



Internationale  
Kommission zum  
Schutz des Rheins

Commission  
Internationale  
pour la Protection  
du Rhin

Internationale  
Commissie ter  
Bescherming  
van de Rijn

# Inschatting van de verandering van de overschrijdingskans als gevolg van hoogwater- verlagende maatregelen langs de Rijn

**stand: juli 2015**

*Rapport Nr. 229*



Opgesteld door de leden van de ICBR-expertgroep HVAL:

G. Brahmer	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Duitsland
M. Brinkmann	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Duitsland
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
R. Friese (voorzitter, EG HVAL)	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden- Württemberg, Duitsland
M. Hammer	Bundesanstalt für Gewässerkunde, Duitsland
R. Lammersen	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Nederland
B. Mehlig	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nord- rhein-Westfalen, Duitsland
B. Plonka	Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Duitsland
A. Schmid-Breton	Secretariaat van de ICBR
A. Schulte-Wülwer-Leidig	Secretariaat van de ICBR
R. Vogt	Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR, Hochwassernotgemeinschaft Rhein, Duitsland
J.-P. Wagner	Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement de Lorraine, Frankrijk
M. Willkomm	Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR, Hochwassernotgemeinschaft Rhein, Duitsland

## 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

ISBN 3-941994-94-8

© IKSР-CIPR-ICBR 2015

## Inhoudsopgave

<b>Inhoudsopgave .....</b>	<b>2</b>
<b>Lijst van bijlagen .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Samenvatting .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Algemene werkwijze.....</b>	<b>8</b>
<b>3. Gegevensbasis en methode .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Gegevensbasis .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Verwerking van de waarden van de officiële hoogwaterstatistieken.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3 Bepaling van de herhalingstijd van de berekende piekafvoeren .....</b>	<b>12</b>
<b>3.4 Totstandbrenging van evaluatiegrafieken (per meetpunt) voor de inschatting van de theoretische herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwatergebeurtenissen.....</b>	<b>13</b>
<b>3.5 Meetpuntgerelateerde analyse van de evaluatiegrafiek.....</b>	<b>14</b>
<b>3.6 Bepaling van de (verandering van de) afvoercapaciteit op de Rijntrajecten ten noorden van de monding van de Sieg.....</b>	<b>16</b>
<b>3.7 Trajectgerelateerde analyse van de evaluatiegrafiek voor de inschatting van de theoretische herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwatergebeurtenissen.....</b>	<b>20</b>
<b>4. Resultaten .....</b>	<b>21</b>
<b>4.1 Opmerkingen vooraf in verband met de interpretatie van de resultaten .....</b>	<b>21</b>
<b>4.2 Samenvatting van de resultaten.....</b>	<b>22</b>
<b>Bibliografie.....</b>	<b>26</b>
<b>Bijlagen.....</b>	<b>28</b>

## Lijst van bijlagen

Bijlage 1: Trendlijnen “officiële statistiek” voor de referentiemeetpunten	
Bijlage 1a: Trendlijn voor het meetpunt Maxau (op basis van officiële statistische waarden) .	28
Bijlage 1b: Trendlijn voor het meetpunt Worms (op basis van officiële statistische waarden)	28
Bijlage 1c: Trendlijn voor het meetpunt Mainz (op basis van officiële statistische waarden) ..	29
Bijlage 1d: Trendlijn voor het meetpunt Kaub (op basis van officiële statistische waarden) ...	29
Bijlage 1e: Trendlijn voor het meetpunt Andernach (op basis van officiële statistische waarden)	30
Bijlage 1f: Trendlijn voor het meetpunt Keulen (op basis van officiële statistische waarden) ..	30
Bijlage 1g: Trendlijn voor het meetpunt Lobith (op basis van officiële statistische waarden) ..	31
Bijlage 2: Evaluatiegrafieken (meetpunt- en trajectgerelateerd). Inschatting van de theoretische herhalingsstijden m.b.t. de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwatergebeurtenissen	
Bijlage 2a: Evaluatiegrafiek, meetpunt Maxau .....	32
Bijlage 2b: Evaluatiegrafiek, meetpunt Worms .....	32
Bijlage 2c: Evaluatiegrafiek, meetpunt Mainz .....	33
Bijlage 2d: Evaluatiegrafiek, meetpunt Kaub .....	33
Bijlage 2e: Evaluatiegrafiek, meetpunt Andernach .....	34
Bijlage 2f: Evaluatiegrafiek, meetpunt Keulen .....	34
Bijlage 2g: Evaluatiegrafiek, meetpunt Lobith.....	35
Bijlage 3: Weergave van de vastgestelde onzekerheidsmarges: voorbeeld voor het meetpunt Worms, toestand 2010 .....	36
Bijlage 4: Maatregelen voor de retentie van hoogwater in de hoofdstroom van de Rijn .....	37
Bijlage 5: Overzicht van de retentiemaatregelen tussen Bazel en Lobith en van de waterstandverlagende maatregelen in de Rijndelta vanaf Lobith	
Bijlage 5a: Retentiemaatregelen tussen Bazel en Lobith met bijbehorend volume (in miljoen m <sup>3</sup> )	38
Bijlage 5b: Waterstandverlagende maatregelen in de Rijndelta vanaf Lobith met vereist minimaal waterstandverlagend effect (in m) .....	39
Bijlage 6: Beschrijving van het HIRI-instrument voor de evaluatie van het effect van maatregelen op de reductie van het overstromingsrisico (poster in het Engels).....	40

## 1. Samenvatting

Tijdens de twaalfde Rijnministersconferentie op 22 januari 1998 is er besloten tot de uitvoering van het “Actieplan Hoogwater” (APH) voor de Rijn. In dit Actieplan zijn de volgende actiedoelen vastgelegd:

- Vermindering van de schaderisico's
- Verlaging van de hoogwaterstanden
- Aanscherping van het hoogwaterbewustzijn
- Verbetering van het hoogwaterwaarschuwingssysteem

Het actiedoel “verlaging van de hoogwaterstanden door maatregelen aan de Rijn” wordt in het APH gedefinieerd als een “verlaging van de extreem hoge waterstanden benedenstrooms van het door stuwen gereguleerde traject met zo mogelijk 60 cm<sup>1</sup> voor 2020”. Het referentiejaar is 1995.

De ICBR-expertgroep HVAL (validatie) heeft in het kader van de in 2010 uitgevoerde evaluatie de effectiviteit van APH-retentiemaatregelen aan de Rijn onderzocht in de waterbouwkundige toestanden 1977<sup>2</sup>, 1995, 2005, 2010, 2020 en “2020plus”<sup>3</sup> (zie bijlage 4 en 5 voor de lijst en de kaart van de maatregelen die zijn gerealiseerd in de opeenvolgende waterbouwkundige toestanden). De resultaten hiervan zijn vastgelegd in een eindrapport (ICBR, 2012a; zie [http://www.iksr.org/uploads/media/199\\_nl.pdf](http://www.iksr.org/uploads/media/199_nl.pdf)).

De ICBR-expertgroep HIRI (overstromingsrisico's) heeft tot taak om in het kader van het APH te evalueren in hoeverre het schaderisico langs de Rijn sinds 1995 is veranderd (actiedoel “Vermindering van de schaderisico's”) en om in het kader van de EU-Richtlijn over overstromingsrisico's (ROR) het effect van maatregelen op het overstromingsrisico te analyseren. De berekeningen zijn gebaseerd op de nationale overstromingsgevaarkaarten (en overstromingsrisicokaarten) voor de drie overstromingsscenario's conform ROR, waarop een verandering van de overschrijdingskans wordt toegepast als gevolg van de uitvoering van APH-maatregelen ter verlaging van de hoogwaterstanden.

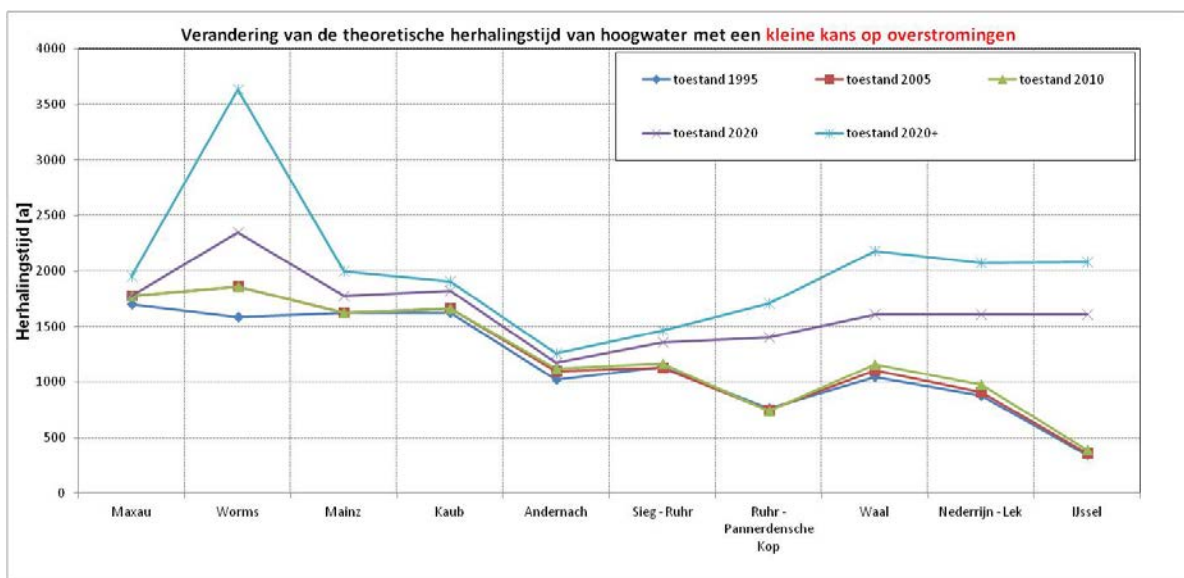
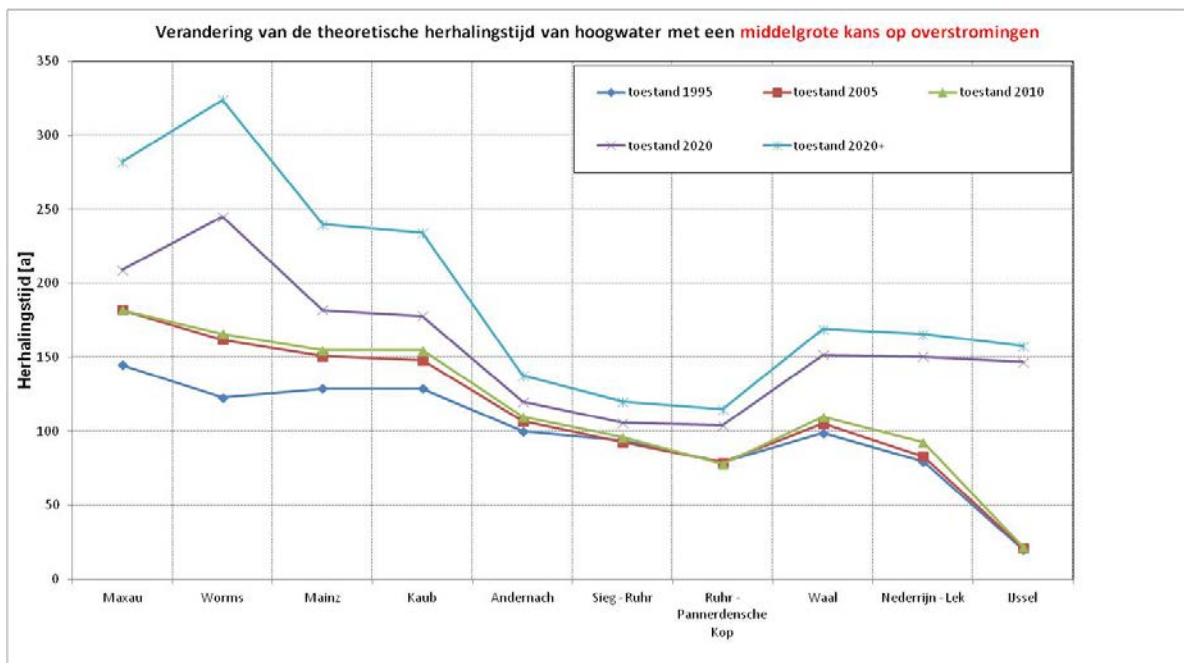
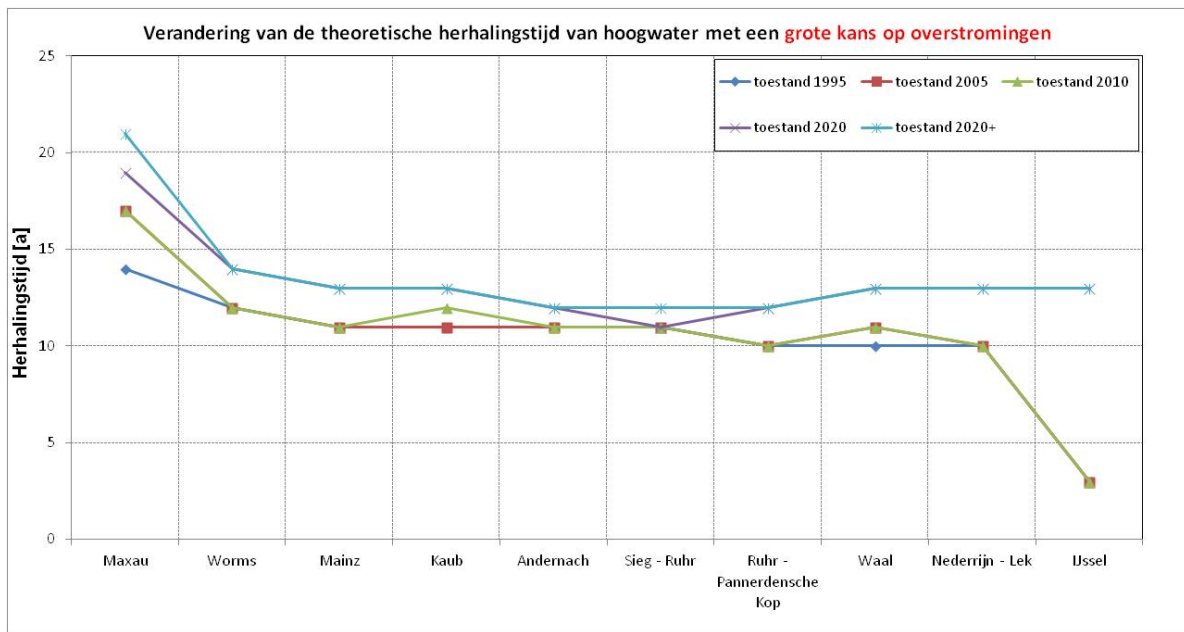
Gelet op het voorgaande heeft de EG HVAL in april 2009 in zijn aanpak voor de evaluatie vastgesteld dat ook de verandering van de overschrijdingskans als gevolg van deze APH-maatregelen dient te worden onderzocht en dat de uitkomst ervan beschikbaar moet worden gesteld aan de EG HIRI. In de onderstaande figuren en in tabel 1 zijn de verkregen resultaten voor de onderzochte waterbouwkundige toestanden op de afzonderlijke meetpunten dan wel trajecten van de Rijn weergegeven.

---

<sup>1</sup> Verlaging van de hoogwaterstanden - verlaging van de extreem hoge waterstanden benedenstrooms van het door stuwen gereguleerde gedeelte met zo mogelijk 70 cm voor 2020 (60 cm door waterretentie aan de Rijn en ca. 10 cm door waterretentie in het Rijnstroomgebied)

<sup>2</sup> De informatie over de overschrijdingskans is over het algemeen gerelateerd aan de waterbouwkundige toestand 1977 (= jaar waarin de laatste stuw in de Duits-Franse Bovenrijn is opgeleverd).

<sup>3</sup> APH-maatregelen die na 2020 worden uitgevoerd.



Uit de figuren blijkt het volgende:

De berekende (veranderingen van de) herhalingstijden weerspiegelen de voortschrijdende toename van het door middel van maatregelen beschikbaar gemaakte retentievolume in de opeenvolgende waterbouwkundige toestanden. Bij wijze van voorbeeld kan hierbij de volgende toelichting worden gegeven:

- Meetpunt Worms: Voor het gebied direct bovenstrooms van het meetpunt Worms is er een zeer grote toename van het retentievolume berekend in de toestand 2020 en meer nog in de toestand 2020plus (tussen 2020 en 2020plus is er nagenoeg sprake van een verdubbeling). Als gevolg hiervan worden er in deze waterbouwkundige toestanden opvallend grote veranderingen in de theoretische herhalingstijden bereikt (voor afvoeren met een middelgrote en een kleine kans op overstromingen).
- Meetpunt Andernach: De verandering van de theoretische herhalingstijd als gevolg van retentiemaatregelen wordt duidelijk afgezwakt door de afvoer vanuit de Moezel. Alleen hoogwater dat in de Duits-Franse Bovenrijn al sterk ontwikkeld is, kan met de retentiemaatregelen aan de Bovenrijn doeltreffend worden verlaagd op het meetpunt Andernach. Hoe groter het aandeel van de Moezel aan een hoogwater bij Andernach hoe kleiner de invloed van de maatregelen aan de Duits-Franse Bovenrijn.
- Benedenstrooms van de monding van de Sieg: Hier laten alle hoogwaterklassen (grote, middelgrote en kleine kans op overstromingen) de grootste veranderingen zien tussen de toestanden 2010 en 2020, en tussen de toestanden 2020 en 2020plus. Dit wordt vooral veroorzaakt door de afronding van de rivierverruimende maatregelen voor 2020. De toename van de herhalingstijden na 2020 heeft hoofdzakelijk betrekking op hoogwatergebeurtenissen met een middelgrote en kleine kans op overstromingen en is wellicht voornamelijk het gevolg van de retentiemaatregelen die zijn voorgenomen aan de Duits-Franse Bovenrijn en de Duitse Nederrijn.
- Rijntakken in Nederland: De theoretische herhalingstijden die voor dit gebied zijn berekend, maken het sterk uiteenlopende karakter van de drie Rijntakken duidelijk. Enerzijds wat betreft hun hydraulische capaciteit: ca. 2/3 van het water bij Lobith wordt afgevoerd door de Waal, 2/9 door de Nederrijn/Lek en 1/9 door de IJssel. Anderzijds wat betreft de effectiviteit van de verschillende maatregelen: bijv. grootschalige kribverlaging in de Waal en hoogwatergeulen en dijkverleggingen langs de IJssel.

In tabel 1 op de volgende pagina worden alle resultaten samengevat.



