



# Abschätzung der Wahrscheinlichkeitsänderung durch die hochwasserreduzierenden Maßnahmen entlang des Rheins

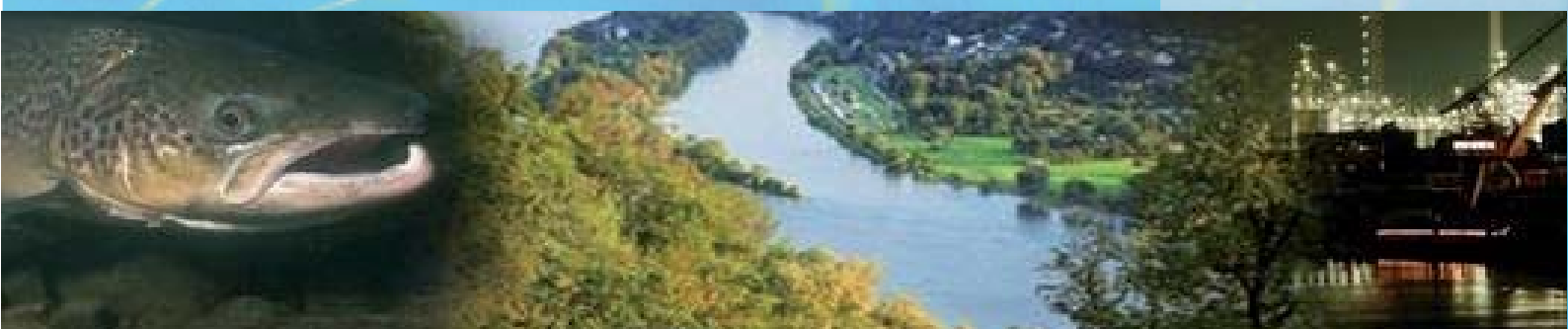
**Stand: Juli 2015**

Internationale  
Kommission zum  
Schutz des Rheins

Commission  
Internationale  
pour la Protection  
du Rhin

Internationale  
Commissie ter  
Bescherming  
van de Rijn

*Bericht Nr. 229*



## Mitwirkende aus der IKSR-Expertengruppe HVAL

Dr. G. Brahmer	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Deutschland
M. Brinkmann	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Deutschland
N. Busch	Bundesanstalt für Gewässerkunde, Deutschland
R. Creusot	Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement d'Alsace, Frankreich
R. Diezig	Bundesamt für Umwelt, Schweiz
R. Friese (Vorsitzender)	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Deutschland
M. Hammer	Bundesanstalt für Gewässerkunde, Deutschland
Dr. R. Lammersen	Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving, Niederlande
B. Mehlig	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Deutschland
B. Plonka	Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbe- aufsicht Rheinland-Pfalz, Deutschland
A. Schmid-Breton	IKSR - Sekretariat
Dr. A. Schulte-Wülwer-Leidig	IKSR - Sekretariat
R. Vogt	Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR, Hochwassernot- gemeinschaft Rhein, Deutschland
J.-P. Wagner	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Lorraine, Frankreich
Dr. M. Willkomm	Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR Hochwassernotgemeinschaft Rhein, Deutschland

## Impressum

### Herausgeberin:

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR)  
Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, D 56068 Koblenz  
Postfach 20 02 53, D 56002 Koblenz  
Telefon +49-(0)261-94252-0, Fax +49-(0)261-94252-52  
E-mail: sekretariat@iksr.de  
www.iksr.org

ISBN 3-941994-93-X

© IKSR-CIPR-ICBR 2015

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>2</b>
<b>Anlagenverzeichnis.....</b>	<b>3</b>
<b>1. Zusammenfassung.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Allgemeine Herangehensweise.....</b>	<b>8</b>
<b>3. Datengrundlage und Methodik.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1. Datengrundlage .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Aufbereitung der offiziellen Hochwasserstatistik-Werte.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3 Ermittlung der Jährlichkeit für die berechneten Scheitelabflüsse.....</b>	<b>12</b>
<b>3.4 Erstellung von Auswertegrafiken (pegelweise) zur Abschätzung der theoretischen Jährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Hochwasserkollektiv.....</b>	<b>13</b>
<b>3.5 Pegelbezogene Auswertung der Auswertegrafik .....</b>	<b>14</b>
<b>3.6 Ermittlung der (Veränderung der ) Abflusskapazität in den Rheinabschnitten nördlich der Siegmündung .....</b>	<b>16</b>
<b>3.7. Streckenbezogene Auswertung der Auswertegrafik zur Abschätzung der theoretischen Jährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Hochwasserkollektiv.....</b>	<b>20</b>
<b>4. Ergebnisse .....</b>	<b>21</b>
<b>4.1 Vorbemerkungen zur Ergebnisinterpretation .....</b>	<b>21</b>
<b>4.2 Zusammenfassung der Ergebnisse .....</b>	<b>22</b>
<b>Literatur .....</b>	<b>26</b>
<b>Anlagen .....</b>	<b>28</b>

## Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Trendlinien „offizielle Statistik“ für die Bezugspegel	
Anlage 1a: Trendlinie für den Pegel Maxau (Basis: offizielle Statistikwerte) .....	28
Anlage 1b: Trendlinie für den Pegel Worms (Basis: offizielle Statistikwerte) .....	28
Anlage 1c: Trendlinie für den Pegel Mainz (Basis: offizielle Statistikwerte) .....	29
Anlage 1d: Trendlinie für den Pegel Kaub (Basis: offizielle Statistikwerte) .....	29
Anlage 1e: Trendlinie für den Pegel Andernach (Basis: offizielle Statistikwerte).....	30
Anlage 1f: Trendlinie für den Pegel Köln (Basis: offizielle Statistikwerte).....	30
Anlage 1g: Trendlinie für den Pegel Lobith (Basis: offizielle Statistikwerte).....	31
Anlage 2: Auswertegrafiken (pegel- und streckenbezogen). Abschätzung der theoretischen Jährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Hochwasserkollektiv.	
Anlage 2a: Auswertegrafik, Pegel Maxau .....	32
Anlage 2b: Auswertegrafik, Pegel Worms.....	32
Anlage 2c: Auswertegrafik, Pegel Mainz .....	33
Anlage 2d: Auswertegrafik, Pegel Kaub .....	33
Anlage 2e: Auswertegrafik, Pegel Andernach.....	34
Anlage 2f: Auswertegrafik, Pegel Köln.....	34
Anlage 2g: Auswertegrafik, Pegel Lobith .....	35
Anlage 3: Darstellung der ermittelten Unsicherheitsbänder am Beispiel Pegel Worms, Zustand 2010 .....	36
Anlage 4: Hochwasserretentionsmaßnahmen am Rheinhauptstrom.....	37
Anlage 5: Übersicht der Retentionsmaßnahmen zwischen Basel und Lobith sowie der wasserstandsabsenkenden Maßnahmen am Deltarhein ab Lobith	
Anlage 5a: Retentionsmaßnahmen zwischen Basel und Lobith mit den jeweiligen Volumina (Angaben in Mio. m <sup>3</sup> ).....	38
Anlage 5b: Wasserstandsabsenkende Maßnahmen am Deltarhein ab Lobith mit Mindestanforderung an die zu erzielende Wasserstandreduzierung (in m) ...	39
Anlage 6: Beschreibung des HIRI-Instrumentes zum Nachweis der Maßnahmeneffekten auf die Reduzierung des Hochwasserrisikos (Poster in Englisch) .....	40

## 1. Zusammenfassung

Die 12. Rhein-Ministerkonferenz hat am 22. Januar 1998 den „Aktionsplan Hochwasser“ (APH) für den Rhein beschlossen. In diesem Aktionsplan sind folgende Handlungsziele formuliert:

- Minderung der Schadensrisiken
- Minderung der Hochwasserstände
- Verstärkung des Hochwasserbewusstseins
- Verbesserung des Hochwassermeldesystems

Das Handlungsziel „Minderung der Hochwasserstände durch Maßnahmen am Rhein“ wird im APH als eine „Minderung der Extremhochwasserstände unterhalb des staugeregelten Bereichs um bis zu 60<sup>1</sup> cm bis zum Jahr 2020“ definiert. Als Bezugszustand wird hierzu das Jahr 1995 angesetzt.

Die IKSR-Expertengruppe „Validierung“ (EG HVAL) hatte im Rahmen der Evaluierung 2010 die Wirksamkeit der Rückhaltmaßnahmen am Rhein des Aktionsplans Hochwasser für die Ausbauzustände 1977<sup>2</sup>, 1995, 2005, 2010, 2020 sowie „2020plus“<sup>3</sup> (s. Liste und Karte der bei den weiteren Ausbauzuständen umgesetzten Maßnahmen wie in den Anlagen 4 und 5 aufgeführt) untersucht. Die Ergebnisse sind in ihrem Schlussbericht (IKSR, 2012a) dokumentiert (s. nachfolgender Link: [http://www.iksr.org/uploads/media/199\\_d.pdf](http://www.iksr.org/uploads/media/199_d.pdf)).

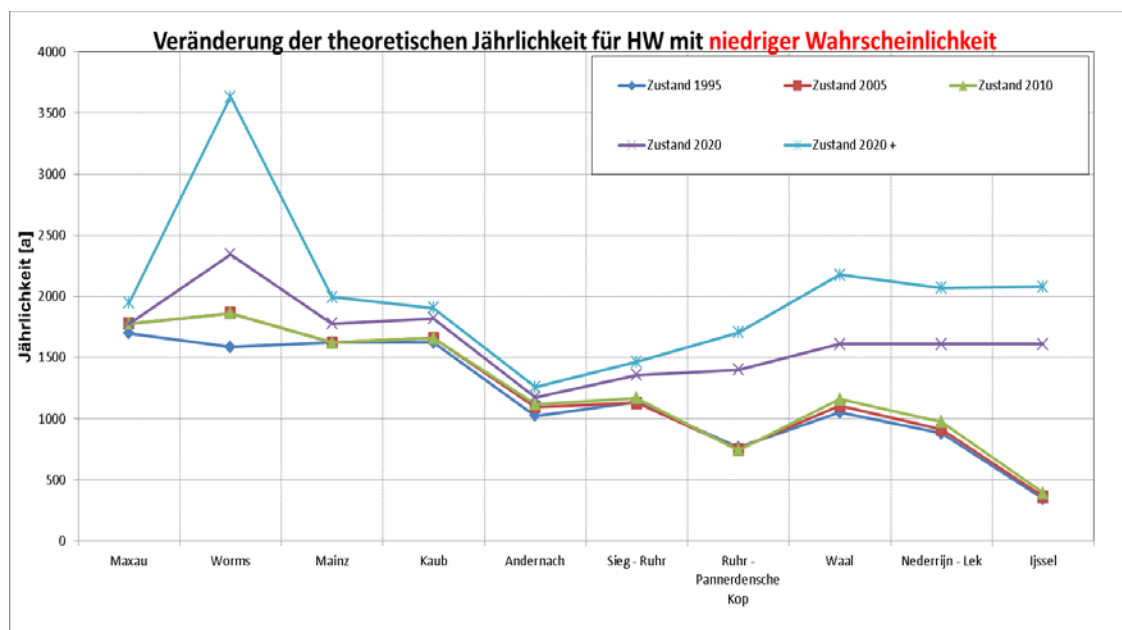
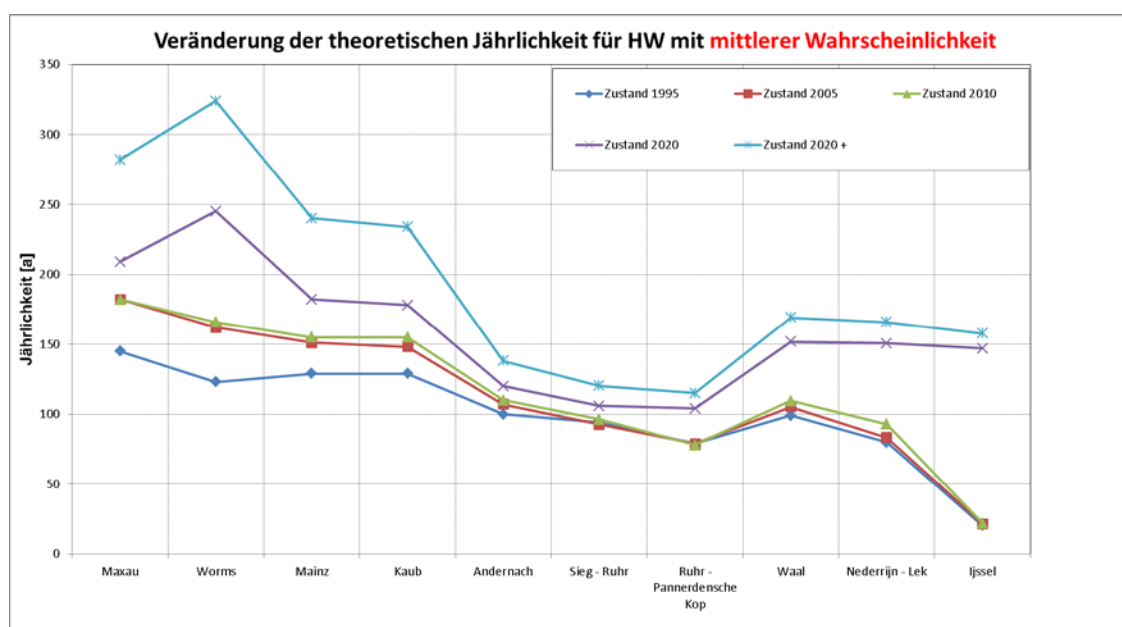
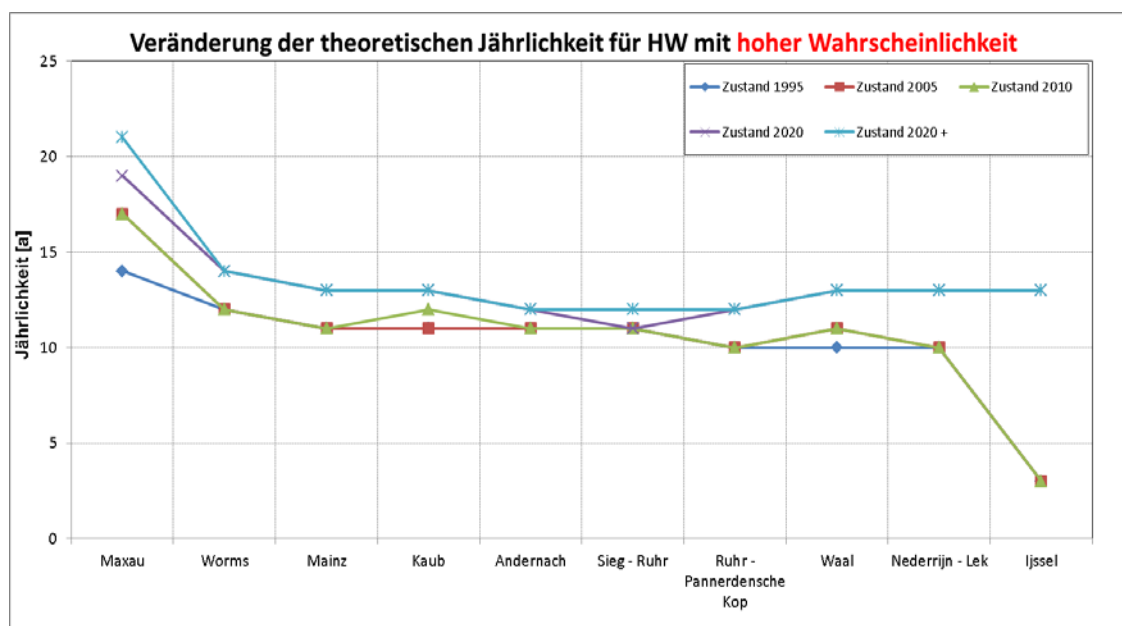
Die Aufgabe der IKSR-Expertengruppe HIRI (Hochwasserrisiken) ist es im Rahmen des APH zu evaluieren, inwieweit sich das Schadensrisiko entlang des Rheins seit 1995 verändert hat (Handlungsziel „Minderung der Schadensrisiken“) und im Rahmen der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie der europäischen Gemeinschaft (EG HWRM-RL) zu analysieren, wie Maßnahmen das Hochwasserrisiko beeinflussen. Diese Berechnungen basieren auf den nationalen Hochwassergefahrenkarten (und Hochwasserrisikokarten) für die 3 Hochwasserszenarien gemäß HWRM-RL, denen eine Wahrscheinlichkeitsänderung infolge der Umsetzung von APH-Maßnahmen zur Minderung der Hochwasserstände zugeordnet wird.

Deshalb wurde im Nachweiskonzept der Expertengruppe HVAL vom April 2009 festgelegt, auch die Änderung der Hochwasserwahrscheinlichkeit durch die APH-Maßnahmen zu untersuchen und die Ergebnisse der Expertengruppe HIRI zur Verfügung zu stellen. In den folgenden Abbildungen und in der Tabelle 1 sind die ermittelten Ergebnisse für die untersuchten Ausbauzustände an den einzelnen Rheinpegeln bzw. Strecken am Rhein dargestellt.

<sup>1</sup> Minderung der Hochwasserstände – Minderung extremer Hochwasserstände um bis zu 70 cm bis 2020 unterhalb des staugeregelten Bereichs (60 cm durch Wasserrückhaltung am Rhein und etwa 10 cm durch Wasserrückhalt im Rheineinzugsgebiet)

<sup>2</sup> Die Angaben zu den Hochwasserwahrscheinlichkeiten sind im Allgemeinen auf den Ausbauzustand 1977 (= Abschluss des Oberrheinausbaus mit Staustufen) bezogen.

<sup>3</sup> Maßnahmen des APH, die nach 2020 umgesetzt werden.



Aus den Grafiken ist ersichtlich:

Die ermittelten Jährlichkeiten bzw. deren Änderungen spiegeln die fortschreitende Zunahme des je nach Ausbauzustand zur Verfügung stehenden Rückhaltevolumens der Maßnahmen wieder. Beispielhaft sei hierzu erläutert:

- Pegel Worms: Für den Bereich unmittelbar oberhalb des Pegels Worms ergeben sich für die Zustände 2020 und insbesondere 2020plus sehr große Zuwächse an Rückhaltevolumen (zwischen den Zuständen 2020 und 2020plus kommt es in etwa zu einer Verdopplung). Demzufolge ergeben sich für diese Ausbauzustände auffallend große Veränderungen bei den ermittelten theoretischen Jährlichkeiten (für die Abflüsse mit mittlerer und niedriger Eintrittswahrscheinlichkeit).
- Pegel Andernach: Die Veränderung der theoretischen Jährlichkeit durch die Wirkung der Rückhaltemaßnahmen nimmt beeinflusst durch den Zufluss der Mosel deutlich ab. Nur Hochwasser, die am Oberrhein bereits deutlich ausgeprägt sind, können am Pegel Andernach durch die Rückhaltemaßnahmen am Oberrhein wirkungsvoll abgemindert werden. Je größer bei Andernach der Anteil eines Hochwassers aus der Mosel ist, desto geringer ist seine Beeinflussung durch die Maßnahmen am Oberrhein.
- Unterhalb der Siegmündung: Hier ergeben sich für alle Hochwasserklassen (mit hoher, mittlerer und niedriger Wahrscheinlichkeit) die größten Änderungen zwischen den Zuständen 2010 und 2020 sowie 2020 und 2020plus. Ursache hierfür ist vor allem die Fertigstellung der fließquerschnittserweiternden Maßnahmen bis 2020. Die Zunahme der Jährlichkeiten nach 2020 betrifft im Wesentlichen die Hochwasser mit mittlerer und niedriger Wahrscheinlichkeit und dürfte vor allem zurückzuführen sein auf die Rückhaltemaßnahmen, die an Ober- und Niederrhein vorgesehen sind.
- Niederländische Rheinarme: Hier zeigt sich in den ermittelten theoretischen Jährlichkeiten der große Unterschied im Charakter der drei Rheinarme. Zum einen bezüglich der hydraulischen Kapazität (ca. 2/3 der Wassers bei Lobith wird abgeführt durch die Waal, 2/9 durch Nederrijn/Lek und 1/9 durch die IJssel). Zum anderen durch die Wirksamkeit der verschiedenen Maßnahmen (z.B. großräumige Bühnenabsenkung in der Waal und Flutmulden und Deichrückverlegungen entlang der IJssel).

