}$  gemiddeld -1 cm verlaagd ten opzichte van de toestand 1995. De bandbreedte van de topstandverandering tussen overstromingen met een grote kans (rond  $HQ_{10}$ ) en overstromingen met een kleine kans ( $HQ_{\text{extreem}}$ ) varieert tussen +9 cm en -14 cm. Sporadisch doen er zich ook op dit Rijntraject geringe waterstandverhogingen voor. Het legen van onder water gezette gebieden en de overlapping hiervan met golven uit zijrivieren leidt een enkele keer tot een verhoging van de waterstand. Net zoals op het meetpunt Andernach kan ook hier aan de hand van de resultaten voor hoogwaters in de orde van  $HQ_{10}$  een wijziging van het debiet worden verklaard door veranderingen in de bedding (aanslibbing) tussen 1995 en 2010. In de toestand 2020 wordt er een gemiddelde verlaging van de topstand bereikt van -4 cm (bij  $HQ_{100}$ ) en tot -7 cm (bij  $HQ_{\text{extreem}}$ ). Uit de simulatie van de modelhoogwaters voor de toestand 2020+ (parse balken) vloeit voor een gebeurtenis rond  $HQ_{10}$  een verlaging van de topstand voort tot -44 cm.



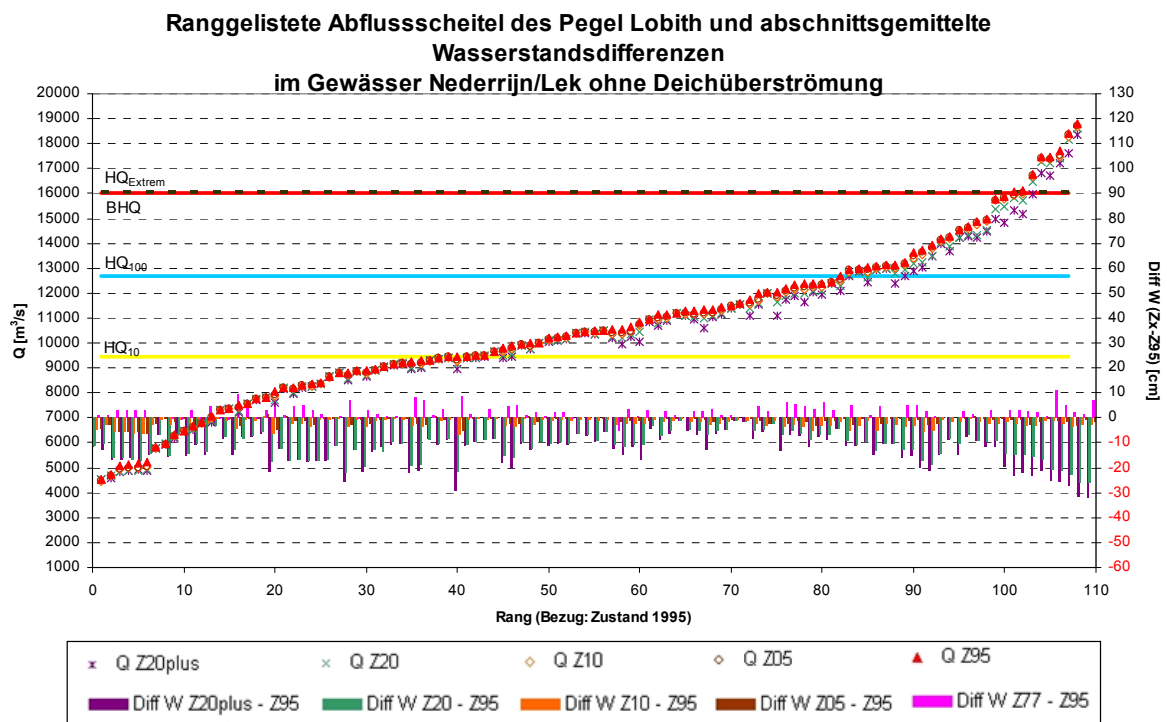
Figuur 6.16: Piekafvoeren en gemiddeld verschil tussen de topstanden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2005, 2010, 2020 en 2020+ op het riviertraject van de monding van de Sieg tot de monding van de Ruhr (meetpunt Keulen) (berekend zonder dijkoverloop). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.

In figuur 6.17 zijn de piekafvoeren op het meetpunt Lobith en de over het traject van de monding van de Ruhr tot de Pannerdensche Kop gemiddelde verschillen tussen de topstanden weergegeven voor de toestanden 1977, 1995, 2005, 2010, 2020 en 2020+. De gemiddelde verhoging van de topstand in de toestand 2010 bedraagt bij  $HQ_{100}$  +1 cm en bij  $HQ_{\text{extreem}}$  +3 cm ten opzichte van de toestand 1995. De bandbreedte van de topstandverandering tussen overstromingen met een grote kans (rond  $HQ_{10}$ ) en overstromingen met een kleine kans ( $HQ_{\text{extreem}}$ ) varieert voor 2010 tussen +7 cm en -12 cm. In bepaalde gevallen resulteren er bij alle onderzochte afvoeren kleine verhogingen van de waterstand.



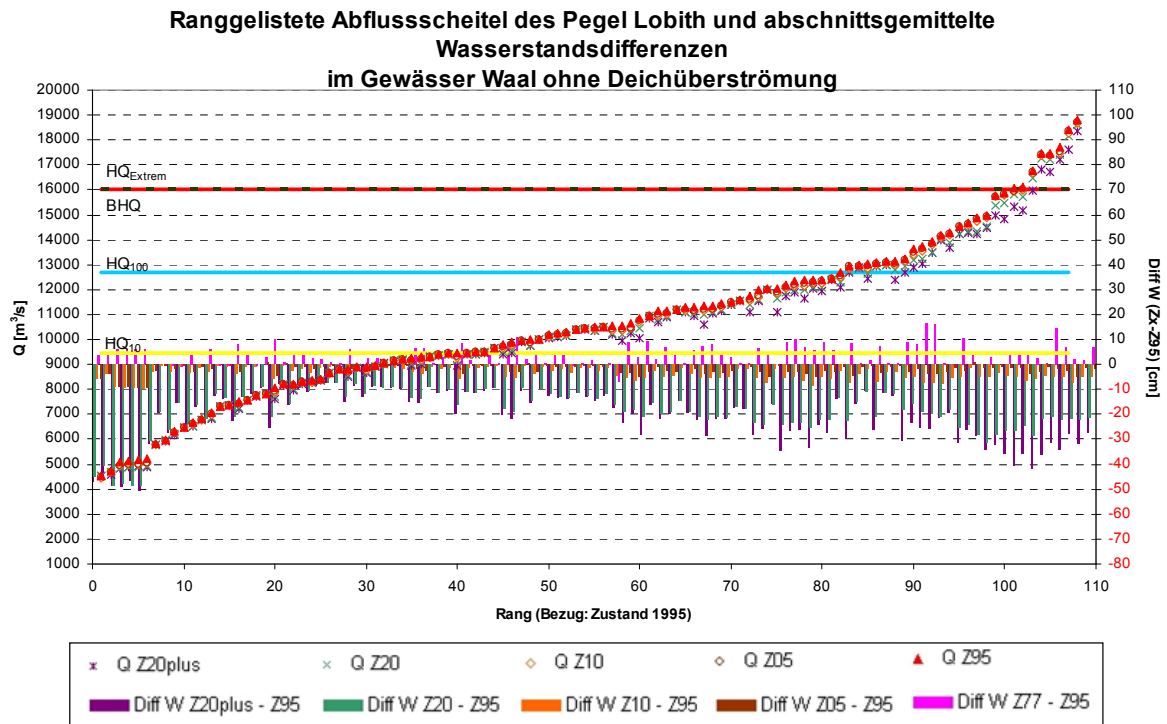
Figuur 6.17: Piekafvoeren en gemiddeld verschil tussen de topstanden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2005, 2010, 2020 en 2020+ op het riviertraject van de monding van de Ruhr tot de Pannerdensche Kop (meetpunt Lobith) (berekend zonder dijkoverloop). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.

In figuur 6.18 wordt duidelijk dat de topstanden in de Neder-Rijn en de Lek in de toestand 2010 bij  $HQ_{100}$  gemiddeld -3 cm en bij  $HQ_{\text{extreem}}$  gemiddeld -2 cm zijn verlaagd ten opzichte van de toestand 1995. De bandbreedte van de topstandverandering tussen overstromingen met een grote kans (rond  $HQ_{10}$ ) en overstromingen met een kleine kans ( $HQ_{\text{extreem}}$ ) varieert voor 2010 tussen +1 cm en -7 cm. De maximale verlaging van de topstand bedraagt -32 cm bij  $HQ_{\text{extreem}}$  in de toestand 2020+.



Figuur 6.18: Piekafvoeren en gemiddeld verschil tussen de topstanden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2005, 2010, 2020 en 2020+ in de rivier Neder-Rijn/Lek (meetpunt Lobith) (berekend zonder dijkoverloop). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.

In de toestand 2010 zijn de topstanden in de in figuur 6.19 weergegeven rivier de Waal bij  $HQ_{100}$  en bij  $HQ_{\text{extreem}}$  gemiddeld -5 cm verlaagd ten opzichte van de toestand 1995. De bandbreedte van de topstandverandering tussen overstromingen met een grote kans (rond  $HQ_{10}$ ) en overstromingen met een kleine kans ( $HQ_{\text{extreem}}$ ) varieert tussen 0 cm en -10 cm. In de toestand 2020 wordt er een verlaging van de topstand bereikt van gemiddeld -19 cm bij  $HQ_{100}$  en van gemiddeld -25 cm bij  $HQ_{\text{extreem}}$ . In de toestand 2020+ bedraagt de gesimuleerde topstandreductie bij  $HQ_{\text{extreem}}$  maximaal -42 cm.

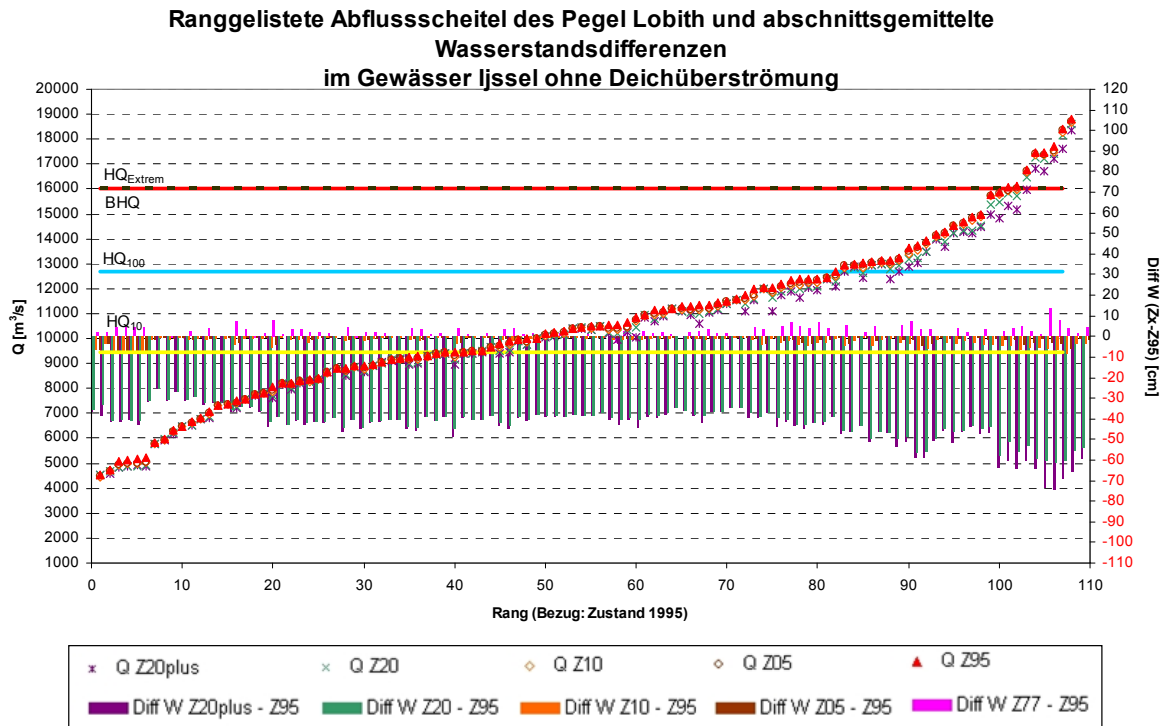


Figuur 6.19: Piekafvoeren en gemiddeld verschil tussen de topstanden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2005, 2010, 2020 en 2020+ in de rivier de Waal (meetpunt Lobith) (berekend zonder dijkoverloop). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.



Figuur 6.20 laat zien dat de topstanden in de rivier de IJssel in de toestand 2010 bij  $HQ_{100}$  gemiddeld -3 cm en bij  $HQ_{\text{extreem}}$  gemiddeld -5 cm verlaagd zijn ten opzichte van de toestand 1995. De bandbreedte van de topstandverandering tussen overstromingen met een grote kans (rond  $HQ_{10}$ ) en overstromingen met een kleine kans ( $HQ_{\text{extreem}}$ ) varieert tussen 0 cm en -8 cm. De verlagingen van de waterstand, in het bijzonder in de toestand 2020+, zijn veel geprononceerder. De verlagingen van de topstand met meer dan 70 cm kunnen hoofdzakelijk worden toegeschreven aan de maatregel "Veessen Wapenveld".

Op de Nederlandse riviertrajecten is een sprong zichtbaar in het reducerende effect van maatregelen en dijkoverloop bij  $HQ_{\text{extreem}}$ . Dit kan worden verklaard door de hydraulische maatregelen waarmee in Nederland vooral na 2020 rekening wordt gehouden.



Figuur 6.20: Piekafvoeren en gemiddeld verschil tussen de topstanden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2005, 2010, 2020 en 2020+ in de rivier de IJssel (meetpunt Lobith) (berekend zonder dijkoverloop). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.

## 7. Analyse van de hoogwaterverlaging met dijkoverloop

Met het begrip "dijkoverloop" is eventueel ook het overstromen van andere waterkeringen bedoeld (bijv. muren). In het bijzonder aan de Duits-Franse Bovenrijn wordt hiervoor ook het begrip "damoverloop" gebruikt.

### 7.1 Methode en basis voor de berekening

Vooraf bij modelhoogwaters waarvan de topafvoer hoger is dan de maatgevende afvoer is de verlaging van de afvoer als gevolg van dijkoverloop en eventueel dijkdoorbraak van essentieel belang voor het verloop van het hoogwater verder benedenstrooms en dus ook voor het effect van de maatregelen die daar worden genomen om de waterstand te verlagen. Daarom zijn er bij wijze van voorbeeld voor de toestanden 1995, 2010 en 2020 berekeningen uitgevoerd om het gecombineerde effect te onderzoeken van

retentiemaatregelen en dijkoverloop in 2010 en 2020 ten opzichte van de referentietoestand 1995.

Fundamentele opmerkingen over de invloed van dijkoverloop op het verloop en de piek van golven zijn opgenomen in bijlage 6.

De gebieden aan de Rijn die mogelijk kunnen onderlopen als gevolg van dijkoverstroming liggen voornamelijk aan de Duits-Franse Bovenrijn, de Duitse Nederrijn en in Nederland (zie bijlage 7).

Dankzij de zeer hoge capaciteit van de dijken aan de door stuwen gereguleerde Rijn tussen Bazel en Iffezheim overschrijden zelfs de grootste HVAL-modelhoogwaters het afvoervermogen van de dijken op dit traject niet. Daarom hoeft er tussen Bazel en Iffezheim geen rekening te worden gehouden met mogelijke overstromingen als gevolg van dijkoverloop. Verder is ervan afgezien om overstromingen in Nederland weer te geven in een model. Enerzijds is het systeem hier zo complex dat een eendimensionale modellering amper mogelijk is. Anderzijds kan ervan worden uitgegaan dat de hoogwatergolven bij de gekozen ordegrootte van de modelhoogwaters zeer sterk worden gedempt als gevolg van overstromingen in het stroomgebied bovenstrooms van Lobith, waardoor de afvoercapaciteit niet of amper wordt overschreden.

Omdat er verschillen zijn in de technische modelweergave wordt hieronder eerst ingegaan op de rekenmethode voor de Duits-Franse Bovenrijn en daarna op die voor de Duitse Nederrijn.

### **7.1.1 Ligging van de bekeken overstromingsgebieden en volumes aan de Duits-Franse Bovenrijn**

In de figuren in de bijlagen 7 b en c wordt er een overzicht gegeven van de overstromingsgebieden in Baden-Württemberg en Rijnland-Palts waarmee rekening is gehouden in de HVAL-berekeningen.

Daarnaast is er ook gekeken naar vijf gebieden in Hessen. Alle meegenomen gebieden zijn met hun ligging en totale volume op een rij gezet in tabel 7.1.

Voor de gebieden in Rijnland-Palts en Hessen zijn op basis van GIS-technieken de in theorie maximale overstroombare oppervlakken bepaald en de bijbehorende volumes geschat. Voor Baden-Württemberg is er gebruik gemaakt van de resultaten van het operationele 2D-model van de LUBW. Daarbij is voor een stationaire afvoer in de Rijn (5.000 m<sup>3</sup>/s op het meetpunt Maxau; 6.000 m<sup>3</sup>/s op het meetpunt Worms) de stationaire eindtoestand berekend van de in geval van dijkdoorbraak maximaal mogelijke overstroming van de Rijn in Baden-Württemberg tussen Iffezheim en de grens van de deelstaat Hessen.

Frankrijk heeft de wens geuit dat er in de toekomst rekening wordt gehouden met de overstromingsgebieden op de Franse oever tussen Iffezheim en Lauterbourg. Op de rechteroever worden er in deze zone al grote volumes in overstromingsgebieden meegerekend. Er wordt van uitgegaan dat op overstromingen op de linkeroever dezelfde randvoorwaarden van toepassing zijn als op de rechteroever. Rekening houden met de Franse gebieden zou dus kort samengevat hebben geleid tot een herverdeling van de geborgen volumes op dit traject. Gelet op het strikte tijdspad was de EG HVAL van mening dat het extra effect van de overstromingsgebieden op de Franse oever in dit stadium kan worden beoordeeld als verwaarloosbaar klein. Als er later een aanvullende modelberekening wordt uitgevoerd, zullen de overeenkomstige volumes worden berekend en opgenomen in tabel 7.1.

Deelgebied	Ligging van het deelgebied [van Rijnkm tot Rijnkm]		Duitse deelstaat	Linkeroever/recheroever van de Rijn	Maximaal overstroombaar oppervlak [km <sup>2</sup> ]	Maximaal volume volgens DTM [miljoen m <sup>3</sup> ]	Netto retentievolume [miljoen m <sup>3</sup> ]
BW 1	332	344	Baden-Württemberg	rechts	36	51	25
BW 2	344	359	Baden-Württemberg	rechts	56	84	42
RP G2g	354	381	Rijnland-Palts	links	62	147	74
BW 3	359	371	Baden-Württemberg	rechts	36	93	46
BW 4	371	396	Baden-Württemberg	rechts	101	294	147
RP G12g	390	400	Rijnland-Palts	links	13	32	16
BW 5	396	407	Baden-Württemberg	rechts	25	72	36
RP G15g	400	408	Rijnland-Palts	links	9	27	13
RP G15-G16g	408	420	Rijnland-Palts	links	32	96	48
BW 6	415	427	Baden-Württemberg	rechts	28	28	14
RP G17g	422	443	Rijnland-Palts	links	80	219	109
BW 14	431	438	Baden-Württemberg	rechts	71	41	20
Deelstaatsgrens - Weschnitz	437	453	Hessen	rechts	76	165,9	80
Weschnitz - Winkelbach	453	461.5	Hessen	rechts	28	52	26
G8g	443	480	Rijnland-Palts	links	74	166	83
Winkelbach - Modau	461.5	470	Hessen	rechts	19	33	16,5
Modau - Sandbach	470	471	Hessen	rechts	8	7	3,5
G11g	480	485	Rijnland-Palts	links	0,3	0,3	0,15
Sandbach - Main	471	496	Hessen	rechts	146	316	158
G7g	485	494	Rijnland-Palts	links	11	39,4	19,7
G6g	494	505	Rijnland-Palts	links	2	2,2	1,1
G5g	510	518	Rijnland-Palts	links	9	23,2	11,6
G4g	518	523	Rijnland-Palts	links	2	1,6	0,8
Totaal:					<b>924</b>	<b>1991</b>	<b>~ 990</b>

Tabel 7.1: Ligging, oppervlak en volume van het maximale overstroombare gebied in Baden-Württemberg, Rijnland-Palts en Hessen.

### 7.1.2 Modelling van de Duits-Franse Bovenrijn

De Duits-Franse Bovenrijn wordt tot Worms afgebeeld in het synoptische model, vanaf Worms wordt het SOBEK-model gebruikt. Er is in principe geprobeerd om overstromingen in beide modellen op een vergelijkbare manier weer te geven.

Op het **traject van Bazel tot Worms** is er als volgt te werk gegaan om het golfverloop in te schatten bij extreem hoogwater dat de maatgevende afvoer overschrijdt:

- (1) Er wordt uitgegaan van het principe dat een afvoer die de maatgevende afvoer met maximaal 500 m<sup>3</sup>/s overschrijdt nog binnen de waakhoogte kan worden verwerkt zonder dat er dijken doorbreken of overlopen.
- (2) Als de maatgevende afvoer met meer dan 500 m<sup>3</sup>/s wordt overschreden, wordt er aangenomen dat de dammen/dijken op bepaalde plaatsen overlopen (zonder evenwel te breken).

- (3) Bij de bovengenoemde overschrijding van de maatgevende afvoer (zie tabel 5.2 in hoofdstuk 5) met meer dan 500 m<sup>3</sup>/s wordt als uitgangspunt genomen dat 10% van de dijktrajecten van een overstromingsgebied overloopt.
- (4) De dijkoverloop wordt zo mogelijk ongeveer in het midden tussen de zuid- en de noordgrens van het overstromingsgebied in kwestie gelokaliseerd.
- (5) Het water stroomt terug in de Rijn, zodra de afvoer weer lager is dan de maatgevende afvoer plus 500 m<sup>3</sup>/s, mits terugstroming hydraulisch gezien mogelijk is.
- (6) Om redenen van eenvoud wordt de orde van grootte van de overstroming afhankelijk van de afvoer in de Rijn hydraulisch berekend als volkomen overlaat. Voor het instromen wordt de hoogte van de bedding/drempel gelijkgesteld aan de via stationaire berekeningen verkregen waterspiegel bij de maatgevende afvoer van 5.500 m<sup>3</sup>/s. Voor het terugstromen wordt hiervoor de hoogte van de teen van de dijk genomen. De terugstroming wordt berekend op basis van een overstroomde dijk lengte van 100 m.
- (7) Om redenen van eenvoud wordt er in de modelberekeningen van uitgegaan dat het maximale effectieve volume (nettovolume) van overstromingsgebieden overeenkomt met 50% van het maximale volume (zie tabel 7.1) (immers: een overstromingsgebied kan slechts voor 100% worden gevuld als (1) de dijk in het zuidelijkste deel van het overstromingsgebied overloopt en (2) er in het noordelijkste deel van het overstromingsgebied geen dijken breken of worden doorgestoken met terugstroming van water van landzijde richting Rijn).
- (8) Er wordt alleen rekening gehouden met overstromingsgebieden met een nettovolume van minstens 5 miljoen m<sup>3</sup>.

Op het **traject van de Duits-Franse Bovenrijn vanaf Worms**, dat is berekend met SOBEK, is er op dezelfde manier te werk gegaan, op de volgende uitzonderingen na:

- (1) Er wordt ook rekening gehouden met overstromingsgebieden met een nettovolume van minder dan 5 miljoen m<sup>3</sup>.
- (2) Als het nettovolume wordt bereikt, wordt de toevoer naar het overstromingsgebied niet gestopt, wat betekent dat er ook meer water in het overstromingsgebied kan stromen zolang de waterstand in de rivier hoger is dan in het gemodelleerde overstromingsgebied.
- (3) In het SOBEK-model is het niet mogelijk om uitstroom en instroom op verschillende plaatsen te situeren. Daarom stroomt het water in het SOBEK-model op dezelfde plaats in en uit.
- (4) De drempel waarover het water terugstroomt is niet zoals in het Syn-1D-model 100 m lang, maar altijd even lang als de instroomdrempel (d.w.z. 10% van de dijk lengte per overstromingsgebied). Tijdens de terugstroomfase wordt de drempel langzaam verlaagd tot het niveau van de waterbodem van het overstromingsgebied. Daarbij wordt de snelheid aangehouden van de daling van het rivierpeil met afgaande hoogwatergolf.

Deze verschillen tussen het SYNHP- en het SOBEK-model konden bij gebrek aan tijd niet meer worden weggewerkt tijdens het project. Echter, omdat aanpassing behalve voor de onder punt (3) genoemde realisatie wel mogelijk is, zou SOBEK moeten worden bijgesteld als het opnieuw wordt gebruikt voor deze kwestie (zie hiervoor ook HKV, 2011). In tabel 7.2 wordt er een overzicht gegeven van de belangrijkste parameters die worden ingevoerd in de modellen.

Deelgebied	Ligging van de fictieve dijkoverloop [Rijnkm]	Linkeroever / rechteroever van de Rijn	Netto retentie-volume [miljoen m <sup>3</sup> ]	Begin van de overloop bij ca.	Model
BW 1	338	rechts	25	> 5.500 m <sup>3</sup> /s	SynMod
BW 2	355	rechts	42	> 5.500 m <sup>3</sup> /s	SynMod
RP G2g	367	links	74	> 5.500 m <sup>3</sup> /s	SynMod
BW 3	367	rechts	46	> 5.500 m <sup>3</sup> /s	SynMod
BW 4	384	rechts	147	> 5.500 m <sup>3</sup> /s	SynMod
RP G12g	398	links	16	> 5.500 m <sup>3</sup> /s	Syn-1D
BW 5	402	rechts	36	> 5.500 m <sup>3</sup> /s	Syn-1D
RP G15g	404	links	13	> 5.500 m <sup>3</sup> /s	Syn-1D
RP G15-G16g	411	links	48	> 5.500 m <sup>3</sup> /s	Syn-1D
BW 6	418	rechts	14	> 5.500 m <sup>3</sup> /s	Syn-1D
RP G17g	425	links	109	> 5.500 m <sup>3</sup> /s	Syn-1D
BW 14	435	rechts	20	> 6.500 m <sup>3</sup> /s	Syn-1D
Deelstaatgrens - Weschnitz	445	rechts	80	> 6.500 m <sup>3</sup> /s	SOBEK
Weschnitz - Winkelbach	457	rechts	26	> 6.500 m <sup>3</sup> /s	SOBEK
Gg8	461.5	links	83	> 6.500 m <sup>3</sup> /s	SOBEK
Winkelbach - Modau	466	rechts	17	> 6.500 m <sup>3</sup> /s	SOBEK
Modau - Sandbach	471	rechts	4	> 6.500 m <sup>3</sup> /s	SOBEK
Gg11	482.5	links	0,15	> 6.500 m <sup>3</sup> /s	SOBEK
Sandbach - Main	483	rechts	158	> 6.500 m <sup>3</sup> /s	SOBEK
Gg7	489.5	links	20	> 6.500 m <sup>3</sup> /s	SOBEK
Gg6	499.5	links	1	> 8.460 m <sup>3</sup> /s	SOBEK
Gg5	514	links	12	> 8.460 m <sup>3</sup> /s	SOBEK
Gg4	520.5	links	1	> 8.460 m <sup>3</sup> /s	SOBEK

Tabel 7.2: Parametrering van de overstromingsgebieden in de modellen

Meer informatie is te vinden in LUBW, 2011 voor het met SYNHP berekende modeltraject en in HKV, 2011 voor het met SOBEK berekende modeltraject (zie ICBR-rapport 153 "HVAL-evaluatie 2005", alleen beschikbaar in het Frans en het Duits).

Overeenkomstig het verloop van hoogwater in ruimte en tijd gebeurt het overlopen van dijken en het vullen van overstromingsgebieden op de linker- en de rechteroever van de Rijn bij extreem hoogwater in de regel van zuid naar noord.

