



Nachweis der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Minderung der Hochwasserstände im Rhein

Umsetzung des Aktionsplans Hochwasser 1995 – 2010

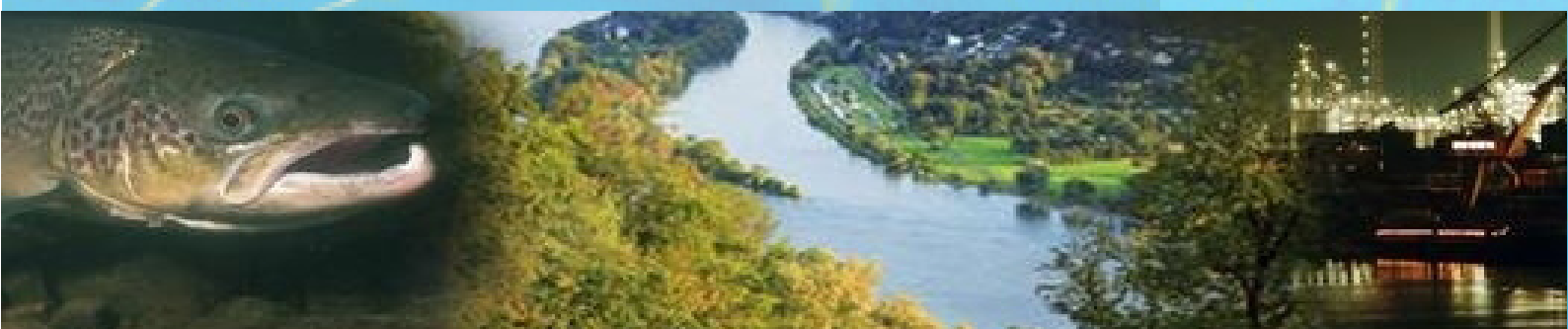
einschließlich Vorausschau für 2020 sowie 2020+

Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Bericht Nr. 199



IKSR-Expertengruppe HVAL

| | |
|------------------------------|--|
| Dr. G. Brahmer | Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie |
| Dr. M. Bremicker | Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg |
| M. Brinkmann | Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen |
| H. Buiteveld | Ministerie van Infrastructuur en Milieu - Rijkswaterstaat – Waterdienst, Niederlande |
| N. Busch | Bundesanstalt für Gewässerkunde |
| R. Creusot | Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement d'Alsace, Frankreich |
| R. Diezig | Bundesamt für Umwelt, Schweiz |
| F. Fever | Service de la Navigation de Strasbourg, Frankreich |
| R. Friese | Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg |
| M. Hammer | Bundesanstalt für Gewässerkunde |
| Dr. R. Lammersen | Ministerie van Infrastructuur en Milieu - Rijkswaterstaat – Waterdienst, Niederlande |
| B. Mehlig | Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen |
| Dr. A. Meuser (Vorsitzender) | Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz |
| B. Plonka | Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz |
| A. Schmid-Breton | Sekretariat der IKSR |
| Dr. A. Schulte-Wülwer-Leidig | Sekretariat der IKSR |
| R. Vogt | Stadtentwässerungsbetriebe Köln |
| Dr. A. Vogelbacher | Bayerisches Landesamt für Umweltschutz |
| J-P. Wagner | Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement de Lorraine, Frankreich |
| Dr. Marlene Willkomm | Stadtentwässerungsbetriebe Köln |

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 3-941994-18-2978-3-941994-18-8

© IKSR-CIPR-ICBR 2012

Inhaltsverzeichnis

Verwendete Abkürzungen und Symbole

Zusammenfassung

Glossar

1. Einleitung und Aufgabenstellung

2. Hochwassergenese im Rheingebiet

3. Vorgehensweise

4. Modelle, Ausbauzustände und Bezugspegel

4.1 Modelle

4.2 Betrachtete Ausbauzustände und Steuerungsreglements

4.2.1 Ausbauzustände

4.2.2 Hochwasserschutzmaßnahmen, -ziele und Steuerungsreglements

4.3 Bezugspegel und Auswertestrecken

5. Verwendete Hochwasserereignisse und Modellhochwasser

5.1 Ausgewählte historische Hochwasserereignisse und Eingangsdaten

5.2 Modellhochwasser

6. Untersuchung der Hochwasserminderung ohne Berücksichtigung von Deichüberströmungen

6.1 Auswertung Rheinabschnitt Maxau – Worms im Bezugszustand 1977

6.2 Auswertung Rheinabschnitt Oberrhein (Maxau) –Deltarhein (Lobith) im Bezugszustand 1995

7. Untersuchung der Hochwasserminderung mit Berücksichtigung von Deichüberströmungen

7.1 Methodik und Berechnungsgrundlagen

7.1.1 Lage der berücksichtigten Überflutungsflächen und Volumina am Ober- rhein

7.1.2 Modelltechnische Umsetzung am Oberrhein

7.1.3 Lage, Volumina und modelltechnische Umsetzung der Überflutungsflächen am Niederrhein

7.2 Berechnungsergebnisse der Hochwasserminderung mit Berücksichti- gung von Deichüberströmungen

Literatur

Anlagen

Verwendete Abkürzungen und Symbole

| | |
|-----------------|---|
| APH | Aktionsplan Hochwasser |
| BfG | Bundesanstalt für Gewässerkunde |
| BW | Baden-Württemberg |
| F | Frankreich |
| HLUG | Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie |
| HQ | Hochwasserabfluss [m^3/s] |
| HQ _T | Scheitelabfluss, der in einer längeren Reihe von aufeinander folgenden Jahren in der Zeitspanne von T Jahren einmal erreicht oder überschritten wird |
| HIRI | Expertengruppe der IKSR zur Erarbeitung einer Methodik zum „Nachweis der Reduzierung von Schadensrisiken“ |
| HKV | Niederländisches Ingenieurbüro für Wasserwirtschaft und Hydrologie |
| HSG | Hochwasserstudiengruppe für die Rheinstrecke Kaub-Rolandswerth |
| HSK | Hochwasser-Studienkommission für den Rhein |
| HVAL | Expertengruppe der IKSR: „Validierung der Berechnungen zu den Nachweisinstrumenten für die Wirksamkeit der Maßnahmen zur Reduzierung der Extremhochwasserstände“ |
| HW | Hochwasserereignis |
| IKSR | Internationale Kommission zum Schutz des Rheins |
| KHR | Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes |
| LANUV | Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen |
| LUA | Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen |
| LUBW | Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (vormals LfU: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) |
| LUWG | Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (vormals LfW: Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz) |
| NAXOS | Name des für die Maßnahmen im Einzugsgebiet der Lahn eingesetzten, konzeptionellen Niederschlag - Abfluss - Modells des Leichtweiß-Instituts der Universität Braunschweig |
| NL | Niederlande |
| NRW | Nordrhein-Westfalen |
| RP | Rheinland-Pfalz |
| RWS-RIZA | Rijkswaterstaat - Staatliches Amt für Integralverwaltung der Binnengewässer und für Abwasserreinigung |
| RWS-WD | Rijkswaterstaat – Waterdienst |
| SOBEK | Name des für die Strecke Worms bis Rheinmündung eingesetzten Wellenablaufmodells |
| SYNHP | Name des für die Strecke Basel bis Worms eingesetzten Wellenablaufmodells |
| Q | Abfluss [m^3/s] |
| T | Wiederholungszeitspanne (Jährlichkeit) |
| W | Wasserstand [cm, m + NN] |
| Z | Zustand |

Zusammenfassung

Der von der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) vorgelegte Aktionsplan Hochwasser (APH) für den Rhein wurde von der 12. Rhein-Ministerkonferenz in Rotterdam am 22. Januar 1998 beschlossen (IKSR, 1998). Der APH unterstützt somit die Zielsetzungen zur Verbesserung der Hochwassersituation im Rhein flussabwärts von Iffezheim. Die im Handlungsziel 2 des APH geforderte „Minderung der Hochwasserstände“ um bis zu 70 cm durch Reaktivierung von Überschwemmungsgebieten und technische Hochwasserrückhaltungen am Rhein (bis zu 60 cm) und in seinem Einzugsgebiet (etwa 10 cm) bzw. die Bilanz der Auswirkung der Maßnahmen 2010, ist Gegenstand dieses Berichts.

Der Nachweis 2005 wurde auf der Basis von nur wenigen Modellhochwassern durchgeführt. Im Nachweis 2010 wurden nun insgesamt 18 historische Hochwasserereignisse für die Vergrößerung auf extremere Niveaus in die Modellierung einbezogen und so 108 (künstlich geschaffene) synthetische Modelhochwasser erzeugt. Anders als beim Nachweis 2005 wurden über das gesamte Einzugsgebiet einheitliche Faktoren verwendet. Bei diesem Vorgehen bleibt die regionale Differenzierung der historischen Hochwassergenese erhalten.

Die Bewertung der Minderung **entlang des Rheins** erfolgt an einzelnen Punkten (Pegeln) und Gewässerabschnitten. Während an Ober- und Mittelrhein die gewählten Pegel die Gewässerabschnitte repräsentieren, erfolgt am Nieder- und Deltarhein die Bewertung der Wasserstandsänderungen ergänzend abschnittsweise.

Bei der APH-Zielsetzung ging man seinerzeit zusätzlich von einer geringen Wirkung von wasserstandssenkenden Maßnahmen **im Einzugsgebiet** in Höhe von etwa **10 cm** aus. Die diesbezüglich noch erforderlichen näheren Untersuchungen sind aus Zeitgründen zurückgestellt worden. Es wird daher auf die entsprechenden Aussagen aus dem IKSR-Bericht Nr. 153 zurückgegriffen (2006).

Als maßgebliche Pegel für die Evaluation der erreichten Scheitelabfluss- und Wasserstandsänderungen wurden die Pegel Maxau, Worms, Mainz, Kaub, Andernach, Köln und Lobith festgelegt. Die in den folgenden Tabellen zusammengestellten Wasserstandsänderungen beziehen sich für den Ober- und Mittelrhein (Tabellen 1 bis 5) auf die jeweiligen Pegel, für den Nieder- und Deltarhein (Tabellen 6 bis 10) sind jeweils abschnittsgemittelte Wasserstandsänderungen angegeben. Aus den Tabellen 1 bis 10 sind die Wasserstandsänderungen der untersuchten Ausbauzustände bezogen auf den Zustand 1995 ersichtlich, unterteilt für drei Bereiche unterschiedlicher Hochwassereintrittswahrscheinlichkeiten. Die Angaben zu den Hochwasserwahrscheinlichkeiten sind im Allgemeinen auf den Ausbauzustand 1977 (= Abschluss des Oberrheinausbaus mit Staustufen) bezogen.

Grundlage der Modellberechnungen ist somit ein Spektrum von 108 verschiedenen Modellhochwassern. Diese decken unterschiedliche Wellenformen und Hochwassergenese ab, mit denen die Bandbreite der Wirkungen von Hochwasserschutzmaßnahmen aufgezeigt wird.

Hierbei ist zu beachten, dass insbesondere für das Niveau des Extremhochwassers zwei Varianten für den Bezugszustand 1995 sowie für die Ausbauzustände 2010 und 2020 berechnet wurden: ein theoretischer Wert der sich ergeben würde, wenn es auch bei Extremhochwasser zu keinen Deichüberströmungen käme und ein (als realistischer anzusehender) Wert, der Deichüberströmungen bei Extremhochwasser berücksichtigt.

Die vorgelegten Ergebnisse berücksichtigen Planungsfortschritte bezüglich der technischen Hochwasserschutzmaßnahmen, Modellfortschreibungen, ein erweitertes Nachweis-konzept sowie eine Überprüfung und Erweiterung der Datengrundlagen. Numerische Unterschiede zu früheren Untersuchungen resultieren aus diesen Sachverhalten.

Gleichzeitig kann es Unterschiede zwischen den hier dargestellten Ergebnissen und den offiziellen Berechnungen im Rahmen der „Ständigen Kommission für den Oberrhein“ und „Raum für den Fluss“ in den Niederlanden geben, da mit unterschiedlichen Vorgaben für die Modellberechnungen gearbeitet wurde. Daher ist eine direkte Übertragung der hier dokumentierten Berechnungsergebnisse auf die Wirksamkeitsuntersuchungen anderer Gremien fachlich nicht zulässig.

Die folgenden Tabellen enthalten für die verschiedenen **Ausbauzustände 2005, 2010, 2020 und nach 2020 (=2020+)** die berechneten **minimalen, mittleren und maximalen Wasserstandsänderungen** an den einzelnen **Rheinpegeln bzw. Rheinabschnitten**, die durch die Rückhaltungen zu erwarten sind. Die höchste Aussagekraft haben die fett gedruckten **Mittelwerte**.

| Maxau | Minimale, mittlere und maximale Wasserstandsänderungen [cm] der untersuchten Ausbauzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | |
|----------|--|---------------|-----|---------------------------|---------------|-----|------------------------------|---------------|-----|-----------------------|---------------|-----|
| | Bereich HQ ₁₀ | | | Bereich HQ ₁₀₀ | | | Bereich HQ _{Extrem} | | | | | |
| | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | | | | | | | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max |
| Δ W 2005 | 0 | -3 | -13 | 3 | -6 | -12 | 3 | -3 | -10 | - | - | - |
| Δ W 2010 | 0 | -3 | -13 | 3 | -6 | -12 | 3 | -3 | -10 | 1 | -2 | -4 |
| Δ W 2020 | 2 | -3 | -14 | 0 | -10 | -18 | 3 | -6 | -16 | 2 | -3 | -7 |
| ΔW 2020+ | 0 | -5 | -17 | -10 | -18 | -26 | -4 | -14 | -27 | - | - | - |

Min.- und Max-Werte ausgewertet für den 10% und 90%-Perzentilbereich, sofern mehr als 10 Werte in der Klasse vorhanden.

Tab. 1: Wasserstandsänderungen (Abminderung: negativer Wert) für die untersuchten Ausbauzustände am Pegel Maxau, bezogen den Zustand 1995 (IKSR-Referenzzustand).

| Worms | Minimale, mittlere und maximale Wasserstandsänderungen [cm] der untersuchten Ausbauzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | |
|-----------|--|-----------|-----|---------------------------|------------|-----|------------------------------|------------|-----|-----------------------|------------|-----|
| | Bereich HQ ₁₀ | | | Bereich HQ ₁₀₀ | | | Bereich HQ _{Extrem} | | | | | |
| | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | | | | | | | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max |
| Δ W 2005 | 0 | -3 | -11 | -4 | -10 | -15 | 1 | -9 | -18 | - | - | - |
| Δ W 2010 | 0 | -3 | -11 | -5 | -10 | -16 | 0 | -9 | -18 | 0 | -5 | -12 |
| Δ W 2020 | 1 | -7 | -18 | -15 | -23 | -32 | -4 | -21 | -36 | -4 | -15 | -31 |
| Δ W 2020+ | -1 | -9 | -25 | -18 | -31 | -43 | -17 | -36 | -54 | - | - | - |

Min.- und Max-Werte ausgewertet für den 10% und 90%-Perzentilbereich, sofern mehr als 10 Werte in der Klasse vorhanden.

Tab. 2: Wasserstandsänderungen (Abminderung: negativer Wert) für die untersuchten Ausbauzustände am Pegel Worms, bezogen auf den Zustand 1995 (IKSR-Referenzzustand).

| Mainz | Minimale, mittlere und maximale Wasserstandsänderungen [cm] der untersuchten Ausbauzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | |
|-----------|--|------------|-----|---------------------------|------------|-----|------------------------------|------------|-----|-----------------------|-----------|-----|
| | Bereich HQ ₁₀ | | | Bereich HQ ₁₀₀ | | | Bereich HQ _{Extrem} | | | | | |
| | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | | | | | | | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max |
| Δ W 2005 | -5 | -10 | -20 | -6 | -11 | -15 | -4 | -6 | -8 | - | - | - |
| Δ W 2010 | -5 | -11 | -21 | -7 | -13 | -18 | -4 | -6 | -8 | -2 | -4 | -7 |
| Δ W 2020 | -5 | -16 | -30 | -10 | -22 | -32 | -7 | -11 | -15 | -2 | -7 | -10 |
| Δ W 2020+ | -6 | -19 | -36 | -13 | -36 | -54 | -13 | -24 | -33 | - | - | - |

Min.- und Max-Werte ausgewertet für den 10% und 90%-Perzentilbereich, sofern mehr als 10 Werte in der Klasse vorhanden.

Tab. 3: Wasserstandsänderungen (Abminderung: negativer Wert) für die untersuchten Ausbauzustände am Pegel Mainz, bezogen auf den Zustand 1995 (IKSR-Referenzzustand).

| Kaub | Minimale, mittlere und maximale Wasserstandsänderungen [cm] der untersuchten Ausbauzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | |
|-----------|---|------------|-----|---------------------------|------------|-----|------------------------------|------------|-----|-----------------------|------------|-----|
| | Bereich HQ ₁₀ | | | Bereich HQ ₁₀₀ | | | Bereich HQ _{Extrem} | | | | | |
| | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | | | | | | | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max |
| Δ W 2005 | -6 | -12 | -24 | -9 | -16 | -21 | -9 | -15 | -23 | - | - | - |
| Δ W 2010 | -6 | -14 | -24 | -11 | -19 | -25 | -10 | -17 | -24 | -4 | -13 | -22 |
| Δ W 2020 | -6 | -19 | -37 | -17 | -29 | -42 | -14 | -27 | -40 | -4 | -21 | -32 |
| Δ W 2020+ | -6 | -23 | -44 | -18 | -46 | -71 | -25 | -41 | -63 | - | - | - |

Min.- und Max-Werte ausgewertet für den 10% und 90%-Perzentilbereich, sofern mehr als 10 Werte in der Klasse vorhanden.

Tab. 4: Wasserstandsänderungen (Abminderung: negativer Wert) für die untersuchten Ausbauzustände am Pegel Kaub, bezogen auf den Zustand 1995 (IKSR-Referenzzustand).

| Andernach | Minimale, mittlere und maximale Wasserstandsänderungen [cm] der untersuchten Ausbauzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | |
|-----------|---|------------|-----|---------------------------|------------|-----|------------------------------|------------|-----|-----------------------|------------|-----|
| | Bereich HQ ₁₀ | | | Bereich HQ ₁₀₀ | | | Bereich HQ _{Extrem} | | | | | |
| | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | | | | | | | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max |
| Δ W 2005 | 0 | -6 | -15 | 0 | -6 | -13 | 3 | -1 | -7 | - | - | - |
| Δ W 2010 | 0 | -8 | -18 | -1 | -8 | -16 | 0 | -3 | -7 | -8 | -10 | -13 |
| Δ W 2020 | -1 | -13 | -29 | 0 | -16 | -29 | -3 | -7 | -12 | -11 | -14 | -17 |
| Δ W 2020+ | -2 | -16 | -36 | -1 | -29 | -56 | -4 | -12 | -23 | - | - | - |

Min.- und Max-Werte ausgewertet für den 10% und 90%-Perzentilbereich, sofern mehr als 10 Werte in der Klasse vorhanden.

Tab. 5: Wasserstandsänderungen (Abminderung: negativer Wert) für die untersuchten Ausbauzustände am Pegel Andernach, bezogen auf den Zustand 1995 (IKSR-Referenzzustand).

| Gewässer abschnitt Sieg- bis zur Ruhr- mündung | Minimale, mittlere und maximale Wasserstandsänderungen [cm] der untersuchten Ausbauzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | |
|---|---|------------|-----|---------------------------|-----------|-----|------------------------------|------------|-----|-----------------------|-----------|-----|
| | Bereich HQ ₁₀ | | | Bereich HQ ₁₀₀ | | | Bereich HQ _{Extrem} | | | | | |
| | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | | | | | | | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max |
| Δ W 2005 | 5 | 1 | -5 | 8 | 2 | -10 | 5 | 0 | -3 | - | - | - |
| Δ W 2010 | 5 | -1 | -7 | 8 | 0 | -10 | 5 | -1 | -8 | 4 | 1 | -1 |
| Δ W 2020 | 5 | -7 | -18 | 7 | -4 | -21 | 4 | -7 | -19 | -1 | -4 | -6 |
| Δ W 2020+ | 5 | -12 | -30 | 6 | -7 | -28 | 3 | -12 | -34 | - | - | - |

Min.- und Max-Werte ausgewertet für den 10% und 90%-Perzentilbereich, sofern mehr als 10 Werte in der Klasse vorhanden.

Tab. 6: Abschnittsgemittelte Wasserstandsänderungen (Abminderung: negativer Wert) für die untersuchten Ausbauzustände für den Gewässerabschnitt Sieg- bis zur Ruhrmündung, bezogen auf den Zustand 1995 (IKSR-Referenzzustand).

| Gewässer abschnitt Ruhr- mündung bis zum Pannerden- sche Kop | Minimale, mittlere und maximale Wasserstandsänderungen [cm] der untersuchten Ausbauzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | |
|--|---|------------|-----|---------------------------|------------|-----|------------------------------|------------|-----|-----------------------|------------|-----|
| | Bereich HQ ₁₀ | | | Bereich HQ ₁₀₀ | | | Bereich HQ _{Extrem} | | | | | |
| | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | | | | | | | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max |
| Δ W 2005 | 2 | -2 | -7 | 4 | 1 | -2 | 3 | 2 | -1 | - | - | - |
| Δ W 2010 | 2 | -2 | -8 | 6 | 1 | -4 | 4 | 3 | 0 | 6 | 3 | -1 |
| Δ W 2020 | -3 | -11 | -22 | -4 | -14 | -25 | -21 | -27 | -31 | -9 | -17 | -23 |
| Δ W 2020+ | -4 | -13 | -27 | -4 | -19 | -32 | -22 | -33 | -40 | - | - | - |

Min.- und Max-Werte ausgewertet für den 10% und 90%-Perzentilbereich, sofern mehr als 10 Werte in der Klasse vorhanden.

Tab. 7: Abschnittsgemittelte Wasserstandsänderungen (Abminderung: negativer Wert) für die untersuchten Ausbauzustände für den Gewässerabschnitt Ruhrmündung bis Pannerdensche Kop, bezogen auf den Zustand 1995 (IKSR-Referenzzustand).

| Gewässer Nederrijn/ Lek | Minimale, mittlere und maximale Wasserstandsänderungen [cm] der untersuchten Ausbauzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|------------|-----|---------------------------|------------|-----|------------------------------|------------|-----|-----------------------|-----------|-----|
| | Bereich HQ ₁₀ | | | Bereich HQ ₁₀₀ | | | Bereich HQ _{Extrem} | | | | | |
| | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | | | | | | | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max |
| Δ W 2005 | 0 | -1 | -4 | 0 | -1 | -3 | 0 | -1 | -3 | - | - | - |
| Δ W 2010 | 0 | -2 | -5 | -1 | -3 | -5 | -1 | -2 | -3 | 0 | -2 | -5 |
| Δ W 2020 | -5 | -11 | -17 | -4 | -10 | -17 | -8 | -15 | -26 | -6 | -9 | -16 |
| Δ W 2020+ | -5 | -12 | -20 | -4 | -11 | -20 | -9 | -20 | -32 | - | - | - |

Min.- und Max-Werte ausgewertet für den 10% und 90%-Perzentilbereich, sofern mehr als 10 Werte in der Klasse vorhanden.

Tab. 8: Abschnittsgemittelte Wasserstandsänderungen (Abminderung: negativer Wert) für die untersuchten Ausbauzustände für das Gewässer Nederrijn/Lek, bezogen auf den Zustand 1995 (IKSR-Referenzzustand).

| Gewässer Waal | Minimale, mittlere und maximale Wasserstandsänderungen [cm] der untersuchten Ausbauzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | |
|------------------|---|------------|-----|---------------------------|------------|-----|------------------------------|------------|-----|-----------------------|------------|-----|
| | Bereich HQ ₁₀ | | | Bereich HQ ₁₀₀ | | | Bereich HQ _{Extrem} | | | | | |
| | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | | | | | | | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max |
| Δ W 2005 | 0 | -2 | -5 | 0 | -3 | -5 | -1 | -2 | -4 | - | - | - |
| Δ W 2010 | -1 | -3 | -6 | -2 | -5 | -8 | -3 | -5 | -6 | 0 | -2 | -7 |
| Δ W 2020 | -9 | -17 | -31 | -11 | -19 | -24 | -21 | -25 | -29 | -12 | -19 | -26 |
| Δ W 2020+ | -9 | -18 | -32 | -11 | -23 | -33 | -26 | -32 | -41 | - | - | - |

Min.- und Max-Werte ausgewertet für den 10% und 90%-Perzentilbereich, sofern mehr als 10 Werte in der Klasse vorhanden.

Tab. 9: Abschnittsgemittelte Wasserstandsänderungen (Abminderung: negativer Wert) für die untersuchten Ausbauzustände für das Gewässer Waal, bezogen auf den Zustand 1995 (IKSR-Referenzzustand).

| Gewässer IJssel | Minimale, mittlere und maximale Wasserstandsänderungen [cm] der untersuchten Ausbauzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---|--------|-----|---------------------------|--------|-----|------------------------------|--------|-----|-----------------------|--------|-----|
| | Bereich HQ ₁₀ | | | Bereich HQ ₁₀₀ | | | Bereich HQ _{Extrem} | | | | | |
| | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | | | | | | | Min | Mittel | Max | Min | Mittel | Max |
| Δ W 2005 | 0 | -1 | -3 | 0 | -2 | -4 | -1 | -2 | -4 | - | - | - |
| Δ W 2010 | 0 | -2 | -4 | -1 | -3 | -6 | -3 | -5 | -7 | -1 | -3 | -7 |
| Δ W 2020 | -32 | -38 | -42 | -39 | -45 | -56 | -44 | -52 | -60 | -41 | -46 | -53 |
| Δ W 2020+ | -32 | -39 | -45 | -39 | -46 | -59 | -46 | -58 | -73 | - | - | - |

Min.- und Max-Werte ausgewertet für den 10% und 90%-Perzentilbereich, sofern mehr als 10 Werte in der Klasse vorhanden.

Tab. 10: Abschnittsgemittelte Wasserstandsänderungen (Abminderung: negativer Wert) für die untersuchten Ausbauzustände für das Gewässer IJssel, bezogen auf den Zustand 1995 (IKSR-Referenzzustand).

Die Spanne der erzielten Wasserstandsänderungen ist aus den Tabellen 1 – 10 zu entnehmen. Maßgebend für die Gesamtbewertung sind jedoch die Mittelwerte der Ergebnisse. Die Minimal- und Maximalwerte stellen lediglich ereignis- und abschnittsbezogene Einzelfälle dar. Um Zufälligkeiten in der Ergebnisdarstellung zu minimieren sind in den Tabellen jeweils die 10% und 90%-Perzentilbereiche (sofern mehr als 10 Werte in der Klasse vorhanden sind) aufgeführt.

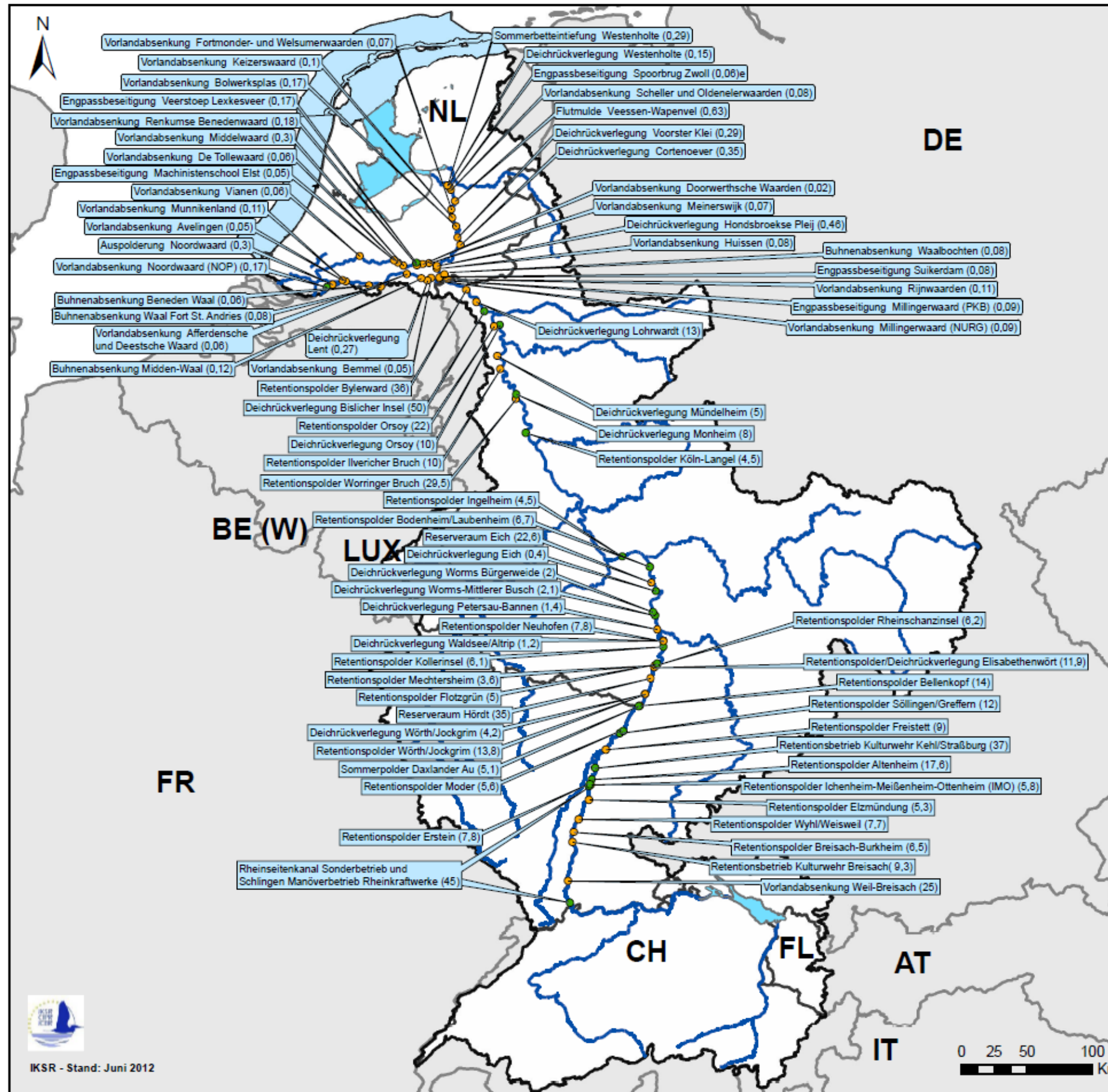
Es ist ferner zu berücksichtigen, dass im Bereich des HQ_{Extrem} durch eventuell auftretende Deichüberströmungen die Wirkung der Rückhaltemaßnahmen i.d.R. schwächer ist. Die Studie zielt nicht auf die Auswirkungen der Überströmung der Deiche ab, sondern soll eher die Auswirkungen von Deichüberströmungen auf die Wirksamkeit der Rückhaltemaßnahmen abschätzen.

Grundlage für die Untersuchungen von Maßnahmenwirkungen am Rhein von Basel bis zur Nordsee sind die Berechnungsergebnisse für folgende Ausbauzustände (vgl. zugehörige Maßnahmen in der Karte auf Seite 11 und den Tab. 11 sowie Tab. 12):

- **Ausbauzustand 1977** (= Fertigstellungstermin der zuletzt gebauten Staustufe am Oberrhein, der Staustufe Iffezheim, bei Rhein-km 334) sowie noch vor Bau bzw. deren Inbetriebnahme von Retentionsmaßnahmen am Oberrhein. Der Zustand 1977 ermöglicht Aussagen über die Hochwassersituation im Oberrhein ohne die Wirkung von Retentionsmaßnahmen¹.
- **Ausbauzustand 1995** (Referenzzustand des IKSR-Aktionsplans Hochwasser). Im Zustand 1995 waren am Rheinhauptstrom 160 Mio. m³ Retentionsvolumen einsetzbar.
- **Ausbauzustand 2005** (Evaluationsdatum des IKSR-Aktionsplans Hochwasser im Vergleich zu 1995). Im Zustand 2005 waren am Rheinhauptstrom insgesamt etwa 211 Mio. m³ Retentionsvolumen einsetzbar.

¹ Bereits vor Genehmigung des APH im Jahre 1998 gab es Vereinbarungen zum Bau von mehreren Hochwasserrückhalteräumen auf der Basis des deutsch-französischen Übereinkommens von 1969 mit dem der Hochwasserschutz - wie er vor dem bis 1977 realisierten Ausbau des Oberrheins bestanden hatte - wieder hergestellt werden soll. Bei der jetzigen Beurteilung der Wirkung der durchgeführten Retentionsmaßnahmen bis 2010 könnte die Wirksamkeit der zwischen 1977 und 1995 realisierten Maßnahmen mit rund 105 Mio. m³ steuerbarem Rückhaltevolumen am Oberrhein zusätzlich in die Betrachtung einbezogen werden, wenn nicht im Aktionsplan Hochwasser das Bezugsjahr 1995 festgesetzt worden wäre.

- **Ausbauzustand 2010** (IKSR-Evaluationsdatum im Vergleich zu 1995). Im Zustand 2010 waren am Rheinhauptstrom insgesamt 229 Mio. m³ Retentionsvolumen einsetzbar.
- **Ausbauzustand 2020** (IKSR- Prognosezustand im Vergleich zu 1995). Im Zustand 2020 werden nach jetzigem Verfahrensstand am Rheinhauptstrom 361 Mio. m³ Retentionsvolumen einsetzbar sein. Weitere Wasserstands senkende Maßnahmen an den Rheinzweigen stromabwärts von Lobith kommen hinzu.
- **Ausbauzustand 2020+** (IKSR- Prognosezustand im Vergleich zu 1995) Der Zustand 2020+ beinhaltet alle geplanten Retentionsmaßnahmen am Oberrhein (auch solche, die voraussichtlich erst nach dem Jahr 2020 in Betrieb genommen werden können), einschließlich der Reserveräume des Landes Rheinland-Pfalz und der Gebiete/Räume, die im Hochwasserschutzkonzept von NRW stehen. Im Zustand 2020+ sind voraussichtlich 535 Mio. m³ Retentionsvolumen einsetzbar. Weitere Wasserstands senkende Maßnahmen an den Rheinzweigen stromabwärts von Lobith kommen hinzu.



Hochwasserretentionsmaßnahmen am Rheinhauptstrom

Stand der Maßnahmenumsetzung

● Fertiggestellt

● Im Bau/Geplant

Gewässer

— Fließgewässer

□ Küsten- und Übergangsgewässer

Anmerkungen zu den Zahlenangaben

Für die Retentionsmaßnahmen zwischen Basel und Lobith: Volumina in Mio. m³

Für Wasserstandsabsenkende Maßnahmen am Deltarein ab Lobith: Wasserstandreduzierung in m



IKSR - Stand: Juni 2012

| Rheinkm | Bereich | Staat/ Land | Maßnahmeort | Maßnahmenart | Einsatzbereites Volumen | | | | | | |
|---|-----------|----------------|---------------------------------------|--|-------------------------|---------------------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|------|
| | | | | | [Mio. m ³] | | | | | | |
| | | | | | 1977 | 1995 | 2005 | 2010 | 2020 | 2020+ | |
| 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 ²⁾ | 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 ¹⁾ | 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 | |
| 354,9 | | D-BW | Bellenkopf | Retentionspolder | | | | | | 14 | |
| 357,5 | | D-RP | Daxlander Au | Sommerpolder | | 5,1 ³⁾ | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 5,1 | |
| 368 | | D-RP | Wörth/Jockgrim | Deichrückverlegung | | | | | | 4,2 | |
| 377 | | D-RP | Hördt | Reserveraum | | | | | | 13,8 | |
| 381,3 | | D-BW | Elisabethenwört | Retentionspolder / Deichrückverlegung | | | | | | 11,9 | |
| 390 | | D-RP | Mechttersheim | Retentionspolder | | | | | 3,6 | 3,6 | |
| 390,4 | | D-BW | Rheinschanzinsel | Retentionspolder | | | | | 6,2 | 6,2 | |
| 392,6 | | D-RP | Flotzgrün | Retentionspolder | | | 5 | 5 | 5 | 5 | |
| 409,9 | | D-RP | Kollerinsel | Retentionspolder | | | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | |
| 411,5 | | D-RP | Waldsee/Altrip | Deichrückverlegung | | | | | | 1,2 | |
| 436 | | D-RP | Neuhofen | Retentionspolder | | | | | | 7,8 | |
| 439 | | D-RP | Petersau-Bannen | Deichrückverlegung | | | | | | 1,4 | |
| 440,2 | | D-RP | Worms-Mittlerer Busch | Deichrückverlegung | | | | 2,1 | 2,1 | 2,1 | |
| 440,2 | | D-RP | Worms Bürgerweide | Deichrückverlegung | | | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 467,3 | | D-RP | Eich | Deichrückverlegung | | | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | |
| 468,5 | | D-RP | Eich | Reserveraum | | | | | | 22,6 | |
| 489,9 | | D-RP | Bodenheim/Laubenheim | Retentionspolder | | | | 6,7 | 6,7 | 6,7 | |
| 517,3 | | D-RP | Ingelheim | Retentionspolder | | | | 4,5 | 4,5 | 4,5 | |
| 668,5 | | Niederrhein | D-NRW | Köln-Langel | Retentionspolder | | | | 4,5 | 4,5 | 4,5 |
| 705,5 | | | D-NRW | Worringer Bruch | Retentionspolder | | | | | 29,5 | 29,5 |
| 707,5 | D-NRW | | Monheim | Deichrückverlegung | | | 8 | 8 | 8 | 8 | |
| 750 | D-NRW | | Ilvericher Bruch | Retentionspolder | | | | | | 10 | |
| 760,5 | D-NRW | | Mündelheim | Deichrückverlegung | | | | | 5 | 5 | |
| 802 | D-NRW | | Orsoy | Deichrückverlegung | | | 10 | 10 | 10 | 10 | |
| 797,5 | D-NRW | | Orsoy | Retentionspolder | | | | | 22 | 22 | |
| 818,5 | D-NRW | | Bislicher Insel | Deichrückverlegung | | 50 ³⁾ | 50 | 50 | 50 | 50 | |
| 832,5 | D-NRW | | Lohrwardt | Deichrückverlegung | | | | | | 13 | |
| 850 | D-NRW | | Bylerward | Retentionspolder | | | | | | 36 | |
| Summe der Retentionsvolumen der Wasserstand senkenden Maßnahmen am Rhein per Ausbauzustand | | | | | 55,1 | 160,3¹⁾ | 211,6 | 229,4 | 361 | 535,2 | |

¹⁾ Kulturwehr Kehl: bis 2002 regulär 13 Mio. m³ einsetzbar, weitere 24 Mio. m³ nur in außergewöhnlichen Fällen einsetzbar.

²⁾ 2,8 Mio. m³ = Abschnitt 1 von insgesamt 4 Abschnitten. Zusätzlich werden in 2020 bereits Teile der Abschnitte III und IV fertiggestellt sein.

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

Tab. 11: Retentionsmaßnahmen zwischen Basel und Lobith mit den jeweiligen Volumina (Angaben in Mio. m³)

| Fluss-km | Bereich | Land | Maßnahmeort | Maßnahmenart | Mindestanforderung an die Wasserstandsabsenkung ⁴⁾ (je Maßnahme) (m) | | | | |
|----------|-------------------------------------|-------------|----------------------------------|--------------------|--|------|------|----------------|----------------|
| | | | | | 1995 | 2005 | 2010 | 2020 | 2020+ |
| 865 | Bovenrijn/Waal/Merwedde | 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 | Afferdensche 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 | | | | | |
| 898 | | NL | Veerstoep Lexkesveer | Engpassbeseitigung | | | 0,17 | 0,18 | 0,18 |
| 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 | |

⁴⁾ 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.
In 2005 wurden schon Maßnahmen in einem Umfang von rund 17 km² realisiert (siehe APH Bilanz 1995-2005). Aufgrund der Realisierung weiterer Maßnahmen wurde 2010 diese Fläche auf 38 km² erweitert.
PKB = Planologische Kernbeslissing (Planfeststellungsverfahren)
NURG = Nadere Uitwerking Rivierengebied (Detailliertere Entwicklung des Flussraums)
NOP = Natuurontwikkelingsproject (Naturentwicklungsprojekt)

Tab. 12: Wasserstandsabsenkende Maßnahmen am Deltarhein ab Lobith mit Mindestanforderung an die zu erzielende Wasserstandreduzierung (in m); angegeben sind nur die wichtigsten Maßnahmen. Die Tabelle enthält nur Maßnahmen, die laut Planfeststellungsverfahren „Raum für den Fluss“ (2006) beschlossen wurden.

Erläuterungen zu den in den Tabellen genannten Maßnahmentypen finden sich im Glossar.

Ergebnisse im Überblick

Für den **Zustand 2010** werden **im Mittel** für den Bereich eines **HQ₁₀₀** folgende Abminderungen durch die Maßnahmen erreicht:

- Oberrhein 6 bis 13 cm (maximaler Einzelwert 25 cm)
- Mittelrhein 8 bis 19 cm (maximaler Einzelwert 33 cm)
- Niederrhein keine Abminderung (maximaler Einzelwert 11 cm)
- Deltarhein 3 bis 5 cm (maximaler Einzelwert 8 cm)

Für den **Zustand 2010** werden **im Mittel** für den Bereich eines **HQ_{Extrem}** (unter Berücksichtigung von Deichüberströmung) folgende Abminderungen durch die Maßnahmen erreicht:

- Oberrhein 2 bis 5 cm (maximaler Einzelwert 14 cm)
- Mittelrhein 10 bis 13 cm (maximaler Einzelwert 22 cm)
- Niederrhein keine Abminderung (maximaler Einzelwert 6 cm)
- Deltarhein 2 bis 3 cm (maximaler Einzelwert 7 cm)

Für den **Zustand 2020** werden **im Mittel** für den Bereich eines **HQ₁₀₀** folgende Abminderungen durch die Maßnahmen erreicht:

- Oberrhein 10 bis 23 cm (maximaler Einzelwert 44 cm)
- Mittelrhein 16 bis 29 cm (maximaler Einzelwert 50 cm)
- Niederrhein 4 bis 14 (maximaler Einzelwert 25 cm)
- Deltarhein 10 bis 45 cm (maximaler Einzelwert 57 cm)

Für den **Zustand 2020** werden **im Mittel** für den Bereich eines **HQ_{Extrem}** (unter Berücksichtigung von Deichüberströmungen) folgende Abminderungen durch die Maßnahmen erreicht:

- Oberrhein 3 bis 15 cm (maximaler Einzelwert 31 cm)
- Mittelrhein 14 bis 21 cm (maximaler Einzelwert 32 cm)
- Niederrhein 4 bis 17 cm (maximaler Einzelwert 29 cm)
- Deltarhein 9 bis 46 cm (maximaler Einzelwert 56 cm)

Als Ergebnis zum IKSR-Handlungsziel 2 (Minderung der Hochwasserstände um bis zu 70 cm – etwa um bis zu 60 cm durch Wasserrückhaltung am Rhein und etwa 10 cm durch Wasserrückhalt im Rheineinzugsgebiet) ist festzuhalten:

- Das seinerzeit für die Wasserstandsminderung durch Maßnahmen am Hauptstrom gesteckte Ziel von bis zu 60 cm erweist sich im Licht der neuen Erkenntnis bezogen auf den Maximalwert als hoch gesteckt.
- Selbst unter Berücksichtigung aller heute angedachten Maßnahmen (entsprechend dem modellierten Zustand 2020plus) kann das maximale Ziel von 60 cm nur punktuell und nur für wenige Hochwasser erreicht werden.
- Aus den vorliegenden Untersuchungen ergibt sich, dass ein sicheres Erreichen von 60 cm Wasserstandsminderung nur mit weiteren Rückhalteräumen bzw. den Abfluss verbessernde Maßnahmen – soweit diese Unterlieger nicht gefährden – möglich wäre.

Mit der vorliegenden Studie ist erstmalig ganzheitlich der Rheinhauptstrom mit seinen Rückhaltungen für eine große Zahl von Hochwasserereignissen modelliert worden. Die Ergebnisse erlauben ebenfalls erstmals eine fundierte Beurteilung inwieweit die seinerzeit im Aktionsplan Hochwasser formulierten Ziele erreicht werden können.

Ergänzender Hinweis

Unter Berücksichtigung der Wirkung aller im Zeitraum 1977 - 2010 realisierten Hochwasserrückhaltemaßnahmen ergeben sich deutlich größere Wasserstandsminderungen, die am Oberrhein weitere 20 – 40 cm ergeben. Die Wasserstandsminderungen am Mittelrhein werden vollständig durch die Hochwasserrückhaltemaßnahmen am Oberrhein be-

wirkt. Am Niederrhein sind hinsichtlich der Minderungen der Hochwasserscheitel keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Ausbauzuständen 1977 und 1995 gegeben. Die Wasserstand senkenden Maßnahmen in den Niederlanden haben unterschiedliche Wirkungen auf die drei niederländischen Rheinarme. Die größten Wasserstandssenkungen ergeben sich für die IJssel; in Waal und Lek fallen sie geringer aus. Hydraulisch wirksame Maßnahmen (z.B. Raum für den Fluss) sind insbesondere am Deltarhein möglich, da eine Gefährdung weiterer Unterlieger dort nicht gegeben ist.

GLOSSAR

Hochwasserschutzmaßnahmen

Maßnahme zur Reduzierung (oder Beseitigung) des Hochwasserrisikos durch Verminderung der Wahrscheinlichkeit von Hochwasserereignissen und/oder der Auswirkungen von Hochwasserereignissen an einem bestimmten Standort. Man unterscheidet zwischen aktiven und passiven, baulichen (z. B. Deichen) und nicht-baulichen (z.B. Hochwasservorsorge), stationären und mobilen Schutzmaßnahmen.

Polder

Dieser Begriff bezeichnet allgemein Flächen, die regulär trocken sind, aber temporär von Wasser benetzt werden können. Diese Benetzung bzw. Flutung kann gezielt oder unbeabsichtigt sowie durch Hochwasser, eingeleitete Maßnahmen oder Versagen von Anlagen geschehen.

Polderflächen können somit z. B. Bereiche hinter Hochwasserschutzanlagen, Retentionsräume zur Rückhaltung von Hochwasser oder entwässerte, aber bei Pumpenversagen gefährdete Gebiete sein.

Je nach Region, baulicher Einrichtung oder Wirkungsweise finden sich verschiedene Begriffe mit dem Wortbestandteil "-polder-", die u. A. im Folgenden erläutert werden.

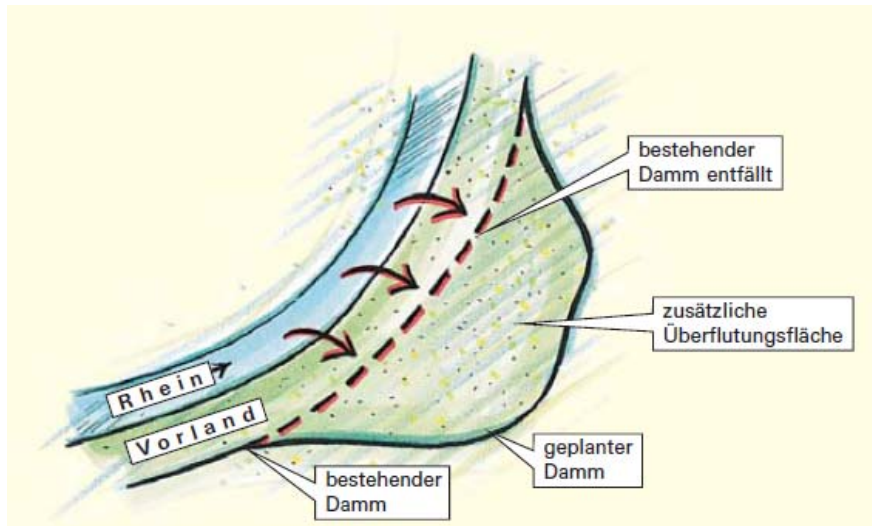
Im Bereich des technischen Hochwasserschutzes ist ein Polder ein durch Hochwasserschutzmaßnahmen vom natürlichen Überflutungsgeschehen abgetrenntes Gebiet. In seiner klassischen und so besonders in den Niederlanden benutzten Bedeutung wird hierdurch eine von Überflutungen weitestgehend unabhängige Nutzung dieses Gebietes für Siedlung, Landwirtschaft u. Ä. gewährleistet.

In besonderer Ausführung wird der Begriff Polder häufig auch für Gebiete benutzt, die zwar prinzipiell durch Maßnahmen von Überflutungen freigehalten werden, in besonderen Fällen aber (gezielt) geflutet werden (können). Dabei wird der Begriff Polder in Zusammenhang mit anderen Worten wie „Sommerpolder“ (s. u.) oder „Retentionspolder“ (s. u.), „Taschenpolder“ oder „Flutpolder“ benutzt.

Zur Bewertung des Handlungsziels 2 des Aktionsplans Hochwasser führt die EG HVAL eine modelltechnische Untersuchung folgender Arten Wasserstand senkender Maßnahmen und Retentionseffekte am Rhein durch:

1. Ungesteuerte Maßnahmen zur Wasserstandsabsenkung

1a) Deichrückverlegung



Verlegung eines Deiches landeinwärts, wodurch das Vorland wieder zurück gewonnen wird und dem Fluss mehr Raum zur Verfügung steht.

1b) Entpolderung



Der Deich an der Flussseite eines Polders wird weiter landeinwärts verlegt, teilweise durchlässig gemacht oder völlig entfernt. Das Gebiet ist dann entpoldernd und der Fluss kann bei Hochwasser wieder in das Gebiet einströmen.

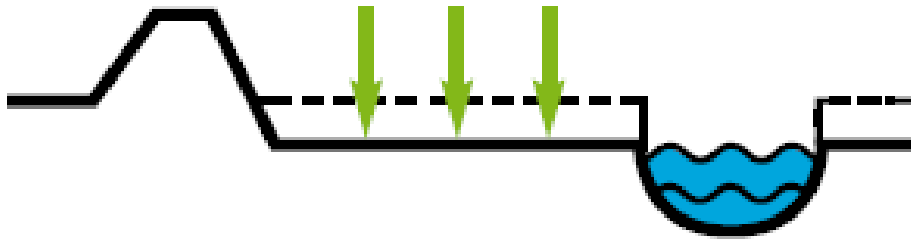
1c) Sommerpolder

Ausgedeichte Flächen, die vom Rheinhauptbett durch einen niedrigen Damm („Sommerdeich“) abgetrennt sind, werden bei kleineren Hochwassern durch eine (ungesteuerte) Überströmung des Sommerdeichs geflutet. Sommerpolder verfügen i. d. R. über keine Ein- oder Auslassbauwerke.

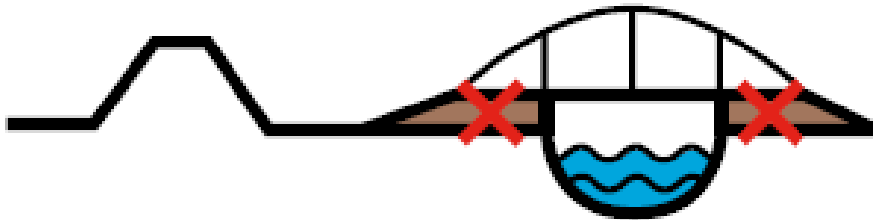
Überströmung des Sommerdeiches „Daxlander Au“ (August 2007):



Rheinwärtiger Sommerdamm bei Überflutung in einem Polderbereich mit ansteigender Wasserfüllung.