Tabelle 1 auf der nächsten Seite zeigt alle Ergebnisse in tabellarischer Form.

Abschnitt	Wahrscheinlichkeiten	Abflüsse [m <sup>3</sup> /s]	Theoretische Jährlichkeiten [a] bezogen auf das durchgeführte Verfahren mit dem HVAL-Untersuchungskollektiv				
			für die Ausbauzustände				
			1995	2005	2010	2020	2020plus
<b>Pegelbezogene Auswertung</b>							
<b>Pegel Maxau (Oberrhein /Iffezheim – Neckarmündung)</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	4100 m <sup>3</sup> /s	14 a	17 a	17 a	19 a	21 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	5000 m <sup>3</sup> /s	145 a	182 a	182 a	209 a	282 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	6500 m <sup>3</sup> /s	1698 a	1778 a	1778 a	1778 a	1950 a
<b>Pegel Worms (Oberrhein /Neckarmündung – Mainmündung)</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	4750 m <sup>3</sup> /s	12 a	12 a	12 a	14 a	14 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	6000 m <sup>3</sup> /s	123 a	162 a	166 a	245 a	324 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	7600 m <sup>3</sup> /s	1585 a	1862 a	1862 a	2344 a	3631 a
<b>Pegel Mainz (Oberrhein /Mainmündung – Nahemündung)</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	5700 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	11 a	13 a	13 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	7900 m <sup>3</sup> /s	129 a	151 a	155 a	182 a	240 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	10300 m <sup>3</sup> /s	1622 a	1622 a	1622 a	1778 a	1995 a
<b>Pegel Kaub (Mittelrhein/Nahemündung-Moselmündung)</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	5800 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	12 a	13 a	13 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	8000 m <sup>3</sup> /s	129 a	148 a	155 a	178 a	234 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	10400 m <sup>3</sup> /s	1622 a	1660 a	1660 a	1820 a	1905 a
<b>Pegel Andernach (Mittelrhein /Moselmündung-Siegmündung)</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	8810 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	11 a	12 a	12 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	11850 m <sup>3</sup> /s	100 a	107 a	110 a	120 a	138 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	15250 m <sup>3</sup> /s	1023 a	1096 a	1122 a	1175 a	1259 a
<b>Streckenbezogene Auswertung</b>							
<b>Siegmündung - Ruhrmündung</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	8900 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	11 a	11 a	12 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	11700 m <sup>3</sup> /s	94 a	93 a	96 a	106 a	120 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	15300 m <sup>3</sup> /s	1140 a	1130 a	1170 a	1358 a	1466 a
<b>Ruhrmündung - Pannerdensch Kop □</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	9380 m <sup>3</sup> /s	10 a	10 a	10 a	12 a	12 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	12200 m <sup>3</sup> /s	79 a	79 a	78 a	104 a	115 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	15800 m <sup>3</sup> /s	763 a	751 a	743 a	1402 a	1706 a
<b>Waal (bis km 938) *</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	9500 m <sup>3</sup> /s	10 a	11 a	11 a	13 a	13 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	12700 m <sup>3</sup> /s	99 a	105 a	110 a	152 a	169 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	16000 m <sup>3</sup> /s	1050 a	1107 a	1161 a	1611 a	2178 a
<b>Nederrijn-Lek*</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	9500 m <sup>3</sup> /s	10 a	10 a	10 a	13 a	13 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	12700 m <sup>3</sup> /s	80 a	83 a	93 a	151 a	166 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	16000 m <sup>3</sup> /s	881 a	912 a	975 a	1611 a	2070 a
<b>IJssel*</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	9500 m <sup>3</sup> /s	3 a	3 a	3 a	13 a	13 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	12700 m <sup>3</sup> /s	20 a	22 a	22 a	147 a	158 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	16000 m <sup>3</sup> /s	344 a	364 a	392 a	1611 a	2080 a

\*Abflussangaben für den Pegel Lobith

Tab. 1: Tabellarische Übersicht der ermittelten theoretischen Jährlichkeiten bezogen auf das durchgeführte Verfahren mit dem HVAL-Untersuchungskollektiv (für die Analysen der EG HIRI)



## 2. Allgemeine Herangehensweise

Entlang des Rheins ist in den letzten Jahren eine große Anzahl von Maßnahmen zur Abmilderung der Hochwasser realisiert worden bzw. diese sind derzeit in Planung (s. Anlage 4 und 5). Dabei können grundsätzlich zwei Typen von Maßnahmen unterschieden werden. Zum einen solche, bei denen durch Rückhaltung von Wasser (z.B. durch Retentionspolder oder Wehre) der Scheitel einer Hochwasserwelle reduziert wird. Zum anderen handelt es sich um Maßnahmen, bei denen der Abflussquerschnitt erweitert wird (z.B. durch Deichrückverlegungen, Bypässe, Nebenrinnen), so dass sich dort bei gleichem Scheitelabfluss ein geringerer Scheitelwasserstand einstellt. Am Oberrhein handelt es sich vorwiegend um abflussmindernde Rückhaltemaßnahmen. Dagegen sind es am Niederrhein und in den Niederlanden häufig Maßnahmen, die durch die Erweiterung des Fließquerschnittes eine Verringerung des Wasserstandes bewirken.

Deshalb musste die Untersuchung zweigeteilt durchgeführt werden (s. Abbildung 1). Zunächst erfolgte eine Abschätzung der Wahrscheinlichkeitsänderung der Abflüsse (im Folgenden „**pegelbezogene Auswertung**“ genannt). Diese Betrachtung berücksichtigt die Auswirkungen der abflussreduzierenden Maßnahmen (z.B. Retentionspolder) auf die bestehenden statistischen Aussagen an den Pegeln.

Des Weiteren erfolgte eine Abschätzung der Erhöhung der Abflusskapazität mit anschließender Abschätzung der Wahrscheinlichkeitsänderung aus Kapazitätsveränderung und Abflussveränderung (im Folgenden „**streckenbezogene Auswertung**“ genannt). Diese Betrachtung berücksichtigt sowohl die Auswirkung der abflussreduzierenden Maßnahmen als auch Wasserstandsminderungen durch fließquerschnittserweiternde Maßnahmen.

Die untenstehende Karte zeigt eine Übersicht des Untersuchungsgebietes sowie die Unterscheidung zwischen Rheinstrecken, an denen eine pegelbezogene bzw. eine streckenbezogene Auswertung durchgeführt wurde.

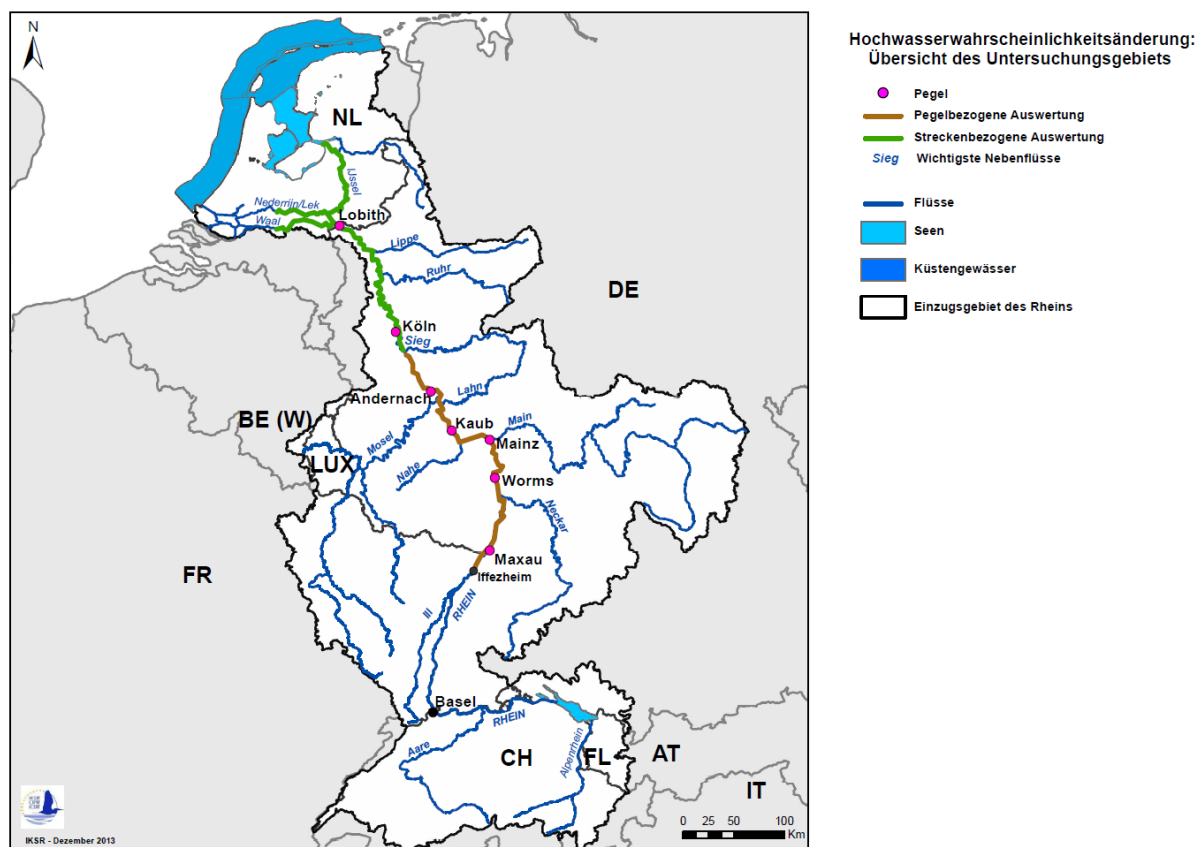


Abb. 1: Übersicht des Untersuchungsgebietes

Für die „**pegelbezogene Auswertung**“ wurden die Änderungen der Hochwasserjährlichkeiten auf Grundlage der durch die EG HVAL berechneten Wasserstands- und Abflussminderungen an folgenden Bezugspegeln ermittelt (hierbei handelt es sich um Steuerpegel bzw. Richtpegel am Ober-, Mittel bzw. Niederrhein):

- Maxau
- Worms
- Mainz
- Kaub
- Andernach
- Köln (*als Grundlage für die streckenbezogene Auswertung*)
- Lobith (*als Grundlage für die streckenbezogene Auswertung*)

Für den Bereich südlich der Siegmündung (also für den Ober- und Mittelrhein) gelten diese pegelbezogenen Ergebnisse repräsentativ für einzelne Flussabschnitte des Rheins (s. Tabelle 2).

In der Niederrheinstrecke in Nordrhein-Westfalen nördlich der Siegmündung sowie in den niederländischen Rheinzeigen sind verschiedene Maßnahmen in Planung bzw. wurden bereits umgesetzt, die eine wasserstandsreduzierende Wirkung aufweisen, jedoch meist nicht zu Abflussänderungen an den Pegeln Köln und Lobith führen. Eine Bewertung der Abflussminderung wie bei der pegelbezogenen Auswertung würde diese Wirkungsmechanismen vernachlässigen. Zusätzlich wirken die wasserstandsreduzierenden Maßnahmen teils lokal unterschiedlich. Somit können ihre Wirkungen auf die

Wasserstände am Pegel (Köln und Lobith) nicht als repräsentativ für die betrachteten Gewässerabschnitte gelten. Deshalb wurde für diese Rheinabschnitte ergänzend auf die „**streckenbezogene Auswertung**“ zurückgegriffen (s. Tabelle 2).

Die Ergebnisse wurden der IKSR-Expertengruppe HIRI als Grundlage für deren Untersuchung „Bewertung der Hochwasser-(schadens-) risiken“ zur Verfügung gestellt (s. Anlage 6 „Poster zur Beschreibung des HIRI-Instrumentes zum Nachweis der Maßnahmeneffekte auf die Reduzierung des Hochwasserrisikos und dazugehörige Berechnungen/Analysen“). Benötigt werden hierfür die Wahrscheinlichkeitsänderungen für Hochwasserereignisse mit großer Eintrittswahrscheinlichkeit (~ HQ-10), mit mittlerer Eintrittswahrscheinlichkeit (~ HQ-100) sowie mit niedriger Eintrittswahrscheinlichkeit (HQ-Extrem). Die vorliegenden festgelegten/erstellten Wahrscheinlichkeitsänderungen stellen im HIRI-Instrument einen der Parameter zur Untersuchung/Auswertung der Änderung des Hochwasserrisikos dar.

	Bezugspegel		Gültigkeitsbereich		
	Bezeichnung	km	Bezeichnung	km von	km bis
Pegelbezogene Auswertung	Maxau	362	Iffezheim - Neckarmündung	334	428
	Worms	443	Neckarmündung - Mainmündung	428	497
	Mainz	498	Mainmündung - Nahemündung	497	529
	Kaub	546	Nahemündung - Moselmündung	529	592
	Andernach	614	Moselmündung - Siegmündung	592	659
	Köln	688	Siegmündung - Ruhrmündung	659	780
Streckenbezogene Auswertung	Lobith	862	Ruhrmündung - Pannerdensche Kop	780	867
			Nederrijn-Lek (IJsselkop - Kinderdijk/Lek)	879	989
			Waal (Pannerdensche Kop - Vuren/afgedamde Maas)	867	938
			IJssel (IJsselkop - Keteldiep)	879	1001

Tab. 2: Auswertungsabschnitte als Grundlage zur Bewertung des Hochwasserrisikos durch die EG HIRI

### 3. Datengrundlage und Methodik

#### 3.1. Datengrundlage

Die wichtigste **Datengrundlage** der Untersuchung sind die **Scheitelabflüsse und Scheitelwasserstände**, die durch die Expertengruppe HVAL im Rahmen der Evaluierung des APH 2010 für 6 Ausbauzustände (1977, 1995, 2005, 2010, 2020, 2020plus) berechnet wurden (IKSR 2012a und IKSR 2012b). Hierbei ist zu beachten, dass für das

Niveau des Extremhochwassers zwei Varianten berechnet wurden: ein theoretischer Wert, der sich ergeben würde, wenn es auch bei Extremhochwasser (> HQ500) zu keinen Deichüberströmungen käme und ein (als realistischer anzusehender) Wert, der Deichüberströmungen bei Extremhochwasser berücksichtigt.

Die Untersuchung zu den Wahrscheinlichkeitsänderungen wurde für die ohne Deichüberströmung berechneten Scheitelwerte durchgeführt. Dadurch wurde verhindert, dass durch die Retention infolge von Deichbrüchen oder Deichüberflutungen die Auswirkungen der wasserstands- und abflussreduzierenden Maßnahmen überprägt werden.

Eine weitere wichtige Datengrundlage bilden die **offiziellen Hochwasserstatistiken** für die 7 HVAL-Bezugspegel: Maxau, Worms, Mainz, Kaub, Andernach, Köln und Lobith (HSK 1978, MULEWF 1993, AG Statistik 2001, RWS-RIZA 2001, LUA 2002). Die Methode wird in den nachfolgenden Kapiteln näher beschrieben.

Wie bereits erwähnt basiert die Bewertung der Hochwasser-(Schadens-)risiken durch die IKSR-Expertengruppe HIRI auf nationalen Hochwassergefahrenkarten. **Die abschnittsweise zugeordneten Abflüsse, die für die 3 Wahrscheinlichkeits-Szenarien der HWRM-RL (niedrige, mittlere und hohe Wahrscheinlichkeit) im Rahmen der koordinierten Umsetzung der HWRM-RL in der internationalen Flussgebietseinheit Rhein (IFGE Rhein) abgestimmt wurden**, sind in der nachfolgenden Tabelle 3 zusammengestellt (IKSR, 2014). Für die Arbeiten der EG HIRI geht man davon aus, dass die Überschwemmungsflächen der HWGK von jedem der 3 oben genannten Wahrscheinlichkeitsszenarien identisch für die verschiedenen Zustände sind.

Rheinabschnitte	Hohe Wahrscheinlichkeit	Mittlere Wahrscheinlichkeit	Niedrige Wahrscheinlichkeit
lffezheim bis Neckarmündung	4.100 m <sup>3</sup> /s	5.000 m <sup>3</sup> /s	6.500 m <sup>3</sup> /s
ab Neckarmündung	4.750 m <sup>3</sup> /s	6.000 m <sup>3</sup> /s	7.600 m <sup>3</sup> /s
ab Mainmündung	5.700 m <sup>3</sup> /s	7.900 m <sup>3</sup> /s	10.300 m <sup>3</sup> /s
ab Nahemündung	5.800 m <sup>3</sup> /s	8.000 m <sup>3</sup> /s	10.400 m <sup>3</sup> /s
ab Moselmündung	8.810 m <sup>3</sup> /s	11.850 m <sup>3</sup> /s	15.250 m <sup>3</sup> /s
ab Siegmündung	8.900 m <sup>3</sup> /s	11.700* m <sup>3</sup> /s	15.300 m <sup>3</sup> /s
ab Ruhmündung	9.380 m <sup>3</sup> /s	12.200 m <sup>3</sup> /s	15.800 m <sup>3</sup> /s
ab Lobith	9.500 m <sup>3</sup> /s	12.700 m <sup>3</sup> /s	16.000 m <sup>3</sup> /s

\*Die Abflusssdifferenz zwischen Moselmündung und Niederrhein ist durch Retentionseffekte zu erklären.

Tab. 3: Abflüsse für Hochwasser mit hoher, mittlerer und niedriger Wahrscheinlichkeit, abgestimmt im Rahmen der koordinierten Umsetzung der HWRM-RL in der internationalen Flussgebietseinheit Rhein (IFGE Rhein) (insbesondere für die Hochwassergefahrenkarte).

### 3.2 Aufbereitung der offiziellen Hochwasserstatistik-Werte

In einem ersten Arbeitsschritt wurde eine lineare Trendlinie für die offiziellen Statistikwerte der Pegel ermittelt, so dass alle Zwischenwerte bestimmt werden können. Grundlage bildet der Zustand 1977, für den offizielle Hochwasserstatistiken für alle Pegel zur Verfügung stehen. Vorteil ist, dass für diesen Ausbauzustand noch keine Hochwasserrückhaltemaßnahmen wirksam waren.

Abbildung 2 zeigt exemplarisch das Ergebnis für den Pegel Worms. Die Ergebnisse für die übrigen Pegel finden sich in Anlage 1.

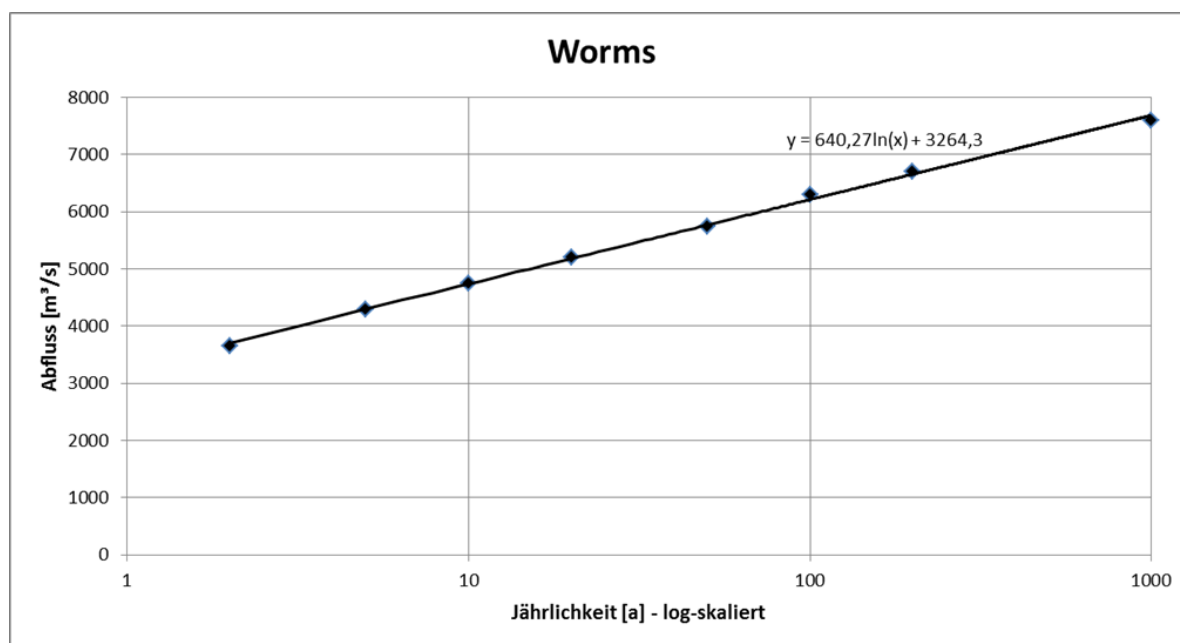


Abb. 2: Lineare Trendlinie für den Pegel Worms (Basis: offizielle Statistikwerte)

### 3.3 Ermittlung der Jährlichkeit für die berechneten Scheitelabflüsse

Das Untersuchungskollektiv der EG HVAL (im folgenden „HVAL-Hochwasserkollektiv“) basiert auf 18 historischen Hochwasserereignissen. Diese wurden jeweils mit 6 verschiedenen Faktoren vergrößert bzw. vermindert, so dass 108 synthetische Modellhochwasser vorliegen, mit denen die Berechnungen für jeweils 6 Ausbauzustände (1977, 1995, 2005, 2010, 2020 und 2020plus) durchgeführt und für jeden der benannten Pegel ausgewertet wurden. Die Vorgehensweise sowie die erzielten Ergebnisse sind im IKSR-Bericht Nr. 199 dokumentiert (IKSR, 2012a).