Trajecten	Kansen	Afvoeren [m <sup>3</sup> /s]	Theoretische herhalingstijden [a] met betrekking tot de toegepaste methode en de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters				
			in de waterbouwkundige toestanden				
			1995	2005	2010	2020	2020plus
<b>Meetpuntgerelateerde analyse</b>							
<b>Meetpunt Maxau (Duits-Franse Bovenrijn / van Iffezheim tot de monding van de Neckar)</b>							
Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters	grote kans op overstromingen	4.100 m <sup>3</sup> /s	14 a	17 a	17 a	19 a	21 a
	middelgrote kans op overstromingen	5.000 m <sup>3</sup> /s	145 a	182 a	182 a	209 a	282 a
	kleine kans op overstromingen	6.500 m <sup>3</sup> /s	1698 a	1778 a	1778 a	1778 a	1950 a
<b>Meetpunt Worms (Duits-Franse Bovenrijn / van de monding van de Neckar tot de monding van de Main)</b>							
Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters	grote kans op overstromingen	4.750 m <sup>3</sup> /s	12 a	12 a	12 a	14 a	14 a
	middelgrote kans op overstromingen	6.000 m <sup>3</sup> /s	123 a	162 a	166 a	245 a	324 a
	kleine kans op overstromingen	7.600 m <sup>3</sup> /s	1585 a	1862 a	1862 a	2344 a	3631 a
<b>Meetpunt Mainz (Duits-Franse Bovenrijn / van de monding van de Main tot de monding van de Nahe)</b>							
Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters	grote kans op overstromingen	5.700 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	11 a	13 a	13 a
	middelgrote kans op overstromingen	7.900 m <sup>3</sup> /s	129 a	151 a	155 a	182 a	240 a
	kleine kans op overstromingen	10.300 m <sup>3</sup> /s	1622 a	1622 a	1622 a	1778 a	1995 a
<b>Meetpunt Kaub (Middenrijn / van de monding van de Nahe tot de monding van de Moezel)</b>							
Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters	grote kans op overstromingen	5.800 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	12 a	13 a	13 a
	middelgrote kans op overstromingen	8.000 m <sup>3</sup> /s	129 a	148 a	155 a	178 a	234 a
	kleine kans op overstromingen	10.400 m <sup>3</sup> /s	1622 a	1660 a	1660 a	1820 a	1905 a
<b>Meetpunt Andernach (Middenrijn / van de monding van de Moezel tot de monding van de Sieg)</b>							
Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters	grote kans op overstromingen	8.810 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	11 a	12 a	12 a
	middelgrote kans op overstromingen	11.850 m <sup>3</sup> /s	100 a	107 a	110 a	120 a	138 a
	kleine kans op overstromingen	15.250 m <sup>3</sup> /s	1023 a	1096 a	1122 a	1175 a	1259 a
<b>Trajctgerelateerde analyse</b>							
<b>Van de monding van de Sieg tot de monding van de Ruhr</b>							
Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters	grote kans op overstromingen	8.900 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	11 a	11 a	12 a
	middelgrote kans op overstromingen	11.700 m <sup>3</sup> /s	94 a	93 a	96 a	106 a	120 a
	kleine kans op overstromingen	15.300 m <sup>3</sup> /s	1140 a	1130 a	1170 a	1358 a	1466 a
<b>Van de monding van de Ruhr tot de Pannerdensche Kop</b>							
Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters	grote kans op overstromingen	9.380 m <sup>3</sup> /s	10 a	10 a	10 a	12 a	12 a
	middelgrote kans op overstromingen	12.200 m <sup>3</sup> /s	79 a	79 a	78 a	104 a	115 a
	kleine kans op overstromingen	15.800 m <sup>3</sup> /s	763 a	751 a	743 a	1402 a	1706 a
<b>Waal (tot km 938)*</b>							
Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters	grote kans op overstromingen	9.500 m <sup>3</sup> /s	10 a	11 a	11 a	13 a	13 a
	middelgrote kans op overstromingen	12.700 m <sup>3</sup> /s	99 a	105 a	110 a	152 a	169 a
	kleine kans op overstromingen	16.000 m <sup>3</sup> /s	1050 a	1107 a	1161 a	1611 a	2178 a
<b>Nederrijn-Lek*</b>							
Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters	grote kans op overstromingen	9.500 m <sup>3</sup> /s	10 a	10 a	10 a	13 a	13 a
	middelgrote kans op overstromingen	12.700 m <sup>3</sup> /s	80 a	83 a	93 a	151 a	166 a
	kleine kans op overstromingen	16.000 m <sup>3</sup> /s	881 a	912 a	975 a	1611 a	2070 a
<b>IJssel*</b>							
Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters	grote kans op overstromingen	9.500 m <sup>3</sup> /s	3 a	3 a	3 a	13 a	13 a
	middelgrote kans op overstromingen	12.700 m <sup>3</sup> /s	20 a	22 a	22 a	147 a	158 a
	kleine kans op overstromingen	16.000 m <sup>3</sup> /s	344 a	364 a	392 a	1611 a	2080 a

\* Afvoergegevens voor het meetpunt Lobith

Tabel 1: Overzichtstabel van de vastgestelde theoretische herhalingstijden met betrekking tot de toegepaste methode en de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters (voor de analyses van de EG HIRI)



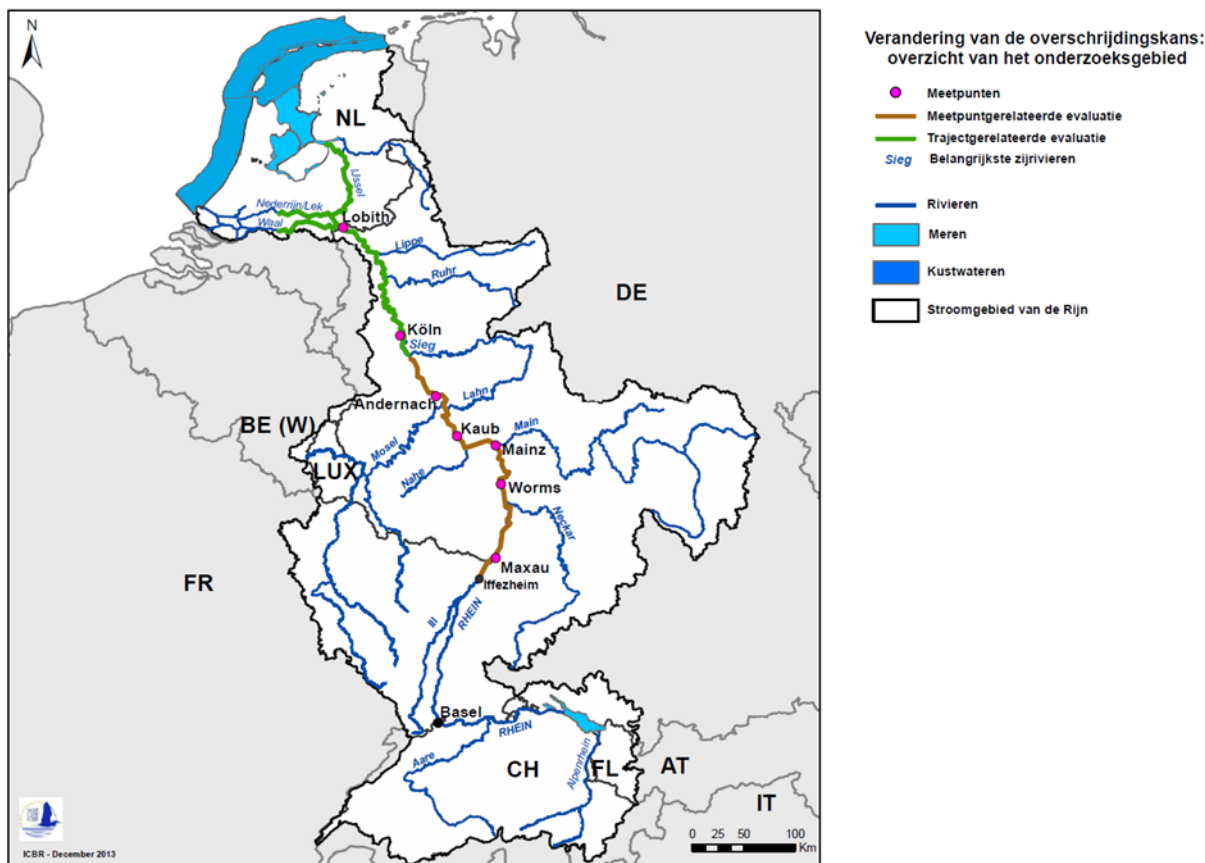
## 2. Algemene werkwijze

De afgelopen jaren is er een groot aantal hoogwaterverlagende maatregelen hetzij uitgevoerd hetzij gepland aan de Rijn (zie bijlagen 4 en 5). Daarbij kan er in principe worden onderscheiden tussen twee types van maatregelen. Enerzijds maatregelen die de piek van een hoogwatergolf verlagen doordat er water wordt vastgehouden (bijv. in retentiepolders of stuwgebieden). Anderzijds maatregelen die het stroomvoerend profiel verruimen (bijv. dijkverleggingen, bypasses, nevengeulen), zodat de piekwaterstand daalt, hoewel de piekafvoer hetzelfde blijft. Aan de Duits-Franse Bovenrijn worden er overwegend afvoerverlagende retentiemaatregelen genomen. Aan de Duitse Nederrijn en in Nederland is er daarentegen veelal sprake van rivierverruimende maatregelen, die zorgen voor een verlaging van de waterstand.

Gelet op het voorgaande moet er in het onderzoek een tweetrapsaanpak worden gevolgd (zie figuur 1). In stap 1 wordt de verandering van de kans van optreden van bepaalde afvoeren ingeschat (hierna genoemd "**meetpuntgerelateerde analyse**"). In deze analyse wordt er rekening gehouden met de effecten van afvoerverlagende maatregelen (bijv. retentiepolders) op de actuele statistische waarden op de meetpunten.

In stap 2 wordt er een inschatting gemaakt van de verhoging van de afvoercapaciteit en vervolgens van de verandering van de kans die resulteert uit de verandering van de capaciteit en afvoer (hierna genoemd "**trajectgerelateerde analyse**"). In deze analyse wordt er zowel rekening gehouden met de effecten van afvoerverlagende maatregelen als met de verlaging van de waterstand als gevolg van rivierverruimende maatregelen.

Op de onderstaande kaart wordt er een overzicht gegeven van het onderzoeksgebied en van de verschillende Rijntrajecten waar er een meetpuntgerelateerde dan wel trajectgerelateerde analyse is uitgevoerd.



Figuur 1: Overzichtskartaal van het onderzoeksgebied

Ten behoeve van de “**meetpuntgerelateerde analyse**” is de verandering van de herhalingstijden bepaald op basis van de door de EG HVAL berekende verlagingen van de waterstand en de afvoer op de volgende referentiemeetpunten (dit zijn sturings- of oriëntatiepunten aan de Duits-Franse Bovenrijn, de Middenrijn en de Duitse Nederrijn):

- Maxau
- Worms
- Mainz
- Kaub
- Andernach
- Keulen (*als basis voor de trajectgerelateerde analyse*)
- Lobith (*als basis voor de trajectgerelateerde analyse*)

Voor het gebied ten zuiden van de monding van de Sieg (d.w.z. voor de Duits-Franse Bovenrijn en de Middenrijn) zijn de meetpuntgerelateerde resultaten representatief voor afzonderlijke Rijntrajecten (zie tabel 2).

Aan de Duitse Nederrijn in Noordrijn-Westfalen ten noorden van de monding van de Sieg en op de Nederlandse Rijntakken zijn er verschillende maatregelen hetzij in voorbereiding hetzij al uitgevoerd die weliswaar een waterstandverlagend effect hebben, maar de afvoer op de meetpunten Keulen en Lobith veelal niet veranderen. Een beoordeling van de afvoerreductie, zoals in de meetpuntgerelateerde analyse, zou deze werkingsmechanismen verwaarlozen. Bovendien hebben de waterstandverlagende maatregelen deels lokaal een verschillend effect. Bijgevolg is hun effect op de

waterstand op de meetlocaties (Keulen en Lobith) niet representatief voor de bekeken riviertrajecten. Om het beeld compleet te maken, is daarom op deze Rijntrajecten de “**trajectgerelateerde analyse**” toegepast (zie tabel 2).

De resultaten zijn voorgelegd aan de ICBR-expertgroep HIRI, die deze informatie als basis heeft genomen voor zijn “evaluatie van het overstromingsrisico/schaderisico” (zie bijlage 6: poster met een beschrijving van het HIRI-instrument voor de evaluatie van het effect van maatregelen op de reductie van het overstromingsrisico inclusief bijbehorende berekeningen/analyses). Voor deze evaluatie is informatie nodig over de veranderingen van de overschrijdingskans bij hoogwatergebeurtenissen met een grote kans op overstromingen (~ HQ-10), een middelgrote kans op overstromingen (~ HQ-100) en een kleine kans op overstromingen (HQ-extreem). De veranderingen van de overschrijdingskans die in het onderhavige rapport zijn vastgesteld/bepaald, zijn een van de parameters die in het HIRI-instrument worden gebruikt om de verandering van het overstromingsrisico te onderzoeken/evalueren.

	Referentiemeetpunten		Toepassingsgebied		
	Beschrijving	km	Beschrijving	van km	tot km
Meetpuntgerelateerde analyse	Maxau	362	van Iffezheim tot de monding van de Neckar	334	428
	Worms	443	van de monding van de Neckar tot de monding van de Main	428	497
	Mainz	498	van de monding van de Main tot de monding van de Nahe	497	529
	Kaub	546	van de monding van de Nahe tot de monding van de Moezel	529	592
	Andernach	614	van de monding van de Moezel tot de monding van de Sieg	592	659
	Keulen	688	van de monding van de Sieg tot de monding van de Ruhr	659	780
Trajectgerelateerde analyse	Lobith	862	van de monding van de Ruhr tot de Pannerdensch Kop	780	867
			Nederrijn-Lek (IJsselkop - Kinderdijk/Lek)	879	989
			Waal (Pannerdensch Kop - Vuren/afgedamde Maas)	867	938
			IJssel (IJsselkop - Keteldiep)	879	1001

Tabel 2: Te analyseren trajecten als basis voor de evaluatie van het overstromingsrisico in de EG HIRI

### 3. Gegevensbasis en methode

#### 3.1 Gegevensbasis

De belangrijkste **gegevensbasis** voor het onderzoek zijn de **piekafvoeren en piekwaterstanden** die de expertgroep HVAL in het kader van de evaluatie van de uitvoering van het APH in 2010 heeft berekend voor zes waterbouwkundige toestanden (1977, 1995, 2005, 2010, 2020, 2020plus; ICBR 2012a en ICBR 2012b). Hierbij moet worden bedacht dat er voor het niveau van het extreme hoogwater twee varianten zijn

berekend: een theoretische waarde die zich zou voordoen als de dijken ook bij extreem hoogwater (> HQ500) niet overstromden en een (als realistischer te beschouwen) waarde waarin dijkoverstroming bij extreem hoogwater is meegenomen.

Het onderzoek naar de verandering van de kans is uitgevoerd voor de piekwaarden zonder dijkoverstroming. Zo is voorkomen dat het effect van de waterstand- en afvoerverlagende maatregelen wordt vertekend door retentie als gevolg van dijkdoorbraak of -overstroming.

Een tweede belangrijke gegevensbasis zijn de **officiële hoogwaterstatistieken** van de zeven HVAL-referentiemeetpunten Maxau, Worms, Mainz, Kaub, Andernach, Keulen en Lobith (HSK 1978, MULEWF 1993, AG Statistik 2001, RWS-RIZA 2001, LUA 2002). De methode wordt in de navolgende hoofdstukken nader beschreven.

Zoals reeds vermeld gaat de ICBR-expertgroep HIRI bij haar evaluatie van het overstromingsrisico/schaderisico uit van nationale overstromingsgevaarkaarten. **De afvoeren die per traject zijn toegekend aan de drie kansscenario's uit de ROR (kleine, middelgrote en grote kans op overstromingen) en die in het kader van de gecoördineerde implementatie van de ROR in het internationaal Rijndistrict zijn afgestemd**, zijn op een rij gezet in de onderstaande tabel 3 (ICBR, 2014). Voor het werk van de EG HIRI wordt aangenomen dat de overstromingsgebieden op de overstromingsgevaarkaarten voor elk van de drie hierboven genoemde kansscenario's identiek zijn in de verschillende waterbouwkundige toestanden van de Rijn.

Rijntrajecten	Grote kans op overstromingen	Middelgrote kans op overstromingen	Kleine kans op overstromingen
van Iffezheim tot de monding van de Neckar	4.100 m <sup>3</sup> /s	5.000 m <sup>3</sup> /s	6.500 m <sup>3</sup> /s
vanaf de monding van de Neckar	4.750 m <sup>3</sup> /s	6.000 m <sup>3</sup> /s	7.600 m <sup>3</sup> /s
vanaf de monding van de Main	5.700 m <sup>3</sup> /s	7.900 m <sup>3</sup> /s	10.300 m <sup>3</sup> /s
vanaf de monding van de Nahe	5.800 m <sup>3</sup> /s	8.000 m <sup>3</sup> /s	10.400 m <sup>3</sup> /s
vanaf de monding van de Moezel	8.810 m <sup>3</sup> /s	11.850 m <sup>3</sup> /s	15.250 m <sup>3</sup> /s
vanaf de monding van de Sieg	8.900 m <sup>3</sup> /s	11.700* m <sup>3</sup> /s	15.300 m <sup>3</sup> /s
vanaf de monding van de Ruhr	9.380 m <sup>3</sup> /s	12.200 m <sup>3</sup> /s	15.800 m <sup>3</sup> /s
vanaf Lobith	9.500 m <sup>3</sup> /s	12.700 m <sup>3</sup> /s	16.000 m <sup>3</sup> /s

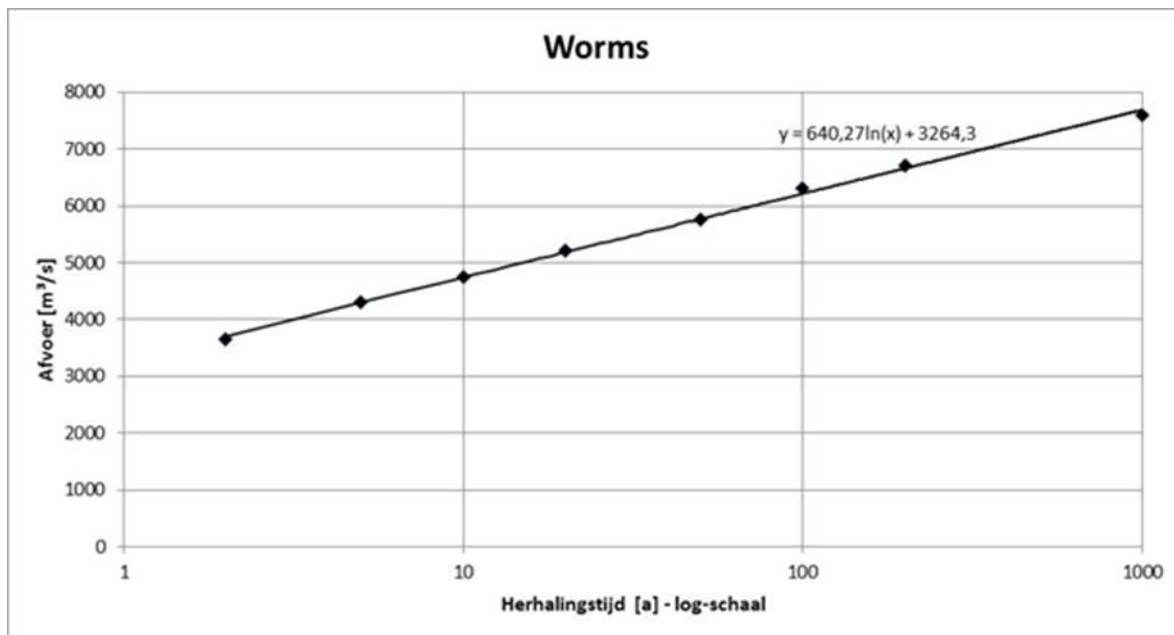
*\* Het verschil in afvoer tussen de monding van de Moezel en de Duitse Nederrijn kan worden verklaard door retentie-effecten.*

Tabel 3: Afvoeren bij hoogwater met een grote, middelgrote of kleine kans op overstromingen, afgestemd in het kader van de gecoördineerde implementatie van de ROR in het internationaal stroomgebieddistrict Rijn (met name voor de overstromingsgevaarkaart)

### 3.2 Verwerking van de waarden van de officiële hoogwaterstatistieken

In een eerste stap is er een lineaire trendlijn berekend voor de officiële statistische waarden van de meetpunten, zodat alle tussenwaarden kunnen worden bepaald. Het uitgangspunt is de toestand 1977, waarvoor voor alle meetpunten officiële hoogwaterstatistieken beschikbaar zijn. Het voordeel van deze waterbouwkundige toestand is dat er toentertijd nog geen hoogwaterretentiemaatregelen effectief waren.

In figuur 2 is bij wijze van voorbeeld het resultaat voor het meetpunt Worms weergegeven. De resultaten voor de overige meetpunten zijn opgenomen in bijlage 1.