1d) Vorlandabsenkung

Durch das Abgraben von Vorland oder (Teilen) des Vorlandes wird dem Fluss mehr Raum zur Verfügung gestellt.

1e) Engpassbeseitigung

Entfernung eines hydraulischen Hindernisses zur Beseitigung eines lokalen Wasseraufstaus. Hierdurch kann das Wasser besser abgeleitet werden, was zu einer Absenkung des Wasserstandes bei Hochwasser führt.

1f) Bühnenabsenkung

Absenkung von Bühnen in Schifffahrtsstraßen. Hieraus resultiert eine bessere Ableitung des Wassers und damit eine Absenkung des Wasserstandes bei Hochwasser.

1g) Flutmulde

Eine Flutmulde ist ein durch Deiche vom Umland abgetrenntes Flussbett, das vom Fluss abzweigt und dadurch einen Teil des Wassers über eine andere Route ableitet.

1h) Sommerbettvertiefung

Das Hauptbett des Flusses wird durch Abgrabung vertieft. Hierdurch wird das Abflussvermögen bei gleichbleibendem Wasserstand erhöht.

2. Gesteuerte Retentionsmaßnahmen**2a) Sonderbetrieb/Manöverbetrieb der Wasserkraftwerke am südlichen Oberrhein**

Durch eine gezielte Drosselung der Turbinendurchflüsse in der staugerelten Strecke wird bei Hochwasser Wasser in den (nicht schiffbaren) parallel zur Kanalstrecke verlaufenden Rheinhauptstrom oder in Schlingen abgeleitet, wodurch diese Strecke als Retentionsraum wirken kann.



Im Rheinseitenkanal und in den Schlingen: Abflussdrosselung in der kanalisiertem Strecke führt zu Ausuferung und Retention im natürlichen Flussbett.

2b) Retentionsbetrieb der Kulturwehre im südlichen Oberrhein

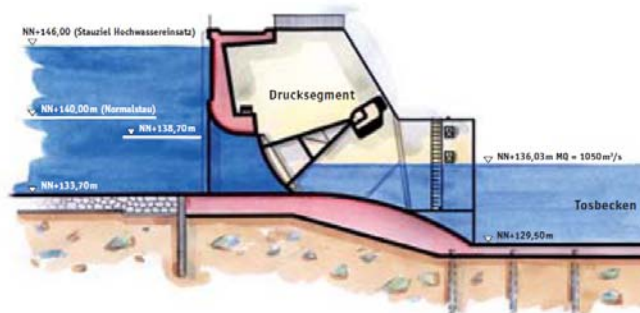
Über die Kulturwehre wird der Grundwasserstand für die Landwirtschaft gesteuert.

Die im Rheinhauptstrom liegenden Kulturwehre werden im Retentionsbetrieb gezielt eingestaut. Mit Kulturwehren im Rhein kann der Wasserstand im Rheinbett und in den Überschwemmungsgebieten oberhalb des Wehres nach einem festgelegten Reglement gesteuert werden. Der Stau im Kulturwehr wird zuerst vorentleert, um dann das Hochwasser aufzustauen. Durch die erhöhten Wasserstände oberhalb des Wehres kann es in die angrenzenden Überschwemmungsgebiete fließen.

Nach Absenken der Wehrverschlüsse wird der Rückhalteraum wieder entleert. Wehre sind wie Polder gezielt und mit hoher Wirksamkeit zur Hochwasserrückhaltung einsetzbar.

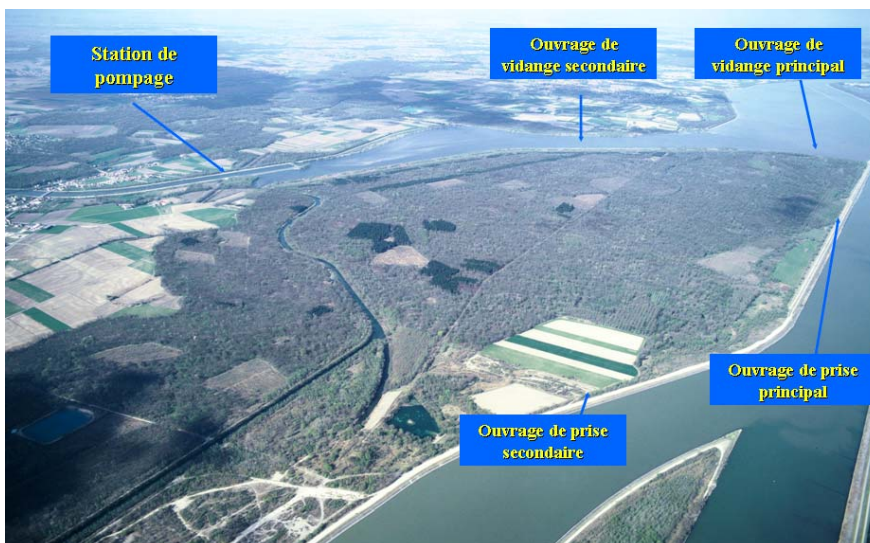
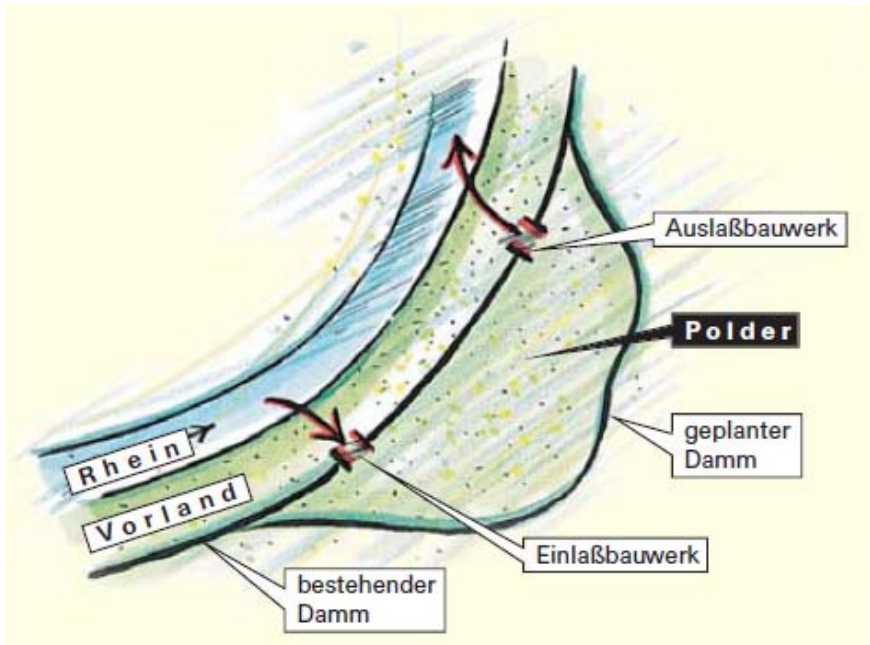


Kulturwehr Kehl/Straßburg



2c) Retentionspolder

Im Nebenschluss des Rheins gelegene Polderflächen werden bei größeren Hochwasserereignissen über Einlassbauwerke zur Kappung des Hochwasserscheitels für die Hochwasserrückhaltung geflutet. Für den ökologischen Ausgleich gibt es Polder, die bei kleineren Hochwassern geflutet werden („ökologische Flutungen“). Retentionspolder werden generell Hochwasserrückhalteräume oder in anderen Flussgebieten auch Flutpolder genannt.



Polder Erstein

2d) Reserveraum (in HW-Vorsorgebroschüre der IKSR 2002: **Notentlastungen bzw. Zweite Verteidigungslinie**)

Im Nebenschluss des Rheins liegende Rückhalteflächen, die sehr selten geflutet werden. Diese kommen in der Regel erst mit dem Überschreiten des Bemessungsabflusses der Deiche zum Einsatz und bewirken dadurch eine über den Bemessungsabfluss hinaus gehende Sicherheit. Das Volumen von Reserveräumen ist meist wesentlich größer als das normaler Retentionspolder.

3. Überflutungsflächen bei Extremhochwasser

Bei extremem Hochwasser kann es unter Anderem bei Überschreitung der Bemessungsabflüsse zu Deichüberströmungen und -brüchen kommen, die großflächige Überflutungen landseits der Deiche zur Folge haben können (von denen auch Siedlungsgebiete im großen Umfang betroffen sein können).

Durch das Ausströmen von Rheinwasser in das Deichhinterland und durch das Zurückströmen dieses Wassers an z. T. weit entfernten Stellen flussabwärts wird die Hochwasserwelle des Rheins z. T. erheblich beeinflusst.



Deichbruch am Oberrhein in Flotzgrün (Hochwasser Juni 1953)

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Der von der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) vorgelegte Aktionsplan Hochwasser (APH) für den Rhein wurde von der 12. Rhein-Ministerkonferenz in Rotterdam am 22. Januar 1998 beschlossen (IKSR, 1998).

Der APH unterstützt somit die Zielsetzungen zur Verbesserung der Hochwassersituation im Rhein flussabwärts von Iffezheim, die bereits in den deutsch-französischen Verträgen von 1969/1982 formuliert wurden. Im APH wird in vier Handlungszielen formuliert, wie bezüglich der Verhältnisse des Jahres 1995 eine Verbesserung der Hochwassersituation am Rhein durch verschiedenartige Maßnahmen erreicht werden soll. Aufgrund der konkreten Benennung von Zielen, Maßnahmen, Kosten, Zielhorizonten, Umsetzungsstrategien usw. ist dieser Aktionsplan für den Rhein wegweisend und hat seither für zahlreiche Aktionspläne für Flüsse innerhalb und außerhalb des Rheineinzugsgebiets Pate gestanden. Die im Handlungsziel 2 des APH geforderte „Minderung der Hochwasserstände“ durch vorbeugende Rückhaltemaßnahmen am Rhein und in seinem Einzugsgebiet bzw. die Bilanz der Auswirkung der Maßnahmen 2010, ist Gegenstand dieses Berichts. Angestrebt war die „Minderung der Extremwasserstände unterhalb des staugeregelten Bereichs um bis zu 30 cm bis zum Jahr 2005 und um bis zu 70 cm bis 2020 (IKSR, 1998).

Zur Realisierung der Ziele wurde die lange Laufzeit des Aktionsplans bis zum Jahr 2020 sowie die Realisierung der Handlungsziele in den Zeithorizonten der Jahre 2000, 2005 und 2020 vereinbart. Hierdurch wird eine Erfolgskontrolle auf dem Wege zum Ziel ermöglicht. Eine erste Bilanz des Erreichten legte die IKSR im Jahre 2001 vor (IKSR, 2001). In der ersten Bilanz wurde aus der Aufsummierung der geschaffenen Rückhalte-räume seit 1995 geschlossen, dass „...die angestrebte Wasserstands-minderung von 5 cm erreicht“ (IKSR, 2001) wurde. In der Bilanzierung bis 2005 stützte sich die Erfolgskontrolle auf Ergebnisse von Simulationsberechnungen mit mathematischen Abflussmodellen. Der Nachweis der Wirksamkeit realisierter Maßnahmen sollte dabei auf einem Kollektiv von Modellhochwassern basieren, die das Hochwasserverhalten im Rheineinzugsgebiet beispielhaft nachbildeten.

Das Fazit der Untersuchungen der zweiten Bilanz bis 2005 (IKSR, 2006) lautete, dass die angestrebte Reduzierung der Rheinhochwasserstände von bis zu 30 cm durch die zwischen 1995 bis 2005 erstellten Hochwasserrückhaltungen am Oberrhein erreicht wurde. Am Mittelrhein betrug die Reduzierung bis circa 10 cm. Am Niederrhein ergaben die Berechnungen für den Bereich Köln ebenfalls Abminderungen bis circa 10 cm, für den Bereich der deutsch-niederländischen Grenze bis zu 7 cm, bzw. bei Bemessungshochwasser 3 cm. Diese Abminderungen wurden nicht in jedem untersuchten Fall erreicht. Je nach Hochwasserentstehung wurde in einzelnen Fällen praktisch keine Abminderung der Scheitelwasserstände nachgewiesen. In der hier vorliegenden Untersuchung werden die maximalen Abminderungen für den Zustand 2005 von 30 cm am südlichen Oberrhein nicht erreicht. Grund hierfür sind im Wesentlichen neue Berechnungsvorgaben für den hydrologisch maximal möglichen Abfluss (HQ extrem gemäß HWRM-RL) am Pegel Basel.

Die Expertengruppe HVAL begleitet und steuert die mit mathematischen Abflussmodellen vorzunehmenden Nachweisuntersuchungen über die Wirksamkeit von Maßnahmen am Rhein zur Minderung der Hochwasserstände laut Handlungsziel 2 des Aktionsplans Hochwasser. Wie bereits für die bis Ende 2005 umgesetzte Maßnahmen erfolgt, werden die Berechnungen für den Nachweis 2010 auf Basis von Modellhochwassern vorgenommen, wobei zwischenzeitlich Modellfortschreibungen vorgenommen wurden. Hierfür werden unterschiedliche Gewässerausbauzustände ausgewählt, die im Kapitel 4.2.1 detailliert beschrieben sind:

- Ausbauzustand 1995 (Bezugszustand)
- Ausbauzustand 2005
- Ausbauzustand 2010 (Aktuell)

- Ausbauzustand 2020 (geplant)
- Ausbauzustand 2020+ (gemäß Planung bis etwa 2030)

Der Ausbauzustand 1977 wird bei diesen Berechnungen zusätzlich einbezogen. Der Ausbau des Oberrheins wurde im Jahr 1977 mit dem Bau der Staustufe Iffezheim als vorläufig letzte Staustufe abgeschlossen. Mit diesem Ausbau hat sich die Hochwassergefahr aufgrund der Wellenbeschleunigung erheblich verschärft. Nach 1977 wurde daher damit begonnen, dieser anthropogen bedingten Hochwasserverschärfung durch den gezielten Bau von Rückhaltungen zu begegnen.

2. Hochwassergenese im Rheingebiet

Hochwasser in Fließgewässern können in Sonderfällen aus Flutwellen entstehen, als Folgen des Bruches von Dämmen oder Eisbarrieren. Einengungen der Fließquerschnitte durch Eis, Havarien, Hangrutschungen oder Geschiebeablagerungen können Stauwasserstände erzeugen, die von der Entwicklung der Abflüsse vorübergehend abgekoppelt sind. Üblicherweise haben Hochwasser jedoch ihre Ursachen in starken Niederschlägen (gegebenenfalls in Verbindung mit einer Schneeschmelze) und deren räumlicher und zeitlicher Verteilung. Darüber hinaus sind Regimefaktoren der Einzugsgebiete und der Gewässer von Bedeutung.

Im gesamten Rheingebiet herrschen ganzjährig westliche Winde vor. Mit ihnen überqueren atlantische feuchte Luftmassen aus Südwesten bis Norden Mitteleuropa. Insbesondere beim Auftreten von Westwetterlagen im Winter fallen verbreitet überdurchschnittliche Niederschlagsmengen. Besonders bei Luftströmungen aus Südwesten können vor allem im südwestlichen Bereich des Rheingebietes infolge der staubedingten Niederschläge Hochwasser auftreten. In den Alpen ergeben sich dann in den höheren Lagen dauerhafte Schneedecken.

Der sehr unterschiedliche Wettercharakter von zyklonalen Großwetterlagen lässt im Rheingebiet nur äußerst selten einheitliche Witterungen aufkommen. Eine Folge dieses Sachverhaltes ist beispielsweise die Tatsache, dass sich in der langen Kette hydrologischer Aufzeichnungen seit 1000 nach Christus kein außergewöhnliches Hochwasserereignis findet (KHR, 1995), das gleichzeitig und in vergleichbarer Größe in allen Teileinzugsgebieten des Rheins aufgetreten ist. Verantwortlich dafür sind auch die sehr unterschiedlichen Abflussregimes, die das Rheingebiet prägen.

Im glazialen (von Gletschern dominierten) Regime hängen die Abflüsse von den jahreszeitlichen Schwankungen der Temperatur ab: Minimum im Winter, Maximum im Sommer. Beim nivalen Regime wird während der Wintermonate der Niederschlag als Schnee zurückgehalten und im Frühjahr und Sommer bei der Schneeschmelze wieder abgegeben. Je nach Anteil der Gletscher treten die größten mittleren Tagesabflüsse im alpinen Bereich von Mai bis August auf. Mit zunehmender Größe des Rheineinzugsgebiets gewinnen die Flächen mit pluvialen Regime an Bedeutung, die nicht mehr dem Hochgebirge zuzurechnen sind und auch während der kalten Jahreszeit vom direkten Abfluss aus Niederschlägen beherrscht werden. Dominanz des pluvialen Regimes bedeutet, dass die Mittelwerte des Winters diejenigen des Sommers übersteigen.

Der Pegel Rheinfelden/ Hochrhein spiegelt das Abflussverhalten des Hochgebirges wider. Der Jahrgang dieses Pegels besteht hauptsächlich aus dem sehr ausgeglichenen Ausflussgang aus dem Bodensee sowie der durch die Alpenrandseen beeinflussten Abflussgang der Aare. Die Summe dieser Abflüsse ergibt ein ausgeprägtes Maximum im Sommer, in den Monaten Juni und Juli und niedrige Abflüsse von Oktober bis März. Die Jahrgänge der Mittelgebirgsflüsse zeigen eine von Juni bis Oktober sich hinziehende Periode niedriger Abflüsse. Im November beginnt ein deutlicher Anstieg der Wasserstände. Von Dezember bis März bleiben die Abflüsse auf hohem Niveau.

Die Änderung des Abflussregimes längs des Rheinlaufes ist an den mittleren monatlichen Abflüssen für kennzeichnende Rheinabschnitte (Abbildung 2.1) ablesbar. Es wird deutlich, zu welchen Jahreszeiten hauptsächlich mit Hochwasser zu rechnen ist: Im Einflussbereich der Alpen im Sommer, weiter stromab im Winter. Die Umstellung des sommerbestimmten Regimes zu demjenigen mit dem Hauptmaximum im Winter vollzieht sich am Mittelrhein. Nähere Betrachtungen des Hochwasserregimes zeigen allerdings, dass dieses in seinem Schwerpunkt schon weiter südlich vom Sommer zum Winterhalbjahr verschoben wird als das Regime der mittleren Abflüsse. Das Hochwasserregime wird bereits am Oberrhein bei Maxau überwiegend durch die Hochwasser im Winterhalbjahr geprägt.

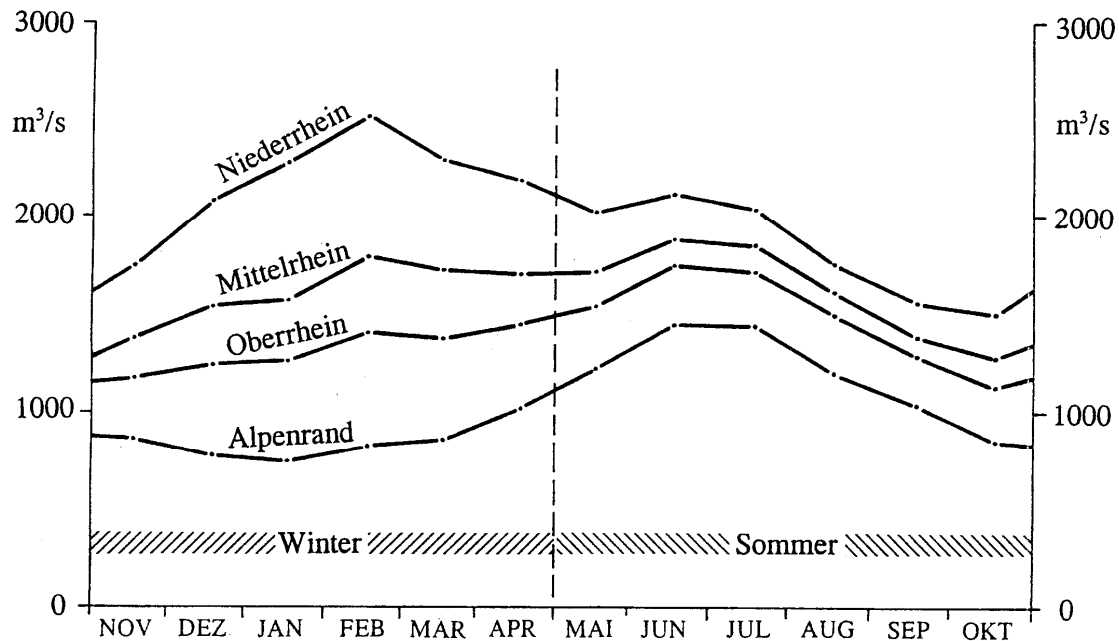


Abb. 2.1: Mittlere monatliche Abflüsse (1931/1990) für verschiedene Rheinabschnitte

Das Einzugsgebiet des Rheins ist hydrologisch-großräumig mehrfach unterteilbar:

- das Gebiet von Alpen- und Hochrhein mit den glazial-nivalen Regime-Komponenten des Hochgebirges;
- die drei Gebiete von Neckar, Main und Mosel mit dem pluvialen Regime der Mittelgebirge;
- Durch die Überlagerung beider Regime ergibt sich stromab des Rheins eine gleichmäßigere Verteilung des Abflusses über das Jahr ("kombiniertes Regime"; Pegel Köln).

Die unterschiedlichen Gebietsreaktionen und die heterogenen meteorologischen Bedingungen lassen Rheinhochwasser immer regional auftreten, wobei mehrere Regionen in sich ergänzender Weise betroffen sein müssen, um im Rhein weiträumig außergewöhnliche Ereignisse zu produzieren. Dies zeigt die Analyse aktueller Hochwasser wie auch das Studium von Berichten über Hochwasser früherer Jahrzehnte und Jahrhunderte.

Extremhochwasser am Hochrhein finden üblicherweise von Mai bis Juli statt. Dann liefern die Mittelgebirge keine flächenhaften Hochwasserabflüsse, weshalb solche Sommerwellen in aller Regel nur am südlichen Oberrhein bis zur Neckarmündung außergewöhnlich hoch sind und stromab zumeist ohne Bedeutung bleiben. Eine seltene Ausnahme war das Hochwasser zur Jahreswende 1882/83, das im gesamten Oberrhein ab Basel die höchsten bekannten Abflüsse erreicht und umfangreiche Deichbrüche erzeugt hat. Trotz der daraus entstandenen Entlastungen findet sich dieses Ereignis bis zum Niederrhein unter den zehn größten seit 1870.

Ab dem mittleren Oberrhein und weiter nordwärts ereignen sich Extrem-Hochwasser üblicherweise im Winterhalbjahr, unterschiedlich gespeist von den Einzugsgebieten der Nebengewässer Neckar, Main und Mosel. Dabei erzeugen Neckar und Mosel eher kurze, steile Wellen, während der Main üblicherweise lang gezogene Wellen liefert, mit weniger hohen Scheiteln. Die Wellenausprägungen entsprechen den zugehörigen Niederschlagsfeldern. An Neckar und Mosel bewegen diese sich allgemein synchron mit dem Lauf der jeweiligen Welle, am Main dagegen in entgegen gesetzter Richtung, was im einen Fall zu stetiger Wellenaufhöhung, im anderen Fall zu stetiger Wellenverlängerung führt. Insofern können die Scheitel von Neckar und Mosel die Rheinscheitel verfehlen, wohingegen sich die Scheitel von Main und Rhein in der Regel überlagern. Eine Ausnahme ist gegeben, wenn das Maingebiet massiv von Osten her überregnet wird, etwa durch eine weit nach Westen reichende V b – Wetterlage. In einem solchen Fall sind die Niederschlagsperioden lang anhaltend stationär und intensiv und führen zu Extremhochwasser – allerdings im Sommer (wie z. B. im Jahr 1342 geschehen), wenn Überlagerungen mit Hochwassern von Rhein und Mosel eher unwahrscheinlich sind.

Die Beiträge der einzelnen Teileinzugsgebiete zu den Wellenfüllen sind erwartungsgemäß sehr unterschiedlich. Sie liegen allerdings bei Winterereignissen prozentual oft innerhalb bestimmter Grenzen. So bewegt sich der Anteil der Mosel am Wellenvolumen in Köln zwischen 35 und 50%, der des alpinen Einzugsgebiets ziemlich konstant bei 20%. Dagegen besteht keine systematischer Zusammenhang zwischen Wellenfülle und Scheitelhöhe.

In Tabelle 2.1 sind die neun in Köln seit 1925 größten Hochwasser mit ihren Scheitelabflüssen sowie den Füllen über den Basisabflüssen zusammengestellt. Aus den Daten lässt sich ableiten, dass die größte Hochwasserfülle in Köln im Jahre 1988 nur zum achtgrößten Scheitelabfluss geführt hat, während das Hochwasser mit dem höchsten Scheitelabfluss (1925/26) füllenbezogen nur Rang 3 erreicht. Die hochwasserrelevante Abflusssumme lag 1988 um 15% über der von 1925/26 und sogar 35% über der von 1995.

Die beschriebenen Verhältnisse haben zur Folge, dass jedes Hochwasser ein Individuum darstellt, was z. B. den Einsatz von Rückhaltemaßnahmen nach einem in jedem Fall geeigneten Schema unmöglich macht bzw. die Wirksamkeit solcher Maßnahmen je nach Hochwassergenese unterschiedlich sein lässt.

| Ereignis | Scheitelabfluss | | Fülle | |
|----------|----------------------|------|------------------------|------|
| | in m ³ /s | Rang | in Mrd. m ³ | Rang |
| 1925/26 | 11100 | 1 | 9,4 | 3 |
| 1995 | 11000 | 2 | 8,0 | 4 |
| 1993/94 | 10800 | 3 | 7,4 | 5 |
| 1947/48 | 9950 | 4 | 10,3 | 2 |
| 1983 (5) | 9910 | 5 | 3,5 | 9 |
| 1970 | 9740 | 6 | 4,2 | 8 |
| 1983 (4) | 9690 | 7 | 4,2 | 7 |
| 1988 | 9580 | 8 | 10,8 | 1 |
| 1955 | 9550 | 9 | 6,9 | 6 |

* Basisabfluss = Teil des Abflusses, der auch ohne Hochwasser abgeflossen wäre

Tab. 2.1: Die neun größten Scheitelabflüsse am Pegel Köln seit 1925 und die Abflussfüllen dieser Wellen oberhalb der jeweiligen Basisabflüsse*

3. Vorgehensweise

Im April 2009 hat die Expertengruppe HVAL ein Nachweiskonzept für die Wirkung von Maßnahmen im Rheineinzugsgebiet und im Rhein 2010 – 2015 – 2020 vorgelegt. Dieser Nachweis bestand aus 3 Elementen:

- a) Erfassung der Wirkung der Maßnahmen entlang des Rheins (auf Wasserstand und Abfluss)
- b) Erfassung der Wirkung der Maßnahmen, die im gesamten Einzugsgebiet getroffen werden (auf Wasserstand und Abfluss im Rhein),
- c) Erfassung der Änderung der Hochwasserwahrscheinlichkeit durch die Maßnahmen

Im Laufe der Bearbeitung seit Mitte 2009 hat sich herausgestellt, dass die im Konzept dargelegten Arbeiten sehr umfangreich waren. Deshalb wurde der Schwerpunkt der Arbeiten auf die unter a) genannten Aktivitäten gelegt. Für Aussagen zu Punkt b) wurde auf Vorhandenes zurückgegriffen und Arbeiten zu Punkt c) sollen zu einem späteren Zeitpunkt nachgeholt werden. Letzteres war möglich, weil die Arbeiten der Expertengruppe HIRI nicht mehr, wie ursprünglich erwartet, von diesen Ergebnissen abhängig waren. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über das Vorgehen gegeben. Die darauffolgenden Kapitel gehen näher auf Methode und Ergebnisse der Untersuchungen von HVAL zum Wirkungsnachweis 2010 ein.

a) Wirkung der Maßnahmen entlang des Rheins

Beim Wirkungsnachweis 2005 erfolgte die Erfassung der Wirkung der Maßnahmen, die entlang des Rheins unterhalb von Basel getroffen werden, auf der Basis der Wellenablaufmodelle SYNHP (Strecke Basel-Worms) und SOBEK (Strecke Worms-Lobith) (s. PLEN 18-04 rev.19.09.04, HVAL 35-05 rev. 23.6.2006). Die Berechnungen wurden - je nach Auswertepiegel - für 3 bis 5 Modellhochwässer ausgeführt. Ausgewertet wurden die Ergebnisse an den Pegeln Maxau, Worms, Kaub, Köln und Lobith. Betrachtet wurde seinerzeit nur die Wirkung der Maßnahmen, die 2005 bereits realisiert waren, gegenüber dem Zustand 1995, für den Oberrhein auch gegenüber dem Zustand 1977.

Für den Nachweis 2010 sollte eine mit 2005 vergleichbare Methodik verwendet werden. Darüber hinaus sollten die Untersuchungen ausgeweitet werden.

Deshalb wurde zunächst auf das gleiche, jedoch aktualisierte und erweiterte Modellinstrumentarium, zurückgegriffen und das Untersuchungsgebiet um den Deltarhein erweitert, sodass nun auch die Maßnahmen „Raum für den Fluss“ in den niederländischen Rheinweigen erfasst wurden. Insgesamt wurden die folgenden Modelle für den Rhein eingesetzt:

- SYNHP-Modell für den Rhein von Basel bis Worms einschließlich wichtiger Zuflüsse (LUBW Baden-Württemberg und LUWG Rheinland-Pfalz).
- SOBEK-Modell für den Rhein von Worms bis zur Nordsee einschließlich wichtiger Zuflüsse (BfG, LANUV, RWS-WD).

Die Wirkung der Maßnahmen auf den Abfluss und/oder den Wasserstand wurden nicht nur an den Bezugspegeln Maxau, Worms, Mainz, Kaub, Andernach, Köln und Lobith erfasst, sondern dort, wo als sinnvoll oder notwendig erachtet, wurde die Längsachse betrachtet, da viele Maßnahmen lokal sehr unterschiedlich wirken und bei einer Beschränkung auf einige wenige Punkte das Bild unvollständig bleibt.

Der Nachweis 2005 wurde auf der Basis von nur wenigen Modellhochwassern durchgeführt. Im Nachweis 2010 wurden nun insgesamt 18 historische Hochwasserereignisse für die Vergrößerung auf extremere Niveaus in die Modellierung einbezogen. Hierbei wurden die Abflussganglinien der historischen Hochwasser mit Faktoren multipliziert und so (künstlich geschaffene) synthetische Modelhochwasser erzeugt. Anders als beim Nachweis 2005 wurden über das gesamte Einzugsgebiet einheitliche Faktoren verwendet. Bei diesem Vorgehen bleibt die regionale Differenzierung der historischen Hochwassergenesen erhalten.

Auch wurde nicht nur die Wirksamkeit der Maßnahmen 2010 (gegenüber 1995) untersucht, sondern auch eine Prognose für die Zustände 2020 und 2020+ (Zustand plus = Zustand 2020 zuzüglich der ursprünglich für 2020 veranschlagten Räume, die jedoch voraussichtlich erst nach 2020 d.h. etwa 2030 fertig gestellt werden, ergänzt um zwei Reserveräume) berechnet. Neben dem Gewässerzustand 2010 mussten hierfür der Referenzzustand 1995, die Prognosezustände 2020 und 2020+ sowie für den Oberrhein auch 1977 gerechnet werden. Der Zustand 1977 ermöglicht Aussagen über die Hochwassersituation ohne die Wirkung von Retentionsmaßnahmen.

Bei extremen Hochwasserereignissen, mit deutlich über den Bemessungswerten liegenden Abflüssen, kommt es zu einer Überschreitung der hydraulischen Leistungsfähigkeit des Rheins und zu Deichüberströmungen bzw. Deichbrüchen. Die genaue räumliche Lage und die Zeitpunkte von Deichüberströmungen bzw. -brüchen sind vom jeweiligen Ereignisfall abhängig und im Detail nicht vorabschätzbar.

Insbesondere bei Modellhochwassern, deren Scheitelabflüsse den Bemessungsabfluss überschreiten, ist die Abflussminderung durch Deichüberströmung und ggf. Deichbrüche von wesentlicher Bedeutung für den Hochwasserverlauf flussabwärts. Daher hat die EG HVAL für die Zustände 1995 (Referenz), 2010 und 2020 exemplarische Berechnungen durchgeführt, die eine Kombination der Wirkung von Rückhaltemaßnahmen sowie von Deichüberströmungen enthalten.

b) Wirkung der Maßnahmen im Einzugsgebiet

Für den Nachweis 2010 sollte eine Sensitivitätsuntersuchung über die Wirkung der Veränderung der Nebenflusswellen in Höhe und Zeit für den im APH bis 2020 angestrebten Realisierungsumfang an flächenbezogenen Maßnahmen in ausgewählten, wichtigen Nebenflüssen des Rheins durchgeführt und anschließend deren Auswirkungen auf den Abfluss im Rhein von Basel bis in die Nordsee berechnet werden. Diese Untersuchungen mussten aus Zeitgründen zurückgestellt werden. Es wird daher hier auf die entsprechenden Aussagen aus dem IKSR-Bericht Nr. 153, Anhang 2 zurückgegriffen (vgl. Anlage 1): Für den Großteil der Maßnahmen im Einzugsgebiet (Kategorie 1) haben die Auswertungen einer auf Initiative der beteiligten Bundesländer gegründeten Unterarbeitsgruppe ergeben, dass diese keinen wesentlichen Beitrag zur Minderung extremer Rheinhochwasserstände leisten können und ein aufwändiger, modelltechnischer Nachweis weder vertretbar noch erforderlich ist. Insbesondere die Maßnahmen zur Renaturierung, Extensivierung der Landwirtschaft, Naturentwicklung / Aufforstung und Entsiegelung bewirken, wie zahlreiche wissenschaftliche Studien (KHR, 2003, IKSR, 2005) belegen, lediglich geringe hochwassermindernde Wirkungen im Nahbereich kleinerer Fließgewässer. Dies stützt auch die Einschätzung im Aktionsplan Hochwasser, der der Maßnahmenkategorie „Wasserrückhalt im Rheineinzugsgebiet“ eine eher geringe Hochwasserstand reduzierende Wirkung hinsichtlich des Rheins zuspricht (IKSR, 1999). Für die beiden Maßnahmenkategorien im Einzugsgebiet „Reaktivierung von Überschwemmungsgebieten“ und „Technische Rückhaltungen“ wurde im Fall größerer Maßnahmen an bedeutenden Rheinzuläufen ein rechnerischer Nachweis von den Ländern angestrebt.

c) Änderung der Hochwasserwahrscheinlichkeit durch die Maßnahmen

Die Berechnung der durch die umgesetzten Maßnahmen bedingten Änderung der Hochwasserwahrscheinlichkeit wird Bestandteil der EG HVAL-Arbeiten ab 2012 sein.

Für den Nachweis 2010 sollte eine Wahrscheinlichkeitsabschätzung durchgeführt werden und für die IKSR Expertengruppe HIRI bereit gestellt werden. Die durchzuführenden Wahrscheinlichkeitsabschätzungen sollten sich auf Scheitelabflüsse an ausgesuchten Pegeln entlang des Rheins beziehen, sodass die Wahrscheinlichkeitsänderungen für die einzelnen Pegel stellvertretend für einzelne Flussabschnitte des Rheins stehen. Basis hierfür sollten die gegenwärtig gültigen Statistiken als Referenzstatistik sein. Die für den Zustand 1995 (Pegel Kaub und flussabwärts) bzw. 1977 (Pegel Maxau und Worms) berechneten Scheitelabflüsse der historischen und der extremen Modellhochwasser sollten je Pegel mit Hilfe dieser Referenzstatistik statistisch eingeordnet werden. Ihnen wird

dadurch eine Auftretenswahrscheinlichkeit zugeordnet. In einem weiteren Schritt sollten die durch die Maßnahmen veränderten oder nicht veränderten Scheitelabflüsse der Modellhochwasser aufgetragen werden. Sie erhalten dabei die gleiche Auftretenswahrscheinlichkeit, wie die entsprechenden Modellhochwasser im Zustand 1995 bzw. 1977.

4. Modelle, Ausbauzustände und Bezugspegel

4.1. Modelle

An den bei der Evaluierung der Wirkung der wasserstandsreduzierenden Maßnahmen beteiligten Dienststellen wird ein Pool von Modellen vorgehalten, der im Wesentlichen wie folgt aussieht:

- SYNHP-Modelle für den Rhein von Basel bis Köln einschließlich wichtiger Zuflüsse (LUBW Baden-Württemberg und LUWG Rheinland-Pfalz).
- SOBEK-Modelle für den Rhein von Maxau bis zur Nordsee einschließlich wichtiger Zuflüsse (BfG, LANUV, RWS-WD).

Bei den für die Evaluierung 2010 benötigten Berechnungen wurde auf der Rheinstrecke Basel – Worms die SYNHP-Modelle benutzt.

Das Synoptische Hochwasserablaufmodell SYNHP gehört zur Familie der hydrologischen Modelle, deren Berechnungsverfahren auf der Kontinuitäts- und der Bewegungsgleichung beruhen. SYNHP berechnet zeitschrittweise (synoptisch) den Abfluss beliebiger Gewässerstrecken. Neben der Translation von Durchflussswellen und deren Verformung durch unterschiedliche Gerinnegeometrien ermöglicht das Modell die Berechnung von gesteuerten und nichtgesteuerten Retentionsvorgängen im Fluss und in Poldern.

Im Jahr 2007 wurde das Synoptische Modell so weiterentwickelt, dass alternativ zu den hydrologischen flood-routing-Verfahren optional auch eindimensionale hydrodynamische Berechnungsverfahren auf Basis der Saint-Venant-Gleichungen einsetzbar sind. Die hydrodynamische Berechnungsvariante des Synoptischen Modells (SYNHP-1D) wird von der LUBW zunächst für die Rheinstrecke im Bereich des Neckarrückstaus zwischen Germersheim-Sondernheim (Rhein-km 380,6) bis Worms-Rheindürkheim (Rhein-km 450,6) eingesetzt. Es erfolgt ein schrittweiser, bedarfsorientierter weiterer Ausbau der hydrodynamisch berechenbaren Streckenabschnitte. Mittlerweile hat das LUWG dieses Modell bis Andernach erweitert (Rhein-km 613,8).

Das SYNHP-Modell wird von der „Ständigen Kommission zum Ausbau des Oberrheins“ für die Rheinstrecke Basel bis Worms als offizielles Werkzeug zur Ermittlung von Steuerreglements für die Rückhaltemaßnahmen am Oberrhein verwendet. Mit ihm können unterschiedliche Retentionsszenarien berechnet werden. Das Modell gilt für den Zustand des Oberrheins nach Ausbau mit Staustufen. Das SYNHP-Modell findet weiterhin Verwendung für die Untersuchung von Veränderungen des Hochwasserablaufs im Bereich Basel–Maxau-Worms infolge von Ausbaumaßnahmen.

Die Erstellung sowie Aktualisierung des Modells und die Berechnungen erfolgten durch die LUBW.

Die Berechnungen für die Rheinstrecke ab Worms bis einschließlich Deltarhein wurden durch die BfG mit dem hydraulischen Modell SOBEK durchgeführt. Die erforderlichen Teilmodelle

- Worms (Rhein-km 443,4) – Andernach (Rhein-km 613,8)
- Andernach (Rhein-km 613,8) – Lobith (Rhein-km 862,2)
- Deltarhein (ab Rhein-km 862,2)

wurden von BfG, LANUV und RWS-WD bereitgestellt und anschließend von der BfG zu einem Gesamtmodell gekoppelt.

Das den Zustand 2010 abbildende Sobekmodell von Worms bis zur Nordsee besteht aus dem 2009 erstellten Modell Worms – Andernach (durch die BfG bereitgestellt), dem 2008

erstellten und durch das LANUV bereitgestellten Modell Andernach – Lobith und dem 2010 erstellten, vom RWS-WD bereitgestellten Modell Deltarhein (ab Rhein-km 862,2). Einzelheiten zu diesen und allen weiteren (Teil-)modellen finden sich in BfG (2011), LANUV (2011), Deltares (2010) und HKV (2011).

Die laufenden Verbesserungen der Modelle und ihrer Erweiterungen kann grundsätzlich zu unterschiedlichen Berechnungsergebnissen sowohl im Verhältnis zu früheren, als auch zu späteren Analysen führen.

4.2 Betrachtete Ausbauzustände und Steuerungsreglements

4.2.1 Ausbauzustände

Grundlage für die Untersuchungen von Maßnahmenwirkungen am Rhein von Basel bis zur Nordsee sind die Berechnungsergebnisse für folgende Ausbauzustände (vgl. Karte auf Seite 33, Tab. 4.1 und Tab. 4.2):

- **Ausbauzustand 1977** (= Fertigstellungstermin der zuletzt gebauten Staustufe am Oberrhein, der Staustufe Iffezheim, bei Rhein-km 334) sowie noch vor Bau bzw. deren Inbetriebnahme von Retentionsmaßnahmen am Oberrhein. Der Zustand 1977 ermöglicht Aussagen über die Hochwassersituation im Oberrhein ohne die Wirkung von Retentionsmaßnahmen.
- **Ausbauzustand 1995** (Referenzzustand des IKSR-Aktionsplans Hochwasser). Im Zustand 1995 waren am Rheinhauptstrom 160 Mio. m³ Retentionsvolumen einsetzbar.
- **Ausbauzustand 2005** (Evaluationsdatum des IKSR-Aktionsplans Hochwasser im Vergleich zu 1995). Im Zustand 2005 waren am Rheinhauptstrom insgesamt etwa 211 Mio. m³ Retentionsvolumen einsetzbar.
- **Ausbauzustand 2010** (IKSR-Evaluationsdatum im Vergleich zu 1995). Im Zustand 2010 waren am Rheinhauptstrom insgesamt 229 Mio. m³ Retentionsvolumen einsetzbar.
- **Ausbauzustand 2020** (IKSR- Prognosezustand im Vergleich zu 1995). Im Zustand 2020 werden nach jetzigem Verfahrensstand am Rheinhauptstrom 361 Mio. m³ Retentionsvolumen einsetzbar sein. Weitere Wasserstandslenkende Maßnahmen an den Rheinzweigen stromabwärts von Lobith kommen hinzu.
- **Ausbauzustand 2020+** (IKSR- Prognosezustand im Vergleich zu 1995) Der Zustand 2020+ beinhaltet alle geplanten Retentionsmaßnahmen am Oberrhein (auch solche, die voraussichtlich erst nach dem Jahr 2020 in Betrieb genommen werden können), einschließlich der Reserveräume des Landes Rheinland- Pfalz und der Gebiete/Räume, die im Hochwasserschutzkonzept von NRW stehen. Im Zustand 2020+ sind voraussichtlich 535 Mio. m³ Retentionsvolumen einsetzbar. Weitere Wasserstandslenkende Maßnahmen an den Rheinzweigen stromabwärts von Lobith kommen hinzu.

In den beiden Tabellen 4.1 und 4.2 sind für diese Ausbauzustände die jeweils einsatzbereiten Retentionsmaßnahmen und Wasserstandsabsenkende Maßnahmen am Rhein nach Angaben der Betreiber aufgeführt, deren Wirkung in den HVAL-Berechnungen berücksichtigt wird.

4.2.2 Hochwasserschutzmaßnahmen, -ziele und Steuerungsreglements

Entlang des Rheins findet sich eine größere Anzahl von Hochwasserschutzmaßnahmen durch deren Wirkung die Wasserstände bei Hochwasser abgesenkt werden sollen. Eine Übersicht der wichtigsten Maßnahmen findet sich in den Tabellen 4.1 und 4.2. Dabei sind entlang des Rheins Unterschiede zu erkennen in der Art der Maßnahmen, der verfolgten Ziele und der Reglements. Grundsätzliches zur Wirkung von Hochwasserretentionsmaßnahmen findet sich in Anlage 2.

Am Oberrhein handelt es sich vornehmlich um gesteuerte Retentionsmaßnahmen. Deichrückverlegungen etc. spielen zahlenmäßig eine untergeordnete Rolle. Ziel dieser Maßnahmen ist es, den vor dem Oberrheinausbau vorhandenen Hochwasserschutz wieder herzustellen. Der Einsatz dieser Maßnahmen erfolgt gemäß einem international vereinbarten Reglement. Diese Steuerungsvorgaben werden durch die AG Manöver im Auftrag der „Ständigen Kommission“ zum Ausbau des Oberrheins sukzessiv entsprechend den jeweils aktuell fertig gestellten und einsatzbereiten Maßnahmen fortgeschrieben und bedarfsweise an neuere Randbedingungen bzw. an neuere Erkenntnisse angepasst. Somit können sich die Reglements auch für bereits fertig gestellte Maßnahmen im Laufe der Zeit ändern. Aus diesem Grunde wird für die o.g. Ausbauzustände 1995, 2005, 2010 jeweils das zugehörige, zwischen Frankreich und den deutschen Bundesländern Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Hessen sowie dem Bund international vereinbarte Reglement bei den Berechnungen im Synoptischen Modell zugrunde gelegt. Im Zeitraum zwischen 2005 und 2010 gab es im Reglement der Rückhaltemaßnahmen am Oberrhein keine relevanten Fortschreibungen. Daher konnte das Reglement für den Einsatz der gesteuerten Rückhaltemaßnahmen von 2005 auch für den Zustand 2010 verwendet werden.

Für die Zustände 2020 und 2020+ wird das Reglement in Anlehnung an das Gesamtreglement für alle vorhandenen und geplanten Maßnahmen aus dem „Nachweis der Wirksamkeit der Hochwasserrückhaltemaßnahmen am Oberrhein zwischen Basel und Worms unter Einbeziehung ökologischer Flutungen. AG „Wirksamkeitsnachweis“ (1998) abgeleitet. Für die Hochwasserrückhaltungen zwischen Worms und der Nahemündung sind die Steuerreglements von der rheinland-pfälzischen Wasserwirtschaftsverwaltung in ähnlicher Weise wie für den südlichen Oberrhein festgelegt worden.

Aufgrund des Berechnungsumfangs von insgesamt 972 Modellhochwassern (108 Modellhochwasser mal 6 Ausbauzustände zuzüglich 3 Ausbauzustände mit Deichüberströmung) war es im vorgegebenen Zeitrahmen nicht möglich, jedes Detail (z.B. „Kann-Entscheidungen“) im Reglement hochwasserspezifisch zu entscheiden. Ebenso wie bei den HVAL-Untersuchungen 2005 wurden daher folgende Randbedingungen bei der Berechnungen der Maßnahmen zugrunde gelegt:

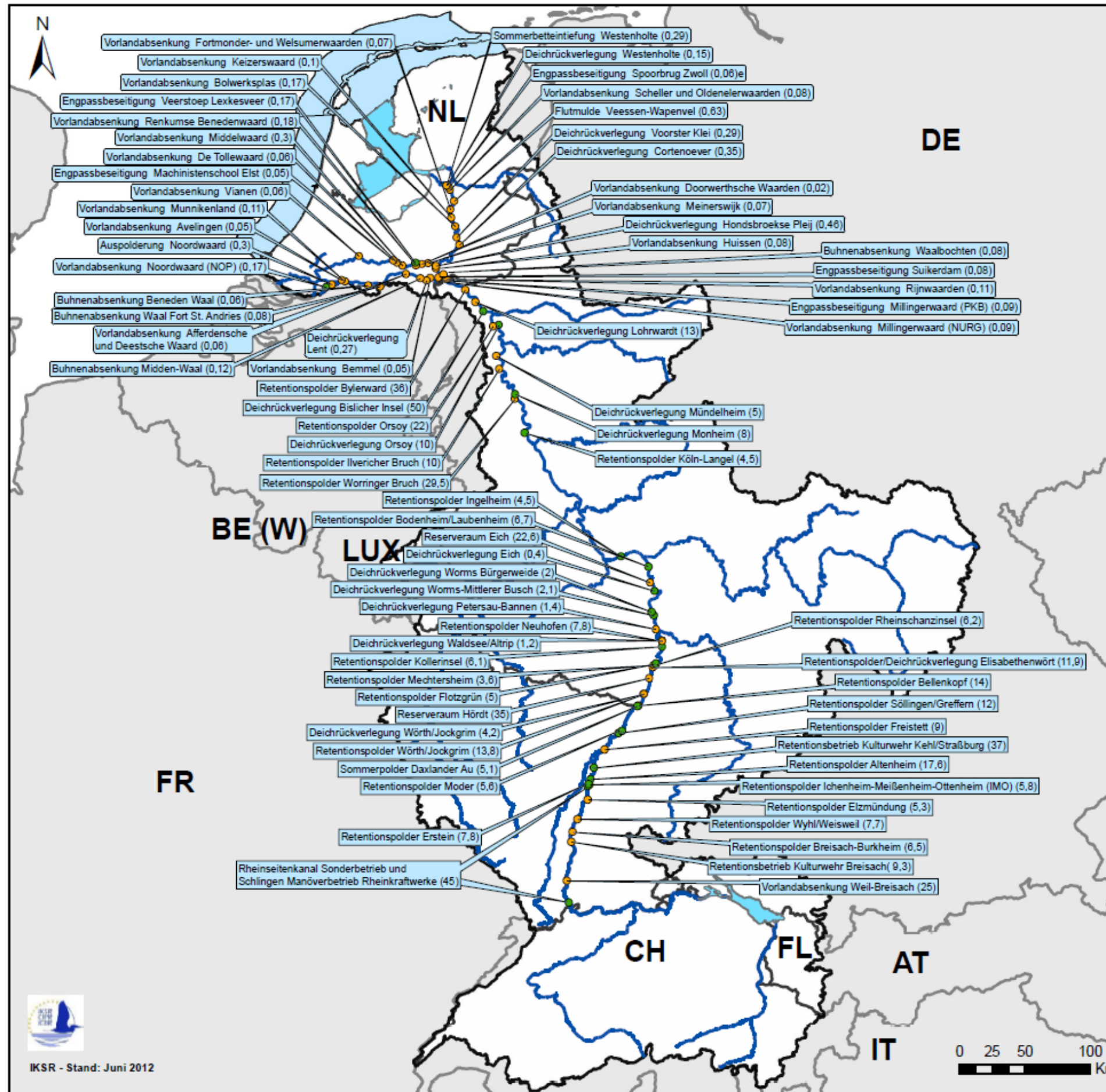
- Eventuelle ökologische Flutungen von Poldern im Vorfeld der eigentlichen Retentionseinsätze werden nicht berücksichtigt.
- Der Einsatz der Retentionsmaßnahmen erfolgt grundsätzlich gemäß der im Reglement definierten Abflussmesswerte an den Steuerpegeln. Es wird davon ausgegangen, dass eventuell zusätzlich vorhandene, vorhersagebasierte Kriterien erfüllt werden (Beispiel: in einem lt. Reglement gegebenen Ermessensfall wird grundsätzlich für den Einsatz der Retentionsmaßnahme entschieden. Hierdurch wird eine eindeutige Vorgehensweise gewählt).

An der nordrhein-westfälischen Rheinstrecke gibt es sowohl Deichrückverlegungen wie auch Rückhaltepolder. Die Schutzziele dieser Retentionsräume orientieren sich an Bemessungshochwasserständen und dienen dem Schutz der Hochwasserschutzanlagen gegen Überströmen. Aufgrund der unterschiedlichen Bemessungsgrößen innerhalb von Nordrhein-Westfalen (NRW) ist der Einsatz der Retentionsmaßnahmen unterschiedlich und orientiert sich an den lokal/regionalen Gegebenheiten. Entsprechend ist der Einsatz des realisierten Polders Langel ausgelegt, aber auch die Planung der weiteren Retentionspolder Worringen, Orsoy und Lohrwardt.