In figuur 7.1 is aan de hand van het HVAL-modelhoogwater van februari 1999 – VGF 1,5 bij wijze van voorbeeld het effect van dijkoverloop aan de Duits-Franse Bovenrijn weergegeven:

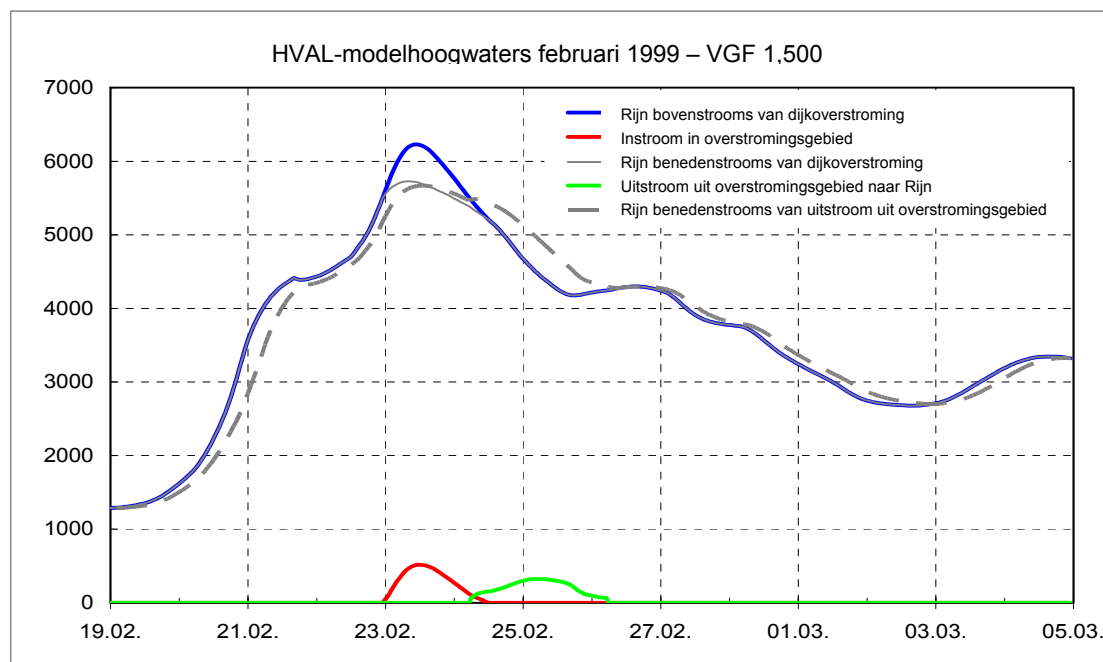
- Bovenstrooms van de plek waar de dijk overloopt, bedraagt de piekafvoer in de Rijn ca. 6.200 m<sup>3</sup>/s (blauwe lijn).
- Het effect van de dijkoverloop zet in vanaf een waterstand die in de stijgende curve van het hoogwater overeenkomt met een afvoer van ongeveer 5.500 m<sup>3</sup>/s. Een volume van maximaal 500 m<sup>3</sup>/s stroomt in het overstromingsgebied (rode lijn).

- De resulterende hoogwatergolf in de Rijn benedenstrooms van het overstromingsgebied wordt weergegeven als grijze stippellijn.
- Als het Rijnpeil aan de noordgrens van het overstromingsgebied na de passage van de piekafvoer is gedaald, stroomt het overstromingsgebied overeenkomstig de heersende hydraulische randvoorwaarden nagenoeg volledig leeg doordat het water terugstroomt naar de Rijn (groene lijn).
- Benedenstrooms van de dijkoverloop wordt de piekafvoer in de Rijn hierdoor verlaagd tot ongeveer 5.700 m<sup>3</sup>/s (fijne grijze lijn).

Ook meerdere bressen in de dijken aan de Rijn zijn zeker realistisch voor de rekenaarsscenario's die als uitgangspunt zijn genomen. Bij de overstromingsramp van 1882 aan de Duits-Franse Bovenrijn zijn de dijken bijvoorbeeld onder andere gebroken in Bobenheim, Mannheim, Altlußheim, Worms, Otterstadt, Oppenheim, Oppenau en Frankenthal. Daarom is het voor een realistische berekening van extreem hoogwater dat de maatgevende afvoer van dijken overschrijdt onontbeerlijk om dijkoverloop minstens in vereenvoudigde vorm mee te nemen.

Waar en wanneer de dijken precies overlopen of doorbreken verschilt per geval en kan niet nauwkeurig worden voorspeld. Daarom zijn er voorbeeldberekeningen uitgevoerd waarin het effect van retentiegebieden wordt gecombineerd met het effect van dijkoverloop.

Het theoretische maximale overstromingsvolume bij dijkdoorbraak aan de Duits-Franse Bovenrijn tussen Iffezheim en Worms bedraagt aan Duitse kant (in Baden-Württemberg en Rijnland-Palts) in totaal ongeveer 1,2 miljard m<sup>3</sup>. Dit is een factor 4,5 groter dan het totale volume van alle beschikbare en voor 2020 geplande Duits-Franse retentiemaatregelen tussen Bazell en Worms. In de onderhavige berekeningen is echter, zoals boven is uitgelegd, slechts uitgegaan van 50% van dit volume.



Figuur 7.1: Effect van dijkoverloop bij extreem hoogwater op de afvoer in de Rijn

### 7.1.3 Ligging, volume en modellering van de overstromingsgebieden aan de Duitse Nederrijn

De parametrisering van overstromingen aan de Duitse Nederrijn als gevolg van dijkoverloop is gebaseerd op de resultaten van dynamische berekeningen met het 2D-model Delft-FLS (Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, 2004a en 2004b) die zijn geactualiseerd door middel van dynamische berekeningen met het 2D-model WAQUA (LANUV, 2011). Voor de vertaling van de resultaten van de 2D-modellen naar het 1D-model is het gehele overstromingsgebied langs de Nederrijn ingedeeld in hydraulische subeenheden (bijlage 7d). Anders dan in de analyses aan de Duits-Franse Bovenrijn is er bij het onderzoek aan de Duitse Nederrijn aangenomen dat als dijken overlopen er sprake is van dijkdoorbraak. Hoogwaterkeermuren houden daarentegen stand. In de bijlagen 7d en 8 worden de gebieden met een "O" gevuld door het water dat over dergelijke keermuren stroomt; gebieden met een "D" lopen onder als gevolg van dijkdoorbraken, die zijn veroorzaakt door dijkoverloop; gebieden met een "L" zijn hoger gelegen zones die niet onder water komen te staan (bijlage 7d).

In tabel 7.3 wordt er een overzicht gegeven van de ligging, het oppervlak en het volume van de potentiële overstromingsgebieden in Noordrijn-Westfalen. Deze gebieden zijn aangewezen op basis van de invoergegevens voor het SOBEK-model met dijkoverloop en uitgaande van de resultaten van de berekeningen met Delft-FLS en WAQUA.

De **dynamische berekeningen** met de 2D-modellen langs de Duitse Nederrijn hebben aangetoond dat behalve het retentie-effect ook het stromen van water achter de dijken parallel aan de hoofdstroom een belangrijke rol speelt, temeer omdat een groot deel van dit water verder benedenstrooms ook weer terugvloeit (Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, 2004b). Dit fenomeen is ook in het 1D-model ingebouwd. In bijlage 8 wordt er een overzicht gegeven van de schematisering van overstromingen in het SOBEK-model vanaf de Duitse Nederrijn.

Gebied	Ligging van het overstromingsgebied van	Ligging van het overstromingsgebied tot	Maximaal oppervlak	Volume in het model, onder de instroomdrempel	Ligging
	km	km	ha	miljoen m <sup>3</sup>	
W_101_103	642	652	97,9	1,92	l + r
O_001	652	657	237	10,59	r
O_002	657	658	104	4,94	r
O_003	658	659	141	5,74	r
O_004	658	659	266	15,03	r
O_005	659	666	177	6,39	r
O_006	664	672	314	10,71	l
O_008	666	673	174	6,47	r
O_009	672	684	304	10,73	l
O_010	684	688	84,5	1,36	l
O_011	680	686	93,5	3,81	r
O_012	686	689	234	2,95	r
O_013	689	692	82,9	1,71	r
O_014	692	702	219	12,09	r
O_015	695	699	123	3,17	r
O_016	690	705	1210	37,39	l
O_017	705	708	695	24,67	l
O_018	708	711	217	6,92	l
D_019	704	717	790	42,74	r
O_021	711	717	541	18,18	l

O_022	717	727	386	13,78	l
D_023	717	745	818	27,08	r
O_024	724	728	23,1	1,27	r
O_025	727	735	515	14,27	l
D_026	735	740	272	10,83	l
D_027	735	740	2060	99,09	l
D_27_b	763	822	6890	344,50	l
O_030	765	765	33,5	1,73	l
D_031	745	756	690	9,32	r
D_033	758	773	1310	12,31	r
D_034	777	780	192	11,08	r
D_035	780	798	241	10,70	r
O_037	798	813	98,4	3,23	r
O_039	843	881	16800	10,08	l
O_040	847	852	648	36,81	l
			<b>37081,8</b>	<b>833,57</b>	
			<b>371 km<sup>2</sup></b>	<b>833 miljoen m<sup>3</sup></b>	

Tabel 7.3: Ligging, oppervlak en volume van de potentiële overstromingsgebieden in Noordrijn-Westfalen. Realisatie in het model (naar: Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, 2004a).

## 7.2 Resultaten van de berekening van de hoogwaterverlaging met dijkoverloop

Bij de analyse van het effect van retentiemaatregelen in het kader van rekenvarianten met mogelijkheden voor dijkoverloop moet er worden bedacht dat de maximale verlagingen vaak worden bereikt bij afvoeren die geen aanleiding geven tot dijkoverloop. In het onderzoek wordt niet zozeer het effect van dijkoverloop op zich bekeken, als wel een schatting gemaakt van het effect van dijkoverloop op de doeltreffendheid van retentiemaatregelen.

Verlaging in 1995 met dijkoverloop (in de figuren wordt dijkoverloop aangeduid met "DUEB")

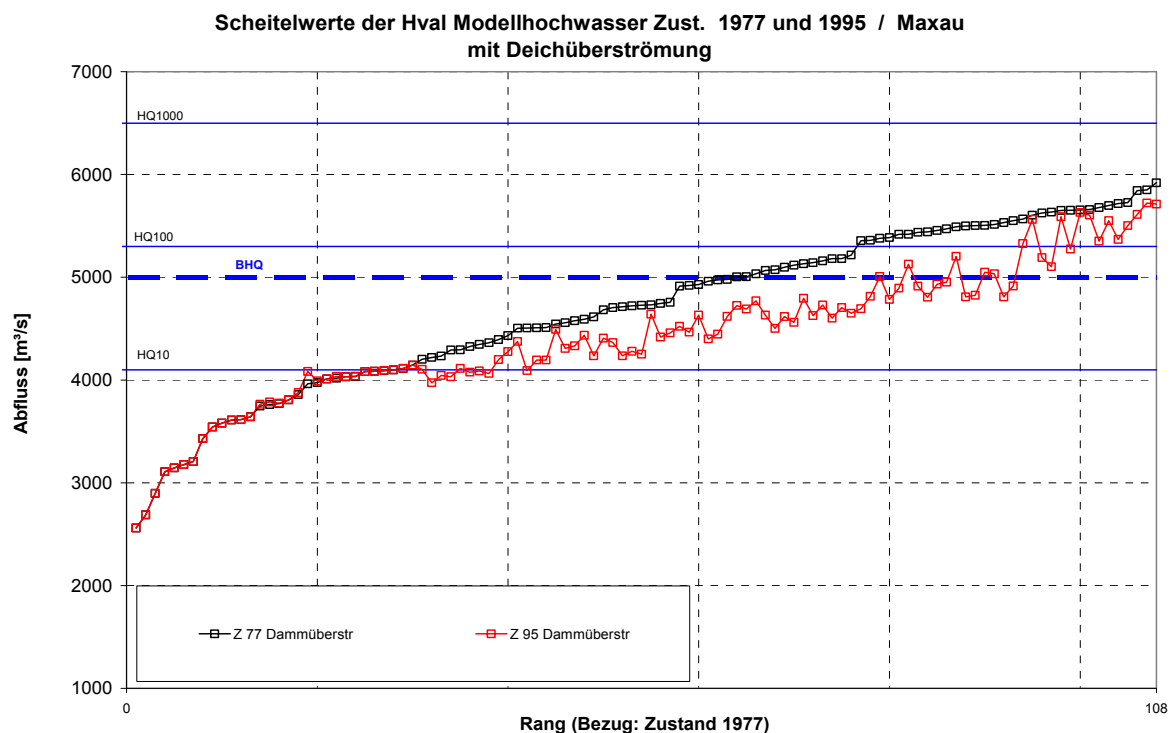
Waterbouwkundige toestanden 1977 en 1995, berekend met dijkoverloop, op het meetpunt Maxau:

Op het meetpunt Maxau varieert het piekverlagende effect van de overstromingsgebieden sterk, overeenkomstig het verschillende karakter van de gebruikte hoogwatergebeurtenissen. Bij de gebeurtenissen die voornamelijk worden gevormd door zijrivieren van de Hoogrijn en de Duits-Franse Bovenrijn is het effect van bovenstrooms van Maxau gesitueerde dijkoverloop naar verwachting het grootst.



### Effect van de in 1995 operationele maatregelen en van dijkoverloop op het meetpunt Maxau:

- Het effect van de dijkoverloop is weergegeven in figuur 7.2. Voor de **waterbouwkundige toestand 1977 met dijkoverloop** wordt nog slechts een maximale piekafvoer van 5.919 m<sup>3</sup>/s bereikt, tegenover maximaal 6.585 m<sup>3</sup>/s in de berekening zonder dijkoverloop.
- Het maximale volume van de bovenstrooms van Maxau gelegen overstromingsgebieden (som van de twee meest zuidelijke gebieden) bedraagt 38 miljoen m<sup>3</sup> in de waterbouwkundige toestand 1995 (ter vergelijking: in de toestand 1977 gaat het om 66 miljoen m<sup>3</sup>).
- Als gevolg van de wisselwerking tussen de overstromingsgebieden en de inzetbare retentiemaatregelen is het piekverlagende effect van de retentiegebieden tendentieel zwakker dan in de rekenvariant zonder dijkoverloop.
- Bij één enkel modelhoogwater krimpt de maximale verlaging van de topafvoer met 40 m<sup>3</sup>/s ten opzichte van de rekenvariant zonder dijkoverloop en bedraagt ongeveer 720 m<sup>3</sup>/s.



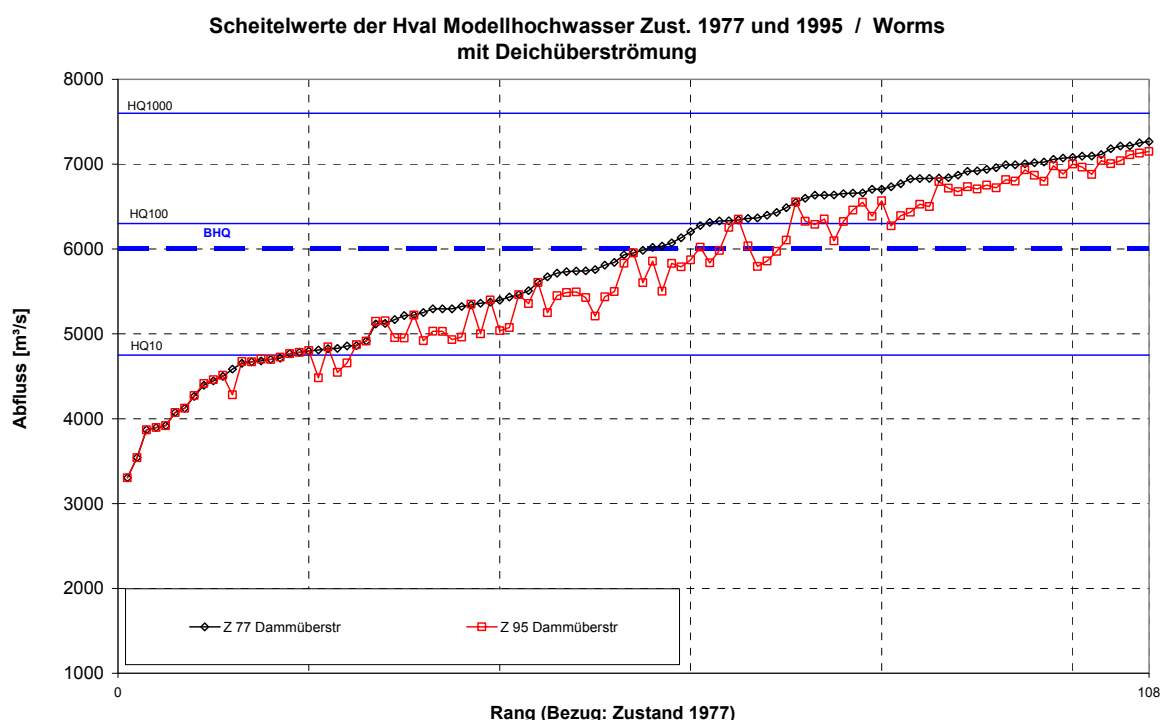
Figuur 7.2: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1977 en 1995 op het meetpunt Maxau (berekend met dijkoverloop). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1977.

Waterbouwkundige toestanden 1977 en 1995, berekend met dijkoverloop, op het meetpunt Worms:

Het gros van de overstromingsgebieden ligt tussen het meetpunt Maxau en de monding van de Neckar. Hun aandeel aan het maximaal mogelijke totaalvolume als gevolg van dijkoverloop aan de Duits-Franse Bovenrijn bedraagt 85%. Benedenstrooms van de monding van de Neckar ligt alleen nog een kleiner overstromingsgebied. Dat wil zeggen dat hoogwatergebeurtenissen met extreme toevoer vanuit de Neckar op het traject tot Worms enkel door het effect van dit gebied worden beïnvloed. Hierbij komt nog, in mindere mate, de invloed van de bovenstrooms gelegen gebieden in de gestuwde zone aan de monding van de Neckar.

#### Effect van de in 1995 operationele maatregelen en van dijkoverloop op het meetpunt Worms:

- De verlaging van de piekwaarden op het meetpunt Worms als gevolg van dijkoverloop is weergegeven in figuur 7.3.
- In de **toestand 1977** bedraagt de maximumwaarde nog slechts ca. 7.250 m<sup>3</sup>/s ten opzichte van de ca. 7.900 m<sup>3</sup>/s die in dezelfde toestand, maar dan zonder dijkoverloop worden bereikt.
- Het maximale volume van alle twaalf de overstromingsgebieden bedraagt in de waterbouwkundige toestand 1995 92 miljoen m<sup>3</sup> (in de toestand 1977 gaat het om 164 miljoen m<sup>3</sup>).
- Bij één enkel modelhoogwater bedraagt de maximale verlaging van de piekafvoer rond 570 m<sup>3</sup>/s (ten opzichte van ca. 660 m<sup>3</sup>/s in de rekenvariant zonder dijkoverloop).

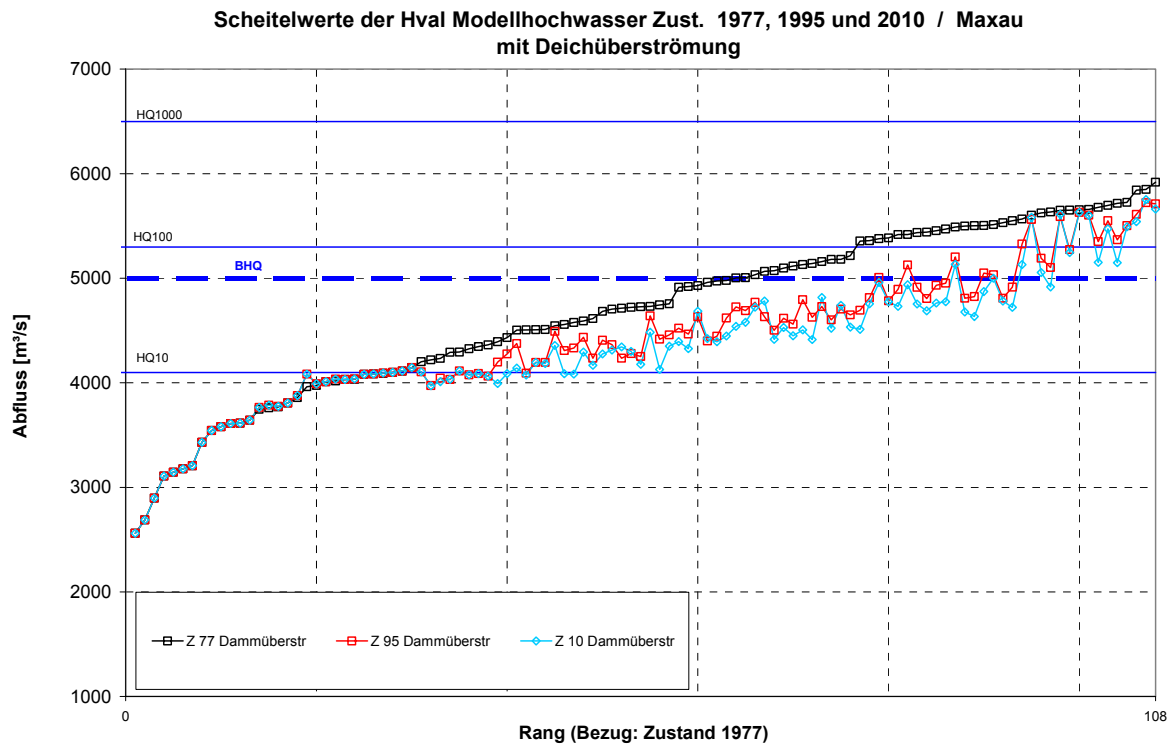


Figuur 7.3: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1977 en 1995 op het meetpunt Worms (berekend met dijkoverloop). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1977.

## Verlaging in 2010 met dijkoverloop

### Effect van de in 2010 operationele maatregelen op het meetpunt Maxau

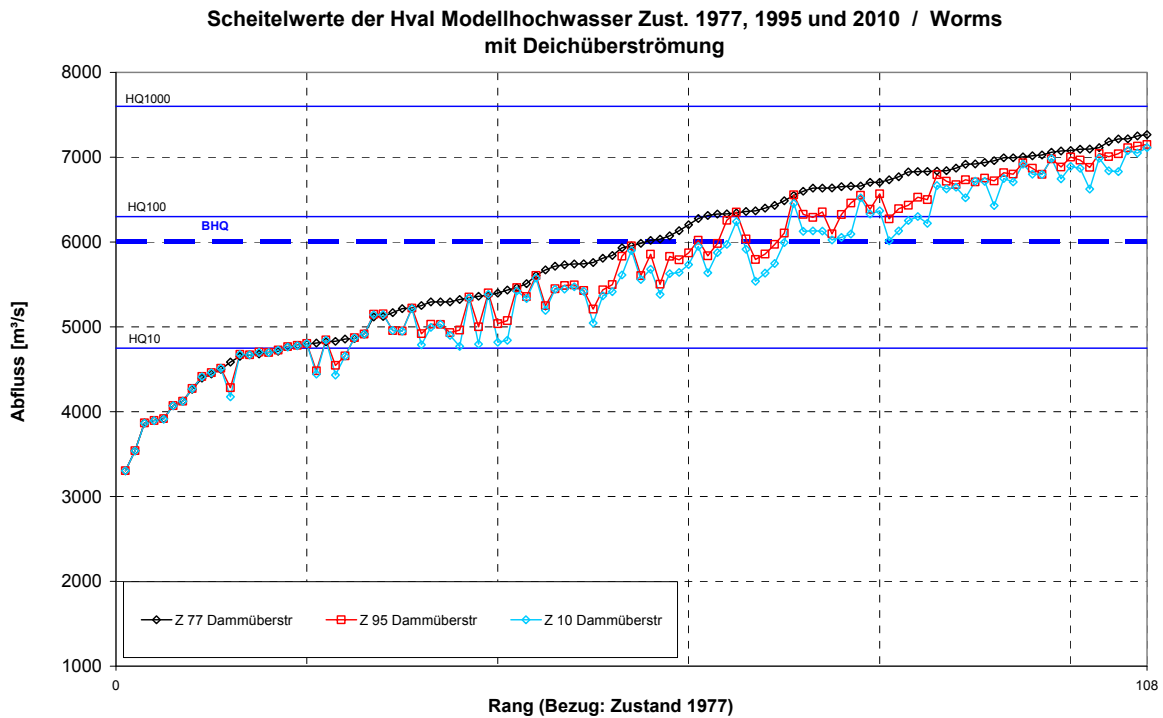
- De maximale verlaging ten opzichte van de toestand 1995 bedraagt 290 m<sup>3</sup>/s (geen verschil met de rekenvariant zonder dijkoverloop)



Figuur 7.4: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1977, 1995 en 2010 op het meetpunt Maxau (berekend met dijkoverloop). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1977.

### Effect van de in 2010 operationele maatregelen op het meetpunt Worms

- De maximale verlaging ten opzichte van de toestand 1995 bedraagt ca. 350 m<sup>3</sup>/s (geen verschil met de rekenvariant zonder dijkoverloop).



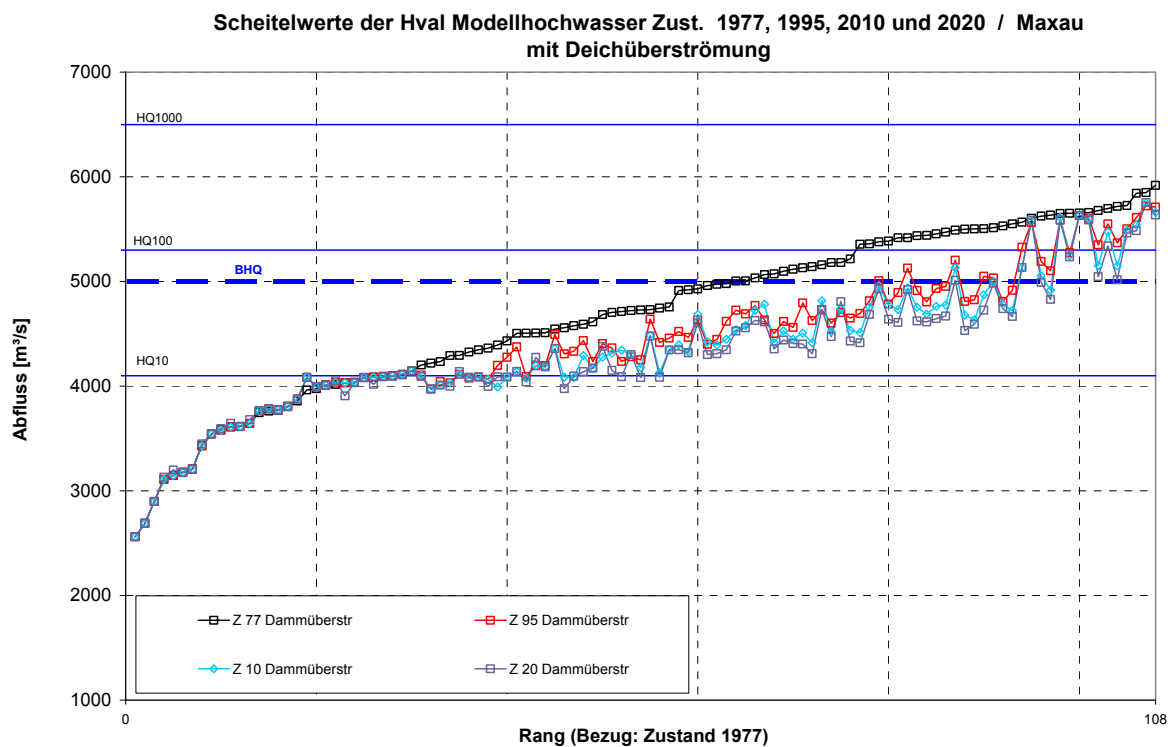
Figuur 7.5: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1977, 1995 en 2010 op het meetpunt Worms (berekend met dijkoverloop). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1977.