Figuur 2: Lineaire trendlijn voor het meetpunt Worms (op basis van officiële statistische waarden)

### 3.3 Bepaling van de herhalingstijd van de berekende piekafvoeren

De groep van hoogwaters die de EG HVAL onderzoekt, is gebaseerd op achttien historische hoogwatergebeurtenissen. Elk van deze gebeurtenissen is met zes verschillende factoren vergroot dan wel verkleind, zodat er 108 synthetische modelhoogwaters zijn verkregen, waarmee telkens voor zes waterbouwkundige toestanden (1977, 1995, 2005, 2010, 2020 en 2020plus) berekeningen zijn uitgevoerd, die voor elk van de aangewezen meetpunten zijn geëvalueerd. De gevolgde methode en de verkregen resultaten zijn vastgelegd in ICBR-rapport 199 (ICBR 2012a).

In een tweede stap is per meetpunt voor elk van de 108 modelhoogwaters de herhalingstijd in de toestand 1977 bepaald met behulp van de in hoofdstuk 3.2 beschreven trendlijn. Aannemende dat voor alle piekwaarden van een modelhoogwater (bijv. "12/1882 factor nummer 6") dezelfde herhalingstijd geldt, ongeacht de waterbouwkundige toestand, kon aan de resultaten van de berekeningen voor de overige vijf waterbouwkundige toestanden dezelfde herhalingstijd worden toegekend als aan het resultaat voor de waterbouwkundige toestand 1977. In tabel 4 wordt het resultaat hiervan bij wijze van voorbeeld weergegeven voor achttien modelhoogwaters op het meetpunt Worms en de grootste vergrotingsfactor (factor nummer 6).

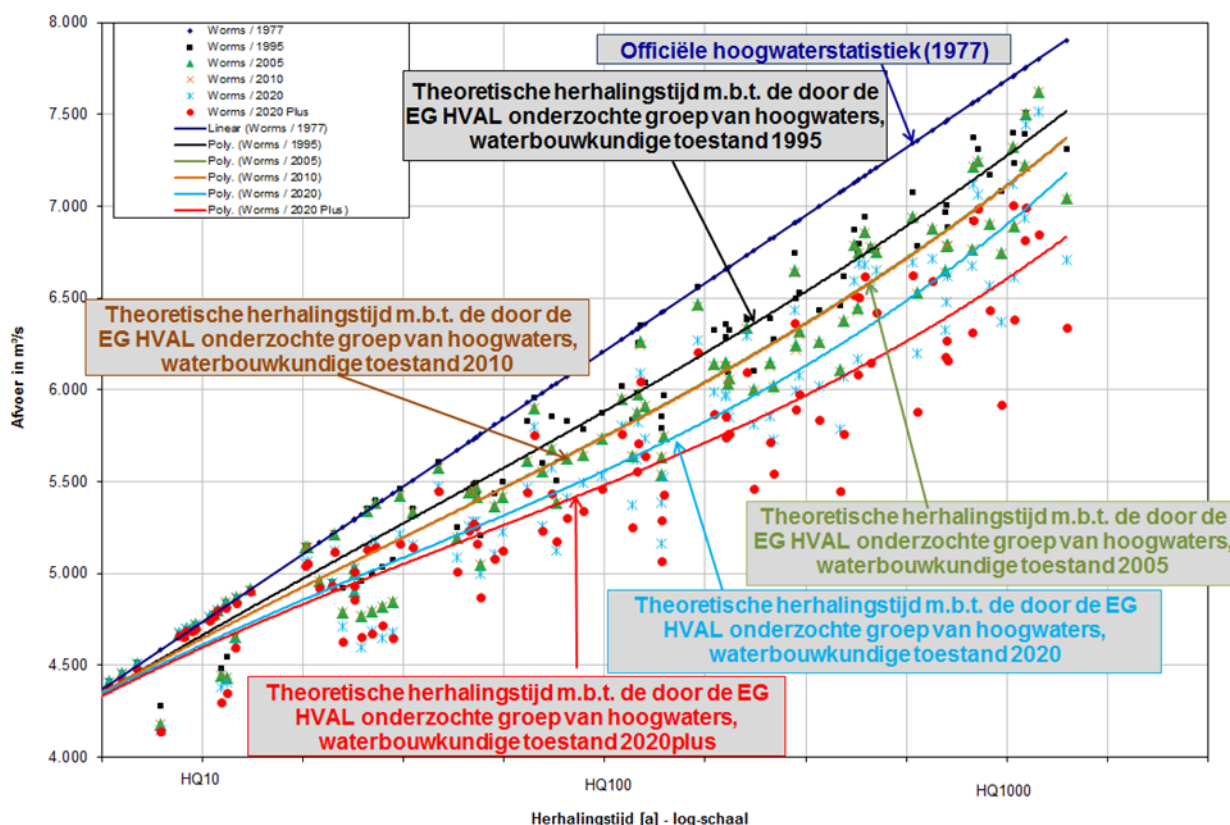
Modelhoogwaters		Piekafoeren [m <sup>3</sup> /s] op het meetpunt Worms / Rijn voor de waterbouwkundige toestanden (zonder dijkoverstroming) en de grootste vergrotingsfactor						
Gebeurtenis	Factor nr. 6	1977		1995	2005	2010	2020	2020plus
		Piekafoer [m <sup>3</sup> /s]	Toegekende herhalingstijd					
12/1882	1,00	7905	1400 a	7310	7043	7040	6707	6337
12/1918	1,45	7668	1000 a	7082	6749	6742	6369	5918
12/1919	1,20	7624	910 a	7172	6908	6899	6571	6434
12/1925	1,60	6656	200 a	6291	6146	6132	5979	5856
01/1955	1,20	7563	830 a	7374	7218	7215	7120	6927
02/1957	1,35	7712	1050 a	7238	6895	6884	6615	6382
02/1970	1,40	7752	1100 a	7393	7221	7215	6938	6816
05/1978	1,40	7461	700 a	6971	6650	6638	6330	6183
02/1980	1,60	7470	700 a	6884	6788	6786	6620	6163
04/1983	1,40	7467	700 a	7007	6787	6781	6482	6270
05/1983	1,40	7559	810 a	6921	6764	6763	6673	6315
03/1988	1,40	7758	1120 a	7507	7504	7502	7445	6991
12/1993	1,45	7708	1000 a	7401	7324	7319	7119	7007
01/1995	1,55	7089	390 a	6618	6376	6372	6070	5761
10/1998	2,10	7580	850 a	7315	7249	7243	7062	6987
02/1999	1,50	7803	1200 a	7605	7624	7621	7513	6848
05/1999	1,25	5435	30 a	5074	4844	4843	4680	4648
01/2003	2,25	7415	660 a	6865	6877	6875	6715	6592

Tabel 4: Koppeling van herhalingstijden aan berekende piekafoeren (bij wijze van voorbeeld voor achttien modelhoogwaters, factor nummer 6, meetpunt Worms)

### 3.4 Totstandbrenging van evaluatiegrafieken (per meetpunt) voor de inschatting van de theoretische herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwatergebeurtenissen

In een derde stap is er voor elk van de te onderzoeken meetpunten een evaluatiegrafiek gemaakt (zie figuur 3). Hiervoor zijn eerst per waterbouwkundige toestand de 108 berekende piekwaarden uitgezet tegen hun herhalingstijd die is berekend door middel van de hierboven beschreven methode. Vervolgens is voor de waardeparen van elke waterbouwkundige toestand, bestaande uit piekafoeren en herhalingstijden, een trendlijn vastgesteld en opgenomen. In figuur 3 zijn bij wijze van voorbeeld de zes resulterende trendlijnen voor het meetpunt Worms weergegeven. De resultaten voor alle overige meetpunten zijn opgenomen in bijlage 2.

Voor elk meetpunt en elke waterbouwkundige toestand zijn er ook onzekerheidsmarges bepaald. In bijlage 3 zijn deze marges bij wijze van voorbeeld voor het meetpunt Worms in de toestand 2010 weergegeven. De EG HVAL heeft bij de uitvoering van het project geen rekening gehouden met deze onzekerheidsmarges, omdat de EG HIRI voor zijn verdere onderzoek gemiddelde veranderingen van de herhalingstijd nodig heeft.



Figuur 3: Evaluatiegrafiek: voorbeeld voor het meetpunt Worms

Opmerking: Zowel de piekwaarden als de trendlijnen voor de waterbouwkundige toestanden 2005 en 2010 verschillen zoals verwacht onderling maar weinig, omdat er in de bekeken periode slechts enkele retentiemaatregelen zijn afgerond (zie de bijlagen 4 en 5). Gelet op het voorgaande kunnen er in de figuren maar moeilijk verschillen worden ontdekt tussen deze twee toestanden.

### 3.5 Meetpuntgerelateerde analyse van de evaluatiegrafiek

Voor de analyse en de bepaling van de herhalingstijden zijn er twee methodes ontwikkeld, die in principe beide kunnen worden toegepast. De methodes verschillen van elkaar in die zin dat

- a) methode 1 uitgaat van een bepaalde afvoer en dat
- b) methode 2 uitgaat van een bepaalde herhalingstijd

om de vraag te beantwoorden hoe de herhalingstijden in de verschillende waterbouwkundige toestanden veranderen.

De EG HVAL heeft gekozen voor methode 1, omdat de risicoberekeningen van de EG HIRI zijn gebaseerd op afgestemde afvoeren die als uitgangspunt zijn genomen voor de totstandbrenging van de overstromingsgevaarkaarten in het kader van de implementatie van de ROR in het internationaal Rijndistrict.

Deze methode wordt hiernavolgend uitgelegd op basis van de bovenstaande evaluatiegrafiek:

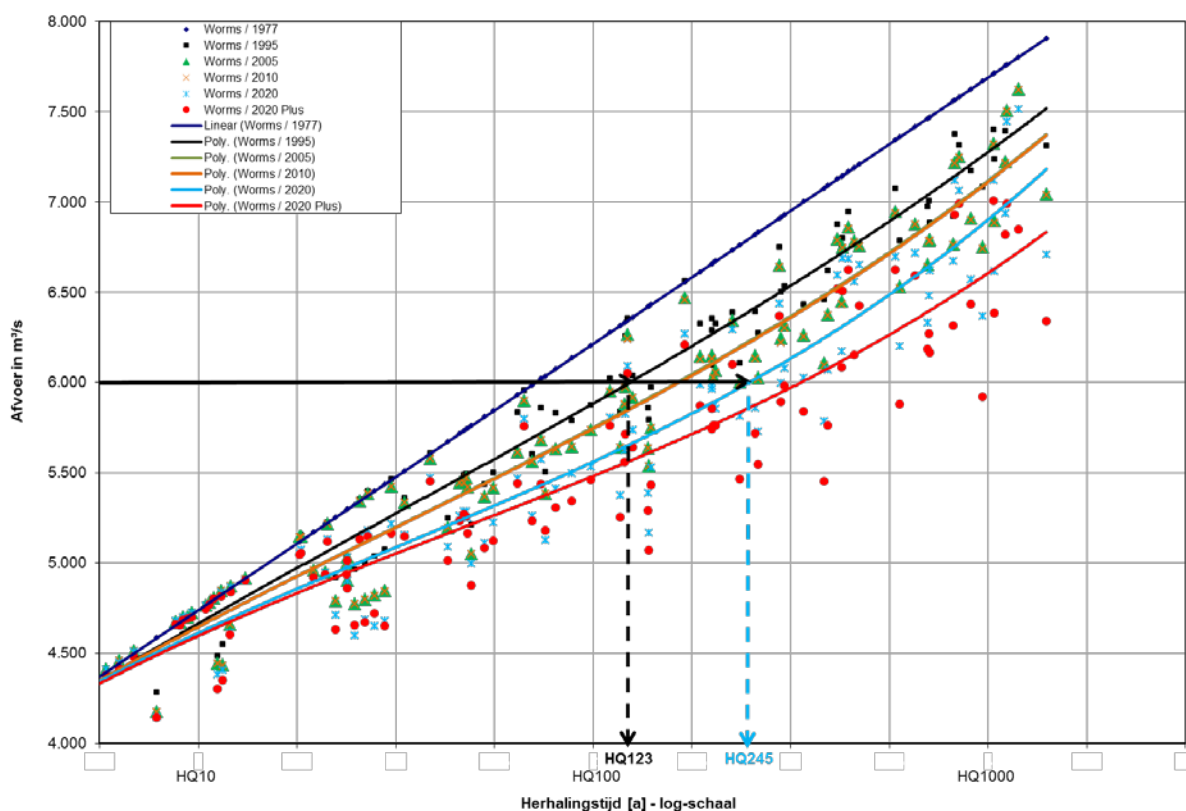


Uitgaande van een bepaalde **afvoer** wordt er een antwoord gegeven op de vraag wat de herhalingstijd is van deze afvoer in de verschillende waterbouwkundige toestanden. De afvoer kan bijvoorbeeld uit tabel 3 worden genomen. Met de methode kan er dus in elke waterbouwkundige toestand een bepaalde overschrijdingskans worden toegekend aan afvoeren, wat betekent dat ook de vraag van de expertgroep HIRI kan worden beantwoord naar de verandering van de herhalingstijd van afvoeren als gevolg van hoogwaterverlagende maatregelen.

De methode is schematisch voorgesteld in figuur 4 en wordt verduidelijkt aan de hand van het volgende voorbeeld:

- De berekening is gericht op de herhalingstijden van een hoogwater met een middelgrote kans op overstromingen op het meetpunt Worms. Conform de afspraken in verband met de ROR komt een dergelijke hoogwatergebeurtenis op het Rijntraject van de monding van de Neckar tot de monding van de Main overeen met een afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s (zie tabel 3).
- Deze afvoer heeft daar in de waterbouwkundige toestand 1995 een herhalingstijd van 123 jaar.
- In de waterbouwkundige toestand 2020 wordt er aan deze afvoer een herhalingstijd van 245 jaar toegekend.

In de praktijk worden de herhalingstijden niet grafisch, maar wel numeriek bepaald met behulp van de functies waarop de trendlijnen zijn gebaseerd. Hierdoor kan voor elke willekeurige afvoer uit het onderzochte spectrum in elke waterbouwkundige toestand de overeenkomstige herhalingstijd worden vastgesteld.



Figuur 4: Methode voor de bepaling van herhalingstijden: voorbeeld voor het meetpunt Worms

De resultaten worden uiteindelijk per meetpunt samengevat in een tabel, zoals bij wijze van voorbeeld voor het traject “Duits-Franse Bovenrijn / van de monding van de Neckar tot de monding van de Main (meetpunt Worms)” is gedaan in tabel 5 (zie alle resultaten in hoofdstuk 1, tabel 1 of hoofdstuk 4, tabel 8). Daarbij wordt er per waterbouwkundige toestand een herhalingsstijd toegekend aan de in tabel 3 genoemde (en in het kader van de ROR afgestemde) afvoeren met een “grote”, “middelgrote” of “kleine” kans op overstromingen.

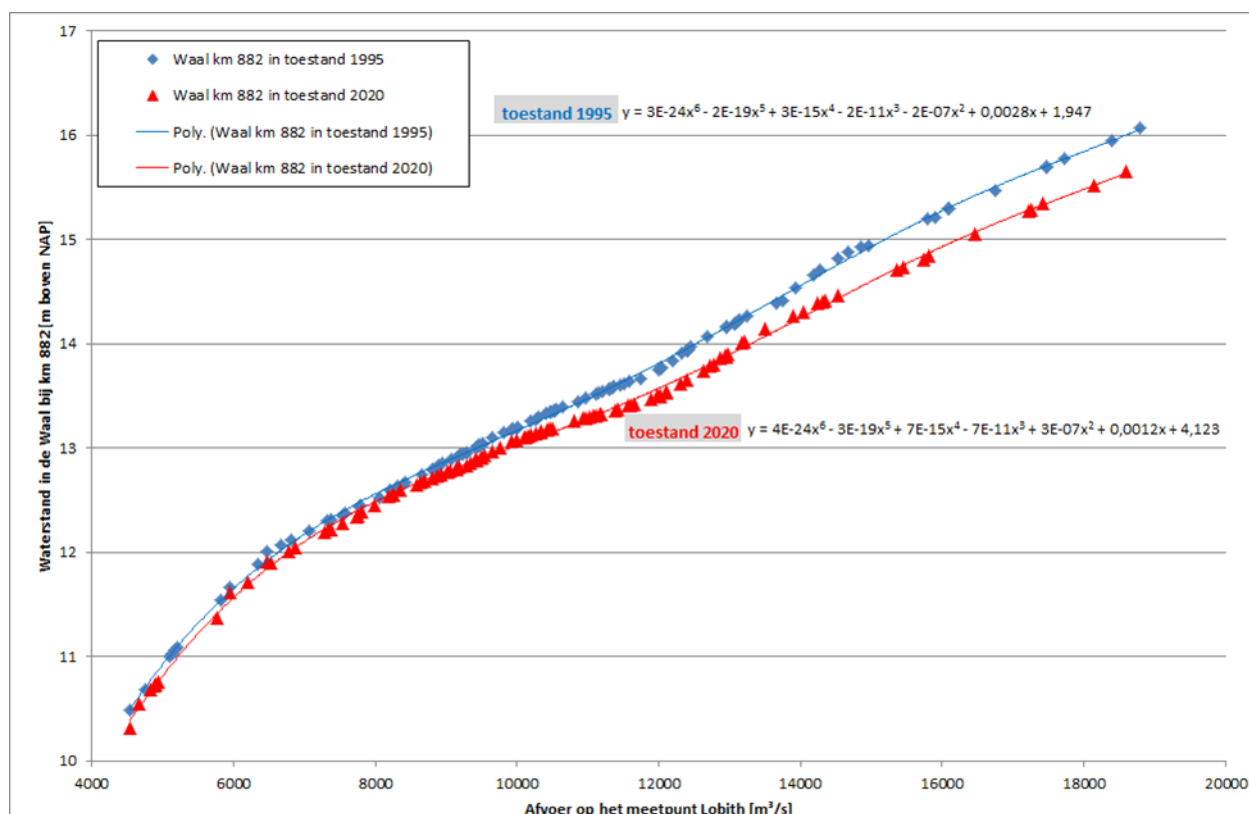
Trajecten	Kansen	Afvoeren [m <sup>3</sup> /s]	Theoretische herhalingsstijden [a] met betrekking tot de toegepaste methode en de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters				
			in de waterbouwkundige toestanden				
			1995	2005	2010	2020	2020plus
<b>Meetpuntgerelateerde analyse</b>							
<b>Meetpunt Worms (Duits-Franse Bovenrijn / van de monding van de Neckar tot de monding van de Main)</b>							
Herhalingsstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters	grote kans op overstromingen	4.750 m <sup>3</sup> /s	12 a	12 a	12 a	14 a	14 a
	middelgrote kans op overstromingen	6.000 m <sup>3</sup> /s	123 a	162 a	166 a	245 a	324 a
	kleine kans op overstromingen	7.600 m <sup>3</sup> /s	1585 a	1862 a	1862 a	2344 a	3631 a

Tabel 5: Theoretische herhalingsstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters: voorbeeld voor het meetpunt Worms