Infolge der unterschiedlichen Planungsstände, aber auch wegen der unterschiedlichen Bemessungsgrößen in NRW ist derzeit ein Gesamtreglement analog zum Oberrhein nicht implementiert. Der Einsatz der Maßnahmen ist für die jeweiligen Zeithorizonte in den entsprechenden Modelldatensätzen berücksichtigt.

Durch diese Randbedingungen sind insgesamt keine relevanten Änderungen für die Untersuchungsergebnisse (z.B. Wahrscheinlichkeitsänderungen) zu erwarten.

In den niederländischen Rheinzweigen wird die Absenkung des Wasserstandes in erster Linie durch Maßnahmen erreicht, die den Flussquerschnitt erweitern. Ziel ist es, die in 2001 erfolgte Erhöhung des Bemessungsabflusses von 15 000 m³/s auf 16 000 m³/s abführen zu können, ohne die Deiche zu erhöhen. Deichrückverlegungen, Buhnen- und Vorlandabsenkungen, Beseitigungen von hydraulischen Hindernissen sowie Bypassrinnen gehören deshalb zum typischen Maßnahmenkatalog. Dabei wird berücksichtigt, dass jede Maßnahme für sich eine Wirkung erzielt, die sich mit der Einzelwirkung benachbarter Maßnahmen überlappt und addiert und so eine Wasserstandsabsenkung entlang des gesamten Flusslaufes ergibt. Aufgrund dieser Wirkungsweise sind in Tabelle 4.2 keine Rückhaltevolumina angegeben, sondern angestrebte Wasserstandsabsenkungen je Maßnahme.



Hochwasserretentionsmaßnahmen am Rheinhauptstrom

Stand der Maßnahmenumsetzung

- Fertiggestellt
- Im Bau/Geplant

Gewässer

- Fließgewässer
- Küsten- und Übergangsgewässer

Anmerkungen zu den Zahlenangaben

Für die Retentionsmaßnahmen zwischen Basel und Lobith: Volumina in Mio. m³

Für Wasserstandsabsenkende Maßnahmen am Deltarhein ab Lobith: Wasserstandreduzierung in m



IKSR - Stand: Juni 2012

| Rheinkm | Bereich | Staat/ Land | Maßnahmeort | Maßnahmenart | Einsatzbereites Volumen | | | | | | |
|---|-----------|----------------|---------------------------------------|--|-------------------------|---------------------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|------|
| | | | | | [Mio. m ³] | | | | | | |
| | | | | | 1977 | 1995 | 2005 | 2010 | 2020 | 2020+ | |
| 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 ²⁾ | 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 ¹⁾ | 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 | |
| 354,9 | | D-BW | Bellenkopf | Retentionspolder | | | | | | 14 | |
| 357,5 | | D-RP | Daxlander Au | Sommerpolder | | 5,1 ³⁾ | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 5,1 | |
| 368 | | D-RP | Wörth/Jockgrim | Deichrückverlegung | | | | | | 4,2 | |
| 377 | | D-RP | Hördt | Reserveraum | | | | | | 13,8 | |
| 381,3 | | D-BW | Elisabethenwört | Retentionspolder / Deichrückverlegung | | | | | | 11,9 | |
| 390 | | D-RP | Mechttersheim | Retentionspolder | | | | | 3,6 | 3,6 | |
| 390,4 | | D-BW | Rheinschanzinsel | Retentionspolder | | | | | 6,2 | 6,2 | |
| 392,6 | | D-RP | Flotzgrün | Retentionspolder | | | 5 | 5 | 5 | 5 | |
| 409,9 | | D-RP | Kollerinsel | Retentionspolder | | | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | |
| 411,5 | | D-RP | Waldsee/Altrip | Deichrückverlegung | | | | | | 1,2 | |
| 436 | | D-RP | Neuhofen | Retentionspolder | | | | | | 7,8 | |
| 439 | | D-RP | Petersau-Bannen | Deichrückverlegung | | | | | | 1,4 | |
| 440,2 | | D-RP | Worms-Mittlerer Busch | Deichrückverlegung | | | | 2,1 | 2,1 | 2,1 | |
| 440,2 | | D-RP | Worms Bürgerweide | Deichrückverlegung | | | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 467,3 | | D-RP | Eich | Deichrückverlegung | | | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | |
| 468,5 | | D-RP | Eich | Reserveraum | | | | | | 22,6 | |
| 489,9 | | D-RP | Bodenheim/Laubenheim | Retentionspolder | | | | 6,7 | 6,7 | 6,7 | |
| 517,3 | | D-RP | Ingelheim | Retentionspolder | | | | 4,5 | 4,5 | 4,5 | |
| 668,5 | | Niederrhein | D-NRW | Köln-Langel | Retentionspolder | | | | 4,5 | 4,5 | 4,5 |
| 705,5 | | | D-NRW | Worringer Bruch | Retentionspolder | | | | | 29,5 | 29,5 |
| 707,5 | D-NRW | | Monheim | Deichrückverlegung | | | 8 | 8 | 8 | 8 | |
| 750 | D-NRW | | Ilvericher Bruch | Retentionspolder | | | | | | 10 | |
| 760,5 | D-NRW | | Mündelheim | Deichrückverlegung | | | | | 5 | 5 | |
| 802 | D-NRW | | Orsoy | Deichrückverlegung | | | 10 | 10 | 10 | 10 | |
| 797,5 | D-NRW | | Orsoy | Retentionspolder | | | | | 22 | 22 | |
| 818,5 | D-NRW | | Bislicher Insel | Deichrückverlegung | | 50 ³⁾ | 50 | 50 | 50 | 50 | |
| 832,5 | D-NRW | | Lohrwardt | Deichrückverlegung | | | | | | 13 | |
| 850 | D-NRW | | Bylerward | Retentionspolder | | | | | | 36 | |
| Summe der Retentionsvolumen der Wasserstand senkenden Maßnahmen am Rhein per Ausbauzustand | | | | | 55,1 | 160,3¹⁾ | 211,6 | 229,4 | 361 | 535,2 | |

¹⁾ Kulturwehr Kehl: bis 2002 regulär 13 Mio. m³ einsetzbar, weitere 24 Mio. m³ nur in außergewöhnlichen Fällen einsetzbar.

²⁾ 2,8 Mio. m³ = Abschnitt 1 von insgesamt 4 Abschnitten. Zusätzlich werden in 2020 bereits Teile der Abschnitte III und IV fertiggestellt sein.

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

Tab. 4.1: Retentionsmaßnahmen zwischen Basel und Lobith mit den jeweiligen Volumina (Angaben in Mio. m³)

| Fluss-km | Bereich | Land | Maßnahmeort | Maßnahmenart | Mindestanforderung an die Wasserstandsabsenkung ⁴⁾ (je Maßnahme) (m) | | | | |
|----------|-------------------------------------|-------------|----------------------------------|--------------------|--|------|------|----------------|----------------|
| | | | | | 1995 | 2005 | 2010 | 2020 | 2020+ |
| 865 | Bovenrijn/Waal/Merwedde | 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 | Afferdensche 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 | | | | | |
| 898 | | NL | Veerstoep Lexkesveer | Engpassbeseitigung | | | 0,17 | 0,18 | 0,18 |
| 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 | |

⁴⁾ 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.
In 2005 wurden schon Maßnahmen in einem Umfang von rund 17 km² realisiert (siehe APH Bilanz 1995-2005). Aufgrund der Realisierung weiterer Maßnahmen wurde 2010 diese Fläche auf 38 km² erweitert.
PKB = Planologische Kernbeslissing (Planfeststellungsverfahren)
NURG = Nadere Uitwerking Rivierengebied (Detailliertere Entwicklung des Flussraums)
NOP = Natuurontwikkelingsproject (Naturentwicklungsprojekt)

Tab. 4.2: Wasserstandsabsenkende Maßnahmen am Deltarhein ab Lobith mit Mindestanforderung an die zu erzielende Wasserstandreduzierung (in m); angegeben sind nur die wichtigsten Maßnahmen. Die Tabelle enthält nur Maßnahmen, die laut Planfeststellungsverfahren „Raum für den Fluss“ (2006) beschlossen wurden.

4.3 Bezugspegel und Auswertestrecken

Verwendete Bezugspegel für die Untersuchungen:

Oberrhein

Maxau

Worms

Mainz

Mittelrhein

Kaub

Andernach

Für den Ober- und Mittelrhein werden die Pegel Maxau, Worms und Mainz (Oberrhein) sowie Kaub und Andernach (Mittelrhein) als Bezugspegel festgelegt. Die Pegel am Oberrhein und der Pegel Kaub dienen unter anderem auch als Steuerpegel für den Einsatz der Hochwasserrückhaltungen. Insbesondere die beiden Pegel am Mittelrhein können als repräsentativ für die Wasserstände am südlichen Mittelrhein (Pegel Kaub) und nördlichen Mittelrhein unterhalb der Moselmündung (Pegel Andernach) angesehen werden. Sie werden unter anderem auch von der dort ansässigen Bevölkerung genutzt, um bei steigenden Wasserständen rechtzeitig Vorsorgemaßnahmen zu ergreifen.

Niederrhein

Pegel Köln (Gültigkeitsbereich: Siegmündung - Ruhmündung)

Pegel Lobith (Gültigkeitsbereich: Ruhrmündung - Pannerdensche Kop)

Deltarhein

Pegel Lobith (Gültigkeitsbereich: Gewässer Nederrrijn/Lek)

Pegel Lobith (Gültigkeitsbereich: Waal)

Pegel Lobith (Gültigkeitsbereich: IJssel)

Für den Niederrhein werden die Pegel Köln und Lobith in ihren Abflüssen als repräsentativ für die Strecke zwischen Sieg- und Ruhrmündung bzw. Ruhrmündung und Pannerdensche Kop angesehen sowie für den Deltarhein mit seinen Zweigen Nederrrijn/Lek, Waal und IJssel (traditionell) die Abflüsse am Pegel Lobith (und nicht die Abflüsse nach der Aufspaltung in die jeweiligen Rheinzweige). Frühere Untersuchungen zeigen jedoch, dass die Wirkung von wasserstandsabsenkenden Maßnahmen entlang des Niederrheins und in den Niederlanden sehr stark variieren und dass die Wasserstandsabsenkung an diesen Pegeln (wie an jedem anderen Punkt auch) nicht repräsentativ ist für die genannten Gewässerabschnitte. Deshalb werden in der Ergebnisauswertung die mittleren Wasserstandsabsenkungen über die jeweiligen Gewässerabschnitte ausgewertet und dargestellt.

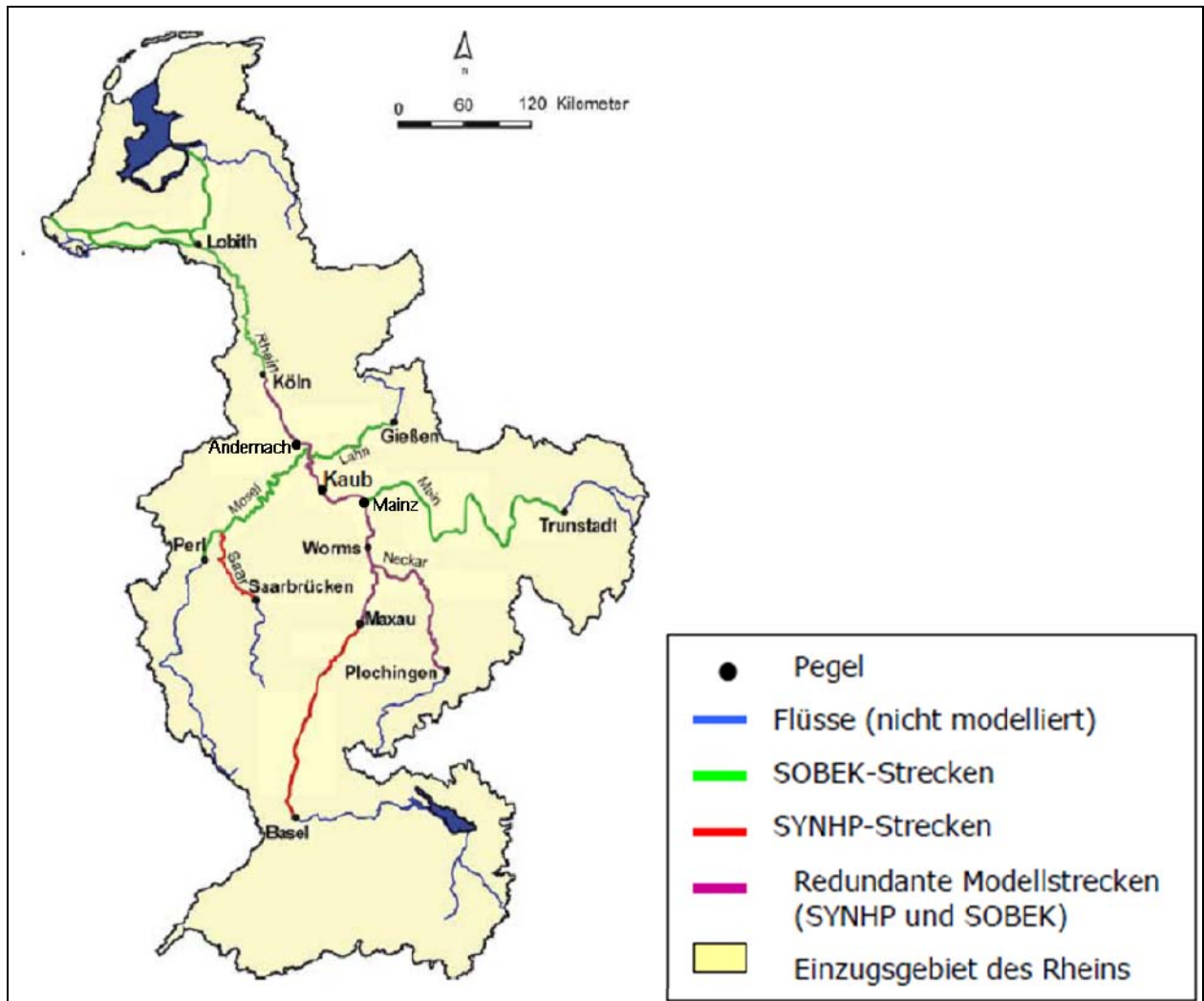


Abb. 4.1: Gewässerstrecken des Rückgratmodells im Rheineinzugsgebiet (Quelle: IKSR Bericht Nr. 153, 2006)

5. Verwendete Hochwasserereignisse und Modellhochwasser

Die Berechnungen mit den Simulationsmodellen für den Nachweis 2010 werden - wie für 2005 auch - auf Basis von Modellhochwassern vorgenommen. Die Generierung der Modellhochwasser erfolgt auf Basis historischer Hochwasser, indem die historisch gemessenen Abflussganglinien an den Modellrändern (d. h. am Pegel Basel bzw. an den Rheinzufüssen) auf höhere (im Einzelfall auch niedrigere) Abflussniveaus umgerechnet werden. Dies erfolgt unter Verwendung von einheitlichen Faktoren für das Rheingebiet. Bei dieser Vorgehensweise bleibt die regionale Differenzierung der historischen Hochwassergeneese erhalten.

5.1 Ausgewählte historische Hochwasserereignisse und Eingangsdaten

Um möglichst viele unterschiedliche Genesen und regional auftretende Rheinhochwasser zu berücksichtigen, hat die EG HVAL 18 historische Hochwasserereignisse im Rheingebiet zwischen 1882 und 2003 ausgewählt². Dieses Kollektiv kann als eine repräsentative Auswahl von Rheinhochwassern sowohl hinsichtlich ihrer unterschiedlichen Genesen als auch der regionalen Bedeutung angesehen werden. In ihm sind Winter- und Sommerhochwas-

² In einem 1. Zwischenbericht der BfG sind die Arbeiten zur Inventarisierung dieser Daten nach vereinbarten Merkmalen und die Ergebnisse von Plausibilitätsprüfungen dokumentiert worden (vgl. Literaturnachweis).

ser, Ereignisse mit ein- und zweigipfligen Scheiteln sowie Hochwasser mit kurzen bzw. langen Scheitellandauern enthalten. Weiterhin verfügt dieses Kollektiv über bedeutende Hochwasser des Hochrheins, des Oberrheins, des Mittelrheins, des Niederrheins und der Rheinbranche in den Niederlanden.

In Tabelle 5.1 sind die historischen Hochwasser mit deren auf den Zustand 1977 homogenisierten Scheitelabflüssen (ohne Retentionsmaßnahmen) mit Angabe der Hochwasserwahrscheinlichkeiten im Zustand 1977, die in früheren Untersuchungen verwendet wurden, angegeben.

| Abflusswahrscheinlichkeiten (Zustand 1977) | Pegel Basel [m³/s] | Pegel Maxau [m³/s] | Pegel Worms [m³/s] | Pegel Mainz [m³/s] | Pegel Kaub [m³/s] | Pegel Ander- nach [m³/s] | Pegel Köln [m³/s] | Pegel Lobith [m³/s] |
|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| HQ₁₀ | 3980 | 4100 | 4750 | 5700 | 5800 | 8850 | 9010 | 9459 |
| HQ₁₀₀ | 4780 | 5300 | 6300 | 7900 | 8000 | 12200 | 12000 | 12675 |
| HQ_{Extrem} | 5480 | 6500 | 7600 | 10300 | 10400 | 15250 | 15300 | 16000 |
| Abflussscheitelwerte | | | | | | | | |
| HW 1882/1883 | 4100 | 6260 | 7520 | 9668 | 9653 | 12470 | 12886 | 10690* |
| HW 1918/1919 | 3850 | 4480 | 4710 | 5163 | 5047 | 6680 | 6748 | 6896 |
| HW 1919/1920 | 3160 | 4520 | 5380 | 7235 | 7365 | 10849 | 10951 | 11394 |
| HW 1925/1926 | 2150 | 3260 | 4234 | 5923 | 5992 | 10394 | 11021 | 11694 |
| HW 01 1955 | 3240 | 4560 | 6160 | 6836 | 6832 | 10340 | 10324 | 10328 |
| HW 02 1957 | 3340 | 4140 | 4590 | 5606 | 5634 | 7530 | 7580 | 7807 |
| HW 02/03 1970 | 3190 | 4200 | 4990 | 4823 | 7105 | 9340 | 10137 | 10780 |
| HW 05 1978 | 3000 | 4180 | 5270 | 5800 | 5857 | 6339 | 6401 | 6656 |
| HW 02 1980 | 3370 | 4160 | 4763 | 5939 | 6010 | 8666 | 9084 | 9630 |
| HW 04 1983 | 2249 | 4110 | 4990 | 6178 | 6318 | 9736 | 9888 | 9817 |
| HW 05 1983 | 3078 | 4260 | 5250 | 5967 | 6227 | 9768 | 9953 | 10043 |
| HW 03 1988 | 3273 | 4090 | 5270 | 7161 | 7240 | 10029 | 10022 | 10852 |
| HW 12 1993 | 2109 | 3020 | 4765 | 5567 | 6493 | 10600 | 10800 | 11039 |
| HW 01 1995 | 3485 | 4080 | 4245 | 5935 | 6670 | 10200 | 10940 | 11885 |
| HW 10 1998 | 2818 | 3320 | 3675 | 4881 | 5454 | 8360 | 8989 | 9487 |
| HW 02 1999 | 3833 | 4490 | 4945 | 5597 | 6022 | 7778 | 8082 | 7974 |
| HW 05 1999 | 5059 | 4720 | 4577 | 4455 | 4662 | 4643 | 4671 | 4516 |
| HW 01 2003 | 2036 | 2810 | 3522 | 5060 | 5540 | 8722 | 9329 | 9451 |

Hochwasserwahrscheinlichkeiten am Pegel Basel: LUBW/ BAFU, Februar 2010: Hochwasserabfluss-Längsschnitt für den Hochrhein

Hochwasserwahrscheinlichkeiten an den Pegeln Maxau und Worms: UAG Statistik, 2001 (Werte für Winterhochwasser)

Hochwasserwahrscheinlichkeiten an den Pegeln Mainz, Kaub und Andernach: HSG Kaub-Rolandswerth, 1992 und Maßgebende Abflüsse für HW-Gefahrenkarten Rhein, 2009

Hochwasserwahrscheinlichkeiten am Pegel Köln: Maßgebende Abflüsse für HW-Gefahrenkarten Rhein, 2009 und HW-Abflüsse bestimmter Jährlichkeiten an den Pegeln des Rheins, 2002

Hochwasserwahrscheinlichkeiten Lobith: Maßgebende Abflüsse für HW-Gefahrenkarten Rhein, 2009 und Werklijn Lobith WD 10.2009

* Abfluss-Abnahmen zwischen den Pegeln Köln und Lobith höchstwahrscheinlich durch Deichüberflutungen bedingt

Tab. 5.1: Hochwasserscheitelabflüsse und -wahrscheinlichkeiten im Zustand 1977 für den Nachweis der Maßnahmen 2010

Ein Überblick über die Simulationszeiträume für jedes Hochwasserereignis ist Anlage 3 zu entnehmen.

Für die Zusammenstellung der Eingangsdaten wurden von den beteiligten Dienststellen intensive Erhebungen durchgeführt. Dabei wurden die historischen Abflussganglinien aller für die Berechnungen relevanter Pegel neu zusammengestellt. Für die Berechnungen am Oberrhein bis Worms sind das die Ganglinien für den Pegel Basel-Rheinhalle sowie der Zuflüsse Wiese, Leopoldskanal, Ill-Entlastung, Kinzig, Ill, Acher/Rench, Moder, Murg,

Sauer und des Neckars. Für die Strecke zwischen Worms und Lobith sind dies die Ganglinien der Nebenflüsse Weschnitz, Modau, Main, Nahe, Wisper, Lahn, Mosel, Nette, Wied, Ahr, Sieg, Wupper, Erft, Ruhr, Emscher und Lippe, sowie zu Vergleichszwecken die Rheinpegel Mainz, Kaub, Andernach, Köln, Düsseldorf, Ruhrort, Wesel, Rees, Emmerich und Lobith (siehe Anlage 4a). Für den niederländischen Teil wurden die Daten für die Oude IJssel und den Twentekanaal bereitgestellt (Anlage 4b) und daraus weitere Zuflüsse aus Bächen und Entwässerungskanälen abgeleitet (nähere Informationen vgl. Deltares, 2010). Da im unteren Bereich die Maas mit dem Rhein ein gemeinsames Delta bildet, mussten auch für die Maas Ganglinien zur Verfügung gestellt werden.

5.2 Modellhochwasser

Im weiteren Vorgehen wurden auf der Basis dieser historischen Hochwasser die Zuflussganglinien durch Faktoren vergrößert und somit neue (künstlich geschaffene) synthetische „Modellhochwasser“ erzeugt. Dies erfolgt unter Verwendung von einheitlichen Faktoren für das gesamte Rheingebiet, sodass die regionale Differenzierung der historischen Hochwassergenese erhalten blieb.

In Voruntersuchungen der BfG und der LUBW wurden zunächst für jedes Ereignis die Vergrößerungsfaktoren für die Zuflussganglinien (einschließlich Zufluss am Pegel Basel) vereinfacht abgeschätzt. Als Orientierungswerte für die Bestimmung des größten Vergrößerungsfaktors eines jeden Ereignisses wurden die Bemessungsabflüsse entlang des Rheins und die HQ-Extremwerte verwendet.

Als Bemessungsabfluss wird der maximale Abfluss bezeichnet, der unter Einhaltung des jeweils festgelegten Freibords im Rhein schadfrei abfließen kann. Tabelle 5.2 enthält eine Übersicht der Bemessungsabflüsse für die Rheinabschnitte unterhalb von Basel.

| Rhein-km | Gültigkeitsbereich | BHQ [m ³ /s] (Stand 2010) (bei Ausleitungsstrecken: Abflusssumme Restrhein plus Kanal) | |
|-------------|---|--|--------|
| | | Links | Rechts |
| von - bis | | | |
| 166 - 282 | Basel - III-Entlastung (innerhalb Staustufe Straßburg) | 6000 | 6000 |
| 282 - 298 | Staufstufe Straßburg (nach der III-Entlastung) – Kinzigmündung (innerhalb Staustufe Gamsheim) | 6500 | 6500 |
| 298 - 309 | Kinzigmündung – Staufstufe Gamsheim (nach der Kinzigmündung) | 7200 | 7200 |
| 309 - 334 | Staufstufe Iffezheim | 7500 | 7500 |
| 334 - 428 | Flussabwärts Iffezheim – Neckarmündung | 5000 | 5000 |
| 428 - 497 | Neckarmündung – Mainmündung | 6000 | 6000 |
| 497 - 529 | Mainmündung – Nahemündung | 7960 | |
| | Im Bereich des Mittelrheins teilweise örtlicher Hochwasserschutz mit unterschiedlichem BHQ | | |
| 640 - 659 | Landesgrenze NRW - Siegmündung | 12600 | 12600 |
| 659 - 780 | Siegmündung – Ruhrmündung | 12900 | 12900 |
| 780 - 814 | Ruhrmündung - Lippemündung | 14800 | 14800 |
| 814 - 845 | Lippemündung – Grietherorter Altrhein | 14700 | 14700 |
| 845 - ~ 862 | Grietherorter Altrhein – Landesgrenze NRW/ Niederlande | 14500 | 14500 |
| ab ~ 862 | ab Landesgrenze NRW/ Niederlande | 16000 | 16000 |

Tab. 5.2: Bemessungsabflüsse (BHQ) für wasserbauliche Anlagen (im Wesentlichen Dämme und Deiche, Angaben ohne Freibord), Stand 2010,

Durch die Expertengruppe HVAL wurde festgelegt, dass bei der Generierung der Modellhochwasser die HQ-Extremwerte ($\sim HQ_{1000}$) möglichst nicht überschritten werden sollen. Als Richtwert gilt der maximale Abfluss am Rheinpegel $\leq 1.15 * HQ_{\text{Extrem}}$. Der 1. Zwischenbericht der BfG gibt die Vorgehensweise und Ergebnisse dieser vorläufigen Abschätzung wieder.

Die mit den vorabgeschätzten Vergrößerungsfaktoren (VGF) faktorisierten (und ggf. auf die maximale Leistungsfähigkeit begrenzten) Zuflussganglinien wurden anschließend als Eingangsdaten verwendet, um über das Synoptische Modell Basel – Worms die entsprechenden Rheinabflüsse für den Ausbauzustand 1977 zu berechnen. Bei der Begrenzung der Zuflussganglinien auf den maximal möglichen Zufluss wird bei Erreichen des jeweiligen Maximums (vgl. Anlage 5) die Ganglinie "gedeckelt", d.h. er wird auf den Vergrößerungswert begrenzt, bei dem die Ganglinie den maximal möglichen Zufluss erreicht.

Auf Basis der berechneten Scheitelabflüsse für die Pegel Maxau und Worms wurden die maximalen VGF-Werte für die Oberrheinzuflüsse so nachjustiert, dass das HQextrem an den Pegeln Maxau und Worms zwar erreicht, jedoch nicht wesentlich überschritten wird. Mit den so ermittelten Faktoren wurden schließlich auch alle weiteren Zuflussganglinien unterhalb von Worms vergrößert, ggf. mit Deckelung auf die in Anlage 5 genannten maximalen Zuflüsse.

Tabelle 5.3 gibt einen Überblick über die Faktoren.

| Hochwasser | Vergrößerungsfaktoren | | | | | | |
|--------------|-------------------------|------|------|------|------|------|--------------------|
| | Gewähltes VGF-Inkrement | VGF1 | VGF2 | VGF3 | VGF4 | VGF5 | VGF _{max} |
| 1882 | 0,05 | 0,75 | 0,80 | 0,85 | 0,90 | 0,95 | 1,00 |
| 1918 | 0.10 | 0,90 | 1,00 | 1,15 | 1,25 | 1,35 | 1,45 |
| 1919 | 0.05 | 0,95 | 1,00 | 1,05 | 1,10 | 1,15 | 1,20 |
| 1925 | 0.15 | 0,85 | 1,00 | 1,15 | 1,30 | 1,45 | 1,60 |
| 1955 | 0.05 | 0,95 | 1,00 | 1,05 | 1,10 | 1,15 | 1,20 |
| 1957 | 0.10 | 0,90 | 1,00 | 1,05 | 1,15 | 1,25 | 1,35 |
| 1970 | 0.10 | 0,90 | 1,00 | 1,10 | 1,20 | 1,30 | 1,40 |
| 1978 | 0.10 | 0,90 | 1,00 | 1,10 | 1,20 | 1,30 | 1,40 |
| 1980 | 0.15 | 0,85 | 1,00 | 1,15 | 1,30 | 1,45 | 1,60 |
| 1983 April | 0.10 | 0,90 | 1,00 | 1,10 | 1,20 | 1,30 | 1,40 |
| 1983 Mai | 0.10 | 0,90 | 1,00 | 1,10 | 1,20 | 1,30 | 1,40 |
| 1988 | 0.10 | 0,90 | 1,00 | 1,10 | 1,20 | 1,30 | 1,40 |
| 1993 | 0.10 | 0,90 | 1,00 | 1,15 | 1,25 | 1,35 | 1,45 |
| 1995 | 0.15 | 0,85 | 1,00 | 1,10 | 1,25 | 1,40 | 1,55 |
| 1998 | 0.20 | 1,00 | 1,30 | 1,50 | 1,70 | 1,90 | 2,10 |
| 1999 Februar | 0.15 | 0,90 | 1,00 | 1,15 | 1,25 | 1,35 | 1,50 |
| 1999 Mai | 0.05 | 0,95 | 1,00 | 1,10 | 1,15 | 1,20 | 1,25 |
| 2003 | 0.25 | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2,00 | 2,25 |

Tab. 5.3: Vergrößerungsfaktoren zur Generierung der Modellhochwasser

6. Untersuchung der Hochwasserminderung ohne Berücksichtigung von Deichüberströmungen

Da sich Hochwasserstatistiken grundsätzlich auf die Abflussverhältnisse ohne Einsatz von Rückhaltemaßnahmen beziehen, erfordert die wahrscheinlichkeitsstatistische Einordnung der HVAL-Modellhochwasser zunächst eine Modellierung der Hochwasser ohne Einfluss von Rückhaltemaßnahmen. Dies ist für den Oberrhein der Ausbauzustand 1977.

Anschließend erfolgt eine Modellierung der HVAL-Hochwasser für den Ausbauzustand 1995, da dieser laut IKSR-Aktionsplan Hochwasser als Referenz für die in den Jahren 2005, 2010, 2020 und 2020+ erzielten Hochwasserminderungen dient.

Die Wellenablaufsimulationen für den Bezugzustand 1995, Zustand 2005, den aktuellen Zustand 2010, den geplanten Zustand 2020 und den geplanten Zustand 2020+ sind von der LUBW und der BfG durchgeführt worden. Die Ergebnisse für die Zustände 1977, 1995, 2005, 2010, 2020 und 2020+ werden in Form von Diagrammen für die Pegel (bzw. Gewässerabschnitte) Maxau, Worms, Mainz, Kaub, Andernach Köln und Lobith sowie in Tabellen (s. Anhang) bereitgestellt.

In den Diagrammen sind zunächst für Maxau und Worms (Referenzzustand 1977), anschließend für jeden der 7 Referenzpegel jeweils die dort berechneten Abflussscheitel für den Bezugzustand 1995 der Größe nach, aufsteigend (ranggelistet) dargestellt. Diese Rangliste der Ereignisse für den Zustand 1995 wird für die entsprechende Darstellung der ermittelten Ergebnisse für die Zustände 1977, 2005, 2010, 2020 und 2020+ beibehalten. Diese ermöglicht, von Maßnahmen herrührende Differenzen zwischen den verschiedenen Zeithorizonten ereignisbezogen abzulesen. Ebenso mit Bezug auf die linke Y-Achse sind die für 1977 gültigen Extremwertstatistischen Abflusswerte HQ_{10} , BHQ , HQ_{100} , und $HQ_{Ext-rem}$ abgebildet.

Resultierende Scheitelwasserstandsdifferenzen (in cm) wurden zwischen den Zuständen 1977-1995, 2005-1995, 2010-1995, 2020-1995 und 2020+-1995 gebildet und auf die rechte Y-Achse bezogen in den Diagrammen für die Pegel Maxau, Worms, Mainz, Kaub und Andernach dargestellt.

Unterhalb der Siegmündung wurden die Abflussscheitel der Pegel Köln und Lobith mit jeweils abschnittsgemittelten Wasserstandsminderungen der Scheitel in den Diagrammen dargestellt, da die Ergebnisse der hier verwendeten Pegel Köln und Lobith für die einzelnen Abschnitte nicht repräsentativ sind. In dem entsprechenden Diagramm wird der Abflussscheitel am Pegel Köln mit den über die 120,9 km lange Fließstrecke (242 Querprofile) gemittelten Scheitelwasserstandsminderungen zwischen Sieg- und Ruhrmündung dargestellt. Die ebenfalls abschnittsgemittelten Wasserstandsminderungen des Rheinabschnitts Ruhrmündung bis Pannerdensche Kop, des Nederrijn/Lek, dem Waal und der IJssel werden im Bezug zum Scheitelabfluss am Pegel Lobith dargestellt.

Aufgrund der Wahl des Bezugzustandes 1995 und der Differenzenberechnung $HW_{Zx} - HW_{1995}$ bedeutet ein negativer Wert in den entsprechenden Diagrammen eine Scheitelwasserstandsminderung gegenüber dem Zustand 1995 bzw. ein positiver Wert eine Scheitelwasserstandserhöhung gegenüber 1995.

6.1 Auswertung Rheinabschnitt Maxau – Worms Bezugszustand 1977

Die folgenden Berechnungsergebnisse für den Rheinabschnitt Maxau bis Worms basieren auf den Untersuchungen der LUBW, die mit Hilfe des Synoptischen Modells von Basel bis Worms durchgeführt wurden. In den zugehörigen Darstellungen ist jeweils der zu betrachtende Ausbauzustand dem Bezugszustand gegenübergestellt.

Ausbauzustände 1977 und 1995

In den Abbildungen. 6.1 bis 6.10 sind die Scheitelwerte für die Pegel Maxau und Worms gemäß ihrem Rang bezogen auf den Zustand 1977 dargestellt.

Wirkung der **1995** einsetzbaren Maßnahmen am **Pegel Maxau**:

- Bis zu etwa einem HQ_{10} erfolgt kein Einsatz von Rückhaltemaßnahmen.
- Im untersten Abflussbereich kann es zu (geringen) Scheitelaufhöhungen des Zustands 1995 gegenüber dem Zustand 1977 kommen. Grund dafür ist die Vorabsenkung des Kulturwehres Kehl und des Kulturwehres Breisach.
- Die größten Abflussminderungen werden im Bereich von HQ_{10} bis HQ_{200} erreicht. Ab HVAL-Hochwassern größer als etwa HQ_{100} überschreiten einzelne Ereignisse den Bemessungsabfluss.
- Die maximale Scheitelminderung bei einem einzelnen Modellhochwasser beträgt rund $760 \text{ m}^3/\text{s}$ (bei etwa HQ_{150}).

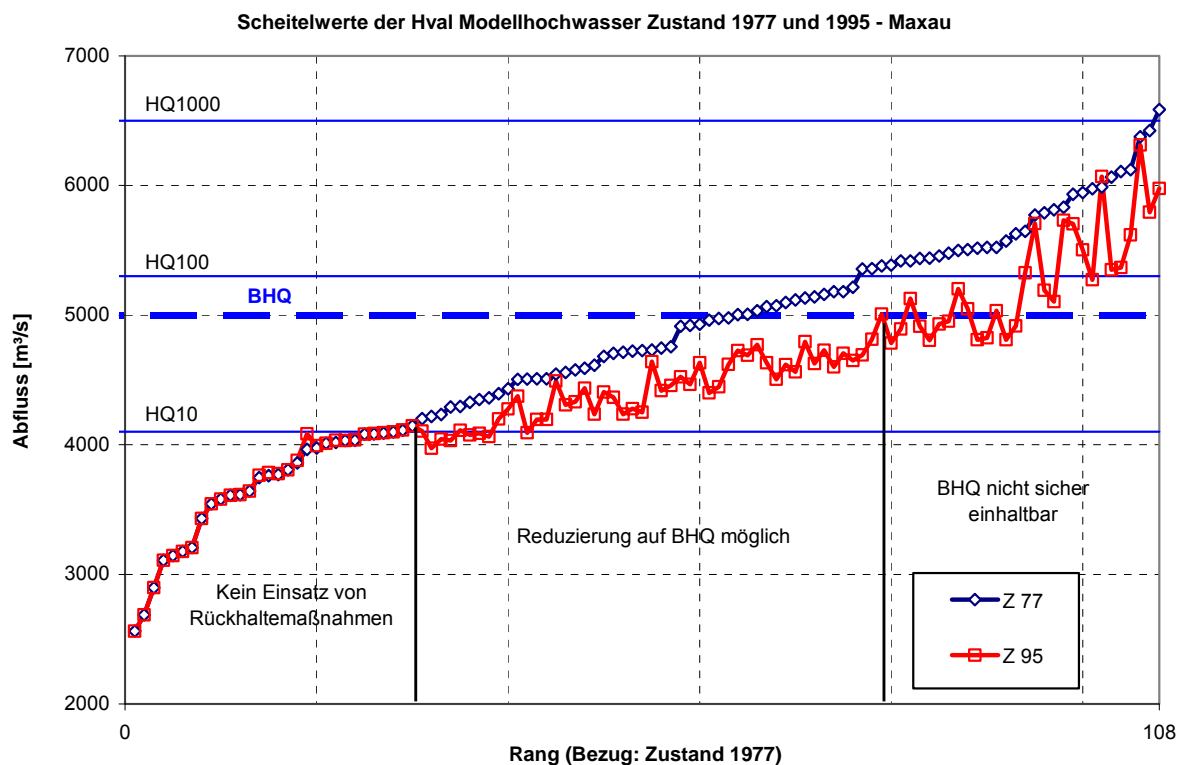


Abb. 6.1: Scheitelwerte für die Ausbauzustände 1977 und 1995 am Pegel Maxau. Rang bezogen auf den Zustand 1977.

Wirkung der **1995** einsetzbaren Maßnahmen am **Pegel Worms**:

- Im Zustand 1995 waren noch keine Retentionsmaßnahmen zwischen Maxau und Worms in Betrieb. Aus diesem Grunde gibt es im Zustand 1995 noch keine Maßnahmen, die gezielt für eine Scheitelabminderung am Pegel Worms einsetzbar sind.
- Je nach Scheitelverhältnis zwischen dem Rheinhochwasser vor dem Neckar und dem Neckarhochwasser selbst ergibt sich dadurch keine einheitliche Tendenz bei der Scheitelabminderung in Abhängigkeit von der Hochwasserjährlichkeit vor Ort in Worms.
- Die maximale Scheitelminderung bei einem einzelnen Modellhochwasser beträgt rund $660 \text{ m}^3/\text{s}$ (bei etwa HQ_{200})

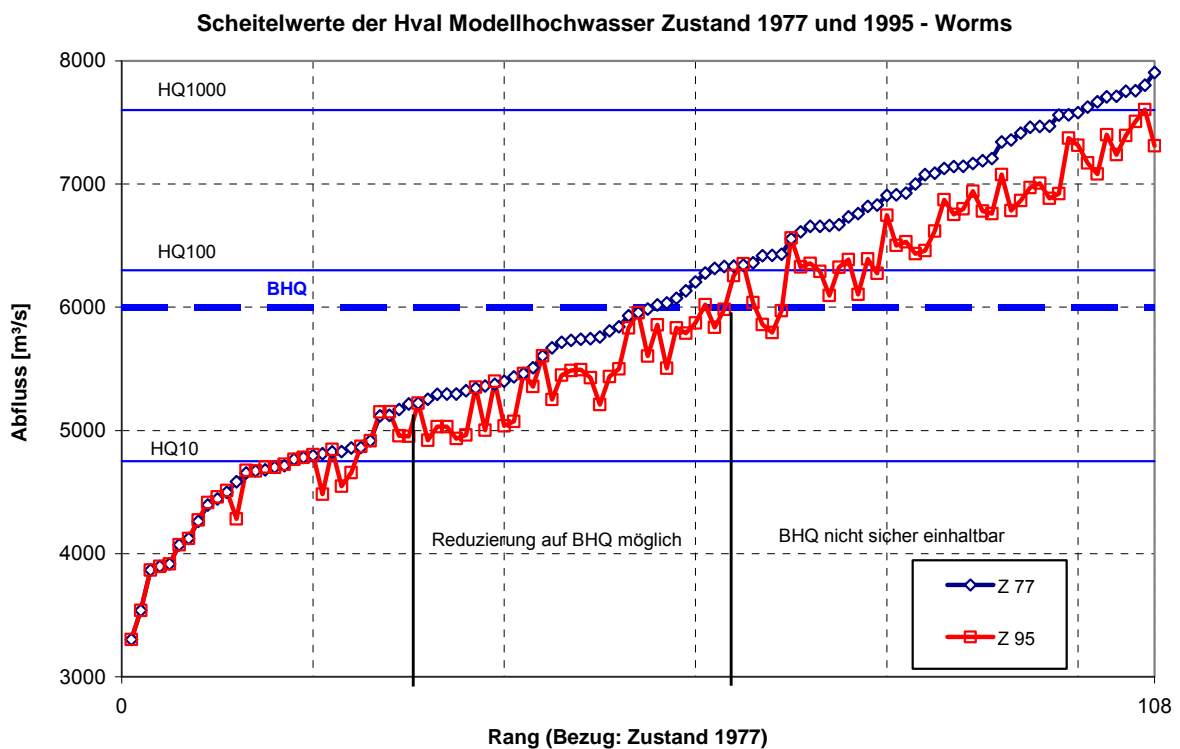


Abb. 6.2: Scheitelwerte für die Ausbautzustände 1977 und 1995 am Pegel Worms. Rang bezogen auf den Zustand 1977.

Abminderung 2005 gegenüber 1995

In den Abbildungen 6.3 und 6.4 sind die Scheitelwerte der Modellhochwasser für die Zustände 1995 und 2005 am Pegel Maxau und Worms dargestellt. Hieraus sind wesentliche Ergebnisse für den Ausbauzustand 2005 erkennbar. Gegenüber dem Zustand 1995 sind oberhalb des Pegels Maxau die Polder Erstein und Söllingen hinzugekommen. Unterhalb von Maxau sind die Polder Flotzgrün und Kollerinsel sowie die Deichrückverlegung Worms-Bürgerweide zusätzlich einsatzbereit.

Wirkung der 2005 einsetzbaren Maßnahmen am **Pegel Maxau**:

- Gegenüber dem Zustand 1995 zeigt sich eine weitere Abminderung der Hochwasserscheitel. Die zusätzlichen Scheitelabminderungen sind nicht so ausgeprägt wie dies beim Zustand 1995 gegenüber dem Zustand 1977 der Fall ist. Grund hierfür ist die Tatsache, dass jede zusätzliche Scheitelabminderung auf einen breiteren (d.h. zeitlich länger dauernden) Bereich der Hochwasserwelle wirken muss und daher überproportional mehr Volumen zur Scheitelabminderung erforderlich wird (sog. „Volumenprogression“)
- Die Überschreitung des Bemessungsabflusses tritt etwas seltener auf als beim Zustand 1995. Es können HVAL-Hochwasser bis etwa HQ_{120} auf die Einhaltung des Bemessungsabflusses abgemindert werden.
- Die maximale Abminderung gegenüber dem Zustand 1995 beträgt $290 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Die maximale Abminderung gegenüber dem Zustand 1977 beträgt $959 \text{ m}^3/\text{s}$.

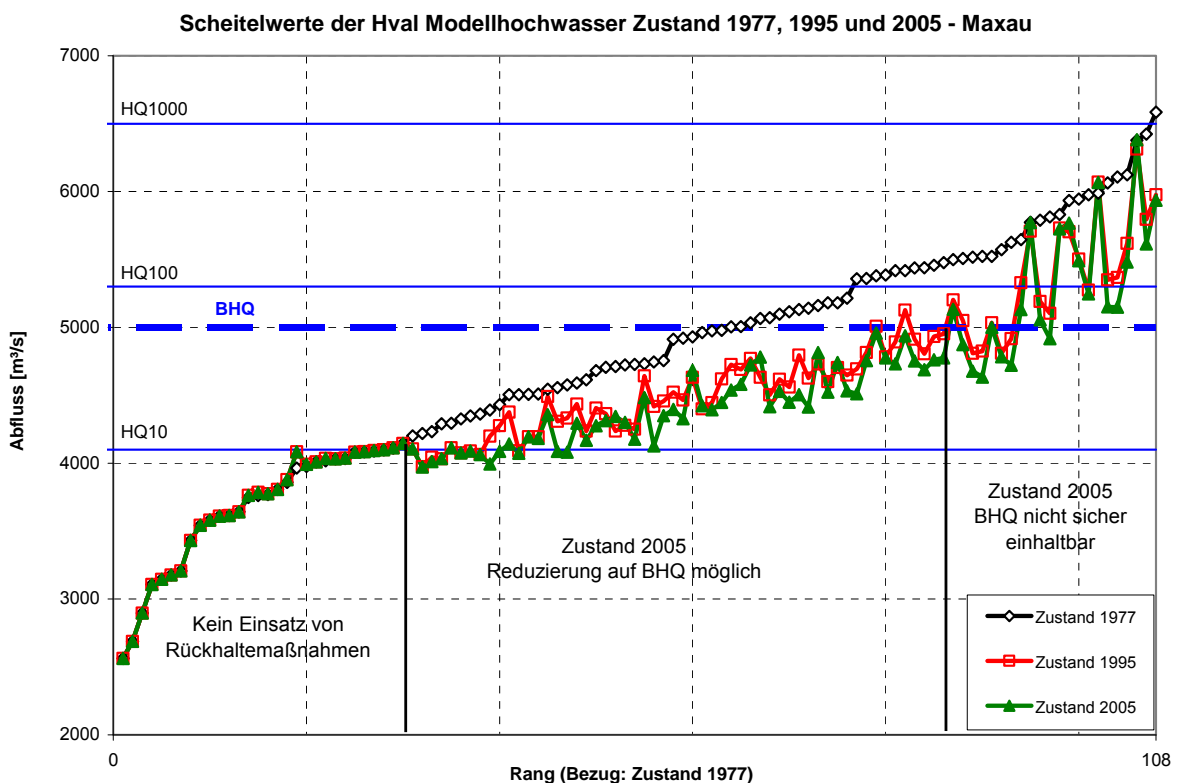


Abb. 6.3: Scheitelwerte für die Ausbauzustände 1977, 1995 und 2005 am Pegel Maxau. Rang bezogen auf den Zustand 1977.

Wirkung der **2005** einsetzbaren Maßnahmen am **Pegel Worms**:

- Der Einfluss der neu hinzugekommen Rückhaltemaßnahmen (unterhalb Maxau rd. 13 Mio. m³) ist auch bei Hochwassern mit großer Jährlichkeit deutlich vorhanden.
- Die größte Abminderung gegenüber dem Zustand 1995 beträgt rd. 350 m³/s.
- Die maximale Abminderung gegenüber dem Zustand 1977 beträgt 969 m³/s.

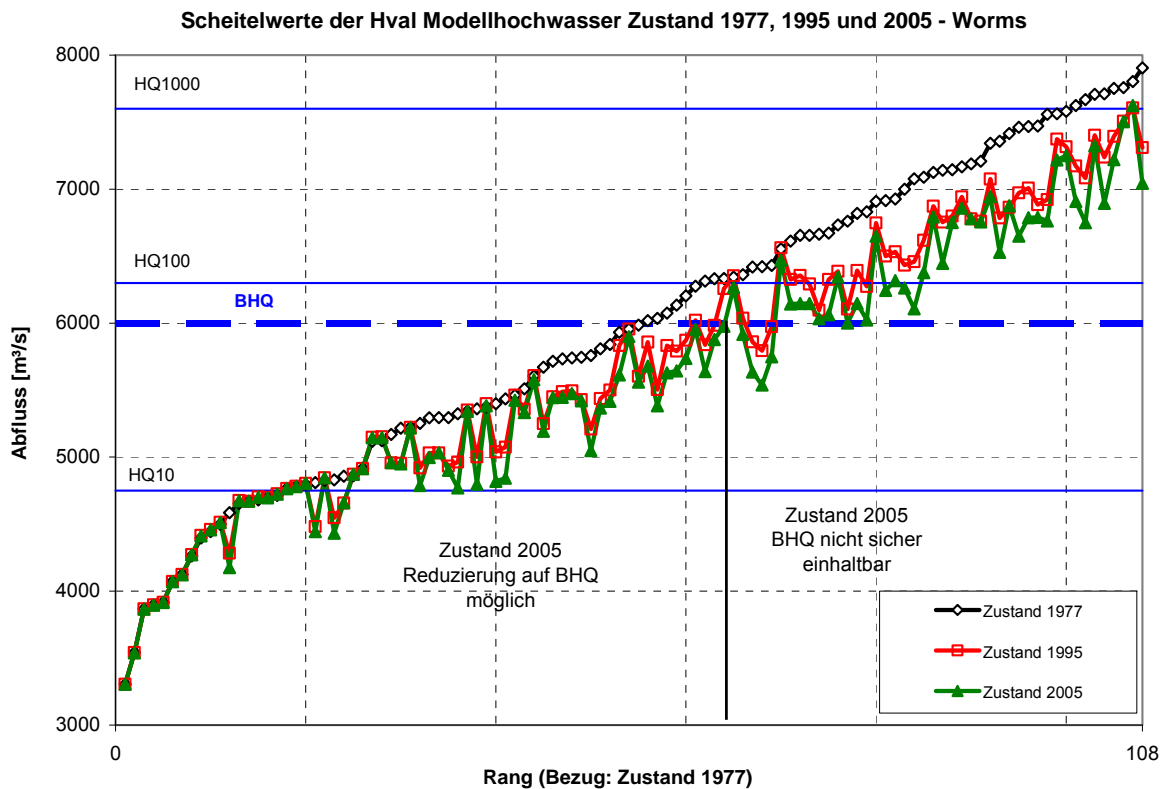


Abb. 6.4: Scheitelwerte für die Ausbauzustände 1977, 1995 und 2005 am Pegel Worms. Rang bezogen auf den Zustand 1977.

Abminderung 2010 gegenüber 1995

Beim Ausbauzustand 2010 ist gegenüber dem Zustand 2005 lediglich die Deichrückverlegung Worms-Mittlerer Busch mit einem Volumen von rund 2 Mio. m³ hinzugekommen. Die berechneten Scheitelwerte sind in den Abbildungen 6.5 und 6.6 dargestellt.

Wirkung der 2010 einsetzbaren Maßnahmen am Pegel Maxau:

- Da auf der Strecke bis Maxau gegenüber dem Zustand 2005 keine neuen Maßnahmen hinzugekommen sind, ergeben sich für den Zustand 2010 die gleichen Berechnungsergebnisse wie beim Zustand 2005.