### Verlaging in 2020 met dijkoverloop

Waterbouwkundige toestanden 1995 en 2020, berekend met dijkoverloop, op het meetpunt Maxau:

### Effect van de in 2020 operationele maatregelen op het meetpunt Maxau

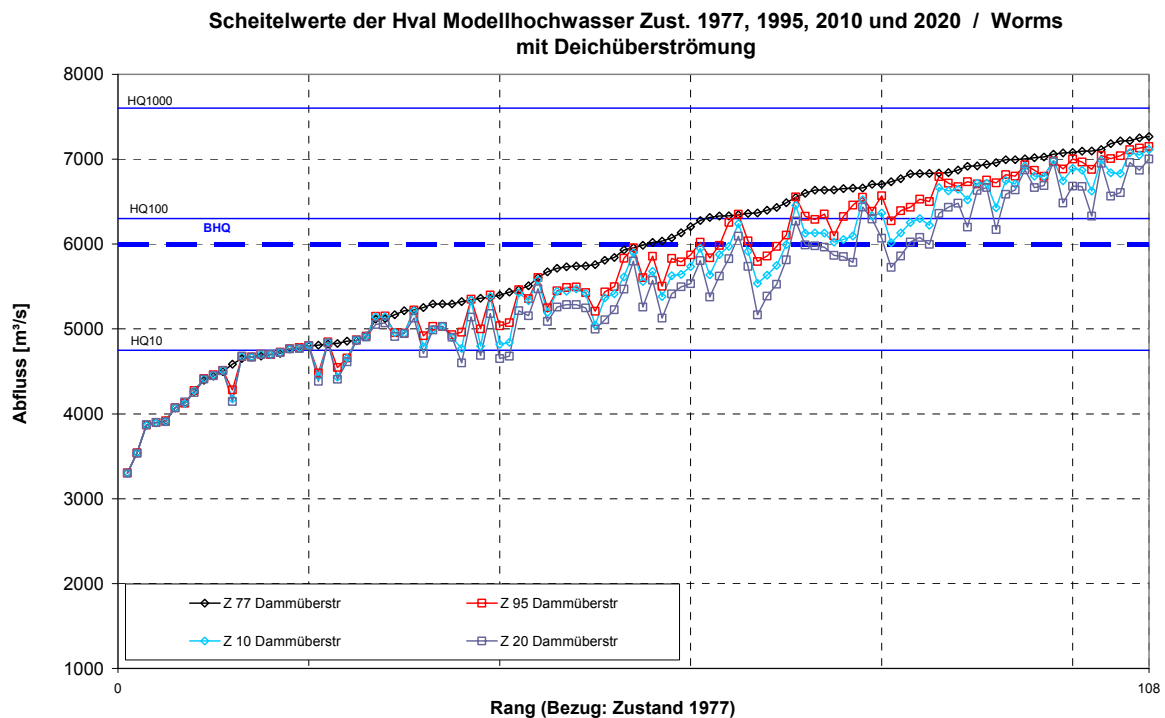
- Het maximale volume van de bovenstrooms van Maxau gelegen overstromingsgebieden bedraagt 40 miljoen m<sup>3</sup> in de toestand 2020 (in de toestand 1977 gaat het om 65,5 miljoen m<sup>3</sup>).
- De maximale verlaging van de piekafvoer ten opzichte van de waterbouwkundige toestand 1995 bedraagt 392 m<sup>3</sup>/s (geen verschil met de rekenvariant zonder dijkoverloop).



Figuur 7.6: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1977, 1995, 2010 en 2020 op het meetpunt Maxau (berekend met dijkoverloop). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1977.

### Effect van de in 2020 operationele maatregelen op het meetpunt Worms

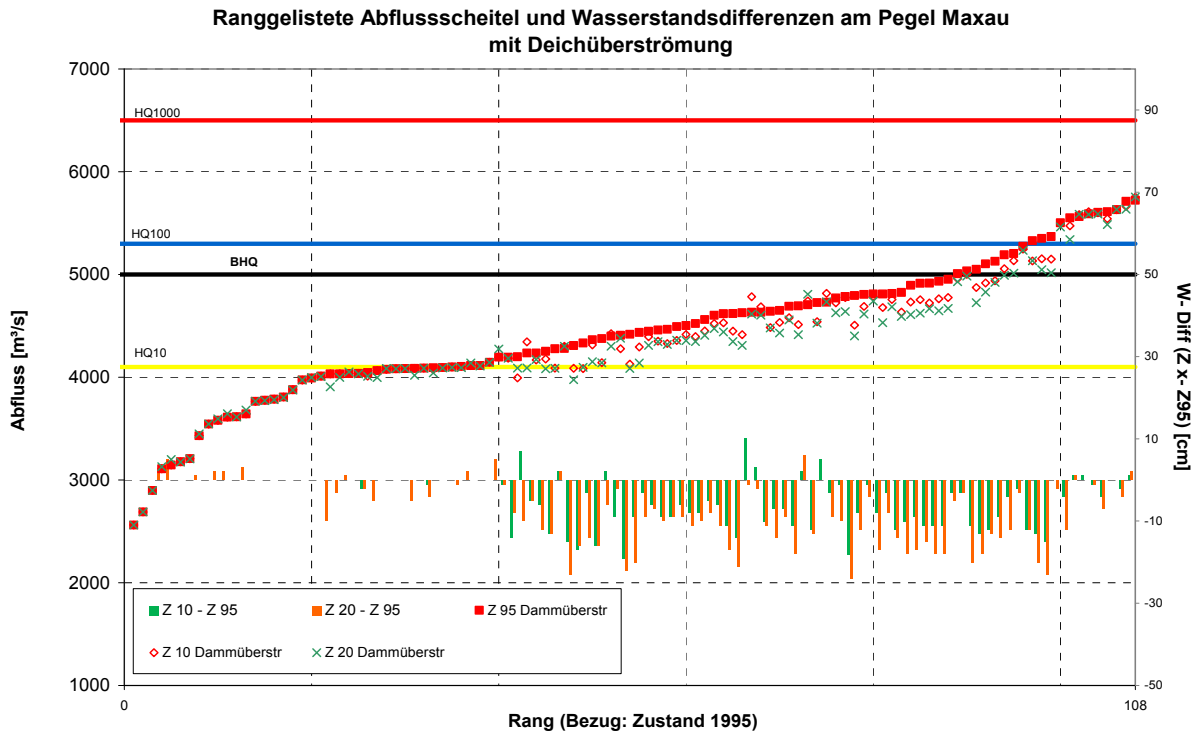
- Het maximale volume van alle twaalf de overstromingsgebieden bedraagt 79 miljoen m<sup>3</sup> (in de toestand 1977 gaat het om 164 miljoen m<sup>3</sup>).
- De maximale verlaging van de piekafvoer ten opzichte van de toestand 1995 bedraagt 674 m<sup>3</sup>/s (40 m<sup>3</sup>/s minder dan in de rekenvariant zonder dijkoverloop).



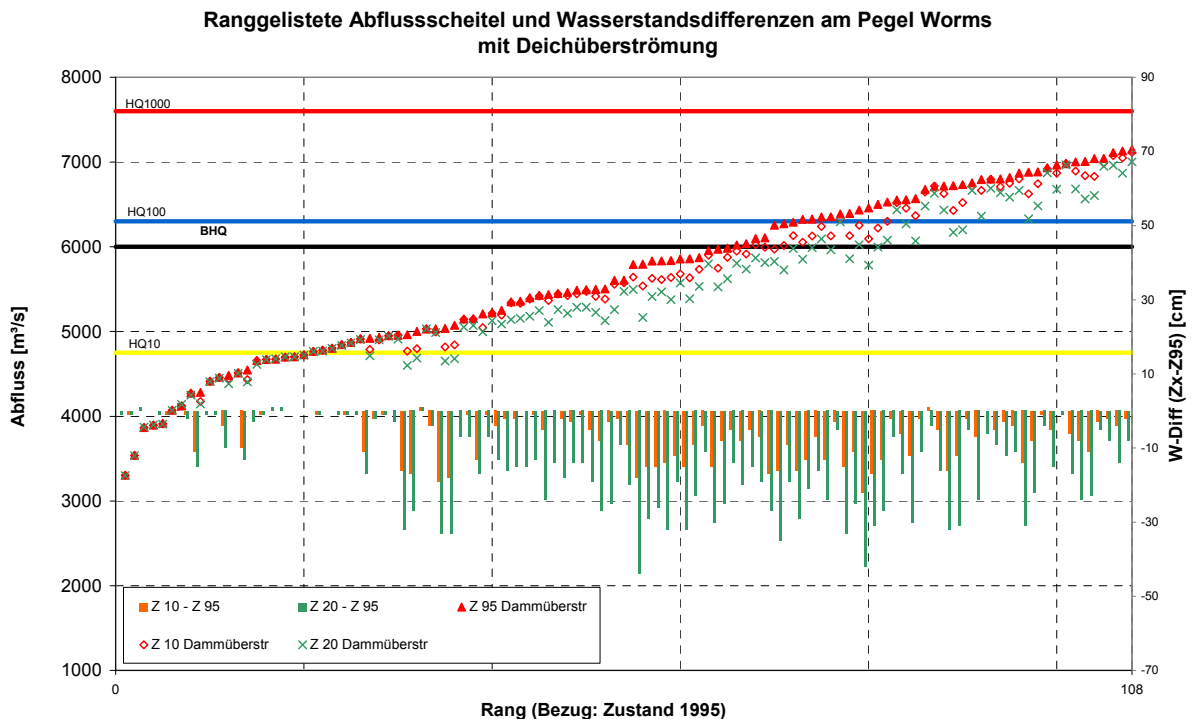
Figuur 7.7: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1977, 1995, 2010 en 2020 op het meetpunt Worms (berekend met dijkoverloop). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1977.

In de figuren 7.2 tot 7.7 is er gekozen voor de referentietoestand 1977 om recht te doen aan de bijzondere omstandigheden in de Duits-Franse Bovenrijn.

De piekwaarden [m<sup>3</sup>/s] en de verlaging van de topstanden [cm] tussen de verschillende waterbouwkundige toestanden, gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995 zonder dijkoverloop, zijn grafisch weergegeven in figuur 7.8 voor het meetpunt Maxau en in figuur 7.9 voor het meetpunt Worms.



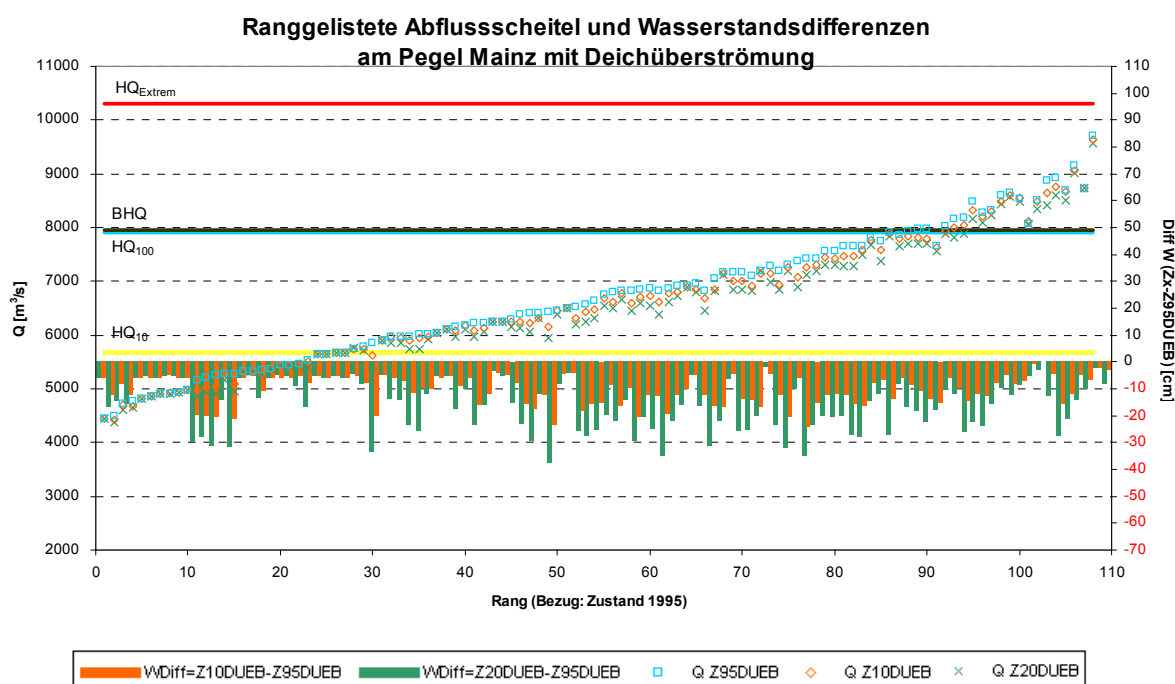
Figuur 7.8: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2010 en 2020 op het meetpunt Maxau (berekend met dijkoverloop). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.



Figuur 7.9: Piekwaarden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2010 en 2020 op het meetpunt Worms (berekend met dijkoverloop). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.

Aan de hand van figuur 7.10 wordt uitgelegd hoe de navolgende weergaven moeten worden begrepen: afgebeeld zijn afvoerpieken en verlagingen van de topstand op meetpunten en Rijntrajecten voor de HVAL-toestanden 1995 met dijkoverloop, 2010 met dijkoverloop en 2020 met dijkoverloop. De waarden in kwestie zijn in de bijlage in tabelvorm te vinden en kunnen zo aan de overeenkomstige modelhoogwaters worden gekoppeld.

In figuur 7.10 zijn de ten opzichte van 1995 gerangschikte en aan de linkeras gerelateerde piekafvoeren voor het meetpunt Mainz weergegeven als blauwe vierkanten (toestand 1995 met dijkoverloop), oranje ruiten (toestand 2010 met dijkoverloop) en groene kruisen (toestand 2020 met dijkoverloop). Ook gerelateerd aan de linkeras zijn de in de toestand 1977 geldende, in statistieken van extreme waarden gebruikte afvoeren voor  $HQ_{10}$ ,  $HQ_{100}$ ,  $HQ_{\text{extreem}}$  en BHQ. De topstandverandering ten opzichte van de referentietoestand 1995 met dijkoverloop is gerelateerd aan de rechteras weergegeven door middel van oranje balken voor 2010 met dijkoverloop en door middel van groene balken voor 2020 met dijkoverloop.



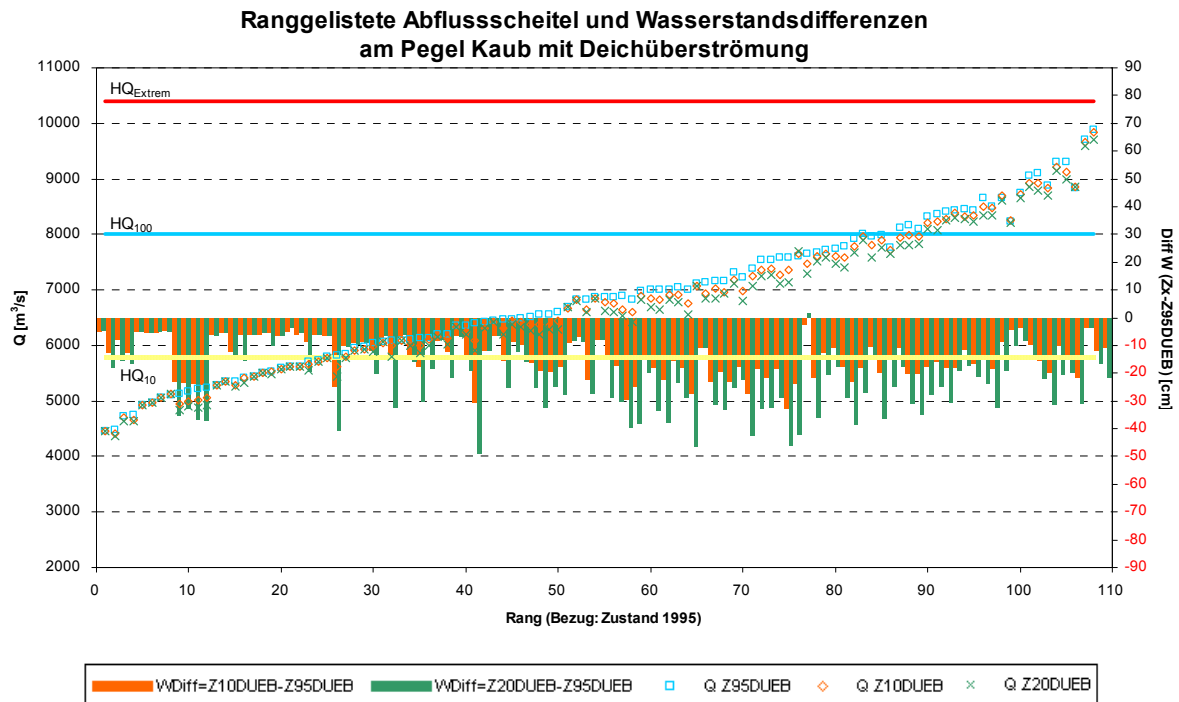
Figuur 7.10: Piekafvoeren en verschil tussen de topstanden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2010 en 2020 (telkens met dijkoverloop) op het meetpunt Mainz. Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.

In de toestand 2010 zijn de topstanden op het meetpunt Mainz bij  $HQ_{100}$  gemiddeld -11 cm en bij  $HQ_{\text{extreem}}$  gemiddeld -4 cm verlaagd ten opzichte van de toestand 1995 met dijkoverloop. De bandbreedte van de topstandverlaging tussen overstromingen met een grote kans en overstromingen met een kleine kans varieert voor de toestand 2010 met dijkoverloop tussen 0 en -24 cm. In de toestand 2020 schommelen de topstanden tussen -2 tot -37 cm, de gemiddelde verlaging van de topstanden bedraagt in 2020 bij  $HQ_{100}$  -18 cm en bij  $HQ_{\text{extreem}}$  -7 cm.



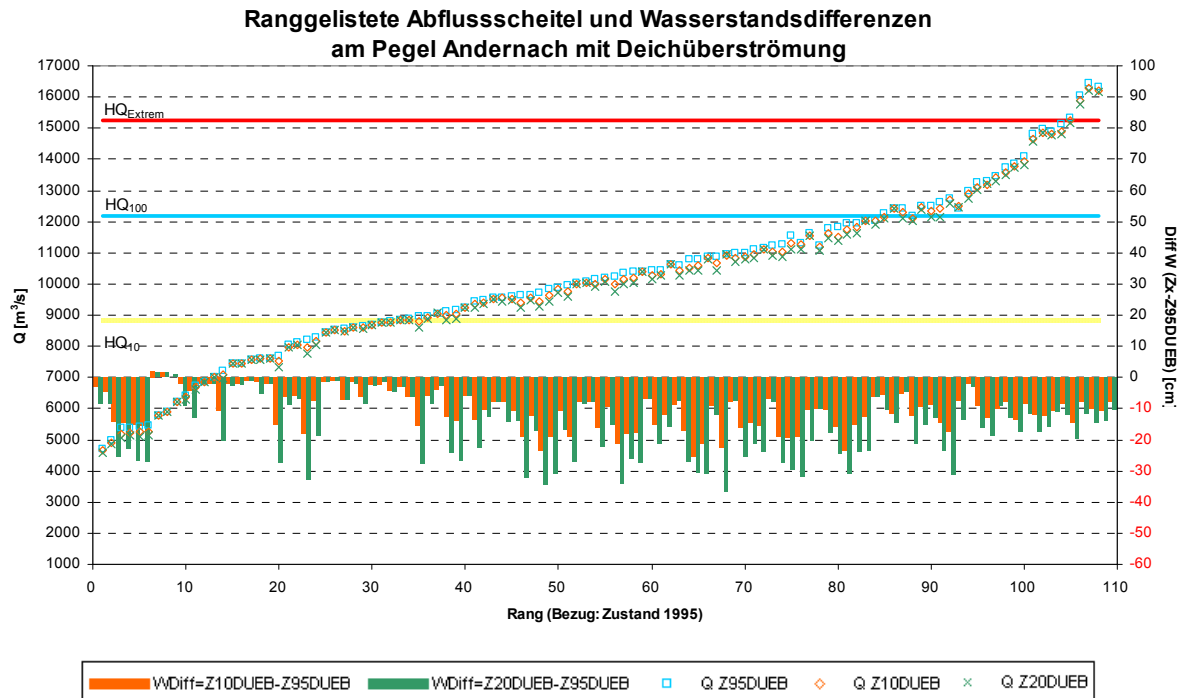
In figuur 7.11 wordt het effect van dijkoverloop op de piekafvoeren en topstanden op het meetpunt Kaub weergegeven.

In de in het oranje afgebeelde toestand 2010 zijn de topstanden op het meetpunt Kaub bij  $HQ_{100}$  gemiddeld -16 cm en bij  $HQ_{\text{extreem}}$  gemiddeld -13 cm verlaagd ten opzichte van de toestand 1995. De bandbreedte van de topstandverlaging tussen overstromingen met een grote kans en overstromingen met een kleine kans varieert tussen -2 en -33 cm. In 2020 bedraagt de gemiddelde topstandverlaging -26 cm bij  $HQ_{100}$  en -21 cm bij  $HQ_{\text{extreem}}$ . De extreme waarden van de topstandverandering laten een bandbreedte zien van +1 cm tot -49 cm.



Figuur 7.11: Piekafvoeren en verschil tussen de topstanden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2010 en 2020 (telkens met dijkoverloop) op het meetpunt Kaub. Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.

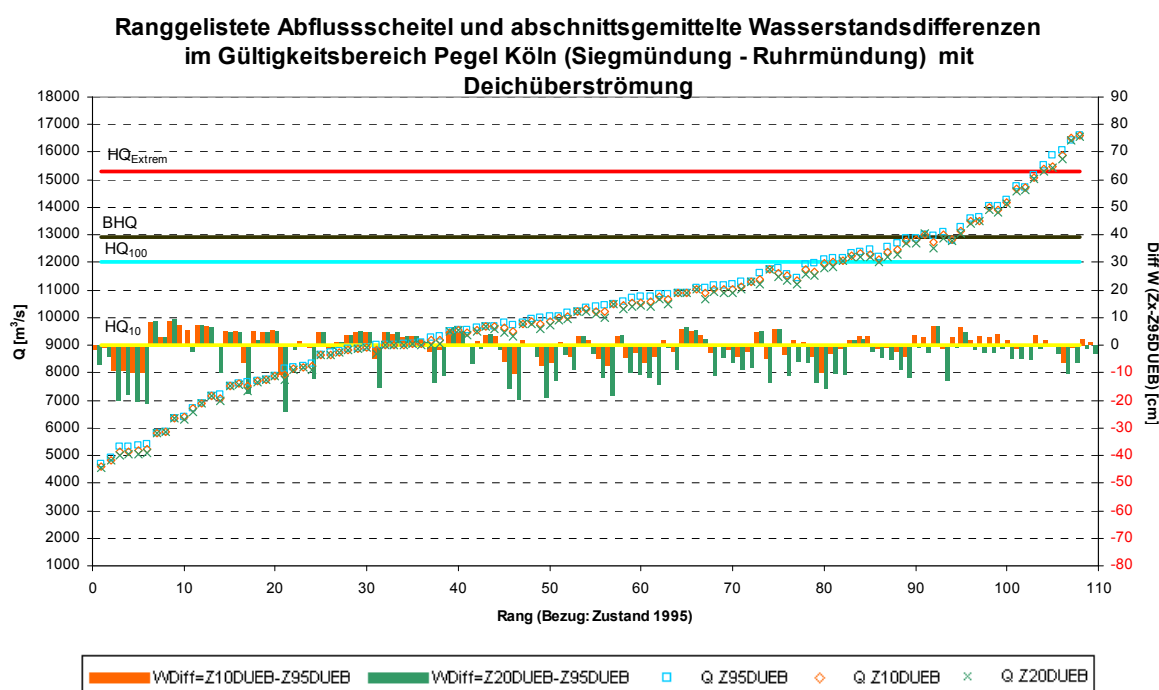
In figuur 7.12 zijn de verlagingen van de topstand op het meetpunt Andernach weergegeven. De oranje balken laten zien dat de verandering in de toestand 2010 schommelt tussen +2 cm en -25 cm en gemiddeld -12 cm bedraagt bij  $HQ_{100}$  en -10 cm bij  $HQ_{\text{extreem}}$ . De groene balken tonen de topstandverandering in 2020, die gemiddeld -18 cm bedraagt bij  $HQ_{100}$  en -14 cm bij  $HQ_{\text{extreem}}$  en een bandbreedte vertoont tussen +2 cm en -37 cm, rekening houdend met dijkoverloop.



Figuur 7.12: Piekafvoeren en verschil tussen de topstanden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2010 en 2020 (telkens met dijkoverloop) op het meetpunt Andernach. Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.

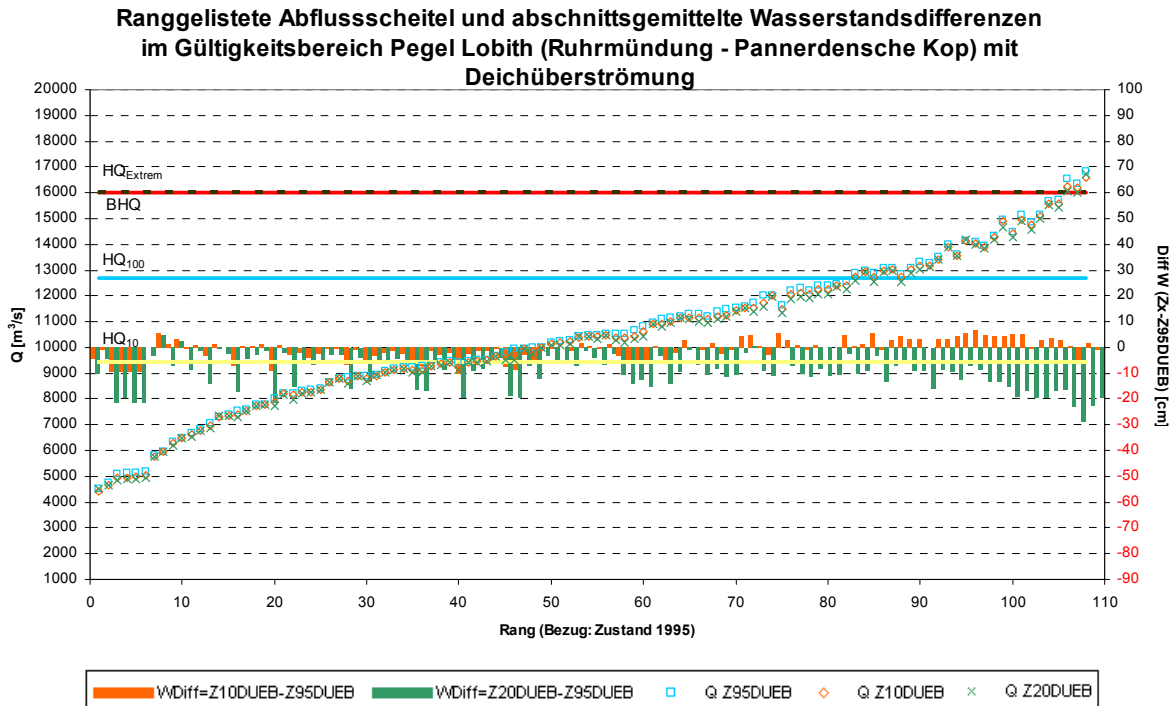
Figuur 7.13 geeft de piekafvoeren weer op het meetpunt Keulen rekening houdend met dijkoverloop in 1995 (blauwe vierkanten), 2010 (oranje ruiten) en 2020 (groene kruisen). De in beeld gebrachte verlagingen van de topstand zijn gemiddelden voor het traject tussen de monding van de Sieg en de monding van de Ruhr. De gemiddelde topstandverandering bedraagt in 2010 0 cm bij  $HQ_{100}$  en +1 cm bij  $HQ_{\text{extreem}}$ . De bandbreedte van de topstandverandering (oranje balken die zijn gerelateerd aan de rechteras) tussen overstromingen met een grote kans en overstromingen met een kleine kans varieert in 2010 tussen +9 cm en -11 cm. In 2020 gaat de bandbreedte van +9 cm tot -24 cm, wat een gemiddelde waterstandverandering oplevert van -5 cm bij  $HQ_{100}$  en -4 cm bij  $HQ_{\text{extreem}}$ .

Omdat het doorstromingsprofiel in de Duitse Nederrijn verandert (bredere bedding) leidt een vergelijkbare afvoerverlaging als op het meetpunt Andernach hier tot een duidelijk kleinere waterstandverlaging.