Für jeden Pegel wurde in einem zweiten Arbeitsschritt zunächst für jedes der 108 Modellhochwasser für den Zustand 1977 die Jährlichkeit mit Hilfe der nach Kapitel 3.2 ermittelten Trendlinien bestimmt. Unter der Annahme, dass für alle Scheitelwerte eines Modellhochwassers (z.B. „12/1882 Faktor Nr. 6“) unabhängig vom Ausbauzustand die gleiche Jährlichkeit gilt, konnte den Ergebnissen der Berechnungen der übrigen 5 Ausbauzustände die gleiche Jährlichkeit wie für den Ausbauzustand 1977 berechnet, zugeordnet werden. Tabelle 4 zeigt das Ergebnis dieser Zuordnung exemplarisch für 18 Modellhochwasser am Pegel Worms und am Beispiel des größten Vergrößerungsfaktors (Faktor Nr. 6).

Modellhochwasser		Scheitelabflüsse [m <sup>3</sup> /s] am Pegel Worms / Rhein für die Ausbauzustände (ohne Deichüberströmung) für den größten Vergrößerungsfaktor						
Ereignis	Faktor Nr. 6	1977		1995	2005	2010	2020	2020 Plus
		Scheitelabfluss [m <sup>3</sup> /s]	Zugeordnete Jährlichkeiten					
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

Tab. 4: Zuordnung von Jährlichkeiten für berechnete Scheitelabflüsse (exemplarisch für 18 Modellhochwasser, Faktor Nr. 6, Pegel Worms)

### 3.4 Erstellung von Auswertegrafiken (pegelweise) zur Abschätzung der theoretischen Jährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Hochwasserkollektiv

Im dritten Arbeitsschritt wurde für jeden der zu untersuchenden Pegel eine Auswertegrafik erstellt (s. Abbildung 3). Hierzu wurden zunächst für jeden Ausbauzustand die 108 berechneten Scheitelwerte entsprechend ihrer nach dem oben genannten Verfahren ermittelten Jährlichkeiten eingetragen. Des Weiteren wurde zu den Wertepaaren aus Scheitelabflüssen und Jährlichkeiten jedes Ausbauzustandes eine Trendlinie ermittelt und eingefügt. Abbildung 3 zeigt exemplarisch die sich ergebenden 6 Trendlinien für den Pegel Worms. In Anlage 2 finden sich die Ergebnisse aller übrigen Pegel.

Für jeden Pegel und Ausbauzustand wurden zusätzlich Unsicherheitsbänder ermittelt. In Anlage 3 sind diese am Beispiel des Pegels Worms für den Zustand 2010 dargestellt. Diese Unsicherheitsbänder wurden im Verlauf der Projektbearbeitung durch HVAL nicht weiter berücksichtigt, da die EG HIRI für ihre weiteren Untersuchungen mittlere Jährlichkeitsänderungen benötigt.

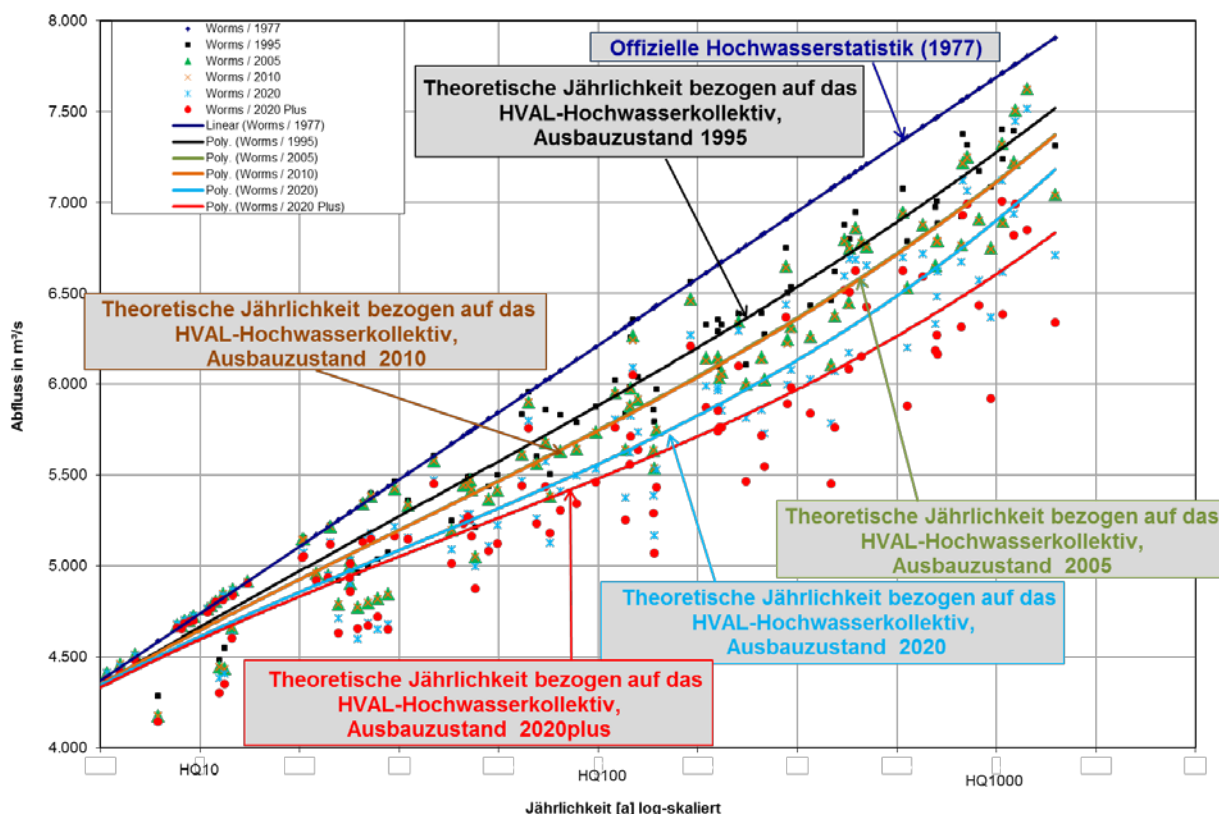


Abb. 3: Auswertegrafik am Beispiel des Pegels Worms

Hinweis: Sowohl die Scheitelwerte als auch die Trendlinien für die beiden Ausbauzustände 2005 und 2010 weichen erwartungsgemäß nur geringfügig voneinander ab, da in dem betreffenden Zeitraum nur wenige Retentionsmaßnahmen fertiggestellt worden sind (s. Anlagen 4 und 5). Unterschiede zwischen diesen beiden Zuständen sind daher in den Abbildungen schwer erkennbar.

### 3.5 Pegelbezogene Auswertung der Auswertegrafik

Für die Auswertung zur Ermittlung der Jährlichkeiten wurden zwei Methoden als prinzipiell mögliche Vorgehensweisen entwickelt. Diese unterscheiden sich dadurch, dass zum einen

- a) ausgehend von einem bestimmten Abfluss und zum anderen
- b) ausgehend von einer bestimmten Wiederkehrzeit,

die Frage wie sich die Jährlichkeiten für die verschiedenen Ausbauzustände verändern, beantwortet werden soll.

Die EG HVAL hat sich für das Vorgehen nach der erstgenannten Methode entschieden weil die Risikoberechnungen der EG HIRI auf abgestimmten Abflüssen – die den für die Umsetzung der HWRM-RL in der IFGE Rhein erstellten Hochwassergefahrenkarten zugrunde liegen basieren.

Diese Methode wird, ausgehend von der oben dargestellten Auswertegrafik, nachfolgend erläutert:

Ausgehend von einem bestimmten **Abfluss** wird die Frage beantwortet, welche Jährlichkeit dieser Abfluss in den verschiedenen Ausbauzuständen aufweist. Dieser Abfluss kann zum Beispiel ein Abfluss aus Tabelle 3 sein. Die Methode ist deshalb dazu geeignet, diesen Abflüssen Eintrittswahrscheinlichkeiten für jeden Ausbauzustand zuzuordnen und ermöglicht auch die Beantwortung der von der Expertengruppe HIRI gestellte Frage nach der Änderung der Jährlichkeit der Abflüsse durch die hochwassermindernden Maßnahmen.

In Abbildung 4 ist das Vorgehen schematisch dargestellt und soll anhand des folgenden Beispiels noch einmal verdeutlicht werden:

- Ermittelt werden sollen die Wiederkehrzeiten eines Hochwassers mit mittlerer Eintrittswahrscheinlichkeit am Pegel Worms. Gemäß den Festlegungen für die HWRM-RL für den Rheinabschnitt von der Neckarmündung bis zur Mainmündung entspricht dies einem Abfluss von 6000 m<sup>3</sup>/s (s. Tabelle 3).
- Dieser Abfluss hat dort im Ausbauzustand 1995 eine Wiederkehrzeit von 123 Jahren.
- Im Ausbauzustand 2020 wird diesem Abfluss eine Wiederkehrzeit von 245 Jahren zugewiesen.

Praktisch erfolgt die Ermittlung der Jährlichkeit nicht grafisch sondern numerisch mit Hilfe der den Trendlinien zugrunde liegenden Funktionen. Hierdurch kann für jeden beliebigen Abfluss aus dem untersuchten Spektrum zu jedem Ausbauzustand die zugehörige Jährlichkeit ermittelt werden.

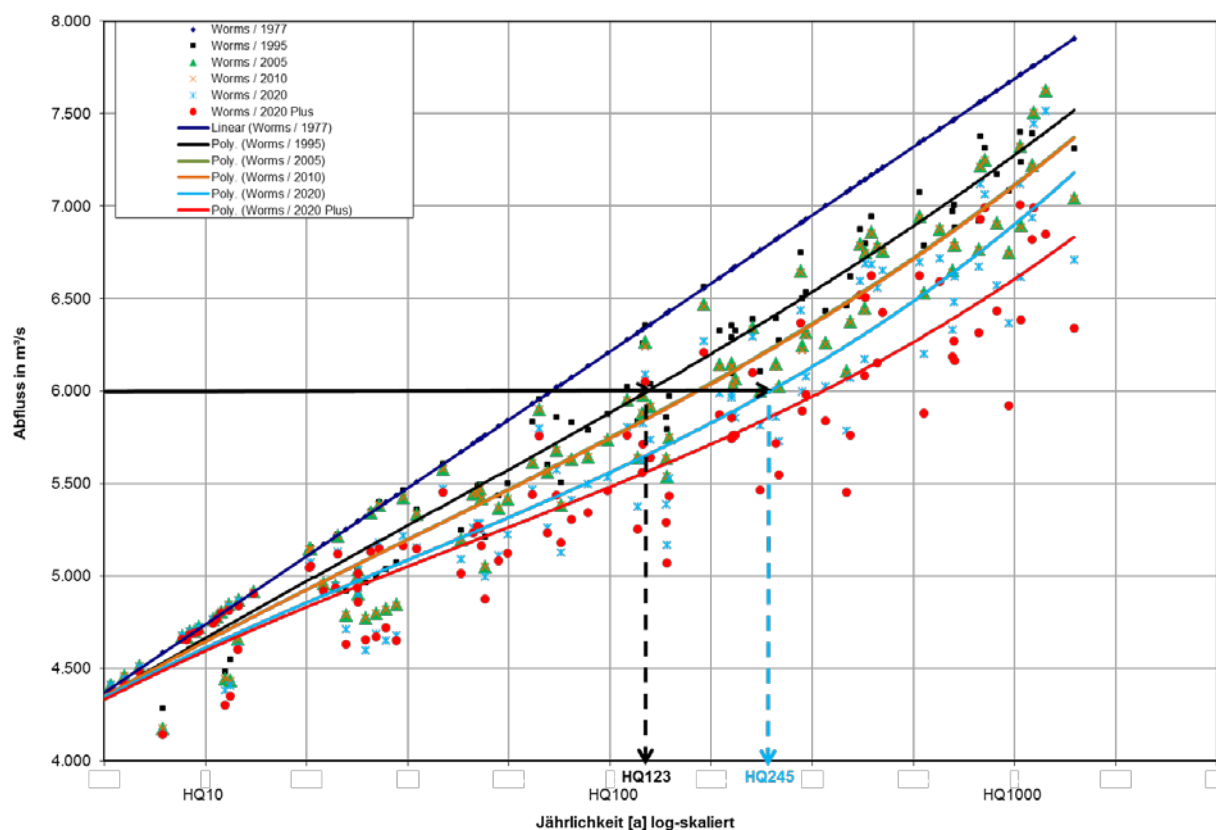


Abb.4: Vorgehensweise zur Ermittlung der Jährlichkeiten am Beispiel des Pegels Worms



Die Ergebnisaufbereitung erfolgt schließlich pegelweise in Form einer Tabelle, wie sie in Tabelle 5 exemplarisch für den Abschnitt „Oberrhein /Neckarmündung – Mainmündung (Pegel Worms)“ wiedergegeben ist (siehe alle Ergebnisse unter Kapitel 1, Tabelle 1 oder Kapitel 4, Tabelle 8). Dabei wird den in der Tabelle 3 angegebenen Abflüssen (abgestimmte Abflüsse im Rahmen der HWRM-RL) einer „hohen“, „mittleren“ und „niedrigen“ Wahrscheinlichkeit für jeden Ausbauzustand eine Jährlichkeit zugeordnet.

Abschnitt	Wahrscheinlichkeiten	Abflüsse [ $m^3/s$ ]	Theoretische Jährlichkeiten [a] bezogen auf das durchgeführte Verfahren mit dem HVAL-Untersuchungskollektiv für die Ausbauzustände				
			1995	2005	2010	2020	2020plus
<i>Pegelbezogene Auswertung</i>							
<b>Pegel Worms (Oberrhein /Neckarmündung – Mainmündung)</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	4750 $m^3/s$	12 a	12 a	12 a	14 a	14 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	6000 $m^3/s$	123 a	162 a	166 a	245 a	324 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	7600 $m^3/s$	1585 a	1862 a	1862 a	2344 a	3631 a

Tab. 5: Ermittelte theoretische Jährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv am Beispiel des Pegels Worms

### 3.6 Ermittlung der (Veränderung der ) Abflusskapazität in den Rheinabschnitten nördlich der Siegmündung

Zur Erfassung der Veränderung der Abflusskapazität durch die fließquerschnittserweiternden Maßnahmen, die ab der Siegmündung eine wichtige Rolle zur Wasserstandsabsenkung bei Hochwasser spielen, wird zunächst für jedes Gewässerprofil (ca. 500 m Abstand) für jeden der 6 Ausbauzustände (1977, 1995, 2005, 2010, 2020 und 2020plus) die Wasserstands-Abflussbeziehung bestimmt. Grundlage hierfür sind die durch HVAL berechneten Scheitelabflüsse und Scheitelwasserstände für die 108 Modellhochwasser. Dabei wird nicht, wie sonst üblich, die Beziehung zwischen Wasserstand und Abfluss im Profil selber festgelegt, sondern die Beziehung zwischen dem Wasserstand im Profil und dem Abfluss am Bezugspegel (Köln bzw. Lobith) ermittelt. Hierdurch wird direkt ein Bezug hergestellt zwischen den Abflüssen am Pegel und korrespondierenden Wasserständen in der Strecke. Hierbei stellt Köln den Bezugspegel für die Strecke Siegmündung-Ruhrmündung und Lobith den für die Strecken „Ruhrmündung-Pannerdensche Kop“, Waal, Nederrijn-Lek und IJssel.

Dies ist zunächst einmal nötig, weil nur so eine Beziehung zwischen dem Wasserstand in der Strecke und der Hochwasserstatistik gelegt werden kann. Letztere erfolgt über die Abflüsse und ist bezogen auf die Pegel. Darüber hinaus sind die Abflüsse vor Ort nicht in allen Fällen identisch mit denen am Bezugspegel. Dies gilt vor allem für die Niederländischen Rheinarme. Hier gilt der Pegel Lobith als Bezugspegel für alle 3 Hauptarme des Rheins (Waal, Nederrijn-Lek und IJssel). Durch die kurz unterhalb von Lobith auftretende Verzweigung des Rheins verteilt sich der Gesamtabfluss des Rheins auf die drei Arme (ca. 2/3 Waal, 2/9 Nederrijn-Lek und 1/9 IJssel). Abbildung 5 zeigt exemplarisch das Ergebnis für die Waal am km 882 für die Ausbauzustände 1995 und 2020.

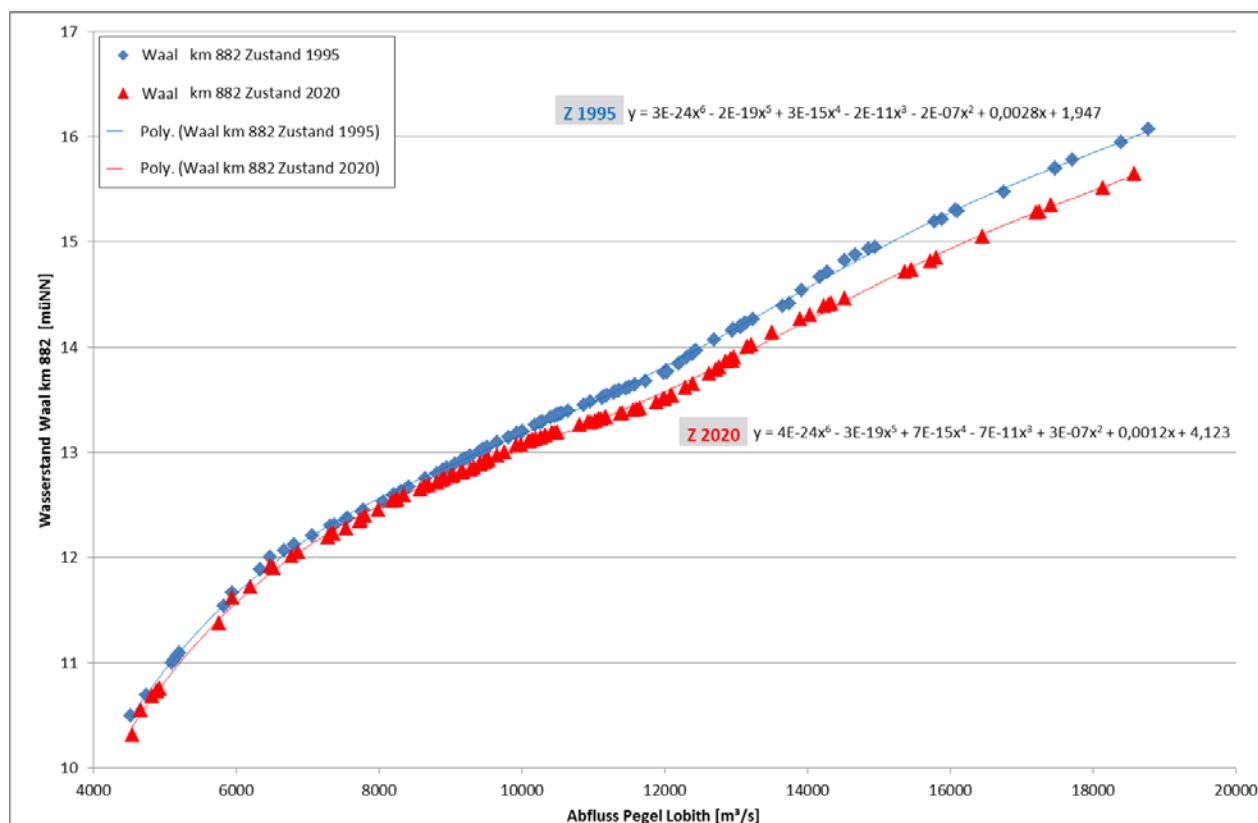


Abb.5: Beziehung zwischen dem Abfluss am Bezugspegel (hier Lobith) und dem Wasserstand im Profil am Beispiel Waal-km 882 für die Zustände 1995 und 2020

Für jeden beliebigen Abfluss am Bezugspegel kann nun für jedes Profil z.B. für den Zustand 2020 der Wasserstand ermittelt werden. Die benötigten Bezugsabflüsse zur Kapazitätsbestimmung werden hier dem Ausbauzustand 2020 zugeordnet, da sie erst durch die Ausbaumaßnahmen „Raum für den Fluss“ der Niederlande erreicht werden. In einem weiteren Schritt wird dann für jedes Profil der Abfluss am Bezugspegel ermittelt, der in einem anderen Gewässerzustand (z.B. 1995) benötigt wird, um den gleichen Wasserstand zu erreichen. Abbildung 6 verdeutlicht dieses Vorgehen für die Waal am km 882. Praktisch erfolgt dies nicht grafisch sondern numerisch mit Hilfe der Trendlinie (Polynom 6. Grades) für die Wasserstands-Abflussbeziehung.