### 3.6 Bepaling van de (verandering van de) afvoercapaciteit op de Rijntrajecten ten noorden van de monding van de Sieg

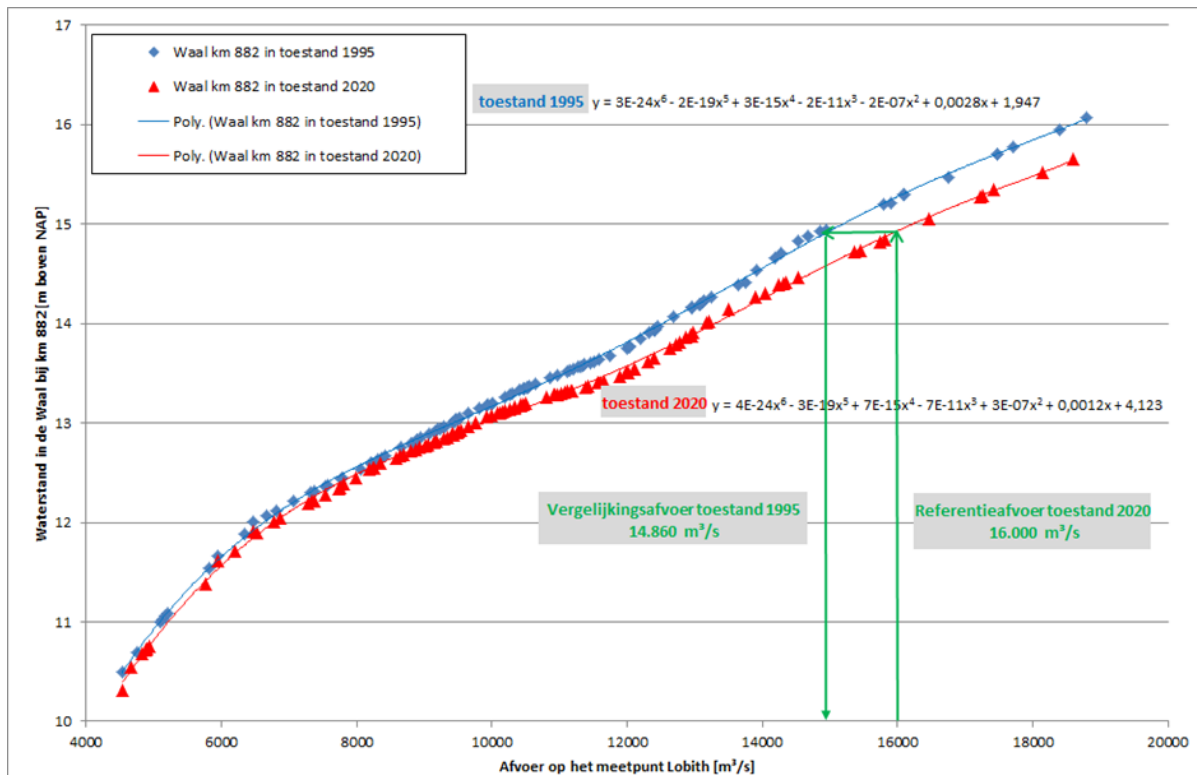
Om de verandering van de afvoercapaciteit te bepalen als gevolg van de rivierverruimende maatregelen die vanaf de monding van de Sieg een belangrijke rol spelen in de verlaging van de waterstand bij hoogwater, wordt eerst voor elk rivierprofiel (ca. 500 m lang) de waterstand-afvoerrelatie vastgesteld in elk van de zes waterbouwkundige toestanden (1977, 1995, 2005, 2010, 2020 en 2020plus). Daarbij wordt er uitgegaan van de piekafvoeren en piekwaterstanden die de EG HVAL heeft berekend voor de 108 modelhoogwaters. Anders dan gebruikelijk wordt niet de relatie tussen de waterstand en de afvoer in het profiel zelf vastgesteld, maar wordt de relatie tussen de waterstand in het profiel en de afvoer op het referentiemeetpunt (Keulen dan wel Lobith) bepaald. Hierdoor wordt er een direct verband gelegd tussen de afvoeren op het meetpunt en de overeenkomstige waterstanden op het traject. Het referentiemeetpunt voor het traject van de monding van de Sieg tot de monding van de Ruhr is Keulen, het referentiemeetpunt voor het traject van de monding van de Ruhr tot de Pannerdensche Kop, en voor de trajecten die worden gevormd door de Waal, de Nederrijn-Lek en de IJssel is Lobith.

Deze werkwijze is nodig om verschillende redenen. Ten eerste omdat er alleen zo een relatie kan worden gelegd tussen de waterstand op het traject en de hoogwaterstatistiek, waarbij deze relatie is gebaseerd op afvoeren en gerelateerd aan meetpunten. Ten tweede omdat de lokale afvoeren niet altijd identiek zijn aan de afvoeren op het referentiemeetpunt. Dit geldt vooral voor de Nederlandse Rijntakken. Hier is Lobith het referentiemeetpunt voor alle drie de hoofdtakken van de Rijn (Waal, Nederrijn-Lek en IJssel). Direct benedenstrooms van Lobith splitst de Rijn zich en wordt de totale afvoer van de Rijn verdeeld over de drie takken (ca. 2/3 Waal, 2/9 Nederrijn-Lek en 1/9 IJssel). In figuur 5 wordt het resultaat van deze bewerking bij wijze van voorbeeld weergegeven voor de Waal op km 882 in de waterbouwkundige toestanden 1995 en 2020.



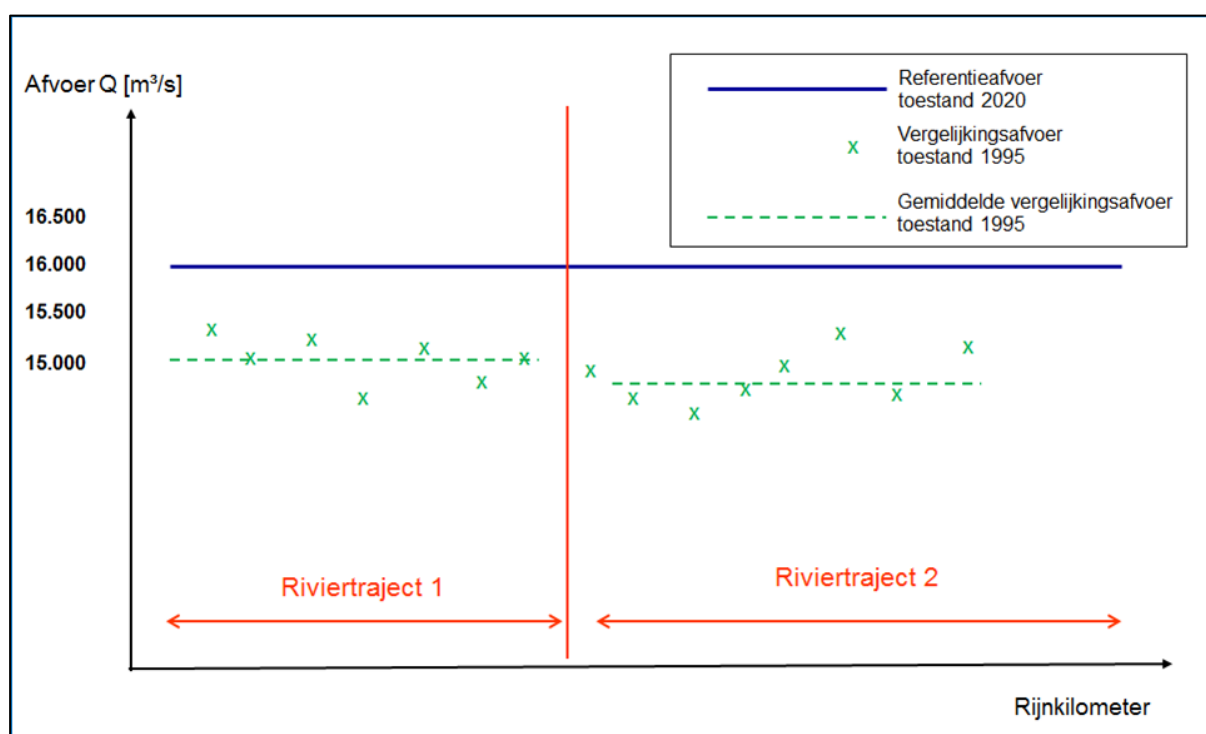
Figuur 5: Relatie tussen de afvoer op het referentiemeetpunt (hier: Lobith) en de waterstand in het profiel: voorbeeld voor de Waal (km 882) in de toestanden 1995 en 2020

Nu kan voor elke willekeurige afvoer op het referentiemeetpunt de waterstand in elk profiel worden bepaald, bijv. in de toestand 2020. De referentieafvoeren die nodig zijn voor de bepaling van de capaciteit worden hier toegewezen aan de waterbouwkundige toestand 2020, omdat deze afvoeren pas worden bereikt na uitvoering van de maatregelen in het Nederlandse programma “Ruimte voor de rivier”. In een vervolgstap wordt voor elk profiel de afvoer op het referentiemeetpunt berekend die nodig is om in een andere waterbouwkundige toestand (bijv. 1995) dezelfde waterstand te bereiken. In figuur 6 wordt deze werkwijze verduidelijkt voor de Waal op km 882. In de praktijk gebeurt deze bepaling niet grafisch, maar wel numeriek met behulp van de trendlijn (zesdegraads polynoom) voor de waterstand-afvoerrelatie.



Figuur 6: Bepaling van de (verandering van de) afvoercapaciteit op basis van figuur 5 “Relatie tussen de afvoer op het referentiemeetpunt (hier: Lobith) en de waterstand in het profiel: voorbeeld voor de Waal (km 882) in de toestanden 1995 en 2020”

Uit de vastgestelde referentieafvoer op het referentiemeetpunt vloeit zodoende voor elk profiel van een riviertraject een vergelijkingsafvoer voort die overeenkomt met de bekeken waterbouwkundige toestand. In figuur 7 wordt een schematische voorstelling gegeven van het resulterende lengteprofiel van de vergelijkingsafvoeren. Door de waarden in het lengteprofiel te middelen, kan de gemiddelde vergelijkingsafvoer worden bepaald.



Figuur 7: Lengteprofiel van de vergelijkingsafvoeren (schematische voorstelling)

In tabel 6 wordt bij wijze van voorbeeld de uitkomst weergegeven van de berekening van de gemiddelde afvoercapaciteit van de Waal in de verschillende waterbouwkundige toestanden en kanscategorieën conform ROR (grote, middelgrote en kleine kans op overstromingen).

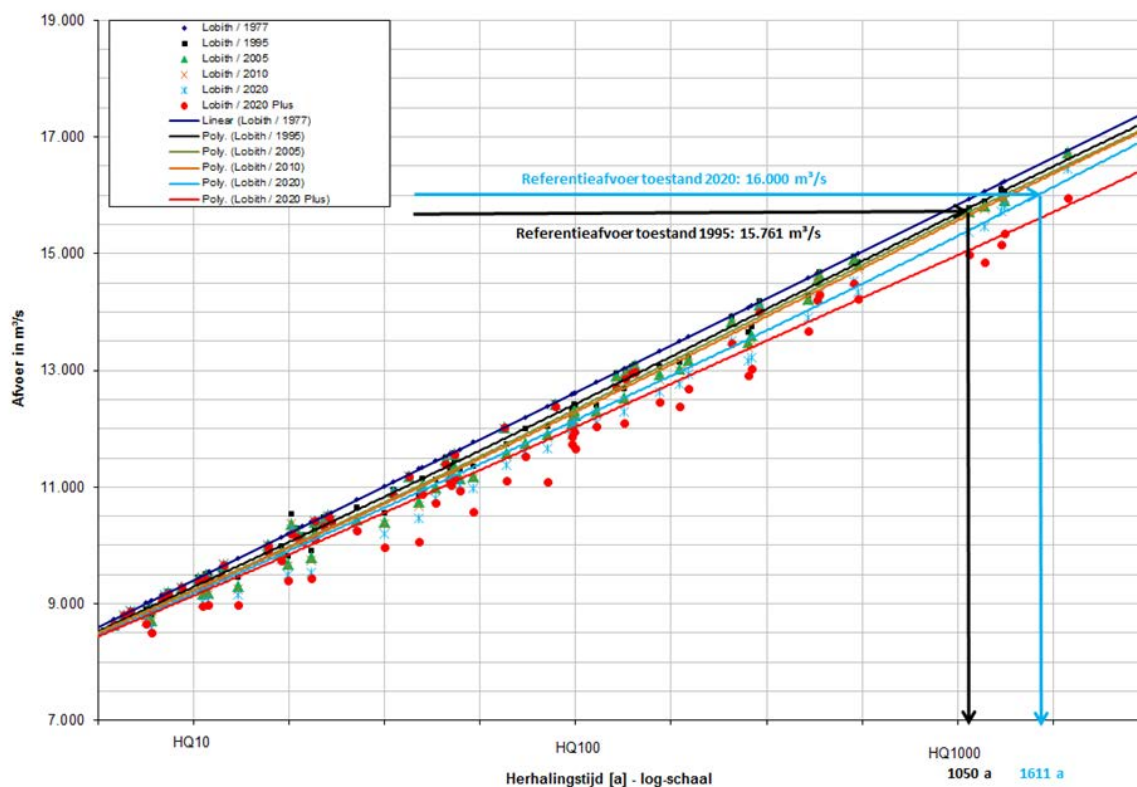
Trajecten	Kansen	Gemiddelde afvoercapaciteit [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] in de waterbouwkundige toestanden				
		1995	2005	2010	2020	2020plus
<i>Trajectgerelateerde analyse</i>						
<b>Waal (tot km 938)*</b>						
Gemiddelde afvoercapaciteit [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	grote kans op overstromingen	9.324	9.326	9.325	9.500	9.500
	middelgrote kans op overstromingen	12.415	12.408	12.418	12.700	12.708
	kleine kans op overstromingen	15.761	15.764	15.781	16.000	15.984

Tabel 6: Resultaat van de bepaling van de gemiddelde afvoercapaciteiten van de Waal

### 3.7 Trajectgerelateerde analyse van de evaluatiegrafiek voor de inschatting van de theoretische herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwatergebeurtenissen

Voor de inschatting van de theoretische herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwatergebeurtenissen wordt er, net zoals bij de meetpuntgerelateerde analyse, gebruik gemaakt van evaluatiegrafieken waarvan de totstandbrenging is beschreven in hoofdstuk 3.4.

Uitgaand van een vastgestelde (referentie)afvoer (bijv. het hoogwater met een kleine kans op overstromingen, waarvoor in tabel 3 voor het gebied vanaf Lobith een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s is aangegeven) worden eerst voor alle waterbouwkundige toestanden de bijbehorende afvoercapaciteiten op de verschillende riviertrajecten (bijv. de Waal) berekend (zie hoofdstuk 3.6). Het resultaat hiervan voor de Waal is samengevat in tabel 6. Met behulp van de evaluatiegrafiek kan nu voor elke afvoer uit tabel 6 de passende herhalingstijd worden bepaald. In figuur 8 is dit weergegeven voor het hoogwater met een kleine kans op overstromingen in de toestanden 2020 en 1995.



Figuur 8: Methode voor de bepaling van herhalingstijden: voorbeeld voor de Waal, trajectgerelateerde analyse

In de praktijk worden de herhalingstijden net als in de meetpuntgerelateerde analyse niet grafisch bepaald, maar wel met behulp van de functies waarop de trendlijnen zijn gebaseerd. In tabel 7 zijn de resultaten bij wijze van voorbeeld voor de Waal weergegeven. Hierbij dient te worden gewezen op een bijzondere situatie: vanaf km 938 is er sprake van een invloed van de getijden. Deze invloed neemt stroomafwaarts toe en voorkomt dat er een duidelijk verband kan worden gelegd tussen de waterstanden in de dwarsprofielen en de afvoeren op het meetpunt Lobith. Daarom gelden de veranderingen van de herhalingstijden die zijn bepaald voor de Waal alleen voor het gebied tot km 938.

Trajecten	Kansen	Afvoeren [m <sup>3</sup> /s]	Theoretische herhalingstijden [a] met betrekking tot de toegepaste methode en de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters				
			in de waterbouwkundige toestanden				
			1995	2005	2010	2020	2020plus
<b>Trajectgerelateerde analyse</b>							
<b>Waal (tot km 938)*</b>							
Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters	grote kans op overstromingen	9.500 m <sup>3</sup> /s	10 a	11 a	11 a	13 a	13 a
	middelgrote kans op overstromingen	12.700 m <sup>3</sup> /s	99 a	105 a	110 a	152 a	169 a
	kleine kans op overstromingen	16.000 m <sup>3</sup> /s	1050 a	1107 a	1161 a	1611 a	2178 a
<small>* Afvoergegevens voor het meetpunt Lobith</small>							

Tabel 7: Bepaalde theoretische herhalingstijden: voorbeeld voor de Waal, trajectgerelateerde analyse

## 4. Resultaten

### 4.1 Opmerkingen vooraf in verband met de interpretatie van de resultaten

#### a) Opmerking over de vergelijkbaarheid met de officiële waarden van de hoogwaterstatistiek

De door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwatergebeurtenissen is gebaseerd op synthetische modelhoogwaters, die ten opzichte van de officiële statistische waarden (verkregen op basis van gemeten hoogwaterpieken) slechts in een vergelijkbare orde van grootte kunnen liggen.

Met betrekking tot de vastgestelde veranderingen van de kans in de verschillende waterbouwkundige toestanden moet het volgende worden bedacht:

- De verandering van de kans voor HQextreem is gebaseerd op theoretische aannames, omdat er geen rekening is gehouden met dijkoverstroming, die zich in de realiteit wel voordoet.
- De gegevensbasis van de EG HVAL omvat piekwaarden tot in het bereik van HQ1000 in de waterbouwkundige toestand 1977, waarbij het aantal piekwaarden in deze extreme afvoerrange zeer laag is. De uitspraken over de verandering van de kansen gelden dan ook alleen voor piekwaarden tot deze herhalingstijd, en kunnen alleen worden gebruikt voor het onderzoek van de EG HIRI.
- Voor het scenario HQextreem heeft de onderhavige analyse niet tot doel om de werkelijke verandering van de kans af te beelden (dan zou er rekening moeten worden gehouden met dijkoverstroming), maar wel om de verandering van de kans als gevolg van de maatregelen uit het Actieplan Hoogwater in cijfers uit te drukken.
- Het voor de EG HIRI bepalende referentieniveau is de toestand 1995. Hierdoor zijn de numerieke verschillen kleiner dan wanneer er wordt gerelateerd aan de toestand 1977.



b) Opmerking over kwesties in verband met de Duits-Franse Verdragen voor de bescherming tegen hoogwater in de Bovenrijn:

In de studie van de EG HVAL

- zijn hoogwaters met verschillende herhalingstijden onderzocht;
- zijn de piekafvoeren voor het evaluatiepunt “monding van de Murg” en voor de monding van de Neckar niet geanalyseerd;
- zijn vereenvoudigde reglementen voor de sturing van retentiemaatregelen als uitgangspunt genomen en ecologische inundaties verwaarloosd;
- is er aangenomen dat voor alle piekwaarden van een modelhoogwater (bijv. “12/1882 factor nummer 6”) dezelfde herhalingstijd geldt, ongeacht de waterbouwkundige toestand. Dit betekent dat de herhalingstijd die is verkregen voor de gemodelleerde waterbouwkundige toestand 1977 wordt toegepast op de resultaten van de berekeningen voor de overige vijf, latere waterbouwkundige toestanden (zie tabel 4).

Een directe vertaling van de hier vastgelegde rekenresultaten naar de effectiviteitsonderzoeken die zijn uitgevoerd volgens de criteria van de Duits-Franse verdragen is daarom vakinhoudelijk niet toegestaan.

c) Opmerking over het gebruik van de resultaten voor andere vraagstukken

De gepresenteerde resultaten zijn verkregen in het kader van de analyse van het HVAL-vraagstuk. Bij vraagstukken die deze analyse overstijgen, moet er per geval nauwkeurig worden gecontroleerd of de resultaten van de EG HVAL wat hun methode en informatieve waarde betreft kunnen worden gebruikt voor andere toepassingen (bijv. kosten-batenanalyses).

## 4.2 Samenvatting van de resultaten

De resultaten van de berekening van de herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwatergebeurtenissen in de waterbouwkundige toestanden 1995, 2005, 2010, 2020 en 2020plus zijn weergegeven in tabel 8 voor de meetpuntgerelateerde analyse en in tabel 9 voor de trajectgerelateerde analyse. Hierbij geldt dat de resultaten van de meetpuntgerelateerde analyse voor de meetpunten Keulen en Lobith (zie tabel 8) alleen het uitgangspunt vormen voor de trajectgerelateerde analyse (zie tabel 9). Ze geven slechts de verandering van de herhalingstijd weer die voortvloeit uit het effect van maatregelen op de afvoer. Omdat een groot deel van de maatregelen benedenstrooms van de monding van de Sieg alleen de waterstand en niet de afvoer beïnvloedt, moest er voor dit gebied in een tweede stap een trajectgerelateerde analyse worden uitgevoerd. De in tabel 8 samengevatte informatie voor de meetpunten Keulen en Lobith dient daarom niet te worden begrepen als eindresultaat, maar wel als basis voor de trajectgerelateerde analyse, waarvan de uitkomst is weergegeven in tabel 9.