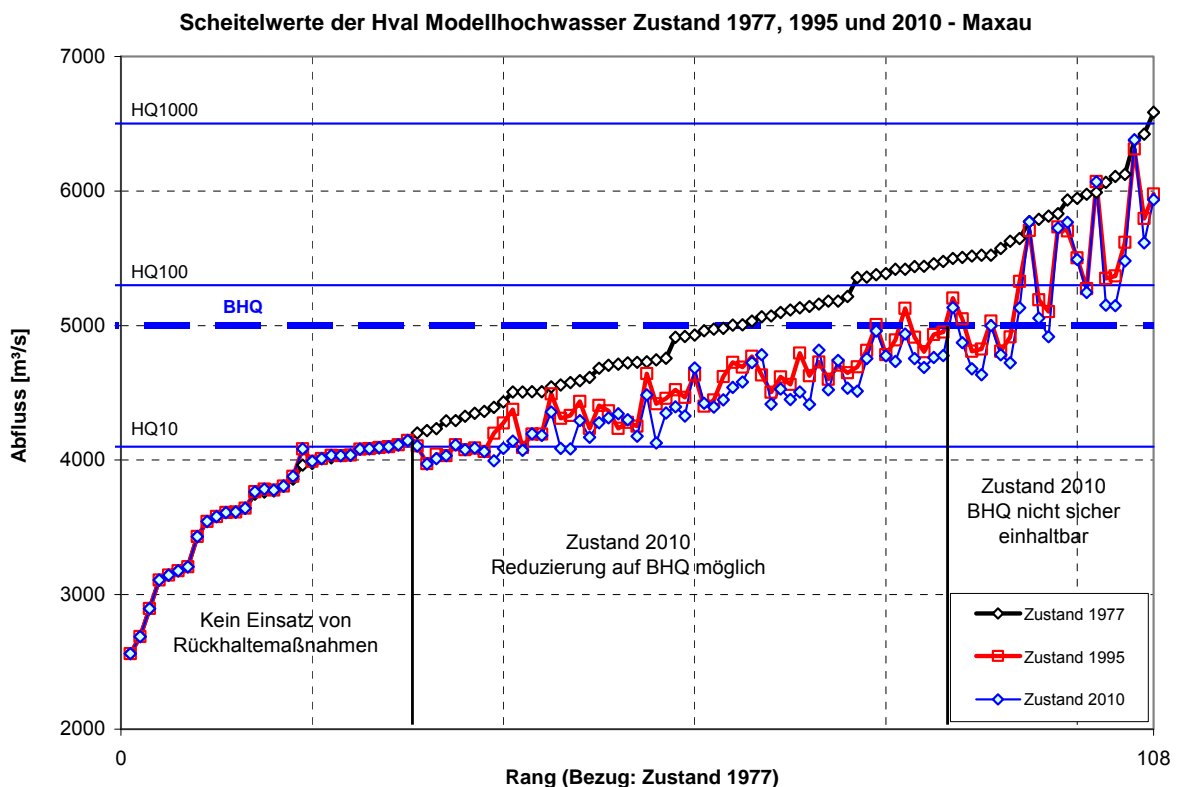


Abb. 6.5: Scheitelwerte für die Ausbauzustände 1977, 1995 und 2010 am Pegel Maxau. Rang bezogen auf den Zustand 1977.

Wirkung der **2010** einsetzbaren Maßnahmen am **Pegel Worms**:

- Entsprechend der nur sehr geringen Zunahme des Rückhaltevolumens gegenüber dem Zustand 2005 ergeben sich auch nur sehr geringe Differenzen bei den Scheitelwerten.

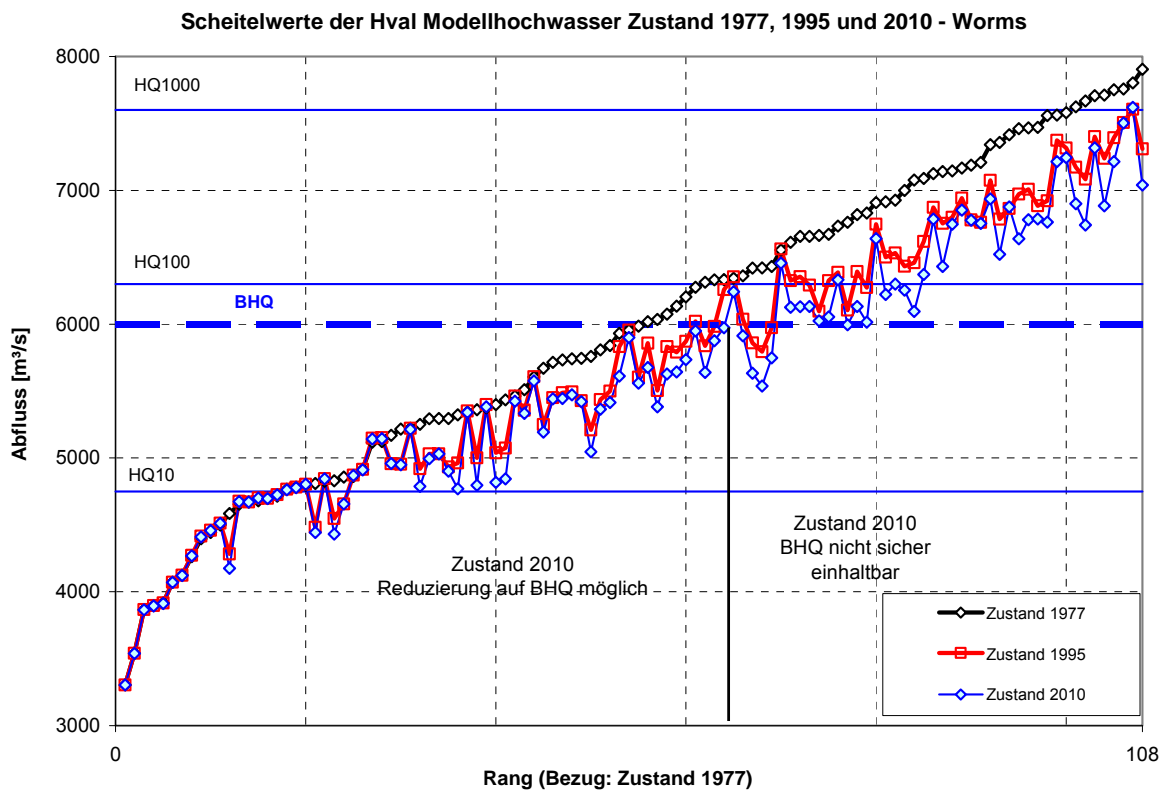


Abb. 6.6: Scheitelwerte für die Ausbaustände 1977, 1995 und 2010 am Pegel Worms. Rang bezogen auf den Zustand 1977.

Abminderung 2020 gegenüber 1995

Beim Ausbauzustand 2020 kommt es zu einer deutlichen Erhöhung des Rückhaltevolumens für die Maßnahmen am Oberrhein. Auf der Strecke bis Maxau beträgt diese Zunahme rd. 24 Mio. m³, von Maxau bis Worms kommen noch weitere 38 Mio. m³ hinzu.

Wirkung der 2020 einsetzbaren Maßnahmen am Pegel Maxau:

- Durch die Vorlandauskiesung im Bereich Weil – Breisach sind bereits auch bei geringeren Abflüssen Scheitelbeeinflussungen möglich.
- Der beim Zustand 2020 neu hinzugekommene Einsatz des Kulturwehres Breisach umfasst auch eine Vorentleerung. Dies kann zu Aufhöhungen bei geringen Abflüssen führen (überlagert mit der abmindernden Wirkung der vorgenannten Vorlandauskiesung).
- Die Überschreitung des Bemessungsabflusses vermindert sich gegenüber dem Zustand 2005 in dem Ausmaß, dass es nun gelingt HVAL-Hochwasser bis etwas über HQ₁₅₀ auf den Bemessungsabfluss abzumindern (s. Abbildung 6.7).
- Die maximale Scheitelabminderung gegenüber dem Ausbauzustand 1977 beträgt 1090 m³/s.
- Gegenüber dem Ausbauzustand 1995 werden bis zu 392 m³/s Scheitelabminderung erreicht.

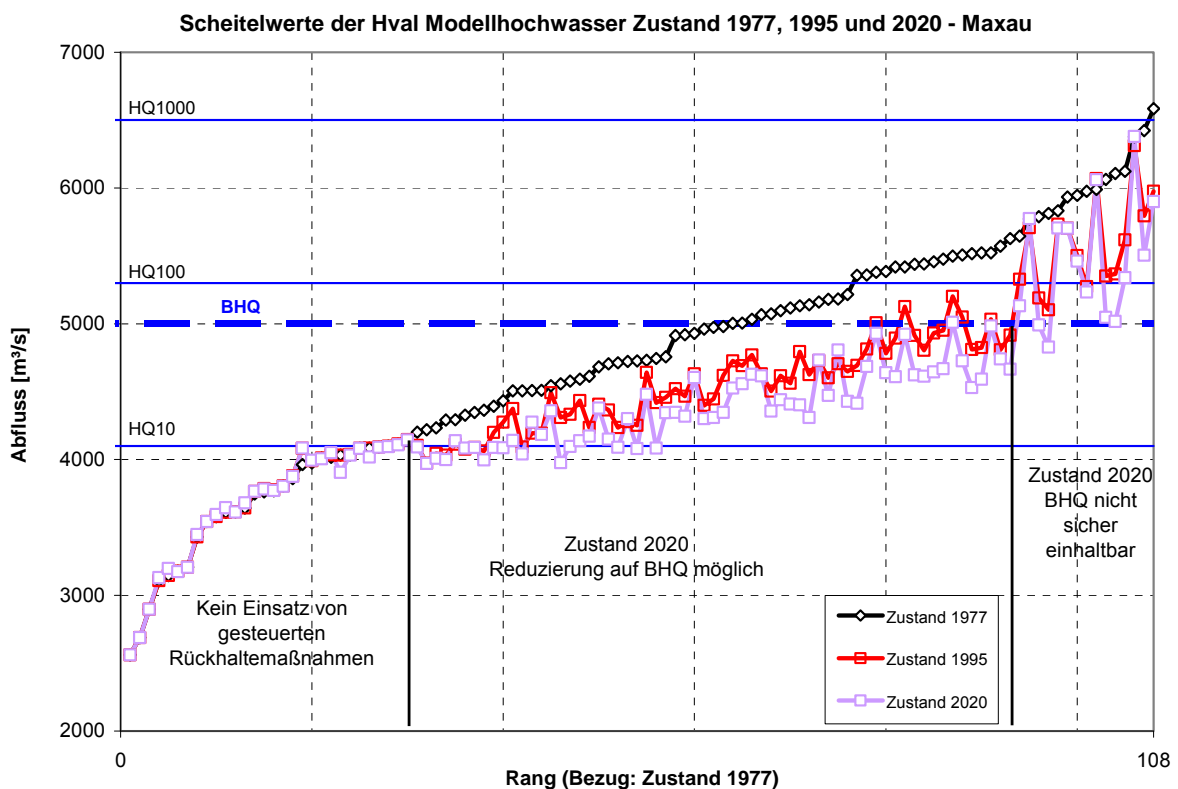


Abb. 6.7: Scheitelwerte für die Ausbauzustände 1977, 1995 und 2020 am Pegel Maxau. Rang bezogen auf den Zustand 1977.

Wirkung der **2020** einsetzbaren Maßnahmen am **Pegel Worms**:

- Gegenüber dem Ausbauzustand 2010 ist eine deutlich verbesserte Scheitelabminderung bei zahlreichen der HVAL-Hochwasser, insbesondere auch bei den Ereignissen über HQ_{100} , vorhanden (s. Abbildung 6.8).
- Gegenüber dem Zustand 1977 werden die Scheitelwerte um bis zu $1300 \text{ m}^3/\text{s}$ abgemindert.
- Bezogen auf den Zustand 1995 erreichen die Scheitelwertabminderungen bis zu $714 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Auffallend ist, dass sich die Anzahl der Hochwasser, für die das BHQ nicht sicher eingehalten werden kann, praktisch nicht verändert. Grund hierfür ist das HVAL-Hochwasser Oktober 1998 (vergrößert mit dem Faktor 1,70). Trotz der wirksameren Abminderung des Scheitels beim Zustand 2020 gegenüber den vorhergehenden Ausbauzuständen gelingt es nicht den Scheitelwert unter das BHQ abzumindern. Verursacht wird dies durch das bei diesem Modellhochwasser extreme zeitliche Vorlaufen des Neckars sowie dessen relativ hohen Scheitelabfluss ($> 3.300 \text{ m}^3/\text{s}$). Das Zusammenwirken dieser beiden Tatsachen führt dazu, dass die Rückhaltemaßnahmen auf der Strecke oberhalb von Maxau praktisch ohne Einfluss auf den Scheitelwert am Pegel Worms bleiben.

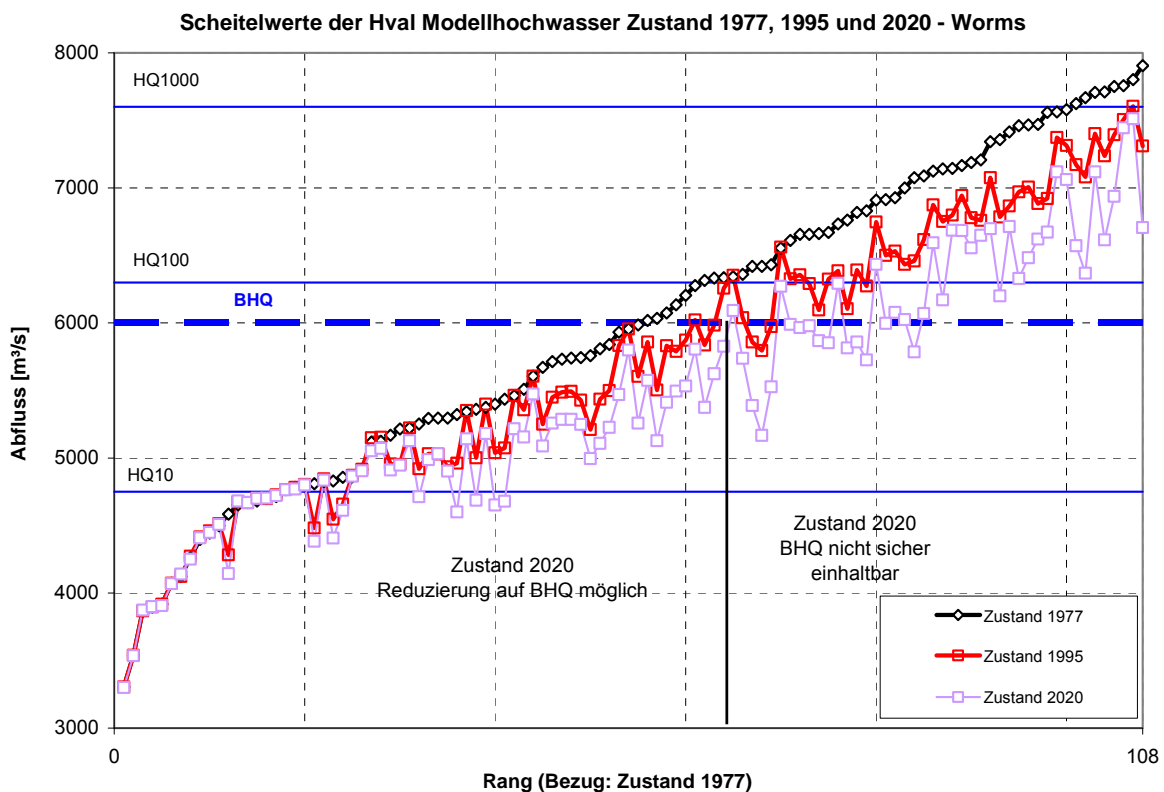


Abb. 6.8: Scheitelwerte für die Ausbauzustände 1977, 1995 und 2020 am Pegel Worms. Rang bezogen auf den Zustand 1977.

Abminderung 2020+ gegenüber 1995

Für den Endausbauzustand 2020+ ergibt sich gegenüber dem Zustand 2020 eine Zunahme des eingesetzten Rückhaltevolumens von rund 106 Mio. m³, hiervon werden ca. 22 Mio. m³ ungesteuert betrieben. Von der Gesamtzunahme entfallen rund von 59 Mio. m³ auf der Strecke von Basel bis Maxau. Unterhalb von Maxau (bis Worms) kommen weitere 47 Mio. m³ hinzu.

Wirkung der mit 2020+ einsetzbaren Maßnahmen am Pegel Maxau:

- Das Auskiesungsvolumen im Bereich Weil – Breisach beträgt rd. 25 Mio. m³. Damit ist diese ungesteuerte Rückhaltemaßnahme gegenüber dem Ausbauzustand 2020 (um rd. 22 Mio. m³) deutlich vergrößert.
- Das neu hinzugekommene Rückhaltevolumen der gesteuerten Maßnahmen Wyhl/Weisweil, Ichenheim/Meissenheim/Ottenheim (IMO), Freistett und Bellenkopf beträgt insgesamt rd. 37 Mio. m³.
- Gegenüber dem Ausbauzustand 1995 ergibt sich eine maximale Scheitelabminderung von bis zu 670 m³/s.
- Bezogen auf den Ausbauzustand 1977 beträgt die maximale Reduzierung der Scheitelwerte 1379 m³/s.
- Mit dem im Ausbauzustand 2020+ verfügbaren Rückhaltemaßnahmen ist es am Pegel Maxau möglich einen zwischen HQ₁₅₀ und HQ₂₀₀ liegenden Hochwasserscheitel auf den Bemessungsabfluss abzumindern.

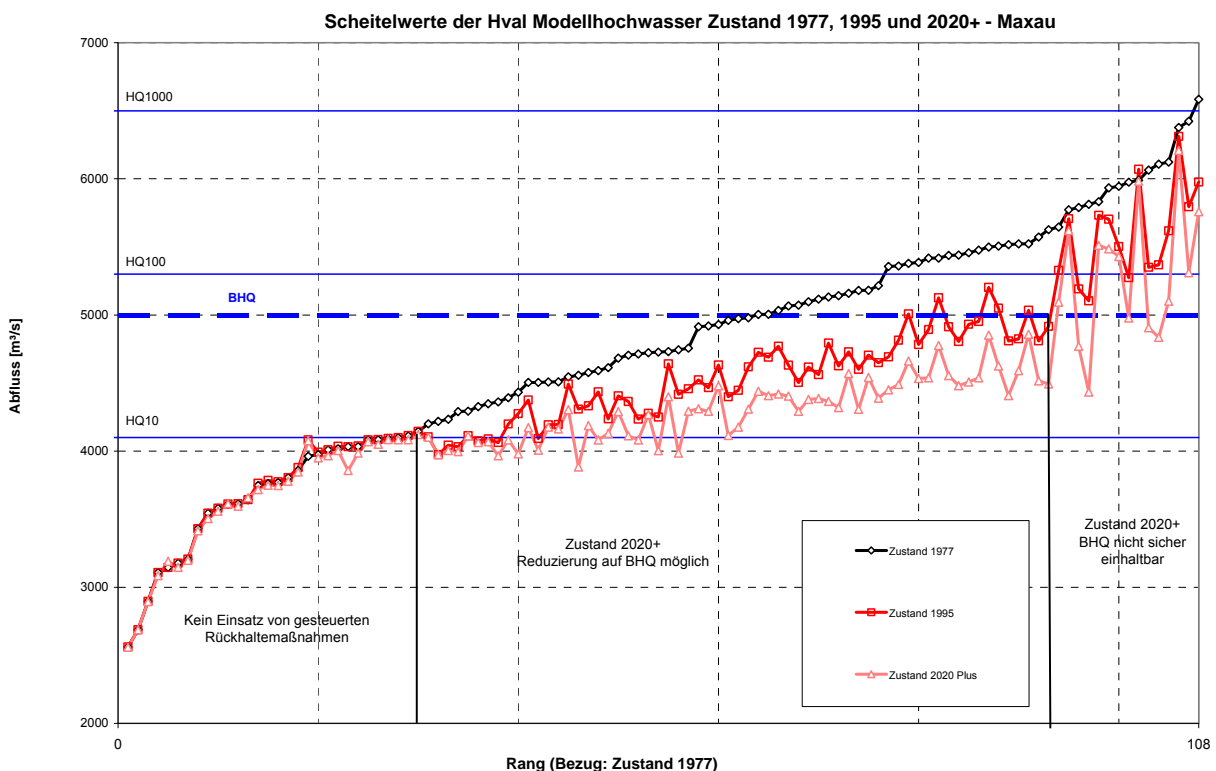


Abb. 6.9: Scheitelwerte für die Ausbauzustände 1977, 1995 und 2020+ am Pegel Maxau. Rang bezogen auf den Zustand 1977.

Wirkung der mit **2020+** einsetzbaren Maßnahmen am **Pegel Worms**:

- Zusätzlich zu den oben genannten Rückhaltemaßnahmen kommen unterhalb von Maxau noch der Polder Elisabethenwört sowie der Reserveraum Hördt hinzu.
- Die Zunahme des Rückhaltevolumens durch diese beiden gesteuerten Maßnahmen beträgt rd. 47 Mio. m³.
- Gegenüber dem Ausbauzustand 1995 beträgt die maximale Scheitelabminderung am Pegel Worms 1164 m³/s.
- Gegenüber dem Ausbauzustand 1977 wird eine maximale Reduzierung bei den Scheitelwerten von 1750 m³/s erreicht.
- Wie bereits beim Zustand 2020 gelingt es auch beim Zustand 2020+ nicht, das Hochwasser Oktober 1998 mit dem Vergrößerungsfaktor 1,70 unter das BHQ abzumindern. Der Grund hierfür liegt, wie bereits bei der Dokumentation zum Zustand 2020 erläutert, im extremen zeitlichen Vorlauf verbunden mit einem relativ hohen Scheitelwert für den Neckarzufluss. Trotz des ausgeprägten Scheitelabmindernden Einflusses der Rückhaltemaßnahmen, auch bei zahlreichen Hochwasserereignissen mit deutlich höheren Scheitelwerten als HQ₁₀₀, bleibt durch den Einfluss des Hochwassers Oktober 1998 der Bereich für den das BHQ nicht sicher einzuhalten ist gegenüber dem Zustand 2020 unverändert.

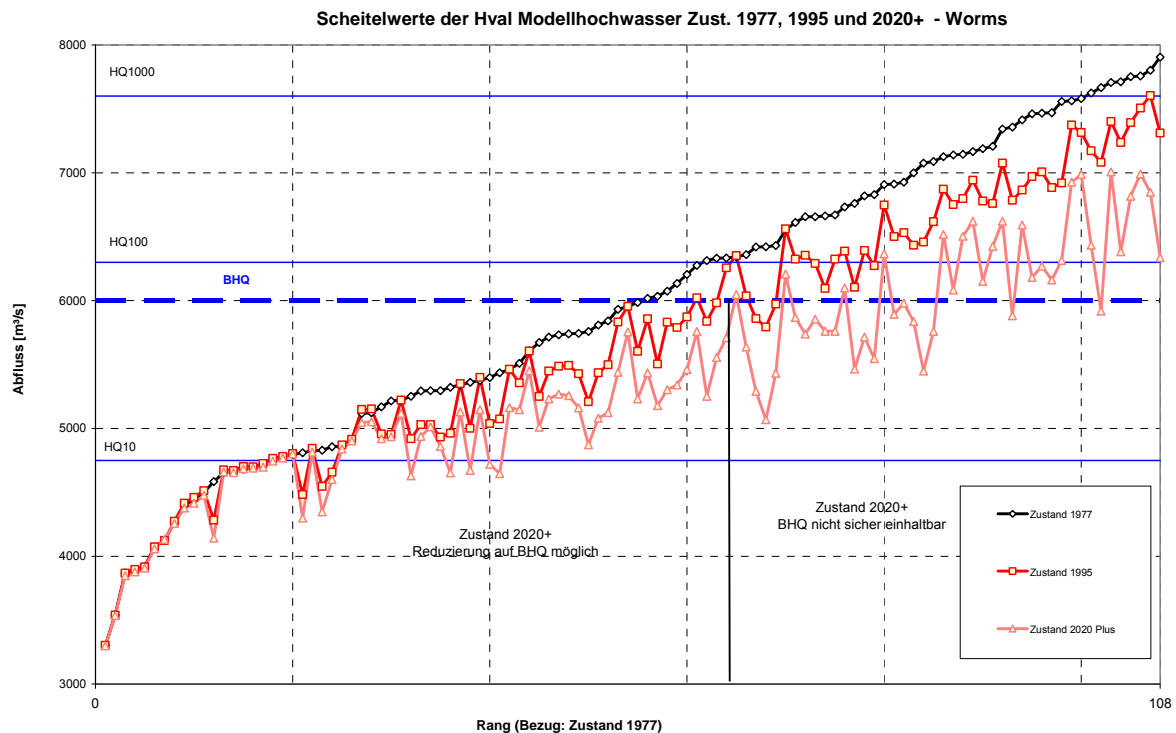


Abb. 6.10: Scheitelwerte für die Ausbauzustände 1977, 1995 und 2020+ am Pegel Worms. Rang bezogen auf den Zustand 1977.

In den Abbildungen 6.1 bis 6.10 ist der Bezugszustand 1977 gewählt worden, um den besonderen Verhältnissen am Oberrhein gerecht zu werden.

6.2 Auswertung Rheinabschnitt Oberrhein (Maxau) – Deltarhein (Lobith) im Bezugszustand 1995

Die folgenden Berechnungsergebnisse für den Rheinabschnitt Maxau bis Deltarhein (Lobith) basieren auf den Untersuchungen der LUBW, die mit Hilfe des Synoptischen Modells von Basel bis Worms und der BfG, die mit Hilfe des SOBEK Modells von Worms bis Deltarhein (Pegel Lobith) durchgeführt wurden. In den zugehörigen Darstellungen ist jeweils der zu betrachtende Ausbauzustand dem Bezugszustand 1995 gegenübergestellt.

Die grafische Darstellung der Scheitelwerte [m^3/s] sowie der Scheitelabminderungen [cm] zwischen den verschiedenen Ausbauzuständen bezogen auf den Zustand 1995 sind für den Pegel Maxau in der Abbildung 6.11 und für den Pegel Worms in der Abbildung 6.12 dargestellt.

Zusammenfassend können folgende wesentliche Punkte zur Wirkung der Rückhaltemaßnahmen am Oberrhein festgehalten werden:

- (1) Bis zu etwa einem HQ_{10} erfolgt überwiegend kein Einsatz von Rückhaltemaßnahmen. Ab dem Ausbauzustand 2020 sind durch die Vorlandauskiesung Weil – Breisach bereits auch bei geringeren Abflüssen Scheitelbeeinflussungen möglich.
- (2) Im unteren Abflussbereich sind geringe Scheitelaufhöhungen gegenüber dem Zustand 1977 möglich. Grund hierfür sind die Vorabsenkungen des Kulturwehres Kehl (ab dem Ausbauzustand 1995) und des Kulturwehres Breisach (ab dem Ausbauzustand 2020).
- (3) Je nach Scheitelverhältnis zwischen dem Rheinhochwasser vor dem Neckar und dem Neckarhochwasser selbst ergibt sich keine einheitliche Tendenz bei der Scheitelabminderung in Abhängigkeit von der Hochwasserjährlichkeit in Worms. (Beispiel Modellhochwasser Oktober 1998: Dieses Ereignis zeichnet sich durch ein extremes zeitliches Vorlaufen des Neckars sowie dessen relativ hohen Scheitelabfluss ($> 3.300 \text{ m}^3/\text{s}$) aus. Das Zusammenspiel dieser beiden Tatsachen führt dazu, dass die Rückhaltemaßnahmen auf der Strecke oberhalb von Maxau praktisch ohne Einfluss auf den Scheitelwert am Pegel Worms bleiben.)

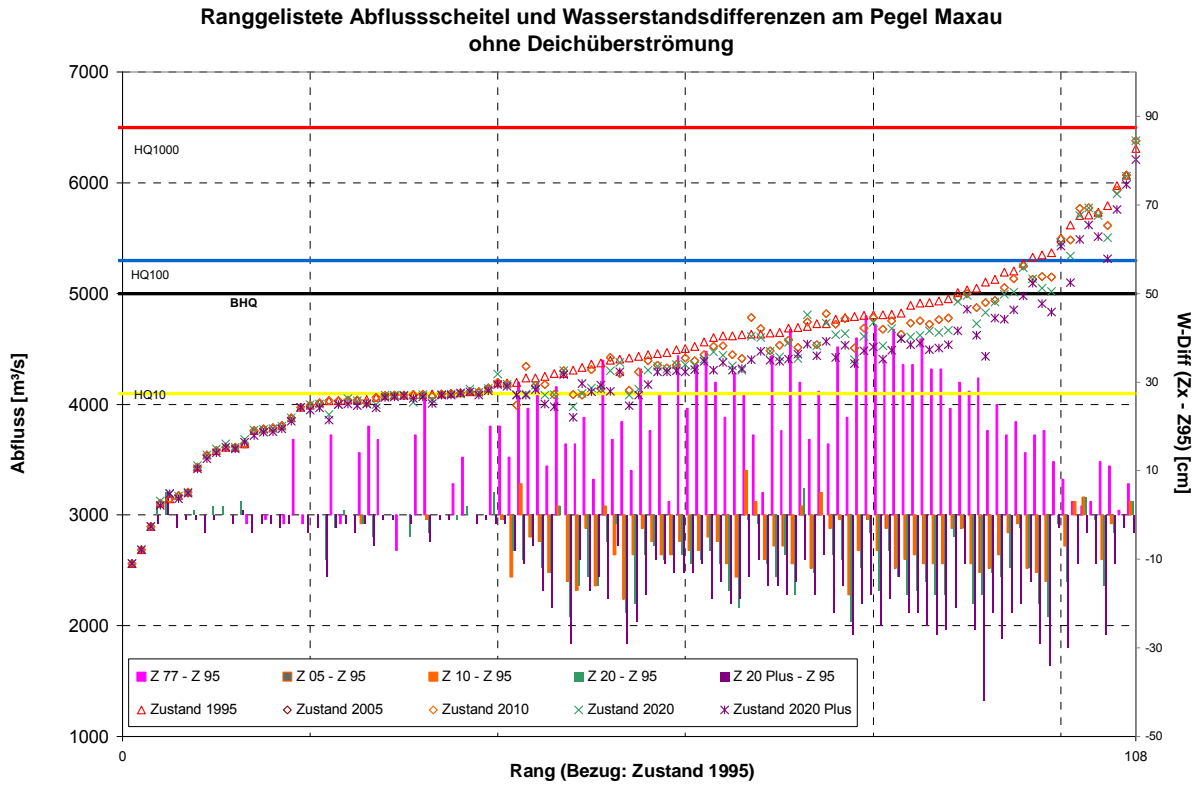


Abb. 6.11: Scheitelwerte für die Ausbautzustände 1995, 2005, 2010, 2020 und 2020+ am Pegel Maxau (berechnet ohne Deichüberströmung). Rang bezogen auf den Zustand 1995

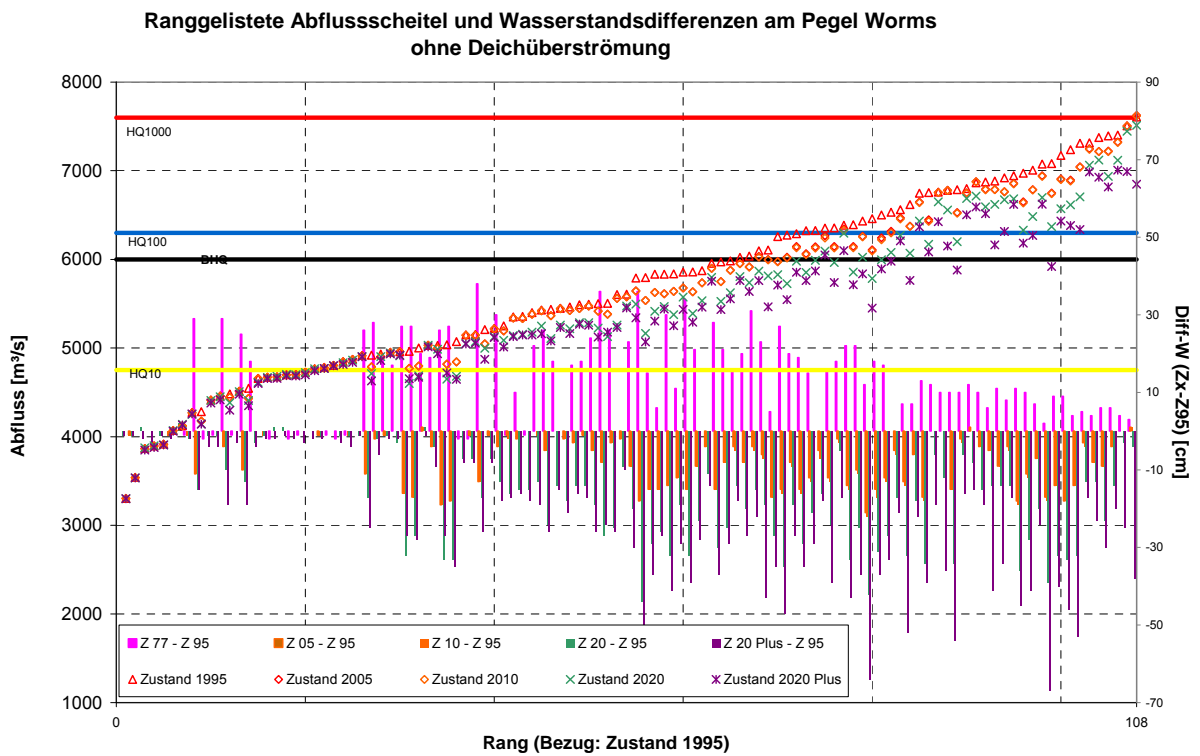


Abb. 6.12: Scheitelwerte für die Ausbautzustände 1995, 2005, 2010, 2020 und 2020+ am Pegel Worms (berechnet ohne Deichüberströmung). Rang bezogen auf den Zustand 1995.

Die Auswertung für den Pegel Mainz ohne Berücksichtigung von Deichüberströmen wird in Abbildung 6.13 vorgestellt. Anhand der rangelisteten Abflussscheitelwerte des Bezugszustands 1995 (rote Dreiecke) und den hier, als horizontale Linien dargestellten extremwertstatistischen Abflusswerten ist es möglich, den Berechnungsergebnissen eine Auftretenswahrscheinlichkeit zuzuordnen.

Man erkennt, dass am Pegel Mainz die ermittelten Scheitelabflüsse von ca. 70 Modellergebnissen den Abfluss von HQ_{10} überschreiten. HQ_{Extrem} wird nicht überschritten. Die ebenfalls auf die linke Achse bezogenen Scheitelabflüsse der Zustände 2005 (braune Kreise) und 2010 (orange Rauten) stellen die zum jeweiligen Zeitpunkt durch Maßnahmen beeinflussten Abflussscheitel der Ereignisse dar. Diese liegen größtenteils unterhalb der Abflussscheitelwerte des Zustands 1995 und drücken somit die abflussmindernde Auswirkung realisierter Maßnahmen für den jeweiligen Zustand auf den Wellenscheitel aus. In Einzelfällen kann es aufgrund instationärer Wirkung der Maßnahmen im Zusammenhang mit der Entleerung von gefüllten Räumen aber auch aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Modelle für Rheinzustände zu geringfügigen Abflussscheitelerhöhungen kommen.

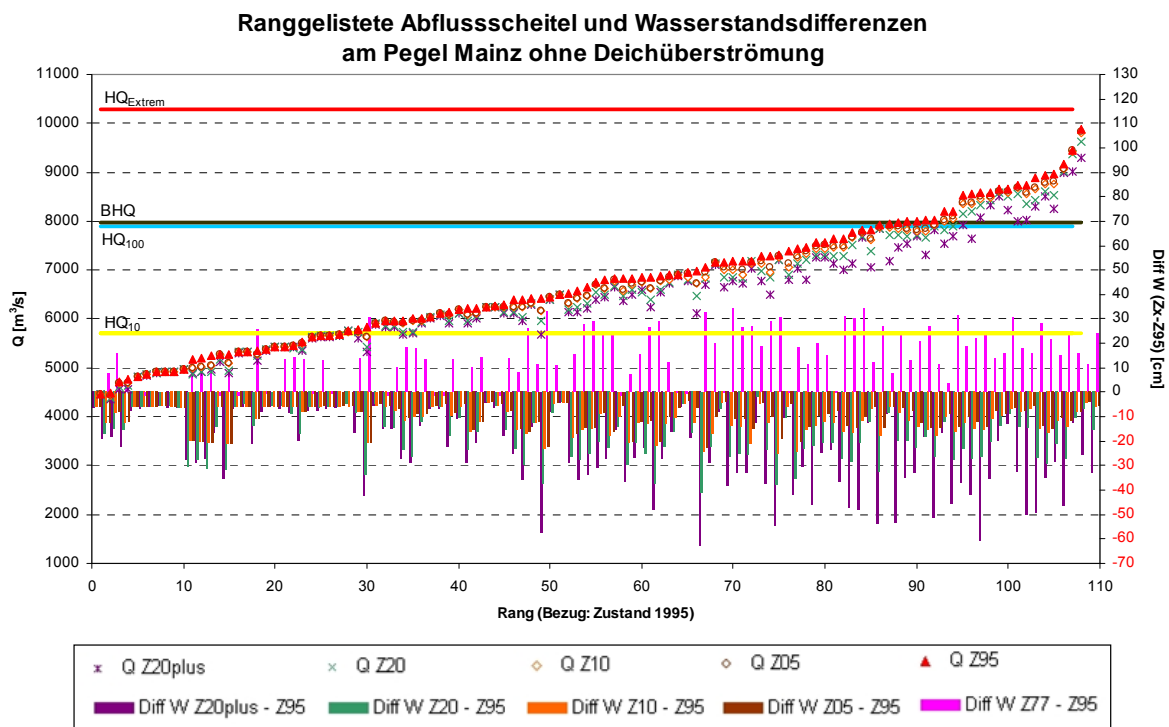


Abb. 6.13: Abflussscheitelwerte und Wasserstandsscheiteldifferenzen für die Ausbaustände 1995, 2005, 2010, 2020 und 2020+ am Pegel Mainz (berechnet ohne Deichüberströmung). Rang bezogen auf den Zustand 1995.

Im Gegensatz zu den deutlich differierenden Abflussscheiteln von 2020 (grünes x) und 2020+ (violette Sternchen) bezogen auf 1995 lässt sich in Abbildung 6.13 zwischen den Rheinzuständen 2005 und 2010 kein großer Unterschied ausmachen, was aufgrund der zwischen 2005 und 2010 zwischen Basel und Mainz zusätzlich bereitgestellten Retentionsvolumina von $\sim 8,8$ Mio. m^3 zu erwarten war. Die deutlichen Scheitelabflussminderungen für 2020 ergeben sich aufgrund der Wirkung von einem bis zu diesem Zeitpunkt geplanten zusätzlich bereitzustellenden Retentionsvolumen von $\sim 57,6$ Mio. m^3 zwischen Breisach und Mainz.

Den ereignis- und zustandsbezogenen Abflussscheiteln sind ihre jeweiligen Scheitelwasserstandsänderungen (Diff W), die auf die rechte Achse bezogen sind, zugeordnet.

Im Zustand 1977 sind die Wasserstandsscheitel deutlich höher als im Zustand 1995 (die Differenzen zu 1995 sind hier als vertikale rosa Balken dargestellt). Maßgeblicher Grund für die niedrigeren Wasserstände in 1995 sind die bereits im Zeitraum zwischen 1977 und 1995 am Oberrhein realisierten Retentionsmaßnahmen im Umfang von rund 110 Mio. m³. Zwischen 1995 und 2005 wurden ca. 57,3 Mio. m³ zusätzliches Retentionsvolumen zwischen Basel und Mainz bereitgestellt. Die hieraus resultierenden Wasserstandsscheitelminderungen bis zu 23 cm (braune Balken-Zustand 2005) unterscheiden sich kaum von den bis zu 25 cm für 2010 ermittelten Scheitelwasserstandsminderungen (orange Balken). Zwischen 2005 und 2010 wurden auf dem Rheinabschnitt zwischen Breisach und Mainz nochmals zusätzlich ~8,8 Mio m³ Retentionsvolumina realisiert, die Unterschiede in den ermittelten Wasserstandsminderungen zwischen 2005 und 2010 fallen entsprechend gering aus. Die mittlere Wasserstandsscheitelabsenkung im Bereich eines HQ₁₀₀ beträgt für 2010 13 cm, für den Zustand 2020 werden 22 cm und für 2020+ dann 36 cm gegenüber 1995 erreicht.

An der Auswertung für den Pegel Kaub ist zu erkennen, dass zwischen 1995 und 2010 aufgrund morphologischer Veränderungen des Gerinnes (Sohlenerosion) lokale Durchflussveränderungen stattgefunden haben. Vor allem bei der Betrachtung von einzelnen häufigen Hochwassern sind hier Wasserstandsminderungen trotz Abflusszunahmen zu beobachten.

Die im Einzelfall ermittelten Scheitelwasserstandsminderungen bis zu 34 cm für den Zustand 2010 und bis zu 31 cm im Zustand 2005 gegenüber dem Bezugszustand 1995 sind wiederum als vertikale Balken (orange und braun) dargestellt. Die Scheitelabfluss- und Scheitelwasserstandsminderungen sind nun zusätzlich durch die Nebenflüsse Selz, Nahe, Wisper und durch die Maßnahme Retentionspolder Ingelheim beeinflusst.

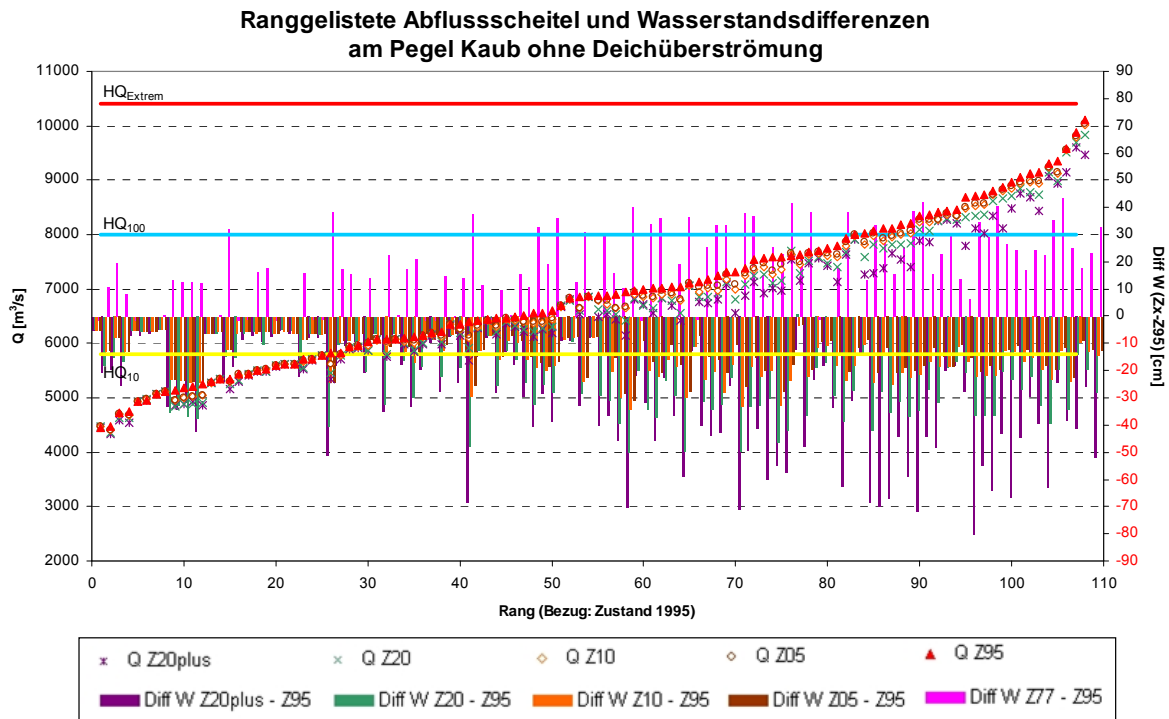


Abb. 6.14: Abflussscheitelwerte und Wasserstandsscheiteldifferenzen für die Ausbaustände 1995, 2005, 2010, 2020 und 2020+ am Pegel Kaub (berechnet ohne Deichüberströmung). Rang bezogen auf den Zustand 1995.

Die Abbildung 6.14 stellt die Auswertung der berechneten Modellhochwasserscheitel für den Pegel Kaub ohne Berücksichtigung von Deichüberströmen dar.

Für den Zustand 2010 werden am Pegel Kaub im Mittel die Wasserstandsscheitel um HQ_{100} um -19 cm und um HQ_{Extrem} um durchschnittlich -17 cm gegenüber dem Zustand 1995 abgemindert. Die Bandbreite der Scheitelwasserstandsminderung zwischen Hochwassern mit hoher (um HQ_{10}) und Hochwassern mit niedriger Wahrscheinlichkeit (HQ_{Extrem}) variiert zwischen -3 cm und -34 cm.

Im Gegensatz zu den deutlich differierenden Abflussscheiteln von 2020 (grünes x) und 2020+ (violettes Sternchen) bezogen auf 1995 lässt sich in Abbildung 6.14 zwischen den Ergebnissen für die Rheinzustände 2005 und 2010 kein großer Unterschied ausmachen, was aufgrund der zwischen 2005 und 2010 zwischen Basel und Kaub zusätzlich bereitgestellten Retentionsvolumina von $\sim 13,3$ Mio. m^3 zu erwarten war. Die deutlichen Scheitelabflussminderungen für 2020 ergeben sich aufgrund der Wirkung von einem bis zu diesem Zeitpunkt geplanten zusätzlich bereitzustellenden Retentionsvolumen von $\sim 62,1$ Mio. m^3 zwischen Breisach und Kaub.

Im Zustand 1977 sind die Wasserstandsscheitel deutlich höher als im Zustand 1995 (vertikale rosa Balken). Maßgeblicher Grund für die niedrigeren Wasserstände in 1995 sind die bereits im Zeitraum zwischen 1977 und 1995 am Oberrhein realisierten Retentionsmaßnahmen im Umfang von rund 110 Mio. m^3 . Da im IKSR-Aktionsplan Hochwasser eine zusätzliche Reduzierung der Wasserstände gegenüber dem Zustand von 1995 angestrebt wird, werden die zwischen 1977 und 1995 bereits erzielten Wasserstandsminderungen hier separat dargestellt und werden bei der Zielerreichung für die Zustände 2005 bis 2020+ nicht mit angerechnet.

Wasserstandsscheitelminderungen bis etwa 30 cm im Einzelfall weisen die Ergebnisse der Simulationsberechnungen für das Jahr 2005 (braune Balken) und 2010 (orange Balken) zum Bezugszustand 1995 auf. Zwischen 1995 und 2005 wurden ca. 57,3 Mio. m^3 zusätzliches Retentionsvolumen zwischen Basel und Kaub bereitgestellt. Da in dem Fünfjahreszeitraum zwischen 2005 und 2010 auf dem gleichen Rheinabschnitt nochmals zusätzlich $\sim 13,3$ Mio. m^3 Retentionsvolumina realisiert wurden, fallen die Unterschiede in den ermittelten Wasserstandsminderungen zwischen 2005 und 2010 entsprechend gering aus. In der Abbildung 6.14 sind folglich die jeweiligen Balken der Scheitelwasserstandsminderungen nahezu gleich hoch.

Für den Zustand 2010 werden am in Abbildung 6.15 dargestellten Pegel Andernach im Mittel die Wasserstandsscheitel um HQ_{100} um -8 cm und um HQ_{Extrem} um durchschnittlich -3 cm gegenüber dem Zustand 1995 abgemindert. Die Bandbreite der Scheitelwasserstandsminderung zwischen Hochwassern mit hoher (um HQ_{10}) und Hochwassern mit niedriger Wahrscheinlichkeit (HQ_{Extrem}) variiert zwischen +9 cm und -25 cm. Am Pegel Andernach zeigt die statistische Analyse ein nahezu gespiegeltes Phänomen im Vergleich zum knapp 68 km oberhalb gelegenen Pegel Kaub auf. Hier sind die Gerinneänderungen (Sohlaufhöhung) anhand von geringen Wasserstandserhöhungen selbst bei kleinen Abflussminderungen erkennbar. Die vereinzelt auftretenden geringen Abflussminderungen können allerdings auch mit dem im Wellenablauf dieser Ereignisse erkennbaren Wiederentleeren von aufgefüllten Räumen im Zusammenhang stehen. Auch wird hier erstmals die Wirkung des bedeutenden Nebenflusses Mosel auf den Wellenablauf abgebildet. Beispielsweise führen im Einzelfall -73 m³/s Abflussscheitelminderung in der Klasse um HQ_{Extrem} für den Zustand 2010, zu +1 cm Wasserstandserhöhung (siehe Anhang) beim Modellhochwasser 1998 VGMax. Für den Zustand 2020+ werden bis zu 59 cm Wasserstandsscheitelerminderung erreicht.

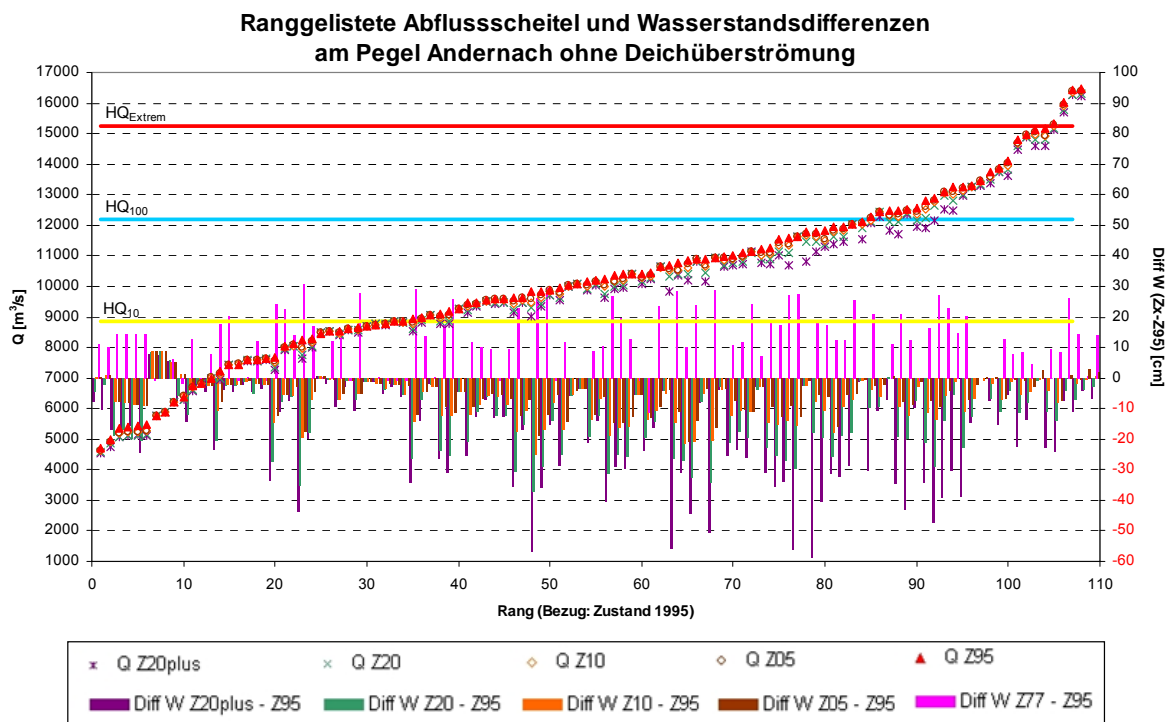


Abb. 6.15: Abflussscheitelwerte und Wasserstandsscheiteldifferenzen für die Ausbaustände 1995, 2005, 2010, 2020 und 2020+ am Pegel Andernach (berechnet ohne Deichüberströmung). Rang bezogen auf den Zustand 1995.