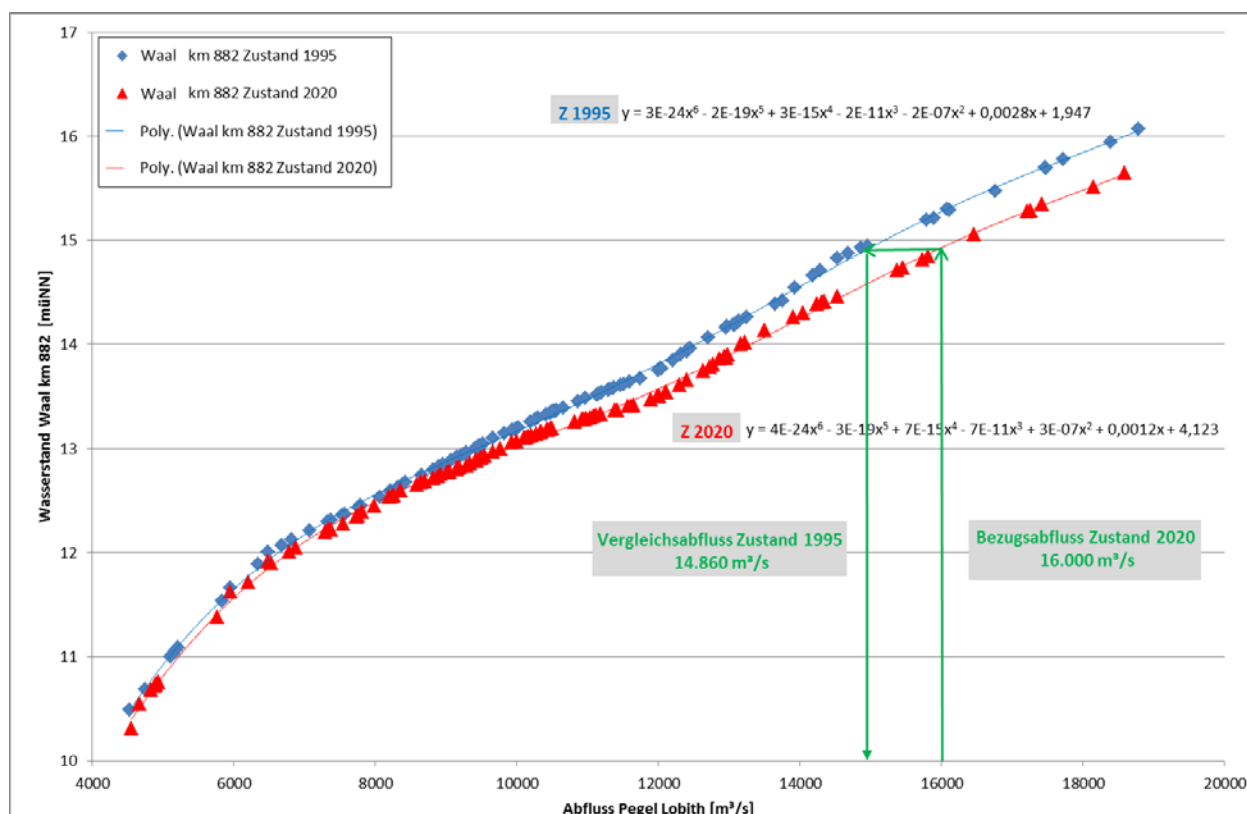


Abb. 6: Ermittlung der (Änderung der) Abflusskapazität aus der Abbildung 5 „Beziehung zwischen dem Abfluss am Bezugspegel (hier Lobith) und dem Wasserstand im Profil am Beispiel Waal-km 882 für die Zustände 1995 und 2020“

Daraus ergibt sich bei vorgegebenem Bezugsabfluss am Bezugspegel für jedes Profil eines Gewässerabschnittes ein korrespondierender Vergleichsabfluss im betrachteten Ausbauzustand. Abbildung 7 zeigt schematisch das sich daraus ergebende Längsprofil der Vergleichsabflüsse. Durch Mittelung im Längsprofil kann der mittlere Vergleichsabfluss bestimmt werden.

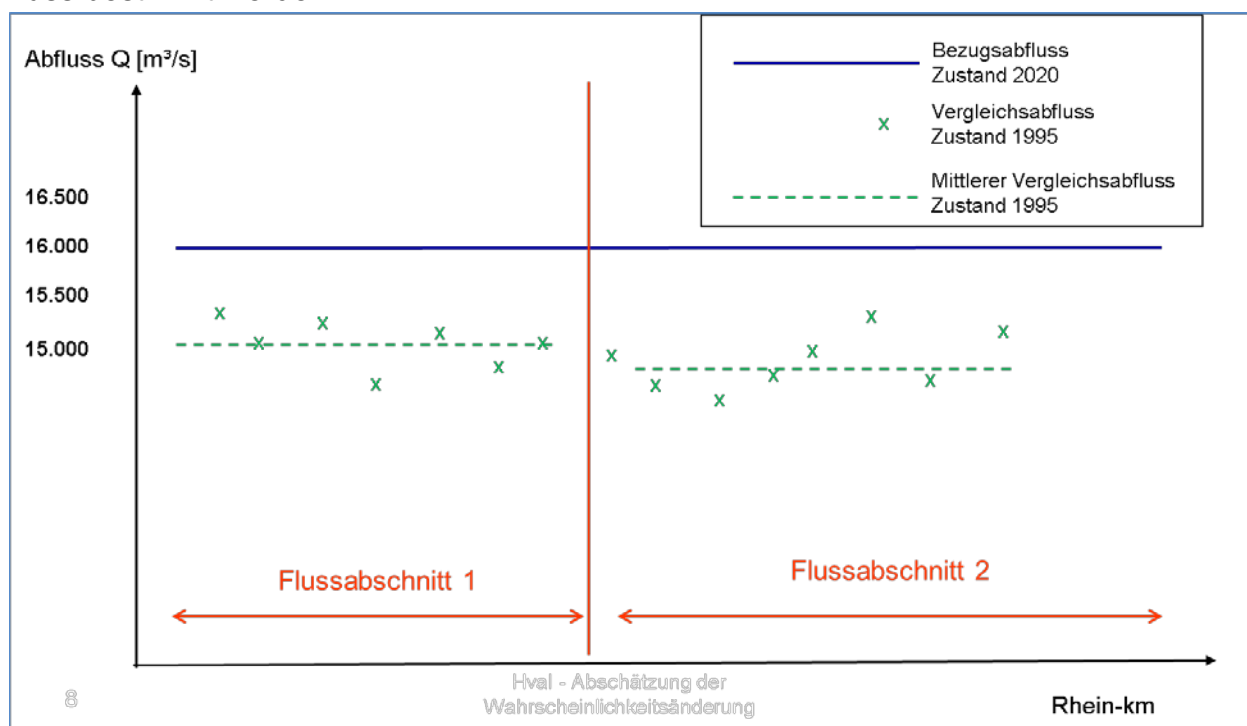


Abb. 7: Längsprofil der Vergleichsabflüsse (schematisch)

Tabelle 6 zeigt beispielhaft das Ergebnis der mittleren Abflusskapazitäten für die Waal für die unterschiedlichen Ausbaustände und Wahrscheinlichkeitsklassen (hohe, mittlere und niedrige Wahrscheinlichkeit) gemäß HWRM-RL.

Abschnitt	Wahrscheinlichkeiten	Mittlere Abflusskapazität [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]				
		Ausbaustände				
		1995	2005	2010	2020	2020plus
<b>Streckenbezogene Auswertung</b>						
<b>Waal (bis km 938) *</b>						
mittlere Abflusskapazität [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	hohe Wahrscheinlichkeit	9324	9326	9325	9500	9500
	mittlere Wahrscheinlichkeit	12415	12408	12418	12700	12708
	niedrige Wahrscheinlichkeit	15761	15764	15781	16000	15984
<small>*Abflussangaben für den Pegel Lobith</small>						

Tab. 6: Ergebnis mittlere Abflusskapazitäten Waal

### 3.7. Streckenbezogene Auswertung der Auswertegrafik zur Abschätzung der theoretischen Jährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Hochwasserkollektiv

Zur Abschätzung der theoretischen Jährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Hochwasserkollektiv wird wie bei der pegelbezogenen Auswertung auf die nach Kapitel 3.4 erstellten Auswertegrafiken zurückgegriffen.

Ausgehend von einem vorgegebenen (Bezugs-) Abfluss (beispielsweise das Hochwasser niedriger Wahrscheinlichkeit, das nach Tabelle 3 für den Bereich ab Lobith mit  $16\,000\text{ m}^3/\text{s}$  angegeben wird), wird zunächst für alle Ausbauzustände die korrespondierenden Abflusskapazitäten in den entsprechenden Flussstrecken (z.B. Waal) ausgerechnet (s. Kapitel 3.6). Das Ergebnis für die Waal ist in Tabelle 6 zusammengefasst. Mit Hilfe der Auswertegrafik kann nun für jeden Abfluss aus Tabelle 6 die entsprechende Jährlichkeit bestimmt werden. Abbildung 8 zeigt dies für das Hochwasser niedriger Jährlichkeit für die Zustände 2020 und 1995.

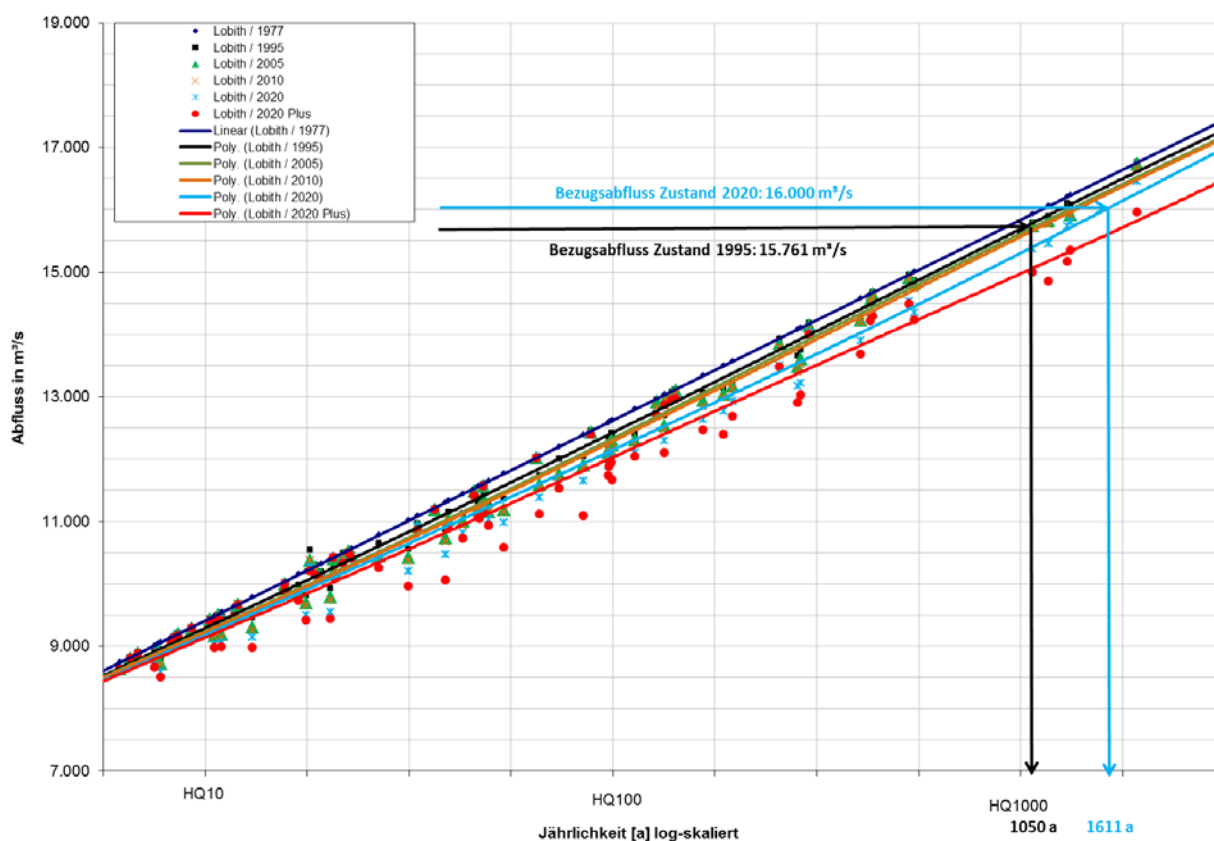


Abb. 8: Vorgehensweise zur Ermittlung der Jährlichkeiten am Beispiel der Waal, streckenbezogene Auswertung

Praktisch erfolgt die Ermittlung der Jährlichkeiten wie schon bei der pegelbezogenen Auswertung nicht grafisch sondern mit Hilfe der Trendlinienfunktionen. Tabelle 7 gibt exemplarisch die Ergebnisse für die Waal wieder. Hierbei ist auf eine Besonderheit hinzuweisen: Aufgrund des bei km 938 beginnenden und stromabwärts zunehmenden Tideeinflusses konnte ab km 938 keine eindeutige Beziehung zwischen den Wasserständen in den Querprofilen und Abflüssen am Pegel Lobith erstellt werden. Deshalb gelten die ermittelten Jährlichkeitsänderungen für die Waal auch nur für den Bereich bis km 938.

Abschnitt	Wahrscheinlichkeiten	Abflüsse [m <sup>3</sup> /s]	Theoretische Jährlichkeiten [a] bezogen auf das durchgeführte Verfahren mit dem HVAL-Untersuchungskollektiv für die Ausbauzustände				
			1995	2005	2010	2020	2020plus
<i>Streckenbezogene Auswertung</i>							
<b>Waal (bis km 938)*</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	9500 m <sup>3</sup> /s	10 a	11 a	11 a	13 a	13 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	12700 m <sup>3</sup> /s	99 a	105 a	110 a	152 a	169 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	16000 m <sup>3</sup> /s	1050 a	1107 a	1161 a	1611 a	2178 a
<small>*Abflussangaben für den Pegel Lobith</small>							

Tab. 7: Ermittelte theoretische Jährlichkeiten am Beispiel der Waal, streckenbezogene Auswertung

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Vorbemerkungen zur Ergebnisinterpretation

#### a) Hinweis zur Vergleichbarkeit mit den offiziellen Werten der Hochwasserstatistik:

Dem HVAL-Untersuchungskollektiv liegen synthetische Modellhochwasser zugrunde. Bezogen auf die offiziellen Statistikwerte (ermittelt auf Grundlage gemessener Hochwasserscheitel) können diese lediglich in einer vergleichbaren Größenordnung liegen.

Bezüglich der hier ermittelten Wahrscheinlichkeitsveränderungen für die verschiedenen Ausbauzustände ist zu beachten:

- Der Ermittlung der Wahrscheinlichkeitsveränderung für den Bereich des HQ-Extrem liegen theoretische Annahmen zugrunde, da bei diesen Berechnungen die in Realität stattfindende Deichüberströmung nicht berücksichtigt ist.
- Die Datengrundlage der EG HVAL umfasst Scheitelwerte bis in den Bereich des HQ-1000 im Ausbauzustand 1977, wobei die Anzahl der Scheitelwerte in diesem extremen Abflussbereich sehr gering ist. Die durchgeführten Abschätzungen zu den Wahrscheinlichkeitsänderungen sind daher auch für Scheitelwerte bis zu maximal dieser Jährlichkeit ausgelegt und nur für die Untersuchung der EG HIRI zu verwenden.
- Ziel der vorliegenden Betrachtung ist für das Szenario HQ-Extrem nicht die Abbildung der tatsächlichen Wahrscheinlichkeitsänderung (in diesem Fall müsste die Deichüberströmung berücksichtigt werden), sondern die numerische Beschreibung der Wahrscheinlichkeitsänderung infolge der Maßnahmen des Aktionsplans Hochwasser.
- Die für die EG HIRI maßgebliche Bezugsebene ist der Zustand 1995. Dadurch sind die numerischen Unterschiede geringer als bezogen auf den Zustand 1977.

b) Hinweis für Fragestellungen bezüglich des zwischen Deutschland und Frankreich vertraglich vereinbarten Hochwasserschutzes am Oberrhein:

Bei den Untersuchungen der EG HVAL

- wurden Hochwasser unterschiedlicher Jährlichkeiten untersucht,
- wurden die Scheitelabflüsse für den Nachweispunkt Murgmündung sowie für die Neckarmündung nicht ausgewertet,
- wurden vereinfachte Steuerungsreglements für die Rückhaltemaßnahmen zu Grunde gelegt und ökologische Flutungen vernachlässigt,
- wurde angenommen, dass für alle Scheitelwerte eines Modellhochwassers (z.B. „12/1882 Faktor Nr. 6“) unabhängig vom Gewässerzustand die gleiche Jährlichkeit gilt, wobei die für die Modellberechnung des Ausbauzustands 1977 erreichte Jährlichkeit auf die Berechnungsergebnisse der 5 weiteren/späteren Ausbauzustände angewandt wird (s. Tabelle 4).

Eine direkte Übertragung der hier dokumentierten Berechnungsergebnisse auf die Wirksamkeitsuntersuchungen gemäß den Kriterien der deutsch-französischen Verträge ist daher fachlich nicht zulässig.

c) Hinweis zur Nutzung der Ergebnisse für andere Fragestellungen

Die vorliegenden Ergebnisse wurden im Rahmen der HVAL-Fragestellung erarbeitet. Für darüber hinausgehende Fragestellungen bedürfen die Ergebnisse der EG HVAL einer vertieften Einzelfallprüfung, ob sie hinsichtlich ihrer Methodik und Aussagekraft für andere Anwendungen (z.B. Kosten-Nutzen-Analyse) genutzt werden können.

## 4.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Berechnungen der Jährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv für die Ausbauzustände 1995, 2005, 2010, 2020 und 2020plus sind für die pegelbezogene Auswertung in Tabelle 8 wiedergegeben und für die streckenbezogene Auswertung in Tabelle 9. Dabei stellen die Ergebnisse der pegelbezogenen Auswertung für die Pegel Köln und Lobith (Tab.8) nur die Grundlage für die streckenbezogene Auswertung (Tab. 9) dar. Sie geben nur die Jährlichkeitsänderung wieder, die sich aus der Wirkung der Maßnahmen auf den Abfluss ergibt. Da im Bereich des Rheins unterhalb der Siegmündung ein großer Teil der Maßnahmen nur auf den Wasserstand wirkt, ohne Einfluss auf den Abfluss zu nehmen, musste für diesen Bereich in einem zweiten Schritt die streckenbezogene Auswertung durchgeführt werden. Die Ergebnisse für die Pegel Köln und Lobith in Tabelle 8 sind darum nicht als Endergebnis zu verstehen sondern als Grundlage für die streckenbezogene Auswertung, deren Ergebnisse in Tabelle 9 zu finden sind.