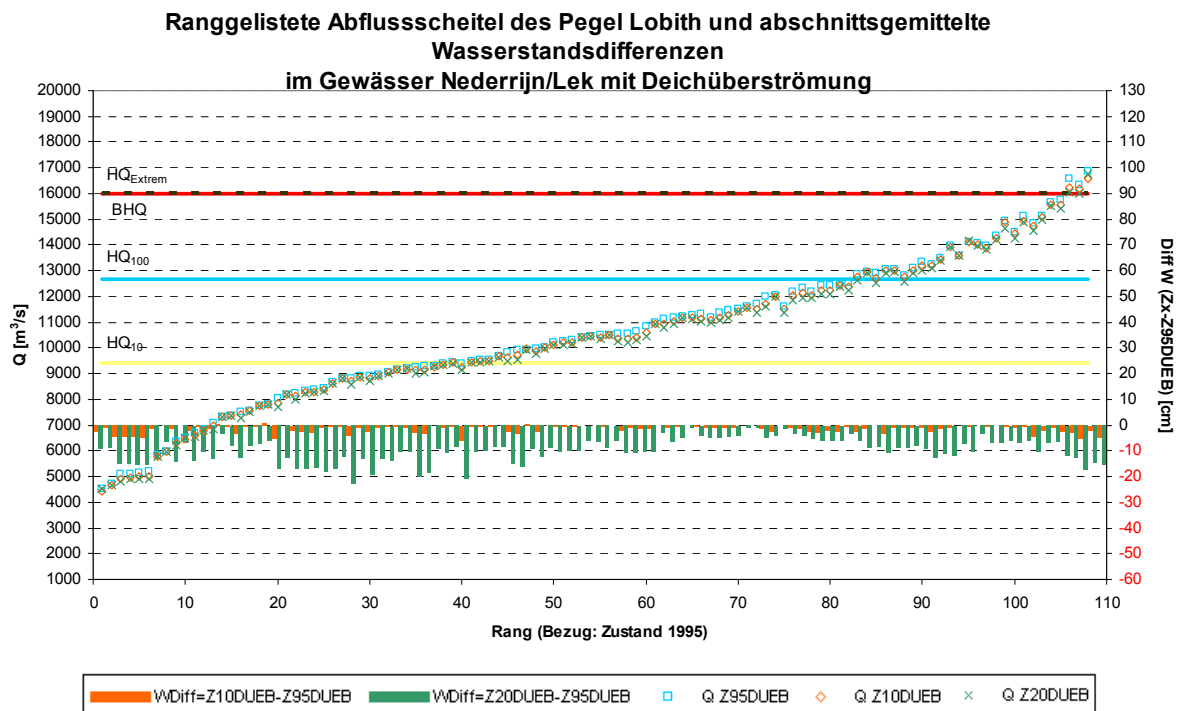
Figuur 7.13: Piekafvoeren en gemiddeld verschil tussen de topstanden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2010 en 2020 (telkens met dijkoverloop) op het riviertraject van de monding van de Sieg tot de monding van de Ruhr (meetpunt Keulen). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.

In de toestand 2010 zijn de topstanden op het traject tussen de monding van de Ruhr en de Pannerdensche Kop rekening houdend met dijkoverloop bij  $HQ_{100}$  gemiddeld +2 cm en bij  $HQ_{\text{extreem}}$  gemiddeld +3 cm verhoogd ten opzichte van de toestand 1995 met dijkoverloop. Deze over het traject gemiddelde veranderingen van de topstand zijn samen met de piekafvoeren op het meetpunt Lobith weergegeven in figuur 7.14. De bandbreedte van de topstandverandering (oranje balken) tussen overstromingen met een grote kans en overstromingen met een kleine kans varieert in 2010 tussen +7 en -10 cm. In de toestand 2020 gaat de bandbreedte van +5 tot -29 cm. De gemiddelde topstandverlaging bedraagt -9 cm bij  $HQ_{100}$  en -17 cm bij  $HQ_{\text{extreem}}$ .



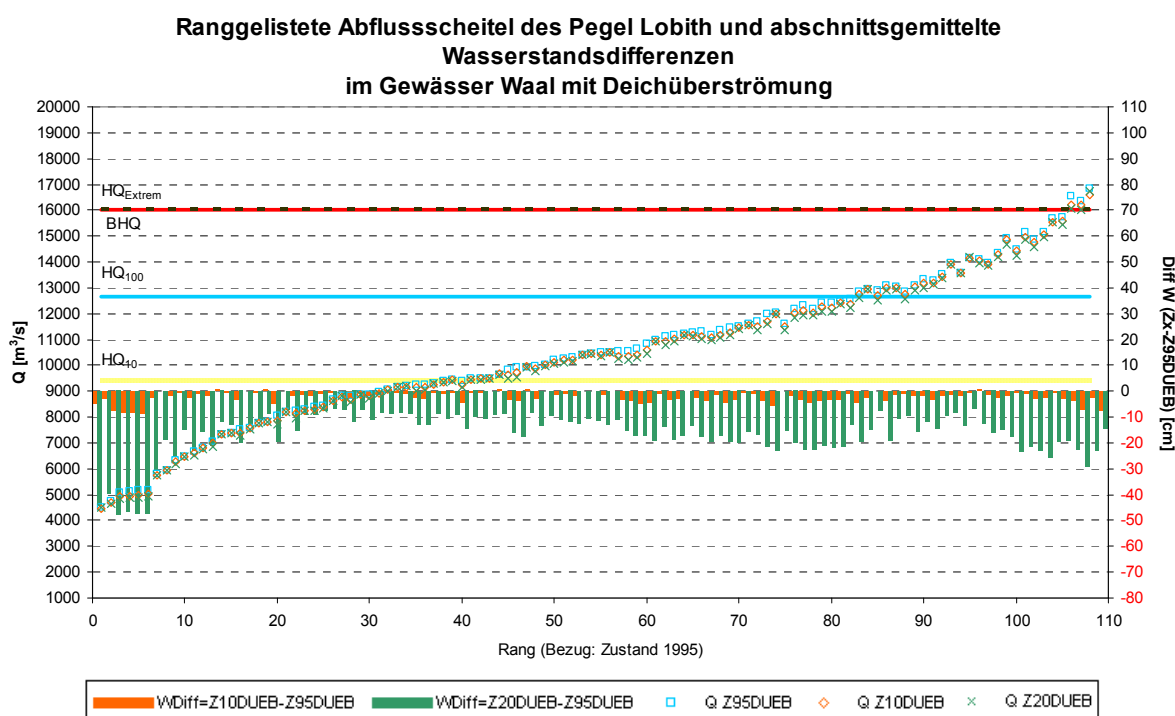
Figuur 7.14: Piekafvoeren en gemiddeld verschil tussen de topstanden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2010 en 2020 (telkens met dijkoverloop) op het riviertraject van de monding van de Ruhr tot de Pannerdensche Kop (meetpunt Lobith). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.

In figuur 7.15 worden de piekafvoeren op het meetpunt Lobith weergegeven evenals de gemiddelde verlagingen van de waterstand in de Neder-Rijn en de Lek, rekening houdend met dijkoverloop. In 2010 zijn de topstanden bij  $HQ_{100}$  en bij  $HQ_{\text{extreem}}$  gemiddeld -2 cm verlaagd. De bandbreedte van de topstandverandering (oranje balken) tussen overstromingen met een grote kans en overstromingen met een kleine kans varieert in 2010 tussen +1 en -6 cm. In de toestand 2020 gaat de bandbreedte van -1 tot -23 cm. De gemiddelde topstandverandering bedraagt -7 cm bij  $HQ_{100}$  en -9 cm bij  $HQ_{\text{extreem}}$ .



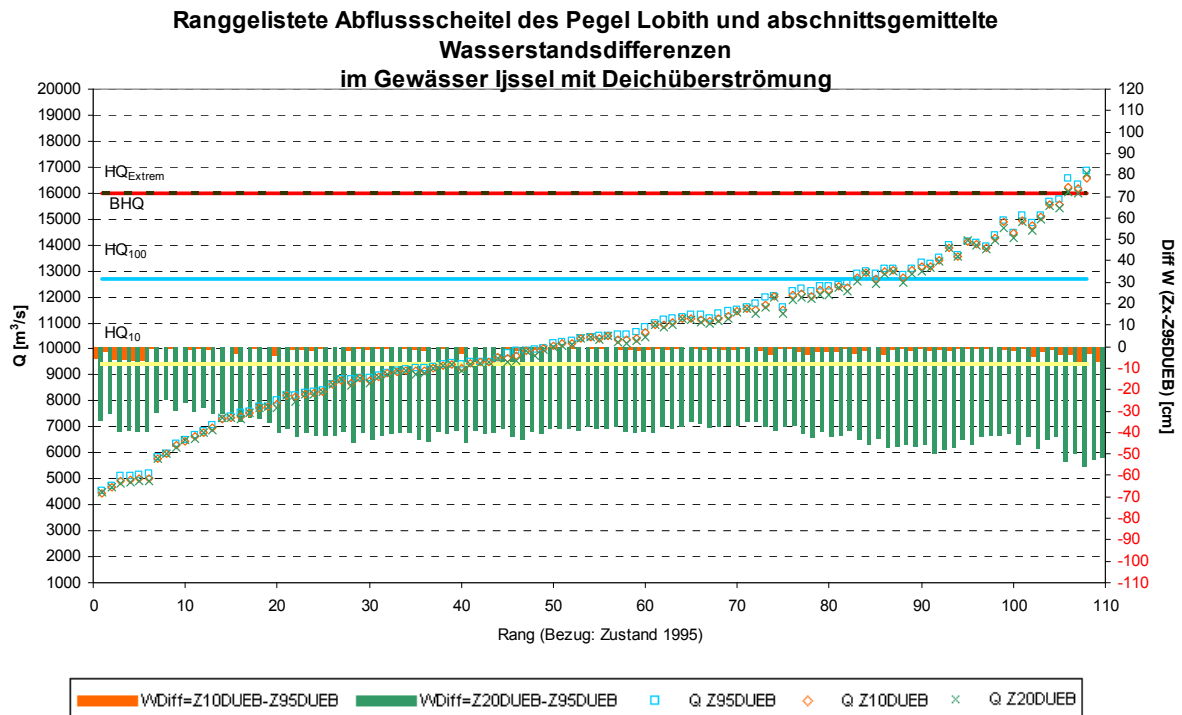
Figuur 7.15: Piekafvoeren en gemiddeld verschil tussen de topstanden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2010 en 2020 (telkens met dijkoverloop) in de Neder-Rijn/Lek (meetpunt Lobith). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.

In figuur 7.16 worden de piekafvoeren op het meetpunt Lobith weergegeven evenals de gemiddelde verlagingen van de waterstand in de Waal, rekening houdend met dijkoverloop. In 2010 zijn de topstanden bij  $HQ_{100}$  en bij  $HQ_{\text{extreem}}$  gemiddeld -2 cm verlaagd. De bandbreedte van de topstandverandering (oranje balken) tussen overstromingen met een grote kans en overstromingen met een kleine kans varieert in 2010 tussen +1 en -8 cm. In 2020 gaat de bandbreedte van -6 cm tot -48 cm, wat een gemiddelde waterstandverandering oplevert van -16 cm bij  $HQ_{100}$  en -19 cm bij  $HQ_{\text{extreem}}$ .



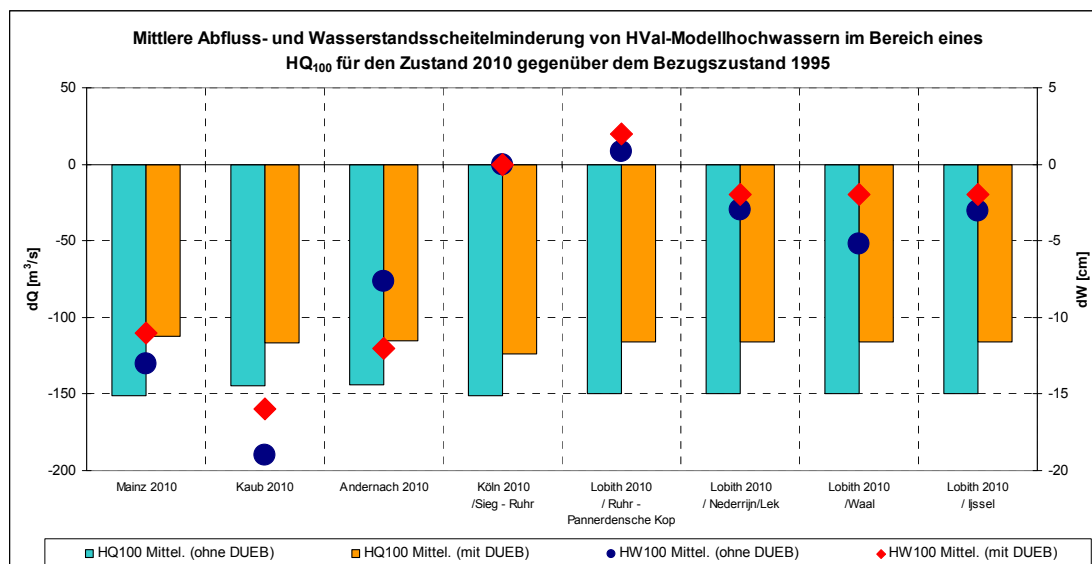
Figuur 7.16: Piekafvoeren en gemiddeld verschil tussen de topstanden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2010 en 2020 (telkens met dijkoverloop) in de Waal (meetpunt Lobith). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.

In figuur 7.17 worden de piekafvoeren op het meetpunt Lobith weergegeven evenals de gemiddelde verlagingen van de waterstand in de IJssel, rekening houdend met dijkoverloop. In 2010 zijn de topstanden gemiddeld -2 cm verlaagd bij  $HQ_{100}$  en -3 cm bij  $HQ_{\text{extreem}}$ . De bandbreedte van de topstandverandering (oranje balken) tussen overstromingen met een grote kans en overstromingen met een kleine kans varieert in 2010 tussen 0 en -7 cm. In de toestand 2020 gaat de bandbreedte van -25 tot -56 cm. De gemiddelde topstandverlaging bedraagt -43 cm bij  $HQ_{100}$  en -46 cm bij  $HQ_{\text{extreem}}$ .



Figuur 7.17: Piekafvoeren en gemiddeld verschil tussen de topstanden voor de waterbouwkundige toestanden 1995, 2010 en 2020 (telkens met dijkoverloop) in de IJssel (meetpunt Lobith). Gerangschikt ten opzichte van de toestand 1995.

In figuur 7.18 wordt er voor modelhoogwaters in de orde van grootte van  $HQ_{100}$  een overzicht gegeven van de gemiddelde verandering van de afvoer en de topstand op verschillende Rijntrajecten als gevolg van hoogwaterstandverlagende maatregelen in de toestand 2010 ten opzichte van de toestand 1995, telkens met en zonder dijkoverloop. Benedenstrooms van de monding van de Moezel (vanaf het meetpunt Andernach) veranderen de morfologische omstandigheden (breedte en bedding), waardoor de bereikte waterstanddalingen in de Duitse Nederrijn en de Nederlandse Rijntakken aanzienlijk kleiner zijn dan in de noordelijke Bovenrijn (Mainz) en de zuidelijke Middenrijn (Kaub).



Figuur 7.18: Gemiddelde verlagingen van de afvoer en de topstand in de toestand 2010 bij  $HQ_{100}$

De gedetailleerde rekenresultaten kunnen hier gelet op hun grote omvang niet afzonderlijk worden gepubliceerd.

In de samenvatting worden de bepalende waterstandveranderingen voor alle waterbouwkundige toestanden van de Rijn op een rij gezet (zie tabellen 1 – 10). Maatgevend voor de totaalbeoordeling zijn echter de gemiddelde resultaten. De extreme waarden zijn slechts op zichzelf staande gevallen die verband houden met bepaalde gebeurtenissen en trajecten. Om de toevalsfactor in de resultaten te minimaliseren, staat in de tabellen steeds het 10- en het 90-percentiel (voor zover de klasse uit meer dan tien waarden bestaat).

In bijlage 9 worden als aanvulling op de samenvatting de afvoer- en waterstandverschillen weergegeven, ook voor de extreme waarden.



## Bibliografie

Bundesanstalt für Gewässerkunde (1999): Einfluss der geplanten Retentionsmaßnahmen an Ober- und Niederrhein auf extreme Abflüsse am Niederrhein, eindrapport, BfG-1221, Koblenz.

Bundesanstalt für Gewässerkunde (2011): Evaluatie in 2010 van het effect van waterstandverlagende maatregelen op extreem hoge waterstanden in de Rijn tussen Worms en de Noordzee, eindrapport, BfG, Koblenz, stand: 2 november 2011; document HVAL(5)11-04-04, niet gepubliceerd, alleen beschikbaar in het Duits en het Frans.

Deltares (2010): SOBEK-modellen Deltarijn, rapport project nr. 1201161-000, in opdracht van Rijkswaterstaat Waterdienst.

Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater (2004a): Grensoverschrijdende effecten van extreem hoogwater op de Niederrhein, deelrapport Invoergegevens BOS-IR Niederrhein-Rijntakken. ISBN9036956714. Ook in het Duits beschikbaar onder ISBN9036956668.

Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater (2004b): Grensoverschrijdende effecten van extreem hoogwater op de Niederrhein, deelrapport Overstromingen in Nordrhein-Westfalen en Gelderland. ISBN9036956629. Ook in het Duits beschikbaar onder ISBN9036956641.

Hochwasserstudienkommission für den Rhein (1978): Ergebnisse der Untersuchungen über die Hochwasser und ihre Entwicklung von Beginn der Aufzeichnungen an, die Einflüsse des Ausbaus des Rheins, seiner Nebenflüsse und der Seen auf das Hochwasser, den derzeitigen Stand des Hochwasserschutzes sowie Empfehlungen für Maßnahmen gegen die vergrößerte Hochwassergefahr (deel 1: tekst; deel 2: bijlagen; deel 3: rapportages van de delegaties; deel 4: documentatie van meetpuntinformatie en overige gegevens).

Hochwasserstudiengruppe für die Rheinstrecke Kaub-Rolandswerth (1993): Der Einfluss des Oberrheinausbaus und der am Oberrhein vorgesehenen Retentionsmaßnahmen auf die Hochwasser am Mittelrhein von Kaub bis Köln; rapport: Auswirkung der Rückhaltmaßnahmen am Oberrhein nach dem deutsch-französischen Vertrag von 1982. Materialien zum Hochwasserschutz am Rhein. Ministerium für Umwelt, Rheinland-Pfalz. 74 p.; bijlagen.

HKV (2011): SOBEK-Models Rhine for HAL and GRADE including flood areas behind the dikes, rapport HKV-consultants, Project PR2140.10 in opdracht van Deltares, Lelystad 2011 vgl. HVAL(5)11-03e

HSK (1978): Schlussbericht der Hochwasserstudienkommission für den Rhein / Rapport Final de la Commission d'Etude des Crues du Rhin.

HVAL (2006): Evaluatie van de effectiviteit van maatregelen ter verlaging van hoogwaterstanden in de Rijn als gevolg van de uitvoering van het Actieplan Hoogwater tot 2005 (ICBR-rapport 153, alleen beschikbaar in het Duits en het Frans).

HVAL (2009): Aanpak voor de evaluatie van de effectiviteit van maatregelen in het Rijnstroomgebied en in de Rijn (actiedoel 2 van het Actieplan Hoogwater) 2010 – 2015 – 2020, document HVAL(1)09-03, alleen beschikbaar in het Duits en het Frans.

HVAL/Bundesanstalt für Gewässerkunde (2010): Eerste tussenrapport van de BfG in het kader van de samenwerkingsovereenkomst tussen de ICBR en de BfG: Geselecteerde hoogwatergebeurtenissen voor simulatieberekeningen en basis voor de schatting van

factoren voor de ontwikkeling van modelhoogwaters, document HVAL(4)10-04-01, niet gepubliceerd, alleen beschikbaar in het Duits en het Frans.

Mens, Weerts and Ogink (2007): Water balance Maxau-Rhine branches, rapport WL|Delft Hydraulics, project Q4231.00, in opdracht van Rijkswaterstaat/RIZA, Delft.

ICBR (2006): Evaluatie van de effectiviteit van maatregelen ter verlaging van hoogwaterstanden in de Rijn als gevolg van de uitvoering van het Actieplan Hoogwater. Eindrapport (ICBR-rapport 153).

ICBR (2006): Actieplan Hoogwater 1995-2005 – Overzicht actiedoelen, uitvoering en samenvatting van de resultaten (brochure en rapport 156, alleen beschikbaar in het Duits en het Frans)

ICBR (1998): Actieplan Hoogwater

LANUV NRW (2011): Erweiterung des SOBEK-Modelldatensatzes von Andernach bis Lobith um die Einflüsse des Deichüberströmens, uitgevoerd door HKV-Hydrokontor in opdracht van LANUV NRW

Linde, A. Te (2011): Rhine at Risk? Impact of climate change on low-probability floods in the Rhine basin and the effectiveness of flood management measures. Dissertatie aan de Universiteit Amsterdam, 2011. ISBN 978-90-8570-742-4

LUA [Uitg.] (2002): Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeiten  $HQ_T$  an den Pegel des Rheins. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA), Essen 2002, ISSN 1610-9619.

LUBW/BAFU (februari 2010): Aktualisierung des Hochwasserabfluss-Längsschnitts für den Hochrhein (afgestemd eindrapport). Rapport van het Instituut für Wasser und Gewässerentwicklung des Karlsruher Institut für Technologie in opdracht van de Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Regierungspräsidium Freiburg (RPF) en Bundesamt für Umwelt der Schweizerischen Eidgenossenschaft (BAFU)

LUBW (2012): Untersuchungen zur Minderung der Hochwasserstände im Oberrhein zwischen Iffezheim und Worms zur Validierung des Aktionsplans Hochwasser der IKSR. Tussenrapport van de Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

RWS-WD (2009): Werklijn Lobith

Ständige Kommission zum Ausbau des Oberrheins, AG Statistik (2001): Ermittlung von Hochwasserabflüssen definierter Jährlichkeiten für die Pegel Maxau und Worms. Arbeitsgruppe Statistik der Ständigen Kommission für den Ausbau des Rheins zwischen Kehl/Straßburg und Neuburgweier/Lauterburg

Ständige Kommission zum Ausbau des Oberrheins (1998): Nachweis der Wirksamkeit der Hochwasserrückhaltmaßnahmen am Oberrhein zwischen Basel und Worms unter Einbeziehung ökologischer Flutungen. AG Wirksamkeitsnachweis

## Bijlagenlijst

**Bijlage 1:** Effect van maatregelen voor waterretentie in het stroomgebied (uittreksel uit ICBR-rapport 153, bijlage 2)

**Bijlage 2:** Basisinformatie over de werking van retentiemaatregelen

**Bijlage 3:** Hoogwatergebeurtenissen en simulatieperiodes

**Bijlage 4a:** Gegevensbasis voor de geselecteerde historische hoogwatergebeurtenissen van Bazel tot Lobith

**Bijlage 4b:** Gegevensbasis voor de geselecteerde historische hoogwatergebeurtenissen in de Rijndelta

**Bijlage 5:** Overzicht van de maximaal mogelijke afvoeren in de zijrivieren van de Rijn

**Bijlage 6:** Basisinformatie over de invloed van dijkoverstroming op het verloop en de piek van golven

### **Bijlage 7:**

(1) Bijlage 7a: Potentieel overstroomde gebieden als gevolg van dijkoverstromingen langs de Rijn benedenstrooms van het Bodenmeer; de overstromingsgebieden zijn lichtblauw zoals in de ICBR-Rijnatlas van 2001 (uit: te Linde, 2011)

(2) Bijlage 7b: Overstromingsgebieden in Baden-Württemberg waarmee rekening wordt gehouden

(3) Bijlage 7c: Overstromingsgebieden in Rijnland-Palts waarmee rekening wordt gehouden

(4) Bijlage 7d: Indeling van het overstromingsgebied aan de Duitse Nederrijn in afzonderlijke zones. De benaming van de zones wordt toegelicht in de tekst (uit: Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, 2004b)

**Bijlage 8:** Schematisering van de binnendijkse overstromingsgebieden tussen Andernach en Lobith in het SOBEK-model

(1) Bijlage 8a: Systeemschets van gebieden die worden getroffen door dijkoverstroming en dijkdoorbraak in SOBEK (uit: Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, 2004a). Traject van Andernach tot Keulen

(2) Bijlage 8b: Systeemschets van gebieden die worden getroffen door dijkoverstroming en dijkdoorbraak in SOBEK (uit: Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, 2004a). Traject van Keulen tot Düsseldorf

(3) Bijlage 8c: Systeemschets van gebieden die worden getroffen door dijkoverstroming en dijkdoorbraak in SOBEK (uit: Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, 2004a). Traject van Düsseldorf tot Lobith

**Bijlage 9:** Verlaging van de piekafvoer en de piekwaterstand in de onderzochte waterbouwkundige toestanden

**Bijlage 10:** Kaart van de waterstandverlagende maatregelen aan de Rijn

**Bijlage 1: Effect van maatregelen voor waterretentie in het stroomgebied (uittreksel uit ICBR-rapport 153, bijlage 2)**

In het "Actieplan Hoogwater" voor de Rijn worden er voor de verbetering van de hoogwatersituatie aan de Rijn vijf categorieën van maatregelen genoemd. Twee van de vijf categorieën ondersteunen het actiedoel "verlaging van de hoogwaterstanden" in de Rijn. Daarbij gaat het om

- Maatregelencategorie 1: Waterretentie in het Rijnstroomgebied, en
- Maatregelencategorie 2: Waterretentie langs de Rijn

Reeds in het "Actieplan Hoogwater" wordt er aan de maatregelencategorie "waterretentie in het Rijnstroomgebied" slechts een zeer klein verlagend effect op hoogwater in de Rijn toegekend, in tegenstelling tot de categorie "waterretentie langs de Rijn". Van de genoemde maatregelen hebben

- 1a Herstel van natuurlijke waterlopen
- 1c Extensivering van de landbouw
- 1d Natuurontwikkeling, herbebossing
- 1e Ontharding

slechts een klein, lokaal effect zonder de waterstanden in de Rijn te verlagen (ICBR, 1998). Alleen de categorieën

- 1b Weer in gebruik nemen van overstromingsgebieden, en
- 1f Technische retentievoorzieningen voor hoogwater

hebben naar verwachting ook in de Rijn een klein hoogwaterstandverlagend effect. De gedetailleerde, meestal kwalitatieve beoordeling van het effect van deze categorie van maatregelen in het in 1999 gepubliceerde ICBR-rapport "Inschatting van het effect van waterretentie in het stroomgebied van de Rijn" heeft dezelfde strekking.

Een nauwkeurige kwantificering (van maatregelencategorie 1) blijkt alleen mogelijk te zijn met inzet van veel tijd en financiële middelen, zelfs als er exacte informatie is over de ligging en het effect. Bovendien liggen dergelijke berekeningen deels buiten de grenzen van een betrouwbare en verifieerbare modeltoepassing.

De Duitse deelstaten zijn daarom van mening dat een precieze kwantificering van de maatregelen met een lokaal effect op dit moment mogelijk noch noodzakelijk is, gelet op het feit dat het effect van deze maatregelen op de reductie van de waterstand in de Rijn thans niet kan worden aangetoond. Alleen "het weer in gebruik nemen van overstromingsgebieden" en "technische retentievoorzieningen bij hoogwater" zouden effect kunnen sorteren in de Rijn, zij het in beperkte mate. Als er grotere maatregelen van dit type zijn uitgevoerd in het stroomgebied van de zijrivieren van de Rijn zullen die worden gekwantificeerd, voor zover dit mogelijk is met redelijke inspanningen.

Navolgend is voor alle in het Actieplan genoemde afzonderlijke maatregelen voor waterretentie in het stroomgebied uiteengezet

- of het zinvol is om het effect van de maatregel op de hoogwateromstandigheden in de Rijn gedetailleerd te bepalen met behulp van een model of
- of een kwalitatieve beschrijving van het effect volstaat.