Abbildung 6.16 bildet die Abflussscheitel am Pegel Köln und die abschnittsgemittelten Wasserstandsminderungen zwischen der Sieg- und Ruhrmündung ab. Etwas über 30% der Modellhochwasser lassen sich in den Bereich mit einem Abflussscheitel im Bereich HQ_{100} oder größer einordnen, wobei hiervon 12% der Klasse um HQ_{Extrem} zuzuordnen sind. Für den Zustand 2010 werden im Bereich zwischen der Sieg- und Ruhrmündung im Mittel die Wasserstandsscheitel um HQ_{100} um 0 cm und um HQ_{Extrem} um durchschnittlich - 1 cm gegenüber dem Zustand 1995 abgemindert. Die Bandbreite der Scheitelwasserstandsänderung zwischen Hochwassern mit hoher (um HQ_{10}) und Hochwassern mit niedriger Wahrscheinlichkeit (HQ_{Extrem}) variiert zwischen +9 cm und -14 cm. In Einzelfällen stellen sich auch für diesen Rheinabschnitt geringfügige Wasserstandserhöhungen ein. Die Entleerung von gefüllten Räumen und entsprechendes Überlagern mit Nebenflusswellen führt zu vereinzelt auftretenden Wasserstandserhöhungen. Anhand der Ergebnisse für den Hochwasserbereich um HQ_{10} lässt sich, wie schon für den Pegel Andernach, eine Änderung der Durchflussverhältnisse aufgrund von Gerinneänderungen (Anlandung) zwischen 1995 und 2010 nachvollziehen. Für den Zustand 2020 wird eine durchschnittliche Wasserstandsscheitelminderung von -4 cm (bei HQ_{100}) bis -7 cm (bei HQ_{Extrem}) erreicht. Wenn die Modellhochwasser für den Zustand 2020+ (lila Balken) simuliert werden ergibt sich für ein Ereignis um HQ_{10} bis zu -44 cm Wasserstandsscheitelminderung.

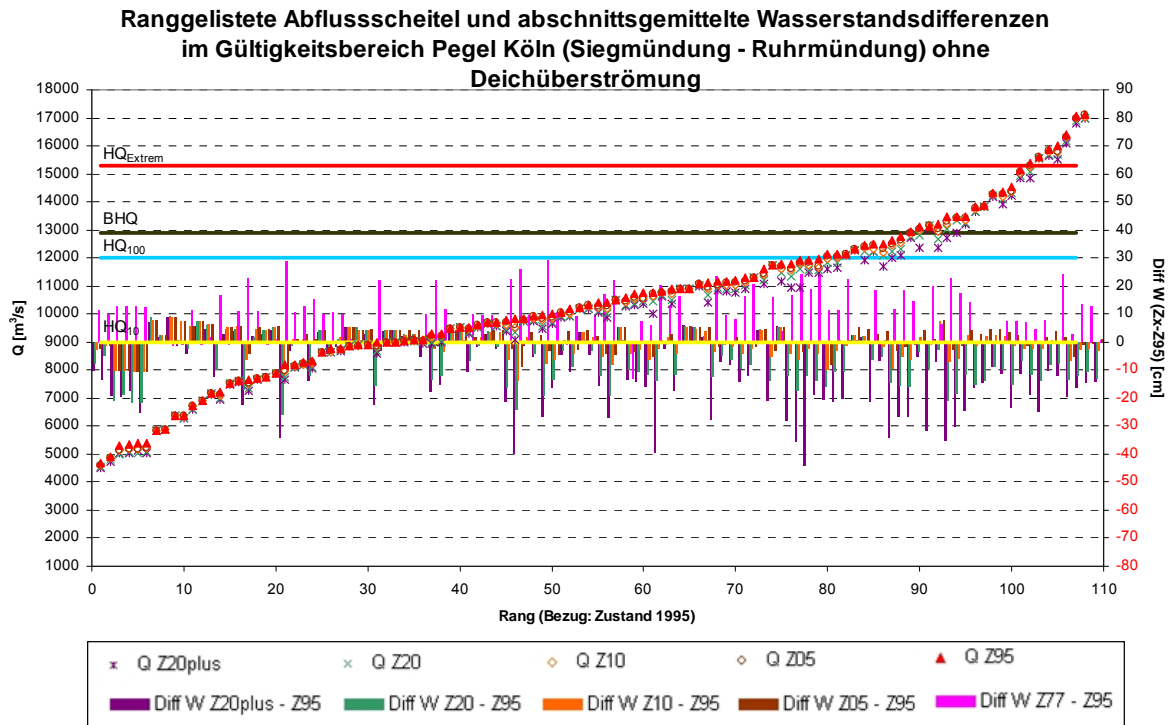


Abb. 6.16: Abflussscheitelwerte und abschnittsgemittelte Wasserstandsscheiteldifferenzen für die Ausbaustände 1995, 2005, 2010, 2020 und 2020+ im Gewässerabschnitt Sieg- bis zur Ruhrmündung (Pegel Köln) (berechnet ohne Deichüberströmung). Rang bezogen auf den Zustand 1995.

In Abbildung 6.17 sind Abflussscheitel am Pegel Lobith und abschnittsgemittelte Wasserstandsscheiteldifferenzen für den Bereich Ruhrmündung bis Pannerdensche Kop für die Zustände 1977, 1995, 2005, 2010, 2020 und 2020+ dargestellt. Im Mittel werden die Wasserstandsscheitel des Zustands 2010 um HQ_{100} um +1 cm und um HQ_{Extrem} um durchschnittlich +3 cm gegenüber dem Zustand 1995 erhöht. Die Bandbreite der Scheitelwasserstandsminderung zwischen Hochwassern mit hoher (um HQ_{10}) und Hochwassern mit niedriger Wahrscheinlichkeit (HQ_{Extrem}) variiert für 2010 zwischen +7 cm und -12 cm. In Einzelfällen ergeben sich in allen untersuchten Abflussbereichen geringfügige Wasserstandserhöhungen.

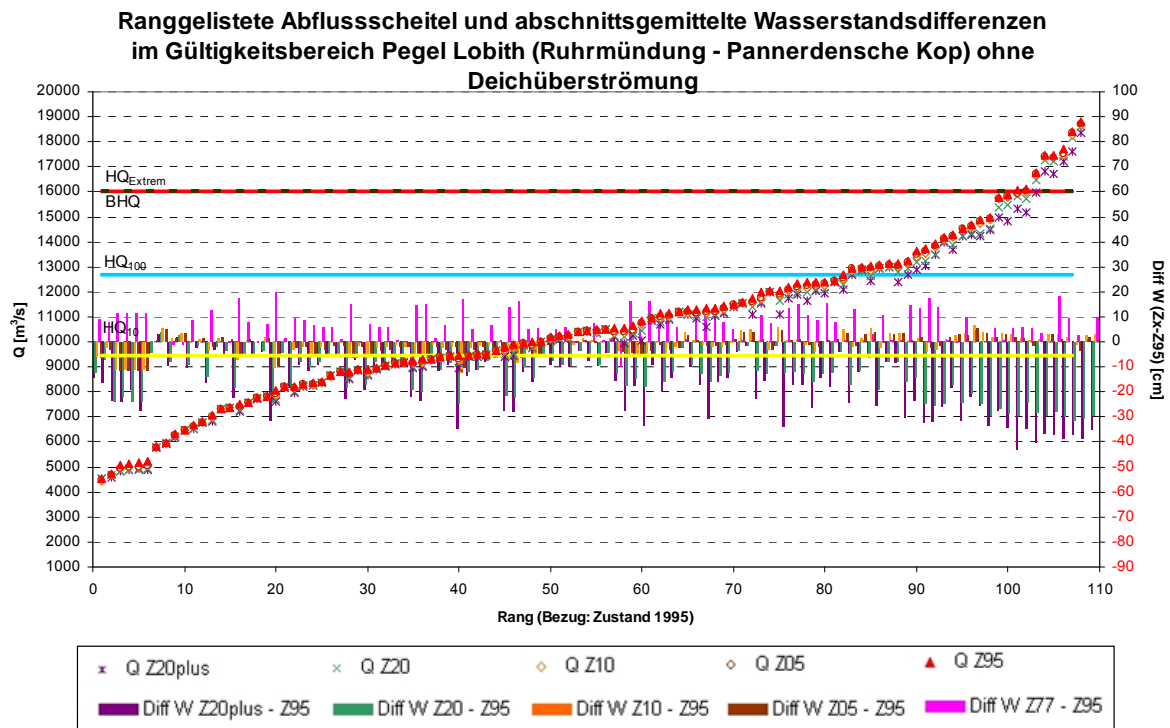


Abb. 6.17: Abflussscheitelwerte und abschnittsgemittelte Wasserstandsscheiteldifferenzen für die Ausbauzustände 1995, 2005, 2010, 2020 und 2020+ im Gewässerabschnitt Ruhrmündung bis zum Pannerdensche Kop (Pegel Lobith) (berechnet ohne Deichüberströmung). Rang bezogen auf den Zustand 1995.

Anhand Abbildung 6.18 ist zu erkennen das für den Zustand 2010 im Bereich der Gewässer Nederrijn und Lek im Mittel die Wasserstandsscheitel um HQ_{100} um -3 cm und um HQ_{Extrem} um durchschnittlich -2 cm gegenüber dem Zustand 1995 abgemindert werden. Die Bandbreite der Scheitelwasserstandsminderung zwischen Hochwassern mit hoher (um HQ_{10}) und Hochwassern mit niedriger Wahrscheinlichkeit (HQ_{Extrem}) variiert für 2010 zwischen +1 cm und -7 cm. Die maximale Wasserstandsscheitelminderung beträgt beim Zustand 2020+ 32 cm im Bereich HQ_{Extrem} .

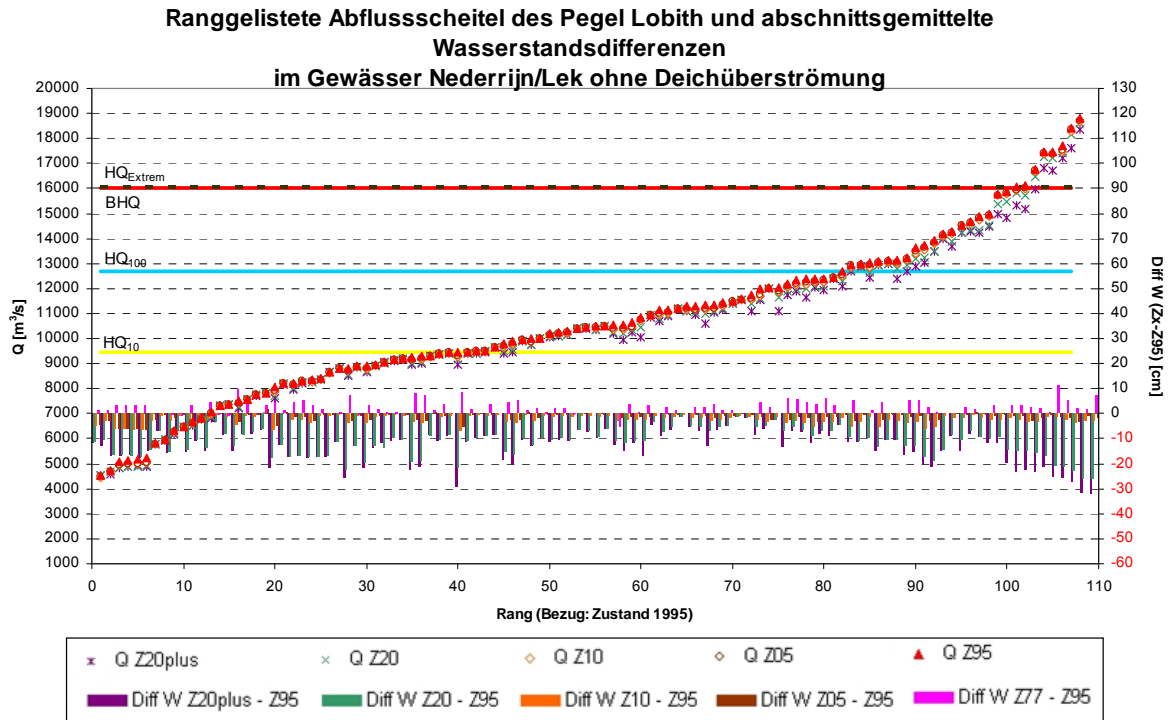


Abb. 6.18: Abflussscheitelwerte und abschnittsgemittelte Wasserstandsscheiteldifferenzen für die Ausbauzustände 1995, 2005, 2010, 2020 und 2020+ im Gewässer Nederrijn/ Lek (Pegel Lobith) (berechnet ohne Deichüberströmung). Rang bezogen auf den Zustand 1995.

Für den Zustand 2010 werden, wie aus Abbildung 6.19 ersichtlich für den Waal im Mittel die Wasserstandsscheitel um HQ_{100} und um HQ_{Extrem} um durchschnittlich -5 cm gegenüber dem Zustand 1995 abgemindert. Die Bandbreite der Scheitelwasserstandsminderung zwischen Hochwassern mit hoher (um HQ_{10}) und Hochwassern mit niedriger Wahrscheinlichkeit (HQ_{Extrem}) variiert zwischen 0 cm und -10 cm. Für den Zustand 2020 werden bei HQ_{100} im Mittel -19 cm und bei Hochwassern im Bereich HQ_{Extrem} durchschnittlich -25 cm Wasserstandsscheitelminderung erreicht. Für den Zustand 2020+ wird bei HQ_{Extrem} eine Wasserstandsscheitelminderung von bis zu -42 cm simuliert.

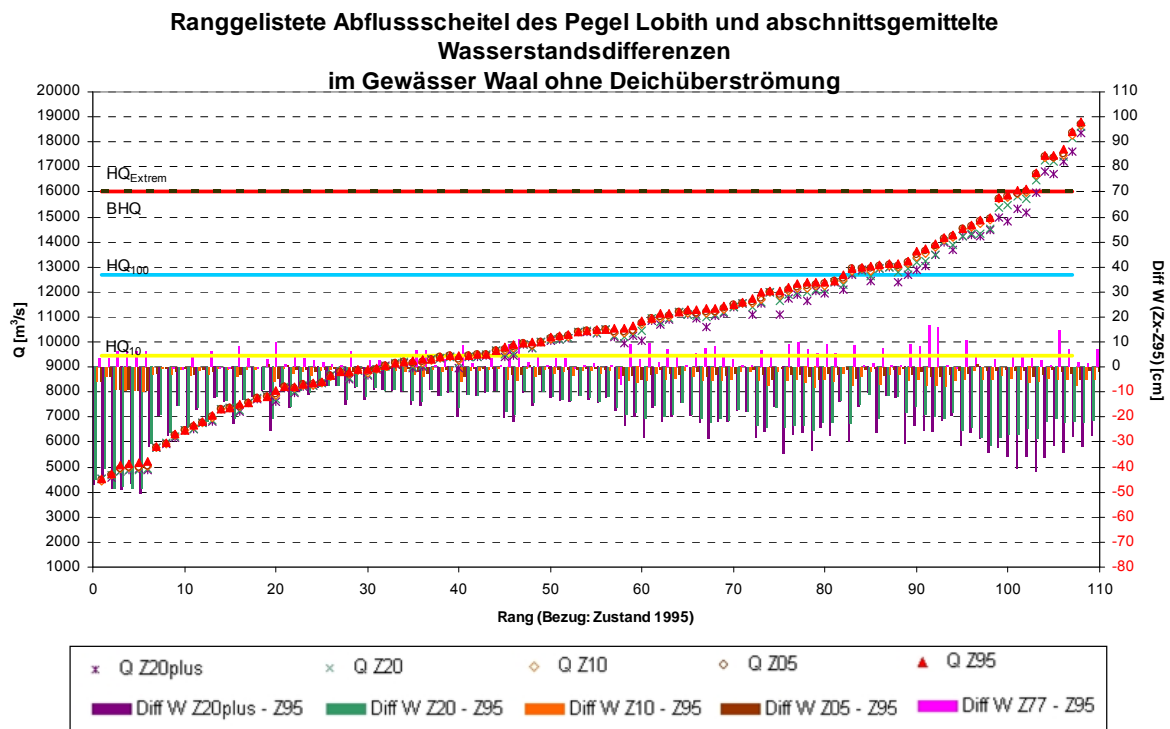


Abb. 6.19: Abflussscheitelwerte und abschnittsgemittelte Wasserstandsscheiteldifferenzen für die Ausbaustände 1995, 2005, 2010, 2020 und 2020+ im Gewässer Waal (Pegel Lobith) (berechnet ohne Deichüberströmung). Rang bezogen auf den Zustand 1995.

Abbildung 6.20 zeigt für den Zustand 2010 das am Gewässer IJssel im Mittel die Wasserstandsscheitel um HQ_{100} um -3 cm und um HQ_{Extrem} um durchschnittlich -5 cm gegenüber dem Zustand 1995 abgemindert werden. Die Bandbreite der Scheitelwasserstandsminderung zwischen Hochwassern mit hoher (um HQ_{10}) und Hochwassern mit niedriger Wahrscheinlichkeit (HQ_{Extrem}) variiert zwischen 0 cm und -8 cm. Die Wasserstandsminderungen, insbesondere im Zustand 2020+, fallen deutlich stärker ins Gewicht. Die Wasserstandsscheitelminderungen über 70 cm sind hierbei hauptsächlich der Maßnahme "Veesen Wapenveld" zuzuordnen.

Bei den niederländischen Gewässerabschnitten ist ein Sprung in der Minderungswirkung von Maßnahmen bzw. Deichüberströmen in der Klasse um HQ_{Extrem} erkennbar. Dies kann auf die in den Niederlanden, vor allem nach 2020, berücksichtigten hydraulischen Maßnahmen zurückgeführt werden.

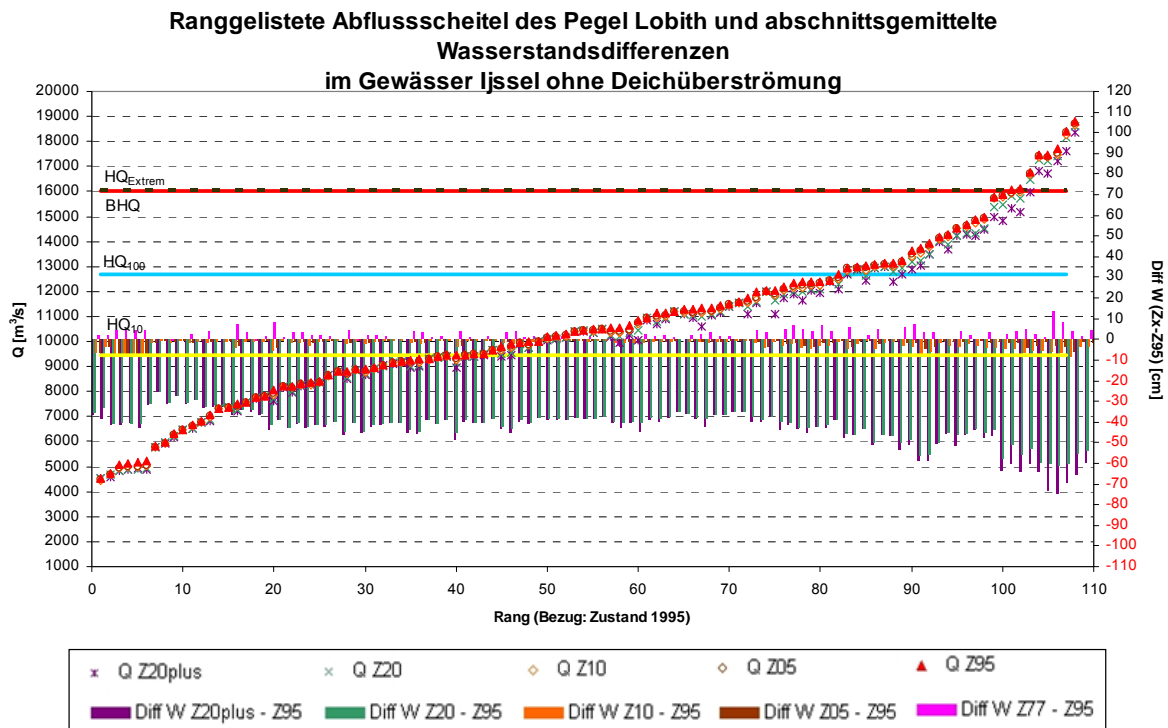


Abb. 6.20: Abflussscheitelwerte und abschnittsgemittelte Wasserstandsscheiteldifferenzen für die Ausbaustände 1995, 2005, 2010, 2020 und 2020+ im Gewässer IJssel (Pegel Lobith) (berechnet ohne Deichüberströmung). Rang bezogen auf den Zustand 1995

7. Untersuchung der Hochwasserminderung mit Berücksichtigung von Deichüberströmungen

Mit den Begriffen Deichüberströmung ist ggf. auch ein Überströmen von weiteren Hochwasserschutzanlagen (z.B. auch Mauern) gemeint. Insbesondere im Bereich des Ober rheins wird hierfür auch der Begriff Dammüberströmung verwendet.

7.1 Methodik und Berechnungsgrundlagen

Insbesondere bei Modellhochwassern, deren Scheitelabflüsse den Bemessungsabfluss überschreiten, ist die Abflussminderung durch Deichüberströmung und ggf. Deichbrüche von wesentlicher Bedeutung für den Hochwasserverlauf flussabwärts und damit auch auf die Wirkung der dort getroffenen Wasserstandabsenkenden Maßnahmen. Daher wurden exemplarisch für die Zustände 1995, 2010 und 2020 Berechnungen durchgeführt, um die

kombinierte Wirkung von Rückhaltemaßnahmen und Deichüberströmungen für 2010 und 2020 gegenüber dem Referenzzustand 1995 zu untersuchen. Prinzipielle Aspekte zur Beeinflussung von Wellenverlauf und –scheitel durch Überströmen von Deichen finden sich in der Anlage 6.

Grundsätzlich liegen die als Folge von Deichüberströmen potentiell überfluteten Flächen entlang des Rheins im Wesentlichen am Oberrhein, Niederrhein und in den Niederlanden (Anlage 7).

Aufgrund der sehr hohen Leistungsfähigkeit der Rheindeiche im staugeregelten Bereich zwischen Basel und Iffezheim überschreiten selbst die größten HVAL-Modellhochwasser nicht das Abflussvermögen der Deiche in diesem Streckenbereich. Deshalb ist eine Berücksichtigung von möglichen Überflutungen als Folge von Deichüberströmungen im Bereich zwischen Basel und Iffezheim nicht erforderlich. Des Weiteren wurde auf eine modelltechnische Wiedergabe von Überflutungen in den Niederlanden verzichtet. Zum einen ist das dortige System so komplex, das eine eindimensionale Modellierung kaum zu bewerkstelligen ist. Zum anderen kann davon ausgegangen werden, dass bei der gewählten Größenordnung der Modellhochwässer die Hochwasserwellen durch die Überflutungen im Einzugsgebiet oberhalb von Lobith sehr stark gedämpft werden, und die Abflusskapazität nicht oder kaum überschreiten.

Aufgrund der unterschiedlichen modell-technischen Wiedergabe wird im Folgenden zunächst auf die Berechnungsmethode für den Oberrhein eingegangen und danach auf die für den Niederrhein.

7.1.1 Lage der berücksichtigten Überflutungsflächen und Volumina am Oberrhein

Einen Überblick über die bei den Berechnungen von HVAL berücksichtigten Überflutungsflächen in Baden-Württemberg und Rheinland Pfalz findet sich in den Abbildungen der Anlagen 7 b und c.

Darüber hinaus wurden auch 5 Gebiete in Hessen berücksichtigt. Alle berücksichtigten Gebiete mit Lage und Gesamtvolumen sind in Tabelle 7.1 wiedergegeben.

Für die rheinland-pfälzischen und hessischen Gebiete wurden GIS-basiert die theoretisch maximal möglichen Überflutungsflächen ermittelt und die zugehörigen Volumina abgeschätzt. Für Baden-Württemberg wurden die Ergebnisse des bei der LUBW operationell einsetzbaren 2D-Modell herangezogen. Dabei wurde für einen stationären Abfluss im Rhein (5.000 m³/s Pegel Maxau; 6.000 m³/s Pegel Worms) der stationäre Endzustand der im Falle von Deichbrüchen maximal möglichen Überflutung entlang der baden-württembergischen Rheinseite zwischen Iffezheim und der hessischen Landesgrenze berechnet.

Frankreich hat den Wunsch geäußert, dass in Zukunft die Überflutungsflächen auf der französischen Uferseite zwischen Iffezheim und Lauterburg berücksichtigt werden. In diesem Bereich sind rechtsrheinisch bereits erhebliche Volumina durch Überflutungsflächen berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass für die Überflutung sowohl rechts- als auch linksrheinisch gleiche Randbedingungen anzusetzen sind. Die Berücksichtigung der französischen Flächen hätte somit im Wesentlichen zu einer Umverteilung der zurückgehaltenen Volumina in diesem Abschnitt geführt. Angesichts der Fristen war die EG HVAL in diesem Stadium der Auffassung, dass die zusätzliche Wirkung der Überflutungsflächen auf der französischen Uferseite als vernachlässigbar gering beurteilt werden kann. Für den Fall einer späteren, ergänzenden Modellierung würden die entsprechenden Volumina berechnet und in Tabelle 7.1 aufgenommen.

| Teilraum | Lage des Teilraumes [von Rhein-km bis Rhein-km] | | Bundesland | rechts- / links-rheinisch | maximale Überflutungsfläche [km ²] | Maximales Volumen über DGM [Mio. m ³] | Netto-Ret. Volumen [Mio. m ³] |
|--------------------------|--|-------|-------------------|---------------------------|--|---|---|
| | | | | | | | |
| BW 1 | 332 | 344 | Baden-Württemberg | rechts | 36 | 51 | 25 |
| BW 2 | 344 | 359 | Baden-Württemberg | rechts | 56 | 84 | 42 |
| RP G2g | 354 | 381 | Rheinland-Pfalz | links | 62 | 147 | 74 |
| BW 3 | 359 | 371 | Baden-Württemberg | rechts | 36 | 93 | 46 |
| BW 4 | 371 | 396 | Baden-Württemberg | rechts | 101 | 294 | 147 |
| RP G12g | 390 | 400 | Rheinland-Pfalz | links | 13 | 32 | 16 |
| BW 5 | 396 | 407 | Baden-Württemberg | rechts | 25 | 72 | 36 |
| RP G15g | 400 | 408 | Rheinland-Pfalz | links | 9 | 27 | 13 |
| RP G15-G16g | 408 | 420 | Rheinland-Pfalz | links | 32 | 96 | 48 |
| BW 6 | 415 | 427 | Baden-Württemberg | rechts | 28 | 28 | 14 |
| RP G17g | 422 | 443 | Rheinland-Pfalz | links | 80 | 219 | 109 |
| BW 14 | 431 | 438 | Baden-Württemberg | rechts | 71 | 41 | 20 |
| Landesgrenze - Weschnitz | 437 | 453 | Hessen | rechts | 76 | 165,9 | 80 |
| Weschnitz - Winkelbach | 453 | 461.5 | Hessen | rechts | 28 | 52 | 26 |
| G8g | 443 | 480 | Rheinland-Pfalz | Links | 74 | 166 | 83 |
| Winkelbach - Modau | 461.5 | 470 | Hessen | rechts | 19 | 33 | 16,5 |
| Modau - Sandbach | 470 | 471 | Hessen | rechts | 8 | 7 | 3,5 |
| G11g | 480 | 485 | Rheinland-Pfalz | links | 0,3 | 0,3 | 0,15 |
| Sandbach - Main | 471 | 496 | Hessen | rechts | 146 | 316 | 158 |
| G7g | 485 | 494 | Rheinland-Pfalz | links | 11 | 39,4 | 19,7 |
| G6g | 494 | 505 | Rheinland-Pfalz | links | 2 | 2,2 | 1,1 |
| G5g | 510 | 518 | Rheinland-Pfalz | links | 9 | 23,2 | 11,6 |
| G4g | 518 | 523 | Rheinland-Pfalz | links | 2 | 1,6 | 0,8 |
| | | | | | | | |
| Summe: | | | | | 924 | 1991 | ~ 990 |

Tab. 7.1: Lage, Flächen und Volumina für die maximalen Überflutungsflächen in Baden-Württemberg, Rheinland Pfalz und Hessen.

7.1.2 Modelltechnische Umsetzung am Oberrhein

Die Strecke am Oberrhein wird bis Worms im Synoptischen Modell abgebildet und ab Worms im SOBEK-Modell. Prinzipiell wurde angestrebt, die Art der Wiedergabe des Überflutungsgeschehens in den Modellen in einer vergleichbaren Weise zu realisieren.

Für die **Strecke von Basel bis Worms** wurde wie folgt vorgegangen, um den Wellenablauf für Extremhochwasser bei einer Überschreitung der Bemessungsabflüsse abzuschätzen:

- (1) Es wird davon ausgegangen, dass eine Überschreitung des Bemessungsabflusses um etwa bis zu 500 m³/s noch innerhalb des Freibordes abfließen kann und keine Deichbrüche oder Deichüberströmungen auftreten.

- (2) Bei einer Überschreitung des Bemessungsabflusses um mehr als 500 m³/s wird angenommen, dass bereichsweise Überströmungen der Hochwasserdämme/bzw. -deiche auftreten (ohne dass es zu Deich- bzw. Deichbrüchen kommt).
- (3) Bei der o.g. Überschreitung des Bemessungsabflusses (vgl. Tabelle 5.2 in Kapitel 5) um mehr als 500 m³/s wird zugrunde gelegt, dass 10% der Deichstrecken eines Überflutungsraumes überströmt werden.
- (4) Die überströmten Deichbereiche werden wenn möglich etwa in der Mitte zwischen der südlichen und der nördlichen Begrenzung der jeweiligen Überflutungsfläche angesetzt.
- (5) Das Rückströmen in den Rhein erfolgt sobald der Abfluss wieder kleiner dem Bemessungsabfluss plus 500 m³/s ist, vorausgesetzt ein Rückströmen ist hydraulisch möglich.
- (6) Die Größenordnung der Überströmung wurde in Abhängigkeit vom Rheinabfluss vereinfacht als vollkommener Überfall hydraulisch berechnet. Für das Einströmen wird der über stationäre Berechnungen ermittelte Wasserspiegel für den Bemessungsabfluss 5.500 m³/s als Sohlhöhe/Schwellhöhe angenommen. Für das Zurückströmen wird hierfür die Deichfußhöhe angenommen, außerdem wird für dessen Berechnung eine überströmte Länge von 100 m angesetzt.
- (7) Von dem maximalen Volumen jeder Überflutungsfläche (s. Tabelle 7.1) wird für die Modellberechnungen vereinfacht 50 % als maximal wirksames Volumen (Nettovolumen) angesetzt (Grund hierfür: eine 100% Füllung der Überflutungsfläche kann nur dann erfolgen, wenn die Deichüberströmung (1.) im jeweils südlichsten Teilbereich der Überflutungsfläche erfolgt und (2.) in den jeweils nördlichsten Teilbereichen der Überflutungsfläche keine Rückbrüche bzw. Deichöffnungen von Landseite in Richtung Rhein erfolgen).
- (8) Nur Überflutungsgebiete mit einem Nettovolumen von mindestens 5 Mio. m³ werden berücksichtigt.

Für die **Strecke am Oberrhein ab Worms**, die mit SOBEK berechnet wurde, wurde auf die gleiche Weise vorgegangen mit den folgenden Ausnahmen:

- (1) Es werden auch Überflutungsgebiete mit einem Nettovolumen von weniger als 5 Mio. m³ berücksichtigt.
- (2) Bei Erreichen des Nettovolumens wird der Zufluss in die Überflutungsfläche nicht gestoppt, sodass auch mehr Wasser in die Überflutungsfläche einströmen kann, solange der Wasserstand im Fluss höher ist als im Modell realisierten Überflutungsraum.
- (3) Im SOBEK-Modell ist es nicht möglich, Auslauf und Einlauf an unterschiedlichen Stellen zu verorten. Deshalb findet im SOBEK-Modellbereich das Rückströmen an der gleichen Stelle statt wie das Einströmen.
- (4) Die Länge der Überlaufschwelle des Rückströmbereiches ist nicht, wie im Syn-1D-Modellbereich, 100 m lang, sondern immer so lang wie die Zulaufschwelle (also 10% der Deichlänge des einzelnen Überflutungsraums). Während der Phase des Zurückströmens wird die Schwelle langsam bis auf das Niveau des Bodens des Überflutungsraums abgesenkt, und zwar in der Geschwindigkeit, wie der Wasserstand im Fluss mit der ablaufenden Hochwasserwelle abfällt.

Aus Zeitgründen konnten im Projektablauf diese Differenzen zwischen SYNHP- und SOBEK-Modell nicht mehr angepasst werden. Da dies jedoch abgesehen von der unter Punkt (3) genannten Realisierung modelltechnisch möglich ist, sollte bei einem erneuten Einsatz von SOBEK für diese Fragestellung eine Modellangleichung erfolgen (siehe hierzu auch HKV, 2011). Die Tabelle 7.2 gibt einen Überblick über die wichtigsten in den Modellen verwirklichten Parameter.

| Teilraum | Lage der fiktiven Deichüberströmung [Rhein-km] | rechts- / links-rheinisch | Netto-Ret. Volumen [Mio. m ³] | Beginn Überströmung bei ca. | Modell |
|--------------------------|--|---------------------------|---|-----------------------------|--------|
| BW 1 | 338 | rechts | 25 | > 5.500 m ³ /s | SynMod |
| BW 2 | 355 | rechts | 42 | > 5.500 m ³ /s | SynMod |
| RP G2g | 367 | links | 74 | > 5.500 m ³ /s | SynMod |
| BW 3 | 367 | rechts | 46 | > 5.500 m ³ /s | SynMod |
| BW 4 | 384 | rechts | 147 | > 5.500 m ³ /s | SynMod |
| RP G12g | 398 | links | 16 | > 5.500 m ³ /s | Syn-1D |
| BW 5 | 402 | rechts | 36 | > 5.500 m ³ /s | Syn-1D |
| RP G15g | 404 | links | 13 | > 5.500 m ³ /s | Syn-1D |
| RP G15-G16g | 411 | links | 48 | > 5.500 m ³ /s | Syn-1D |
| BW 6 | 418 | rechts | 14 | > 5.500 m ³ /s | Syn-1D |
| RP G17g | 425 | links | 109 | > 5.500 m ³ /s | Syn-1D |
| BW 14 | 435 | rechts | 20 | > 6.500 m ³ /s | Syn-1D |
| Landesgrenze - Weschnitz | 445 | rechts | 80 | > 6.500 m ³ /s | SOBEK |
| Weschnitz - Winkelbach | 457 | rechts | 26 | > 6.500 m ³ /s | SOBEK |
| Gg8 | 461.5 | links | 83 | > 6.500 m ³ /s | SOBEK |
| Winkelbach - Modau | 466 | rechts | 17 | > 6.500 m ³ /s | SOBEK |
| Modau – Sandbach | 471 | rechts | 4 | > 6.500 m ³ /s | SOBEK |
| Gg11 | 482.5 | links | 0,15 | > 6.500 m ³ /s | SOBEK |
| Sandbach - Main | 483 | rechts | 158 | > 6.500 m ³ /s | SOBEK |
| Gg7 | 489.5 | links | 20 | > 6.500 m ³ /s | SOBEK |
| Gg6 | 499.5 | links | 1 | > 8.460 m ³ /s | SOBEK |
| Gg5 | 514 | links | 12 | > 8.460 m ³ /s | SOBEK |
| Gg4 | 520.5 | links | 1 | > 8.460 m ³ /s | SOBEK |

Tab. 7.2: Parametrisierung der Überflutungsflächen in den Modellen

Weitergehende Informationen finden sich für die mit SYNHP berechnete Modellstrecke in LUBW, 2011 und für die mit SOBEK (vgl. IKSR-Bericht 153 („HVAL-Nachweis 2005“)) berechnete Modellstrecke am Oberrhein in HKV, 2011.

Entsprechend dem zeitlich-räumlichen Hochwasserablauf ergibt sich bei Extremhochwasser i.d.R. eine zeitliche Abfolge bei der Deichüberströmung und Füllung von links- und rechtsrheinischen Überflutungsflächen von Süd nach Nord.

In Abbildung 7.1 ist anhand des HVAL-Modellhochwassers Feb. 1999 - VGF 1,5 beispielhaft die Wirkung einer Deichüberströmung am Oberrhein dargestellt:

- Flussaufwärts des Bereichs der Deichüberströmung beträgt der Scheitelabfluss im Rhein rund 6.200 m³/s (blaue Linie)
- Ab einem Wasserstand, der im ansteigenden Ast des Hochwassers etwa 5.500 m³/s entspricht, setzt die Wirkung der Deichüberströmung ein. Bis zu 500 m³/s strömen in das Überflutungsgebiet (rote Linie)

- Die resultierende Hochwasserwelle des Rheins flussabwärts der Überflutungsfläche zeigt die gestrichelte graue Linie.
- Nachdem der Rheinwasserstand an der Nordgrenze des Überflutungsgebietes nach Durchgang des Hochwasserscheitels fällt, erfolgt eine weitgehende Entleerung der Überflutungsfläche entsprechend den hydraulischen Randbedingungen durch Rückströmung des Wassers in den Rhein (grüne Linie)
- Flussabwärts der Deichüberströmung wird der Scheitelabfluss im Rhein hierdurch abgemindert auf etwa $5.700 \text{ m}^3/\text{s}$ (dünne graue Linie)

Auch mehrfache Deichbrüche entlang des Rheinstroms sind für die zugrunde liegenden Berechnungsszenarien auf jeden Fall realistisch. So waren beispielsweise bei der Hochwasserkatastrophe von 1882 am Oberrhein u.a. Deichbrüche zu verzeichnen in Bobenheim, Mannheim, Altlußheim, Worms, Otterstadt, Oppenheim, Oppenau und Frankenthal. Daher ist für eine realistische Berechnung von Extremhochwassern, die den Bemessungsabfluss der Dämme überschreiten, zumindest eine vereinfachte Berücksichtigung von Deichüberströmungen unumgänglich.

Die genaue räumliche Lage und die Zeitpunkte von Deichüberströmungen bzw. -brüchen sind vom jeweiligen Ereignisfall abhängig und im Detail nicht vorabschätzbar. Daher sind exemplarische Berechnungen durchgeführt worden, die eine Kombination der Wirkung von Rückhaltemaßnahmen sowie von Deichüberströmungen enthalten.

Das theoretische maximale Überflutungsvolumen bei Deichbrüchen am Oberrhein zwischen Iffezheim und Worms beträgt auf deutscher Seite (in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz) insgesamt rund 1,2 Mrd. m^3 . Dies ist um den Faktor 4,5 größer als das Gesamtvolumen aller vorhandenen und für 2020 geplanten deutsch-französischen Retentionsmaßnahmen zwischen Basel und Worms. In den vorliegenden Berechnungen wurden jedoch wie oben erläutert nur 50% des Volumens angesetzt.

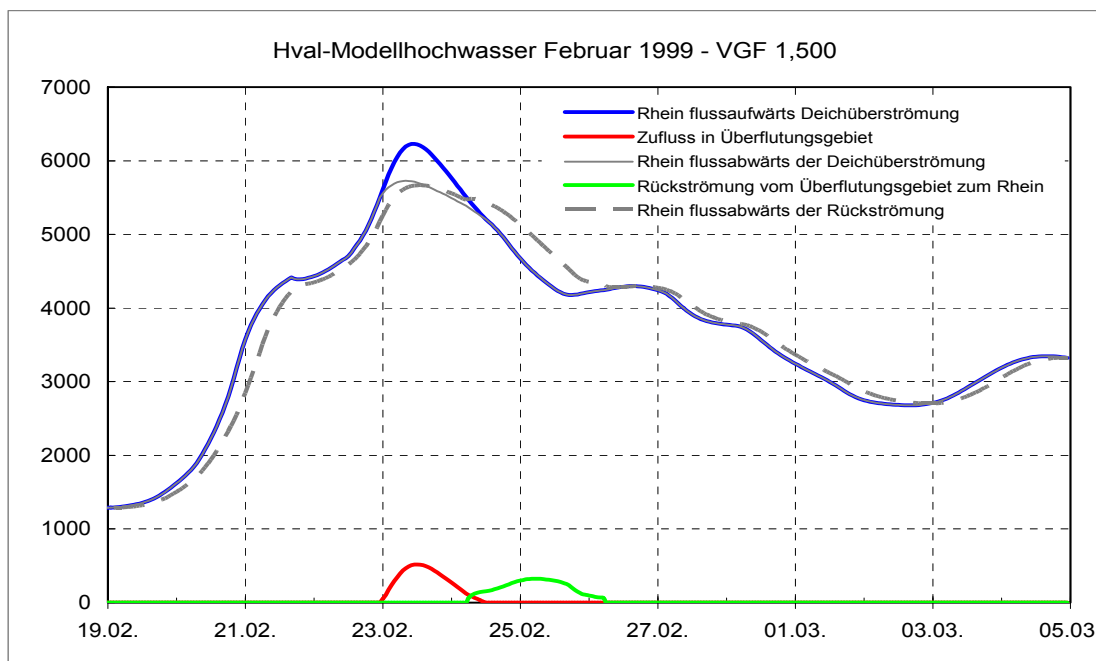


Abb. 7.1: Wirkung einer Deichüberströmung bei Extremhochwasser auf die Abflüsse im Rhein

7.1.3 Lage, Volumina und modelltechnische Umsetzung der Überflutungsflächen am Niederrhein

Die Parametrisierung der Überflutungen am Niederrhein als Folge von Deichüberströmen beruht auf den Ergebnissen von dynamischen Berechnungen mit dem 2-D-Modell DELFT-FLS (Deutsch-Niederländische Arbeitsgruppe Hochwasser, 2004a und 2004b) mit einer Aktualisierung durch dynamische Berechnungen mit dem 2-D-Modell WAQUA (LANUV, 2011). Zur Übertragung der Ergebnisse aus den 2-D-Modellen auf das 1-D-Modell wurde die gesamte Überflutungsfläche entlang des Niederrheins in hydraulische Untereinheiten eingeteilt (Anlage 7 d). Im Gegensatz zu den Betrachtungen am Oberrhein, wurde bei den Untersuchungen am Niederrhein davon ausgegangen, dass im Falle eines Überströmens von Deichen diese einen Deichbruch ausbilden. Hochwassermauern dagegen bleiben stehen. In den Anlagen 7d und 8 werden die Gebiete, die durch Wasser gefüllt sind, das über eine solche Hochwassermauer strömt mit „O“ bezeichnet; Gebiete, die über Deichbrüche eingeströmt werden, welche als Folge von Deichüberströmen entstanden sind, werden mit einem „D“ bezeichnet; Gebiete mit der Bezeichnung „L“ sind höher liegende Gebiete, die gar nicht überflutet werden (Anlage 7d).

Gebiete, welche mit „O“ bezeichnet sind, werden durch Wasser gefüllt, das über eine Hochwassermauer strömt, Gebiete, die mit einem „D“ bezeichnet sind, werden über Deichbrüche eingeströmt, die als Folge von Deichüberströmen entstanden sind.

Tabelle 7.3 gibt einen Überblick über Lage, Flächen und Volumina der potentiellen Überflutungsflächen in NRW. Diese sind ermittelt aus den Eingabedaten für das SOBEK-Modell mit Deichüberströmen und basierend auf den Ergebnissen der DELFT-FLS bzw. WAQUA-Berechnungen.

Die **Dynamischen Berechnungen** entlang des Niederrheins mit den 2-D-Modellen haben gezeigt, dass neben der Rückhaltewirkung auch das Strömen von Wasser hinter den Deichen parallel zum Hauptstrom eine wichtige Rolle spielt, zumal ein großer Teil dieses Wassers weiter unterhalb auch wieder zurückströmt (Deutsch-Niederländische Arbeitsgruppe Hochwasser, 2004b). Auch dieses Phänomen wurde in das 1-D-Modell eingebaut. Einen Überblick über die Schematisierung der Überflutungen im SOBEK-Modell ab dem Niederrhein ist in der Anlage 8 wiedergegeben.

| Gebiet | Lage Überflutungsgebiet von | Lage Überflutungsgebiet bis | maximale Oberfläche | Volumen im Modell, unterhalb Einlaufschwelle | Lage |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|--|-------|
| | km | km | ha | Mio. m ³ | |
| W_101_103 | 642 | 652 | 97,9 | 1,92 | l + r |
| O_001 | 652 | 657 | 237 | 10,59 | r |
| O_002 | 657 | 658 | 104 | 4,94 | r |
| O_003 | 658 | 659 | 141 | 5,74 | r |
| O_004 | 658 | 659 | 266 | 15,03 | r |
| O_005 | 659 | 666 | 177 | 6,39 | r |
| O_006 | 664 | 672 | 314 | 10,71 | l |
| O_008 | 666 | 673 | 174 | 6,47 | r |
| O_009 | 672 | 684 | 304 | 10,73 | l |
| O_010 | 684 | 688 | 84,5 | 1,36 | l |
| O_011 | 680 | 686 | 93,5 | 3,81 | r |
| O_012 | 686 | 689 | 234 | 2,95 | r |
| O_013 | 689 | 692 | 82,9 | 1,71 | r |
| O_014 | 692 | 702 | 219 | 12,09 | r |

| | | | | | |
|--------|-----|-----|---------------------------|-------------------------------|---|
| O_015 | 695 | 699 | 123 | 3,17 | r |
| O_016 | 690 | 705 | 1210 | 37,39 | l |
| O_017 | 705 | 708 | 695 | 24,67 | l |
| O_018 | 708 | 711 | 217 | 6,92 | l |
| D_019 | 704 | 717 | 790 | 42,74 | r |
| O_021 | 711 | 717 | 541 | 18,18 | l |
| O_022 | 717 | 727 | 386 | 13,78 | l |
| D_023 | 717 | 745 | 818 | 27,08 | r |
| O_024 | 724 | 728 | 23,1 | 1,27 | r |
| O_025 | 727 | 735 | 515 | 14,27 | l |
| D_026 | 735 | 740 | 272 | 10,83 | l |
| D_027 | 735 | 740 | 2060 | 99,09 | l |
| D_27_b | 763 | 822 | 6890 | 344,50 | l |
| O_030 | 765 | 765 | 33,5 | 1,73 | l |
| D_031 | 745 | 756 | 690 | 9,32 | r |
| D_033 | 758 | 773 | 1310 | 12,31 | r |
| D_034 | 777 | 780 | 192 | 11,08 | r |
| D_035 | 780 | 798 | 241 | 10,70 | r |
| O_037 | 798 | 813 | 98,4 | 3,23 | r |
| O_039 | 843 | 881 | 16800 | 10,08 | l |
| O_040 | 847 | 852 | 648 | 36,81 | l |
| | | | 37081,8 | 833,57 | |
| | | | 371 km² | 833 Mio. m³ | |

Tab. 7.3: Lage, Flächen und Volumina der potentiellen Überflutungsflächen in NRW. Realisierung im Modell (nach: Deutsch-Niederländische Arbeitsgruppe Hochwasser, 2004a).

7.2 Berechnungsergebnisse der Hochwasserminderung mit Berücksichtigung von Deichüberströmungen

Bei Betrachtung der Wirkung von Rückhaltemaßnahmen bei Berechnungsvarianten mit Deichüberströmungsmöglichkeiten, ist zu beachten, dass die maximalen Abminderungen häufig in Abflussbereichen erreicht werden, bei denen keine Deichüberströmungen auftreten. Die Studie zielt nicht auf die Auswirkungen der Überströmung der Deiche ab, sondern soll eher die Auswirkungen von Deichüberströmungen auf die Wirksamkeit der Rückhaltemaßnahmen abschätzen.

Abminderung 1995 mit Deichüberströmung (in den Grafiken = DUEB)

Ausbauzustände 1977 und 1995, berechnet mit Deichüberströmung, am Pegel Maxau:

Am Pegel Maxau schwankt die Scheitel abmindernde Wirkung durch die Überflutungsflächen, entsprechend der unterschiedlichen Charakteristik der verwendeten Hochwasserereignisse, stark. Bei den Ereignissen, die überwiegend von Zuflüssen am Hoch- und Oberrhein geprägt sind, ist die Wirkung der oberhalb von Maxau gelegenen Deichüberströmungen erwartungsgemäß am größten.

Wirkung der 1995 einsetzbaren Maßnahmen sowie der Deichüberströmungen am Pegel Maxau

- Die Wirkung der Deichüberströmungen ist aus Abb. 7.2 zu ersehen. Für den **Ausbauzustand 1977 mit Deichüberströmung** wird nur noch ein maximaler Scheitelwert von $5.919 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht, gegenüber maximal $6.585 \text{ m}^3/\text{s}$ für die Berechnung ohne Deichüberströmung.
- Das maximal erreichte Volumen der stromaufwärts von Maxau gelegenen Überflutungsflächen (Summe der beiden südlichsten Flächen) beträgt für den Ausbauzustand 1995 38 Mio. m^3 (beim Vergleichszustand 1977 sind dies 66 Mio. m^3).
- Aufgrund der Wechselwirkung zwischen den Überflutungsflächen und den einsetzbaren Rückhaltmaßnahmen ist tendenziell die Scheitel abmindernde Wirkung der Rückhaltungen gegenüber der Berechnungsvariante ohne Deichüberströmungen schwächer.
- Die maximale Scheitelminderung bei einem einzelnen Modellhochwasser verringert sich gegenüber der Berechnungsvariante ohne Deichüberströmung um $40 \text{ m}^3/\text{s}$ auf rund $720 \text{ m}^3/\text{s}$.

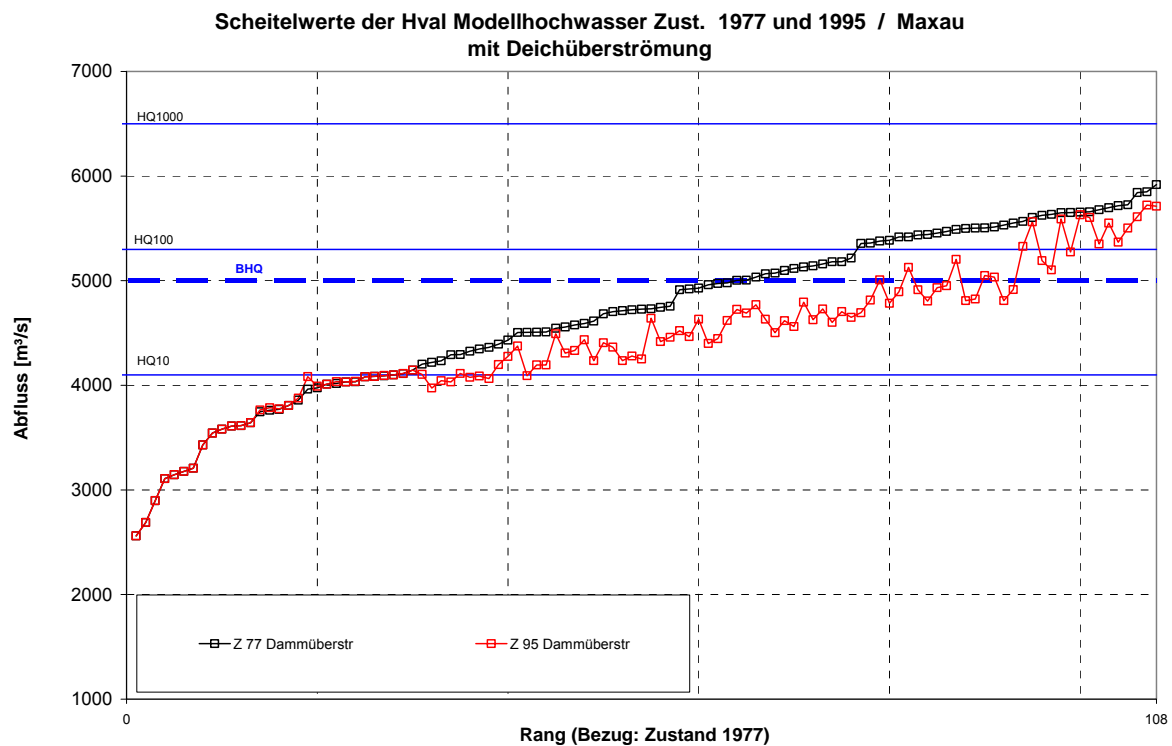


Abb. 7.2: Scheitelwerte für die Ausbaustände 1977 und 1995 am Pegel Maxau (berechnet mit Deichüberströmung). Rang bezogen auf den Zustand 1977.