Die ermittelten Jährlichkeiten bzw. deren Änderungen spiegeln die fortschreitende Zunahme des je nach Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Rückhaltevolumens der Maßnahmen wieder (s. Tabelle in Anlage 5a): Betrachtet man beispielsweise die Zunahme des Rückhaltevolumens am Pegel Worms, so ergeben sich für das HQ-Extrem hier sowohl für die Ausbauzustände 2020 als auch 2020plus die größten Zuwächse. Diese Veränderungen zeigen sich entsprechend in den Ergebnissen der ermittelten theoretischen

schen Jährlichkeiten für die Abflüsse mit mittlerer und niedriger Eintrittswahrscheinlichkeit.

Die Wirkung der Maßnahmen ausgedrückt in Jährlichkeitsänderungen nimmt durch den Zufluss der Mosel deutlich ab (s. Tabelle 8, Ergebnisse für Pegel Andernach, der die Rheinstrecke zwischen Mosel- und Siegmündung repräsentiert). Nur Hochwasser, die auch oder vor allem vom Oberrhein kommen können durch Rückhaltmaßnahmen beeinflusst werden. Je größer der Anteil eines Hochwassers bei Andernach aus der Mosel ist, umso geringer ist seine Beeinflussung durch Maßnahmen am Oberrhein.

Für die Rheinstrecken unterhalb der Siegmündung (Tabelle 9) zeigen sich für alle Hochwasserklassen (mit hoher, mittlerer und niedriger Wahrscheinlichkeit) die größten Änderungen zwischen den Zuständen 2010 und 2020 sowie 2020 und 2020plus. Ursache hierfür ist vor allem die Fertigstellung der fließquerschnittserweiternden Maßnahmen bis 2020. Die Zunahme der Jährlichkeiten nach 2020 betrifft im Wesentlichen die Hochwasser mit mittlerer und niedriger Wahrscheinlichkeit und dürfte vor allem zurückzuführen sein auf die Rückhaltmaßnahmen, die an Ober- und Niederrhein vorgesehen sind.

Auffällig ist auch die unterschiedliche Wirkung der Maßnahmen auf die Jährlichkeiten in den drei niederländischen Rheinarmen. Hier zeigt sich der große Unterschied im Charakter der drei Rheinarme bezüglich der hydraulischen Kapazität (ca. 2/3 der Wassers bei Lobith wird abgeführt durch die Waal, 2/9 durch Nederrijn/Lek und 1/9 durch die IJssel), und die Wirksamkeit der unterschiedlichen Maßnahmen (z.B. großräumige Buhnenabsenkung in der Waal und Flutmulden und Deichrückverlegungen entlang der IJssel).

Zudem konnte bei der Bestimmung der Jährlichkeiten die Waal nur bis zum km 938 berücksichtigt werden. Durch den ab km 938 beginnenden und stromabwärts zunehmenden Tideeinfluss konnte keine eindeutige Beziehung zwischen dem Wasserstand in den Querprofilen und den Abflüssen bei Lobith ermittelt werden (s. Kapitel 3.6 und 3.7).



Abschnitt	Wahrscheinlichkeiten	Abflüsse [m <sup>3</sup> /s]	Theoretische Jährlichkeiten [a] bezogen auf das durchgeführte Verfahren mit dem HVAL-Untersuchungskollektiv für die Ausbauzustände				
			1995	2005	2010	2020	2020plus
<b>Pegel Maxau (Oberrhein /Iffezheim – Neckarmündung)</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	4100 m <sup>3</sup> /s	14 a	17 a	17 a	19 a	21 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	5000 m <sup>3</sup> /s	145 a	182 a	182 a	209 a	282 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	6500 m <sup>3</sup> /s	1698 a	1778 a	1778 a	1778 a	1950 a
<b>Pegel Worms (Oberrhein /Neckarmündung – Mainmündung)</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	4750 m <sup>3</sup> /s	12 a	12 a	12 a	14 a	14 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	6000 m <sup>3</sup> /s	123 a	162 a	166 a	245 a	324 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	7600 m <sup>3</sup> /s	1585 a	1862 a	1862 a	2344 a	3631 a
<b>Pegel Mainz (Oberrhein /Mainmündung – Nahemündung)</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	5700 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	11 a	13 a	13 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	7900 m <sup>3</sup> /s	129 a	151 a	155 a	182 a	240 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	10300 m <sup>3</sup> /s	1622 a	1622 a	1622 a	1778 a	1995 a
<b>Pegel Kaub (Mittelrhein/Nahemündung-Moselmündung)</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	5800 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	12 a	13 a	13 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	8000 m <sup>3</sup> /s	129 a	148 a	155 a	178 a	234 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	10400 m <sup>3</sup> /s	1622 a	1660 a	1660 a	1820 a	1905 a
<b>Pegel Andernach (Mittelrhein /Moselmündung-Siegmündung)</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	8810 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	11 a	12 a	12 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	11850 m <sup>3</sup> /s	100 a	107 a	110 a	120 a	138 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	15250 m <sup>3</sup> /s	1023 a	1096 a	1122 a	1175 a	1259 a
<b>Pegel Köln (pegelbezogene Auswertung dient nur als Grundlage für die streckenbezogene Auswertung in Tab. 9)</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	8900 m <sup>3</sup> /s	10 a	11 a	11 a	11 a	11 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	11700 m <sup>3</sup> /s	87 a	93 a	98 a	107 a	120 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	15300 m <sup>3</sup> /s	1175 a	1259 a	1288 a	1349 a	1445 a
<b>Pegel Lobith (pegelbezogene Auswertung dient nur als Grundlage für die streckenbezogene Auswertung in Tab. 9)</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	9500 m <sup>3</sup> /s	12 a	12 a	13 a	13 a	13 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	12700 m <sup>3</sup> /s	123 a	129 a	135 a	151 a	166 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	16000 m <sup>3</sup> /s	1259 a	1318 a	1349 a	1622 a	2188 a

Tab. 8: Ergebnisse der pegelbezogenen Auswertung: Tabellarische Übersicht der ermittelten theoretischen Jährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv. Das Vorgehen zu den Pegeln Köln und Lobith ist in Kap.4.2 erläutert, die Ergebnisse sind in Tabelle 9 dargestellt

Abschnitt	Wahrscheinlichkeiten	Abflüsse [m <sup>3</sup> /s]	Theoretische Jährlichkeiten [a] bezogen auf das durchgeführte Verfahren mit dem HVAL-Untersuchungskollektiv				
			für die Ausbauzustände				
			1995	2005	2010	2020	2020plus
<b>Streckenbezogene Auswertung</b>							
<b>Siegmündung - Ruhrmündung</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	8900 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	11 a	11 a	12 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	11700 m <sup>3</sup> /s	94 a	93 a	96 a	106 a	120 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	15300 m <sup>3</sup> /s	1140 a	1130 a	1170 a	1358 a	1466 a
<b>Ruhrmündung - Pannerdensche Kop□</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	9380 m <sup>3</sup> /s	10 a	10 a	10 a	12 a	12 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	12200 m <sup>3</sup> /s	79 a	79 a	78 a	104 a	115 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	15800 m <sup>3</sup> /s	763 a	751 a	743 a	1402 a	1706 a
<b>Waal (bis km 938) *</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	9500 m <sup>3</sup> /s	10 a	11 a	11 a	13 a	13 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	12700 m <sup>3</sup> /s	99 a	105 a	110 a	152 a	169 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	16000 m <sup>3</sup> /s	1050 a	1107 a	1161 a	1611 a	2178 a
<b>Nederrijn-Lek*</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	9500 m <sup>3</sup> /s	10 a	10 a	10 a	13 a	13 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	12700 m <sup>3</sup> /s	80 a	83 a	93 a	151 a	166 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	16000 m <sup>3</sup> /s	881 a	912 a	975 a	1611 a	2070 a
<b>IJssel*</b>							
Hochwasserjährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv	hohe Wahrscheinlichkeit	9500 m <sup>3</sup> /s	3 a	3 a	3 a	13 a	13 a
	mittlere Wahrscheinlichkeit	12700 m <sup>3</sup> /s	20 a	22 a	22 a	147 a	158 a
	niedrige Wahrscheinlichkeit	16000 m <sup>3</sup> /s	344 a	364 a	392 a	1611 a	2080 a
<i>*Abflussangaben für den Pegel Lobith</i>							

Tab. 9: Ergebnisse der streckenbezogenen Auswertung: Tabellarische Übersicht der ermittelten theoretischen Jährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Untersuchungskollektiv

---

## Literatur

- 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.
- HSK, 1978: Schlussbericht der Hochwasserstudienkommission für den Rhein / Rapport Final de la Commission d'Etude des Crues du Rhin.
- HVAL, 2006: Nachweis der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Minderung der Hochwasserstände im Rhein infolge Umsetzung des Aktionsplans Hochwasser bis 2005.
- HVAL, 2009: Nachweiskonzept für die Wirksamkeit von Maßnahmen im Rheineinzugsgebiet und im Rhein (Handlungsziel 2 Aktionsplan Hochwasser) 2010 – 2015 – 2020, Dokument HVAL(1)-09-03d
- IKSR, 1998: Aktionsplan Hochwasser. Internationale Kommission zum Schutze des Rheins
- IKSR, 2006: Nachweis der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Minderung der Hochwasserstände im Rhein infolge Umsetzung des Aktionsplans Hochwasser. Abschlussbericht (IKSR Bericht 153d).
- IKSR, 2012a: Nachweis der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Minderung der Hochwasserstände im Rhein. Umsetzung des Aktionsplans Hochwasser 1995 – 2010 einschließlich Vorausschau für 2020 sowie 2020plus. Abschlussbericht (IKSR Bericht 199d).
- IKSR, 2012b: Aktionsplan Hochwasser 1995 – 2010: Handlungsziele, Umsetzung und Ergebnisse. Kurzbilanz. (IKSR Bericht 200d).
- IKSR, 2013: Arbeitsdokument „Umsetzung der EU HWRM-RL: Erstellung des Rheinatlas 2013/2014“ (GIS(2)13-04-01)
- IKSR, 2014: Bericht über die Erstellung der Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten in der internationalen Flussgebietseinheit ‚Rhein‘ (Einzugsgebiet >2.500 km<sup>2</sup>, Teil A) und den Informationsaustausch nach Artikel 6 Abs. 2 der EG-Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken (HWRM-RL)
- LUA [Ed.], 2002: Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeiten  $HQ_T$  an den Pegel des Rheins. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA), Essen 2002, ISSN 1610-9619.
- LUBW/BAFU, Februar 2010: Aktualisierung des Hochwasserabfluss-Längsschnitts für den Hochrhein (abgestimmter Endbericht). 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 (Ministerium für Umwelt, Rheinland-Pfalz) - Hochwasserstudiengruppe für die Rheinstrecke Kaub-Rolandswerth, 1993: Der Einfluss des Oberrheinausbaus und der am Oberrhein vorgesehenen Retentionsmaßnahmen auf die Hochwasser am

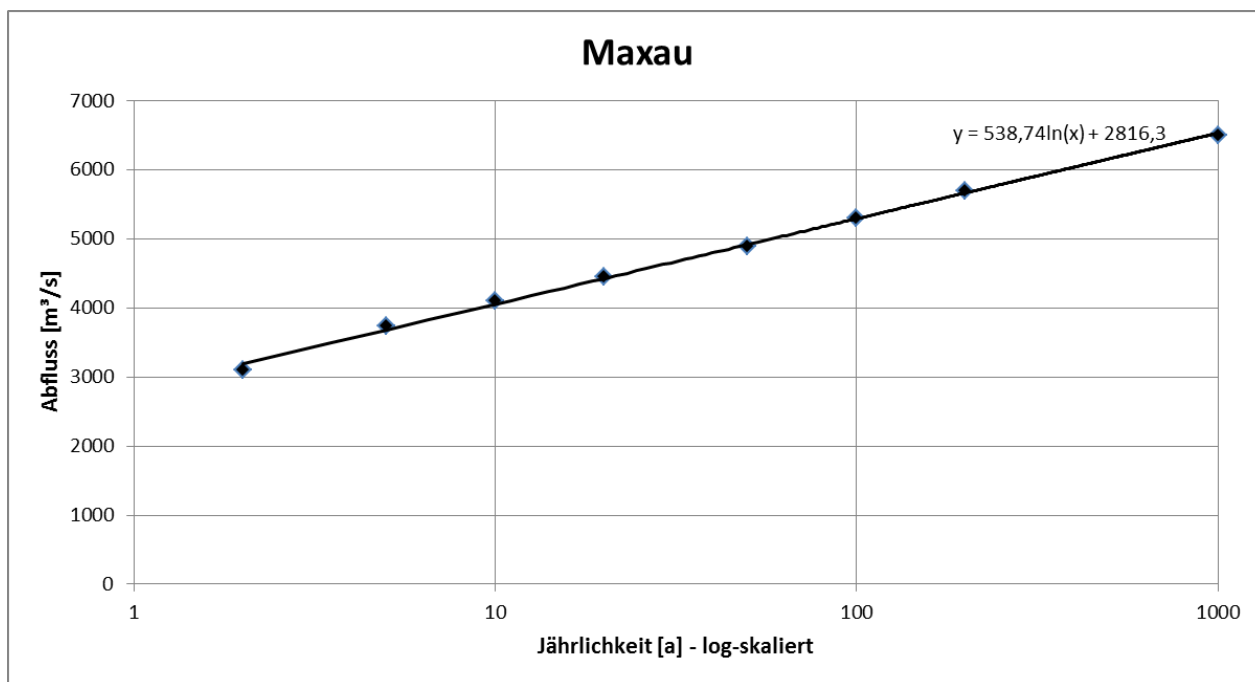
Mittelrhein von Kaub bis Köln; Bericht: Auswirkung der Rückhaltemaßnahmen am Oberrhein nach dem deutsch-französischen Vertrag von 1982. Materialien zum Hochwasserschutz am Rhein. 74 S.; Anlagen

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

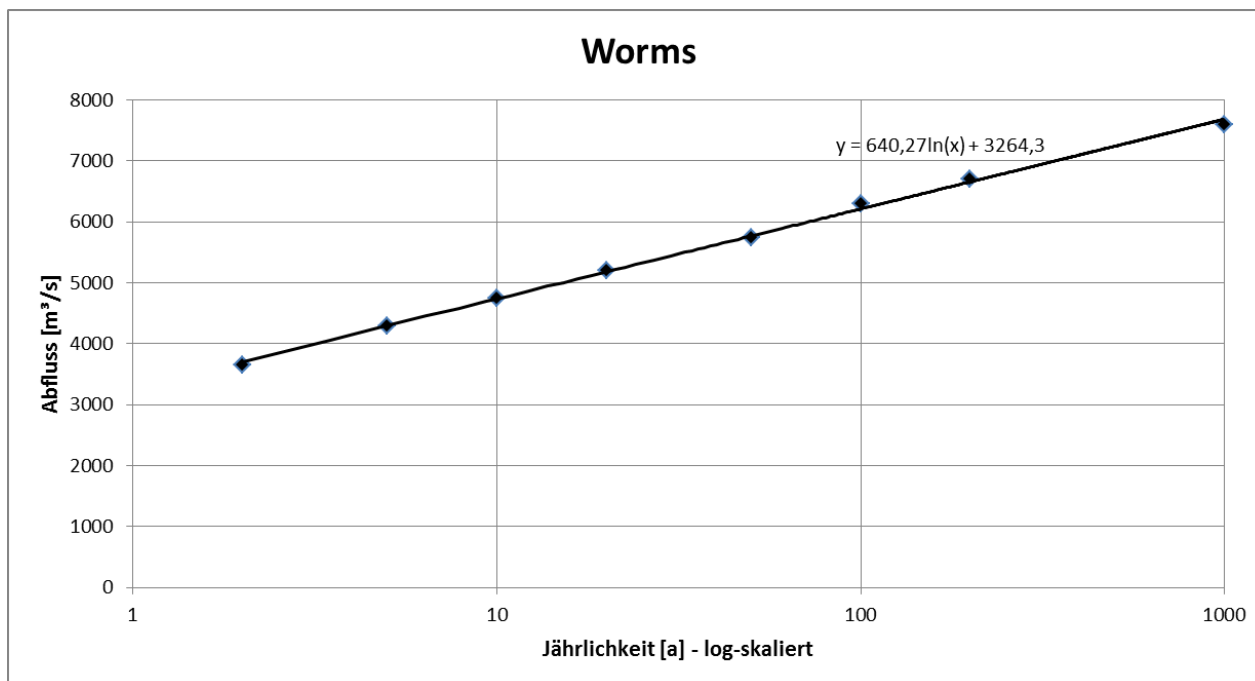
Ständige Kommission, 1998: Nachweis der Wirksamkeit der Hochwasserrückhaltemaßnahmen am Oberrhein zwischen Basel und Worms unter Einbeziehung ökologischer Flutungen. AG Wirksamkeitsnachweis

## Anlagen

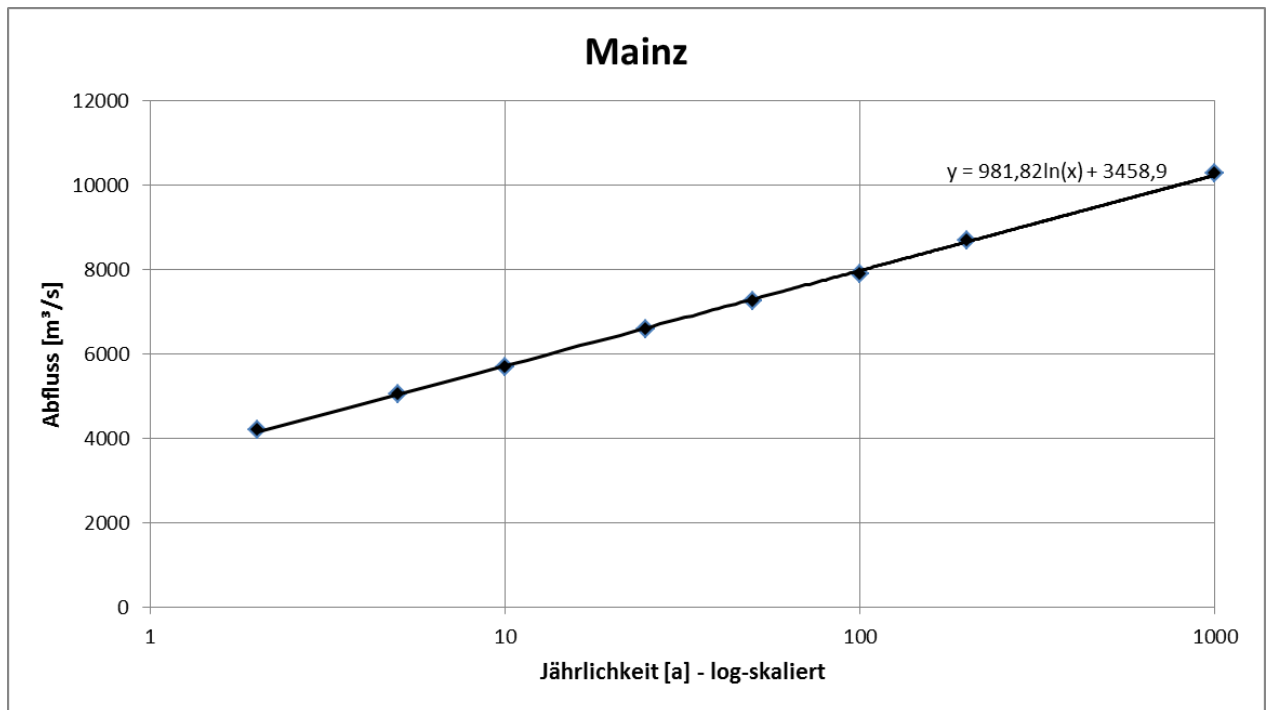
### Anlage 1: Trendlinien „offizielle Statistik“ für die Bezugspegel