**Maatregelencategorie 1 a: Herstel van natuurlijke waterlopen**

Zoals is vastgesteld in ICBR (1999) hebben maatregelen die natuurlijke waterlopen herstellen en de loop van de rivier verlengen (met name door de aanleg van meanders) een reducerend effect op het verval en zodoende een verlagend effect op de piekwaterstand in het direct benedenstrooms gelegen riviertraject. Er moet wel rekening mee worden gehouden dat de rivier in tijden van hoogwater eventueel weer het rivierbed van voor de renatureringsmaatregel gebruikt om het water af te voeren. Riviertrajecten die in hun natuurlijke staat zijn hersteld, zijn doorgaans ruwer, ook daar waar de rivier buiten haar oevers treedt, waardoor ze het water beter vasthouden. Dit retentie-effect

zorgt ervoor dat de hoogwaterpiek later aankomt in het riviersysteem waar het herstelde traject in uitmondt. Vooral als het gehele systeem van een zijrivier wordt gerenatureerd, kunnen de piekwaterstanden aanzienlijk worden verlaagd, wat evenwel gepaard gaat met een vertraging van de golf. Omdat bijv. in de Middenrijn de golven uit de zijrivieren vaak vóór de golf in de Rijn worden afgevoerd (MINISTERIUM FÜR UMWELT RHEINLAND-PFALZ, 1993) kunnen de bovengenoemde omstandigheden leiden tot een tendentiële verhoging van de Rijn golf, zonder echter een groot effect te hebben op de piekafvoer.

Inmiddels is er heel wat onderzoek gedaan naar de verandering van de afvoer als gevolg van renatureringsmaatregelen. LEICHTFUSS & KIVUMBI (1995) hebben de invloed van herstelmaatregelen in een stroomgebied van de Nahe (587 km<sup>2</sup> op het meetpunt Eschenau) gekwantificeerd met behulp van een systeemhydrologisch model. Daarbij is aangenomen dat alle rivieren in hun natuurlijke staat worden hersteld, waardoor de loop 30% langer wordt. De ruwheid werd met vijf punten verhoogd door de Strickler-coëfficiënten te veranderen. Men kwam tot de slotsom dat de waterstand bij de piekafvoer op het meetpunt Eschenau bij de bekeken hoogwatergebeurtenissen tot 4 cm kan worden verlaagd.

MARENBACH (2002) heeft het effect van revitaliserende maatregelen (= renaturering) gekwantificeerd voor het stroomgebied van twee rivieren in het middelgebergte, te weten de Nahe (4.066 km<sup>2</sup>) en de Rems (538 km<sup>2</sup>). Ook hier zijn de ruwheid en de afvoerwegen veranderd in het model, echter alleen voor trajecten die na de bestudering van kaarten lijken te kunnen worden gerenatureerd (bijv. recht verlopende trajecten). In het stroomgebied van de Nahe liggen deze trajecten aan de bovenloop van de Nahe en de Glan en aan alle zijrivieren. In de benedenloop van de Nahe kan er bij HQ<sub>100</sub> goed 6% piekverlaging worden bereikt (dat betekent ongeveer 10 cm waterstanddaling op het meetpunt Grolsheim/Nahe); in de Rems wordt er bij combinatie met kleine retentiemaatregelen tot 5% piekverlaging verwacht. Het onderzoek laat evenwel ook zien dat het afhankelijk van de structuur van het gebied in bepaalde delen ook kan komen tot piekverhogingen. Revitaliseringsmaatregelen die alleen aan de benedenloop van de Nahe worden uitgevoerd, leiden bijvoorbeeld tot lichte stijgingen aan de monding van Nahe als gevolg van de overlapping van de golven uit de verschillende deelstroomgebieden. Van de 5 à 6.000 km rivier in het stroomgebied van de Nahe verkeert naar schatting maximaal 1.000 km nog in een (tot op zekere hoogte) natuurlijke toestand. Sinds 1995 is er meer dan 300 km oeverstrook aangekocht, waarvan ongeveer 25 km in het kader van herinrichtingsprojecten in natuurlijke staat is hersteld. Het effect van de renatureringen die tussen 1995 en 2005 zijn uitgevoerd aan de monding in de Rijn kan dus waarschijnlijk zo goed als niet rekenkundig worden aangetoond.

LANG EN TÖNSMANN (2002) hebben het effect van herstelmaatregelen op de Lahn onderzocht met behulp van kaarten van de morfologische kwaliteit. Hierdoor kon er een enigszins realistische inschatting worden gemaakt van het renatureringspotentieel, zodat er bijv. niet hoefde te worden uitgegaan van standaardwaarden voor loopverlenging. Bij HQ<sub>1</sub> tot HQ<sub>100</sub> worden er piekverlagingen berekend tussen 6% en 17%. De verlagingen van de piek in de zijrivieren van de Lahn leiden weliswaar tot een afvlakking, maar tegelijkertijd ook tot een uitrekking van de hoogwatergolven. Met als resultaat dat hoe groter het stroomgebied, hoe zwakker het eigenlijke effect van de renaturering is als gevolg van de overlapping van de golven. Aan de grens met Rijnland-Palts bedragen de rekenkundige reducties van de piekafvoer echter nog tussen 2,5% en 5,5%. Ook in dit onderzoek is er uitgegaan van het potentieel haalbare.

De conclusie die uit de bovengenoemde onderzoeken kan worden getrokken, is dat de herstelmaatregelen aan 3.500 km zijrivier van de Rijn die in het Actieplan Hoogwater voor 2005 worden nagestreefd geen essentiële bijdrage leveren aan de reductie van extreem hoogwater in het Rijngebied. Ook in het Actieplan Hoogwater worden er van deze renatureringen slechts beperkte hoogwaterverlagende effecten in kleinere rivieren in de onmiddellijke omgeving verwacht, maar geen verlagend effect op grote hoogwaters in de Rijn.

Gelet op het voorgaande is het niet noodzakelijk om in het kader van het Actieplan Hoogwater verdere modelberekeningen uit te voeren om de verlaging van de hoogwaterpieken in de Rijn als gevolg van herstelmaatregelen aan zijrivieren van de Rijn te bepalen.

### **Maatregelencategorie 1 b: Weer in gebruik nemen van overstromingsgebieden**

Strikt genomen is het weer in gebruik nemen van overstromingsgebieden een maatregel om natuurlijke waterlopen te herstellen. Daarom wordt hier eerst ingegaan op het effect van de retentie (NAEF et al., 1999):

Er zijn twee vormen van retentie: stromende retentie in de bedding en staande retentie in overstromingsgebieden. Retentie in de bedding heeft vooral effect bij korte hoogwaters met een hoge afvoerpiek (= klein afvoervolume) in vlakke rivieren met een bodemhelling van minder dan 1%. Overstroming van uiterwaarden kan een veel groter afzwakkend effect hebben op hoogwaterpieken dan retentie in de bedding. Stromende retentie in de uiterwaarden treedt op bij gesegmenteerde dwarsprofielen en ontstaat door een verschil tussen de stroomsnelheid in de hoofdgeul en de uiterwaard. Als gevolg van de kleinere waterdiepte en de verhoogde wrijving stroomt het water in de uiterwaard langzamer dan in de hoofdgeul. Als de golf in de uiterwaard dermate wordt vertraagd dat de uiterwaardgolf en de golf in de hoofdgeul elkaar aan het einde van het traject niet meer overlappen, resulteert dit in een significante demping van de golf. Als het verschil tussen de stroomsnelheden klein is moet hetzij het traject lang, hetzij het hoogwater kort zijn om een duidelijke verandering in de afvoergolven te bewerkstelligen. Bij een verschil tussen de snelheden van bijv. 1 m/s mag het hoogwater op een traject van 10 km niet langer duren dan drie uur, opdat de stromende retentie echt effect kan sorteren. Staande retentie treedt op als er water in de uiterwaard terechtkomt en daar wordt vastgehouden of met een verwaarloosbare snelheid stroomt. Bepalend voor het effect van de staande retentie is het tijdstip waarop de uiterwaard onderloopt. Als de capaciteit van de hoofdgeul zo klein is dat er al aan het begin van het hoogwater overstromingen plaatsvinden, zijn de reservoirs afhankelijk van hun grootte al voor de aankomst van de hoogwaterpiek vol, waardoor die niet meer wordt gedempt. Naast het begin van de overstromingen is ook de verhouding tussen het volume van het retentiegebied en het volume van het water dat naar de uiterwaard stroomt van belang. Als het retentievolume groter is dan het volume van het uitstromende water wordt de afvoerpiek duidelijk afgetopt.

Het weer in gebruik nemen van overstromingsgebieden aan de zijrivieren van de Rijn heeft voornamelijk betrekking op buitendijkse gronden. Deze gronden komen hoofdzakelijk voor aan de benedenloop van rivieren en soms ook aan de middenloop, als die tenminste een kleine bodemhelling heeft, zoals bijv. in de Lahn. De dijken zijn meestal meerdere kilometers lang, de beschermde gronden achter de dijk kunnen meerdere honderd meter breed zijn. Over het algemeen worden de dijken zeker niet volledig opgegeven. Voor een raming van het volume wordt er uitgegaan van de hypothese dat de dijk over 500 meter wordt teruggelegd, zodat er een extra retentiegebied ontstaat dat 100 meter breed en twee meter hoog is. Op die manier zou er 100.000 m<sup>3</sup> extra retentievolume worden gecreëerd. Als er wordt gesteld dat het gaat om min of meer staande retentie, dan wordt het water onttrokken aan de golf. Wordt dit volume (ten onrechte) alleen gerelateerd aan de piekafvoer dan resulteert hieruit bijvoorbeeld voor het hoogwater van december 1993 een verlaging van amper 10 cm op het dicht bij de monding gelegen meetpunt Grolsheim/Nahe. Omdat het bergingsproces echter begint op het moment dat de rivier buiten haar oevers treedt, is er bij het doorstromen van de piekafvoer geen sprake meer van een hoogwaterdempend effect. Bij afgaand water komt het geborgen volume weer tot afvoer, waardoor de golf wordt verhoogd. Hierdoor kan de afvoer in de Rijn licht stijgen. De piek van de hoogwatergolf ondervindt hier normaal gesproken echter geen effect. De ETH Zürich (1998) heeft voor een circa 10 km lang traject aan de middenloop van de Nahe waar de rivier aan weerskanten de mogelijkheid heeft om ongeveer 200 m buiten haar oevers te treden met

behulp van een tweedimensionaal stromingsmodel het effect berekend van de retentie in de uiterwaarden en de weerslag hiervan op de afvoer. Hierbij is er uitgegaan van de hoogwaters van december 1993 en januari 1995 (dit is het grootste hoogwater op dit traject van de Nahe waarover gegevens zijn). Om het effect van de overstroming van de uiterwaarden te kwantificeren, is er in de berekeningen aangenomen dat er dijken liggen in de onmiddellijke nabijheid van de rivier, zodat die niet meer buiten haar oevers kan treden. De zodoende verkregen afvoergolven zijn vergeleken met de historische golven. Als resultaat wordt vastgesteld dat er bij grote hoogwaters op dit traject van de Nahe niet kan worden uitgegaan van een noemenswaardige verlaging van de afvoer als gevolg van stromende retentie (op het meetpunt Grolsheim ging het om nul tot twee procent), alleen van een verschuiving van de golf met enkele uren. De afvoergolf kan naar verwachting alleen meer worden gedempt bij kleinere hoogwaters, die niet de kenmerken hebben van de hoogwaters van 1993 en 1995. Als de rivier buiten haar oevers treedt bij afvoeren rond de piek wordt de golf merkbaar afgevlakt.

Herwonnen overstromingsgebieden kunnen alleen een effect hebben op de piekafvoer in de Rijn als het gebied dat weer in gebruik kan worden genomen aan een zijrivier een aanzienlijk volume oplevert vergeleken met de bekeken hoogwatergolf of als de rivier pas buiten haar oevers treedt en het herwonnen gebied overstroomt kort voordat de piekafvoer wordt bereikt.

In het Actieplan wordt er aan het weer in gebruik nemen van overstromingsgebieden slechts een klein (piekverlagend) effect in de Rijn toegeschreven. Als er grotere overstromingsgebieden aan belangrijke zijrivieren van de Rijn weer in gebruik worden genomen, moet ernaar worden gestreefd het effect te berekenen.

### **Maatregelencategorie 1c: Extensivering van de landbouw / landbouwwormen die bevorderlijk zijn voor infiltratie**

Bijzondere landbouwmethodes, met name de overschakeling van ploegen naar mulchzaaien, kunnen het infiltratievermogen van landbouwgrond verhogen. Echter, hogere infiltratiepercentages leiden hier niet tot een evenredige verlaging van het hoogwater in rivieren, omdat een belangrijk deel van de hoogwaterafvoer wordt gevormd door snel reagerende ondergrondse afvoerprocessen (LEIBUNDGUT & UHLENBROOK 1997; PIK 2001).

De vorming van hoogwater in stroomgebieden die bijvoorbeeld worden gebruikt voor land- of bosbouw is het resultaat van een complexe overlapping van de meest uiteenlopende deelprocessen. Over de manier waarop deze afzonderlijke afvoervormende processen van micro- of mesoschalige stroomgebieden op grotere schaal interfereren en de gevallen neerslag naar rivieren afvoeren, is maar weinig bekend. Er kan geen kwantitatief betrouwbaar verband worden gelegd met de verschillende ondergrondse en eventueel bovengrondse afvoerwegen in het stroomgebied (PIK 2001). Dat betekent dat de bestaande simulatiemodellen het proces van het ontstaan van hoogwater niet nauwkeurig genoeg weergeven om de invloed van maatregelen in de landbouw met de nodige betrouwbaarheid te kwantificeren. Hier moet nader onderzoek naar worden gedaan, zowel om de processen beter te begrijpen alsook om de modeltechniek verder te ontwikkelen.

Gelet op het voorgaande kan de mogelijke bijdrage van extensivering in de landbouw aan de hoogwaterafvoer in de Rijn slechts kwalitatief worden ingeschat. Daarbij moeten de volgende opmerkingen worden gemaakt:

Terwijl extreem hoogwater in zeer kleine stroomgebieden meestal wordt gevormd door uiterst intensieve, relatief korte en lokale onweersbuien kan hoog hoogwater in de Rijn alleen ontstaan als er sprake is van overvloedige, aanhoudende en uitgestrekte neerslagvelden, eventueel nog aangevuld met de invloed van gelijktijdig smeltende sneeuw.

Het frontale neerslagtype, dat bepalend is voor hoogwater in de Rijn, brengt in onverharde stroomgebieden echter nagenoeg uitsluitend ondergronds gedomineerde afvoerprocessen teweeg (bijv. NIEHOFF & BRONSTERT 2002), waardoor een toename van het infiltratievermogen hier amper nog een dempend effect kan hebben op het hoogwater.

Het door het PIK verrichte onderzoek in het kader van het LAHoR-project (CHR 2003) laat zien dat zelfs op de schaal van kleine stroomgebieden, bijv. de Lein, "veranderde grond- en landgebruiksparementers als gevolg van mulchen slechts uiterst kleine effecten hebben op de hoogwatersituatie" (PIK 2001, p. 171-172), hoewel in het onderzochte scenario circa 23% van het oppervlak van het stroomgebied werd gemulchd. Daarom kan er uit de omvangrijke modelberekeningen in het kader van het LAHoR-project worden geconcludeerd dat infiltratiebevorderende landbouw op circa 1% van het oppervlak van het stroomgebied (doel van het Actieplan voor 2005) en op circa 2% van het totale oppervlak (doel voor 2020) geen bijdrage kan leveren aan de reductie van extreem hoogwater in het Rijngebied.

Ook in het Actieplan Hoogwater wordt er van landbouw die bevorderlijk is voor infiltratie slechts een beperkt hoogwaterverlagend effect in de onmiddellijke omgeving van kleinere rivieren verwacht, maar geen verlagend effect op grote hoogwaters in de Rijn.

Als slotsom kan daarom worden gesteld dat het niet noodzakelijk is om in het kader van het Actieplan Hoogwater modelberekeningen uit te voeren om de verlaging van de hoogwaterpieken in de Rijn als gevolg van infiltratiebevorderende landbouw te bepalen.

#### **Maatregelencategorie 1d: Natuurontwikkeling, herbebossing**

Een mogelijke maatregel om hoogwater te dempen bestaat in het veranderen van het grondgebruik van akker- of grasbouw in bosbouw.

De overstap naar natuurlijke ontwikkeling in bosgebieden en gemengde gebieden of de overgang naar natuurvriendelijk bosbeheer heeft naar verwachting voornamelijk een effect op afvoervormende processen. Echter, naar de correcte indeling en kwantificering van deze processen wordt nog onderzoek gedaan, waardoor de resultaten nu niet kunnen worden weergegeven (LEIBUNDGUT & UHLENBROOK 1997). Bos heeft een dempend effect op het volume en de piek van hoogwater als gevolg van de verhoogde transpiratie, de grote interceptie in de boomkruinen en de strooisellaag op de grond, het hoge infiltratievermogen van de grove poriën en de vaak hoge opslagcapaciteit van bosgrond (afspoeling komt in bosgebied zo goed als niet voor).

Het hoogwaterverlagende effect van bos is vaak aangetoond aan de hand van vergelijkend onderzoek in kleine, belendende gebieden met een duidelijk verschillend grondgebruik (MENDEL 2000). Het onderzoek naar de werking van herbebossing in stroomgebieden van gemiddelde tot grote omvang bestaat hoofdzakelijk uit modelstudies die zijn gebaseerd op een hypothetisch scenario "volledig ontbost of bebost gebied" en concepten die "effecten van bospercentages" bepalen. Alle geschatte effecten in de onderstaande tabel zijn uniform vertaald en omgerekend naar een toename van het aandeel bos (absolute percentages van het stroomgebied):



Onderzoek	Stroomgebied	Oppervlak [km <sup>2</sup> ]	Aandeel bos Werkelijke toestand [%]	Aandeel bos Scenario [%]	Piekreductie ( $\Delta Q$ ) [%]	$\Delta$ piek per $\Delta$ -% aandeel bos [%/%]	Gebeurtenis
LAHoR *	Nahe	4013	48	100	14	0,27	Dec 91
LAHoR*	Lippe	4783	21,5	100	29	0,37	Mei 83
LANG & TÖNSMANN (2002)	Lahn	5964	41,83	45,99	2,3	0,55	HQ100
MÜLLER (1987)	Dreisam	257	0	55	50	0,91	Mei 83
LAHoR (CHR, 2003)	Körsch	127	12	18	n.n.	n.n.	Dec 93
KOEHLER (1993)	Duits- Franse Bovenrijn/ Worms	68827	0	37	17	0,46	4 dagen
LAHoR*	Rijn/Worms	68827	37	100	7	0,11	1988
LAHoR*	Rijn/Worms	68827	37	100	20	0,32	1993

De relatieve afname van de hoogwaterpiekafvoer per procentuele toename van het aandeel bos in het stroomgebied ligt voor zijrivieren van de Rijn tussen 0,27 en 0,9% en voor het Rijngebied tot het meetpunt Worms tussen 0,11 en 0,45%. Echter, dergelijke uitspraken op basis van de hypothese van volledige bebossing of volledige ontbossing kunnen niet zinnig worden vertaald naar realistische veranderingen van het aandeel bos, temeer omdat de veranderde infiltratie in kleine percelen wellicht een eerder ondergeschikte rol speelt in het hoogwaterafvoerregime, gelet op het feit dat de andere randvoorwaarden onveranderd blijven. Voor de Lahn is bij een stijging van het aandeel bos van 41,8% naar 46% door rekening te houden met een beginverlies een piekreductie berekend van 2,3%. Voor de Körsch is er in een realistisch herbebossingsscenario van 12% naar 18% bosbedekking daarentegen geen duidelijke piekverlaging verkregen. De effecten in het Rijngebied tot bijv. het meetpunt Worms liggen tussen 0,11 en 0,45% piekafname per procent bostoenname. Uiteindelijk hangen de verkregen resultaten af van de gekozen methode om (op een vereenvoudigde manier) rekening te houden met de afvoervormende processen in bosgebied, aangezien het eigenlijke afvoervormende proces niet fysisch is afgebeeld in de modellen en nu niet tevredenstellend kan worden gemodelleerd.

In het Actieplan Hoogwater Rijn is er voor Zwitserland en Duitsland uitgegaan van natuurontwikkeling en aanvullende herbebossing op een totaal oppervlak van 1.600 km<sup>2</sup> voor 2020. Op het meetpunt Rees (159.300 km<sup>2</sup>) komt dit oppervlak overeen met een stijging van het aandeel bos in het stroomgebied van 1%. Het effect van deze maatregelen, die naar wordt aangenomen verspreid over het gebied worden genomen, kan niet doelmatig worden weergegeven in een model. Als er wordt uitgegaan van de (onzekere) orde van grootte van de procentuele piekreductie, die is afgeleid uit de bovenstaande tabel, komt men bijv. voor de Rijn uit op een maximale verlaging van de piekafvoer van ongeveer 0,1 tot 0,4%. Naast de positieve effecten die worden verwacht op lokaal niveau en op de ecologische kwaliteit kan er uit de gemaakte schatting tenminste worden geconcludeerd dat deze verlaging kan leiden tot een daling van de piekwaterstand van ongeveer 1 cm. Voor de maatregelenperiode tot 2005 is er in het Actieplan Hoogwater natuurontwikkeling en herbebossing gepland op 1.200 km<sup>2</sup>. Dat wil zeggen dat het verwachte effect op de piekreductie nog kleiner is. Om de bovengenoemde redenen is een evaluatie in modellen niet zinvol.

**Maatregelencategorie 1e: Weghalen van verhardingen**

Ongeveer 15% van het Rijngebied is bedekt met bebouwing en verkeersinfrastructuur (CHR 2003). Op circa 65% van deze gebieden vindt echter nog steeds infiltratie van regenwater plaats, bijvoorbeeld in stedelijke groenvoorzieningen. Dat betekent dat regen in het Rijngebied slechts op 5% verhard oppervlak valt en van deze 5% sijpelt een deel van de afvoer uiteindelijk toch weg, bijv. langs plattelandswegen. Er kan worden gesteld dat neerslag en smeltende sneeuw in minstens 95% van het Rijngebied op onverharde oppervlakken terecht komt.

Extreem hoogwater van bovenregionaal belang wordt daarom vrijwel uitsluitend beïnvloed door het afvoerregime in de onverharde zones. Omdat extreem hoogwater in de Rijn ontstaat na lange natte periodes en aanhoudende frontale neerslag zijn ook deze onverharde delen van het stroomgebied dan zo doordrenkt met water dat ze amper nog extra water kunnen bergen en daarom – net als verharde oppervlakken – hoge afvoercoëfficiënten vertonen.

De kwantificering van de effecten van ontharding op de hoogwaterafvoer benadert bij de huidige stand van de wetenschap en de techniek de grenzen van betrouwbare en verifieerbare hydrologische modeltoepassingen. Zeker naar het afvoergedrag in waterverzadigde natuurlijke gebieden moet er nog onderzoek worden gedaan. De beschikbare modellen geven deze hoogwaterrelevante processen slechts zeer vereenvoudigd weer.

Dat neemt niet weg dat ook onderzoeken waarin de processen eenvoudiger zijn afgebeeld duidelijk maken dat realistisch haalbare ontharding een verwaarloosbaar effect hebben op de hoogwaterafvoer in grote rivieren.

Zo is in het kader van het LAHoR-project onder andere de invloed onderzocht van verschillende vormen van landgebruik op de hoogwaterafvoer in het Rijngebied (CHR 2003). De bekeken grote winterhoogwaters in de Rijn ondervonden van de (fictieve) ontharding van een oppervlak van 2.500 km<sup>2</sup> in het Rijngebied (= doel van het Actieplan Hoogwater voor 2020) "min of meer geen invloed" (CHR 2003, p. 57). Puur rekenkundig leidden de in het Actieplan voor 2020 voorgenomen ontharding bij de onderzochte winterhoogwaters tot een hoogwaterdaling van circa 0 cm op het meetpunt Lobith (CHR 2003, tabel 6.8, vergelijking van de varianten D1 en D2 op het meetpunt Lobith). Het over alle onderzochte meetpunten en hoogwaters gemiddelde, rekenkundige effect van het geplande weghalen van verhardingen bedroeg 0,5 cm hoogwaterverlaging in 2020. De voor 2005 nagestreefde ontharding van 700 km<sup>2</sup> in het stroomgebied van het meetpunt Lobith levert dus wiskundig gezien een gemiddelde verlaging van de piekwaterstand in de Rijn op van 0,1 cm ten opzichte van de toestand zonder ontharding. Alle genoemde rekenresultaten liggen ver onder de technische onzekerheidsgrens van hydrologische modellen.

Uit het voorgaande kan worden opgemaakt dat ontharding in het stroomgebied van de Rijn geen relevante bijdrage levert aan de reductie van extreem hoogwater in het Rijngebied. Daarom is het niet nodig om in het kader van het Actieplan Hoogwater verdere modelberekeningen uit te voeren om de verlaging van de hoogwaterpieken in de Rijn als gevolg van ontharding te bepalen.

**Maatregelencategorie 1f: Technische retentievoorzieningen**

De aanleg van technische retentievoorzieningen, zoals hoogwaterretentiebekkens, is voor de lokale bescherming tegen overstromingen in principe een doeltreffende maatregel om hoogwater te verlagen.

Het effect van technische retentievoorzieningen op piekafvoeren hangt sterk af van de hoogte van de piekwaterstand en de vorm van de afvoergolf van het bekeken hoogwater. De mate waarin de piekafvoer kan worden verlaagd, wordt ook bepaald door de omvang van de polder in vergelijking met het piekvolume van de hoogwaterafvoergolf. Retentiepolders hebben een optimaal effect als het poldervolume precies in het bovenste

topvolume (piek) wordt onttrokken aan de hoogwatergolf. Daarom moet het beschermingsdoel bij het inzetten van retentiemaatregelen goed worden gedefinieerd en door bouwkundige maatregelen, bijv. de vorm van de in- en uitlaatconstructies of sturingssystemen, moet ervoor worden gezorgd dat dit doel ook echt kan worden bereikt (Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater 2004).

Een retentiebekken kan, afhankelijk van sturingsparameters (tijdstip van het vullen, duur van het openen, enz.), voor slechts ongeveer 80-90% daadwerkelijk worden benut voor piekverlaging, ook als de golfvorm bekend is. Bij een operationele inzet op basis van een voorspelling daalt het percentage van het retentievolume dat wordt gebruikt voor piekverlaging in het gunstigste geval tot 40-60%. Daarom is het slechts tot op zekere hoogte geoorloofd om het beschikbare of geplande retentievolume op de piek van een golf te projecteren om het hoogwaterverlagende effect in te schatten.

Hoogwaterretentiebekken hebben vooral benedenstrooms een effect. Bovendien schuift de piek minimaal naar achteren en in de val van de hoogwatergolf zijn de afvoeren iets hoger (Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater 2004). Daardoor is het mogelijk dat de situatie in de hoofdstroom verergert als de situatie benedenstrooms van retentiegebieden aan een zijrivier verbetert. Dit kan gebeuren als de hogere afvoeren tijdens de val van de hoogwatergolf in de zijrivier en de piek in het ontvangende water samenkomen.

Als er een noemenswaardig volume uit de hoogwatergolf in retentiegebieden stroomt, kan de verandering van het hydraulische verval ook stroomopwaarts effect sorteren.

Technische retentiemaatregelen kunnen zeker een meer dan lokaal effect hebben, dat stroomafwaarts echter duidelijk afneemt. KOEHLER (1993) komt na verschillende onderzoeken tot de slotsom "dat hoogwaterafvoeren in de Rijn in realistische omstandigheden niet effectief kunnen worden verlaagd door retentiegebieden aan de zijrivieren". De reden hiervoor is de afwezigheid van de nodige, zeer grote opslagvolumes die bovendien tegen de lokale belangen in zouden moeten worden gestuurd.

In het kader van het Lahn-onderzoek (LANG & TÖNSMANN 2002) zijn er onder andere retentiegebieden in zijdalen bestudeerd. In het model is een simulatie uitgevoerd voor in totaal 47 fictieve hoogwaterretentiebekken op de overgang van de middenloop naar de benedenloop van de rivier met een totaal volume van 13 tot 19 miljoen m<sup>3</sup>. De regelafvoer werd vastgesteld op een bereik tussen HQ<sub>2</sub> en HQ<sub>50</sub>. De grootste piekverlagingen werden vanaf een HQ<sub>10</sub> direct onder de maatregelen bereikt en gingen tot 17%. In de loop van de rivier neemt het effect echter snel af en als gevolg van ongunstige overlapping met de golf in de Lahn komt het soms tot kleine verhogingen van de piek in de Lahn zelf met ca. 1%.