Ausbauzustände 1977 und 1995, berechnet mit Deichüberströmung, am Pegel Worms:

Zwischen dem Pegel Maxau und der Neckarmündung liegt der größte Teil der Überflutungsflächen. Ihr Anteil am maximal möglichen Gesamtvolumen durch Deichüberströmung am Oberrhein beträgt 85 %. Unterhalb der Neckarmündung befindet sich lediglich eine kleinere Überflutungsfläche. D.h. die Hochwasserereignisse mit extremen Zuflüssen des Neckars werden auf der Strecke bis Worms lediglich durch die Wirkung dieser Fläche beeinflusst. Zusätzlich ist noch, in geringerem Umfang, der Einfluss durch die im Rückstaubereich der Neckarmündung oberhalb liegenden Flächen gegeben.

Wirkung der 1995 einsetzbaren Maßnahmen sowie der Deichüberströmungen am Pegel Worms

- Die Abminderung der Scheitelwerte am Pegel Worms durch die Deichüberströmungen ist aus Abb. 7.3 ersichtlich.
- Beim **Zustand 1977** erreicht der Maximalwert nur noch rd. 7.250 m³/s, gegenüber rd. 7.900 m³/s beim Zustand 1977 ohne Deichüberströmung.
- Das maximal erreichte Volumen aller 12 Überflutungsflächen beträgt beim Ausbauzustand 1995 92 Mio. m³ (für den Zustand 1977 beträgt dieser Wert 164 Mio. m³).
- Die maximale Scheitelminderung bei einem einzelnen Modellhochwasser beträgt rund 570 m³/s (gegenüber rd. 660 m³/s bei der Berechnungsvariante ohne Deichüberströmung).

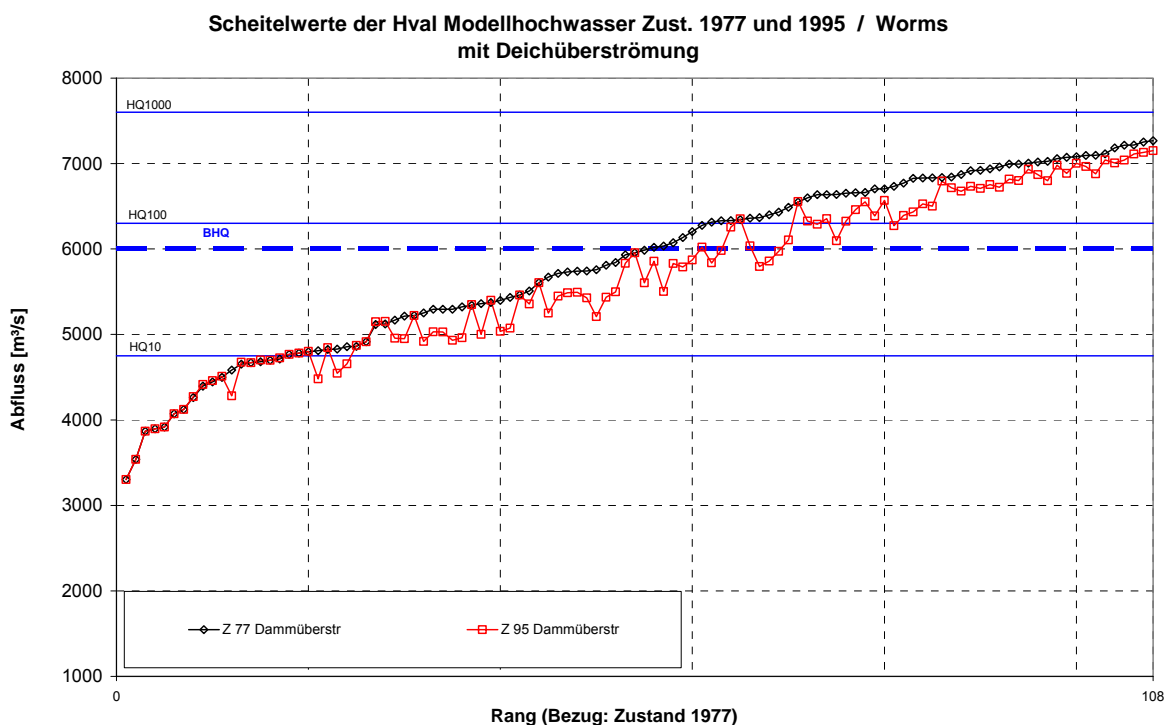


Abb. 7.3: Scheitelwerte für die Ausbauzustände 1977 und 1995 am Pegel Worms (berechnet mit Deichüberströmung). Rang bezogen auf den Zustand 1977.

Abminderung 2010 mit DeichüberströmungWirkung der 2010 einsetzbaren Maßnahmen am Pegel Maxau

- Die maximale Abminderung gegenüber dem Zustand 1995 beträgt $290 \text{ m}^3/\text{s}$ (unverändert gegenüber der Berechnungsvariante ohne Deichüberströmung).

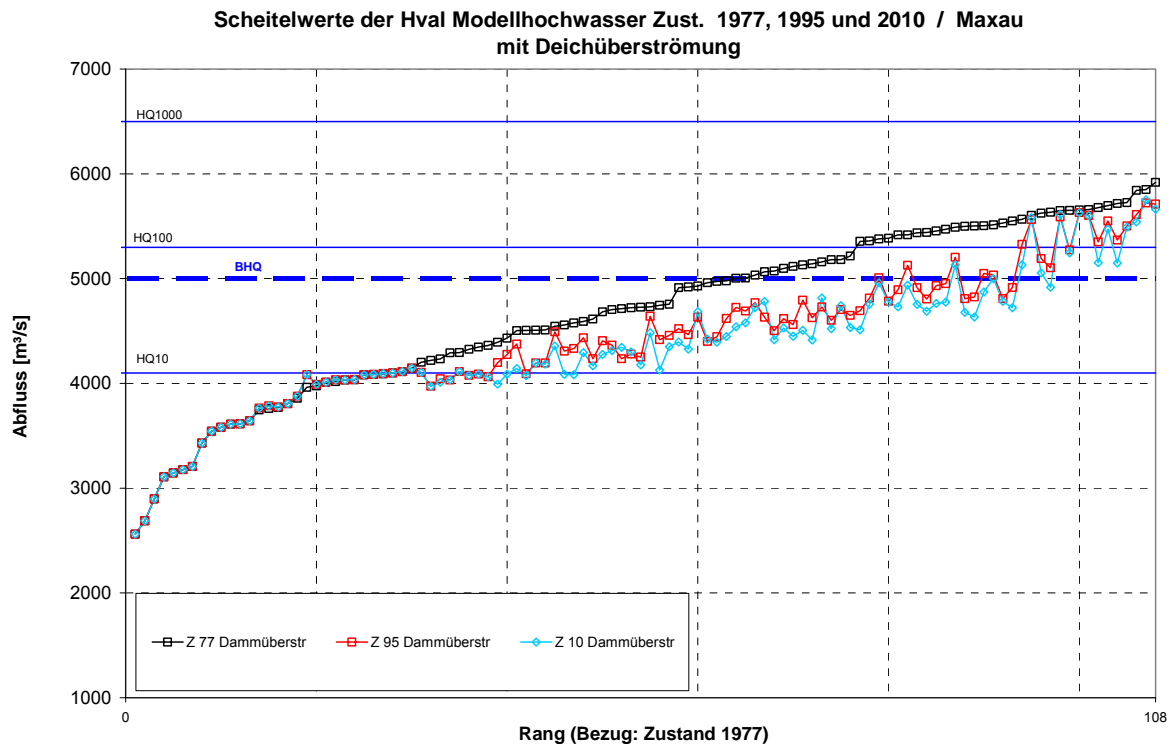


Abb. 7.4: Scheitelwerte für die Ausbauzustände 1977, 1995 und 2010 am Pegel Maxau (berechnet mit Deichüberströmung). Rang bezogen auf den Zustand 1977.

Wirkung der 2010 einsetzbaren Maßnahmen am Pegel Worms

- Die größte Abminderung gegenüber dem Zustand 1995 beträgt (ebenso wie bei der Berechnung ohne Deichüberströmung) rd. 350 m³/s.

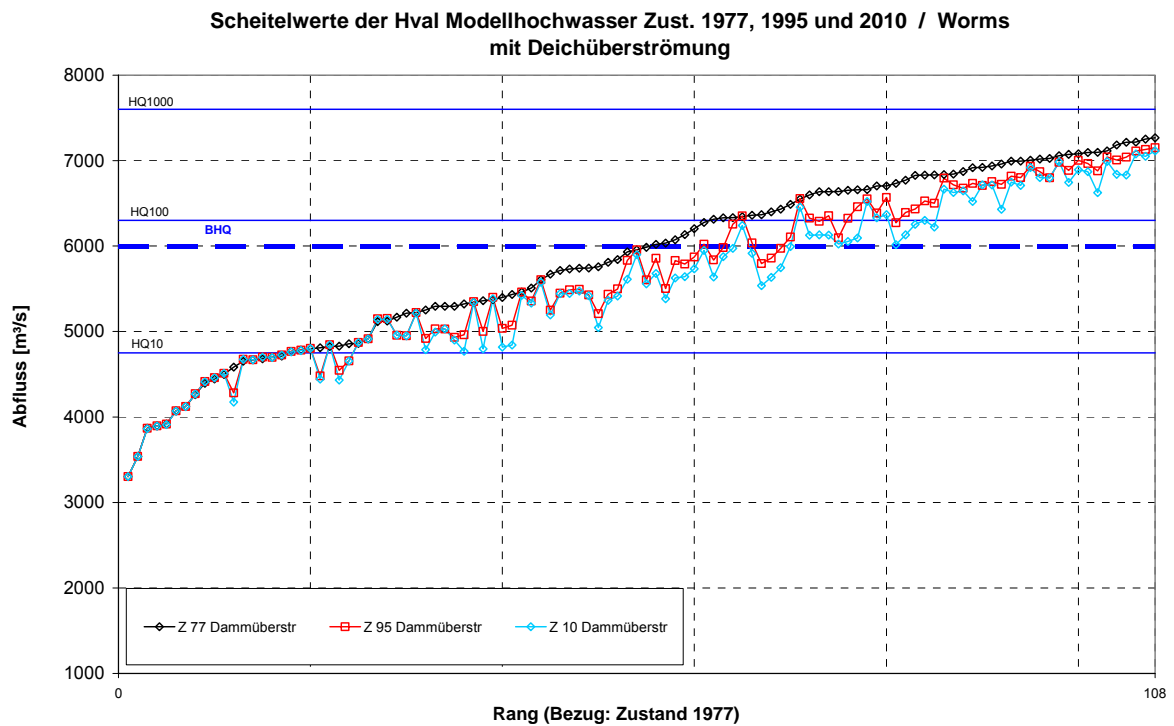


Abb. 7.5: Scheitelwerte für die Ausbauzustände 1977, 1995 und 2010 am Pegel Worms (berechnet mit Deichüberströmung). Rang bezogen auf den Zustand 1977.

Abminderung 2020 mit Deichüberströmung

Ausbauzustände 1995 und 2020, berechnet mit Deichüberströmung, am Pegel Maxau:

Wirkung der 2020 einsetzbaren Maßnahmen am Pegel Maxau

- Für die oberhalb von Maxau gelegenen Überflutungsflächen ergibt sich beim Zustand 2020 ein Maximalvolumen von 40 Mio. m³ (beim Zustand 1977 sind dies 65,5 Mio. m³).
- Gegenüber dem Ausbauzustand 1995 werden bis zu 392 m³/s Scheitelabminderung erreicht (ebenso wie bei der Variante ohne Deichüberströmung).

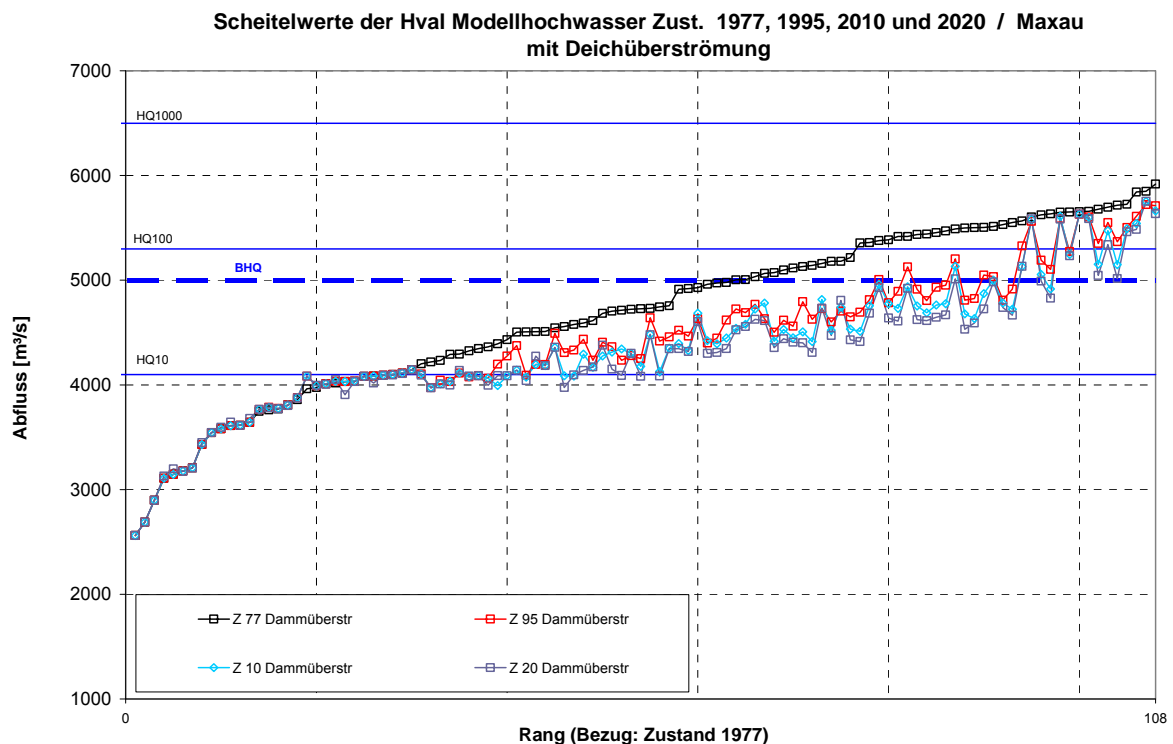


Abb. 7.6: Scheitelwerte für die Ausbauzustände 1977, 1995, 2010 und 2020 am Pegel Maxau (berechnet mit Deichüberströmung). Rang bezogen auf den Zustand 1977.

Wirkung der 2020 einsetzbaren Maßnahmen am Pegel Worms

- Das maximal erreichte Volumen aller 12 Überflutungsflächen beträgt 79 Mio. m³ (für den Zustand 1977 beträgt dieser Wert 164 Mio. m³).
- Bezogen auf den Zustand 1995 erreichen die Scheitelabminderungen bis zu 674 m³/s (40 m³/s weniger als bei der Berechnung ohne Deichüberströmung).

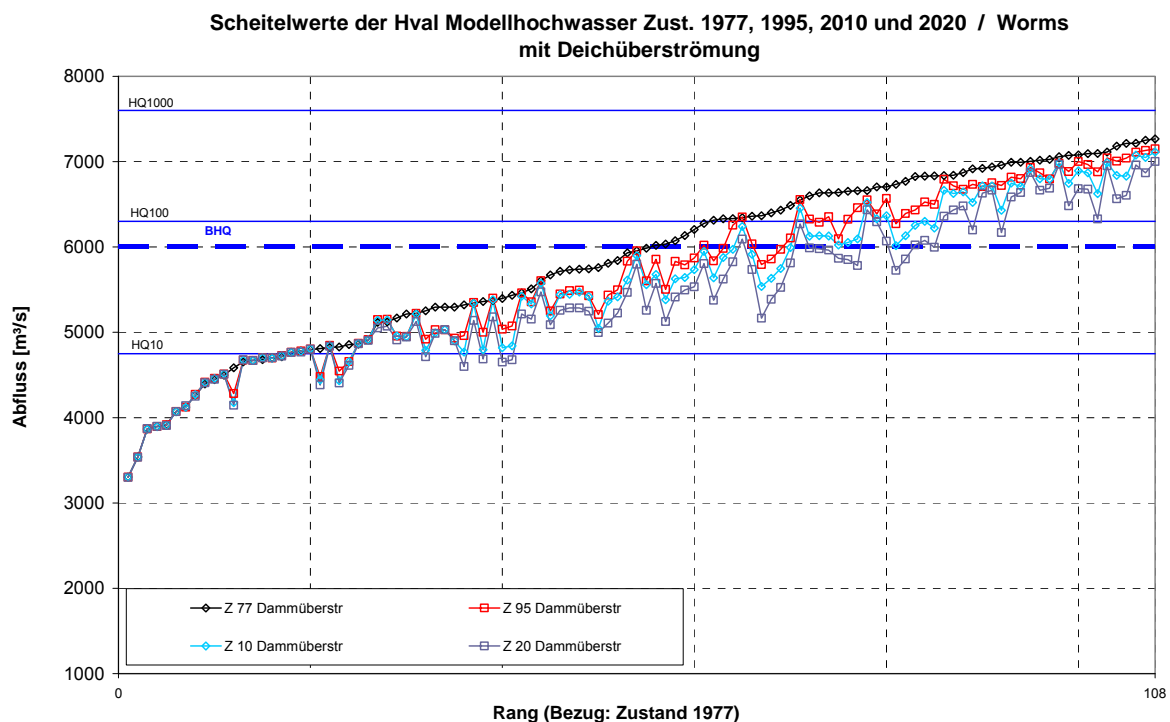


Abb. 7.7: Scheitelwerte für die Ausbaustände 1977, 1995, 2010 und 2020 am Pegel Worms (berechnet mit Deichüberströmung). Rang bezogen auf den Zustand 1977.

In den Abbildungen 7.2 bis 7.7 ist der Bezugszustand 1977 gewählt worden, um den besonderen Verhältnissen am Oberrhein gerecht zu werden.

Die grafische Darstellung der Scheitelwerte [m³/s] sowie der Scheitelabminderungen [cm] zwischen den verschiedenen Ausbauständen ranggelistet auf den Zustand 1995 ohne Deichüberströmung sind für den Pegel Maxau in der Abbildung 7.8 und für den Pegel Worms in der Abbildung 7.9 dargestellt

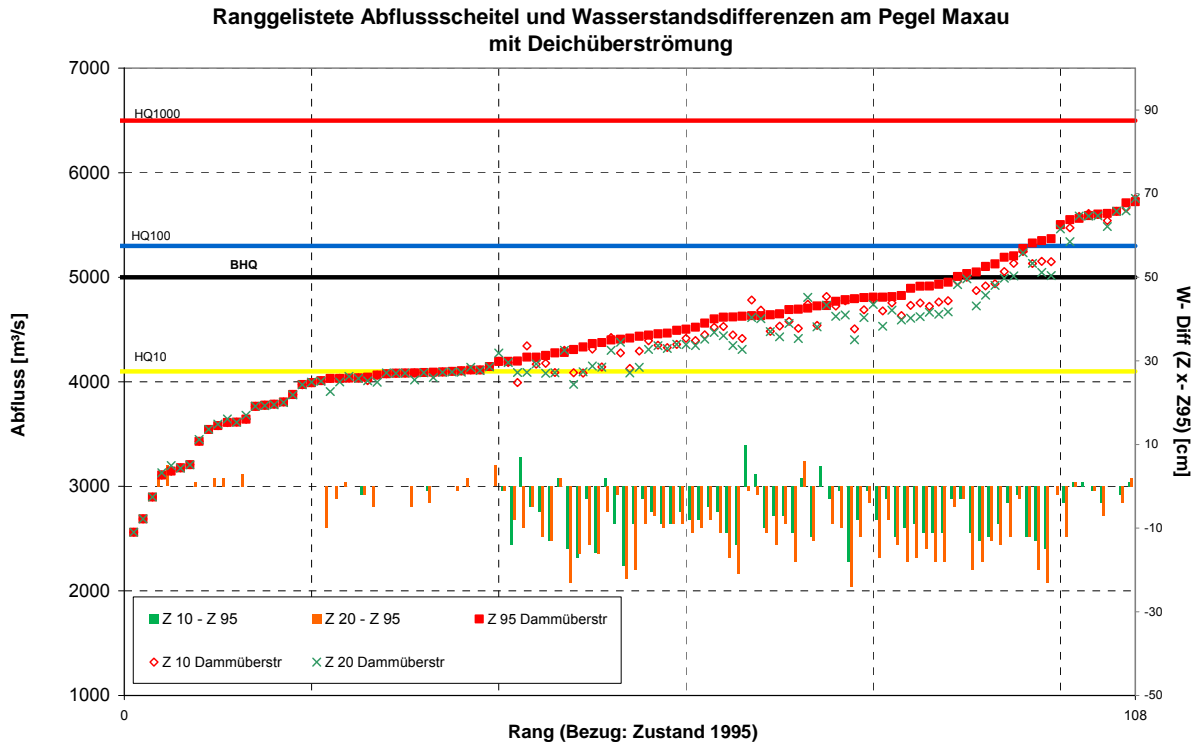


Abb. 7.8: Scheitelwerte für die Ausbauzustände 1995, 2010 und 2020 am Pegel Maxau berechnet mit Deichüberströmung). Rang bezogen auf den Zustand 1995

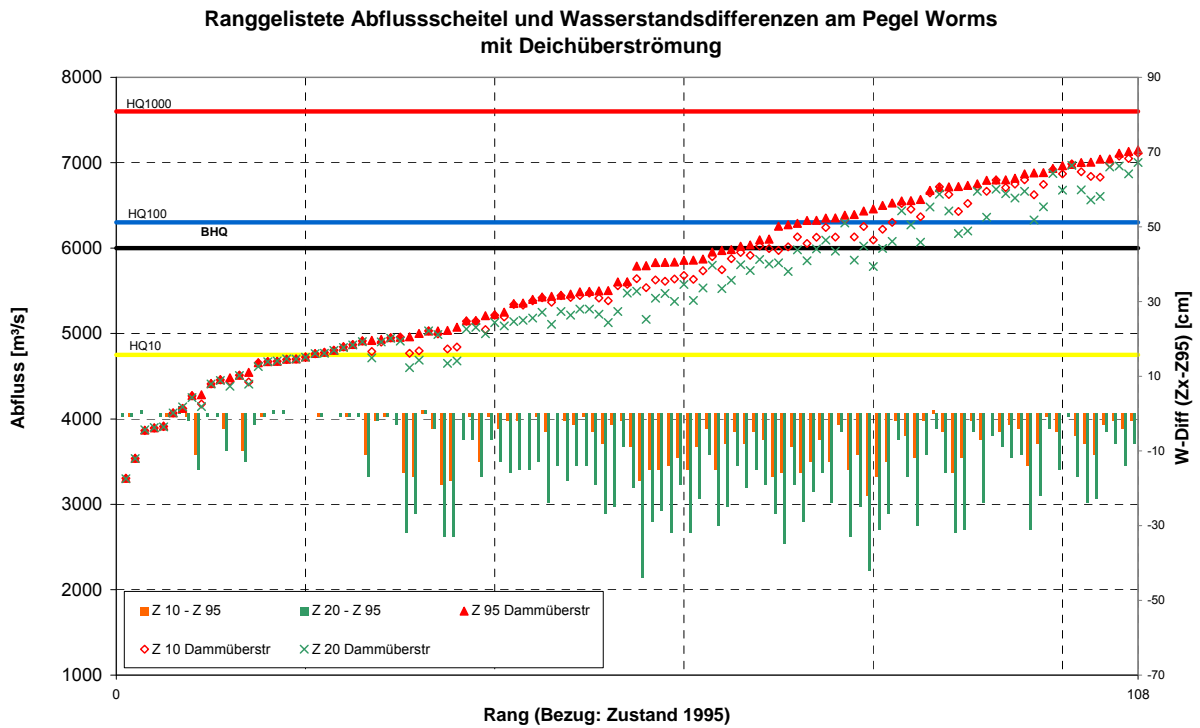


Abb. 7.9: Scheitelwerte für die Ausbauzustände 1995, 2010 und 2020 am Pegel Worms (berechnet mit Deichüberströmung). Rang bezogen auf den Zustand 1995

Anhand von Abbildung 7.10 wird die nachfolgend beibehaltene Darstellung von Abflussscheiteln und Wasserstandsscheitelminderungen für die HVAL-Zustände 1995 mit Berücksichtigung von Deichüberströmen, 2010 mit Berücksichtigung von Deichüberströmen und 2020 mit Berücksichtigung von Deichüberströmen an Pegeln und Rheinabschnitten erläutert. Die jeweiligen Werte sind im Anhang als Tabellenwerke aufgeführt und so auch den jeweiligen Modellhochwassern zuzuordnen.

Abbildung 7.10 stellt die nach 1995 rangelisteten Abflussscheitel für den Pegel Mainz als blaue Quadrate (Zustand 1995 mit berücksichtigtem Deichüberströmen), orangene Raute (Zustand 2010 mit berücksichtigtem Deichüberströmen) und grüne Kreuze (Zustand 2020 mit berücksichtigtem Deichüberströmen) bezogen auf die linke Achse dar. Ebenfalls mit Bezug zur linken Achse sind die 1977 gültigen extremwertstatistischen Abflusszuweisungen HQ_{10} , HQ_{100} , HQ_{Extrem} und BHQ abgebildet. Die Wasserstandsscheiteldifferenzen zum Bezugszustand 1995 mit berücksichtigtem Deichüberströmen sind mit Bezug auf die rechte Achse als orange Balken für 2010 mit berücksichtigtem Deichüberströmen und als grüne Balken für Zustand 2020 mit berücksichtigtem Deichüberströmen dargestellt.

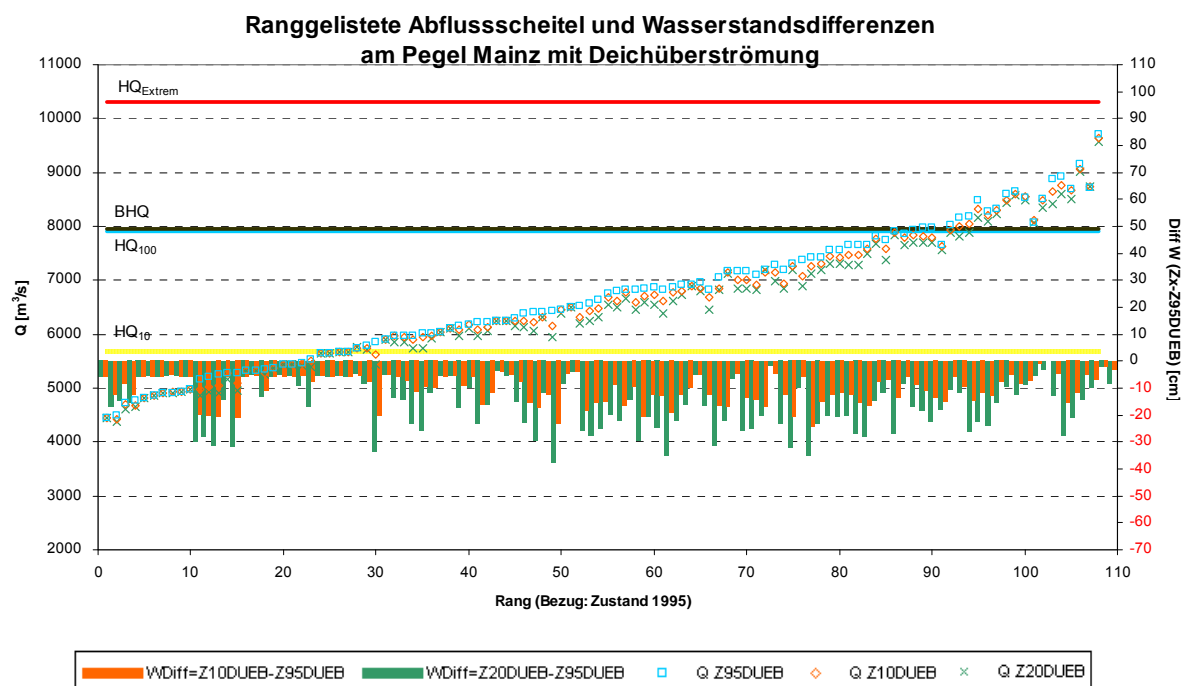


Abb. 7.10: Abflussscheitelwerte und Wasserstandsscheiteldifferenzen für die Ausbaustände 1995, 2010 und 2020 jeweils mit berücksichtigter Deichüberströmung, am Pegel Mainz. Rang bezogen auf den Zustand 1995

Für den Zustand 2010 werden am Pegel Mainz im Mittel die Wasserstandsscheitel um HQ_{100} um -11 cm und um HQ_{Extrem} um durchschnittlich -4 cm gegenüber dem Zustand 1995 bei der Berücksichtigung von Deichüberströmen abgemindert. Die Bandbreite der Scheitelwasserstandsminderung zwischen Hochwassern mit hoher und niedriger Wahrscheinlichkeit variiert für den das Deichüberströmen berücksichtigenden Zustand 2010 zwischen 0 cm und -24 cm. Für den Zustand 2020 bewegen sich die Wasserstandsscheitel zwischen -2 cm bis -37 cm, im Durchschnitt wird der Wasserstandsscheitel für den Zustand 2020 bei einem Hochwasser um HQ_{100} um -18 cm, bei einem HQ_{Extrem} um -7 cm abgemindert.

In Abbildung 7.11 werden die Wirkungen bei berücksichtigtem Deichüberströmen auf Abfluss- und Wasserstandsscheitel am Pegel Kaub abgebildet. Für den orange dargestellten Zustand 2010 werden am Pegel Kaub im Mittel die Wasserstandsscheitel um HQ_{100} um -16 cm und um HQ_{Extrem} um durchschnittlich -13 cm gegenüber dem Zustand 1995 abgemindert. Die entsprechende Bandbreite der Scheitelwasserstandsminderung zwischen Hochwassern mit hoher und niedriger Wahrscheinlichkeit variiert zwischen -2 cm und -33 cm. Für 2020 ergibt sich eine durchschnittliche Wasserstandsscheitelminderung von -26 cm im Bereich HQ_{100} und -21 cm bei HQ_{Extrem} . Die Extremwerte der Wasserstandsscheiteländerung zeigen eine Spanne von +1 cm bis -49 cm auf.

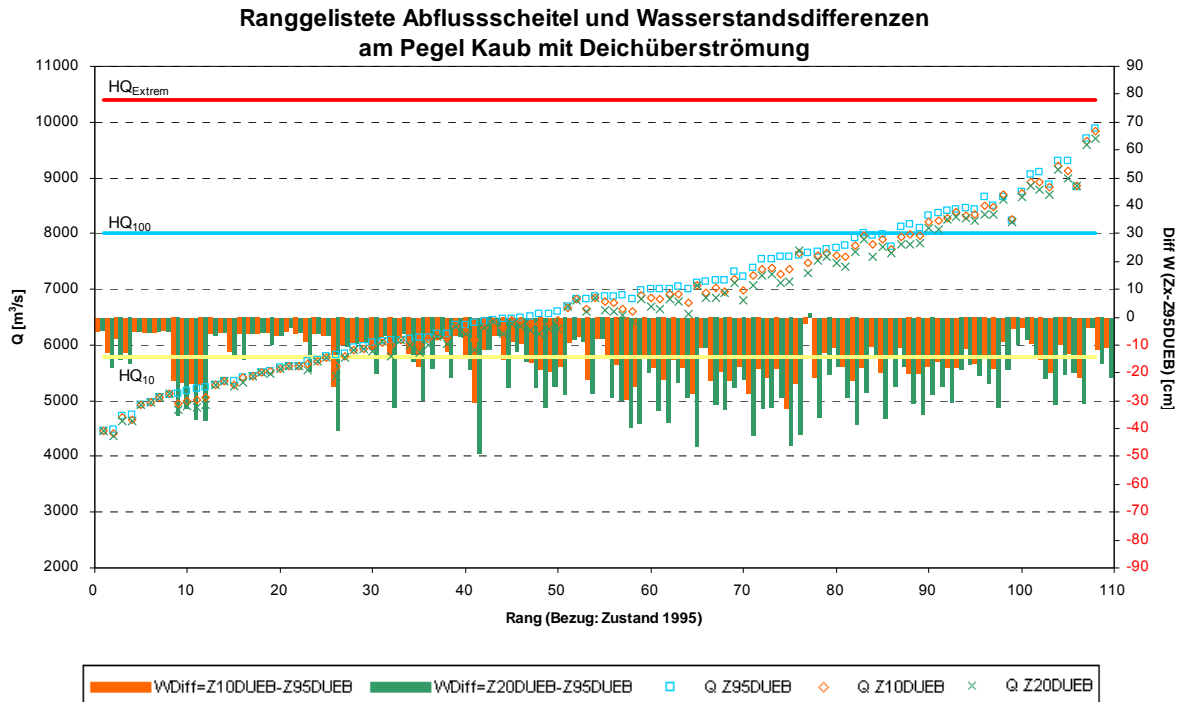


Abb. 7.11: Abflussscheitelwerte und Wasserstandsscheiteldifferenzen für die Ausbaustände 1995, 2010 und 2020 jeweils mit berücksichtigter Deichüberströmung, am Pegel Kaub. Rang bezogen auf den Zustand 1995

In Abbildung 7.12 sind die zwischen +2 cm bis -25 cm gelegenen und für den Zustand 2010 durchschnittlich bei HQ_{100} -12 cm und bei HQ_{Extrem} -10 cm erreichten Wasserstandsscheitelminderungen als orangene Balken für den Pegel Andernach abgebildet. Die grünen Balken zeigen die durchschnittlich für 2020 erreichten Wasserstandsscheiteländerungen von -18 cm für HQ_{100} und -14 cm im Bereich um HQ_{Extrem} bei einer Bandbreite zwischen +2 cm und -37 cm bei berücksichtigtem Deichüberströmen an.

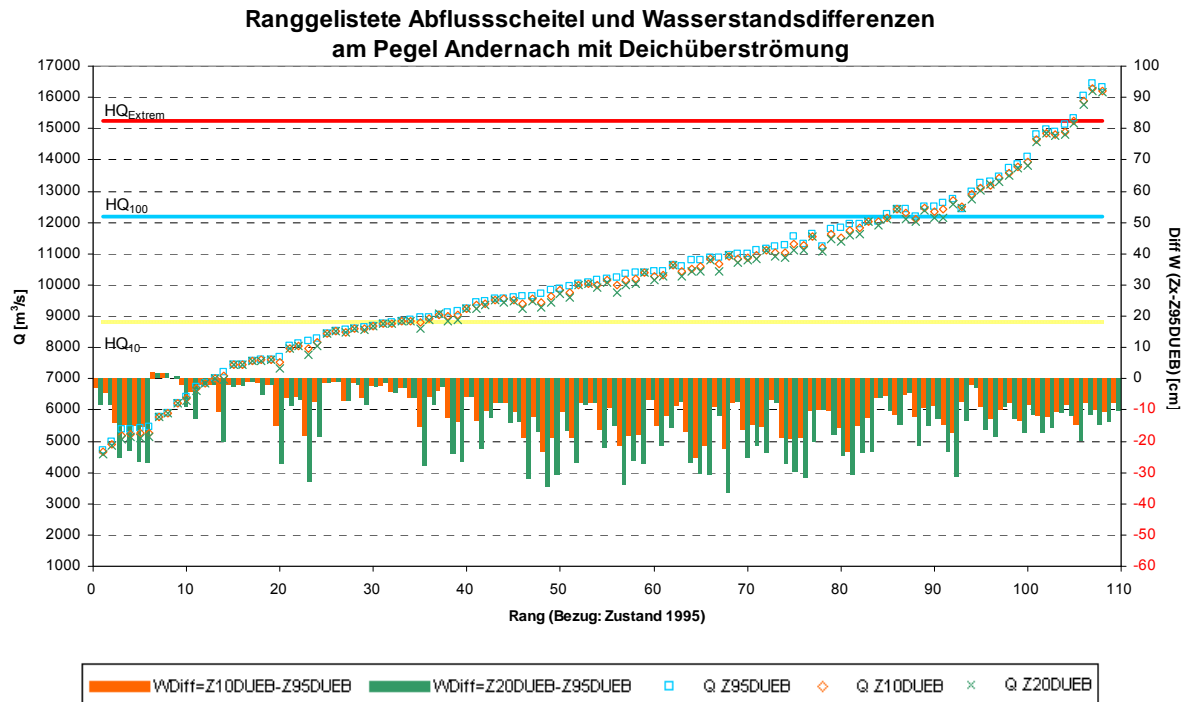


Abb. 7.12: Abflussscheitelwerte und Wasserstandsscheiteldifferenzen für die Ausbauzustände 1995, 2010 und 2020 jeweils mit berücksichtigter Deichüberströmung, am Pegel Andernach. Rang bezogen auf den Zustand 1995

Abbildung 7.13 zeigt die Abflussscheitel am Pegel Köln mit Berücksichtigung von Deichüberströmen für 1995 (blaue Quadrate), 2010 (orangene Rauten) und 2020 (grüne Kreuze). Die abgebildeten Wasserstandsscheitelminderungen sind hier zwischen Sieg- und Ruhrmündung abschnittsgemittelt. Für den Zustand 2010 werden um HQ_{100} 0 cm und um HQ_{Extrem} +1 cm als durchschnittliche Wasserstandsscheiteländerung dargestellt. Die entsprechende Bandbreite der Scheitelwasserstandsänderung (orangene Balken mit Bezug auf die rechte Achse) zwischen Hochwassern mit hoher und niedriger Wahrscheinlichkeit variiert 2010 zwischen +9 cm und -11 cm. Für den Zustand 2020 ergibt sich bei einer Bandbreite zwischen +9 cm und -24 cm eine durchschnittliche Wasserstandsänderung von -5 cm um HQ_{100} und -4 cm um HQ_{Extrem} .

Aufgrund des sich am Niederrhein verändernden Abflussprofils (breiteres Gerinne) führt eine ähnliche Abflussverminderung wie am Pegel Andernach zu einer wesentlich geringeren Wasserstandsminderung.

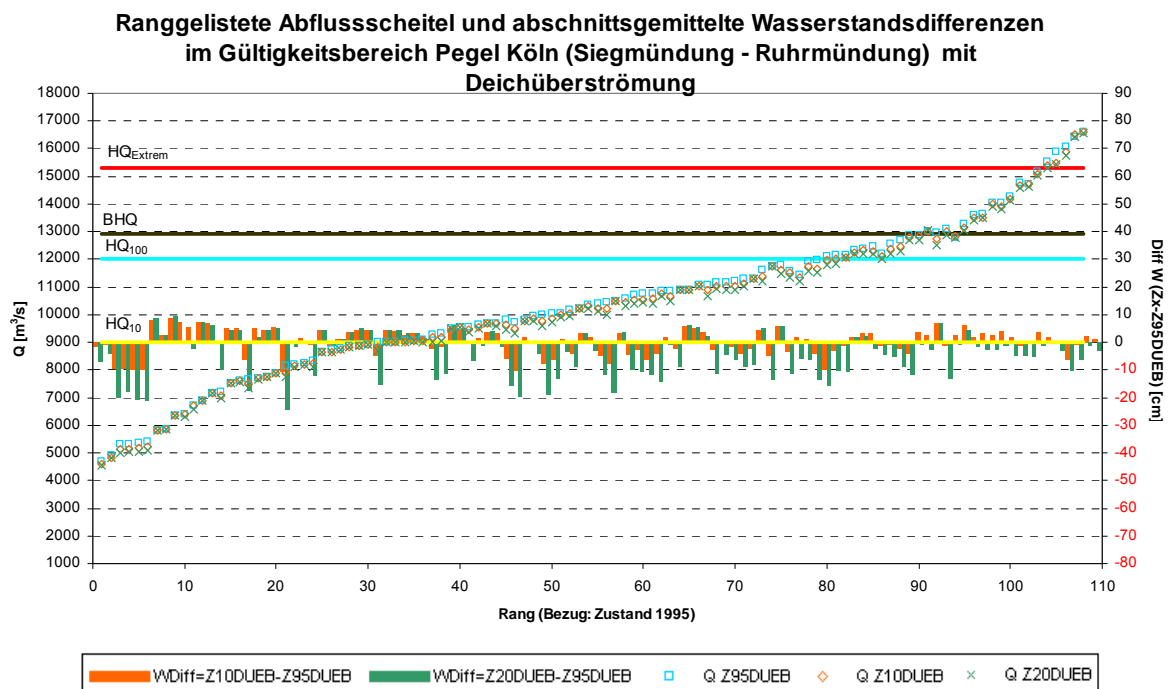


Abb. 7.13: Abflussscheitelwerte und abschnittsgemittelte Wasserstandsscheiteldifferenzen für die Ausbautzustände 1995, 2010 und 2020 jeweils mit berücksichtigter Deichüberströmung, im Gewässerabschnitt Sieg- bis zur Ruhrmündung (Pegel Köln). Rang bezogen auf den Zustand 1995

Für den Zustand 2010 werden zwischen der Ruhrmündung und dem Pannerdenschen Kop bei Berücksichtigung von Deichüberströmen im Mittel die Wasserstandsscheitel um HQ_{100} um +2 cm und um HQ_{Extrem} um durchschnittlich +3 cm gegenüber dem Zustand 1995 mit Berücksichtigung von Deichüberströmen erhöht. Diese abschnittsgemittelte Wasserstandsscheiteländerungen sind zusammen mit den Abflussscheiteln am Pegel Lobith in Abbildung 7.14 zu erkennen. Die entsprechende Bandbreite der Scheitelwasserstandsänderung (orangene Balken) 2010 zwischen Hochwassern mit hoher und niedriger Wahrscheinlichkeit variiert zwischen +7 cm und -10 cm. Für den Zustand 2020 ergibt sich eine Bandbreite von +5 cm bis -29 cm. Die mittlere Wasserstandsscheitelminderung um HQ_{100} beträgt -9 cm und um HQ_{Extrem} -17 cm.

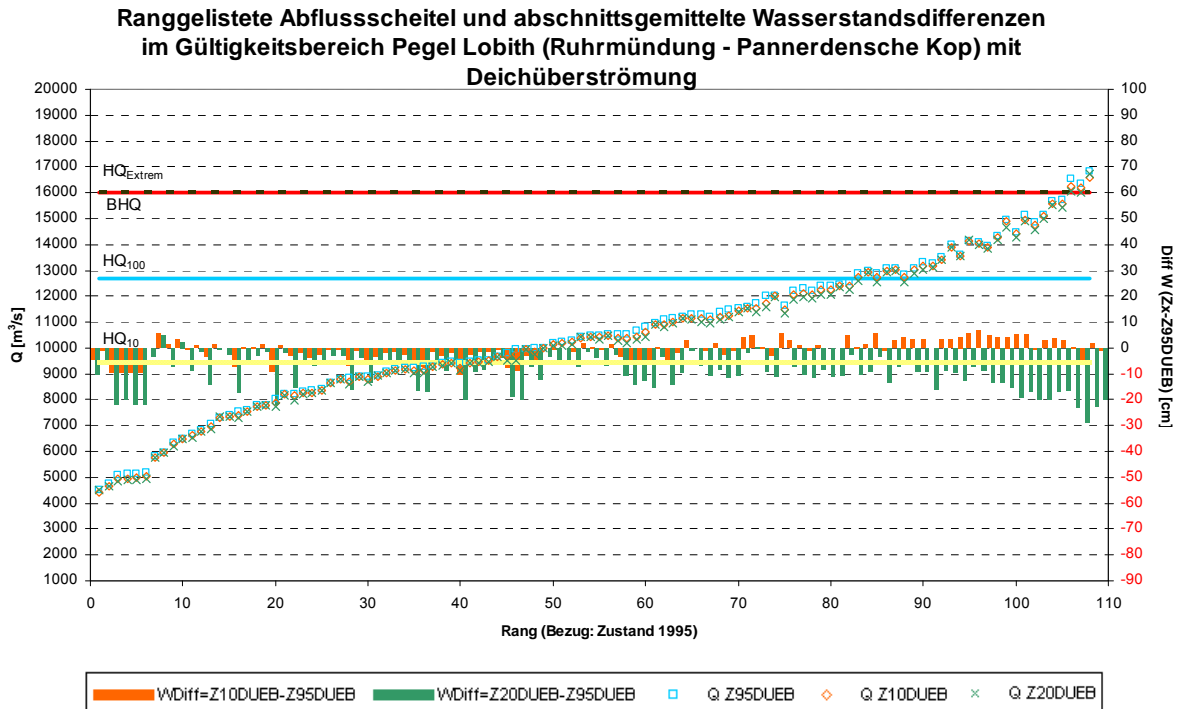


Abb. 7.14: Abflussscheitelwerte und abschnittsgemittelte Wasserstandsscheiteldifferenzen für die Ausbautzustände 1995, 2010 und 2020 jeweils mit berücksichtigter Deichüberströmung, im Gewässerabschnitt Ruhrmündung bis Pannerdensche Kop (Pegel Lobith). Rang bezogen auf den Zustand 1995

In Abbildung 7.15 sind die Abflussscheitel am Pegel Lobith und die abschnittsgemittelten Wasserstandsminderungen für Nederrijn und Lek bei berücksichtigtem Deichüberströmen dargestellt. Für den Zustand 2010 werden im Mittel die Wasserstandsscheitel um HQ_{100} und um HQ_{Extrem} um -2 cm abgemindert. Die entsprechende Bandbreite der Scheitelwasserstandsminderung (orangene Balken) 2010 zwischen Hochwassern mit hoher und niedriger Wahrscheinlichkeit variiert zwischen +1 cm und -6 cm. Für den Zustand 2020 ergibt sich eine Bandbreite von von -1 cm bis -23 cm. Die mittlere Wasserstandsscheiteländerung um HQ_{100} beträgt -7 cm und um HQ_{Extrem} -9 cm.

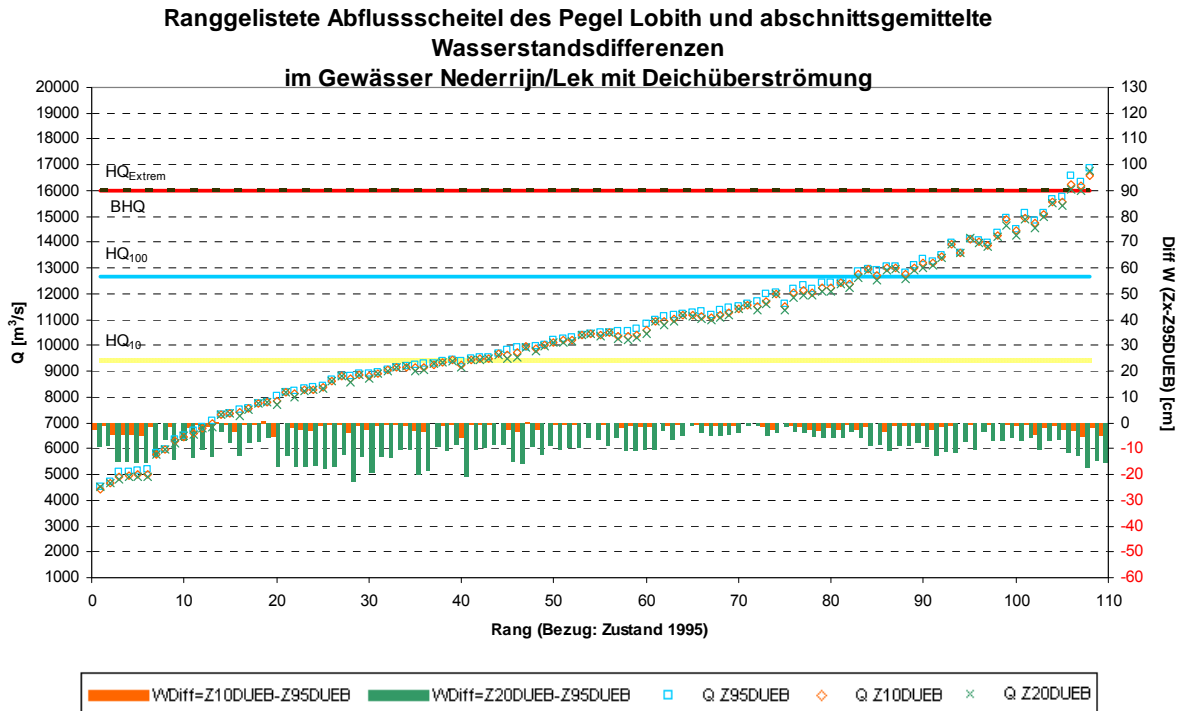


Abb. 7.15: Abflussscheitelwerte und abschnittsgemittelte Wasserstandsscheiteldifferenzen für die Ausbautzustände 1995, 2010 und 2020 jeweils mit berücksichtigtem Deichüberströmen, im Gewässer Nederrijn/ Lek (Pegel Lobith). Rang bezogen auf den Zustand 1995

In Abbildung 7.16 sind die Abflussscheitel am Pegel Lobith und die abschnittsgemittelten Wasserstandsminderungen für den Waal bei berücksichtigtem Deichüberströmen dargestellt. Für den Zustand 2010 werden im Mittel die Wasserstandsscheitel um HQ_{100} und um HQ_{Extrem} um -2 cm abgemindert. Die entsprechende Bandbreite der Scheitelwasserstandsminderung (orangene Balken) 2010 zwischen Hochwassern mit hoher und niedriger Wahrscheinlichkeit variiert zwischen +1 cm und -8 cm. Für den Zustand 2020 ergibt sich bei einer Bandbreite von -6 cm bis -48 cm die mittlere Wasserstandsscheiteländerung um HQ_{100} beträgt -16 cm und um HQ_{Extrem} -19 cm.