De berekende (veranderingen van de) herhalingstijden weerspiegelen de voortschrijdende toename van het in de loop der tijd door middel van maatregelen beschikbaar gemaakte retentievolume (zie de tabel in bijlage 5a): het retentievolume op het meetpunt Worms neemt bijvoorbeeld het meest toe bij HQextreem in de

waterbouwkundige toestanden 2020 en 2020plus, en deze veranderingen worden ook zichtbaar in de theoretische herhalingstijden die zijn bepaald voor afvoeren met een middelgrote en een kleine kans op overstromingen.

De afvoer vanuit de Moezel zwakt het effect van de maatregelen, uitgedrukt in de verandering van de herhalingstijden, duidelijk af (zie tabel 8 voor het meetpunt Andernach, dat het Rijntraject tussen de monding van de Moezel en de monding van de Sieg vertegenwoordigt). Alleen hoogwaters die mede of vooral afkomstig zijn van de Duits-Franse Bovenrijn kunnen worden beïnvloed door retentiemaatregelen. Hoe groter het aandeel van de Moezel aan een hoogwater bij Andernach hoe kleiner de invloed van de maatregelen aan de Duits-Franse Bovenrijn.

Op de Rijntrajecten benedenstrooms van de monding van de Sieg (zie tabel 9) laten alle hoogwaterklassen (grote, middelgrote en kleine kans op overstromingen) de grootste veranderingen zien tussen de toestanden 2010 en 2020, en tussen de toestanden 2020 en 2020plus. Dit wordt vooral veroorzaakt door de afronding van de rivierverruimende maatregelen voor 2020. De toename van de herhalingstijden na 2020 heeft hoofdzakelijk betrekking op hoogwatergebeurtenissen met een middelgrote en kleine kans op overstromingen en is wellicht voornamelijk het gevolg van de retentiemaatregelen die zijn voorgenomen aan de Duits-Franse Bovenrijn en de Duitse Nederrijn.

Opvallend is ook het verschillende effect van maatregelen op de herhalingstijden in de drie Nederlandse Rijntakken. Hier wordt het sterk uiteenlopende karakter van de drie Rijntakken duidelijk wat betreft hun hydraulische capaciteit (ca. 2/3 van het water bij Lobith wordt afgevoerd door de Waal, 2/9 door de Nederrijn/Lek en 1/9 door de IJssel), en de effectiviteit van de verschillende maatregelen (bijv. grootschalige kribverlaging in de Waal en hoogwatergeulen en dijkverleggingen langs de IJssel).

Daarenboven kon er bij de bepaling van de herhalingstijden alleen rekening worden gehouden met de Waal tot km 938. Als gevolg van de invloed van de getijden, die begint bij km 938 en stroomafwaarts toeneemt, kon er geen duidelijk verband worden gelegd tussen de waterstand in de dwarsprofielen en de afvoeren bij Lobith (zie hoofdstuk 3.6 en 3.7).

Trajecten	Kansen	Afvoeren [ $m^3/s$ ]	Theoretische herhalingstijden [a] met betrekking tot de toegepaste methode en de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters				
			in de waterbouwkundige toestanden				
			1995	2005	2010	2020	2020plus
<b>Meetpunt Maxau (Duits-Franse Bovenrijn / van Iffezheim tot de monding van de Neckar)</b>							
Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters	grote kans op overstromingen	4.100 $m^3/s$	14 a	17 a	17 a	19 a	21 a
	middelgrote kans op overstromingen	5.000 $m^3/s$	145 a	182 a	182 a	209 a	282 a
	kleine kans op overstromingen	6.500 $m^3/s$	1698 a	1778 a	1778 a	1778 a	1950 a
<b>Meetpunt Worms (Duits-Franse Bovenrijn / van de monding van de Neckar tot de monding van de Main)</b>							
Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters	grote kans op overstromingen	4.750 $m^3/s$	12 a	12 a	12 a	14 a	14 a
	middelgrote kans op overstromingen	6.000 $m^3/s$	123 a	162 a	166 a	245 a	324 a
	kleine kans op overstromingen	7.600 $m^3/s$	1585 a	1862 a	1862 a	2344 a	3631 a
<b>Meetpunt Mainz (Duits-Franse Bovenrijn / van de monding van de Main tot de monding van de Nahe)</b>							
Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters	grote kans op overstromingen	5.700 $m^3/s$	11 a	11 a	11 a	13 a	13 a
	middelgrote kans op overstromingen	7.900 $m^3/s$	129 a	151 a	155 a	182 a	240 a
	kleine kans op overstromingen	10.300 $m^3/s$	1622 a	1622 a	1622 a	1778 a	1995 a
<b>Meetpunt Kaub (Middenrijn / van de monding van de Nahe tot de monding van de Moezel)</b>							
Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters	grote kans op overstromingen	5.800 $m^3/s$	11 a	11 a	12 a	13 a	13 a
	middelgrote kans op overstromingen	8.000 $m^3/s$	129 a	148 a	155 a	178 a	234 a
	kleine kans op overstromingen	10.400 $m^3/s$	1622 a	1660 a	1660 a	1820 a	1905 a
<b>Meetpunt Andernach (Middenrijn / van de monding van de Moezel tot de monding van de Sieg)</b>							
Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters	grote kans op overstromingen	8.810 $m^3/s$	11 a	11 a	11 a	12 a	12 a
	middelgrote kans op overstromingen	11.850 $m^3/s$	100 a	107 a	110 a	120 a	138 a
	kleine kans op overstromingen	15.250 $m^3/s$	1023 a	1096 a	1122 a	1175 a	1259 a
<b>Meetpunt Keulen (meetpuntgerelateerde analyse alleen als basis voor de trajectgerelateerde analyse in tabel 9)</b>							
Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters	grote kans op overstromingen	8.900 $m^3/s$	10 a	11 a	11 a	11 a	11 a
	middelgrote kans op overstromingen	11.700 $m^3/s$	87 a	93 a	98 a	107 a	120 a
	kleine kans op overstromingen	15.300 $m^3/s$	1175 a	1259 a	1288 a	1349 a	1445 a
<b>Meetpunt Lobith (meetpuntgerelateerde analyse alleen als basis voor de trajectgerelateerde analyse in tabel 9)</b>							
Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters	grote kans op overstromingen	9.500 $m^3/s$	12 a	12 a	13 a	13 a	13 a
	middelgrote kans op overstromingen	12.700 $m^3/s$	123 a	129 a	135 a	151 a	166 a
	kleine kans op overstromingen	16.000 $m^3/s$	1259 a	1318 a	1349 a	1622 a	2188 a

Tabel 8: Resultaten van de meetpuntgerelateerde analyse: overzichtstabel van de vastgestelde theoretische herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters. De methode die is toegepast voor de meetpunten Keulen en Lobith wordt toegelicht in hoofdstuk 4.2; de resultaten hiervan zijn weergegeven in tabel 9.

Trajecten	Kansen	Afvoeren [ $m^3/s$ ]	Theoretische herhalingstijden [a] met betrekking tot de toegepaste methode en de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters				
			in de waterbouwkundige toestanden				
			1995	2005	2010	2020	2020plus
<b>Trajectgerelateerde analyse</b>							
<b>Van de monding van de Sieg tot de monding van de Ruhr</b>							
<b>Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters</b>	grote kans op overstromingen	8.900 $m^3/s$	11 a	11 a	11 a	11 a	12 a
	middelgrote kans op overstromingen	11.700 $m^3/s$	94 a	93 a	96 a	106 a	120 a
	kleine kans op overstromingen	15.300 $m^3/s$	1140 a	1130 a	1170 a	1358 a	1466 a
<b>Van de monding van de Ruhr tot de Pannerdensche Kop</b>							
<b>Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters</b>	grote kans op overstromingen	9.380 $m^3/s$	10 a	10 a	10 a	12 a	12 a
	middelgrote kans op overstromingen	12.200 $m^3/s$	79 a	79 a	78 a	104 a	115 a
	kleine kans op overstromingen	15.800 $m^3/s$	763 a	751 a	743 a	1402 a	1706 a
<b>Waal (tot km 938)*</b>							
<b>Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters</b>	grote kans op overstromingen	9.500 $m^3/s$	10 a	11 a	11 a	13 a	13 a
	middelgrote kans op overstromingen	12.700 $m^3/s$	99 a	105 a	110 a	152 a	169 a
	kleine kans op overstromingen	16.000 $m^3/s$	1050 a	1107 a	1161 a	1611 a	2178 a
<b>Nederrijn-Lek*</b>							
<b>Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters</b>	grote kans op overstromingen	9.500 $m^3/s$	10 a	10 a	10 a	13 a	13 a
	middelgrote kans op overstromingen	12.700 $m^3/s$	80 a	83 a	93 a	151 a	166 a
	kleine kans op overstromingen	16.000 $m^3/s$	881 a	912 a	975 a	1611 a	2070 a
<b>IJssel*</b>							
<b>Herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwaters</b>	grote kans op overstromingen	9.500 $m^3/s$	3 a	3 a	3 a	13 a	13 a
	middelgrote kans op overstromingen	12.700 $m^3/s$	20 a	22 a	22 a	147 a	158 a
	kleine kans op overstromingen	16.000 $m^3/s$	344 a	364 a	392 a	1611 a	2080 a
<i>* Afvoergegevens voor het meetpunt Lobith</i>							

Tabel 9: Resultaten van de trajectgerelateerde analyse: overzichtstabel van de vastgestelde theoretische herhalingstijden met betrekking tot de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwatergebeurtenissen

## Bibliografie

- AG Statistik, 2001: Ermittlung von Hochwasserabflüssen definierter Jährlichkeiten für die Pegel Maxau und Worms. Werkgroep Statistiek van de Permanente Commissie voor Waterbouwkundige Aanpassingen tussen Kehl/Straatsburg en Neuburgweier/Lauterburg.
- 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 de hoogwaterstanden in de Rijn als gevolg van de uitvoering van het Actieplan Hoogwater tot 2005 (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).
- ICBR, 1998: Actieplan Hoogwater. Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn.
- 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, alleen beschikbaar in het Duits en het Frans).
- ICBR, 2012a: 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 doorkijk naar 2020 en 2020plus. Eindrapport (ICBR-rapport 199).
- ICBR, 2012b: Actieplan Hoogwater 1995-2010: overzicht actiedoelen, uitvoering en samenvatting van de resultaten. Beknopte balans (ICBR-rapport 200).
- ICBR, 2013: Werkdocument "Implementatie van de EU-ROR: totstandbrenging van de Rijnatlas 2013/2014" (document GIS(2)13-04-01)
- ICBR, 2014: Rapportage over de totstandbrenging van overstromingsgevaar- en overstromingsrisicokaarten in het internationaal stroomgebieddistrict Rijn (waternet met stroomgebieden > 2.500 km<sup>2</sup>, deel A) en de uitwisseling van informatie conform artikel 6, lid 2 van de Europese richtlijn over beoordeling en beheer van overstromingsrisico's (ROR)
- LUA [uitg.], 2002: Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeiten HQT an den Pegel des Rheins. Dienst voor milieu van de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen (LUA), Essen 2002, ISSN 1610-9619.
- LUBW/BAFU, februari 2010: Aktualisierung des Hochwasserabfluss-Längsschnitts für den Hochrhein (afgestemd eindrapport). Bericht des Instituts für Wasser und Gewässerentwicklung des Karlsruher Institut für Technologie im Auftrag von Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Regierungspräsidium Freiburg (RPF) und Bundesamt für Umwelt der Schweizerischen Eidgenossenschaft (BAFU)
- MULEWF (ministerie van Milieu van de Duitse deelstaat Rijnland-Palts) - Hoogwaterstudiegroep voor het Rijntraject van Kaub tot Rolandswerth, 1993: Der Einfluss des Oberrheinausbaus und der am Oberrhein vorgesehenen

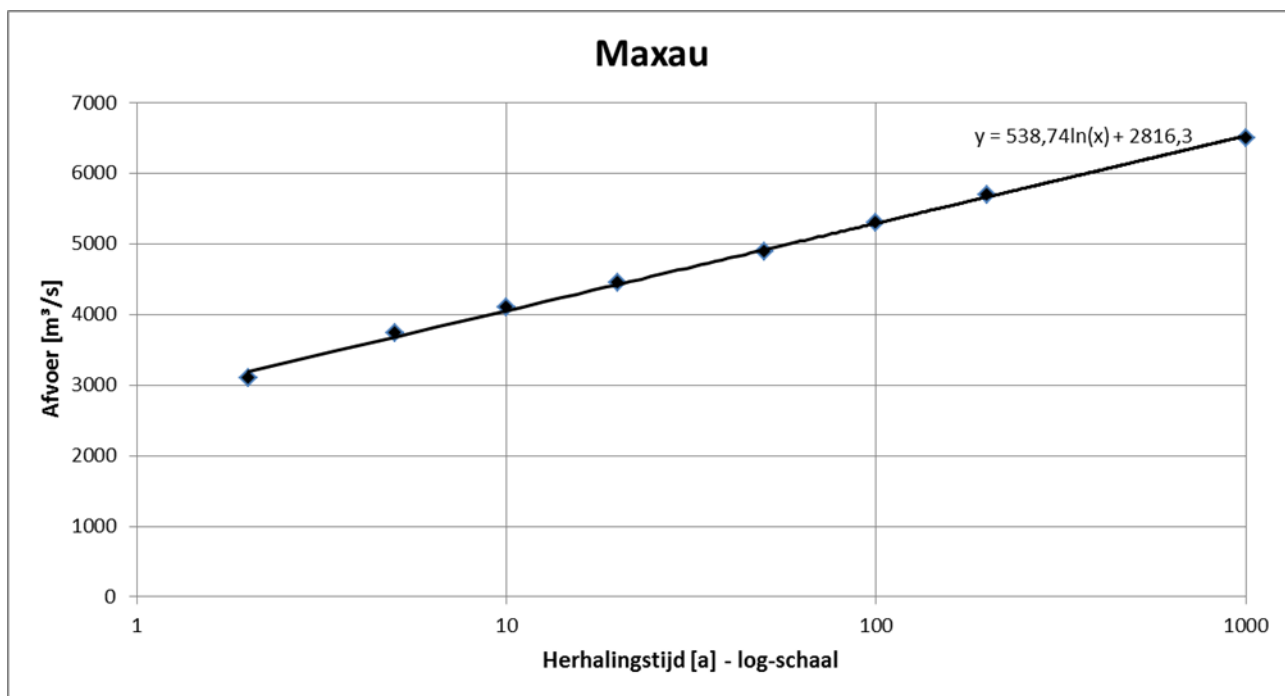
Retentionsmaßnahmen auf die Hochwasser am Mittelrhein von Kaub bis Köln;  
Rapport: Auswirkung der Rückhaltemaßnahmen am Oberrhein nach dem deutsch-  
französischen Vertrag von 1982. Materialien zum Hochwasserschutz am Rhein. 74  
p.; bijlagen

RWS-RIZA, 2001: Hydraulische Randvoorwaarden 2001; Maatgevende afvoeren Rijn en  
Maas, RIZA-rapport 2002.014, Arnhem 2001, ISBN 9036954355

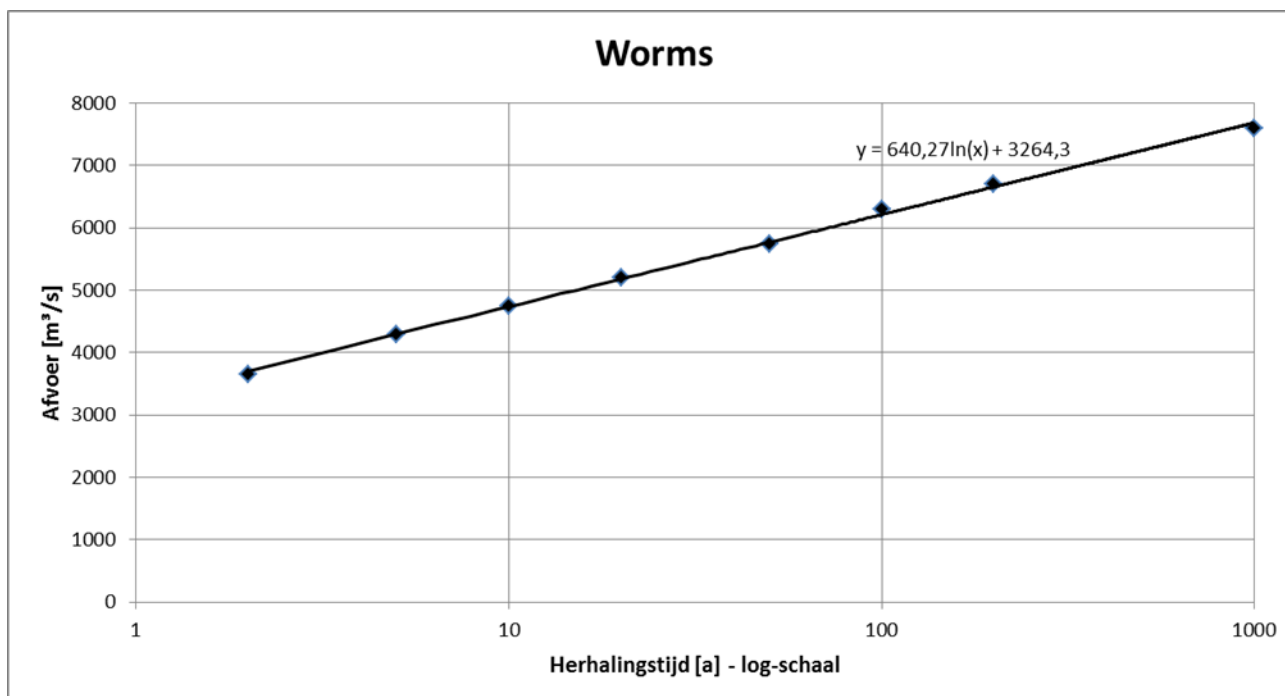
Ständige Kommission, 1998: Nachweis der Wirksamkeit der  
Hochwasserrückhaltemaßnahmen am Oberrhein zwischen Basel und Worms unter  
Einbeziehung ökologischer Flutungen. AG Wirksamkeitsnachweis.