In het Lahn-onderzoek zijn er acht beschermingsmaatregelen tegen overstromingen uitgevoerd. Hun effect werd vergeleken met de oorspronkelijke toestand. Bij de maatregelen gaat het om het aanleggen, aansluiten of activeren van retentiegebieden in de uiterwaarden van de Lahn of aan grote zijrivieren met een retentievolume van in totaal 1,2 miljoen m<sup>3</sup>, overwegend in het bovenste derdedeel van het stroomgebied van de Lahn. Met deze maatregelen werd er bij een HQ<sub>100</sub> in de middenloop van de Lahn een reductie van de piekafvoer van 4% bereikt. Aan de monding van de Lahn schiet hier nog ongeveer 2,3 % van over. Echter, ook hier hangt het bovenlokale effect vooral af van de overlapping van deelgolven, wat betekent dat het effect bij een hoogwater dat anders is ontstaan veel kleiner kan zijn.

Het onderzoek van het effect op de Rijn van voorgestelde beschermingsmaatregelen tegen overstromingen in het Lahng gebied (maatregelen in het stroomgebied, de rivier en de uiterwaarden en retentiemaatregelen voor een verlaging van de piekafvoer aan de monding van de Lahn met ongeveer 12% bij HQ<sub>100</sub>) heeft uitgewezen dat de effecten van de afvoerverlaging zich in de regel voordoen tijdens de stijging van de golf in de Rijn en dat het effect op de piekwaterstand zelf eerder gering uitvalt.

Omdat grotere technische retentiemaatregelen in het stroomgebied een (zij het beperkt) effect kunnen hebben op de hoogwaterpieken in de Rijn moet er in bepaalde gevallen zo mogelijk mee rekening worden gehouden in het kader van de HVAL-analyses.

- Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater (2004): Projectstudie "Grensoverschrijdende effecten van extreem hoogwater op de Niederrhein".
- ETH – Zürich (1998): Die Wirkung der Retention auf den Abfluss der Nahe bei extremen Hochwassern. Rapport nr. A 006, Zürich.
- ICBR (1998): Actieplan Hoogwater. Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn. 30 pagina's, Koblenz.
- ICBR (1999): Evaluatie van het effect van waterretentie in het stroomgebied van de Rijn. 39 pagina's, Koblenz.
- CHR (2003): Internationale Commissie voor de Hydrologie van het Rijnstroomgebied, rapport nr. II-18: LAHOR - Quantifizierung des Einflusses der Landoberfläche und der Ausbaumaßnahmen am Gewässer auf die Hochwasserbedingungen im Rheingebiet. 77 pagina's en cd-rom.
- KOEHLER, G. (1993): Auswirkungen verschiedener anthropogener Veränderungen auf die Hochwasserabflüsse im Oberrheingebiet. Materialien zum Hochwasserschutz am Rhein, volume 4, 113 p. en bijlagen, Ministerium für Umwelt Rheinland-Pfalz, Mainz.
- LANG, T. UND TÖNSMANN, F. (2002): Vorbeugender Hochwasserschutz im Einzugsgebiet der hessischen Lahn. Deel 1 Samenvattend rapport – handboek – 278 pagina's plus bijlage, Kassel.
- LEIBUNDGUT, CH. & UHLENBROOK, S. (1997): Abflussbildung bei Hochwasser. Materialien zum Hochwasserschutz am Rhein, volume 5, 81 pagina's, Ministerium für Umwelt und Forsten, Rheinland-Pfalz, Mainz.
- LEICHTFUSS, A. UND KIVUMBI, D. (1995): Quantifizierung von Vermeidungs- und Ausgleichsmaßnahmen. Technische Hochschule Darmstadt, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, 46 pagina's plus bijlage.
- MARENBACH, B. (2002): Der Beitrag naturnaher Retentionsmaßnahmen in den Talauen zur Hochwasserdämpfung. Bericht 13 Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft, Universität Kaiserslautern. 183 pagina's.
- MENDEL, H. G. (2000): Elemente des Wasserkreislaufs - eine kommentierte Bibliographie zur Abflussbildung. 244 pagina's, uitg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Analytica Berlijn.
- MINISTERIUM FÜR UMWELT RHEINLAND-PFALZ (1993): Hochwasserstudien­gruppe für die Rheinstrecke Kaub – Rolandswerth; Der Einfluss des Oberrheinausbaus und der am Oberrhein vorgesehenen Retentionsmaßnahmen für die Hochwasser am Mittelrhein von Kaub bis Köln. Materialien zum Hochwasserschutz am Rhein, volume 3, 74 pagina's plus bijlage, Mainz.
- MÜLLER, N. (1987): Wie stark beeinflussen Umweltveränderungen den Hochwasserabfluß? Diplomarbeit am Institut für Geographie der Universität Freiburg.
- NAEF, F.; KULL, D. UND THOMA, C. (1999): Retentionswirkung von Vorlandüberflutungen. 40 pagina's, Zürich.
- NIEHOFF, D. & BRONSTERT, A. (2002): Landnutzung und Hochwasserentstehung: Modellierung anhand dreier mesoskaliger Einzugsgebiete. Wasser & Boden, 54/10, p. 20 - 28.
- PIK (2001): Quantifizierung des Einflusses der Landnutzung und -bedeckung auf den Hochwasserabfluss in Flussgebieten. Final report des Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung.

**Bijlage 2: Basisinformatie over de werking van retentiemaatregelen**

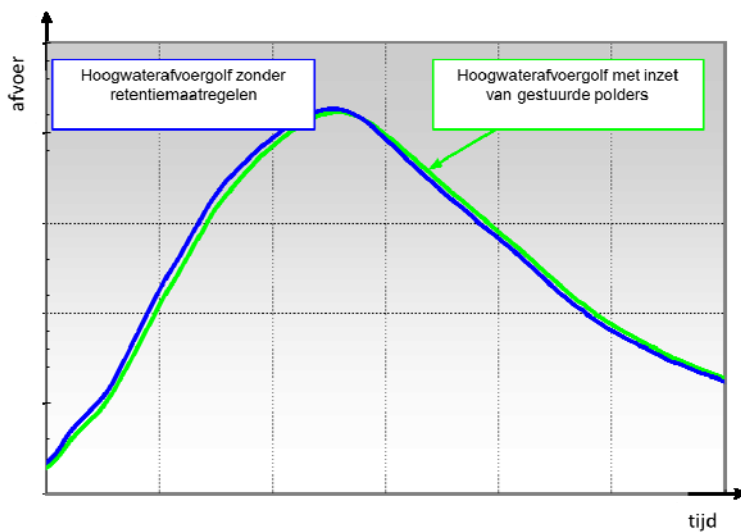
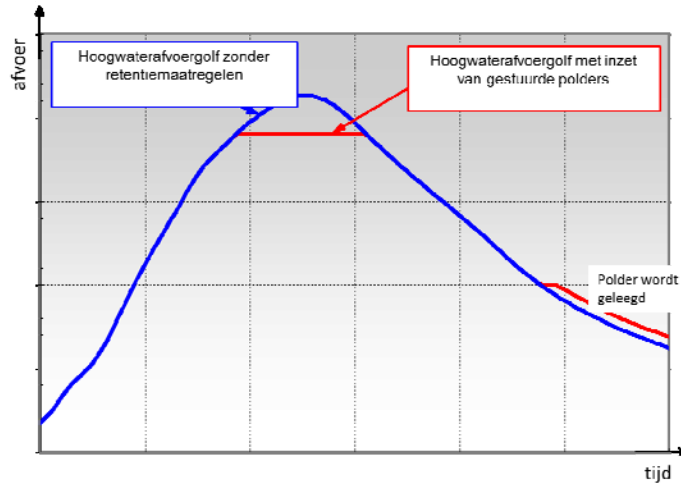
Retentiemaatregelen worden getroffen om het overstromingsgebied van een rivier te vergroten. Er wordt onderscheiden tussen gestuurde en ongestuurde retentiemaatregelen.

**Gestuurde retentiemaatregelen**, zoals polders, worden pas onder water gezet als er kritische waterstanden

worden overschreden. Wanneer de maatregel op de juiste manier wordt ingezet, kan het beschikbare retentievolume doelgericht worden gebruikt om de hoogwaterpiek af te toppen. Dan wordt er lokaal en tot 100 km verder stroomafwaarts een daling van de afvoer en daardoor ook een verlaging van de waterstand bereikt.

Bovenstrooms wordt er over een kort traject een

waterstanddaling vastgesteld. Het beschikbare volume kan efficiënt worden ingezet door bij de sturing van het vullen en legen van polders rekening te houden met

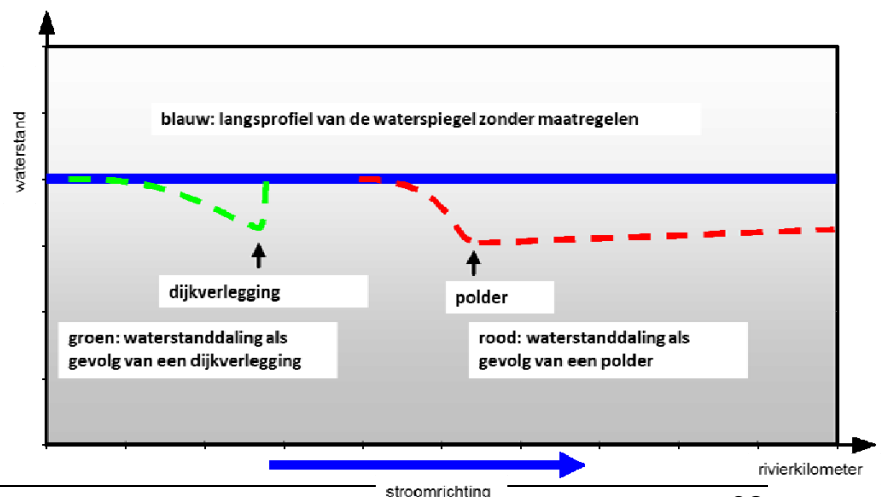


hoogwaterverwachtingen. Bij kleinere, ongevaarlijke hoogwaters laat men de meeste polders onderlopen om de ecologische kwaliteit van de uiterwaarden te verbeteren; de polders hebben dan hetzelfde effect als een dijkverlegging (zie hieronder).

**Ongestuurde retentiemaatregelen**, zoals dijkverleggingen, komen onder water te staan zodra het waterpeil begint te stijgen. Het retentiegebied loopt gedurende de hele

aanloopfase van de hoogwatergolf vol en is dientengevolge al bijna volledig ondergelopen wanneer de piek wordt bereikt. De vermindering van de piekafvoer is daarom gering.

Dijkverleggingen veroorzaken dus in de eerste plaats een vertraging van de afvoergolf. Echter, aangezien ongestuurde retentiemaatregelen over het algemeen gepaard gaan met een verbreding van het stroomvoerend profiel wordt bij dezelfde afvoer toch een verlaging van de waterstand bereikt. Deze waterstanddaling kan zowel

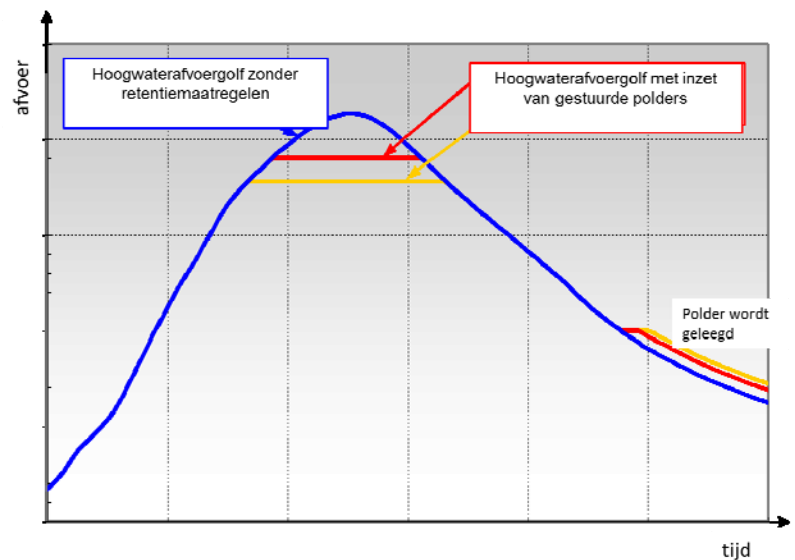


worden vastgesteld op de plaats waar de maatregel wordt genomen als stroomopwaarts van de maatregel, waarbij geldt: hoe verder weg, hoe kleiner het effect. De reductie is merkbaar gedurende het hele verloop van de hoogwatergolf vanaf het moment dat de retentiemaatregel begint in te stromen.

Het langspiegel in de figuur hierboven laat het verschillende waterstandverlagende effect zien van dijkverleggingen en polders.

Een verdubbeling van het ingezette retentievolume leidt geenszins tot een verdubbeling van de afvoervermindering. In het voorbeeld rechts leidt een toename van het gebruikte poldervolume van 100% "slechts" tot een extra afvoerreductie van circa 50% (zie rode en oranje lijn).

De reden hiervoor is dat de hoogwatergolf richting lagere afvoeren steeds "breder" wordt, wat resulteert in een buitenproportionele stijging van het te bergen hoogwatervolume (volume = afvoer x duur).



De haalbare afvoervermindering hangt bij alle retentiemaatregelen af van het verloop van het hoogwater (duur, volume en piekwaterstand van het hoogwater).

**Bijlage 3: Hoogwatergebeurtenissen en simulatieperiodes**

Hoogwatergebeurtenis	Simulatieperiode	
	Rekentraject Bazel – Worms	Rekentraject Worms – Noordzee
HW 1882/1883	26/12/1882 – 10/01/1883	26/12/1882 – 12/01/1883
HW 1918/1919	22/12/1918 – 05/01/1919	22/12/1918 – 14/01/1919
HW 1919/1920	22/12/1919 – 06/01/1920	22/12/1919 – 08/01/1920
HW 1925/1926	26/12/1925 – 09/01/1926	26/12/1925 – 09/01/1926
HW 01 1955	11/01/1955 – 26/01/1955	11/01/1955 – 26/01/1955
HW 02 1957	24/02/1957 – 11/03/1957	24/02/1957 – 11/03/1957
HW 02/03 1970	20/02/1970 – 07/03/1970	20/02/1970 – 07/03/1970
HW 05 1978	22/05/1978 – 04/06/1978	22/05/1978 – 04/06/1978
HW 02 1980	02/02/1980 – 15/02/1980	02/02/1980 – 15/02/1980
HW 04 1983	05/04/1983 – 16/04/1983	05/04/1983 – 21/04/1983
HW 05 1983	21/05/1983 – 01/06/1983	21/05/1983 – 04/06/1983
HW 03 1988	10/03/1988 – 29/03/1988	10/03/1988 – 05/04/1988
HW 12 1993	15/12/1993 – 30/12/1993	15/12/1993 – 01/01/1994
HW 01 1995	21/01/1995 – 05/02/1995	21/01/1995 – 07/02/1995
HW 10 1998	23/10/1998 – 11/11/1998	23/10/1998 – 11/11/1998
HW 02 1999	17/02/1999 – 04/03/1999	17/02/1999 – 05/03/1999
HW 05 1999	10/05/1999 – 29/05/1999	10/05/1999 – 29/05/1999
HW 01 2003	31/12/2002 – 15/01/2003	31/12/2002 – 15/01/2003

## Bijlage 4a: Gegevensbasis voor de geselecteerde historische hoogwatergebeurtenissen van Bazel tot Lobith

Overzicht van de afvoergegevens van historische hoogwaters in de Rijn die zijn gebruikt om de HVAL-modelhoogwaters te genereren.												
Stand: 28 juli 2010 Gegevensbasis per gebeurtenis: discretisatie-interval (u), leverancier van de gegevens, bron van de gegevens												
Hoogwatergebeurtenis zijrivier/station	Stroomgebied	Houder van de gegevens (contactpersoon van de EG HVAL)	HW 1882/ 1883	HW 1918/1919	HW 1919/1920	HW 1925/1926	HW 01 1955	HW 02 1957	HW 02/03 1970	HW 05 1978	HW 02 1980	
Bazel <sup>1)</sup>	Rijn	BAFU / LUBW	2u, LUBW, B, D	2u, LUBW, B, D	2u, LUBW, B, D	2u, BfG, D	2u, LUBW, B, D	2u, LUBW, B, D	2u, LUBW, B, D	2u, LUBW, D	2u, LUBW, D	
Lörrach Bazel	Wiese	LUBW BAFU	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, BfG, D	1u, BAFU, A	1u, BAFU, A	1u, BAFU, A	1u, BAFU, A	1u, BAFU, A	
Riegel	Leopoldkanaal	LUBW	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, BfG, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	2u, LUBW, C	1u, LUBW, D	
Brug van Gerstheim	Afvoerkanaal van de Ill	LUBW	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, BfG, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	2u, LUBW, C	2u, LUBW, C	
Schwaibach	Kinzig	LUBW	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, BfG, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	1u, LUBW, D	1u, LUBW, D	
Chasseur Froid	Ill	LUBW	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, BfG, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	2u, LUBW, C	2u, LUBW, C	
Kappelrodeck / Oberkirch <sup>2)</sup>	Ach/Rench	LUBW	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, BfG, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	2u, LUBW, C	2u, LUBW, C	
Schweighouse Schweighouse / Hoerd	Moder Moder/Zorn	LUBW LUBW			12u, LUBW, B, D			12u, LUBW, B, D	12u, LUBW, B, D	2u, LUBW, C	2u, LUBW, C	
Rotenfels	Murg	LUBW	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, BfG, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	2u, LUBW, C	1u, LUBW, C	
Beinheim Beinheim / Niederroedern	Sauer Sauer / Seltzbach	LUBW LUBW										
Maxau	Rijn	BfG	6u, BfG, B, D	6u, BfG, B, D	6u, BfG, B, D	6u, BfG, D	8u, BfG, B, D	8u, BfG, B, D	8u, BfG, B, D	2u, LUBW, C	2u, LUBW, C	
Heidelberg Monding	Neckar	LUBW LUBW	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, BfG, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	6u, LUBW, B, D	2u, LUBW, C	2u, LUBW, C	
Worms	Rijn	BfG	6u, BfG, B, D	6u, BfG, B, D	6u, BfG, B, D	6u, BfG, B, D	6u, BfG, B, D	6u, BfG, B, D	6u, BfG, B, D	2u, LUBW, C	2u, LUBW, C	
Lorsch	Weschnitz	HLUG							24u, ULUG, D	24u, ULUG, D	24u, ULUG, D	
Eberstadt	Modau	HLUG							24u, ULUG, D	24u, ULUG, D	24u, ULUG, D	
Raunheim Gr/ Steinheim	Main	BfG LUWG	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, C	6u, LUWG, C	
Mainz	Rijn	BfG	6u, LUWG, B		6u, LUWG, B	24u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	12u, LUWG, C	6u, LUWG, C	
Grolsheim	Nahe	LUWG			1u, LUWG, B	1u, LUWG, B	1u, LUWG, B	1u, LUWG, B	1u, LUWG, B	1u, LUWG, C	1u, LUWG, C	
Pffantentahl	Wisper	HLUG							24u, ULUG, D	24u, ULUG, D	24u, ULUG, D	
Kaub	Rijn	BfG	6u, LUWG, B	12u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	24u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, C	6u, LUWG, C	
Kalkofen	Lahn	BfG	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, C	6u, LUWG, C	
Cochern	Moezel	BfG	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, C	6u, LUWG, C	
Nettegut	Nette	LUWG					1u, LUWG, B	1u, LUWG, B	1u, LUWG, B	1u, LUWG, C	1u, LUWG, C	
Friedrichsthal	Wied	LUWG								1u, LUWG, C	1u, LUWG, C	
Andernach	Rijn	BfG	24u, BfG, B	1u, BfG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	12u, LUWG, B	6u, LUWG, C	6u, LUWG, C
Reimerzhofen Altenahr	Ahr	LUWG LUWG					1u, LUWG, B	1u, LUWG, B	1u, LUWG, B	1u, LUWG, C	1u, LUWG, C	
Menden I Boisdorf 3) Kaldauen 4)	Sieg	LANUV (LANUV) LANUV	24u, LUWG, B (slechts 1 waarde)	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B				1u, BfG, D	1u, BfG, D	1u, BfG, G	
Keulen	Rijn	BfG	24u, BfG, B	24u, BfG, G	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, B	6u, LUWG, C	6u, LUWG, C	
Opladen	Wupper	LANUV					Tijdwaarde, BfG, G	Tijdwaarde, BfG, G	Tijdwaarde, BfG, G	12u, BfG, G	Tijdwaarde, BfG, G	
Neubrück	Erf	LANUV					Tijdwaarde, BfG, G	Tijdwaarde, BfG, G	Tijdwaarde, BfG, G	Tijdwaarde, BfG, G	Tijdwaarde, BfG, G	
Düsseldorf	Rijn	BfG	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	
Hattingen Blankenstein	Ruhr	Ruhrverband (LANUV) (LANUV)		24u, BfG, G	24u, BfG, G	24u, BfG, G	24u, BfG, G	24u, BfG, G	6u, BfG, G	6u, BfG, G	Tijdwaarde, BfG, G	
Ruhrort	Rijn	BfG		24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	
Königsstraße Buschhausen	Emscher	Emschergenossenschaft Emschergenossenschaft		Tijdwaarde, BfG, G	Tijdwaarde, BfG, G	Tijdwaarde, BfG, G	0/25u, BfG, G	0/25u, BfG, G	0/25u, BfG, G	Tijdwaarde, BfG, G	Tijdwaarde, BfG, G	
Weesel	Rijn	BfG		24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	
Schermbeck Krudenburg	Lippe	LANUV (LANUV)		24u, BfG, G	24u, BfG, G	24u, BfG, G	24u, BfG, G	24u, BfG, G	6u, BfG, G	6u, BfG, G	Tijdwaarde, BfG, D	
Rees	Rijn	BfG	24u, BfG, B	24u, BfG, G	24u, BfG, G	24u, BfG, G	24u, BfG, G	24u, BfG, G	24u, BfG, G	24u, BfG, G	24u, BfG, G	
Emmerik	Rijn	BfG		24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	24u, BfG, D	
Lobith	Rijn	WD	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	



Overzicht van de afvoergegevens van historische hoogwaters in de Rijn die zijn gebruikt om de HVAL-modelhoogwaters te genereren.											
Stand: 28 juli 2010 Gegevensbasis per gebeurtenis; discretisatie-interval (u), leverancier van de gegevens, bron van de gegevens											
Hoogwatergebeurtenis zijrivierstation	Stroomgebied	Houder van de gegevens (contactpersoon van de EG HVAL)	HW 04 1983	HW 05 1983	HW 03 1988	HW 12 1993	HW 01 1995	HW 10 1998	HW 02 1999	HW 05 1999	HW 01 2003
Bazel <sup>1)</sup>	Rijn	BAFU / LUBW	2u, LUBW, D	2u, LUBW, D	6u, LUBW, D	1u, LUBW, D	1u, BAUF, A	1u, BAUF, A	1u, BAUF, A	1u, BAUF, A	1u, BAUF, A
Lörrach	Wiese	LUBW									
Bazel		BAFU	1u, BAUF, A	1u, BAUF, A	1u, BAUF, A	1u, BAUF, A	1u, BAUF, A	1u, BAUF, A	1u, BAUF, A	1u, BAUF, A	1u, BAUF, A
Riegel	Leopoldkanaal	LUBW	1u, LUBW, D	1u, LUBW, C	2u, LUBW, C	1u, LUBW, D	2u, LUBW, D	1u, LUBW, D	2u, LUBW, D	2u, LUBW, D	1u, LUBW, D
Brug van Gerstheim	Afvoerkanaal van de Ill	LUBW	4u, LUBW, C	4u, LUBW, C	2u, LUBW, C	1u, EDF	1u, LUBW, D	1u, LUBW, D	1u, EDF	1u, LUBW, D	1u, LUBW, D
Schwaibach	Kinzig	LUBW	1u, LUBW, D	2u, LUBW, D	2u, LUBW, C	1u, LUBW, D	1u, LUBW, D	1u, LUBW, D	1u, LUBW, D	1u, LUBW, D	1u, LUBW, D
Chasseur Froid	Ill	LUBW	4u, LUBW, C	4u, LUBW, C	2u, LUBW, C	1u, LUBW, D <sup>1)</sup>	1u, LUBW, D	1u, SNS, D	1u, LUBW, D	1u, LUBW, D	1u, SNS, D
Kappelrodeck / Oberkirch <sup>2)</sup>	Ach/Rench	LUBW	2u, LUBW, C	2u, LUBW, C	2u, LUBW, C	1u, LUBW, D	2u, LUBW, D	1u, LUBW, D	2u, LUBW, D	2u, LUBW, D	1u, LUBW, D
Schweighouse	Moder	LUBW					2u, LUBW, D	1u, SNS, D			1u, SNS, D
Schweighouse / Hoerdt	Moder/Zorn	LUBW	6u, LUBW, C	6u, LUBW, C	2u, LUBW, C	1u, LUBW, D			2u, LUBW, D	2u, LUBW, D	
Rotenfels	Murg	LUBW	2u, LUBW, C	2u, LUBW, C	2u, LUBW, C	1u, LUBW, D	2u, LUBW, D	1u, LUBW, D	2u, LUBW, D	1u, LUBW, D	1u, LUBW, D
Beinheim	Sauer	LUBW	6u, LUBW, C	2u, LUBW, C		1u, LUBW/SNS, D	2u, LUBW, D	1u, SNS, D		1u, SNS, D	1u, SNS, D
Beinheim / Niederroedern	Sauer / Seltzbach	LUBW							2u, LUBW, D		
Maxau	Rhein	BFG	2u, BFG, D	2u, BFG, D	6u, LUBW, D	1u, BFG, D	1u, BFG, D	1u, BFG, D	1u, BFG, D	1u, BFG, D	1u, BFG, D
Heidelberg	Neckar	LUBW	1u, LUBW, C	1u, LUBW, C	1u, LUBW, C	1u, LUBW, D	1u, LUBW, D	1u, LUBW, D	1u, LUBW, D	1u, LUBW, D	1u, LUBW, D
Monding		LUBW									
Worms	Rijn	BFG	1u, WSD, D	1u, WSD, D	1u, WSD, D	1u, WSD, D	1u, WSD, D	1u, WSD, D	1u, WSD, D	1u, WSD, D	1u, WSD, D
Lorsch	Weschnitz	HLUG	24u, ULUG, D	24u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D
Eberstadt	Modau	HLUG	24u, ULUG, D	24u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D
Raunheim	Main	BFG	6u, LUWG, C	6u, LUWG, C	6u, LUWG, C	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, LUWG, D	1u, BFG, E	1u, LUWG, D	1u, LUWG, D
Gr/ Steinheim		LUWG									
Mainz	Rijn	BFG	6u, LUWG, C	6u, LUWG, C	6u, LUWG, C	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, LUWG, D	1u, LUWG, D	1u, LUWG, D
Grolsheim	Nahe	LUWG	1u, LUWG, C	1u, LUWG, C	1u, LUWG, C	1u, LUWG, D	1u, LUWG, D	1u, LUWG, D	1u, BFG, E	1u, LUWG, D	1u, LUWG, D
Pfaffentahl	Wisper	HLUG	24u, ULUG, D	24u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D	0/25u, ULUG, D
Kaub	Rijn	BFG	6u, LUWG, C	6u, LUWG, C	6u, LUWG, C	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, LUWG, D	1u, LUWG, D
Kalkofen	Lahn	BFG	6u, LUWG, C	6u, LUWG, C	6u, LUWG, C	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, LUWG, D	1u, BFG, E
Cochem	Moezel	BFG	6u, LUWG, C	6u, LUWG, C	1u, LUWG, C	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, LUWG, D
Nettegut	Nette	LUWG	1u, LUWG, C	1u, LUWG, C	1u, LUWG, C	1u, LUWG, D	1u, LUWG, D	1u, LUWG, D	1u, LUWG, D	1u, LUWG, D	1u, LUWG, D
Friedrichsthal	Wied	LUWG	1u, LUWG, C	1u, LUWG, C	1u, LUWG, C	1u, LUWG, D	1u, LUWG, D	1u, LUWG, D	1u, LUWG, D	1u, LUWG, D	1u, LUWG, D
Andernach	Rijn	BFG	1u, BFG, G	1u, BFG, G	1u, BFG, G	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, LUWG, D	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E
Reimerzhofen	Ahr	LUWG	1u, LUWG, C	1u, LUWG, C	1u, LUWG, C						
Altenahr		LUWG				1u, LUWG, D	1u, LUWG, D	1u, LUWG, D	1u, LUWG, B	1u, LUWG, D	1u, LUWG, D
Menden I	Sieg	LANUV	1u, BFG, G	1u, BFG, G	1u, BFG, G	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, LUWG, D	Tijdwaardee, LUWG, D	1u, BFG, E	1u, LUWG, D
Boisdorf 3)		(LANUV)									
Kaldauen 4)		LANUV									
Keulen	Rijn	BFG	6u, LUWG, C	6u, LUWG, C	6u, LUWG, C	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E
Opladen	Wupper	LANUV	Tijdwaarde, BFG, G	Tijdwaarde, BFG, G	1u, BFG, G	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E
Neubrücke	Erf	LANUV	Tijdwaarde, BFG, G	Tijdwaarde, BFG, G	Tijdwaarde, BFG, G	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E
Düsseldorf	Rijn	BFG	24u, BFG, D	24u, BFG, D	24u, BFG, D	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E
Hattingen	Ruhr	Ruhrverband (LANUV)	1u, BFG, G	1u, BFG, G	1u, BFG, G	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E
Blankenstein		(LANUV)									
Ruhrort	Rijn	BFG	24u, BFG, D	24u, BFG, D	24u, BFG, D	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E
Königsstraße	Emscher	Emschergenossenschaft (LANUV)	Tijdwaarde, BFG, G	Tijdwaarde, BFG, G	Tijdwaarde, BFG, G	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E
Buschhausen		Emschergenossenschaft (LANUV)									
Wesel	Rijn	BFG	24u, BFG, D	24u, BFG, D	24u, BFG, D	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E
Schermbeck	Lippe	LANUV	Tijdwaarde, BFG, G	Tijdwaarde, BFG, G	Tijdwaarde, BFG, G	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E
Krudenburg		(LANUV)									
Rees	Rijn	BFG	24u, BFG, G	24u, BFG, G	24u, BFG, G	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E
Emmerik	Rijn	BFG	24u, BFG, D	24u, BFG, D	24u, BFG, D	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E
Lobith	Rijn	WD	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E	1u, BFG, E