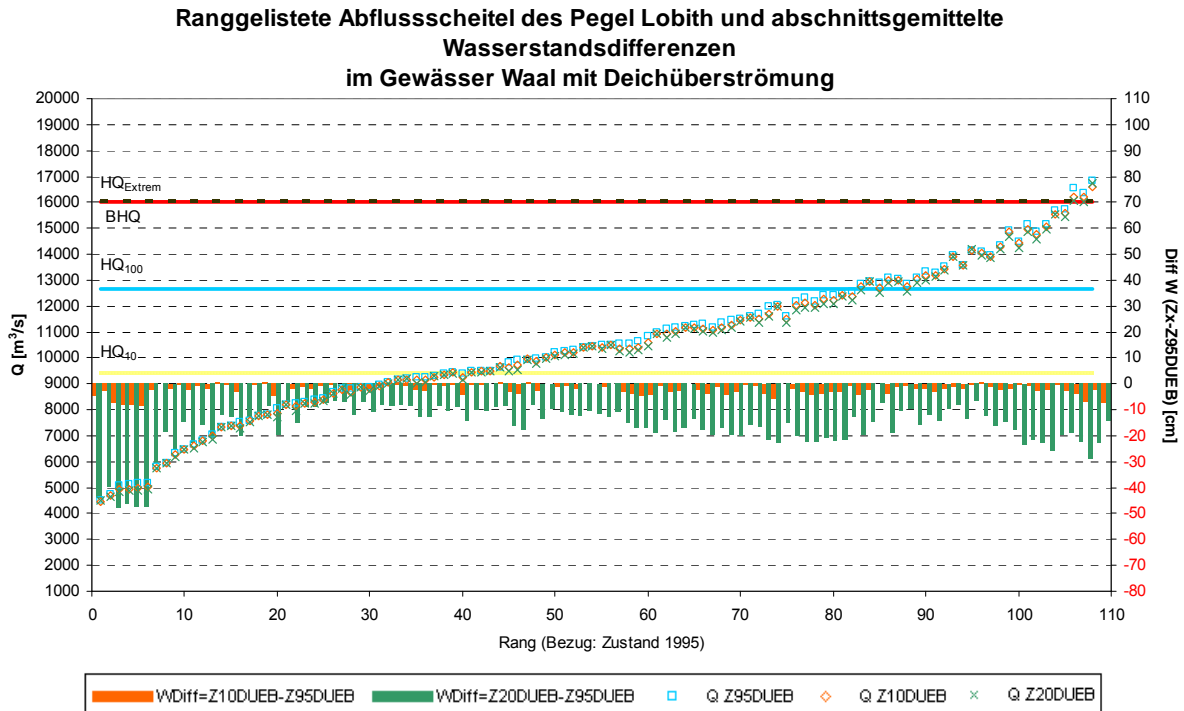


Abb. 7.16: Abflussscheitelwerte und abschnittsgemittelte Wasserstandsscheiteldifferenzen für die Ausbauzustände 1995, 2010 und 2020 jeweils mit berücksichtigter Deichüberströmung, im Gewässer Waal (Pegel Lobith). Rang bezogen auf den Zustand 1995

In Abbildung 7.17 sind die Abflussscheitel am Pegel Lobith und die abschnittsgemittelten Wasserstandsminderungen für die IJssel bei berücksichtigtem Deichüberströmen dargestellt. Für den Zustand 2010 werden im Mittel die Wasserstandsscheitel um HQ_{100} für -2 cm und um HQ_{Extrem} um -3 cm abgemindert. Die entsprechende Bandbreite der Scheitelwasserstandsminderung (orangene Balken) 2010 zwischen Hochwassern mit hoher und niedriger Wahrscheinlichkeit variiert zwischen 0 cm und -7 cm. Für den Zustand 2020 ergibt sich eine Bandbreite von von -25 cm bis -56 cm. Die mittlere Wasserstandsscheitelminderung um HQ_{100} beträgt -43 cm und um HQ_{Extrem} -46 cm.

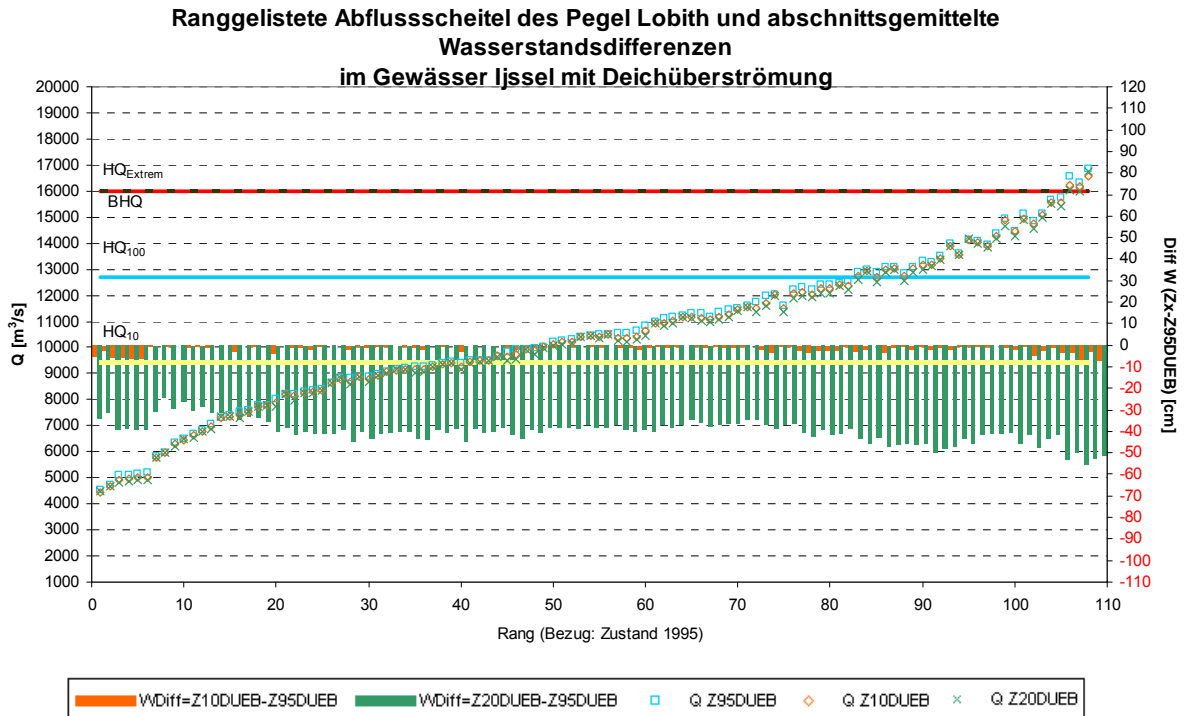


Abb. 7.17: Abflussscheitelwerte und abschnittsgemittelte Wasserstandsscheiteldifferenzen für die Ausbaustände 1995, 2010 und 2020 jeweils mit berücksichtigter Deichüberströmung, im Gewässer IJssel (Pegel Lobith). Rang bezogen auf den Zustand 1995

Gemittelte Abfluss- und Scheitelwasserstandsänderungen durch Hochwasserstandsmindernde Maßnahmen für den Zustand 2010 gegenüber dem Zustand 1995 für Modellhochwasser um HQ_{100} sind in der Abbildung 7.18 als Übersicht jeweils mit und ohne Berücksichtigung von Deichüberströmen für Rheinabschnitte dargestellt. Unterhalb der Moselmündung (ab Pegel Andernach) sind die erzielten Wasserstandsminderungen aufgrund anderer morphologischer Verhältnisse (Breite und Sohle) am Niederrhein und in den niederländischen Rheinweisen wesentlich kleiner als am nördlichen Oberrhein (Mainz) bzw. südlichen Mittelrhein (Kaub).

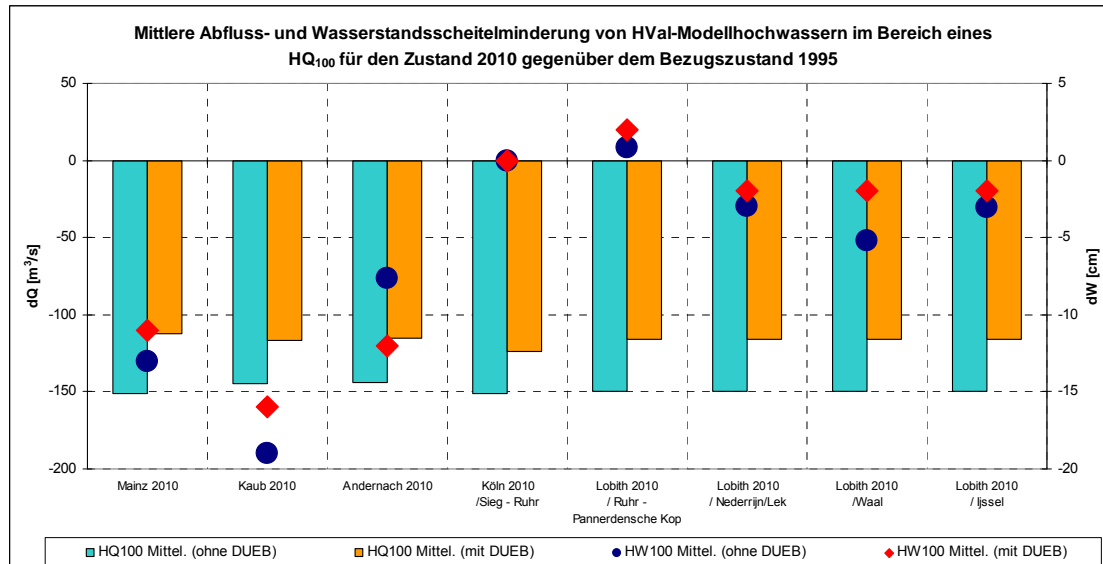


Abb. 7.18: Mittelwerte der Abfluss- und Wasserstandsscheitelminderung für den Zustand 2010 im Bereich um HQ_{100}

Die detaillierten Berechnungsergebnisse können aufgrund des großen Umfangs hier nicht im Einzelnen publiziert werden.

In der Zusammenfassung sind die maßgebenden Wasserstandsänderungen für alle Ausbaustände des Rheins aufgeführt (siehe Tabellen 1 – 10). Maßgebend für die Gesamtbewertung sind jedoch die Mittelwerte der Ergebnisse. Die Extremwerte stellen lediglich ereignis- und abschnittsbezogene Einzelfälle dar. Um Zufälligkeiten der Ergebnisse zu minimieren sind in den Tabellen jeweils die 10% - 90%-Perzentilbereiche (sofern mehr als 10 Werte in der Klasse vorhanden sind) aufgeführt.

In Anlage 9 sind ergänzend zur Zusammenfassung die Abfluss- und Wasserstandsdifferenzen, auch für die Extremwerte aufgeführt.

Literatur

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

Bundesanstalt für Gewässerkunde (2011): Nachweis 2010 der Wirkung von wasserstands-mindernden Maßnahmen auf Extremhochwasserstände des Rheins zwischen Worms und der Nordsee, Abschlussbericht, BfG, Koblenz, Stand 2.11.2011; Dokument HVAL(5)11-04-04, nicht publiziert

DELTA RES (2010): SOBEK-modellen Deltarijn, Bericht Projekt Nr. 1201161-000, Auftraggeber Rijkswaterstaat Waterdienst

Deutsch-Niederländische Arbeitsgruppe Hochwasser (2004a): Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein, Teilbericht Eingabedaten für das DSS Niederrhein-Rheinzweige. ISBN9036956668. Auch in niederländischer Sprache unter ISBN9036956714.

Deutsch-Niederländische Arbeitsgruppe Hochwasser (2004b): Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein, Teilbericht Überflutungen in Nordrhein-Westfalen und Gelderland. ISBN9036956641. Auch in niederländischer Sprache unter ISBN9036956629.

Hochwasserstudienkommission für den Rhein (1978): Ergebnisse der Untersuchungen über die Hochwasser und ihre Entwicklung von Beginn der Aufzeichnungen an, die Einflüsse des Ausbaus des Rheins, seiner Nebenflüsse und der Seen auf das Hochwasser, den derzeitigen Stand des Hochwasserschutzes sowie Empfehlungen für Maßnahmen gegen die vergrößerte Hochwassergefahr (Teil 1: Text; Teil 2: Anlagen; Teil 3: Berichte der Delegationen; Teil 4: Dokumentation von Pegelunterlagen und sonstige Daten).

Hochwasserstudienkommission 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 Rückhalte-maßnahmen am Oberrhein nach dem deutsch-französischen Vertrag von 1982. Materialien zum Hochwasserschutz am Rhein. Ministerium für Umwelt, Rheinland-Pfalz. 74 S.; Anlagen.

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

HSK (1978): Schlussbericht der Hochwasserstudienkommission für den Rhein

HVAL (2006): Nachweis der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Minderung der Hochwasserstände im Rhein infolge Umsetzung des Aktionsplans Hochwasser bis 2005 (IKSR Bericht 153d) .

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

HVAL/Bundesanstalt für Gewässerkunde (2010): 1. Zwischenbericht der BfG im Rahmen der Kooperationsvereinbarung zwischen der IKSR und der BfG: Ausgewählte Hochwasserereignisse für Simulationsberechnungen und Grundlagen für die Abschätzung von Faktoren zur Generierung von Modellhochwassern, Dokument HVAL(4)10-04-01d, nicht publiziert

Mens, Weerts and Ogink, (2007): Water balance Maxau-Rhine branches, Bericht WL|Delft Hydraulics, project Q4231.00, im Auftrag von Rijkswaterstaat/RIZA, Delft.

IKSR (2006): Nachweis der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Minderung der Hochwasserstände im Rhein infolge Umsetzung des Aktionsplans Hochwasser. Abschlussbericht (IKSR Bericht 153d)

IKSR (2006): Aktionsplan Hochwasser 1995-2005 – Handlungsziele, Umsetzung und Ergebnisse (Broschüre und IKSR Bericht 156d)

IKSR (1998): Aktionsplan Hochwasser

LANUV NRW (2011): Erweiterung des SOBEK-Modelldatensatzes von Andernach bis Lobith um die Einflüsse des Deichüberströmens, erstellt von HKV-Hydrokontor im Auftrag des LANUV NRW

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

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)

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

RWS-WD (2009): Werklijn Lobith

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

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

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Wirkung von Maßnahmen zum Wasserrückhalt im Einzugsgebiet (entnommen aus: IKSR-Bericht Nr. 153, Anlage 2)

Anlage 2: Grundsätzliches zur Wirkung von Retentionsmaßnahmen

Anlage 3: Hochwasserereignisse und Simulationszeiträume

Anlage 4a: Datenlage für die ausgewählten historischen Hochwasserereignisse Basel bis Lobith

Anlage 4b: Datenlage für die ausgewählten historischen Hochwasserereignisse Deltarhein

Anlage 5: Übersicht maximal mögliche Abflüsse der Rheinzuflüsse

Anlage 6: Grundsätzliche Aspekte zur Beeinflussung von Wellenverlauf und -scheitel durch Überströmen von Deichen

Anlage 7:

- (1) Anlage 7a: Potentielle Überflutungsflächen in der Folge von Deichüberströmungen entlang des Rheins flussabwärts des Bodensees; die Überflutungsflächen sind mittelblau dargestellt, analog zum IKSR - Rheinatlas, 2001 (aus: te Linde, 2011)
- (2) Anlage 7b: Berücksichtigte Überflutungsgebiete in Baden-Württemberg
- (3) Anlage 7c: Berücksichtigte Überflutungsgebiete in Rheinland Pfalz
- (4) Anlage 7d: Einteilung des Überflutungsgebietes am Niederrhein in einzelne Überflutungsflächen. Eine Erläuterung zur Gebietsbezeichnung findet sich im Text. (aus: Deutsch-Niederländische Arbeitsgruppe Hochwasser, 2004b)

Anlage 8: Schematisierung der Überflutungsgebiete hinter den Deichen im SOBEK-Modell zwischen Andernach und Lobith

- (1) Anlage 8a: Systemskizze Deichüberströmungs- und Deichbruchgebiete in SOBEK (aus Deutsch-Niederländische Arbeitsgruppe Hochwasser (2004a). Bereich Andernach bis Köln)
- (2) Anlage 8b: Systemskizze Deichüberströmungs- und Deichbruchgebiete in SOBEK (aus Deutsch-Niederländische Arbeitsgruppe Hochwasser (2004a). Bereich Köln - Düsseldorf)
- (3) Anlage 8c: Systemskizze Deichüberströmungs- und Deichbruchgebiete in SOBEK (aus Deutsch-Niederländische Arbeitsgruppe Hochwasser (2004a). Bereich Düsseldorf bis Lobith)

Anlage 9: Scheitelminderungen für Abfluss und Wasserstand für die untersuchten Ausbauzustände

Anlage 10: Karte der wasserstandsreduzierenden Maßnahmen am Rhein

**Anlage 1: Wirkung von Maßnahmen zum Wasserrückhalt im Einzugsgebiet
(entnommen aus: IKSR-Bericht Nr. 153, Anlage 2)**

Im „Aktionsplan Hochwasser“ für den Rhein werden fünf Maßnahmenkategorien zur Verbesserung der Hochwassersituation am Rhein genannt. Zwei der fünf Maßnahmenkategorien unterstützen das Handlungsziel „Minderung der Hochwasserstände“ im Rhein. Hierbei handelt es sich um die

- Maßnahmenkategorie 1: Wasserrückhalt im Rheineinzugsgebiet und
- Maßnahmenkategorie 2: Wasserrückhalt am Rhein.

Bereits im „Aktionsplan Hochwasser“ wird der Maßnahmenkategorie „Wasserrückhalt im Rheineinzugsgebiet“ im Gegensatz zu der Kategorie „Wasserrückhalt am Rhein“ nur eine sehr geringe Hochwasserstand reduzierende Wirkung im Rhein zugesprochen. Von den dort aufgeführten Maßnahmen haben die Maßnahmenkategorien

- 1a Renaturierungen
- 1c Extensivierung der Landwirtschaft
- 1d Naturentwicklung, Aufforstungen
- 1e Entsiegelungen

nur geringe Wirkungen im Nahbereich und reduzieren die Wasserstände im Rhein nicht (IKSR 1998). Lediglich für die Maßnahmenkategorien

- 1b Reaktivierung von Überschwemmungsgebieten und die
- 1f Technische Rückhaltungen

werden geringe Hochwasser reduzierende Wirkungen auch im Rhein erwartet. Auch in dem 1999 von der IKSR herausgegebenen Bericht „Wirkungsabschätzung von Wasserrückhalt im Einzugsgebiet des Rheins“ werden detailliertere zumeist qualitative Abschätzungen der Wirkung dieser Maßnahmenkategorie in gleicher Richtung gegeben.

Es zeigt sich, dass eine genaue Quantifizierung (der Maßnahmenkategorie 1) selbst bei exakten Lage- und Wirkungsangaben nur mit hohem Zeit- und finanziellem Aufwand durchzuführen ist. Weiterhin liegen derartige Berechnungen teilweise jenseits des Grenzbereichs einer zuverlässigen und verifizierbaren Modellanwendung.

Aus Sicht der Länder ist daher eine exakte Quantifizierung der im Nahbereich wirksamen Maßnahmen z. Z. nicht möglich und im Hinblick auf die momentan nicht nachweisbare Wirkung hinsichtlich der Reduzierung der Wasserstände im Rhein auch nicht erforderlich. Lediglich die „Reaktivierung von Überschwemmungsgebieten“ und die „technischen Rückhaltungen“ könnten eine - wenn auch geringe - Wirkung im Rhein bewirken. Sofern größere Maßnahmen dieser Art in den Einzugsgebieten der Nebengewässer des Rheins durchgeführt sind, sollen diese, soweit mit vertretbarem Aufwand möglich, quantifiziert werden.

Auf den folgenden Seiten ist für alle im Aktionsplan aufgeführten Einzelmaßnahmen für den Wasserrückhalt im Einzugsgebiet ausgeführt, ob jeweils

- ein detaillierter modelltechnischer Nachweis der entsprechenden Auswirkung für die Hochwasserverhältnisse im Rhein sinnvoll oder
- eine qualitative Beschreibung der entsprechenden Auswirkungen ausreichend ist.

Maßnahmenkategorie 1 a: Renaturierungen

Wie in IKSR (1999) festgehalten wird, wirken Gewässerrenaturierungen durch Laufverlängerungen (insbesondere Anlage von Mäandern) gefällereduzierend und damit für die direkt unterliegende Gewässerstrecke tendenziell Scheitel reduzierend. Es ist aber zu berücksichtigen, dass das Gewässer bei Hochwasser ggf. wieder das vor der Renaturierung vorhandene Gewässerbett als Fließweg nutzt. In aller Regel sind die renaturierten

Gewässerstrecken rauer - auch im Ausuferungsbereich - und wirken dadurch ebenfalls Wasser rückhaltend. Bei der Einmündung in das nächste übergeordnete Flusssystem bedeutet dies eine zeitliche Verzögerung des Hochwasserscheitels. Vor allem bei Gewässerrenaturierungen, die das gesamte System eines Nebengewässers betreffen, kann es zu Scheitelminderungen in merklichem Ausmaß kommen. Hiermit verbunden ist allerdings eine Zeitverzögerung. Da z.B. am Mittelrhein die Nebenflusswellen häufig der Rheinwelle vorweg laufen (MINISTERIUM FÜR UMWELT RHEINLAND-PFALZ 1993), kann es unter den oben genannten Bedingungen zu einer tendenziellen Erhöhung der Rheinwelle kommen. Dies dürfte sich aber kaum auf den Scheitelbereich auswirken.

Mittlerweile gibt es eine Reihe von Untersuchungen, die sich mit den Veränderungen der Abflüsse infolge von Renaturierungsmaßnahmen befassen. LEICHTFUSS & KIVUMBI (1995) quantifizieren mittels eines systemhydrologischen Modells den Einfluss von Renaturierungen in einem Einzugsgebiet der Nahe (587 km² am Pegel Eschenau). Hierbei wurde angenommen, dass sämtliche Gewässer renaturiert werden, und dabei die Gerinzelänge um 30 % zunimmt. Die Rauigkeit wurde durch Veränderung der Stricklerwerte um fünf Punkte erhöht. Ergebnis dieser Untersuchung war, dass sich bei den betrachteten Hochwassern Wasserstandsreduzierungen von bis zu vier Zentimetern im Scheitelbereich am Pegel Eschenau ergaben.

MARENBACH (2002) quantifiziert für die zwei Mittelgebirgseinzugsgebiete der Nahe (4066 km²) und der Rems (583 km²) die Wirkung von Revitalisierungsmaßnahmen (=Renaturierung). Auch hier werden Rauigkeit und Fließwege im Modell verändert, jedoch nur für Gewässerbereiche, die nach Kartenstudium renaturierbar erscheinen (z.B. geradlinig verlaufende Fließstrecken). Für das Nahegebiet werden diese an den Oberläufen von Nahe und Glan sowie an allen Nebengewässern angesetzt. Erzielbare Scheitelabminderungen bei HQ 100 liegen bei gut 6 % im Unterlauf der Nahe (das bedeutet etwa 10 cm Wasserstandsreduzierung am Pegel Grolsheim/Nahe); an der Rems können in Kombination mit Kleinerückhalten bis zu 5 % Scheitelreduzierung erwartet werden. Die Untersuchung zeigt jedoch auch, dass es je nach Gebietsstruktur bereichsweise auch zu Scheitelerhöhungen kommen kann. Werden beispielsweise Revitalisierungsmaßnahmen nur im unteren Nahegebiet durchgeführt, so ergeben sich dadurch an der Nahemündung geringfügige Scheitelerhöhungen auf Grund der Überlagerungen der Wellen aus den verschiedenen Teileinzugsgebieten. Von der im Naheinzugsgebiet rund 5 bis 6000 km langen Gewässerstrecke befinden sich schätzungsweise noch bis zu 1000 km in einem (bedingt) naturnahen Zustand. Seit 1995 wurden über 300 km Gewässerrandstreifen erworben; etwa 25 km wurden bei Gewässerrückbauprojekten renaturiert. Der Effekt der zwischen 1995 und 2005 erfolgten Renaturierungen an der Mündung in den Rhein dürfte somit rechnerisch kaum nachweisbar sein.

Für das Einzugsgebiet der Lahn untersuchten LANG und TÖNSMANN (2002) die Wirkung von Renaturierungsmaßnahmen unter Verwendung der Strukturgütekartierung. Hierdurch konnte das Renaturierungspotential einigermaßen realitätsnah abgeschätzt werden, so dass z.B. keine pauschalen Fließwegverlängerungen angenommen werden mussten. Für HQ1 bis HQ 100 werden Scheitelreduzierungen zwischen 6 % und 17 % errechnet. Die Scheitelabminderungen in den Nebenflüssen der Lahn führen zwar zu einer Abflachung, aber gleichzeitig auch zu einer zeitlichen Ausdehnung der Hochwasserwellen. Dies hat zur Folge, dass mit zunehmendem Einzugsgebiet die eigentliche Wirkung der Renaturierung auf Grund von Überlagerungen der Wellen abgeschwächt wird. An der Landesgrenze zu Rheinland-Pfalz ergeben sich aber noch rechnerische Reduzierungen des Scheitelabflusses zwischen 2,5 % und 5,5 %. Auch diese Untersuchung bezieht sich auf das potentiell Machbare.

Die o.g. Untersuchungen legen somit den Schluss nahe, dass durch die im Aktionsplan Hochwasser bis 2005 angestrebten Renaturierungen von 3.500 km Rheinzufüssen kein wesentlicher Beitrag zur Verringerung extremer Hochwasser im Rheingebiet erzielbar ist. Auch im Aktionsplan Hochwasser werden durch diese Renaturierungen nur geringe hochwassermindernde Wirkungen im Nahbereich kleinerer Flüsse erwartet, jedoch keine hochwassermindernden Wirkungen für große Rheinhochwasser.

Aus diesem Grunde ist ein weiterer modelltechnischer Nachweis für die Abminderung des Hochwasserscheitels im Rhein aufgrund von Renaturierungen an Nebenflüssen des Rheins im Rahmen des Aktionsplans Hochwasser nicht erforderlich.

Maßnahmenkategorie 1 b: Reaktivierung von Überschwemmungsgebieten

Streng genommen ist die Reaktivierung von Überschwemmungsgebieten Bestandteil der Renaturierungen. Es wird daher hier zunächst auf die Wirkung der Retention eingegangen (NAEF et al. 1999):

Eine Retention erfolgt im Gerinne, als fließende Retention und stehende Retention auf Überflutungsflächen. Für die Retention im Gerinne gilt, dass sie vor allem bei flachen Flussläufen mit Sohlgefälle unter 1 % Effekte zeigt, bei kurzen Hochwassern mit hoher Abflussspitze (= geringes Abflussvolumen). Die Dämpfung der Hochwasserspitze durch Überflutung der Vorländer kann wesentlich größer sein als die Retention im Gerinne. Fließende Retention in den Vorländern tritt bei gegliederten Querschnitten auf und entsteht durch unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten im Hauptgerinne und Vorland. Im Vergleich zum Hauptgerinne fließt das Wasser auf Grund der geringeren Wassertiefe und der erhöhten Reibung im Vorland langsamer. Wenn die Verzögerung der Welle im Vorland so groß ist, dass sich am Ende des Gerinneabschnittes die Welle im Vorland und im Hauptgerinne nicht mehr überlagern, resultiert eine wesentliche Dämpfung der Welle. Ist der Unterschied zwischen den Fließgeschwindigkeiten klein, muss entweder die Fließstrecke lang oder die Dauer des Hochwassers kurz sein, um eine deutliche Änderung der Ganglinien zu bewirken. Beträgt z.B. der Unterschied zwischen den Geschwindigkeiten 1 m/s, muss bei einer Fließstrecke von 10 km das Hochwasser weniger als drei Stunden dauern, damit fließende Retention wesentlich wirkt. Stehende Retention tritt auf, wenn Wasser auf das Vorland gelangt und dort zurückgehalten wird oder mit einer vernachlässigbaren Geschwindigkeit fließt. Entscheidend für die Wirkung der stehenden Retention ist der Zeitpunkt der Überflutung der Vorländer. Ist die Gerinnekapazität so klein, dass bereits zu Beginn des Hochwassers Überflutungen auftreten, sind die Speicher je nach Größe bereits vor Erreichen der Hochwasserspitze gefüllt und es findet keine Dämpfung des Scheitels statt. Neben dem Beginn der Überflutungen ist auch das Verhältnis zwischen Volumen des Rückhalteraums und dem Volumen des Wassers, das auf das Vorland fließt, wichtig. Ist das Rückhaltevolumen größer als das Volumen des austretenden Wassers, wird die Abflussspitze stark gedämpft.

Die Reaktivierung von Überschwemmungsflächen an den Nebenflüssen des Rheins betrifft im Wesentlichen ausgedeckte Flächen. Diese kommen meist an den Unterläufen der Flüsse vor, ggf. in einigen Fällen auch in den Mittelläufen, sofern diese Bereiche ein geringes Sohlgefälle haben, wie z.B. die Lahn. Die Deichlängen umfassen meist mehrere Kilometer, der hinter den Deichen liegende, geschützte Bereich ist bis zu mehreren hundert Metern breit. Im Allgemeinen werden die Deiche sicher nicht vollends aufgegeben. Für eine überschlägige Volumenabschätzung sei angenommen, dass auf 500 Metern Länge der Deich zurückgelegt wird und damit ein zusätzlicher Retentionsraum von 100 Metern Breite und 2 Metern Höhe erschlossen wird. Somit könnten 100000 m³ zusätzlicher Rückhalteraum geschaffen werden. Nimmt man an, es handele sich um mehr oder weniger stehende Retention, so würde das Wasser der Welle entzogen. Ordnet man dieses Volumen (unzulässigerweise) allein dem Scheitelbereich zu, so ergäbe sich beispielsweise für das Hochwasser Dezember 1993 am mündungsnahen Pegel Grolsheim/Nahe eine Scheitelminderung um knapp 10 cm. Da der Speicherungsprozess allerdings mit der Ausuferung beginnt, ist der Hochwasser dämpfende Effekt beim Scheiteldurchgang nicht mehr vorhanden. Mit ablaufender Welle wird dieses gespeicherte Volumen wieder abgegeben und erhöht die Welle entsprechend. Tendenziell kann es dadurch leichte - Abflusserhöhungen im Rhein geben. In aller Regel wäre aber dort der Scheitelbereich nicht betroffen. Nach einer Studie der ETH - Zürich (1998) wurde für einen rund 10 km langen Abschnitt an der mittleren Nahe, bei dem Ausuferungsmöglichkeiten beidseitig von etwa 200 Metern bestehen, der Effekt der Vorlandretention und deren Wirkung auf den Abfluss mit einem zwei-dimensionalen Strömungsmodell berechnet. Hierfür wurden

das Hochwasser Dezember 1993 und Januar 1995 (für diesen Abschnitt der Nahe das größte dokumentierte Hochwasser) herangezogen. Um den Effekt der Vorlandüberflutung zu quantifizieren, wurden rechnerisch Deiche in unmittelbarer Flussnähe angenommen, so dass es nicht mehr zu einer Ausuferung kommt. Die resultierenden Ganglinien wurden mit den historischen verglichen. Als Ergebnis ist festzuhalten, dass aufgrund der fließenden Retention für große Hochwasser in der Nahe in diesem Abschnitt nicht mit einer nennenswerten Abflussminderung (am Pegel Grolsheim zwischen null und zwei Prozent) zu rechnen ist, lediglich mit einer Wellenverschiebung von einigen Stunden. Größere Hochwasserdämpfungen sind nur bei kleineren Hochwassern zu erwarten, die nicht die Ausprägung der Hochwasser wie 1993 und 1995 haben. Ausuferungen in der Nähe des Scheitels bewirken spürbare Wellenabflachungen.

Rückgewonnene Überschwemmungsgebiete können nur dann eine Auswirkung auf den Scheitelabfluss im Rhein haben, wenn die rückgewinnbare Fläche in einem Nebengewässer ein im Vergleich zur betrachteten HW-Welle bedeutendes Volumen bereitstellt oder aber eine Ausuferung bzw. Inanspruchnahme der rückgewonnenen Fläche erst bei höheren Wasserständen kurz vor dem HW-Scheitel erfolgt.

Der Aktionsplan spricht der Reaktivierung von Überschwemmungsgebieten nur eine geringe (scheitelmindernde) Wirkung für den Rhein zu. Bei größeren Reaktivierungen von Überschwemmungsgebieten bedeutender Rheinzuläufe ist ein rechnerischer Nachweis anzustreben.

Maßnahmenkategorie 1c: Extensivierung Landwirtschaft/infiltrationsfördernde Landwirtschaftsformen

Besondere landwirtschaftliche Bewirtschaftungsverfahren, namentlich eine Umstellung von der Pflugbewirtschaftung auf das Mulchsaatverfahren, können zu einer erhöhten Infiltrationsfähigkeit landwirtschaftlich genutzter Böden beitragen. Erhöhte Infiltrationsraten führen hier allerdings nicht zu einer proportionalen Hochwasserminderung im Gewässer, da ein maßgeblicher Anteil des Hochwasserabflusses durch schnell reagierende unterirdische Abflussprozesse gebildet wird (LEIBUNDGUT & UHLENBROOK 1997; PIK 2001).

Die Hochwasserbildung in Einzugsgebieten, die z.B. landwirtschaftlich oder forstlich genutzt werden, ist eine komplexe Überlagerung verschiedenster Teilprozesse. Wie diese einzelnen Abflussbildungsprozesse im größeren Maßstab der mikro- oder mesoskaligen Einzugsgebiete zusammenwirken und den gefallenen Niederschlag in die Fließgewässer transportieren, ist nur summarisch bekannt, kann jedoch quantitativ nicht zuverlässig den einzelnen unterirdischen und ggf. oberirdischen Fließwegen in der Fläche zugeordnet werden (PIK 2001). Demzufolge können die vorhandenen Simulationsmodelle die Hochwasserentstehung nicht ausreichend prozessgenau abbilden, um den Einfluss landwirtschaftlicher Maßnahmen zuverlässig zu quantifizieren. Hier besteht sowohl im Prozessverständnis als auch in der Modelltechnik weiterhin Forschungsbedarf.

Es ist daher nur qualitativ abschätzbar, welchen Beitrag eine Extensivierung der Landwirtschaft auf den Hochwasserabfluss im Rhein leisten kann. Hierzu dienen die folgenden Ausführungen:

Während extreme Hochwasser in sehr kleinen Einzugsgebieten meist durch äußerst intensive, relativ kurz andauernde und kleinräumige Gewitterniederschläge gebildet werden, sind die Voraussetzungen für die Entstehung großer Rheinhochwasser längeranhaltende und großflächige Starkniederschlagsfelder, zu denen ggf. noch der Einfluss einer zeitgleichen Schneeschmelze hinzukommt.

Der für Rheinhochwasser maßgebliche frontale Niederschlagstyp löst jedoch in nicht versiegelten Einzugsgebieten fast ausschließlich unterirdisch dominierte Abflussprozesse aus (z.B. NIEHOFF & BRONSTERT 2002), so dass hier eine erhöhte Infiltrationsfähigkeit kaum hochwasserdämpfend wirken kann.

Die im Rahmen des LAHoR-Projektes (KHR 2003) durchgeführten Untersuchungen des PIK zeigen selbst für die Skala kleiner Einzugsgebiete am Beispiel der Lein nur „äußerst geringe Auswirkungen der durch Mulchung veränderten Boden- und Landnutzungsparameter auf die Hochwassersituation“ (PIK 2001, S. 171-172), obwohl im untersuchten Szenario rund 23% der Einzugsgebietsfläche mit Mulchsaat bewirtschaftet wurden. Die im Rahmen des LAHoR-Vorhabens durchgeführten aufwendigen Modellrechnungen legen somit den Schluss nahe, dass durch eine infiltrationsfördernde Landbewirtschaftung auf rund 1% der Einzugsgebietsfläche (Ziel des Aktionsplans für das Jahr 2005) bzw. auf rund 2% der Gesamtfläche (Ziel 2020) kein Beitrag zur Verringerung extremer Hochwasser im Rheingebiet erzielbar ist.

Auch im Aktionsplan Hochwasser werden durch eine infiltrationsfördernde Landbewirtschaftung nur geringe hochwassermindernde Wirkungen im Nahbereich kleinerer Flüsse erwartet, jedoch keine hochwassermindernden Wirkungen für große Rheinhochwasser.

Aus diesem Grunde ist ein modelltechnischer Nachweis für die Abminderung des Hochwasserscheitels im Rhein aufgrund infiltrationsfördernder Landbewirtschaftung im Rahmen des Aktionsplans Hochwasser nicht erforderlich.

Maßnahmenkategorie 1d: Naturentwicklung, Aufforstungen

Eine denkbare Maßnahme zur Hochwasserdämpfung liegt in der Änderung der Landnutzung von bewirtschafteten Ackerflächen oder Grünland in Waldnutzung.

Auswirkungen einer Änderung von Forst- und Mischgebieten hin zu einer natürlichen Entwicklung oder Übergang zu einer naturnahen Forstwirtschaft lassen sich insbesondere in den Prozessen der Abflussbildung erwarten. Die jeweilige korrekte Zuordnung der Abflussbildungsprozesse und deren Quantifizierung ist jedoch Gegenstand der Forschung und derzeit nicht darstellbar (LEIBUNDGUT & UHLENBROOK 1997). Wald wirkt aufgrund seiner erhöhten Transpiration, hoher Interzeption im Kronenraum und in der Streuschicht auf dem Boden sowie aufgrund der hohen Versickerungsleistung der Grobporen und der oft hohen Speicherleistung von Waldböden (Oberflächenabfluss unter Wald ist so gut wie nicht bekannt) in Hinblick auf Hochwasserfülle und Scheitel hochwasserdämpfend.

Die hochwassermindernde Wirkung von Wald wurde vielfach anhand von Untersuchungen kleiner benachbarter Vergleichsgebiete mit deutlich unterschiedlicher Landnutzung belegt (MENDEL 2000). Hinsichtlich der Wirkung von Aufforstungen in mittleren und größeren Einzugsgebieten lassen sich überwiegend Modelluntersuchungen mit einem hypothetischen Szenario „komplett ent- oder bewaldetes Gebiet“ oder konzeptionelle „Waldanteilswirkungen“ finden. Einheitlich sind alle in der folgenden Tabelle zusammengestellten Wirkungsabschätzungen auf Zunahme der Waldanteile (absoluter Prozentanteil am Einzugsgebiet) umgestellt und umgerechnet:

| Studie | Einzugsgebiet | Größe [km ²] | Waldanteil Ist [%] | Waldanteil Szenario [%] | Scheitelabnahme (ΔQ) [%] | Δ Scheitel pro Δ -% Waldanteil [% / %] | Ereignis |
|----------------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|--|---|----------|
| LAHoR * | Nahe | 4013 | 48 | 100 | 14 | 0,27 | Dez-91 |
| LAHoR* | Lippe | 4783 | 21,5 | 100 | 29 | 0,37 | Mai-83 |
| LANG & TÖNS- MANN(2002) | Lahn | 5964 | 41,83 | 45,99 | 2,3 | 0,55 | HQ100 |
| MÜLLER(1987) | Dreisam | 257 | 0 | 55 | 50 | 0,91 | Mai-83 |
| LAHoR (KHR, 2003) | Körsch | 127 | 12 | 18 | n.n. | n.n. | Dez-93 |
| KOEHLER (1993) | Oberrhein/ Worms | 68827 | 0 | 37 | 17 | 0,46 | 4 Tage |
| LAHoR* | Rhein/Worms | 68827 | 37 | 100 | 7 | 0,11 | 1988 |
| LAHoR* | Rhein/Worms | 68827 | 37 | 100 | 20 | 0,32 | 1993 |

Die relativen Abnahmen der Hochwasserscheitelabflüsse pro prozentualer Zunahme des Waldanteils im Einzugsgebiet liegen für Rheinbegewässer zw. 0,27 und 0,9 % und für das Rheingebiet bis zum Pegel Worms zw. 0,11 und 0,45 %. Solche Aussagen aus der Annahme einer flächendeckenden Bewaldung oder eines völligen Waldverlustes können allerdings nicht sinnvoll auf realistische Veränderungen der Waldanteile übertragen werden, zumal die in kleinräumigen Parzellen veränderten Infiltrationsbedingungen vor dem Hintergrund der übrigen unveränderten Verhältnisse wohl eher eine untergeordnete Rolle im Hochwasserabflussgeschehen spielen. Für die Lahn wurde für eine Zunahme des Waldanteils von 41,8 auf 46 % durch einfache Berücksichtigung eines Anfangsverlustes eine Scheitelabnahme von 2,3 % ermittelt, für die Körsch hingegen ergab sich unter Heranziehung eines realistischen Aufforstungsszenarios von 12 auf 18 % Waldanteil keine erkennbare Hochwasserscheitelminderung. Die Auswirkungen im Rheingebiet z.B. bis zum Pegel Worms liegen zw. 0,11 und 0,45 % Scheitelminderung je Prozent Waldzunahme. Letztlich hängen die ermittelten Ergebnisse von dem gewählten (vereinfachten) Konzept der Berücksichtigung der Abflussbildungsprozesse unter Wald ab, da der eigentliche Abflussbildungsprozess in den Modellen nicht physikalisch abgebildet und derzeit nicht befriedigend modellierbar ist.

Im Aktionsplan Hochwasser Rhein werden für die Schweiz und Deutschland bis 2020 Naturentwicklungen und ergänzende Aufforstungsmaßnahmen mit einer Gesamtfläche von 1600 km² angesetzt. Diese Fläche entspricht am Pegel Rees (159300 km²) einer Zunahme des Waldanteils im Einzugsgebiet um 1 %. Die Wirkung dieser verstreut anzunehmenden Maßnahmen lässt sich modelltechnisch nicht zielführend abbilden. Unter Anhalten der (unsicheren) Größenordnung der aus obiger Tabelle abgeleiteten Scheitelminderungsprozente ergäbe sich für den Rhein z.B. eine maximale Minderung von etwa 0,1 bis 0,4 % des Scheitelabflusses. Neben den zu erwartenden positiven Effekten im Nahbereich und für ökologische Belange kann aus dieser Abschätzung zumindest abgeleitet werden, dass diese Wirkung in den Bereich einer Scheitelminderung von etwa 1 cm führen kann. Für den Maßnahmenzeitraum bis 2005 im Aktionsplan Hochwasser sind für Naturentwicklungen und Aufforstungen 1200 km² vorgesehen. Somit ist ein noch geringerer Effekt auf die Scheitelminderung zu erwarten. Aus den oben angegebenen Gründen ist ein modelltechnischer Nachweis nicht zielführend.

Maßnahmenkategorie 1e: Entsiegelungen

Siedlungs- und Verkehrsflächen bedecken im Rheingebiet ca. 15 % der Landesfläche (KHR 2003). Auf rund 65 % dieser Flächen findet aber nach wie vor die Versickerung von Regenwasser statt, beispielsweise in den städtischen Grünflächen. Somit fällt der Regen im Rheingebiet nur auf 5% versiegelte Flächen und von diesen 5 % versickert ein Teil des Abflusses letztlich doch, z.B. entlang von Landstraßen. Es lässt sich festhalten, dass die Niederschläge bzw. der Schneeschmelzabfluss in mindestens 95% des Rheingebietes auf unversiegelte Flächen fallen.

Extreme Hochwasser mit überregionaler Bedeutung sind daher nahezu ausschließlich vom Abflussverhalten der unversiegelten Flächenanteile geprägt. Da extreme Rheinhochwasser nach langen Vorregen bzw. längeranhaltenden frontalen Niederschlägen entstehen, sind dann auch diese unversiegelten Teile des Einzugsgebietes so wassergesättigt, dass sie kaum noch weiteres Wasser speichern können und daher - ebenso wie versiegelte Flächen - hohe Abflusskoeffizienten aufweisen.

Eine Quantifizierung der Auswirkungen von Flächenentsiegelung auf den Hochwasserabfluss ist beim derzeitigen Stand von Wissenschaft und Technik im Grenzbereich einer zuverlässigen und verifizierbaren hydrologischen Modellanwendung. Gerade im Hinblick auf das Abflussverhalten von wassergesättigten natürlichen Flächen besteht noch Forschungsbedarf und die verfügbaren Modelle bilden diese hochwasserrelevanten Prozesse nur sehr vereinfacht ab.

Dennoch zeigen auch Untersuchungen mit einer vereinfachten Prozessabbildung die vernachlässigbare Relevanz von realistisch erzielbaren Flächenentsiegelungen für den Hochwasserabfluss in großen Flüssen.

So wurde im Rahmen des LAHoR-Vorhabens u.a. der Einfluss unterschiedlicher Landnutzungen auf den Hochwasserabfluss im Rheingebiet untersucht (KHR 2003). Die dabei betrachteten großen Winterhochwasser im Rhein blieben durch die (fiktive) Entsiegelung einer Fläche von 2.500 km² im Rheingebiet (= Ziel im Aktionsplan Hochwasser für das Jahr 2020) „mehr oder weniger unbeeinflusst“ (KHR 2003, S. 57). Rein rechnerisch führten die bis zum Jahr 2020 im Aktionsplan beabsichtigten Entsiegelungsmaßnahmen zu einer Hochwasserabminderung um 0 cm am Pegel Lobith bei den untersuchten Winterhochwassern (KHR 2003, Tab. 6.8, Vergleich der Varianten D1 und D2 am Pegel Lobith). Im Mittel aller untersuchten Pegel und Hochwasser führte die rechnerische Wirkung der beabsichtigten Flächenentsiegelung zu einer Hochwasserverminderung um 0,5 cm im Jahr 2020. Für die bis zum Jahr 2005 angestrebte Entsiegelung von 700 km² im Einzugsgebiet des Rheinpegels Lobith ergibt sich dementsprechend rechnerisch eine mittlere Scheitelminderung im Rhein von 0,1 Zentimeter gegenüber dem Zustand ohne Flächenentsiegelung. Alle genannten Berechnungsergebnisse liegen dabei um ein mehrfaches unterhalb der modelltechnischen Unsicherheit hydrologischer Modelle.

Die Flächenentsiegelungen im Einzugsgebiet des Rheins liefern somit keinen relevanten Beitrag zur Verringerung extremer Hochwasser im Rheingebiet. Ein weiterer modelltechnischer Nachweis für die Abminderung des Hochwasserscheitels im Rhein aufgrund von Flächenentsiegelungen ist daher im Rahmen des Aktionsplan Hochwasser nicht erforderlich.

Maßnahmenkategorie 1f: Technische Rückhaltungen

Für den örtlichen Hochwasserschutz stellt die Anlage von technischen Rückhaltungen wie Hochwasserrückhaltebecken grundsätzlich eine wirkungsvolle Maßnahme zur Hochwasserminderung dar.

Die Wirkung von technischen Rückhalten auf Scheitelabflüsse sind stark von der Scheitelhöhe und der Ganglinienform des jeweils betrachteten Hochwassers abhängig. Das Maß einer möglichen Scheitelreduzierung wird auch durch die Größe des Polders im Vergleich zur Scheitelfülle der HW-Ganglinie bestimmt. Retentionspolder entfalten ihre Wir-

kung dann optimal, wenn der Hochwasserwelle das Poldervolumen genau im oberen Scheitelvolumen (Scheitelkalotte) entnommen wird. Deshalb muss das Schutzziel für einen Einsatz von Retentionsmaßnahmen genau definiert und durch bauliche Maßnahmen, z.B. Ausprägung der Ein- und Auslaufbauwerke oder Steuerung, umgesetzt werden (D-NL-AG Hochwasser 2004).

Die tatsächliche Ausnutzung eines Rückhaltebeckens zur Scheitelabsenkung ist bedingt durch Steuerungsparametrisierung (Zeitpunkt des Füllens, Dauer des Öffnens, etc.) auch bei Kenntnis der Wellenform nur zu etwa 80-90 % möglich. Im operativen Einsatz auf Basis einer Vorhersage reduziert sich der Anteil des Rückhaltevolumens, der zur Scheitelabsenkung genutzt wird, weiter auf bestenfalls 40-60 %. Es ist daher nur bedingt zulässig, zur Abschätzung einer hochwassersenkenden Wirkung das zur Verfügung stehende bzw. geplante Rückhaltevolumen in die Scheitelkalotte einer Welle zu projizieren.

Hochwasserrückhaltebecken entfalten ihre Wirkung vor allem nach unterhalb. Des Weiteren verschiebt sich der Scheitel geringfügig nach hinten, und der ablaufende Wellenast zeigt etwas höhere Abflüsse (D-NL-AG Hochwasser 2004). Dadurch ist es denkbar, dass bei Verbesserungen unterhalb von Retentionsräumen eines Nebengewässers sich die Situation im Hauptgewässer verschärft. Ursache dafür kann sein, dass höhere Abflüsse des absteigenden Astes des Nebengewässers auf den Scheitel des Vorfluters treffen.

Bei Einströmmen in Rückhalteräume, die einen nennenswerten Anteil aus der HW-Welle entnehmen, kann durch die Veränderung des hydraulischen Gefälles auch eine Wirkung nach oberhalb entstehen.

Die Wirkung technischer Rückhaltungen kann durchaus über den örtlichen Bereich hinausgehen, nimmt aber in seinem Ausmaß im gesamten Verlauf stromab deutlich ab. KOEHLER (1993) kommt nach verschiedenen Untersuchungen zu der Aussage, „dass sich die Hochwasserabflüsse im Rhein durch Rückhaltungen an den Nebengewässern unter realistischen Bedingungen nicht wirkungsvoll verringern lassen“. Gründe dafür sind die nicht vorhandenen sehr großen erforderlichen Speicherräume, die zudem entgegen den vor Ort erforderlichen Belangen gesteuert werden müssten.

Im Rahmen der Lahn-Studie (LANG & TÖNSMANN 2002) wurden u.a. Rückhaltungen in den Nebentälern untersucht. Hierbei wurden insgesamt 47 fiktive Hochwasserrückhaltebecken im Modell an den Übergängen vom Mittellauf zum Unterlauf des Gewässers mit einem Gesamtvolumen von 13 bis 19 Mio m³ simuliert. Die Regelabgaben wurden im Bereich zw. HQ2 und HQ50 angesetzt und damit wurden größte Scheitelminderungen ab einem HQ10 direkt unterhalb der Maßnahmen in Höhe von bis zu 17 % erreicht. Im weiteren Verlauf verliert sich diese Wirkung jedoch rasch und führt teilweise aufgrund ungünstiger Überlagerung mit der Lahnwelle zu geringen Scheitelerhöhungen um ca. 1 % in der Lahn selbst.

Im Rahmen der Lahn-Studie wurden 8 Hochwasserschutzmaßnahmen umgesetzt und in ihren Auswirkungen gegenüber dem Ausgangszustand verglichen. Bei den Maßnahmen handelt es sich um die Anlage, die Anschließung und die Aktivierung von Retentionsräumen in der Lahnaue oder an größeren Nebengewässern mit einem Retentionsvolumen von insgesamt 1,2 Mio m³, die sich überwiegend im oberen Drittel des Lahneinzugsgebietes befinden. Mit diesen Maßnahmen wurde für ein HQ100 für den Lahnmittellauf eine Scheitelreduzierung von 4 % erreicht, die an der Lahnmündung noch etwa 2,3 % ausmacht. Aber auch hier hängt die überörtliche Wirkung insbesondere von der Überlagerung von Teilwellen ab, so dass die Wirkung bei einem anderen genetischen Ereignis wesentlich geringer ausfallen kann.

Bei der Untersuchung eines Ausführungsvorschlags zum Hochwasserschutz im Lahngbiet (Maßnahmen in der Fläche, in Gewässer und Talaue und Rückhaltungen mit einer Scheitelreduzierung an der Lahnmündung von etwa 12% bei HQ100) auf die weitere Wirkung am Rhein zeigt sich, dass die Wirkungen der Abflussveringerung i.d.R. im ansteigenden Ast der Rheinwelle eintreten und im Rheinscheitel selbst eher gering ausfallen.