## Bijlagen

### Bijlage 1: Trendlijnen “officiële statistiek” voor de referentiemeetpunten

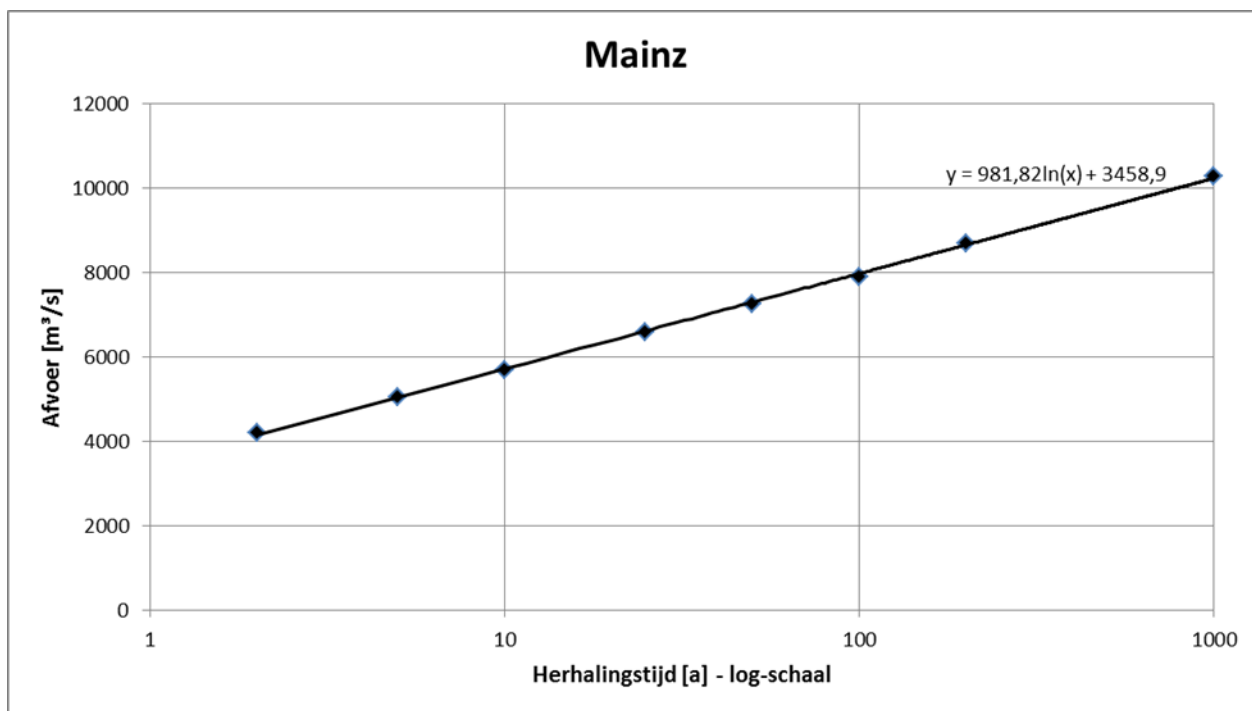


Bijlage 1a: Trendlijn voor het meetpunt Maxau (op basis van officiële statistische waarden)

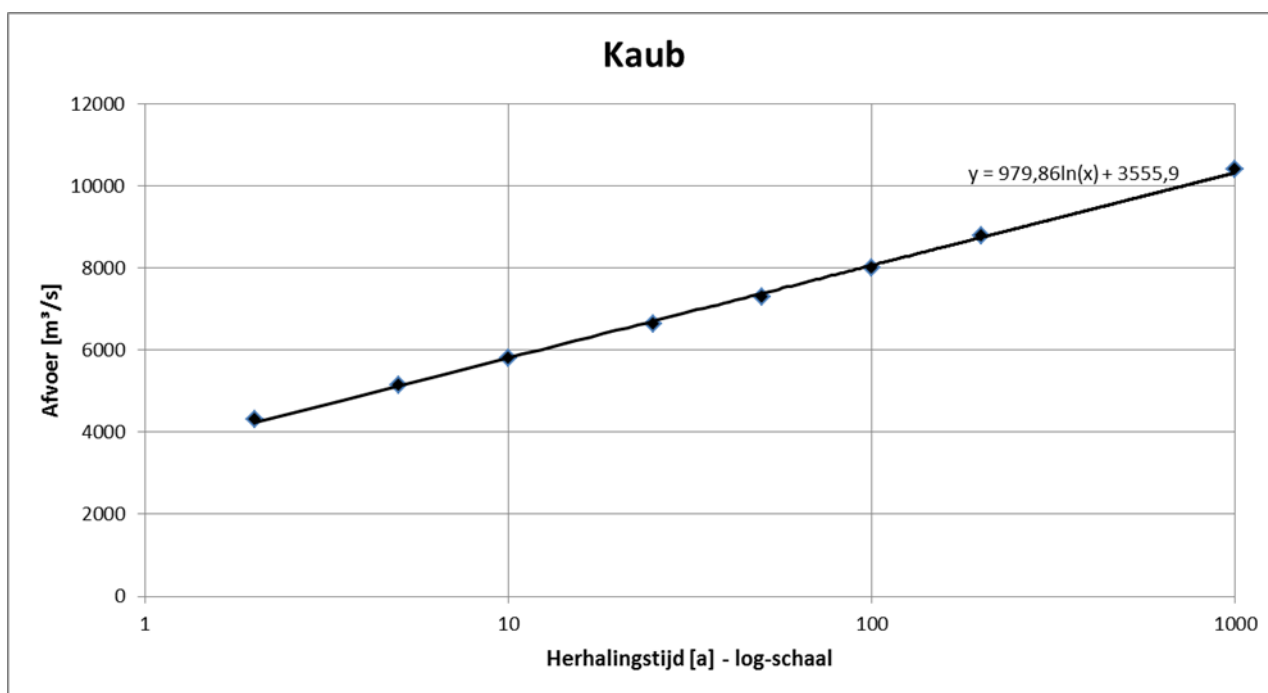


Bijlage 1b: Trendlijn voor het meetpunt Worms (op basis van officiële statistische waarden)

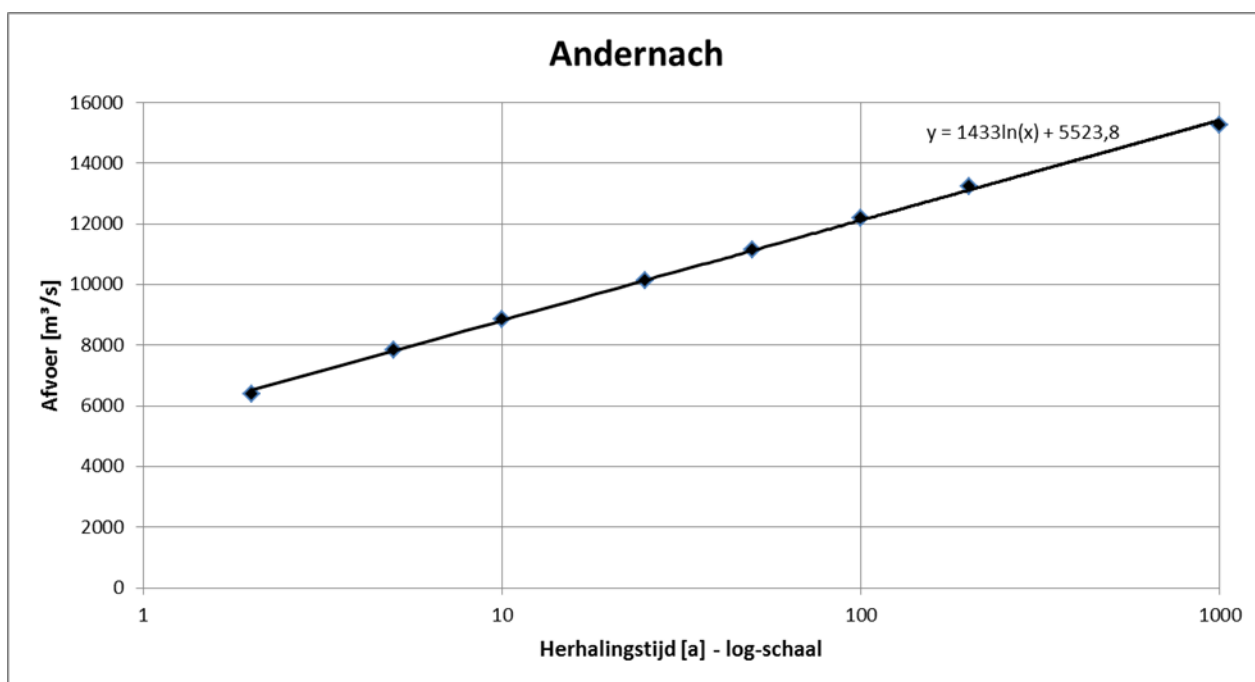




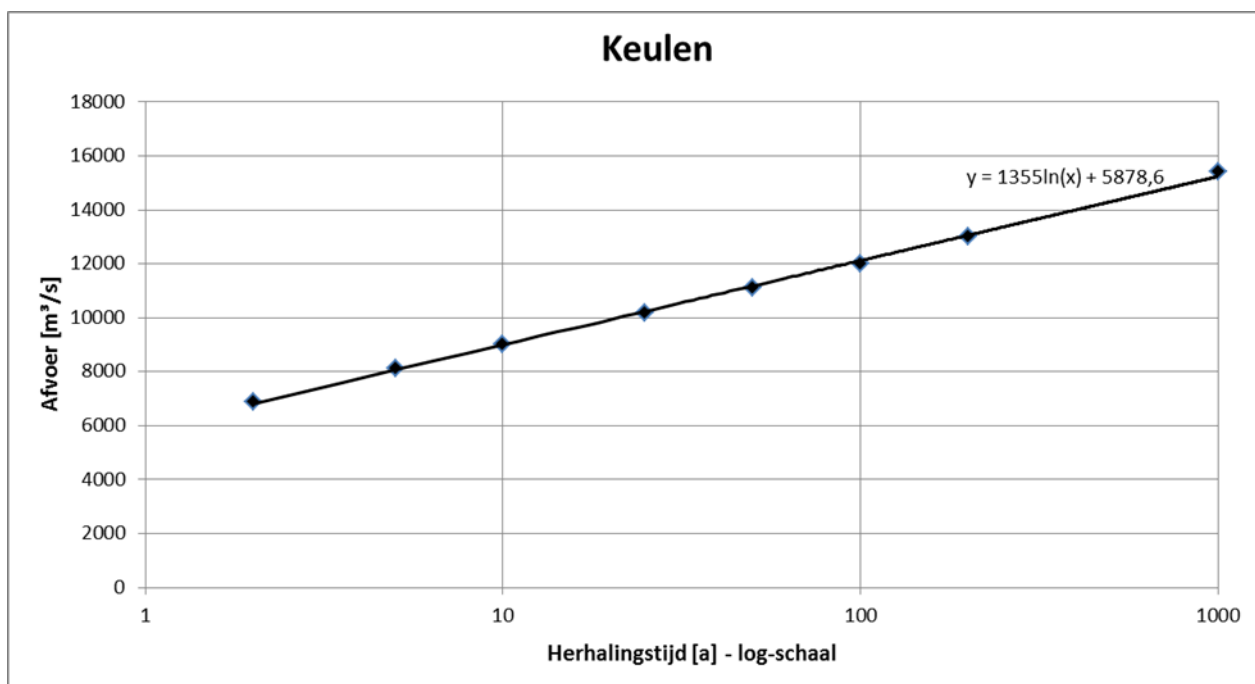
Bijlage 1c: Trendlijn voor het meetpunt Mainz (op basis van officiële statistische waarden)



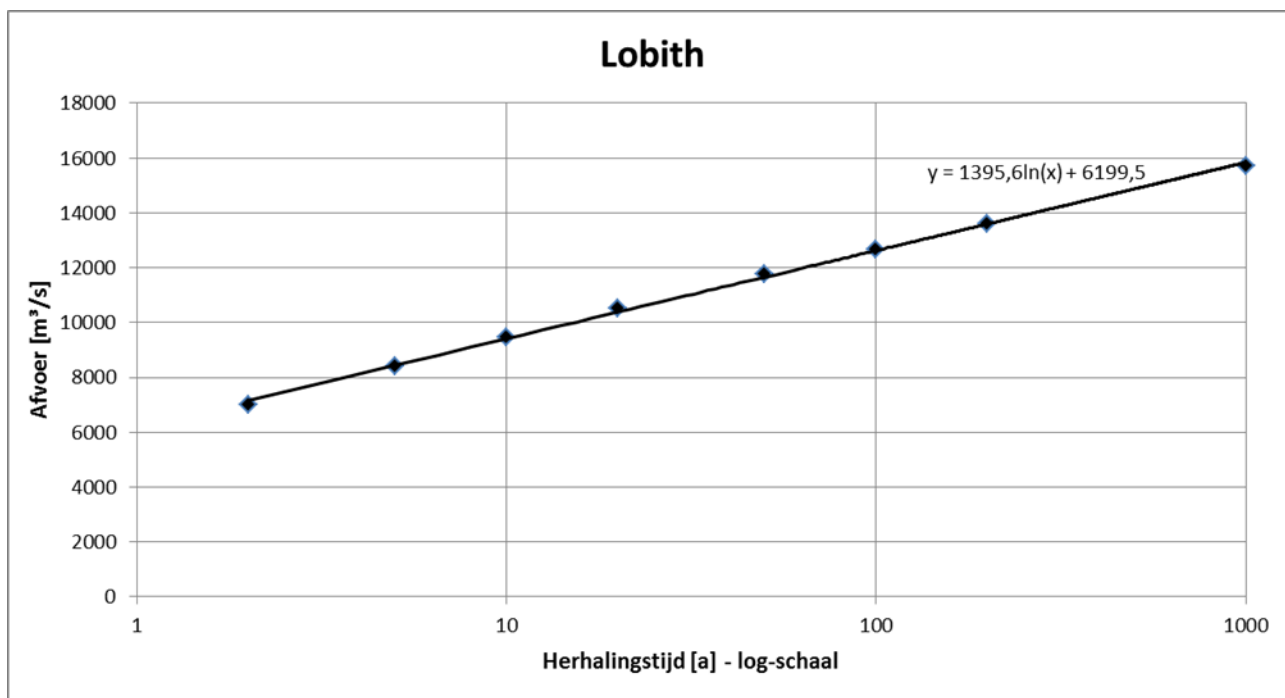
Bijlage 1d: Trendlijn voor het meetpunt Kaub (op basis van officiële statistische waarden)



Bijlage 1e: Trendlijn voor het meetpunt Andernach (op basis van officiële statistische waarden)

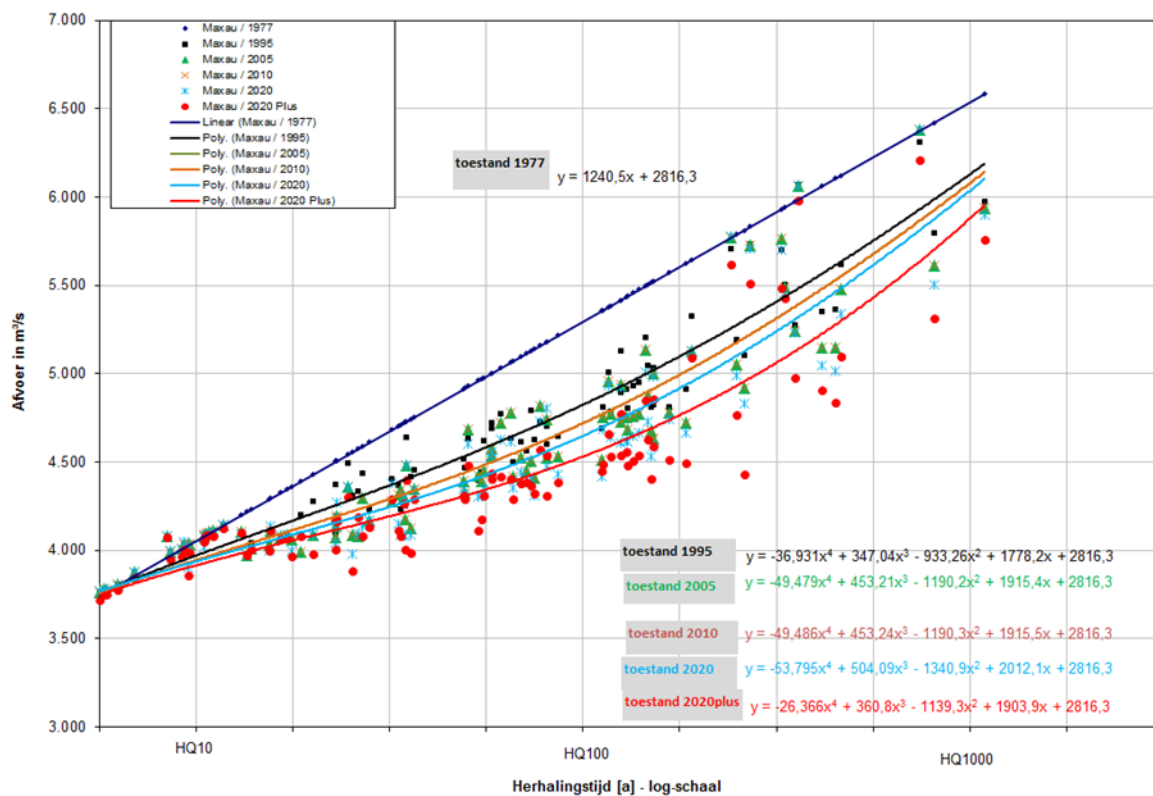


Bijlage 1f: Trendlijn voor het meetpunt Keulen (op basis van officiële statistische waarden)

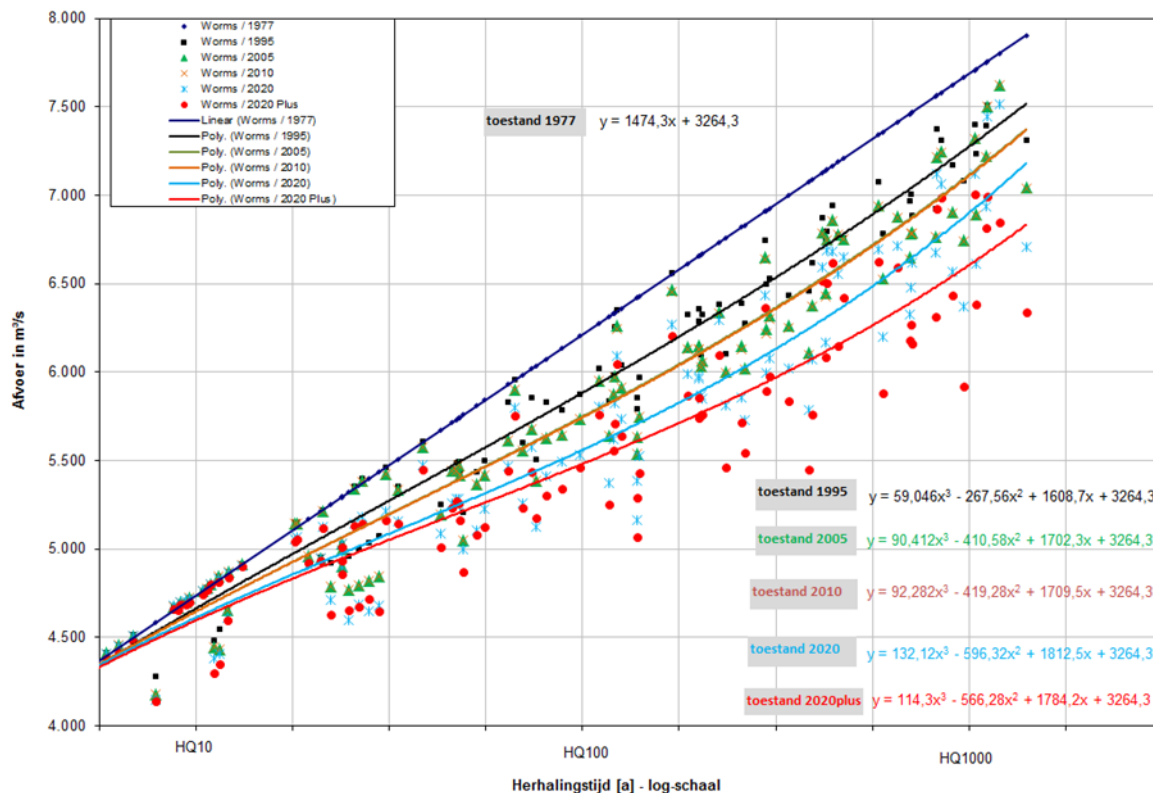


Bijlage 1g: Trendlijn voor het meetpunt Lobith (op basis van officiële statistische waarden)