Legenda:

BAFU (Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Umwelt, Abteilung Hydrologie); bron: Edith Ossenbrüg, 3003 Bern, tel.: +41 31 3220768, e-mail: edith.ossenbrueg@edf.admin.ch  
 LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg); bron: Manfred Bremicker, postbus 10 01 63, D-76231 Karlsruhe, tel.: 0721/5600-1386, e-mail: Manfred.Bremicker@lubw.bwl.de  
 LUWG (Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz); bron: Barbara Plonka, Abteilung 7, Referat 721, Kaiser-Friedrich-Strasse 7, 55116 Mainz, tel.: 0631/6933-1727, e-mail: barbara.plonka@luwg.de  
 HLUG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie); bron: Gerhard Brahmmer, Rheingaustr. 186, 65203 Wiesbaden, tel.: +49 (0)611-4939-737, e-mail: Gerhard.Brahmmer@hlug.hessen.de  
 LANUV (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen); bron: Bernd Mehlig, Fachbereich 53, Auf dem Draap 25, 40221 Düsseldorf, tel.: 0211/590-2214, e-mail: Bernd.Mehlig@lanuv.nrw.de  
 WD (Rijkswaterstaat Waterdienst); bron: Rita Lammersen, Rijkswaterstaat Waterdienst, Afdeling Onderhoud Hoogwaterscherming, Postbus 17, 8200 AA Lelystad, tel.: 0031-(0)6-51923811, e-mail: Rita.Lammersen@rws.nl  
 BFG (Bundesanstalt für Gewässerkunde); bron: Referat M1/M2 Matthias Hammer, Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz, tel.: +490261-1306-5384, e-mail: hammer@bafg.de

A BAFU-gegevensbank DAMAST  
 B Commissie voor hoogwateronderzoek aan de Rijn (DE, CH, AT, FL), 1978  
 C Duits-Franse werkgroep "Evaluatie van het effect van maatregelen in de Duits-Franse Rijnoverloop"  
 LUBW; BFG; WSD SW; LUWG; HLUG; SNS; Hydrologische aarboeken, oeverenbanken  
 Mens, Wests and Ognik "Water balance Maxau-Rhine branches" 2006  
 F Waterdienst gegevensbank DONAR; HW 1882/1883 alleen W uit DONAR, 0 bepaald door Waterdienst  
 G Homogenisatieproject (BFG-RIZA 1998-1999)

1) Tot HW 1993 werd de afvoer in Bazel op drie verschillende locaties gemeten, vanaf HW 1995 op het meetpunt Rheinhalde  
 2) Vanaf HW 1925/1926 werd er voor de Rench gebruik gemaakt van het meetpunt Ramsbach  
 3) Totaal van Boisdorf (Sieg) en Lohmar (Ager)  
 4) Meetpunt Colmar  
 Geen gegevens

### Bijlage 4b: Gegevensbasis voor de geselecteerde historische hoogwatergebeurtenissen in de Rijndelta

			Overzicht van de afvoergegevens van historische hoogwaters in de Rijn die zijn gebruikt om de HVAL-modelhoogwaters te genereren																		
			Gegevensbasis per gebeurtenis: discretisatie-interval (u), leverancier van de gegevens, bron van de gegevens																		
Zijrivier/ station	Stroom- gebied	Houder van de gegevens (contactpersoon van de EG HVAL)	HW 1882/ 1883	HW 1918/ 1919	HW 1919/ 1920	HW 1925/ 1926	HW 01 1955	HW 02 1957	HW 02/03 1970	HW 05 1978	HW 02 1980	HW 04 1983	HW 05 1983	HW 03 1988	HW 12 1993	HW 01 1995	HW 10 1998	HW 02 1999	HW 05 1999	HW 01 2003	
de Pol	Oude IJssel	WD	1u	1u	1u	1u	1u	1u	1u	1u	1u	1u	1u	1u	1u, WD, G	1u, WD, G	1u, WD, G	1u, WD, G	1u, WD, G	1u, WD, G	1u, WD, G
Eefde	Twente- kanaal	WD	1u	1u	1u	1u	1u	1u	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F
Lith	Maas	WD	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F	24u, WD, F
			= Geen gegevens beschikbaar, gegevens afgeleid van de afvoeren in Lobith die de BfG heeft berekend met behulp van SOBEK																		
			F = Gegevensbank DONAR van de Waterdienst																		
			G = Gegevens van "Waterschap Rijn en IJssel", gebruikt in het kader van het project "onderzoek afvoer Oude IJssel, HKV 2004, project PR803"																		

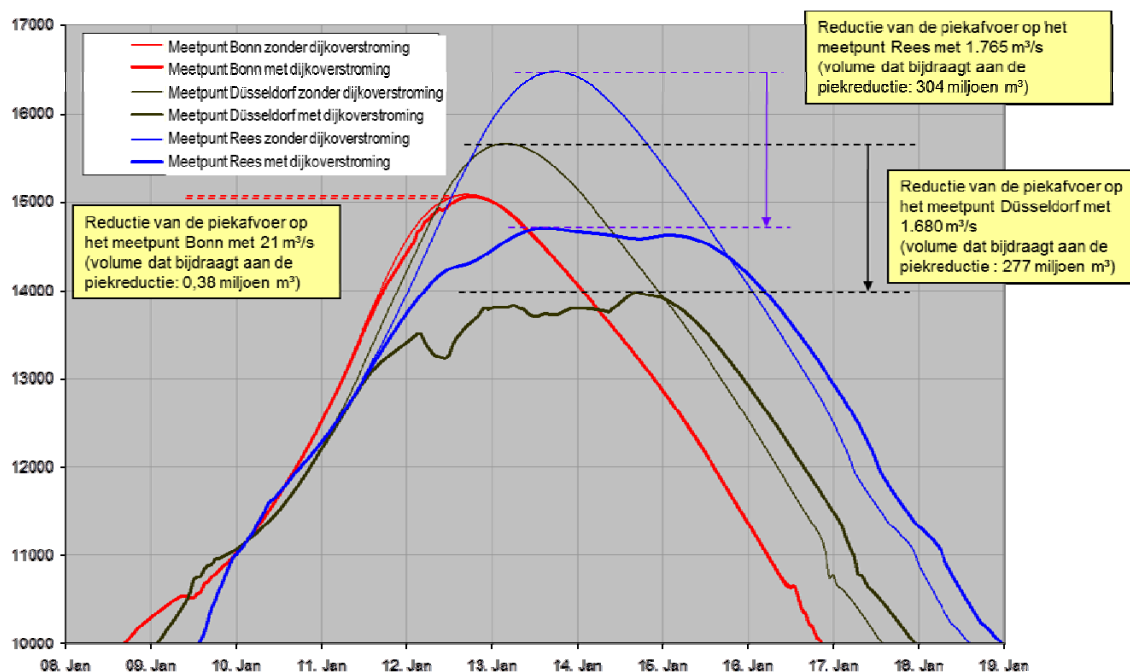
**Bijlage 5: Overzicht van de maximaal mogelijke afvoeren in de zijrivieren van de Rijn**

Zijrivier [naam van de rivier]	Maximaal mogelijke afvoer [m <sup>3</sup> /s]	Opmerking / bron van de gegevens
Bazel (Rijn)	5.480	Informatie over HQ <sub>extreem</sub> conform implementatie van de ROR in de ICBR
Wiese	600	ICBR-evaluatie van 2005, rapport 153, 2006
Leopoldkanaal	700	Commissie voor Hoogwateronderzoek, 1978 (bijlage 6.1)
Afvoerkanaal van de Ill	1.000	ICBR-evaluatie van 2005, rapport 153, 2006
Kinzig	1.100	Commissie voor Hoogwateronderzoek, 1978 (bijlage 6.1)
Ill	300	ICBR-evaluatie van 2005, rapport 153, 2006
Acher/Rench	300	ICBR-evaluatie van 2005, rapport 153, 2006
Moder	420	ICBR-evaluatie van 2005, rapport 153, 2006
Murg	750	Informatie van LUBW, 06/2010
Sauer	180	Commissie voor Hoogwateronderzoek, 1978 (bijlage 6.1)
Neckar	3.970	Informatie over HQ <sub>extreem</sub> conform implementatie van de ROR in de ICBR
Weschnitz	65	Informatie van HLUG, 04/2010
Modau	30	Informatie van HLUG, 04/2010
Main	3.350	Informatie van HLUG, 31/05/2011
Nahe	1.300	ICBR-evaluatie van 2005, rapport 153, 2006
Wisper	60	Informatie van HLUG, 04/2010
Lahn	1.100	ICBR-evaluatie van 2005, rapport 153, 2006
Moezel	6.500	WG H 18/03/2010
Nette	100	ICBR-evaluatie van 2005, rapport 153, 2006
Wied	200	ICBR-evaluatie van 2005, rapport 153, 2006
Ahr	300	ICBR-evaluatie van 2005, rapport 153, 2006
Sieg	1.600	ICBR-evaluatie van 2005, rapport 153, 2006
Wupper	400	ICBR-evaluatie van 2005, rapport 153, 2006
Erft	150	ICBR-evaluatie van 2005, rapport 153, 2006
Ruhr	1.500	ICBR-evaluatie van 2005, rapport 153, 2006
Emscher	400	ICBR-evaluatie van 2005, rapport 153, 2006
Lippe	700	ICBR-evaluatie van 2005, rapport 153, 2006/ LANUV; de heer Brinkmann, e-mail van 12/03/2010

## Bijlage 6: Basisinformatie over de invloed van dijkoverstroming op het verloop en de piek van golven

Het overstromen van dijken heeft steeds een stroomafwaartse invloed op het verloop en de piek van hoogwatergolven. Het effect is doorgaans van belang voor de hoogwaterprognose, maar ook voor de eventuele sturing van retentievoorzieningen. De gevolgen van dijkoverstroming zijn hieronder bij wijze van voorbeeld weergegeven voor de Duitse Nederrijn. Met behulp van SOBEK is er vanaf Andernach een berekening uitgevoerd voor een golf waarvan de piekafvoer hoger is dan de maatgevende afvoer (15.000 m<sup>3</sup>/s bij een maatgevende afvoer in Keulen van 12.900 m<sup>3</sup>/s).

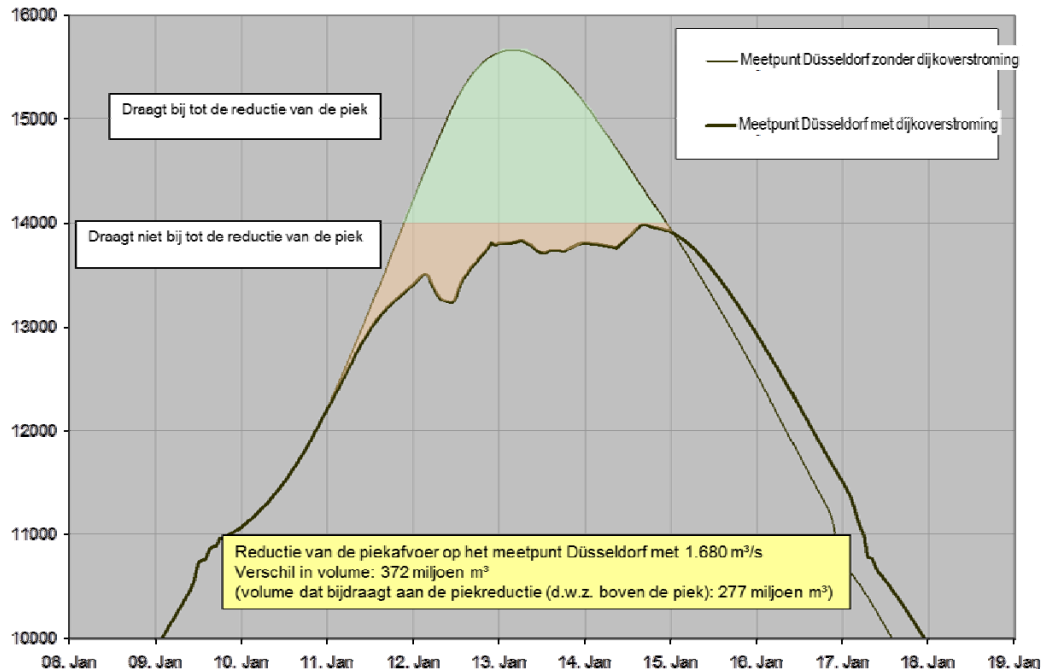
### Berekening met ca. 15.000 m<sup>3</sup>/s beginnend op het meetpunt Andernach Effect van dijkoverstroming in Noordrijn-Westfalen



De berekeningen laten zien dat er tussen Andernach en Bonn amper veranderingen optreden. In Düsseldorf zijn de veranderingen echter duidelijk, zowel in de vorm van de golf als in de verlaging van de piekafvoer. Dit effect houdt aan tot de Duits-Nederlandse grens, hoewel er ten zuiden van Düsseldorf nog maar weinig ruimte achter de dijken wordt ingenomen.

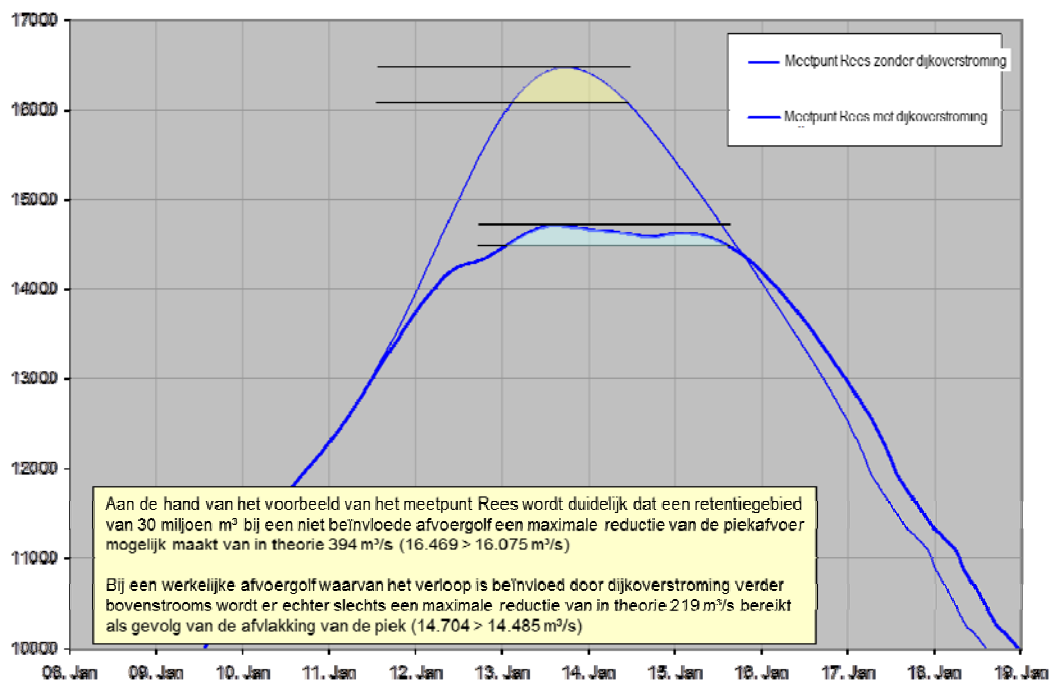
Niet het gehele gebied waarop achter de dijken beslag wordt gelegd, draagt bij tot de verlaging van de piekafvoer. De volgende figuur maakt duidelijk dat, net zoals bij retentiegebieden, het volume tussen de afvoergolven onder de piek geen reducerend effect heeft.

## Berekening met ca. 15.000 m<sup>3</sup>/s beginnend op het meetpunt Andernach Effect van dijkoverstroming in Noordrijn-Westfalen op het meetpunt Düsseldorf

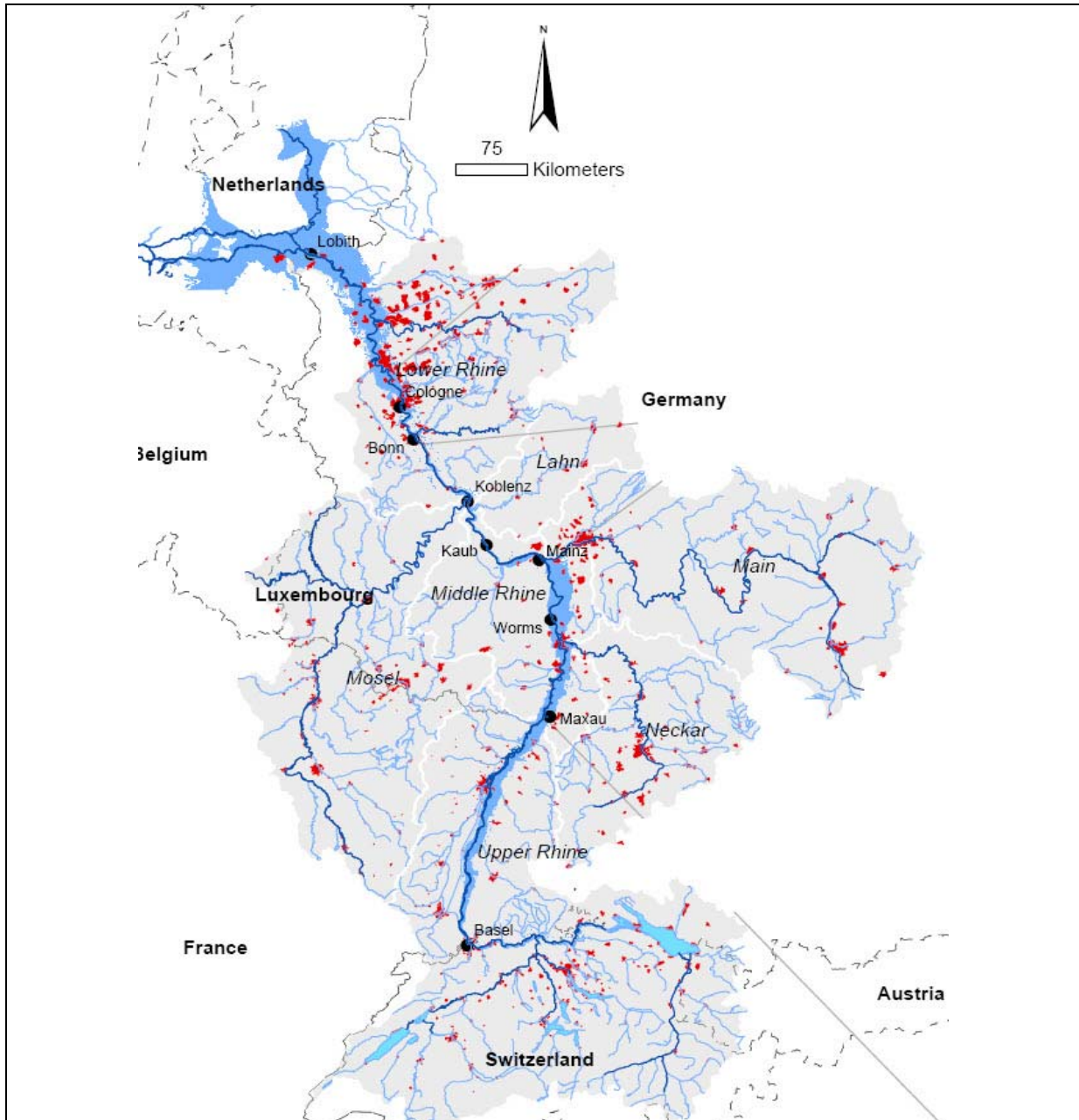


De werking van retentiegebieden hangt sterk af van de vervorming van de golf en eventueel van de bereikte piekwaterstand.

In de onderstaande figuur wordt voor de afvoergolf op het meetpunt Rees duidelijk dat een retentiegebied met een realistisch volume van 30 miljoen m<sup>3</sup> ideaal functioneert als de afvoergolf niet is beïnvloed. Echter, bij een beïnvloede, afgevlakte golf is het reële effect veel geringer.



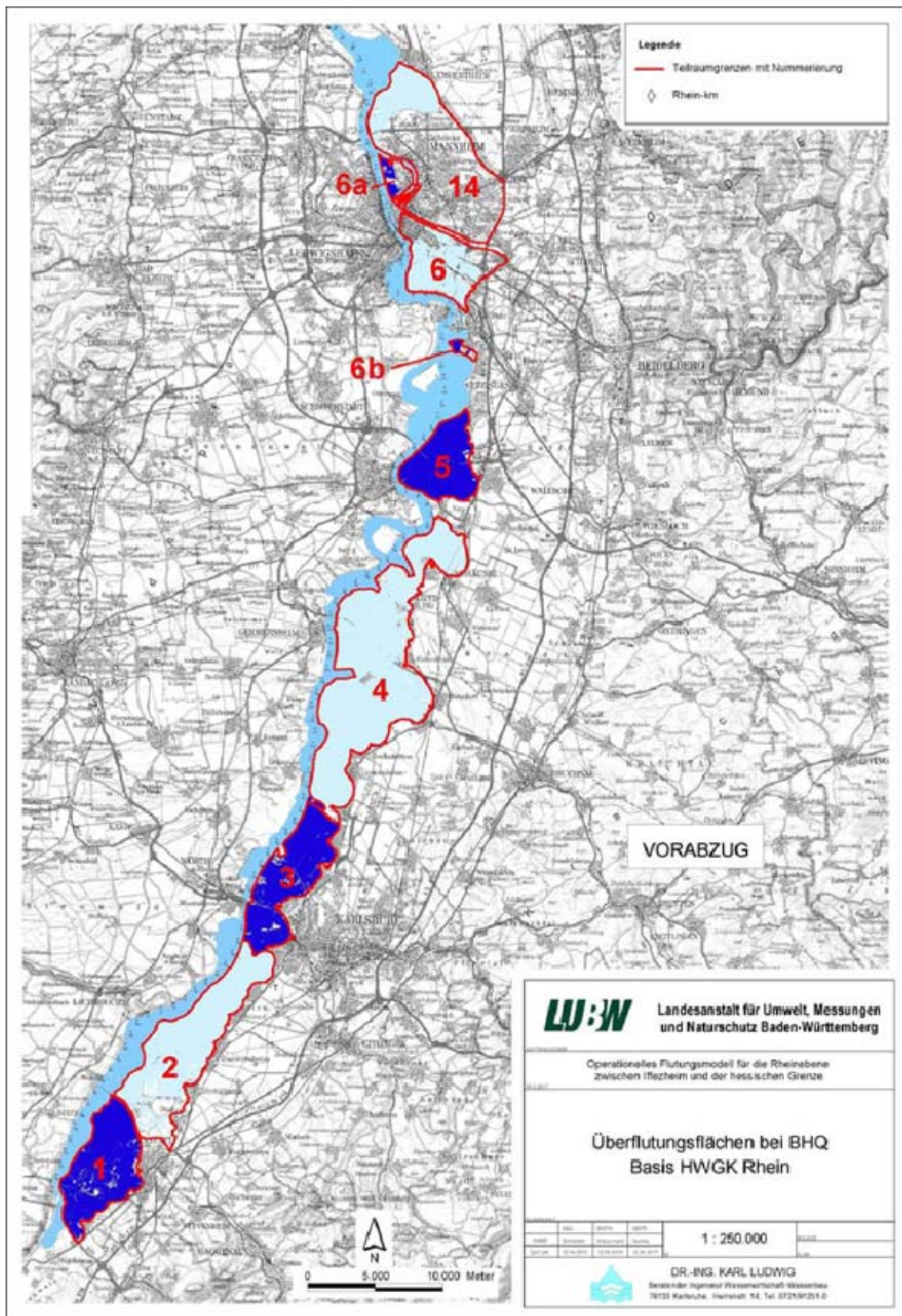
**Bijlage 7a: Potentieel overstroomde gebieden als gevolg van dijkoverstromingen langs de Rijn benedenstrooms van het Bodensee; de overstromingsgebieden zijn lichtblauw zoals in de ICBR-Rijnatlas van 2001 (uit: te Linde, 2011)**



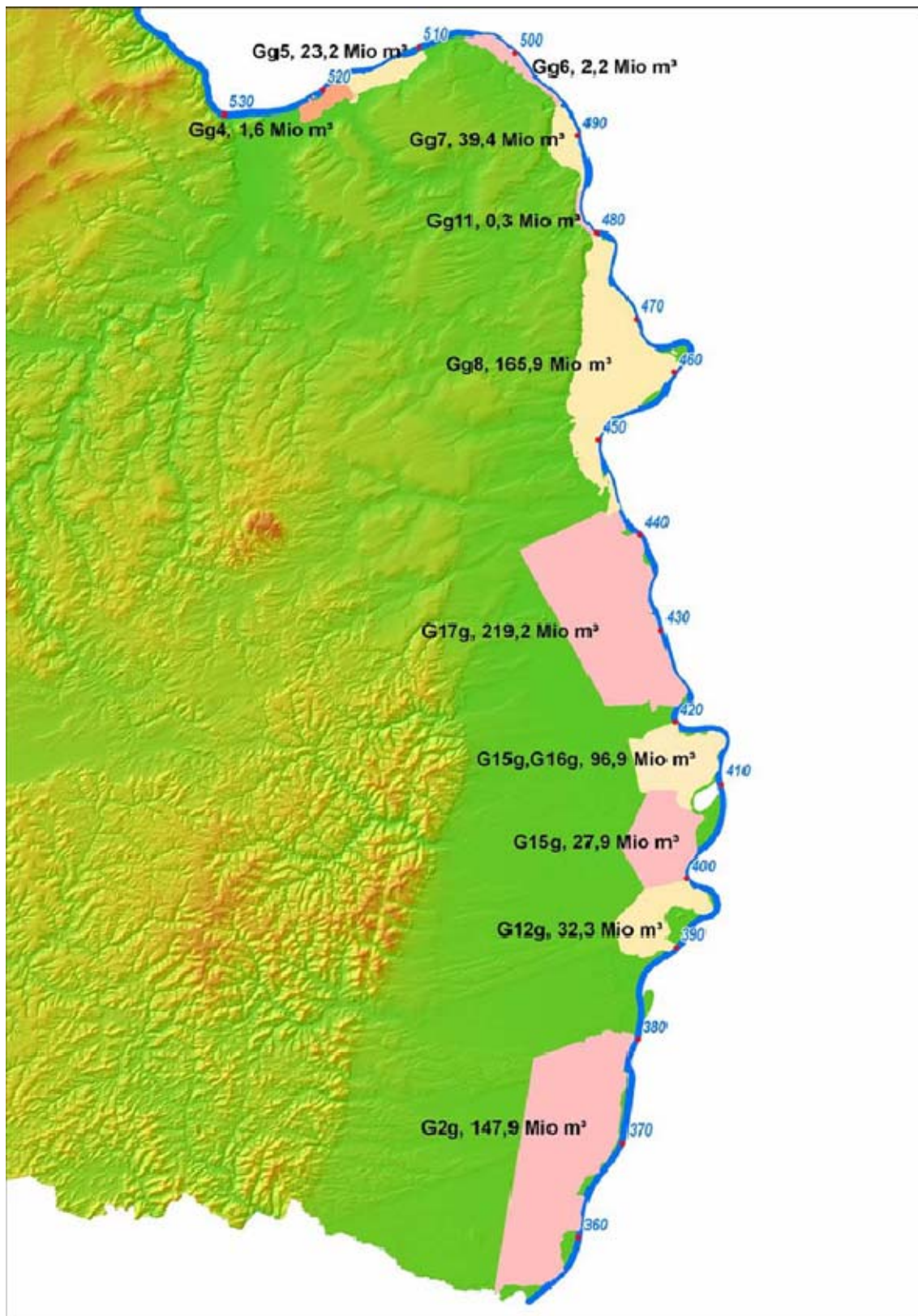


**Bijlage 7b: Overstromingsgebieden in Baden-Württemberg waarmee rekening wordt gehouden**

*(De Franse gebieden worden in een volgende fase opgenomen, zie hoofdstuk 7.1.1)*



**Bijlage 7c: Overstromingsgebieden in Rijnland-Palts waarmee rekening wordt gehouden**





### Bijlage 7d: Indeling van het overstromingsgebied aan de Duitse Nederrijn in afzonderlijke zones (uit: Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, 2004b)

Gebieden met een "O" worden gevuld door water dat over een keermuur stroomt; gebieden met een "D" lopen onder als gevolg van dijkdoorbraken, die zijn veroorzaakt door dijkoverstroming; gebieden met een "L" zijn hoge gronden die niet onder water komen te staan.