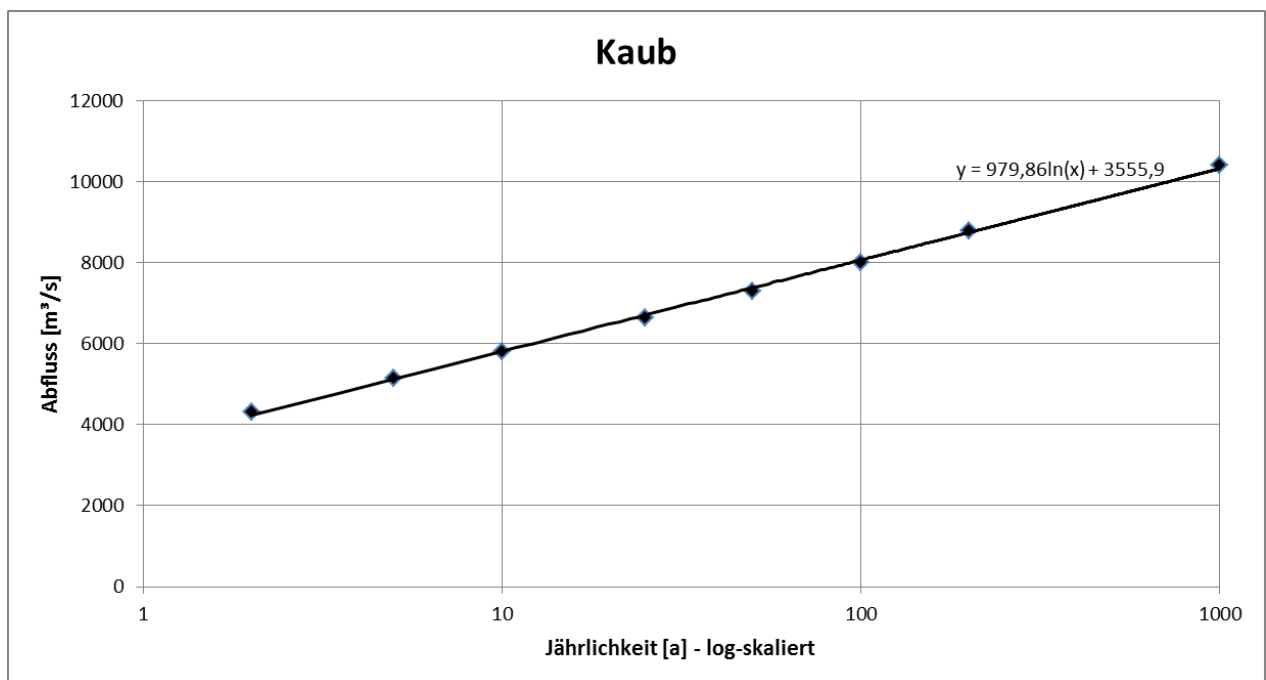
Anlage 1a: Trendlinie für den Pegel Maxau (Basis: offizielle Statistikwerte)



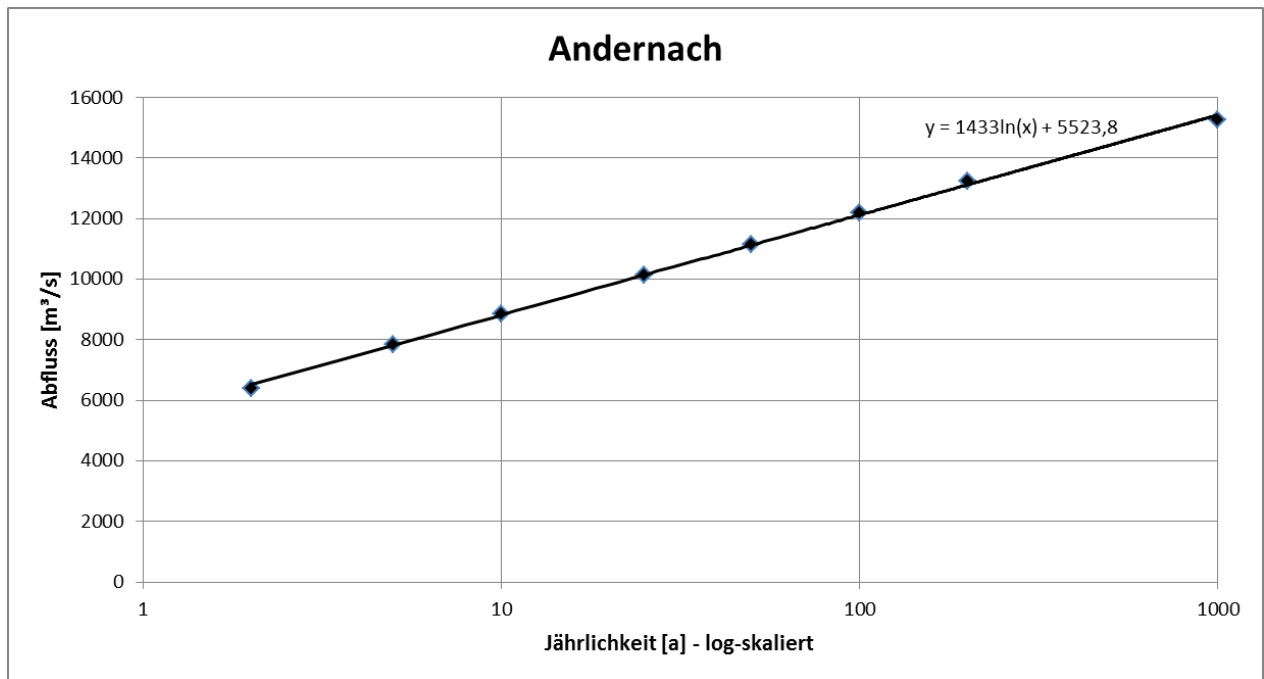
Anlage 1b: Trendlinie für den Pegel Worms (Basis: offizielle Statistikwerte)



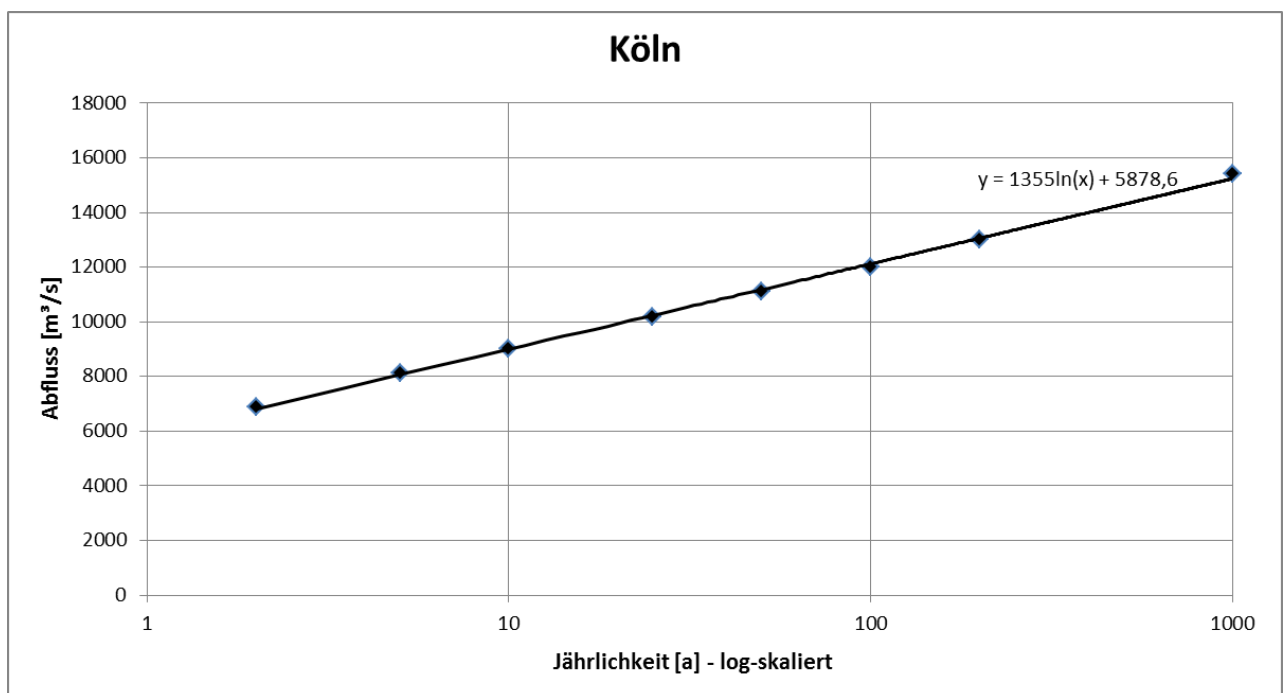
Anlage 1c: Trendlinie für den Pegel Mainz (Basis: offizielle Statistikwerte)



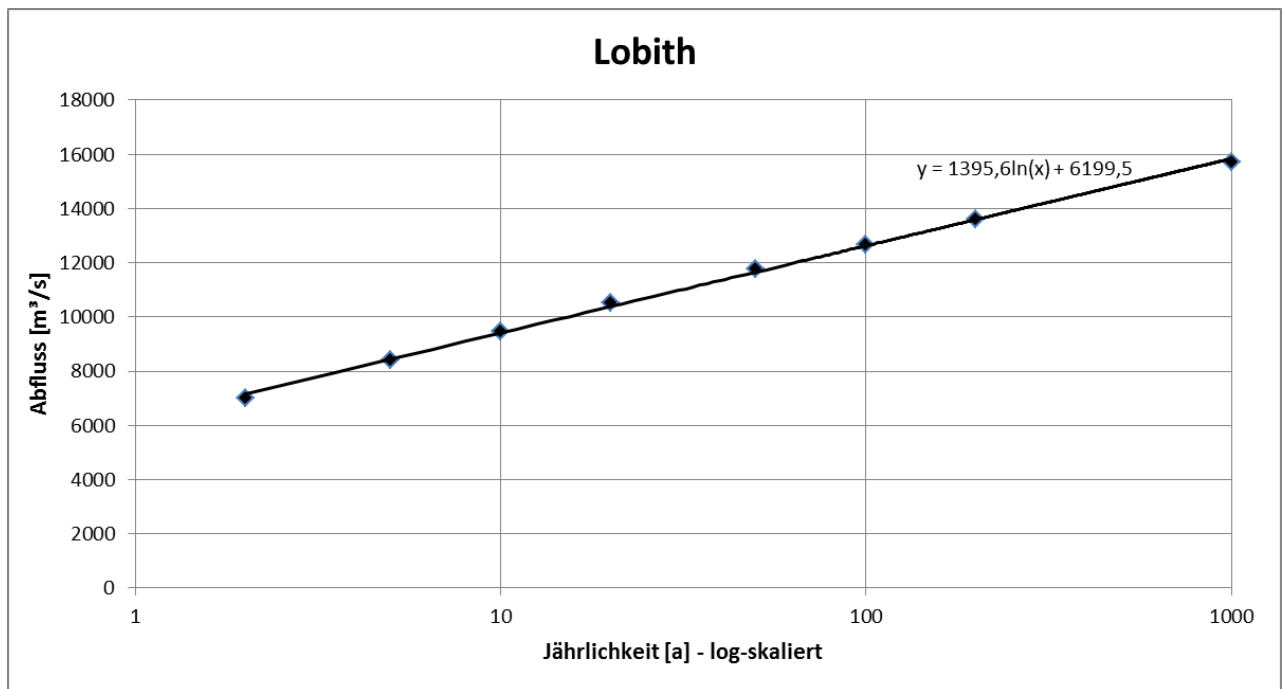
Anlage 1d: Trendlinie für den Pegel Kaub (Basis: offizielle Statistikwerte)



Anlage 1e: Trendlinie für den Pegel Andernach (Basis: offizielle Statistikwerte)



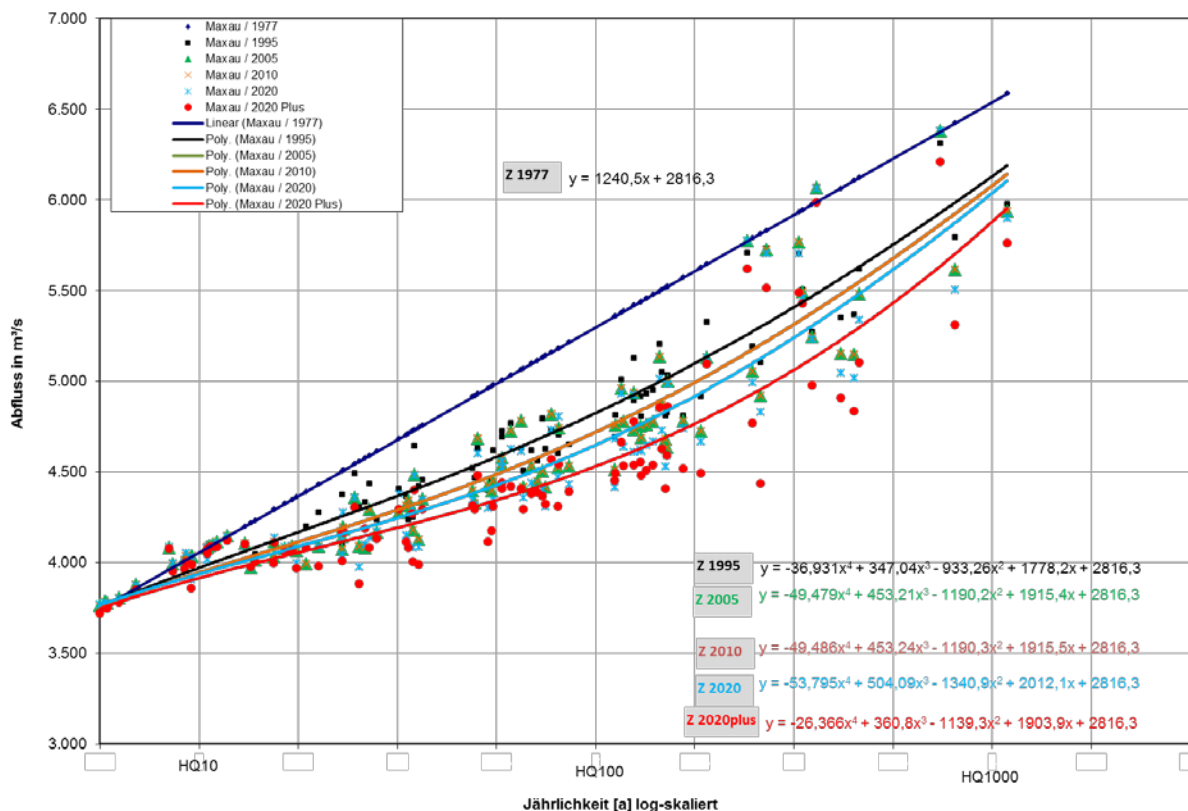
Anlage 1f: Trendlinie für den Pegel Köln (Basis: offizielle Statistikwerte)



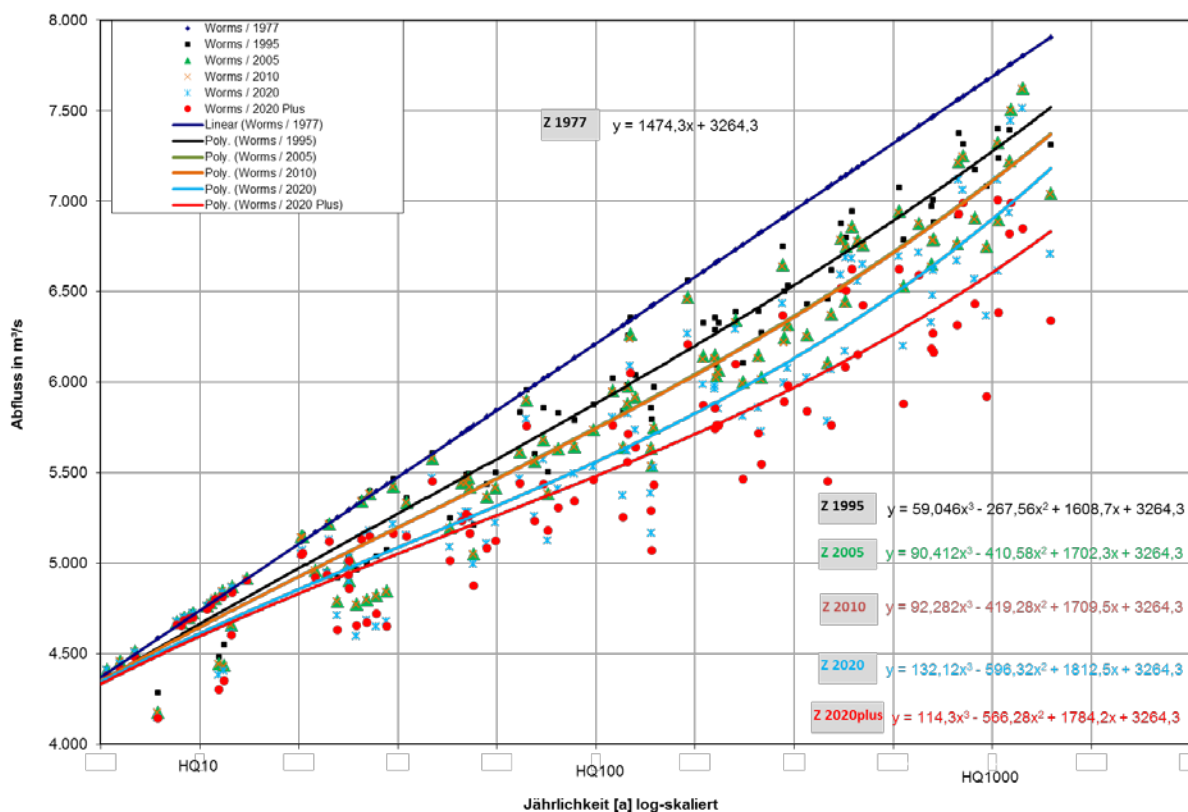
Anlage 1g: Trendlinie für den Pegel Lobith (Basis: offizielle Statistikwerte)



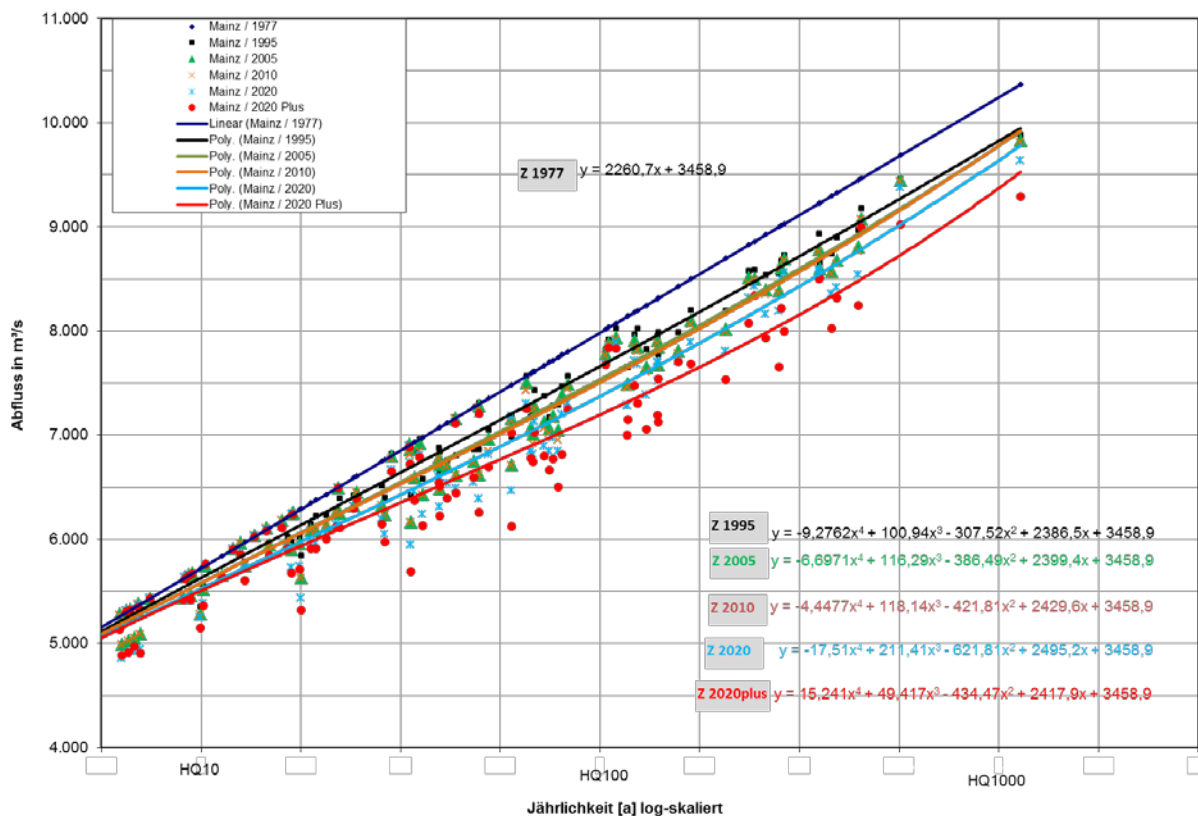
## Anlage 2: Auswertegrafiken zur pegel- und streckenbezogenen Abschätzung der theoretischen Jährlichkeiten bezogen auf das HVAL-Hochwasserkollektiv