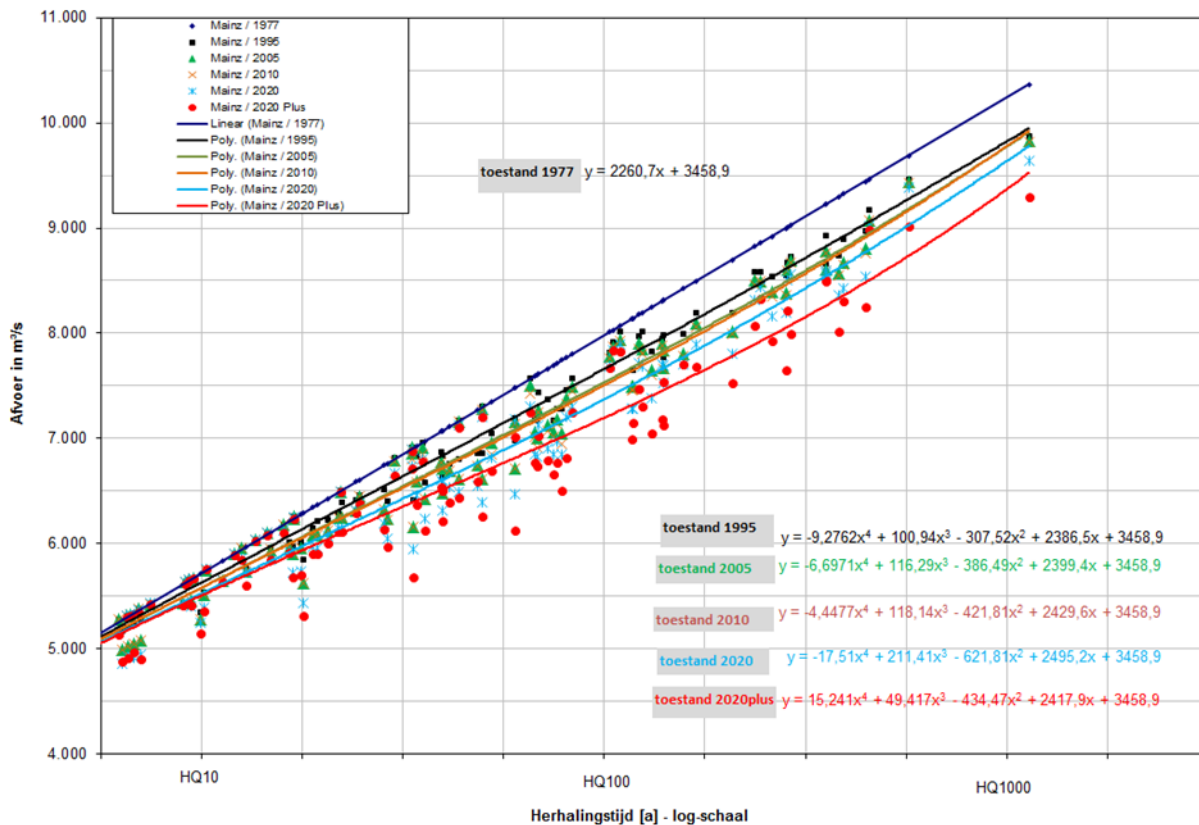
## Bijlage 2: Evaluatiegrafieken voor de meetpunt- en trajectgerelateerde inschatting van de theoretische herhalingstijden m.b.t. de door de EG HVAL onderzochte groep van hoogwatergebeurtenissen



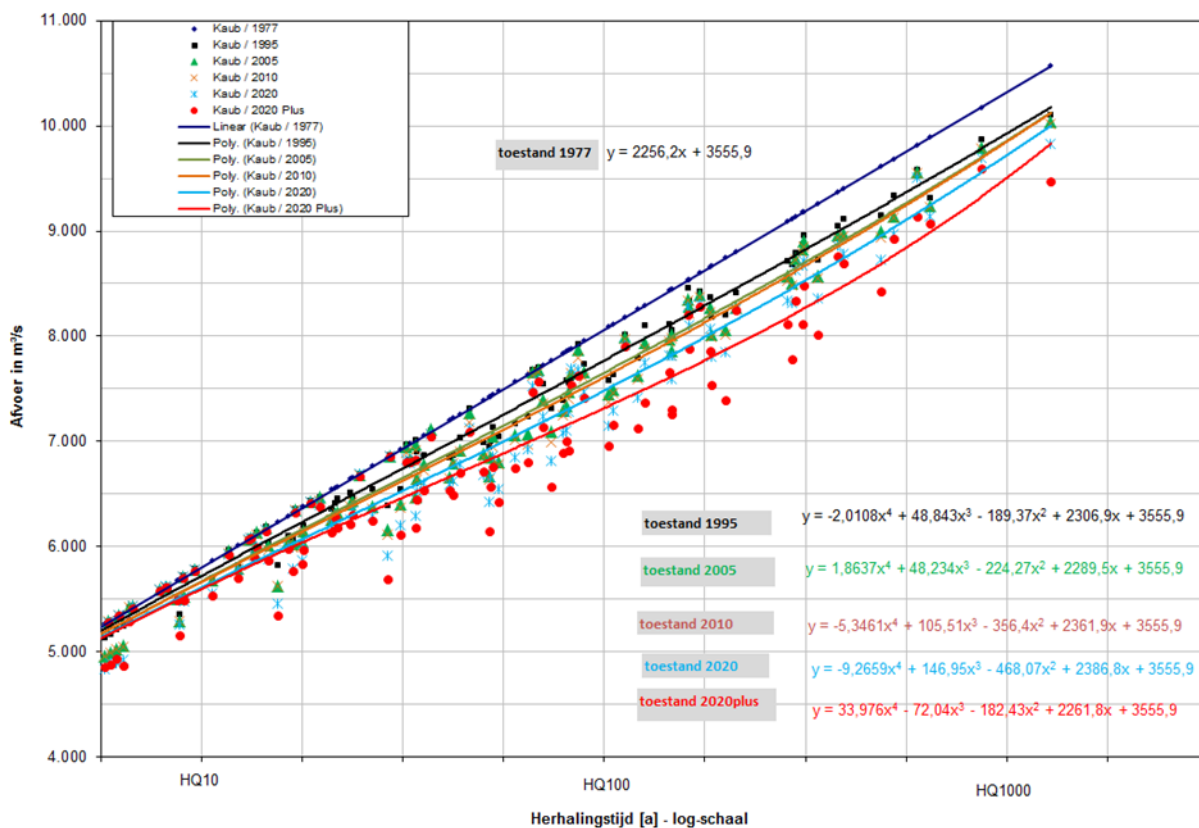
Bijlage 2a: Evaluatiegrafiek, meetpunt Maxau



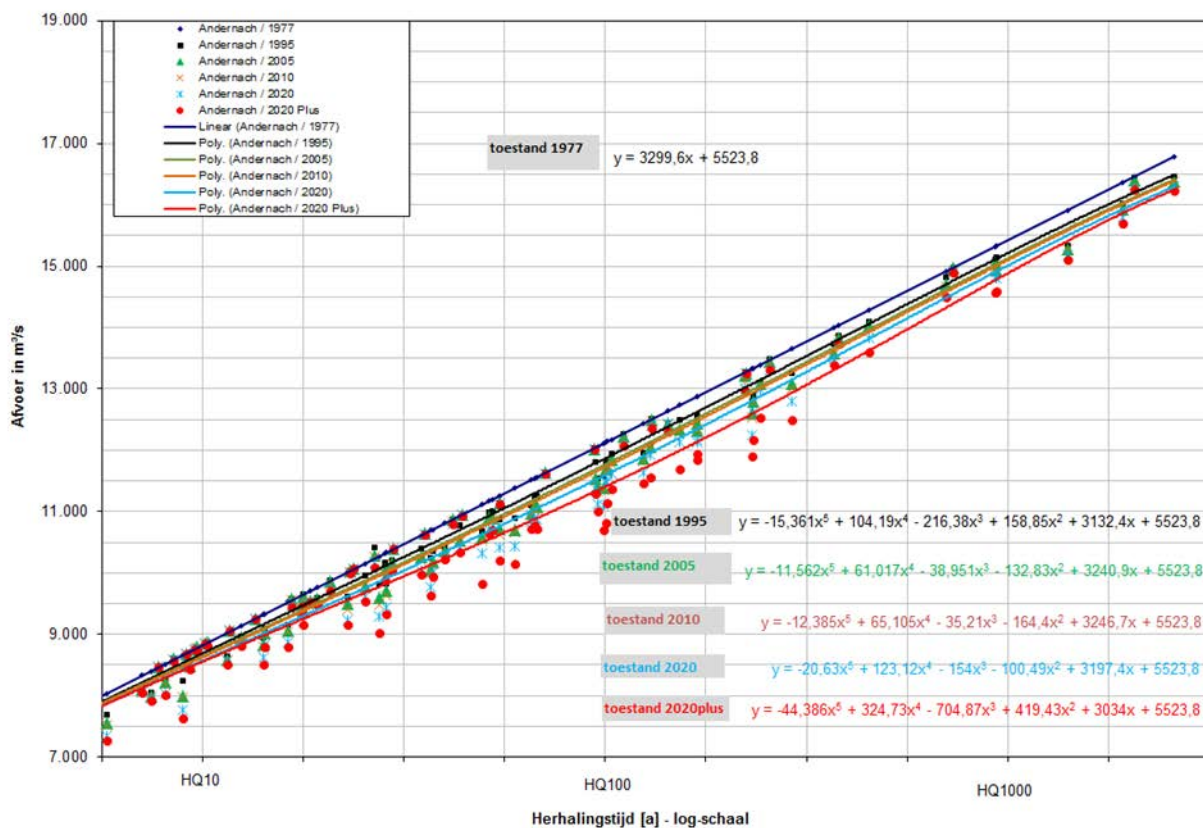
Bijlage 2b: Evaluatiegrafiek, meetpunt Worms



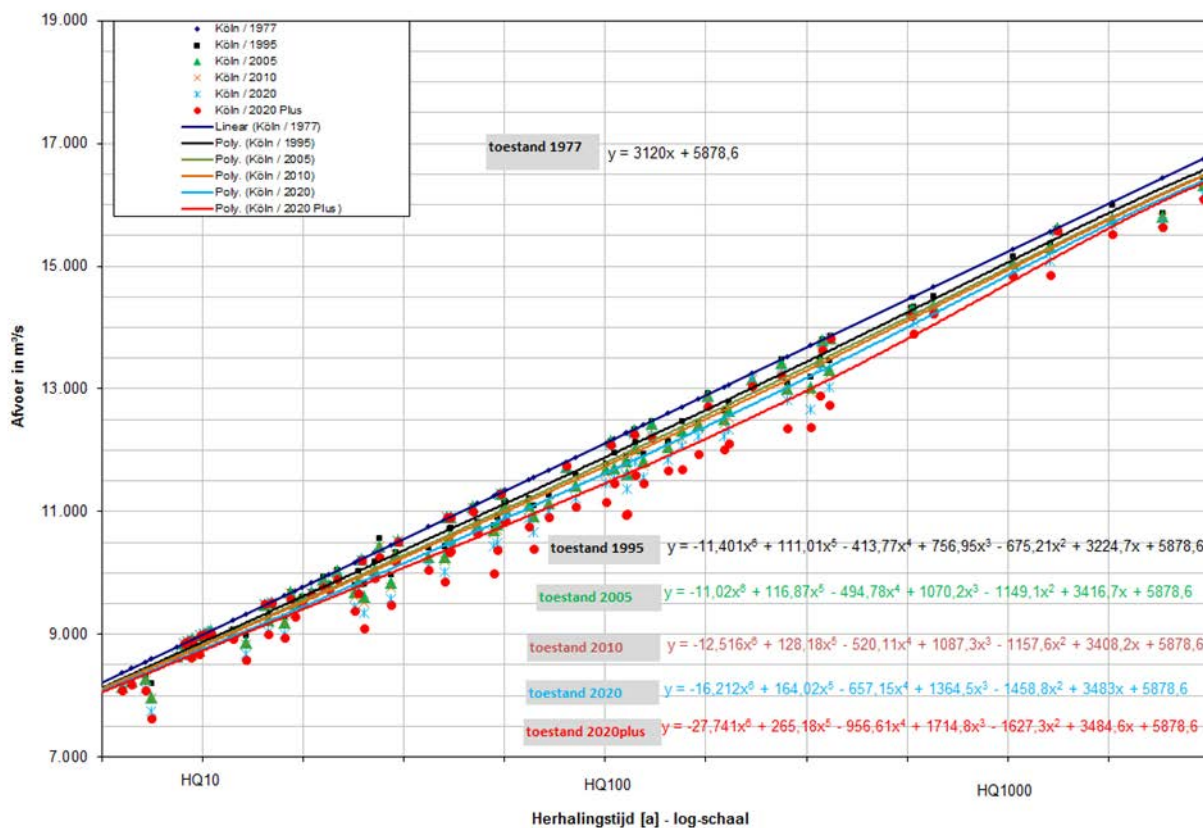
Bijlage 2c: Evaluatiegrafiek, meetpunt Mainz



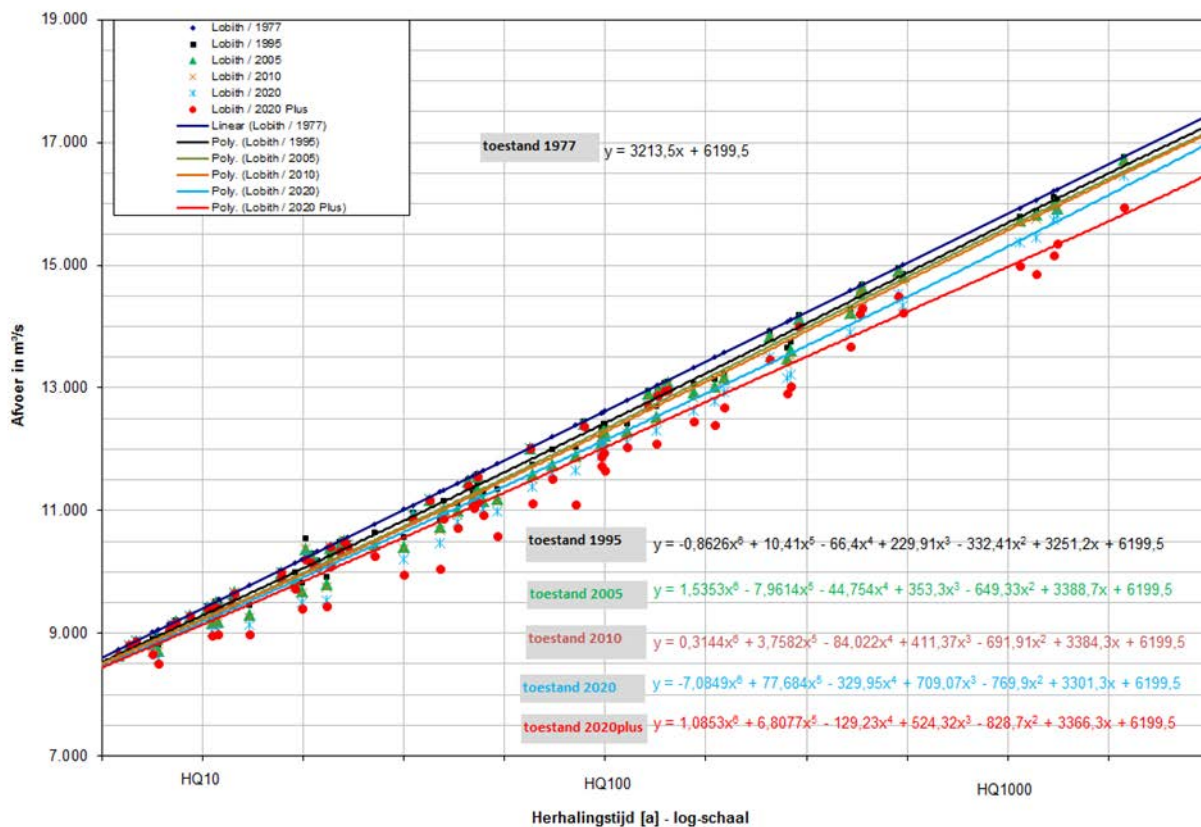
Bijlage 2d: Evaluatiegrafiek, meetpunt Kaub