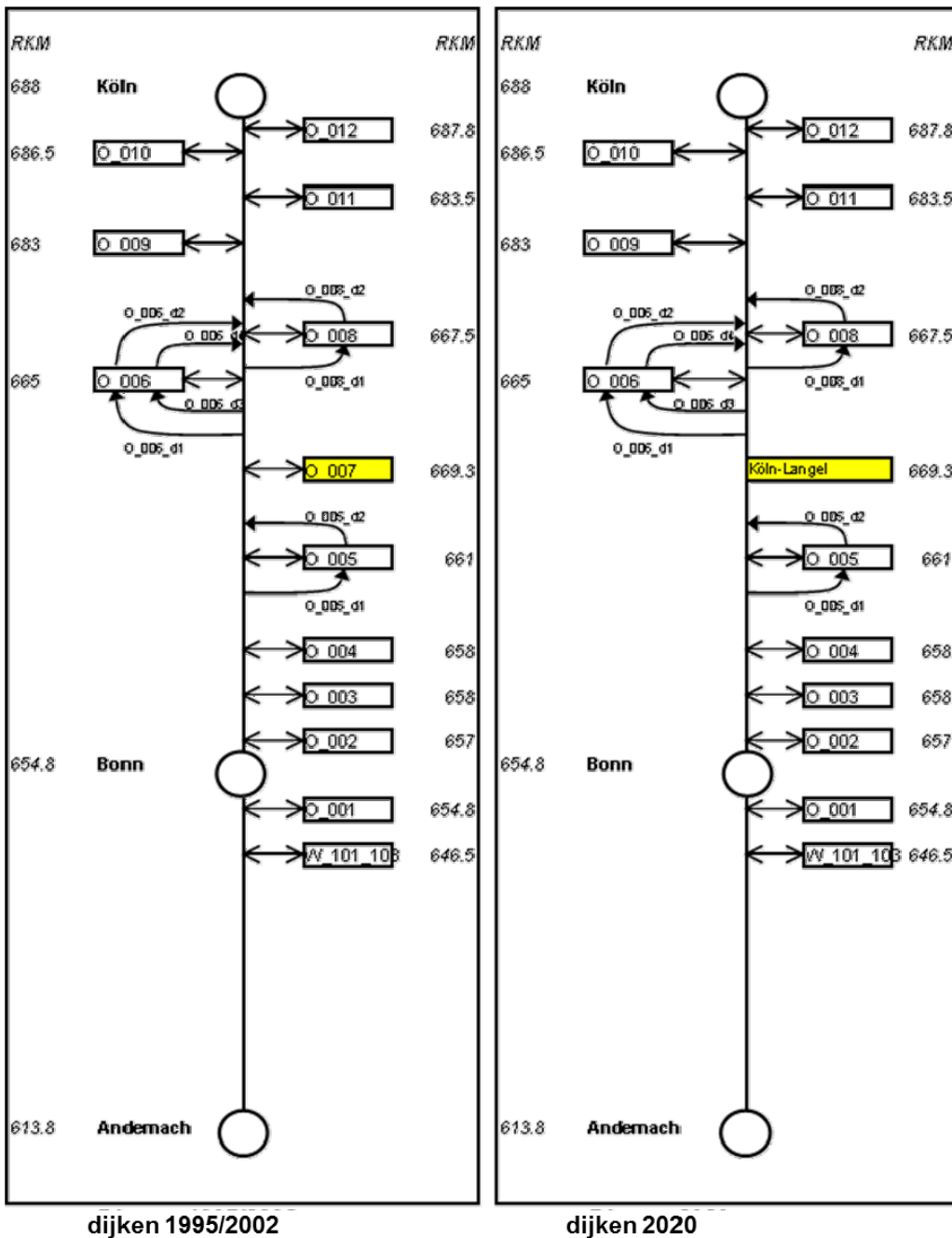


**Bijlage 8: Schematisering van de binnendijkse overstromingsgebieden tussen Andernach en Lobith in het SOBEK-model**

Gebieden met een "O" worden gevuld door water dat over een keermuur stroomt; gebieden met een "D" lopen onder als gevolg van dijkdoorbraken, die zijn veroorzaakt door dijkoverstroming.

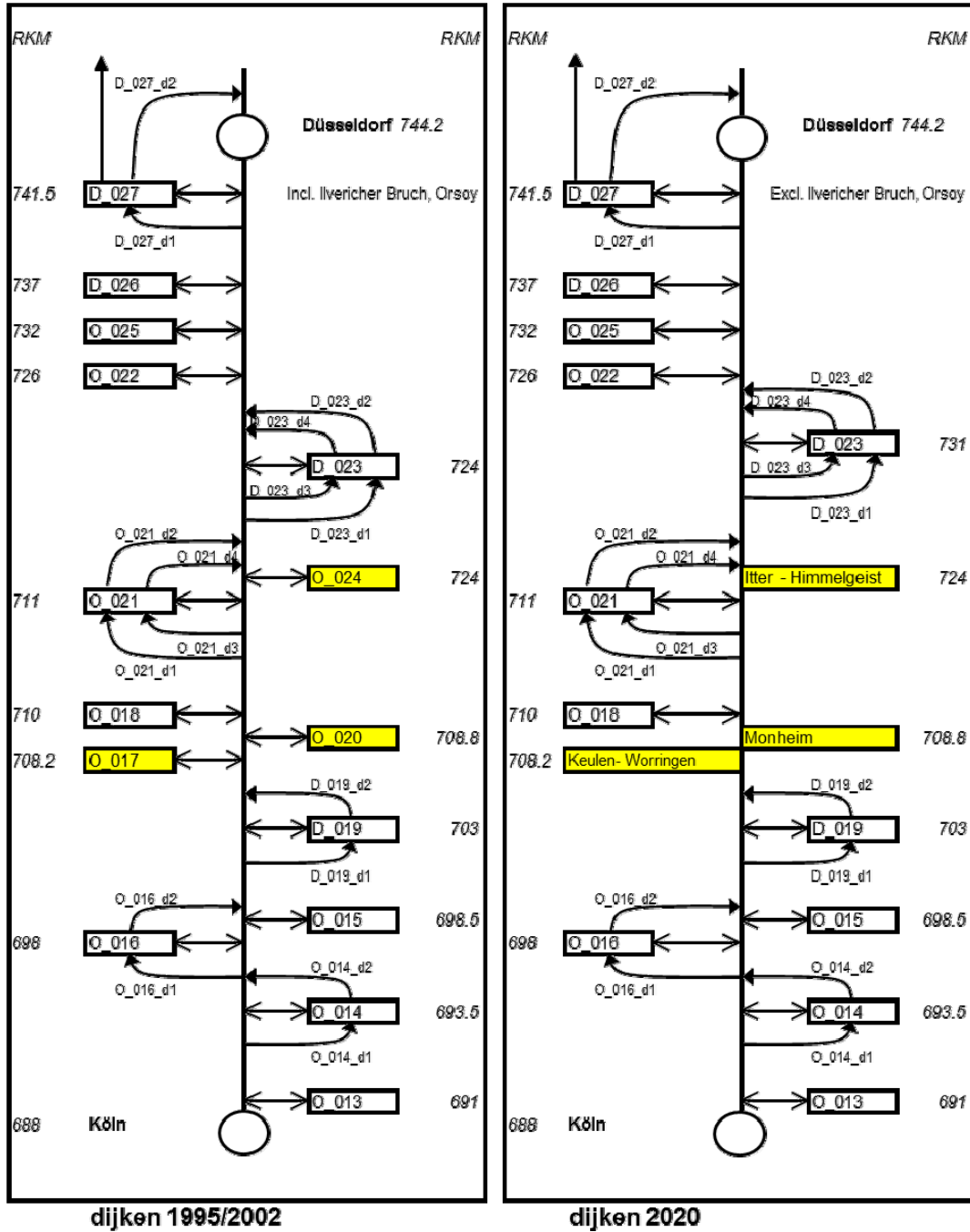
**Bijlage 8a:** Systeemschets van gebieden die worden getroffen door dijkoverstroming en dijkdoorbraak in SOBEK (uit: Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, 2004a).

Traject van Andernach tot Keulen



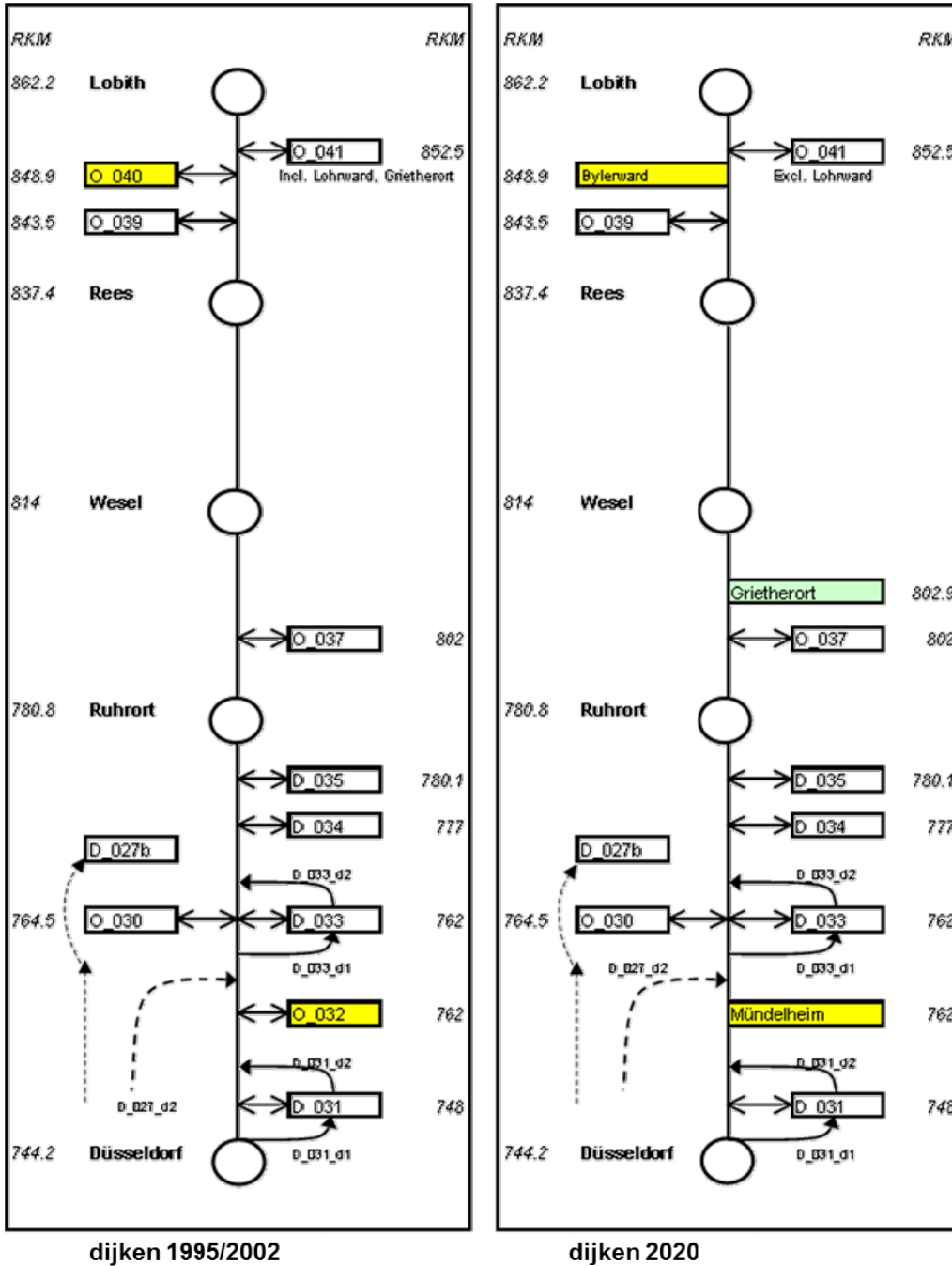
**Bijlage 8b:** Systeemschets van gebieden die worden getroffen door dijkoverstroming en dijkdoorbraak in SOBEK (uit: Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, 2004a).

Traject van Keulen tot Düsseldorf



**Bijlage 8c:** Systemschets van gebieden die worden getroffen door dijkoverstroming en dijkdoorbraak in SOBEK (uit: Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, 2004a).

Traject van Düsseldorf tot Lobith



## Bijlage 9: Verlaging van de piekafvoer en de piekwaterstand in de onderzochte waterbouwkundige toestanden

Hier: minima, maxima en gemiddelden per berekende afvoergolf; in de samenvatting worden de percentielen gegeven, voor zover die konden worden bepaald.

Meetpunt Maxau	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de piekafvoer [m³/s] in de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995																	
	circa HQ <sub>10</sub>						circa HQ <sub>100</sub>						circa HQ <sub>extreem</sub>					
	zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming		
	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.
Δ HQ 1977	-120	<b>121</b>	477				-81	<b>462</b>	763				65	<b>434</b>	628			
Δ HQ 2005	-290	<b>-38</b>	108				-289	<b>-89</b>	150				-180	<b>-50</b>	70			
Δ HQ 2010	-290	<b>-38</b>	108				-289	<b>-89</b>	150				-180	<b>-50</b>	70	-70	<b>-30</b>	29
Δ HQ 2020	-333	<b>-51</b>	81				-392	<b>-157</b>	102				-291	<b>-100</b>	68	-126	<b>-57</b>	32
Δ HQ 2020+	-431	<b>-79</b>	46				-670	<b>-284</b>	-74				-483	<b>-268</b>	-103			

Meetpunt Maxau	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de piekwaterstand [cm] in de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995																	
	circa HQ <sub>10</sub>						circa HQ <sub>100</sub>						circa HQ <sub>extreem</sub>					
	zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming		
	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.
Δ HW 1977	-8	<b>8</b>	30				-3	<b>29</b>	47				3	<b>18</b>	27			
Δ HW 2005	-19	<b>-3</b>	7				-18	<b>-6</b>	10				-10	<b>-3</b>	3			
Δ HW 2010	-19	<b>-3</b>	7				-18	<b>-6</b>	10				-10	<b>-3</b>	3	-4	<b>-2</b>	1
Δ HW 2020	-23	<b>-3</b>	5				-24	<b>-10</b>	6				-16	<b>-6</b>	3	-7	<b>-3</b>	2
Δ HW 2020+	-29	<b>-5</b>	5				-42	<b>-18</b>	-3				-27	<b>-14</b>	-4			

Meetpunt Worms	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de piekafvoer [m³/s] in de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995																	
	circa HQ <sub>10</sub>						circa HQ <sub>100</sub>						circa HQ <sub>extreem</sub>					
	zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming		
	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.
Δ HQ 1977	-	<b>115</b>	421				-10	<b>349</b>	656				190	<b>426</b>	638			
Δ HQ 2005	23	<b>-32</b>	4				-279	<b>-156</b>	-43				-343	<b>-167</b>	18			
Δ HQ 2010	23	<b>-33</b>	2				-284	<b>-163</b>	-44				-354	<b>-172</b>	16	-255	<b>-98</b>	5
Δ HQ 2020	39	<b>-92</b>	17				-628	<b>-357</b>	-93				-714	<b>-396</b>	-62	-551	<b>-266</b>	-13
Δ HQ 2020+	42	<b>-112</b>	9				-729	<b>-463</b>	-201				-1164	<b>-661</b>	-274			

Meetpunt Worms	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de piekwaterstand [cm] in de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995																	
	circa HQ <sub>10</sub>						circa HQ <sub>100</sub>						circa HQ <sub>extreem</sub>					
	zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming		
	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.
Δ HW 1977	-2	<b>9</b>	30				0	<b>21</b>	39				9	<b>21</b>	32			
Δ HW 2005	-19	<b>-3</b>	1				-18	<b>-10</b>	-2				-18	<b>-9</b>	1			
Δ HW 2010	-19	<b>-3</b>	1				-18	<b>-10</b>	-3				-19	<b>-9</b>	1	-14	<b>-5</b>	0
Δ HW 2020	-33	<b>-7</b>	2				-44	<b>-23</b>	-5				-39	<b>-21</b>	-3	-31	<b>-15</b>	-1
Δ HW 2020+	-35	<b>-9</b>	1				-52	<b>-31</b>	-14				-67	<b>-36</b>	-15			

Meetpunt Mainz	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de piekafvoer [m³/s] in de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995																	
	circa HQ <sub>10</sub>						circa HQ <sub>100</sub>						circa HQ <sub>extreem</sub>					
	zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming		
	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.
Δ HQ 1977	-18	151	528				-4	328	570				229	335	487			
Δ HQ 2005	-265	-69	10				-250	-120	-19				-102	-56	-16			
Δ HQ 2010	-271	-76	10	-259	-73	10	-334	-151	-34	-306	-112	56	-102	-63	-25	-99	-48	17
Δ HQ 2020	-512	-150	10	-471	-146	10	-477	-286	-71	-475	-230	11	-241	-159	-78	-154	-91	18
Δ HQ 2020+	-858	-198	12				-894	-504	-81				-588	-406	-189			

Meetpunt Mainz	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de piekwaterstand [cm] in de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995																	
	circa HQ <sub>10</sub>						circa HQ <sub>100</sub>						circa HQ <sub>extreem</sub>					
	zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming		
	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.
Δ HW 1977	-1	10	35				0	20	34				12	17	24			
Δ HW 2005	-23	-10	-3				-20	-11	-5				-8	-6	-4			
Δ HW 2010	-24	-11	-4	-23	-10	-4	-25	-13	-6	-24	-11	0	-8	-6	-4	-7	-4	-2
Δ HW 2020	-41	-16	-2	-37	-15	-2	-38	-22	-8	-35	-18	-3	-15	-11	-7	-10	-7	-2
Δ HW 2020+	-63	-19	-4				-61	-36	-9				-33	-24	-13			

Meetpunt Kaub	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de piekafvoer [m³/s] in de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995																	
	circa HQ <sub>10</sub>						circa HQ <sub>100</sub>						circa HQ <sub>extreem</sub>					
	zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming		
	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.
Δ HQ 1977	-18	144	476				-17	297	539				235	383	575			
Δ HQ 2005	-278	-68	11				-245	-105	42				-204	-106	-20			
Δ HQ 2010	-311	-85	11	-298	-84	7	-317	-145	38	-313	-117	44	-219	-125	-31	-189	-78	20
Δ HQ 2020	-520	-153	12	-494	-151	17	-504	-273	87	-476	-232	93	-422	-263	-86	-327	-180	21
Δ HQ 2020+	-799	-193	9				-893	-481	-68				-717	-451	-244			

Meetpunt Kaub	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de piekwaterstand [cm] in de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995																	
	circa HQ <sub>10</sub>						circa HQ <sub>100</sub>						circa HQ <sub>extreem</sub>					
	zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming		
	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.
Δ HW 1977	-2	13	40				-1	23	42				18	28	43			
Δ HW 2005	-31	-12	-5				-28	-16	-3				-23	-15	-9			
Δ HW 2010	-34	-14	-5	-30	-13	-5	-33	-19	-3	-33	-16	-2	-24	-17	-10	-22	-13	-4
Δ HW 2020	-50	-19	-5	-49	-19	-4	-50	-29	1	-46	-26	1	-40	-27	-14	-32	-21	-4
Δ HW 2020+	-70	-23	-5				-80	-46	-12				-63	-41	-25			

Meetpunt Andernach	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de piekafvoer [m³/s] in de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995																			
	circa HQ <sub>10</sub>						circa HQ <sub>100</sub>						circa HQ <sub>extreem</sub>							
	zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming				
max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.			
Δ HQ 1977	-183	158	501						-14	272	533				-7	195	577			
Δ HQ 2005	-242	-64	17						-270	-96	12				-224	-83	-10			
Δ HQ 2010	-339	-85	17	-278	-87	6			-305	-144	-3	-307	-115	56	-231	-116	-57	-219	-124	-63
Δ HQ 2020	-524	-158	17	-463	-159	18			-542	-275	4	-493	-227	39	-348	-204	-72	-330	-202	-132
Δ HQ 2020+	-854	-208	18						-950	-502	-18				-562	-301	-73			

Meetpunt Andernach	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de piekwaterstand [cm] in de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995																			
	circa HQ <sub>10</sub>						circa HQ <sub>100</sub>						circa HQ <sub>extreem</sub>							
	zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming				
max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.			
Δ HW 1977	-12	11	31						-1	14	27				0	9	26			
Δ HW 2005	-21	-6	9						-16	-6	1				-8	-1	3			
Δ HW 2010	-25	-8	9	-25	-10	2			-18	-8	0	-23	-12	-2	-8	-3	1	-15	-10	-8
Δ HW 2020	-37	-13	9	-37	-14	2			-30	-16	0	-32	-18	-3	-14	-7	-1	-20	-14	-10
Δ HW 2020+	-57	-16	8						-59	-29	0				-24	-12	-1			

Meetpunt Keulen	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de piekafvoer [m³/s] in de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995																			
	circa HQ <sub>10</sub>						circa HQ <sub>100</sub>						circa HQ <sub>extreem</sub>							
	zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming				
max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.			
Δ HQ 1977	-201	135	485						-15	258	501				-7	158	569			
Δ HQ 2005	-217	-58	12						-257	-95	34				-232	-75	-2			
Δ HQ 2010	-308	-77	12	-254	-79	6			-294	-151	21	-295	-124	15	-232	-106	-50	-392	-104	87
Δ HQ 2020	-478	-143	17	-419	-144	16			-542	-276	55	-460	-238	34	-315	-182	-28	-437	-168	10
Δ HQ 2020+	-795	-185	21						-960	-469	7				-511	-263	-29			

Traject van de monding van de Sieg tot de monding van de Ruhr	Over het traject gemiddelde minimale, gemiddelde en maximale verandering van de piekwaterstand [cm] in de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995																			
	circa HQ <sub>10</sub>						circa HQ <sub>100</sub>						circa HQ <sub>extreem</sub>							
	zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming				
max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.			
Δ HW 1977	-1	10	26						-13	7	22				-1	14	29			
Δ HW 2005	-11	1	8						-11	2	9				-10	0	6			
Δ HW 2010	-14	-1	8	-11	0	9			-11	0	9	-10	0	7	-12	-1	6	-6	1	4
Δ HW 2020	-24	-7	9	-24	-4	9			-22	-4	9	-16	-5	7	-26	-7	5	-10	-4	0
Δ HW 2020+	-44	-12	7						-34	-7	9				-39	-12	3			

Meetpunt Lobith	Minimale, gemiddelde en maximale verandering van de piekafvoer [m <sup>3</sup> /s] in de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995																	
	circa HQ <sub>10</sub>						circa HQ <sub>100</sub>						circa HQ <sub>extreem</sub>					
	zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming		
	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.
Δ HQ 1977	-304	125	480				-1	214	429				-8	153	576			
Δ HQ 2005	-203	-64	21				-240	-97	-12				-220	-71	26			
Δ HQ 2010	-221	-82	22	-225	-80	19	-285	-150	-15	-290	-116	-12	-230	-111	2	-330	-107	2
Δ HQ 2020	-400	-135	18	-389	-133	14	-539	-301	-16	-399	-234	-30	-515	-321	-146	-505	-188	38
Δ HQ 2020+	-807	-181	17				-942	-450	-13				-1044	-629	-188			

Traject van de monding van de Ruhr tot de Pannerdensche Kop	Over het traject gemiddelde minimale, gemiddelde en maximale verandering van de piekwaterstand [cm] in de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995																	
	circa HQ <sub>10</sub>						circa HQ <sub>100</sub>						circa HQ <sub>extreem</sub>					
	zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming		
	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.
Δ HW 1977	-10	6	20				0	8	17				0	5	19			
Δ HW 2005	-12	-2	5				-3	1	4				-4	2	5			
Δ HW 2010	-12	-2	6	-10	-2	6	-4	1	6	-3	2	6	-1	3	7	-5	3	7
Δ HW 2020	-25	-11	4	-22	-8	5	-25	-14	-2	-16	-9	0	-31	-27	-17	-29	-17	-7
Δ HW 2020+	-35	-13	3				-34	-19	-2				-43	-33	-18			

Traject van de Neder-Rijn/Lek	Over het traject gemiddelde minimale, gemiddelde en maximale verandering van de piekwaterstand [cm] in de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995																	
	circa HQ <sub>10</sub>						circa HQ <sub>100</sub>						circa HQ <sub>extreem</sub>					
	zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming		
	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.
Δ HW 1977	-5	2	12				0	3	6				0	3	11			
Δ HW 2005	-6	-1	2				-3	-1	0				-3	-1	1			
Δ HW 2010	-7	-2	1	-6	-1	1	-6	-3	-1	-3	-2	0	-4	-2	-1	-6	-2	0
Δ HW 2020	-22	-11	-1	-23	-11	-1	-19	-10	-2	-13	-7	-2	-26	-15	-7	-18	-9	-4
Δ HW 2020+	-29	-12	-1				-21	-11	-2				-32	-20	-8			

Traject van de Waal	Over het traject gemiddelde minimale, gemiddelde en maximale verandering van de piekwaterstand [cm] in de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995																	
	circa HQ <sub>10</sub>						circa HQ <sub>100</sub>						circa HQ <sub>extreem</sub>					
	zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming		
	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.
Δ HW 1977	-7	3	11				0	6	17				0	4	14			
Δ HW 2005	-9	-2	1				-5	-3	0				-5	-2	1			
Δ HW 2010	-10	-3	0	-8	-2	1	-8	-5	-2	-6	-2	0	-7	-5	-2	-7	-2	1
Δ HW 2020	-49	-17	-7	-48	-16	-7	-25	-19	-11	-23	-16	-8	-31	-25	-18	-29	-19	-6
Δ HW 2020+	-50	-18	-7				-35	-23	-10				-42	-32	-19			

Traject van de IJssel	Over het traject gemiddelde minimale, gemiddelde en maximale verandering van de piekwaterstand [cm] in de onderzochte waterbouwkundige toestanden ten opzichte van de toestand 1995																	
	circa HQ <sub>10</sub>						circa HQ <sub>100</sub>						circa HQ <sub>extreem</sub>					
	zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming			zonder dijkoverstroming			met dijkoverstroming		
	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	gem.	min.
Δ HW 1977	-3	2	8				0	3	7				0	3	13			
Δ HW 2005	-8	-1	0				-5	-2	0				-6	-2	0			
Δ HW 2010	-8	-2	0	-7	-1	0	-8	-3	-1	-4	-2	0	-8	-5	-2	-7	-3	0
Δ HW 2020	-45	-38	-25	-44	-38	-25	-57	-45	-37	-50	-43	-36	-61	-52	-43	-56	-46	-40
Δ HW 2020+	-48	-39	-25				-59	-46	-37				-74	-58	-44			