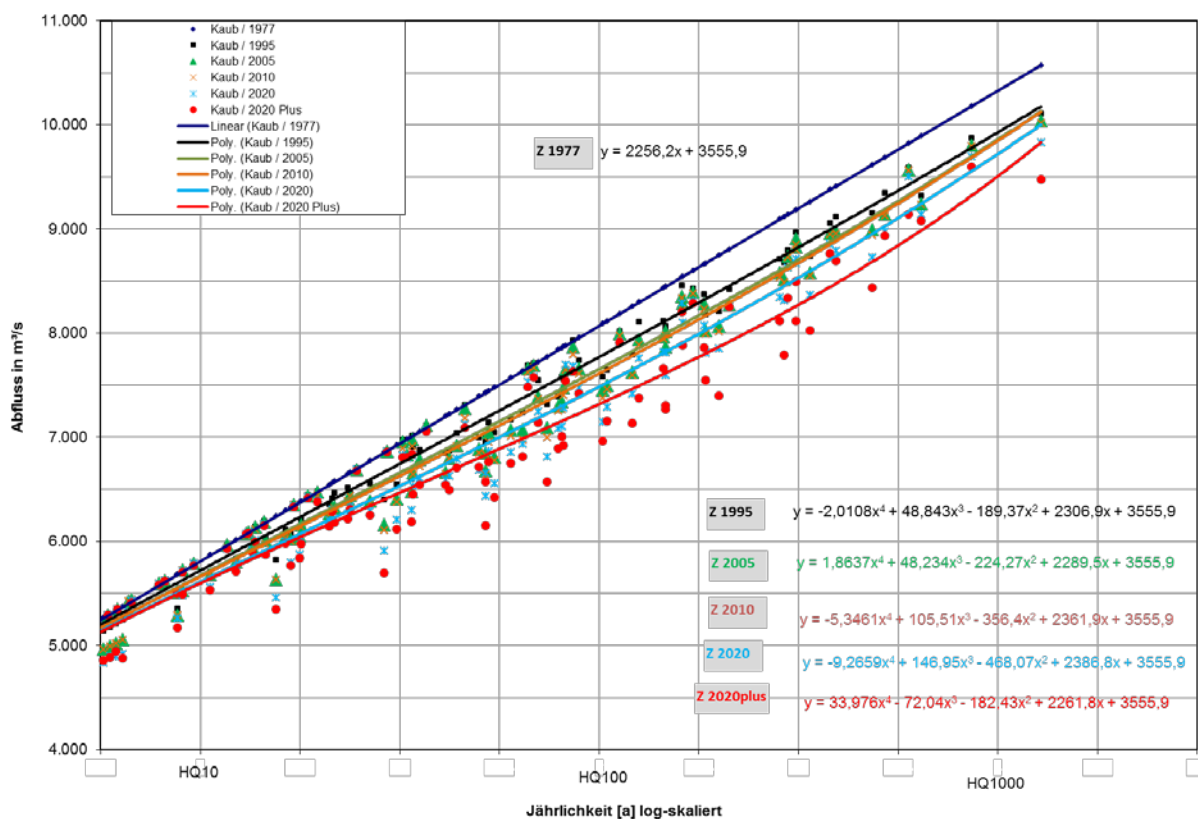
Anlage 2a: Auswertegrafik, Pegel Maxau



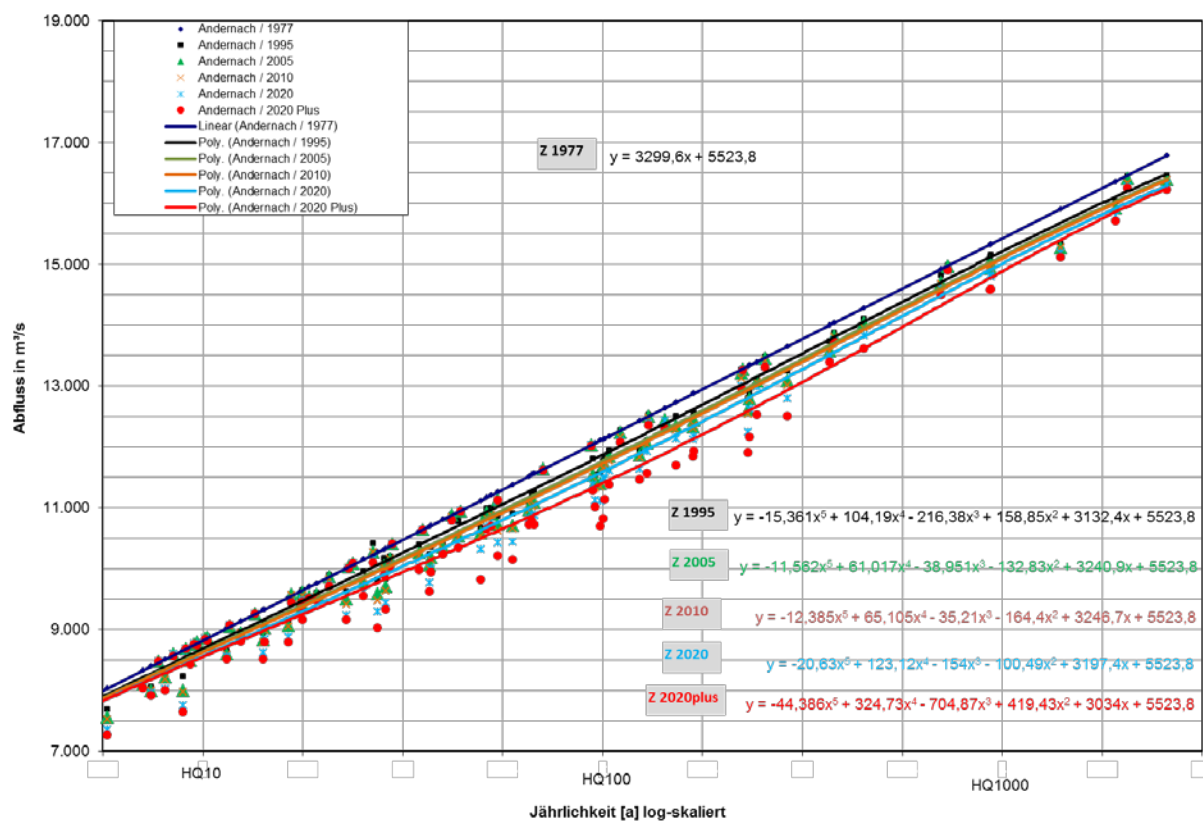
Anlage 2b: Auswertegrafik, Pegel Worms



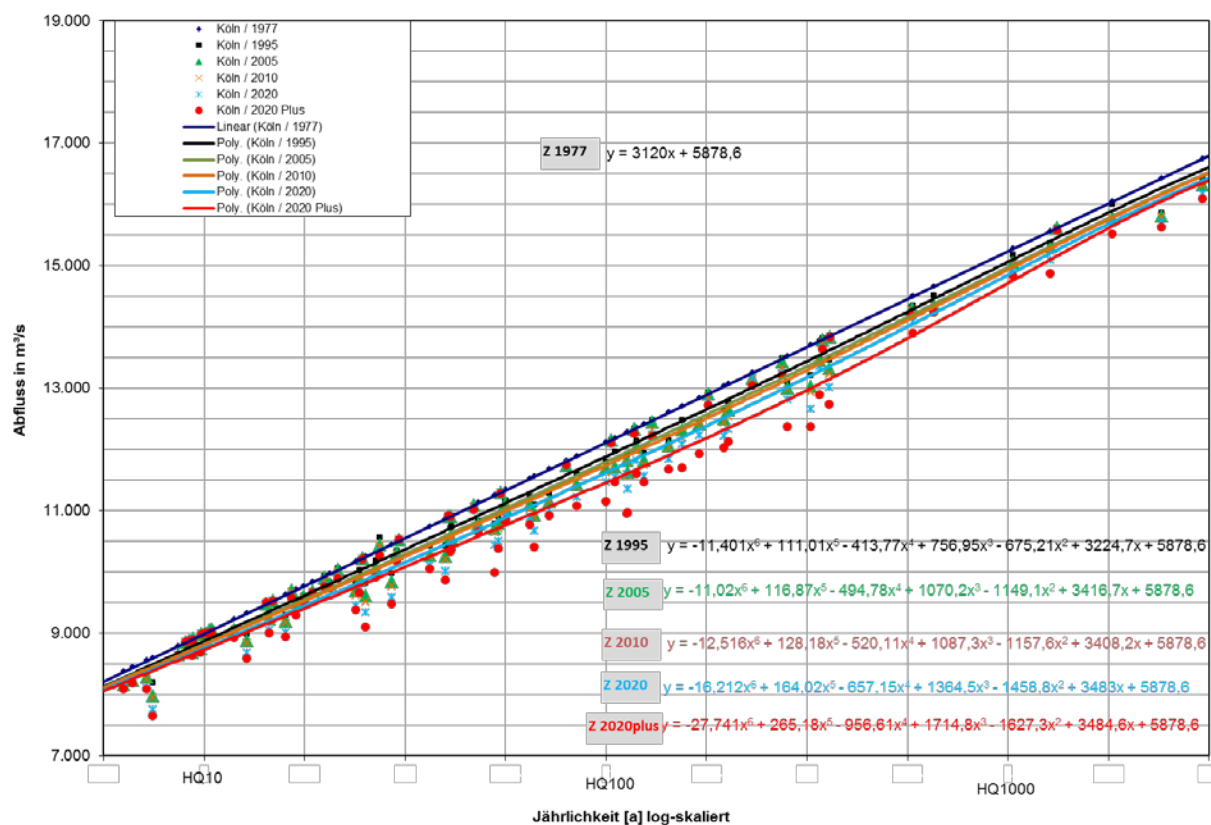
Anlage 2c: Auswertegrafik, Pegel Mainz



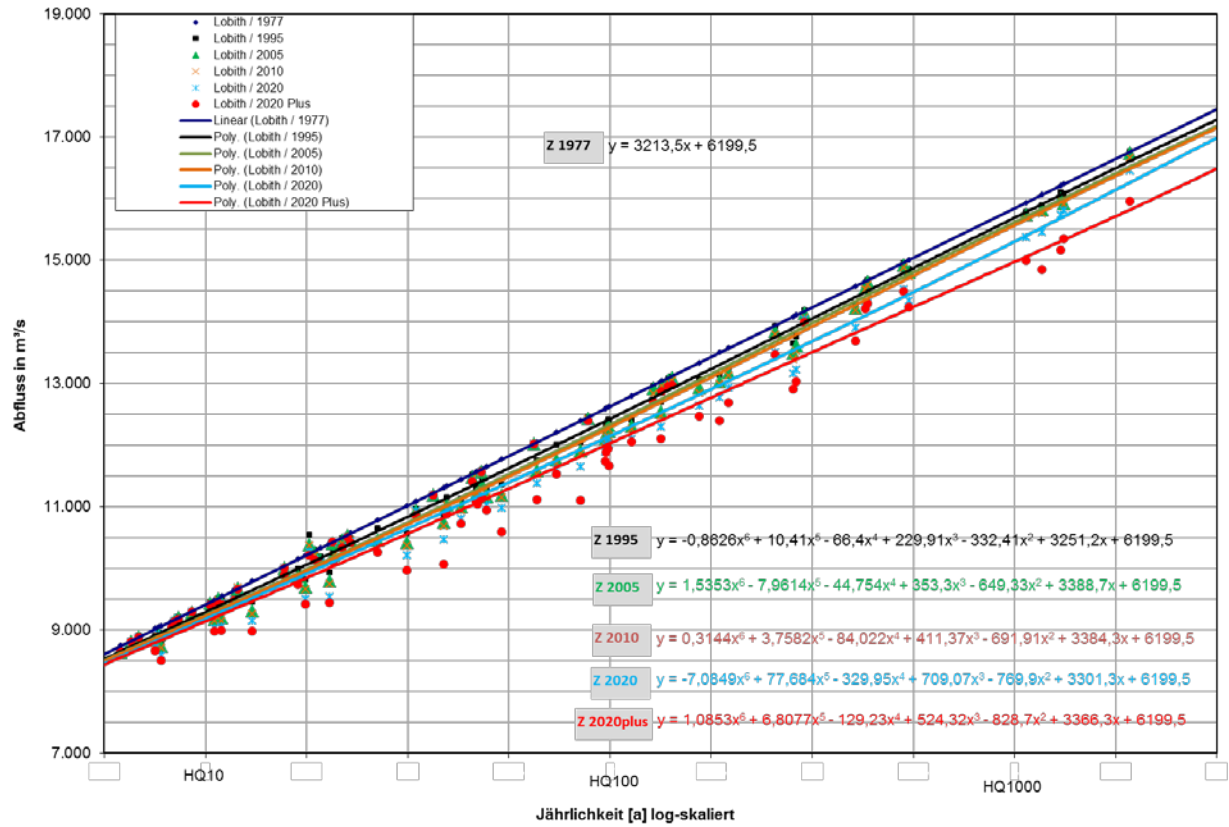
Anlage 2d: Auswertegrafik, Pegel Kaub



Anlage 2e: Auswertegrafik, Pegel Andernach



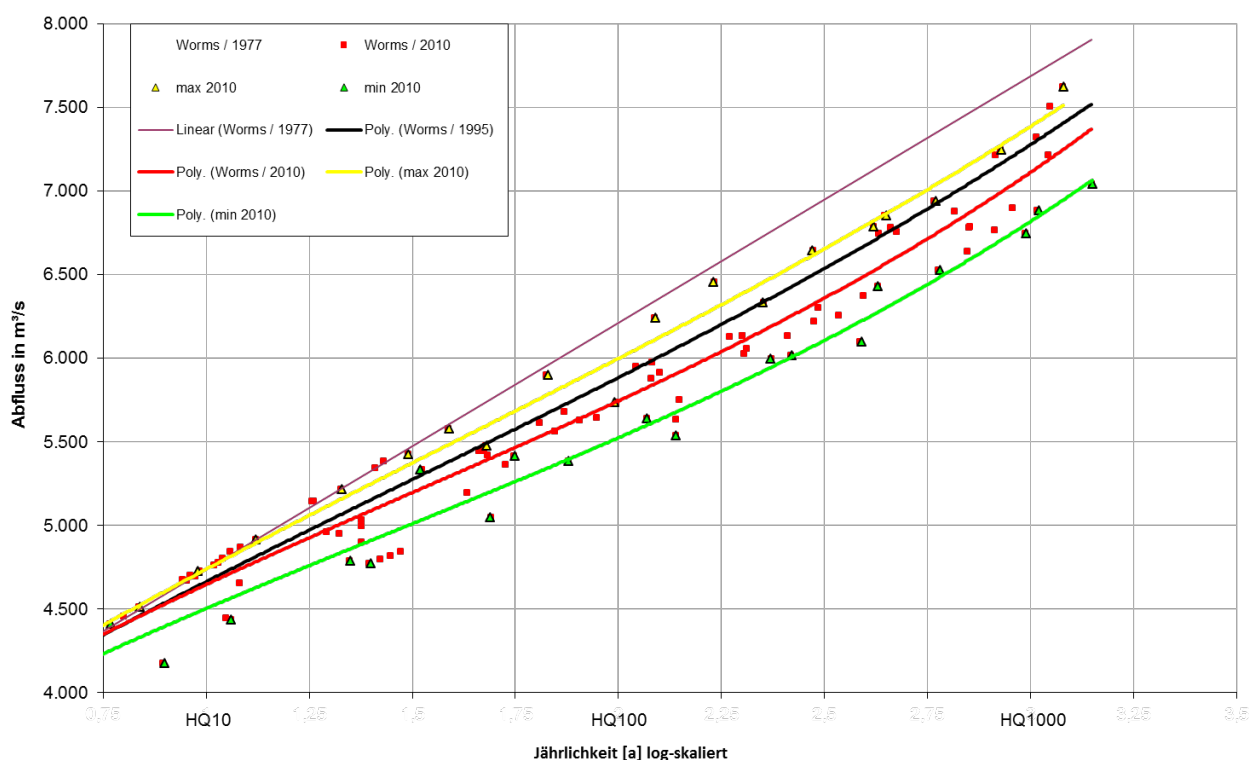
Anlage 2f: Auswertegrafik, Pegel Köln



Anlage 2g: Auswertegrafik, Pegel Lobith

### Anlage 3: Darstellung der ermittelten Unsicherheitsbänder am Beispiel Pegel Worms, Zustand 2010

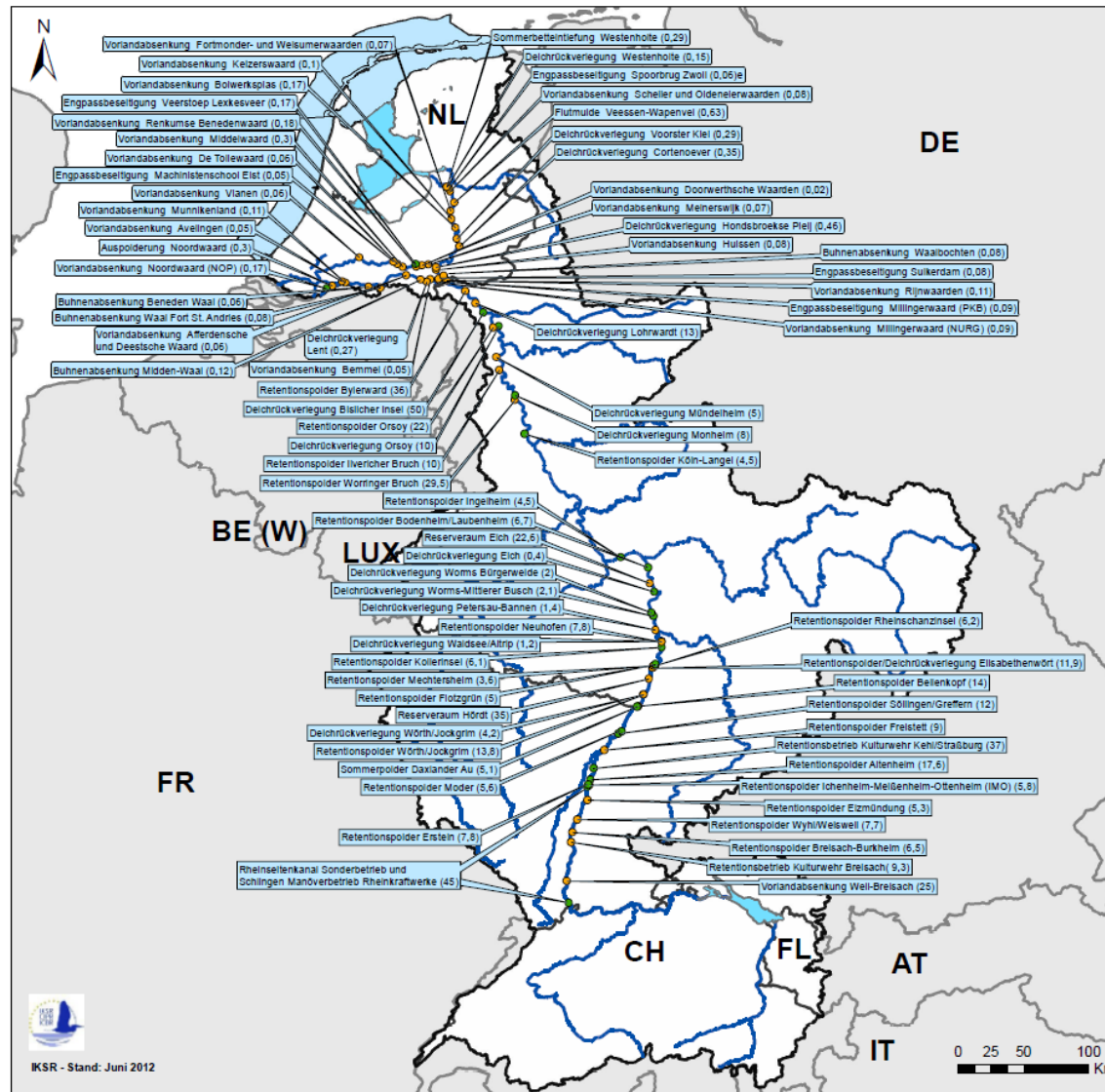
Zur Erfassung der Streuung der einzelnen Berechnungsergebnisse (Wertepaare Scheitelabfluss-Jährlichkeit) um die Trendlinien herum wurden in einem zusätzlichen Arbeitsschritt zu den Trendlinien die Umhüllenden wie folgt ermittelt: Bezogen auf die x-Achse (Werteskala von 0 (niedrige Jährlichkeit von 1) bis 3 (Jährlichkeit von 1000)) erfolgte die Festlegung von Wahrscheinlichkeitskategorien. Dabei wurde jeder ganzzahlige Schritt in 8 Klassen unterteilt. Die Bearbeitung erfolgte mit einer ACCESS Datenbank. Daraus ergab sich eine Aufteilung in 25 Klassen (Cluster) für die logarithmierten Jährlichkeiten (x-Werte) von 0 (niedrige Jährlichkeit) bis ca. 3 (Jährlichkeit über 1000). Für jede dieser Klassen können die Min- und Max-Abflusswerte ermittelt werden. Aus diesen minimalen und maximalen Abweichungen kann das jeweilige Unsicherheitsband in Form der Umhüllenden ermittelt werden. Diese sind in der nachfolgenden Beispieldarstellung für den Zustand 2010 enthalten (rote Kurve = Trendlinie; gelbe Kurve = Ausgleichsline durch die maximalen Abweichungen der 25 Klassen; grüne Kurve = Ausgleichsline durch die minimalen Abweichungen der 25 Klassen).