Bijlage 2e: Evaluatiegrafiek, meetpunt Andernach



Bijlage 2f: Evaluatiegrafiek, meetpunt Keulen

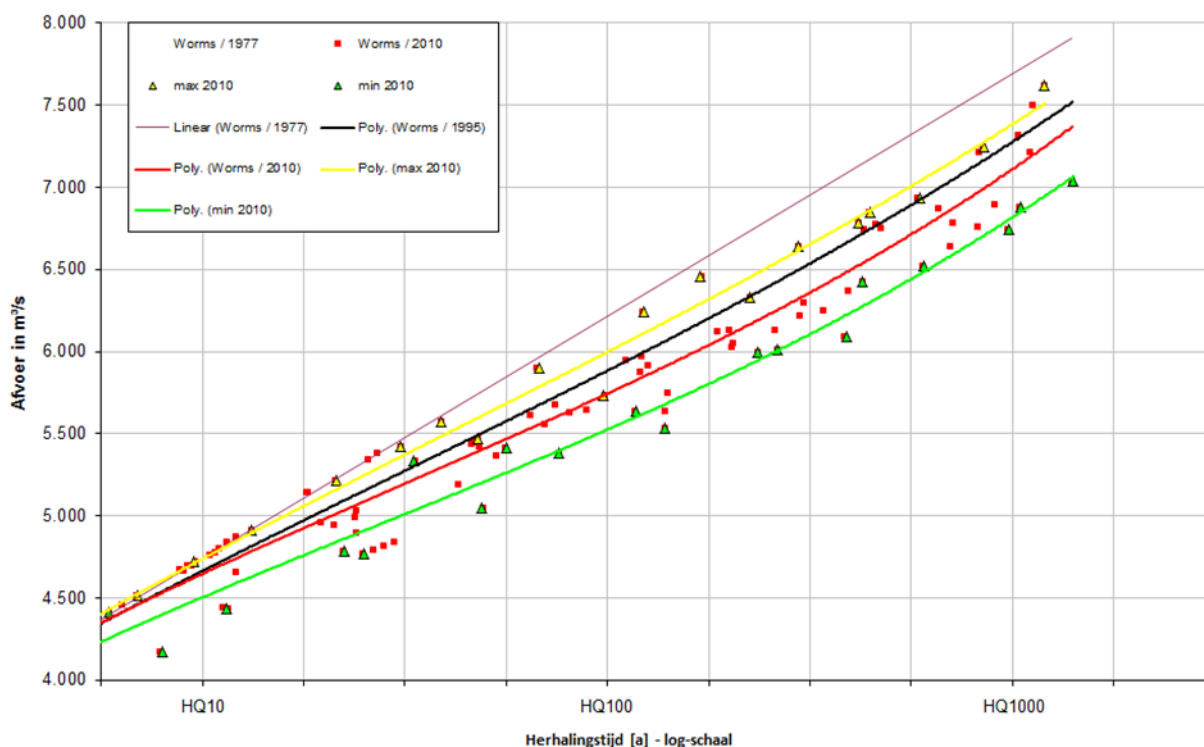


Bijlage 2g: Evaluatiegrafiek, meetpunt Lobith



### Bijlage 3: Weergave van de vastgestelde onzekerheidsmarges: voorbeeld voor het meetpunt Worms, toestand 2010

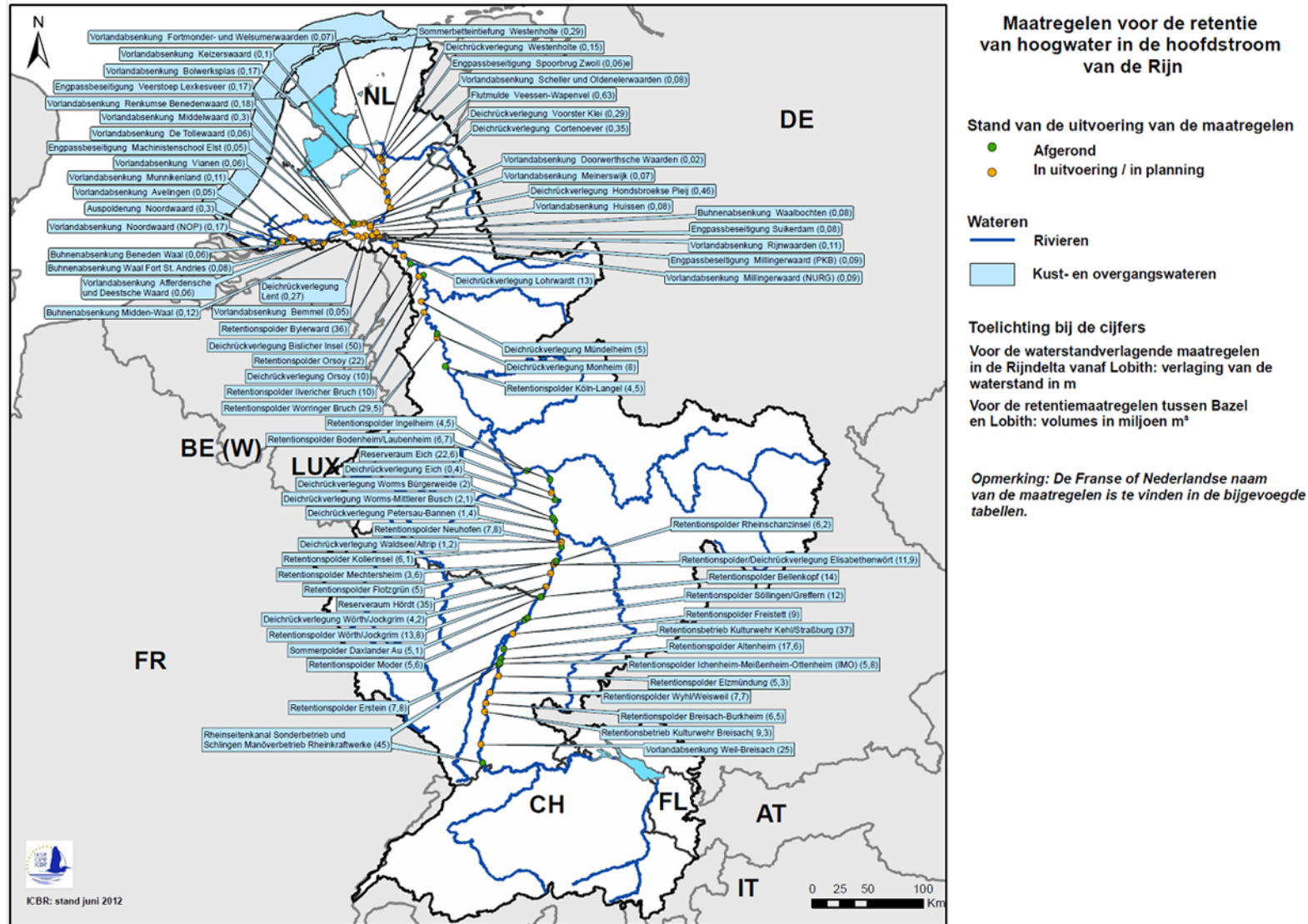
Om de spreiding van de afzonderlijke rekenresultaten (waardeparen bestaande uit piekafvoer en herhalingstijd) rond de trendlijnen vast te stellen, zijn in een extra stap de omhullende curven van de trendlijnen bepaald. Daarbij zijn er kanscategorieën uitgezet op de X-as (waardeschaal van 0 (lage herhalingstijd van 1) tot 1000 (herhalingstijd van 1000)). Elke gehele cijferstap werd onderverdeeld in acht klassen. De gegevensverwerking met een ACCESS-database resulteerde in een indeling in 25 klassen (clusters) voor de logaritmische herhalingsperiodes (X-waarden), gaande van 0 (lage herhalingstijd) tot ca. 3 (herhalingstijd boven 1000). Voor elk van deze klassen kunnen de minimale en maximale afvoerwaarden worden bepaald. Op basis van deze minimale en maximale afwijkingen kan telkens de onzekerheidsmarge in de vorm van de omhullende curve worden gedefinieerd. In het onderstaande voorbeeld zijn de omhullenden weergegeven voor de toestand 2010 (rode curve = trendlijn; gele curve = gemiddelde curve op basis van de maximale afwijkingen van de 25 klassen; groene curve = gemiddelde curve op basis van de minimale afwijkingen van de 25 klassen).



Bijlage 3: Weergave van de vastgestelde onzekerheidsmarges: voorbeeld voor het meetpunt Worms, toestand 2010

De EG HVAL heeft bij de uitvoering van het project geen rekening gehouden met deze onzekerheidsmarges, omdat de EG HIRI voor zijn verdere onderzoek gemiddelde veranderingen van de herhalingstijd nodig heeft.

## Bijlage 4: Maatregelen voor de retentie van hoogwater in de hoofdstroom van de Rijn<sup>4</sup>



<sup>4</sup> De precieze locatie en de stand van de uitvoering van de maatregelen in 2014 is weergegeven in de Rijnatlas 2015 op [www.iksr.org](http://www.iksr.org).

## Bijlage 5: Overzicht van de retentiemaatregelen tussen Bazel en Lobith en van de waterstandverlagende maatregelen in de Rijndelta vanaf Lobith<sup>5</sup>

### Bijlage 5a: Retentiemaatregelen tussen Bazel en Lobith met bijbehorend volume (in miljoen m<sup>3</sup>) (stand: 2010)

Rijnkilometer	Traject	(Deel) staat	Locatie van de maatregel	Type maatregel	Beschikbaar volume						
					[miljoen m <sup>3</sup> ]						
					1977	1995	2005	2010	2020	2020plus	
174 - 226 234 - 291	Duits-Franse Bovenrijn	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 retentiedoeleinden					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-Ottenheim (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 retentiedoeleinden		37 <sup>1)</sup>	37	37	37	37
302		DE-BW	Freis telt		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					4,2	4,2
377		DE-RP	Hördt		retentiepolder					13,8	13,8
381,3		DE-RP	Hördt		reservegebied						35
390		DE-BW	Elisabethenwört		retentiepolder/ dijkverlegging						11,9
390,4		DE-RP	Meckersheim		retentiepolder					3,6	3,6
392,6		DE-BW	Rheinschanzinsel		retentiepolder					6,2	6,2
409,9		DE-RP	Flotzgrün		retentiepolder			5	5	5	5
411,5		DE-RP	Kollerinsel		retentiepolder			6,1	6,1	6,1	6,1
436		DE-RP	Waldsee/Altrip		dijkverlegging					1,2	1,2
439		DE-RP	Neuhofen		retentiepolder					7,8	7,8
440,2		DE-RP	Petersau-Bannen		dijkverlegging					1,4	1,4
467,3		DE-RP	Worms-Mittlerer Busch		dijkverlegging				2,1	2,1	2,1
468,5		DE-RP	Worms Bürgerweide		dijkverlegging			2	2	2	2
489,9		DE-RP	Eich		dijkverlegging			0,4	0,4	0,4	0,4
517,3		DE-RP	Eich		reservegebied						22,6
668,5		DE-RP	Bodenheim/Laubenheim		retentiepolder				6,7	6,7	6,7
705,5		DE-RP	Ingelheim		retentiepolder				4,5	4,5	4,5
707,5	DE-NRW	Keulen-Langel		retentiepolder				4,5	4,5	4,5	
750	DE-NRW	Worringer Bruch		retentiepolder				29,5	29,5	29,5	
760,5	DE-NRW	Monheim		dijkverlegging			8	8	8	8	
802	DE-NRW	Ilvericher Bruch		retentiepolder						10	
797,5	DE-NRW	Mündelheim		dijkverlegging					5	5	
818,5	DE-NRW	Orsoy		dijkverlegging			10	10	10	10	
832,5	DE-NRW	Orsoy		retentiepolder					22	22	
850	DE-NRW	Bislicher Insel		dijkverlegging	50 <sup>3)</sup>	50	50	50	50	50	
	DE-NRW	Lohrwardt		dijkverlegging					13	13	
	DE-NRW	Bylerward		retentiepolder						36	
<b>Totaal retentievolume van de waterstandverlagende maatregelen aan de Rijn per waterbouwkundige toestand</b>					<b>55,1</b>	<b>160,3<sup>1)</sup></b>	<b>211,6</b>	<b>229,4</b>	<b>361</b>	<b>535,2</b>	

<sup>1)</sup> Stuw Kehl: tot 2002 in normale omstandigheden 13 miljoen m<sup>3</sup> beschikbaar, verdere 24 miljoen m<sup>3</sup> alleen in buitengewone situaties beschikbaar.

<sup>2)</sup> 2,8 miljoen 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 voor de afronding van de maatregelen al overstromingsgebieden in geval van hoogwater in de Rijn.

<sup>5</sup> De stand van de uitvoering van de maatregelen in 2014 is vastgelegd in het ORBP van het internationaal Rijndistrict, zie <http://www.iksr.org/index.php?id=347&L=2>

**Bijlage 5b: Waterstandverlagende maatregelen in de Rijndelta vanaf Lobith met vereist minimaal waterstandverlagend effect (in m) (stand: 2010)**

Rivierkilometer	Traject	Staat	Locatie van de maatregel	Type maatregel	Vereist minimaal waterstandverlagend effect <sup>4)</sup> (per maatregel) (m)				
					1995	2005	2010	2020	2020plus
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	Afferdensche 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 Lexesveer	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 meegerekend in de totale som van het retentievolume.  
 PKB = Planologische Kernbeslissing  
 NURG = Nadere Uitwerking Rivierengebied  
 NOP = Natuurontwikkelingsproject



**Bijlage 6: Beschrijving van het HIRI-instrument voor de evaluatie van het effect van maatregelen op de reductie van het overstromingsrisico, en bijbehorende berekeningen/analyses (poster in het Engels)**



# Instrument for the assessment of the effects of measures on flood risk



## The context

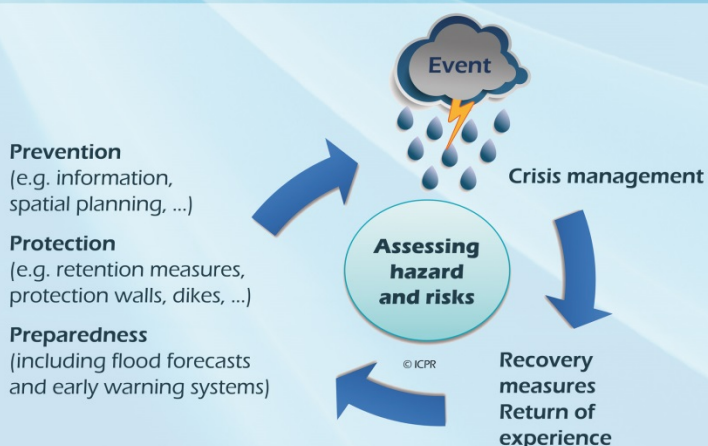
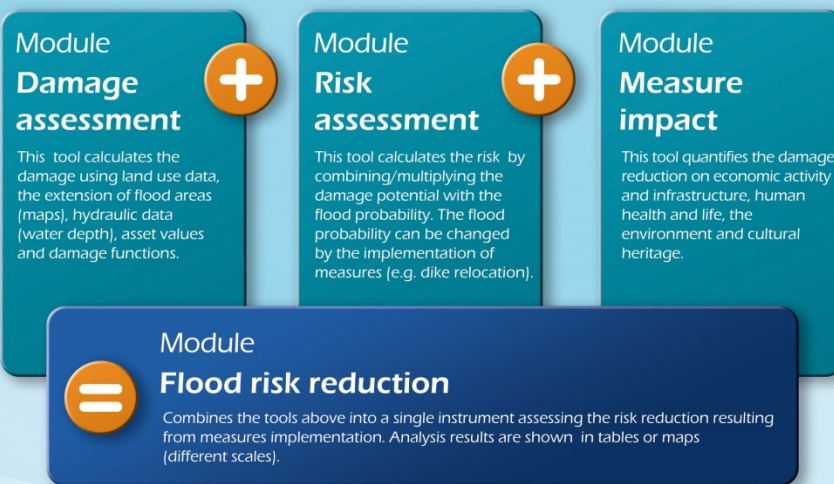
Reacting on the extreme floods in the Rhine in 1993 and 1995, the 12th Conference of Rhine Ministers on 22 January 1998 in Rotterdam adopted the "ICPR Action Plan on Floods" for the Rhine. One of the aims of this Action Plan is to reduce flood risk in 2020 by 25% compared to 1995. In 2007 the ICPR was charged with supporting the implementation of the European Floods Directive (FD).

The ICPR, supported by HKV, developed an instrument aimed at evaluating the effect of measures to reduce flood risk and estimating the evolution of flood risk (taking into account the impacts of different measures). The instrument, which is working in a consistent, reproducible and transparent manner, is available on demand at the ICPR and is applicable to other river basins.



## The instrument

The instrument is GIS-based and covers the main stream of the Rhine. Flood maps developed under the FD, are the basis for the tool. In addition to the quantification of economic flood risk, modules are developed for quantifying the consequences of risk for human health, to the environment and to cultural heritage. This innovative and flexible instrument can be used to generate information about the effects and effectiveness of flood risk management measures on the reduction of flood risk at a river basin and/or tributary level, e.g. by assessing every 6 years the impacts of actions taken under flood risk management plans. In short, the main instrument consists of three interacting calculation modules (Model Builders) resulting in an overall flood risk reduction assessment:



In addition the instrument enables the challenging conversion of the effect of measures into an effect on flood risk. Flood risk is defined as the product of the flood risk probability and the consequences of floods (with corresponding damages). It can be reduced by lowering the flood probability and/or the potential damage. The flood probability can be altered by e.g. the retention measures available in the Flood Action Plan, which often reduce flood water levels.

A reduction of potential damage can be achieved by spatial planning, adapted building, flood forecasting and warning as well as crisis management. The whole cycle of flood risk management (prevention, protection, preparedness, crisis management and recovery measures) is considered in the instrument (see scheme to the left).

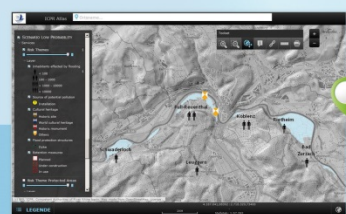


Fig.4: Flood risk map (Draft ICPR Atlas 2014)

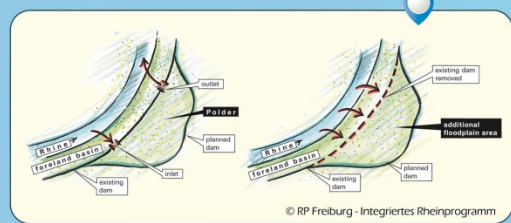


Fig.3: Example of (retention) measures: retention basin (polder; 1) and dike relocation (r.)

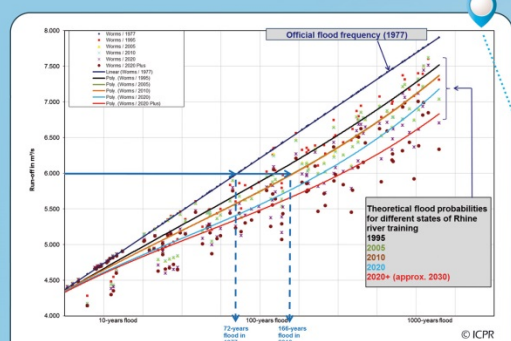


Fig.2: Example of changes in probability (ICPR methodology)

After analysing the effects of realized and planned retention measures on water level reduction the ICPR developed a specific theoretical method to evaluate the changes of flood probabilities/frequencies resulting from these retention measures. The results of this evaluation are integrated in the tool as one element to assess the evolution of damages.

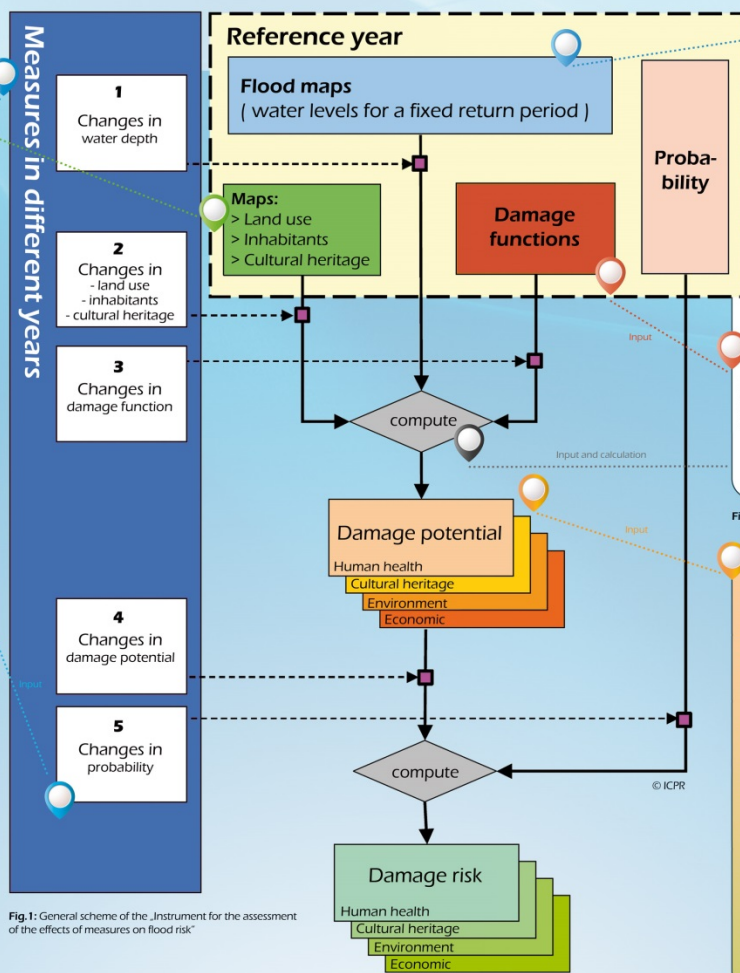


Fig.1: General scheme of the instrument for the assessment of the effects of measures on flood risk

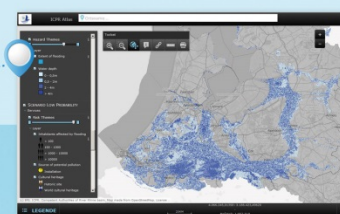


Fig.5: Flood hazard map (Draft ICPR Atlas 2014)

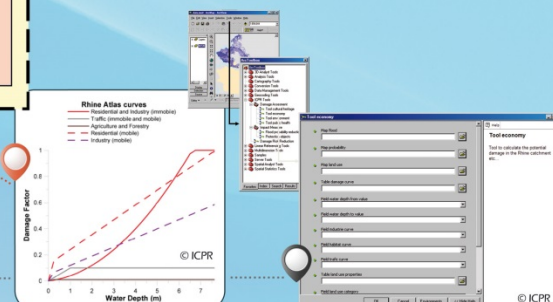


Fig.6: Damage functions (ICPR Atlas 2001)

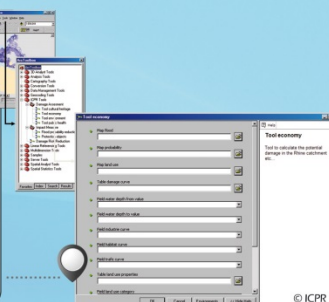


Fig.7: Excerpt from the tool running under ArcGIS (ArcToolbox) and the different input data before calculation.

Following innovative methods are used to assess risk for 4 types of protection objectives:

**Human health:** In a first step, the affected population is determined for each flood scenario, separated for different water depth classes. In a second step, a "security fraction" per region is used to visualize the population no longer in danger (e.g. due to evacuation).

**Economic activity:** The economic damage potential is calculated by combining land use maps (e.g. Corine Land Cover maps for different periods) with stage-damage curves and asset values (e.g. both from the ICPR Rhine Atlas 2001) for the categories settlement, industry, traffic, agricultural use and forest. Asset values can be adapted to the actual situation e.g. by using the price increase index.

**Environment:** To assess environmental risks or damages, the method used in the instrument identifies the impact of potential pollution arising from installations affected by floods (IPPC, SEVESO and water treatment plants) on different areas designated for drinking water production and for Natura 2000 (flora-fauna habitat and bird protection).

**Cultural heritage:** Cultural damage can be quantitatively estimated by combining cultural vulnerability (depending on different types of cultural heritage: UNESCO World Heritage, historic sites, historic monuments) and water depths.

International Commission for the Protection of the Rhine

Kaiserin-Augusta-Anlagen 15 · 56068 Coblenz (Germany) · Tel. +49(0)261-94252-0 · Email: sekretariat@iksr.de · Internet: www.iksr.org