### Anlage 3: Darstellung der ermittelten Unsicherheitsbänder am Beispiel Pegel Worms, Zustand 2010

Diese Unsicherheitsbänder wurden im Verlauf der Projektbearbeitung durch HVAL nicht weiter berücksichtigt, da die EG HIRI für ihre weiteren Untersuchungen mittlere Jährlichkeitsänderungen benötigt.

## Anlage 4: Hochwasserretentionsmaßnahmen am Rheinhauptstrom<sup>4</sup>



<sup>4</sup> Eine genauere Lokalisierung der Maßnahmen und deren Realisierungsstands 2014 ist im Rhein Atlas 2015 auf [www.iksr.org](http://www.iksr.org) verfügbar.

## Anlage 5: Übersicht der Retentionsmaßnahmen zwischen Basel und Lobith sowie der wasserstandsabsenkenden Maßnahmen am Deltarhein ab Lobith<sup>5</sup>

### Anlage 5a: Retentionsmaßnahmen zwischen Basel und Lobith mit den jeweiligen Volumina (Angaben in Mio. m<sup>3</sup>) (Stand 2010)

Rhein Km	Bereich	Staat/ Land	Maßnahmeort	Maßnahmenart	Einsatzbereites Volumen					
					[Mio. m <sup>3</sup> ]					
					1977	1995	2005	2010	2020	2020plus
174 - 226 234 - 291	Oberrhein	F	Rheinseitenkanal und Schlingen	Sonderbetrieb/Manöverbetrieb Rheinkraftwerke		45	45	45	45	45
174,6 – 219		D-BW	Weil-Breisach	Vorlandabsenkung					2,8 <sup>2)</sup>	25
224,8		D-BW	Breisach	Retentionsbetrieb Kulturwehr					9,3	9,3
228,4		D-BW	Breisach-Burkheim	Retentionspolder					6,5	6,5
243		D-BW	Wyhl/Weisweil	Retentionspolder						7,7
260,5		D-BW	Elzmündung	Retentionspolder					5,3	5,3
272		D-BW	Ichenheim-Meißenheim-Ottenheim (IMO)	Retentionspolder						5,8
276		F	Erstein	Retentionspolder			7,8	7,8	7,8	7,8
278,4		D-BW	Altenheim	Retentionspolder		17,6	17,6	17,6	17,6	17,6
290,3		D-BW	Kehl/Straßburg	Retentionsbetrieb Kulturwehr		37 <sup>1)</sup>	37	37	37	37
302		D-BW	Freistett	Retentionspolder						9
317,4		D-BW	Söllingen/Greffern	Retentionspolder			12	12	12	12
330		F	Moder	Retentionspolder		5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
354,9		D-BW	Bellenkopf	Retentionspolder						14
357,5		D-RP	Daxlander Au	Sommerpolder	5,1 <sup>3)</sup>	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
368		D-RP	Wörth/Jockgrim	Deichrückverlegung					4,2	4,2
377		D-RP	Hördt	Retentionspolder					13,8	13,8
381,3		D-RP	Hördt	Reserveraum						35
390		D-BW	Elisabethenwört	Retentionspolder / Deichrückverlegung						11,9
390,4		D-RP	Mechtersheim	Retentionspolder					3,6	3,6
392,6		D-BW	Rheinschanzinsel	Retentionspolder					6,2	6,2
409,9		D-RP	Flotzgrün	Retentionspolder			5	5	5	5
411,5		D-RP	Kollerinsel	Retentionspolder			6,1	6,1	6,1	6,1
436		D-RP	Waldsee/Altrip	Deichrückverlegung					1,2	1,2
439		D-RP	Neuhofen	Retentionspolder					7,8	7,8
440,2		D-RP	Petersau-Bannen	Deichrückverlegung					1,4	1,4
467,3		D-RP	Worms-Mittlerer Busch	Deichrückverlegung				2,1	2,1	2,1
468,5		D-RP	Worms Bürgerweide	Deichrückverlegung			2	2	2	2
489,9		D-RP	Eich	Deichrückverlegung			0,4	0,4	0,4	0,4
517,3		D-RP	Eich	Reserveraum						22,6
668,5		D-RP	Bodenheim/Laubenheim	Retentionspolder				6,7	6,7	6,7
705,5		D-RP	Ingelheim	Retentionspolder				4,5	4,5	4,5
707,5		D-NRW	Köln-Langel	Retentionspolder				4,5	4,5	4,5
750		D-NRW	Worringer Bruch	Retentionspolder					29,5	29,5
760,5	D-NRW	Monheim	Deichrückverlegung			8	8	8	8	
802	D-NRW	Ilvericher Bruch	Retentionspolder						10	
797,5	D-NRW	Mündelheim	Deichrückverlegung					5	5	
818,5	D-NRW	Orsoy	Deichrückverlegung			10	10	10	10	
832,5	D-NRW	Orsoy	Retentionspolder					22	22	
850	D-NRW	Bislicher Insel	Deichrückverlegung	50 <sup>3)</sup>	50	50	50	50	50	
	D-NRW	Lohrwardt	Deichrückverlegung					13	13	
	D-NRW	Bylerward	Retentionspolder						36	
<b>Summe der Retentionsvolumen der Maßnahmen am Rhein per Ausbauzustand</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> Kulturwehr Kehl: bis 2002 regulär 13 Mio. m<sup>3</sup> einsetzbar, weitere 24 Mio. m<sup>3</sup> nur in außergewöhnlichen Fällen einsetzbar.

<sup>2)</sup> 2,8 Mio. m<sup>3</sup> = Abschnitt 1 von insgesamt 4 Abschnitten. Zusätzlich werden in 2020 bereits Teile der Abschnitte III und IV fertiggestellt sein.

<sup>3)</sup> Die Daxlander Au und die Bislicher Insel waren bereits vor Fertigstellung der Maßnahmen Überflutungsbereiche bei Rheinhochwasser.

<sup>5</sup> Der Stand der Realisierung der Maßnahmen 2014 ist im HWRM-Plan der IFGE Rhein verfügbar:

<http://www.iksr.org/index.php?id=347>

### Anlage 5b: Wasserstandsabsenkende Maßnahmen am Deltarhein ab Lobith mit Mindestanforderung an die zu erzielende Wasserstandreduzierung (in m) (Stand 2010)

Fluss-km	Bereich	Land	Maßnahmeort	Maßnahmenart	Mindestanforderung an die Wasserstandsabsenkung <sup>4)</sup> (je Maßnahme) (m)				
					1995	2005	2010	2020	2020plus
865	Bovenrijn/Waal/Merweddes	NL	Rijnwaarden	Vorlandabsenkung				0,11	0,11
871		NL	Millingerwaard (PKB)	Engpassbeseitigung				0,09	0,09
871		NL	Millingerwaard (NURG)	Vorlandabsenkung					
871		NL	Suikerdam	Engpassbeseitigung				0,08	0,08
878		NL	Bemmel	Vorlandabsenkung				0,05	0,05
882		NL	Lent	Deichrückverlegung				0,27	0,27
897		NL	Afferdenschse und Deestsche Waard	Vorlandabsenkung				0,06	0,06
867		NL	Waalbochten	Buhnenabsenkung				0,08	0,08
887		NL	Midden-Waal	Buhnenabsenkung				0,12	0,12
916		NL	Waal Fort St. Andries	Buhnenabsenkung				0,08	0,08
934		NL	Beneden Waal	Buhnenabsenkung				0,06	0,06
948		NL	Munnikenland	Vorlandabsenkung				0,11	0,11
955		NL	Avelingen	Vorlandabsenkung				0,05	0,05
964		NL	Noordwaard	Auspolderung				0,3	0,3
968		NL	Noordwaard (NOP)	Vorlandabsenkung			0,17	0,17	0,17
871	Pannerdensch Kanaal, Nederrijn, Lek	NL	Huissen	Vorlandabsenkung				0,08	0,08
883		NL	Meinerswijk	Vorlandabsenkung				0,07	0,07
893		NL	Doorwerthsche Waarden	Vorlandabsenkung				0,02	0,02
898		NL	Renkumse Benedenwaard	Vorlandabsenkung				0,18	0,18
898		NL	Veerstoep Lexkesveer	Engpassbeseitigung			0,17		
908		NL	Middelwaard	Vorlandabsenkung				0,03	0,03
911		NL	De Tollewaard	Vorlandabsenkung				0,06	0,06
917		NL	Machinistenschool Elst	Engpassbeseitigung				0,05	0,05
946	NL	Vianen	Vorlandabsenkung				0,06	0,06	
878	IJssel	NL	Hondsbroekse Pleij	Deichrückverlegung				0,46	0,46
918		NL	Cortenoever	Deichrückverlegung				0,35	0,35
930		NL	Voorster Klei	Deichrückverlegung				0,29	0,29
943		NL	Bolwerksplas	Vorlandabsenkung				0,17	0,17
947		NL	Keizerswaard	Vorlandabsenkung				0,1	0,1
957		NL	Fortmonder- und Welsumerwaarden	Vorlandabsenkung				0,06 - 0,08	0,06 - 0,08
961		NL	Veessen-Wapenveld	Flutmulde				0,63	0,63
977		NL	Scheller und Oldenelerwaarden	Vorlandabsenkung				0,08	0,08
978		NL	Spoorbrug Zwolle	Engpassbeseitigung				0,06	0,06
980		NL	Westenholte	Deichrückverlegung				0,15	0,15
980	NL	Westenholte	Sommerbetteintiefung				0,29	0,29	

<sup>4)</sup> Diese Maßnahmen dienen vorrangig der Erhöhung der Abflusskapazität im Rheindelta. Deshalb erfolgt nur eine Angabe der angestrebten Wasserstandsabsenkung je Maßnahme. Die Maßnahmen werden daher auch bei der Gesamtsumme des Rückhaltevolumens nicht mitgerechnet.

PKB = Planologische Kernbeslissing (Planfeststellungsverfahren)

NURG = Nadere Uitwerking Rivierengebied (Detailliertere Entwicklung des Flussraums)

NOP = Natuurontwikkelingsproject (Naturentwicklungsprojekt)



# Anlage 6: Beschreibung des HIRI-Instrumentes zum Nachweis der Maßnahmeneffekte auf die Reduzierung des Hochwasser- risikos und dazugehörige Berechnungen/Analysen (Poster in English)



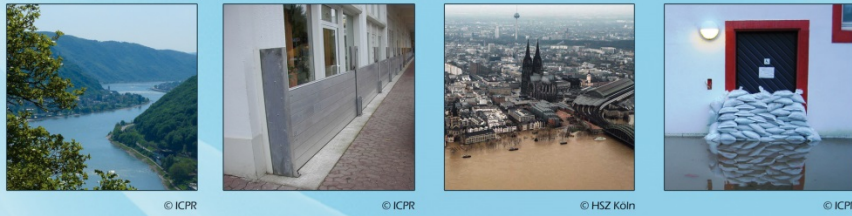
## Instrument for the assessment of the effects of measures on flood risk



### The context

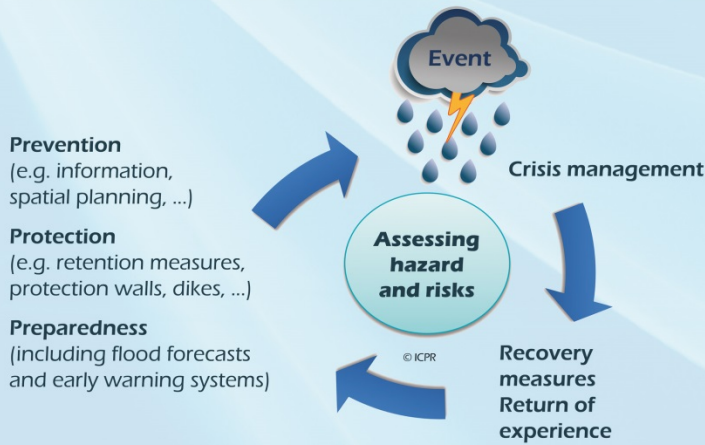
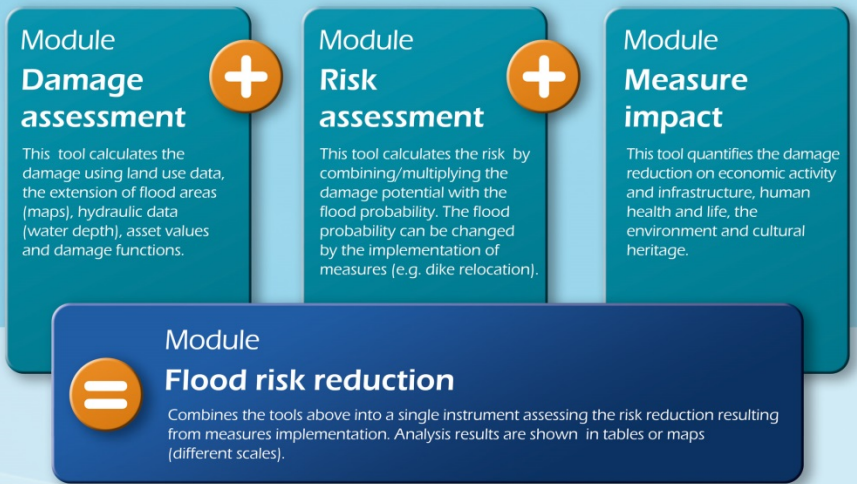
Reacting on the extreme floods in the Rhine in 1993 and 1995, the 12th Conference of Rhine Ministers on 22 January 1998 in Rotterdam adopted the "ICPR Action Plan on Floods" for the Rhine. One of the aims of this Action Plan is to reduce flood risk in 2020 by 25% compared to 1995. In 2007 the ICPR was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

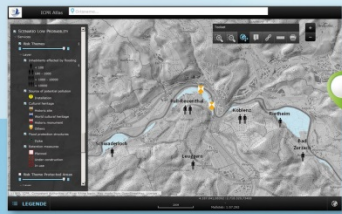


Fig.4: Flood risk map (Draft ICPR Atlas 2014)

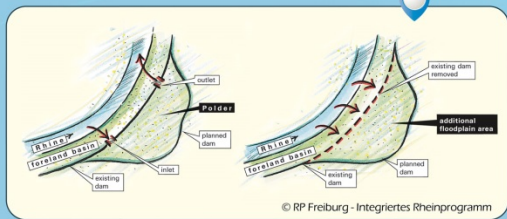


Fig.3: Example of (retention) measures: retention basin (polder; 1) and dike relocation (r.)

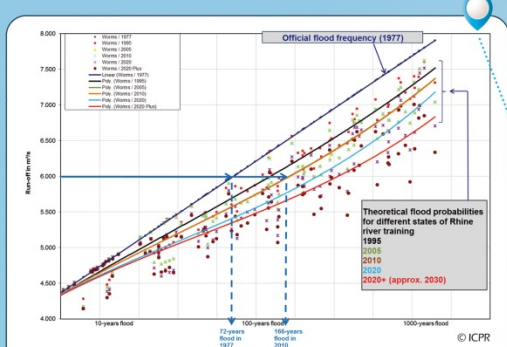


Fig.2: Example of changes in probability (ICPR methodology)

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.

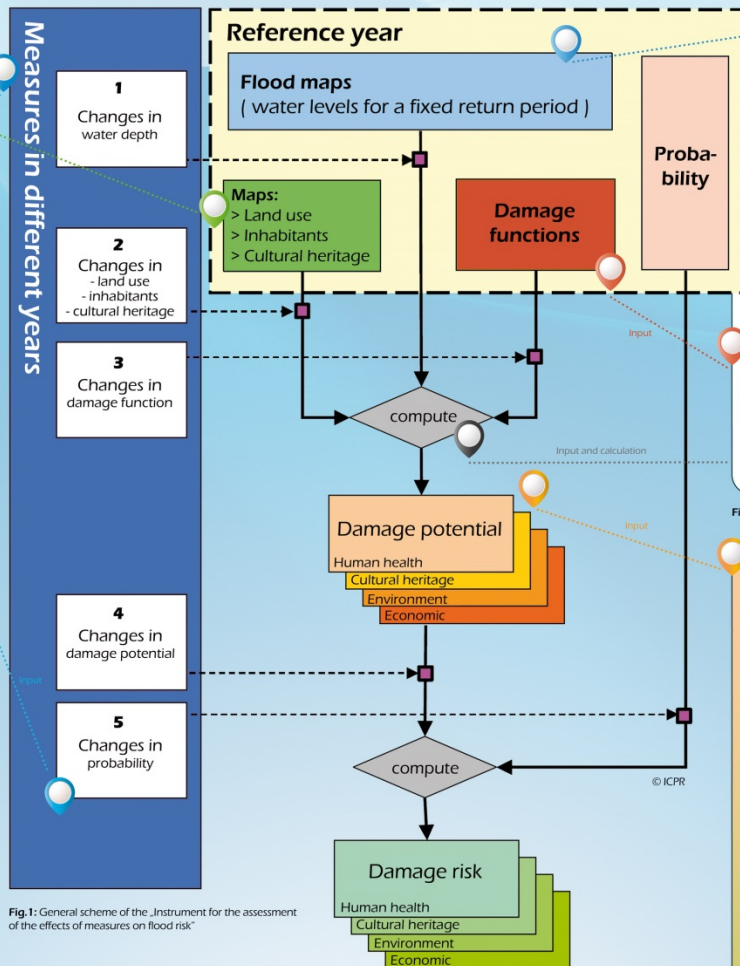


Fig.1: General scheme of the instrument for the assessment of the effects of measures on flood risk

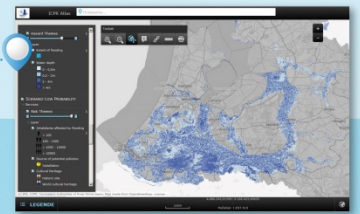


Fig.5: Flood hazard map (Draft ICPR Atlas 2014)

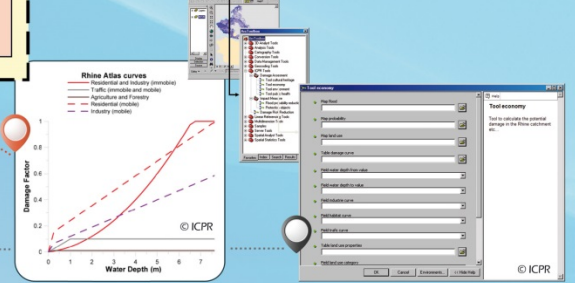


Fig.6: Damage functions (ICPR Atlas 2001)

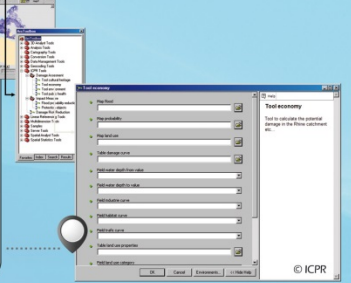


Fig.7: Excerpt from the tool running under ArcGIS (ArcToolbox) and the different input data before calculation.

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