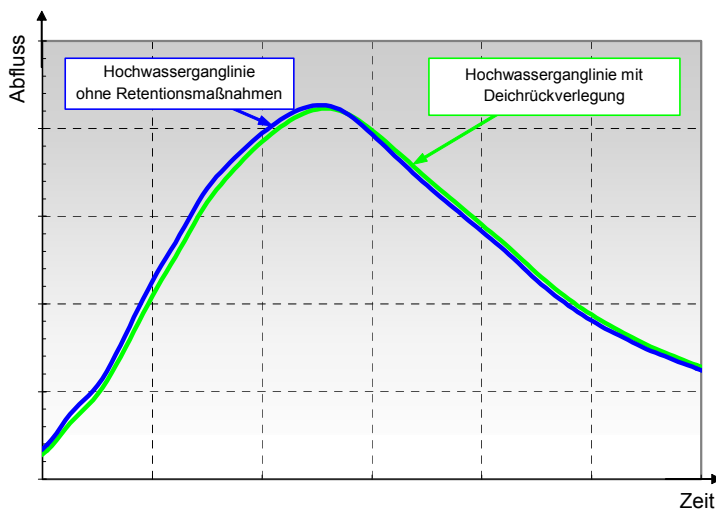
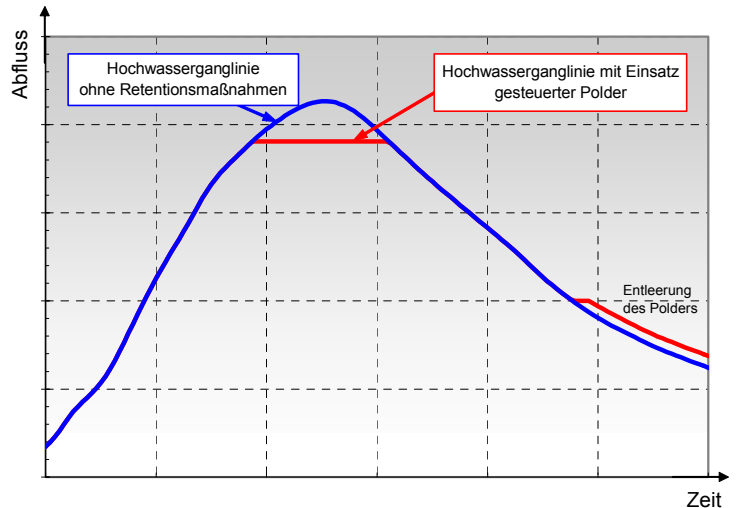
Da sich größere technische Rückhaltemaßnahmen im Einzugsgebiet (wenn auch im geringen Umfang) auf den Hochwasserscheitel im Rhein auswirken können, ist im Einzelfall deren Berücksichtigung im Rahmen der HVAL-Untersuchungen anzustreben.

- D-NL-AG Hochwasser (2004): Projektstudie „Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein“.
- ETH – Zürich (1998): Die Wirkung der Retention auf den Abfluss der Nahe bei extremen Hochwassern. Bericht Nr. A 006, Zürich.
- IKSR (1998): Aktionsplan Hochwasser. Internationale Kommission zum Schutze des Rheins. 30 Seiten, Koblenz.
- IKSR (1999): Wirkungsabschätzung von Wasserrückhalt im Einzugsgebiet des Rheins. 39 Seiten, Koblenz.
- KHR (2003): Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes, Bericht Nr. II-18: LAHOR - Quantifizierung des Einflusses der Landoberfläche und der Ausbaumaßnahmen am Gewässer auf die Hochwasserbedingungen im Rheingebiet. 77 Seiten und CD.
- KOEHLER, G. (1993): Auswirkungen verschiedener anthropogener Veränderungen auf die Hochwasserabflüsse im Oberrheingebiet. Materialien zum Hochwasserschutz am Rhein, Heft 4 , 113 S. und Anlagen, Ministerium für Umwelt Rheinland-Pfalz, Mainz.
- LANG, T. und TÖNSMANN, F. (2002): Vorbeugender Hochwasserschutz im Einzugsgebiet der hessischen Lahn. Teil 1 Zusammenfassender Bericht – Handbuch – 278 Seiten plus Anhang, Kassel.
- LEIBUNDGUT, Ch. & UHLENBROOK,S. (1997): Abflussbildung bei Hochwasser. Materialien zum Hochwasserschutz am Rhein, Heft 5, 81 Seiten, Ministerium für Umwelt und Forsten, Rheinland-Pfalz, Mainz.
- LEICHTFUSS, A. und KIVUMBI, D. (1995): Quantifizierung von Vermeidungs- und Ausgleichsmaßnahmen. Technische Hochschule Darmstadt, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, 46 Seiten plus Anhang.
- MARENBACH, B. (2002): Der Beitrag naturnaher Retentionsmaßnahmen in den Talauen zur Hochwasserdämpfung. Bericht 13 Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft, Universität Kaiserslautern.183 Seiten.
- MENDEL, H. G. (2000): Elemente des Wasserkreislaufs - eine kommentierte Bibliographie zur Abflussbildung. 244 Seiten, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Analytica Berlin.
- MINISTERIUM FÜR UMWELT RHEINLAND-PFALZ (1993): Hochwasserstudiengruppe für die Rheinstrecke Kaub – Rolandswerth; Der Einfluss des Oberrheinausbaus und der am Oberrhein vorgesehenen Retentionsmaßnahmen für die Hochwasser am Mittelrhein von Kaub bis Köln. Materialien zum Hochwasserschutz am Rhein, Heft 3, 74 Seiten plus Anhang, Mainz.
- MÜLLER, N. (1987): Wie stark beeinflussen Umweltveränderungen den Hochwasserabfluß? Diplomarbeit am Institut für Geographie der Universität Freiburg.
- NAEF, F.; KULL, D. und THOMA, C. (1999): Retentionswirkung von Vorlandüberflutungen. 40 Seiten, Zürich.
- NIEHOFF, D.& BRONSTERT, A. (2002): Landnutzung und Hochwasserentstehung: Modellierung anhand dreier mesoskaliger Einzugsgebiete. Wasser & Boden, 54/10, S. 20 - 28.
- PIK (2001): Quantifizierung des Einflusses der Landnutzung und -bedeckung auf den Hochwasserabfluss in Flussgebieten. Final report des Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung.

Anlage 2: Grundsätzliches zur Wirkung von Retentionsmaßnahmen

Mit Retentionsmaßnahmen wird einem Gewässer zusätzlicher Überflutungsraum zur Verfügung gestellt. Dabei unterscheidet man zwischen gesteuerten und ungesteuerten Retentionsmaßnahmen.

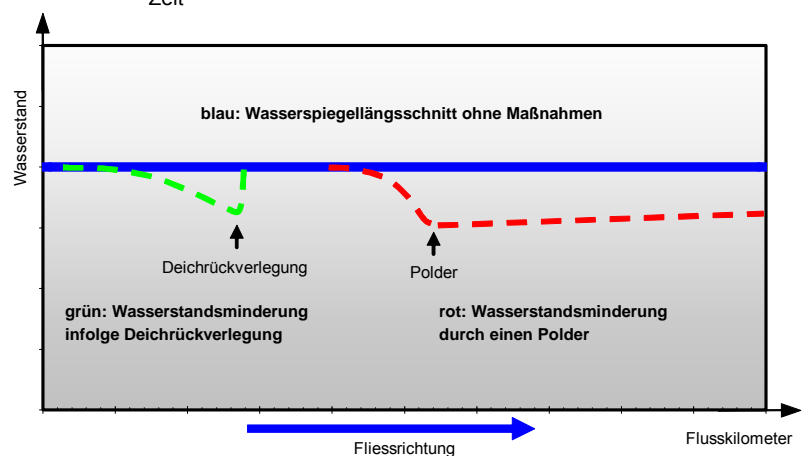
Gesteuerte Retentionsmaßnahmen wie Polder werden erst bei Überschreitung von kritischen Wasserstandsmarken geflutet. Bei günstigem Einsatz kann so das verfügbare Retentionsvolumen gezielt für die Reduzierung des Hochwasserscheitels nutzbar gemacht werden. Hierdurch wird eine Abflussminderung und damit auch Wasserstandsreduzierung vor Ort und in einem weiten Streckenbereich stromabwärts (100 km) erzielt. Stromaufwärts ist auf eine kurze Strecke eine Wasserstandsreduzierung feststellbar. Durch die Berücksichtigung von Hochwasservorhersagen bei der Steuerung zur Befüllung und Entleerung von Poldern wird ein effizienter Einsatz des verfügbaren Volumens er-



reicht. Bei kleineren, unkritischen Hochwassern werden die meisten Polder zur Verbesserung der Auverhältnisse ökologisch geflutet und wirken dann wie eine Deichrückverlegung (s.u.).

Ungesteuerte Retentionsmaßnahmen wie Deichrückverlegungen werden unmittelbar mit steigendem Wasserstand geflutet. Der Rückhalteraum füllt sich während des gesamten Anstiegs der Hochwasserwelle und ist daher bereits weitestgehend geflutet, wenn der Hochwasserscheitel

erreicht wird. Die Abminderung des Scheitelabflusses ist deshalb gering. Die Deichrückverlegung bewirkt daher in erster Linie eine zeitliche Verzögerung der Abflusswelle. Da ungesteuerte Retentionsmaßnahmen im Allgemeinen mit einer Vergrößerung des Fließquerschnittes einhergehen, bewirken sie jedoch, dass sich bei gleichem Abfluss ein niedrigerer Wasserstand einstellt. Diese Wasserstandsabsenkung ist sowohl am Ort der Maßnahme als auch mit abfallender Wirkung oberhalb der Maßnahme zu beobachten. Sie betrifft die gesamte Hochwasserwelle ab dem Zeitpunkt, an dem die Flutung der Retentionsmaßnahme beginnt.

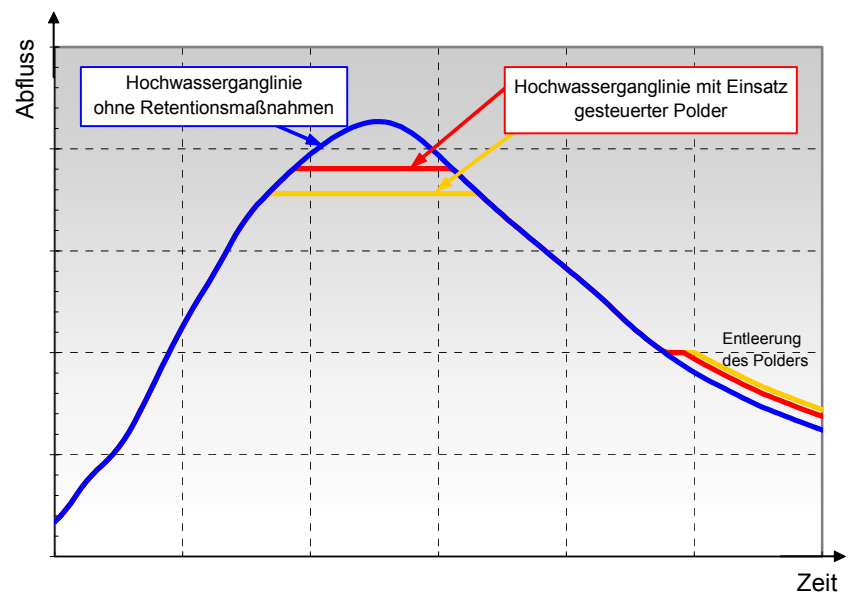


Der schematisierte Längsschnitt links zeigt die unterschiedliche wasserstandsreduzierende Wirkung von Deichrückverlegungen und von Poldern.

Eine Verdoppelung des eingesetzten Rückhaltevolumens führt keinesfalls zu einer Verdoppelung der Abflussreduzierung. Im rechts dargestellten Beispiel bewirkt eine Vergrößerung des eingesetzten Poldervolumens um 100% „nur“ eine zusätzliche Abflussreduzierung von rund 50% (vgl. rote und orangefarbige Linie).

Ursache hierfür ist die zunehmende „Breite“ der Hochwasserswelle in Richtung niedrigerer Abflüsse, die eine überproportionale Erhöhung des zurückzuhaltenden Hochwasservolumens (Volumen = Abfluss x Zeitdauer) zur Folge hat.

Die erzielbare Abflussreduzierung ist bei allen Retentionsmaßnahmen abhängig vom jeweiligen Hochwasserverlauf (Dauer, Fülle und Scheitelhöhe des Hochwassers).



Anlage 3: Hochwasserereignisse und Simulationszeiträume

| HW-Ereignis | Simulationszeitraum | |
|---------------|--------------------------------------|--|
| | Berechnungs-Strecke Basel - Worms | Berechnungs-Strecke Worms - Nordsee |
| HW 1882/1883 | 26.12.1882 – 10.01.1883 | 26.12.1882 – 12.01.1883 |
| HW 1918/1919 | 22.12.1918 – 05.01.1919 | 22.12.1918 – 14.01.1919 |
| HW 1919/1920 | 22.12.1919 – 06.01.1920 | 22.12.1919 – 08.01.1920 |
| HW 1925/1926 | 26.12.1925 – 09.01.1926 | 26.12.1925 – 09.01.1926 |
| HW 01 1955 | 11.01.1955 – 26.01.1955 | 11.01.1955 – 26.01.1955 |
| HW 02 1957 | 24.02.1957 – 11.03.1957 | 24.02.1957 – 11.03.1957 |
| HW 02/03 1970 | 20.02.1970 – 07.03.1970 | 20.02.1970 – 07.03.1970 |
| HW 05 1978 | 22.05.1978 – 04.06.1978 | 22.05.1978 – 04.06.1978 |
| HW 02 1980 | 02.02.1980 – 15.02.1980 | 02.02.1980 – 15.02.1980 |
| HW 04 1983 | 05.04.1983 – 16.04.1983 | 05.04.1983 – 21.04.1983 |
| HW 05 1983 | 21.05.1983 – 01.06.1983 | 21.05.1983 – 04.06.1983 |
| HW 03 1988 | 10.03.1988 – 29.03.1988 | 10.03.1988 – 05.04.1988 |
| HW 12 1993 | 15.12.1993 – 30.12.1993 | 15.12.1993 – 01.01.1994 |
| HW 01 1995 | 21.01.1995 – 05.02.1995 | 21.01.1995 – 07.02.1995 |
| HW 10 1998 | 23.10.1998 – 11.11.1998 | 23.10.1998 – 11.11.1998 |
| HW 02 1999 | 17.02.1999 – 04.03.1999 | 17.02.1999 – 05.03.1999 |
| HW 05 1999 | 10.05.1999 – 29.05.1999 | 10.05.1999 – 29.05.1999 |
| HW 01 2003 | 31.12.2002 – 15.01.2003 | 31.12.2002 – 15.01.2003 |

Anlage 4a: Datenlage für die ausgewählten historischen Hochwasserereignisse Basel bis Lobith

| Übersicht der für die Generierung von HVAL-Modellhochwasser verwendeten Abflussdaten für historische Rheinhochwasser | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Stand:28.07.2010 Datenlage für das Einzelereignis: Diskretisierungszeitschritt [h], Datenlieferant, Datenquelle | | | | | | | | | | | |
| HW-Ereignis Zufluss/Station | Flussgebiet | Datenherr (HVAL- Ansprechpartner) | HW 1882/ 1883 | HW 1918/1919 | HW 1919/1920 | HW 1925/1926 | HW 01 1955 | HW 02 1957 | HW 02/03 1970 | HW 05 1978 | HW 02 1980 |
| Basel ¹⁾ | Rhein | BAFU / LUBW | 2h,LUBW, B,D | 2h,LUBW,B, D | 2h,LUBW,B, D | 2h,BfG,D | 2h,LUBW, B,D | 2h,LUBW, B,D | 2h,LUBW,B, D | 2h,LUBW, D | 2h,LUBW, D |
| Lörrach Basel | Wiese | LUBW BAFU | 6h, LUBW, | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, BfG,D | 1h, BAFU, A | 1h,BAFU, A | 1h,BAFU,A | 1h,BAFU,A | 1h,BAFU,A |
| Riegel | Leopoldskanal | LUBW | 6h, LUBW, | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, BfG,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 2h,LUBW, C | 1h,LUBW, D |
| Pont de Gerstheim | Ill-Entl. | LUBW | 6h, LUBW, | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, BfG,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 2h,LUBW, C | 2h,LUBW, C |
| Schwalbach | Kinzig | LUBW | 6h, LUBW, | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, BfG,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 1h,LUBW, D | 1h,LUBW, D |
| Chasseur Froid | Ill | LUBW | 6h, LUBW, | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, BfG,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 2h,LUBW, C | 2h,LUBW, C |
| Kappelrodeck / Oberkirch ²⁾ | Ach/Rench | LUBW | 6h, LUBW, | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, BfG,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 2h,LUBW, C | 2h,LUBW, C |
| Schweighouse Schweighouse / Hoerdt | Moder Moder/Zorn | LUBW LUBW | | | 12h, LUBW, B,D | | | 12h, LUBW, B,D | 12h, LUBW, B,D | 2h,LUBW, C | 2h,LUBW, C |
| Rotenfels | Murg | LUBW | 6h, LUBW, | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, BfG,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 2h,LUBW, C | 1h,LUBW, C |
| Beinheim Beinheim / Niederroedern | Sauer Sauer / Seltzbach | LUBW LUBW | | | | | | | | | |
| Maxau | Rhein | BfG | 6h, BfG, B,D | 6h, BfG, B,D | 6h, BfG, B,D | 6h,BfG, D | 8h, BfG, B,D | 8h, BfG, B,D | 8h, BfG, B,D | 2h,LUBW, C | 2h,LUBW, C |
| Heidelberg Mündung | Neckar | LUBW LUBW | 6h, LUBW, | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, BfG,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 6h, LUBW, B,D | 2h,LUBW, C | 2h,LUBW, C |
| Worms | Rhein | BfG | 6h,BfG, B,D | 6h,BfG, B,D | 6h,BfG, B,D | 6h,BfG, B,D | 6h,BfG, B,D | 6h,BfG, B,D | 6h,BfG, B,D | 2h,LUBW, C | 2h,LUBW, C |
| Lorsch | Weschnitz | HLUG | | | | | | | 24h, HLUG, D | 24h, HLUG, D | 24h, HLUG, D |
| Eberstadt | Modau | HLUG | | | | | | | 24h, HLUG, D | 24h, HLUG, D | 24h, HLUG, D |
| Raunheim | Main | BfG | | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, C |
| Gr. Steinheim | | LUWG | 6h, LUWG, B | | | | | | | | |
| Mainz | Rhein | BfG | 6h, LUWG, B | | 6h, LUWG, B | 24h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 12h, LUWG, C | 6h, LUWG, C |
| Grolsheim | Nahe | LUWG | | | 1h, LUWG, B | 1h, LUWG, B | 1h, LUWG, B | 1h, LUWG, B | 1h, LUWG, B | 1h, LUWG, C | 1h, LUWG, C |
| Pfaffentahl | Wisper | HLUG | | | | | | | 24h, HLUG, D | 24h, HLUG, D | 24h, HLUG, D |
| Kaub | Rhein | BfG | 6h, LUWG, B | 12h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 24h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, C | 6h, LUWG, C |
| Kalkofen | Lahn | BfG | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, C | 6h, LUWG, C |
| Cochern | Mosel | BfG | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, C | 6h, LUWG, C |
| Nettegut | Nette | LUWG | | | | | 1h, LUWG, B | 1h, LUWG, B | 1h, LUWG, B | 1h, LUWG, C | 1h, LUWG, C |
| Friedrichsthal | Wied | LUWG | | | | | | | | 1h, LUWG, C | 1h, LUWG, C |
| Andernach | Rhein | BfG | 24h, BfG, B | 1h, BfG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 12h, LUWG, B | 6h, LUWG, C | 6h, LUWG, C |
| Reimerzhofen | Ahr | LUWG | | | | 1h, LUWG, B | 1h, LUWG, B | 1h, LUWG, B | 1h, LUWG, B | 1h, LUWG, C | 1h, LUWG, C |
| Altenahr | | LUWG | | | | | | | | | |
| Menden I | Sieg | LANUV | 24h, LUWG, B | | | | | | 1h, BfG, D | 1h, BfG, D | 1h, BfG, G |
| Boisdorf 3) | | (LANUV) | | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | | | | | | |
| Kaldauen 4) | | LANUV | | | | | 6h,BfG, B | 6h, LUWG, B | 1h, BfG, D | | |
| Köln | Rhein | BfG | 24h, BfG, B | 24h, BfG, G | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, B | 6h, LUWG, C | 6h, LUWG, C |
| Opladen | Wupper | LANUV | | | | | Termin- wert, BfG, | Termin- wert, BfG, | Terminwert, BfG, G | 12h, BfG, G | Termin- wert, BfG, |
| Neubrücke | Erfelt | LANUV | | | | | Termin- wert, BfG, | Termin- wert, BfG, | Terminwert, BfG, G | Terminwert, BfG, | Termin- wert, BfG, |
| Düsseldorf | Rhein | BfG | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D |
| Hattingen | Ruhr | Ruhrverband (LANUV) | | | | | 24h, BfG, G | 24h, BfG, G | 6h, BfG, G | 6h, BfG, G | Termin- wert, BfG, |
| Blankenstein | | (LANUV) | | 24h, BfG, G | 24h, BfG, G | 24h, BfG, G | | | | | |
| Ruhrort | Rhein | BfG | | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D |
| Königsstraße | Emscher | Emschergenossenschaft (LANUV) | | | | | 0.25h, BfG, G | 0.25h, BfG, G | 0.25h, BfG, G | Termin- wert, BfG, | Termin- wert, BfG, |
| Buschhausen | | Emschergenossenschaft (LANUV) | | Terminwert, BfG, G | Terminwert, BfG, G | Termin- wert, BfG, D | | | | | |
| Wesel | Rhein | BfG | | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D |
| Schermbeck | Lippe | LANUV | | | | | | | 6h, BfG, G | 6h, BfG, G | Termin- wert, BfG, |
| Krudenburg | | (LANUV) | | 24h, BfG, G | 24h, BfG, G | 24h, BfG, G | 24h, BfG, G | 24h, BfG, G | | | |
| Rees | Rhein | BfG | 24h, BfG, B | 24h, BfG, G | 24h, BfG, G | 24h, BfG, G | 24h, BfG, G | 24h, BfG, G | 24h, BfG, G | 24h, BfG, G | 24h, BfG, G |
| Emmerich | Rhein | BfG | | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D | 24h, BfG, D |
| Lobith | Rhein | WD | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F |

| Übersicht der für die Generierung von HVAL-Modellhochwasser verwendeten Abflussdaten für historische Rheinhochwasser | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|
| Stand: 28.07.2010 Datenlage für das Einzelergebnis: Diskretisierungszeitschritt 1h, Datenlieferant, Datenquelle | | | | | | | | | | | |
| HW-Ereignis Zufluss/Station | Flussgebiet | Datenherr (HVAL- Anspruchspartner) | HW 04 1983 | HW 05 1983 | HW 03 1988 | HW 12 1993 | HW 01 1995 | HW 10 1998 | HW 02 1999 | HW 05 1999 | HW 01 2003 |
| Basel 1) | Rhein | BAFU / LUBW | 2h, LUBW, D | 2h, LUBW, D | 6h, LUBW, D | 1h, LUBW, D | 1h, BAFU, A | 1h, BAFU, A | 1h, BAFU, A | 1h, BAFU, A | 1h, BAFU, A |
| Lörrach | Wiese | LUBW | 1h, BAFU, A | 1h, BAFU, A | 1h, BAFU, A | 1h, BAFU, A | 1h, BAFU, A | 1h, BAFU, A | 1h, BAFU, A | 1h, BAFU, A | 1h, BAFU, A |
| Basel | | BAFU | 1h, LUBW, D | 1h, LUBW, C | 2h, LUBW, C | 1h, LUBW, D | 2h, LUBW, D | 1h, LUBW, D | 2h, LUBW, D | 2h, LUBW, D | 1h, LUBW, D |
| Riegel | Leopoldskanal | LUBW | 4h, LUBW, C | 4h, LUBW, C | 2h, LUBW, C | 1h, EDF | 1, LUBW, D | 1h, LUBW, D | 1h, EDF | 1, LUBW, D | 1h, LUBW, D |
| Pont de Gerstheim | Ill-Entl. | LUBW | 1h, LUBW, D | 2h, LUBW, D | 2h, LUBW, C | 1h, LUBW, D | 1h, LUBW, D | 1h, LUBW, D | 1h, LUBW, D | 1h, LUBW, D | 1h, LUBW, D |
| Schwaibach | Kinzig | LUBW | 4h, LUBW, C | 4h, LUBW, C | 2h, LUBW, C | 1h, LUBW, D | 1h, LUBW, D | 1h, SNS, D | 1h, LUBW, D | 1h, LUBW, D | 1h, SNS, D |
| Chasseur Froid | Ill | LUBW | 2h, LUBW, C | 2h, LUBW, C | 2h, LUBW, C | 1h, LUBW, D | 2h, LUBW, D | 1h, LUBW, D | 2h, LUBW, D | 2h, LUBW, D | 1h, LUBW, D |
| Kappelrodeck / Oberkirch 2) | Ach/Rench | LUBW | 6h, LUBW, C | 6h, LUBW, C | 2h, LUBW, C | 1h, LUBW, D | 2h, LUBW, D | 1h, SNS, D | | 2h, LUBW, D | 1h, SNS, D |
| Schweighouse | Moder | LUBW | 2h, LUBW, C | 2h, LUBW, C | 2h, LUBW, C | 1h, LUBW, D | 2h, LUBW, D | 1h, LUBW, D | 2h, LUBW, D | 1h, LUBW, D | 1h, LUBW, D |
| Schweighouse / Hoerd | Moder/Zorn | LUBW | 6h, LUBW, C | 6h, LUBW, C | 2h, LUBW, C | 1h, LUBW, D | 2h, LUBW, D | 1h, SNS, D | | 2h, LUBW, D | 1h, SNS, D |
| Rotenfels | Murg | LUBW | 2h, LUBW, C | 2h, LUBW, C | 2h, LUBW, C | 1h, LUBW, D | 2h, LUBW, D | 1h, LUBW, D | 2h, LUBW, D | 1h, LUBW, D | 1h, LUBW, D |
| Beinheim | Sauer | LUBW | 6h, LUBW, C | 2h, LUBW, C | | 1h, LUBW/SN | 2h, LUBW, D | 1h, SNS, D | | 1h, SNS, D | 1h, SNS, D |
| Beinheim / Niederroedern | Sauer / Seltzbach | LUBW | | | | | | | 2h, LUBW, D | | |
| Maxau | Rhein | BFG | 2h, BFG, D | 2h, BFG, D | 6h, LUBW, D | 1h, BFG, D | 1h, BFG, D | 1h, BFG, D | 1h, BFG, D | 1h, BFG, D | 1h, BFG, D |
| Heidelberg | Neckar | LUBW | 1h, LUBW, C | 1h, LUBW, C | 1h, LUBW, C | 1h, LUBW, D | 1h, LUBW, D | 1h, LUBW, D | 1h, LUBW, D | 1h, LUBW, D | 1h, LUBW, D |
| Mündung | | LUBW | | | | | | | | | |
| Worms | Rhein | BFG | 1h, WSD, D | 1h, WSD, D | 1h, WSD, D | 1h, WSD, D | 1h, WSD, D | 1h, WSD, D | 1h, WSD, D | 1h, WSD, D | 1h, WSD, D |
| Lorsch | Weschnitz | HLUG | 24h, HLUG, D | 24h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D |
| Eberstadt | Modau | HLUG | 24h, HLUG, D | 24h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D |
| Raunheim | Main | BFG | 6h, LUWG, C | 6h, LUWG, C | 6h, LUWG, C | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, LUWG, D | 1h, BFG, E | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D |
| Gr. Steinheim | | LUWG | | | | | | | | | |
| Mainz | Rhein | BFG | 6h, LUWG, C | 6h, LUWG, C | 6h, LUWG, C | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D |
| Grolsheim | Nahe | LUWG | 1h, LUWG, C | 1h, LUWG, C | 1h, LUWG, C | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D | 1h, BFG, E | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D |
| Pfaffentahl | Wisper | HLUG | 24h, HLUG, D | 24h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D | 0.25h, HLUG, D |
| Kaub | Rhein | BFG | 6h, LUWG, C | 6h, LUWG, C | 6h, LUWG, C | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D |
| Kalkofen | Lahn | BFG | 6h, LUWG, C | 6h, LUWG, C | 6h, LUWG, C | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, LUWG, D | 1h, BFG, E |
| Cochem | Mosel | BFG | 6h, LUWG, C | 6h, LUWG, C | 1h, LUWG, C | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, LUWG, D |
| Nettegut | Nette | LUWG | 1h, LUWG, C | 1h, LUWG, C | 1h, LUWG, C | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D |
| Friedrichsthal | Wied | LUWG | 1h, LUWG, C | 1h, LUWG, C | | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D |
| Andernach | Rhein | BFG | 1h, BFG, G | 1h, BFG, G | 1h, BFG, G | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, LUWG, D | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E |
| Reimerzhofen | Ahr | LUWG | 1h, LUWG, C | 1h, LUWG, C | 1h, LUWG, C | | | | | | |
| Altenahr | | LUWG | | | | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, B | 1h, LUWG, D | 1h, LUWG, D |
| Menden I | Sieg | LANUV | 1h, BFG, G | 1h, BFG, G | 1h, BFG, G | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, LUWG, D | Terminwerte, LUWG, D | 1h, BFG, E | 1h, LUWG, D |
| Boisdorf 3) | | (LANUV) | | | | | | | | | |
| Kaldauen 4) | | LANUV | | | | | | | | | |
| Köln | Rhein | BFG | 6h, LUWG, C | 6h, LUWG, C | 6h, LUWG, C | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E |
| Opladen | Wupper | LANUV | Terminwert, BFG, G | Terminwert, BFG, G | 1h, BFG, G | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E |
| Neubrücke | Erf | LANUV | Terminwert, BFG, G | Terminwert, BFG, G | Terminwert, BFG, G | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E |
| Düsseldorf | Rhein | BFG | 24h, BFG, D | 24h, BFG, D | 24h, BFG, D | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E |
| Hattingen | Ruhr | Ruhrverband (LANUV) | 1h, BFG, G | 1h, BFG, G | 1h, BFG, G | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E |
| Blankenstein | | (LANUV) | | | | | | | | | |
| Ruhrort | Rhein | BFG | 24h, BFG, D | 24h, BFG, D | 24h, BFG, D | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E |
| Königsstraße | Emscher | Emschergenossenschaft (LANUV) | Terminwert, BFG, G | Terminwert, BFG, G | Terminwert, BFG, G | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E |
| Buschhausen | | Emschergenossenschaft (LANUV) | | | | | | | | | |
| Wesel | Rhein | BFG | 24h, BFG, D | 24h, BFG, D | 24h, BFG, D | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E |
| Schermbeck | Lippe | LANUV | Terminwert, BFG, G | Terminwert, BFG, G | Terminwert, BFG, G | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E |
| Krudenburg | | (LANUV) | | | | | | | | | |
| Rees | Rhein | BFG | 24h, BFG, G | 24h, BFG, G | 24h, BFG, G | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E |
| Emmerich | Rhein | BFG | 24h, BFG, D | 24h, BFG, D | 24h, BFG, D | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E |
| Lobith | Rhein | WD | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E | 1h, BFG, E |

Legende:

- BAFU (Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK; Bundesamt für Umwelt, Abteilung Hydrologie); Quelle: Edith Oosenbrug, 3003 Bern, Tel.: +41 313220768, Email: edith.oosenbrug@bafu.admin.ch
- LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg); Quelle: Dr. Manfred Bremicker, Postfach 10 01 63, D-76231 Karlsruhe, Tel.: 0721/5600-1386, Email: Manfred.Bremicker@lubw.bwl.de
- LUWG (Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz); Quelle: Barbara Plonka, Abteilung 7, Referat 721, Kaiser-Friedrich-Straße 7, 55116 Mainz, Tel.: 06131/6033-1727, Email: barbara.plonka@luwg.de
- HLUG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie); Quelle: Dr. Gerhard Brahrner, Rheingastr. 186, 65203 Wiesbaden, Tel.: +49 (0)611-6039-737, Email: Gerhard.brahrner@hug.hessen.de
- LANUV (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen); Quelle: Bernd Mehlig, Fachbereich 53, Auf dem Draap 25, 40221 Düsseldorf, Tel.: 0211/1590-2214, Email: Bernd.Mehlig@lanuv.nrw.de
- WD (Rijkswaterstaat Waterdienst); Quelle: Dr. Rita Lammensen, Rijkswaterstaat Waterdienst, Afdeling Onderhoud Hoewaterbescherming, Postbus 17, 8200 AA Lelystad, Tel.: 0031-016-51923811, Email: Rita.Lammensen@rws.nl
- BIG (Bundesanstalt für Gewässerkunde); Quelle: Referat M1/M2 Matthias Hammer, Mainzer Tor 1, 56088 Koblenz, Tel.: +490261-1306-5384, Email: hammer@bafg.de
- A BAFU-Datenbank DAMAST
- B Hochwasserstudienkommission für den Rhein (D, CH, A, F), 1978;
- C Deutsch-französische Arbeitsgruppe Wirksamkeits-nachweis Oberrhein
- D LUBW; BFG; WSD SW; LUWG; HLUG; SNS; Gewässerkundliche Jahrbücher, Datenbanken
- E Mens, Weerts und Ogink: "Water balance Maxau-Rhine branches", 2006;
- F Waterdienst Datenbank DONAR; HW1862/1883 nur W aus DONAR, Q ermittelt durch Waterdienst
- G Homogenisierungsprojekt (BFG-RIZA 1998-1999)
- 1) bis HW 1993 wurden in Basel die Abflüsse an 3 verschiedenen Standorten erfasst, ab HW 1995 Pegel Rheinhalde
- 2) ab HW 1925/1926 wurde für die Rench der Pegel Ramsbach verwendet
- 3) Summe aus Boisdorf (Sieg) und Lohmar (Agger)
- 4) Summe aus Kaldauen (Sieg) und Lohmar (Agger)
- *) Pegel Colmar

Daten nicht vorhanden

Anlage 4b: Datenlage für die ausgewählten historischen Hochwasserereignisse Deltarhein

| | | | Übersicht über die für die Generierung von Modellhochwasser verwendeten Abflussdaten für historische Hochwasser | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------------|----------------------------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | | Datenlage für das Einzelereignis: Diskretisierungszeitschritt [h], Datenlieferant, Datenquelle | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zufluss / Station | Flussgebiet | Datenherr [Hval-Ansprechpartner] | 1882/1883 | 1918/1919 | 1919/1920 | 1925/1926 | 01 1955 | 02 1957 | 02/03 1970 | 05 1978 | 02 1980 | 04 1983 | 05 1983 | 03 1988 | 12 1993 | 01 1995 | 10 1998 | 02 1999 | 05 1999 | 01 2003 |
| de Pol | Oude IJssel | WD | 1h | 1h | 1h | 1h | 1h | 1h | 1h | 1h | 1h | 1h | 1h | 1h | 1 h, WD, G | 1 h, WD, G | 1 h, WD, G | 1 h, WD, G | 1 h, WD, G | 1 h, WD, G |
| | Eefride Twente-kanaal | WD | 1h | 1h | 1h | 1h | 1h | 1h | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F |
| Lith | Maas | WD | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F | 24h, WD, F |

= keine Daten vorhanden, Daten abgeleitet aus von der BfG mit SOBEK berechnete Abflüssen bei Lobith
 F = Waterdienst Datenbank DONAR
 G = Daten von Waterschap Rijn en IJssel, angefragt in Projekt "onderzoek afvoer Oude IJssel, HKV 2004, Projekt PR803"

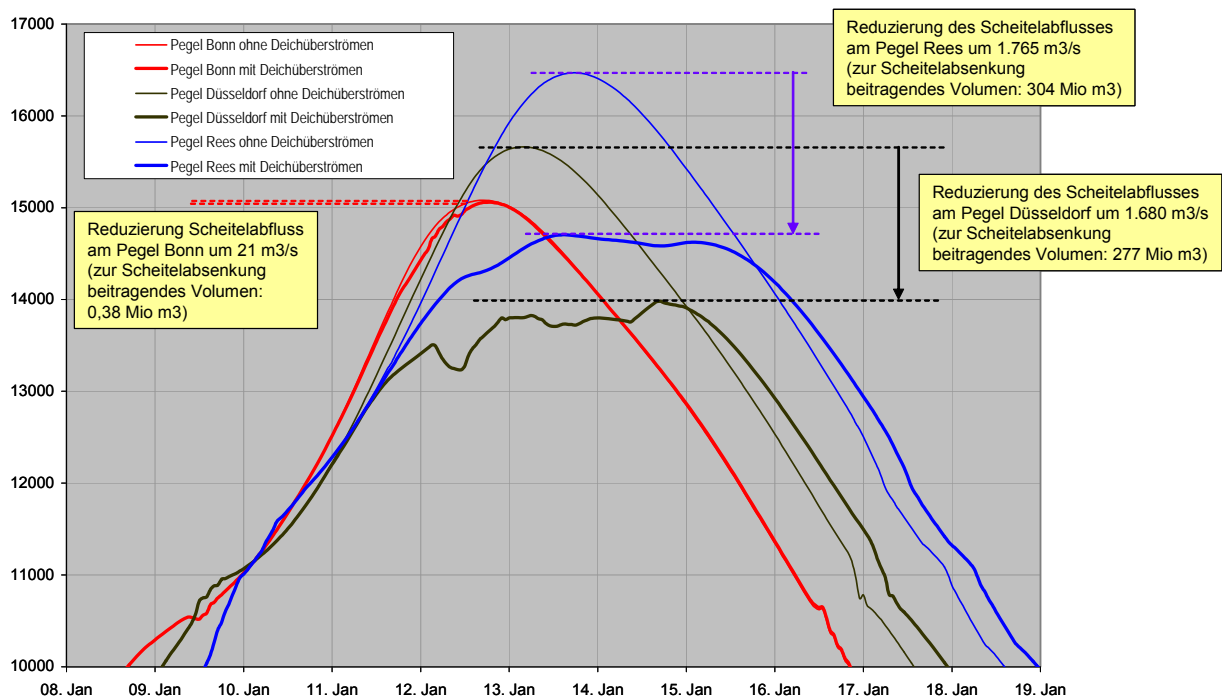
Anlage 5: Übersicht maximal mögliche Abflüsse der Rheinzulüsse

| Zufluss [Gewässername] | Maximal möglicher Zufluss [m ³ /s] | Bemerkung / Datenquelle |
|---------------------------|--|--|
| Basel (Rhein) | 5.480 | Angabe zu HQExtrem gemäß HWRM-RL-Umsetzung in der IKSR |
| Wiese | 600 | Nachweis IKSR 2005, Bericht Nr. 153, 2006 |
| Leopoldskanal | 700 | HSK, 1978 (Anlage 6.1) |
| Ill-Entlastung | 1.000 | Nachweis IKSR 2005, Bericht Nr. 153, 2006 |
| Kinzig | 1.100 | HSK, 1978 (Anlage 6.1) |
| Ill | 300 | Nachweis IKSR 2005, Bericht Nr. 153, 2006 |
| Acher/Rench | 300 | Nachweis IKSR 2005, Bericht Nr. 153, 2006 |
| Moder | 420 | Nachweis IKSR 2005, Bericht Nr. 153, 2006 |
| Murg | 750 | Angabe LUBW, 06.2010 |
| Sauer | 180 | HSK, 1978 (Anlage 6.1) |
| Neckar | 3.970 | Angabe zu HQExtrem gemäß HWRM-RL-Umsetzung in der IKSR |
| Weschnitz | 65 | Angabe HLUG, 04.2010 |
| Modau | 30 | Angabe HLUG, 04.2010 |
| Main | 3.350 | Angabe HLUG, 31.05.2011 |
| Nahe | 1.300 | Nachweis IKSR 2005, Bericht Nr. 153, 2006 |
| Wisper | 60 | Angabe HLUG, 04.2010 |
| Lahn | 1.100 | Nachweis IKSR 2005, Bericht Nr. 153, 2006 |
| Mosel | 6.500 | AG-H 18.03.2010 |
| Nette | 100 | Nachweis IKSR 2005, Bericht Nr. 153, 2006 |
| Wied | 200 | Nachweis IKSR 2005, Bericht Nr. 153, 2006 |
| Ahr | 300 | Nachweis IKSR 2005, Bericht Nr. 153, 2006 |
| Sieg | 1.600 | Nachweis IKSR 2005, Bericht Nr. 153, 2006 |
| Wupper | 400 | Nachweis IKSR 2005, Bericht Nr. 153, 2006 |
| Erft | 150 | Nachweis IKSR 2005, Bericht Nr. 153, 2006 |
| Ruhr | 1.500 | Nachweis IKSR 2005, Bericht Nr. 153, 2006 |
| Emscher | 400 | Nachweis IKSR 2005, Bericht Nr. 153, 2006 |
| Lippe | 700 | IKSR 2005, Bericht Nr. 153, 2006/LANUV-Herr Brinkmann per Mail am 12.03.2010 |

Anlage 6: Grundsätzliche Aspekte zur Beeinflussung von Wellenverlauf und –sicherheit durch Überströmen von Deichen

Ein Deichüberströmen wirkt sich stets nach unterhalb auf den Wellenverlauf und den Hochwasserscheitel aus. Diese Auswirkungen sind im Regelfalle für die Hochwasservorhersage, aber auch für die eventuelle Steuerung von Rückhaltungen von Bedeutung. Beispielhaft werden diese Auswirkungen hier für den Niederrhein dargestellt, in dem eine SOBEK-Berechnung von Andernach beginnend mit einer Welle durchgeführt, deren Scheitel größer als der Bemessungsabfluss ist ($15.000 \text{ m}^3/\text{s}$ bei $\text{BemHQ}_{\text{Köln}} = 12.900 \text{ m}^3/\text{s}$).

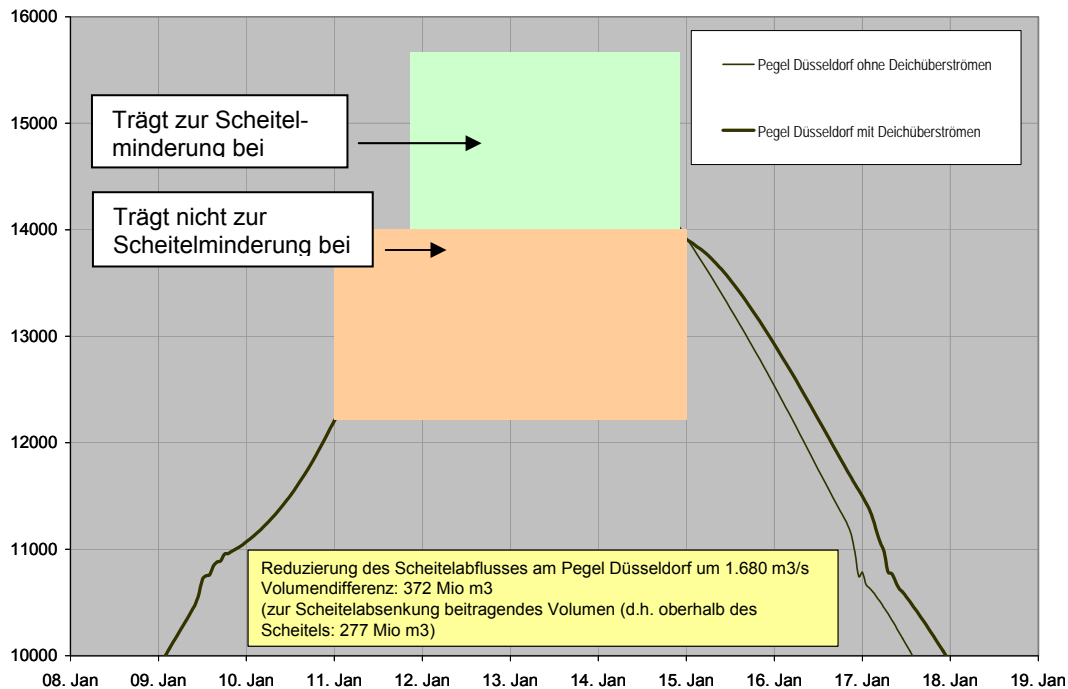
Berechnung mit ca. $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$ beim Pegel Andernach beginnend Auswirkung des Deichüberströmens in NRW



Die Berechnungen zeigen, dass ab Andernach bis Bonn noch kaum Veränderungen auftreten, dann jedoch bis Düsseldorf erheblich, sowohl in Wellenform, als auch in Absenkung des Wellenscheitels. Diese Wirkung zeigt sich bis zu D-NL-Grenze, obwohl südlich von Düsseldorf nur noch wenig Raum jenseits der Deich in Anspruch genommen wird.

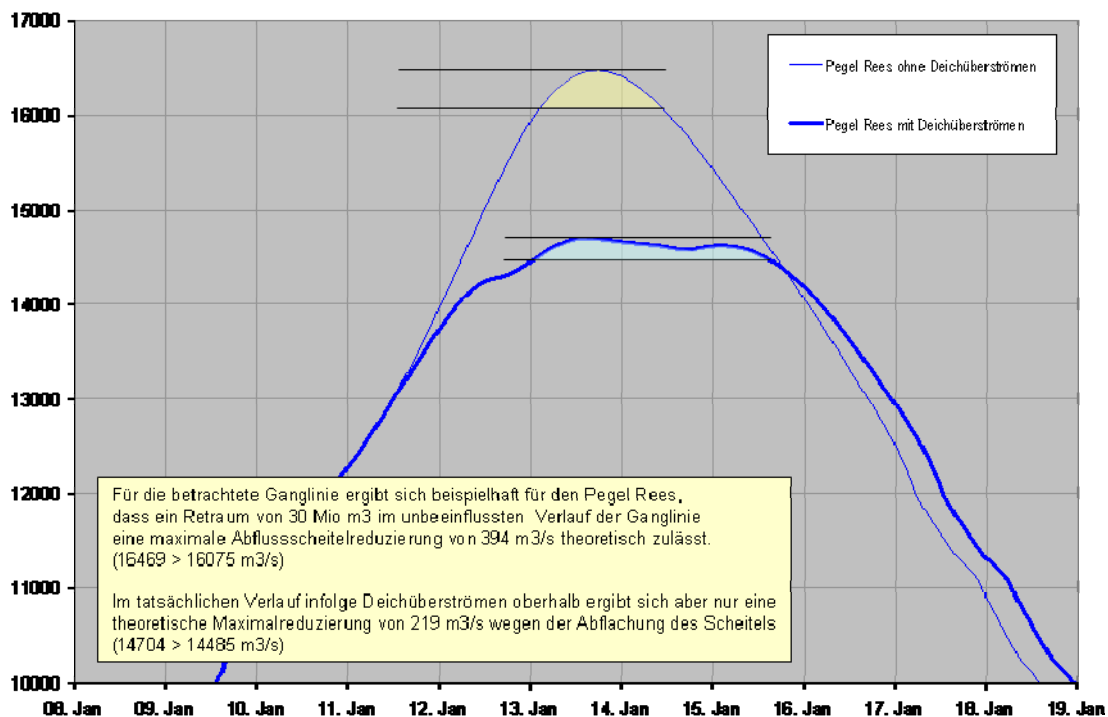
Nicht der gesamte jenseits der Deiche in Anspruch genommene Raum trägt zur Scheitelabsenkung bei. Die folgende Grafik verdeutlicht, dass ähnlich wie bei Retentionsräumen dasjenige Volumen nicht mindernd wirkt, das zwischen den Ganglinien unterhalb des Scheitels liegt.

Berechnung mit ca. 15.000 m³/s beim Pegel Andernach beginnend Auswirkung des Deichüberströmens in NRW am Pegel Düsseldorf

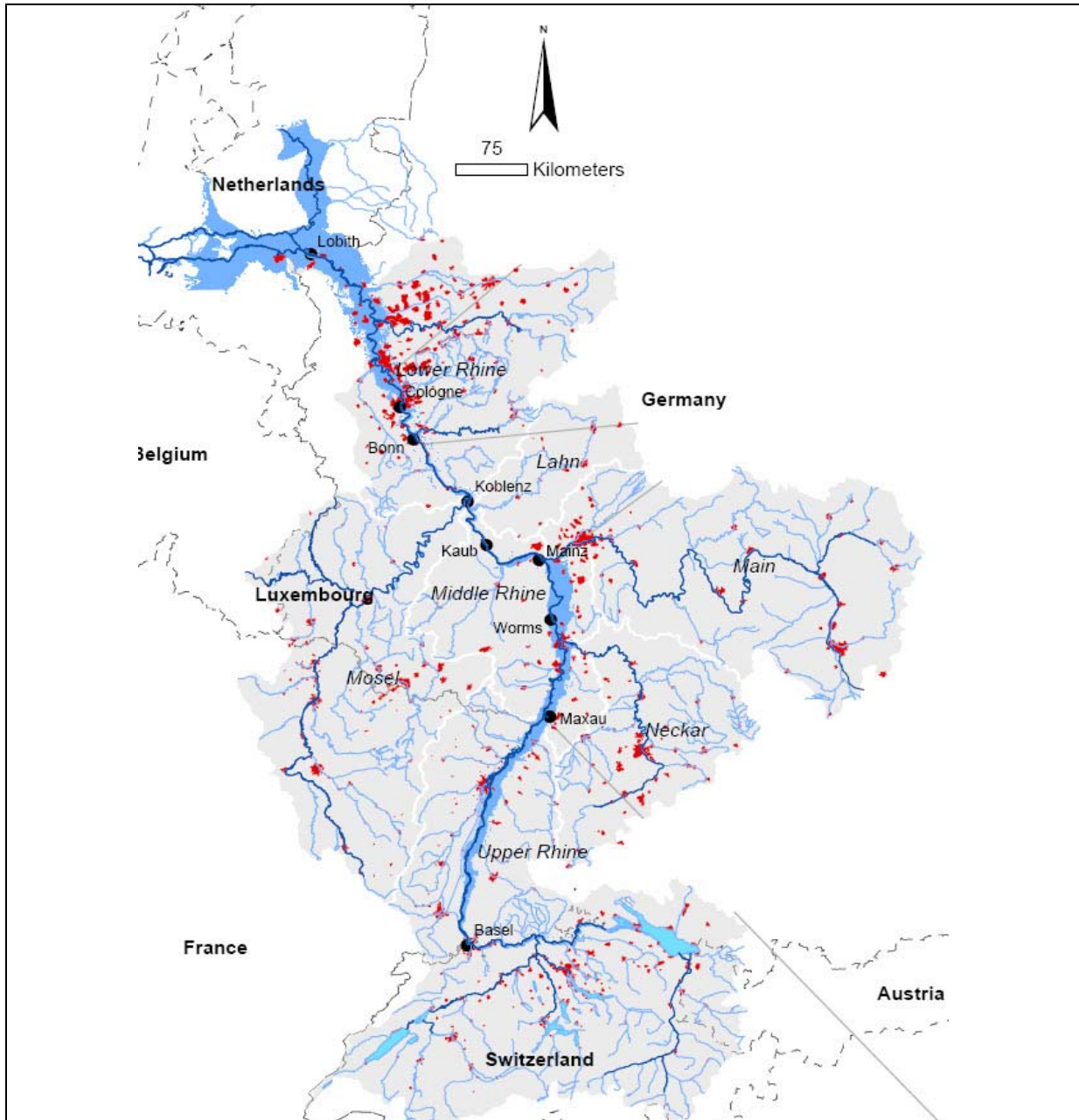


Insbesondere die Wellenverformung, aber u.U. die sich einstellende Scheitelhöhe hat Einfluss auf die Wirkungsweise von Retentionsbereichen.

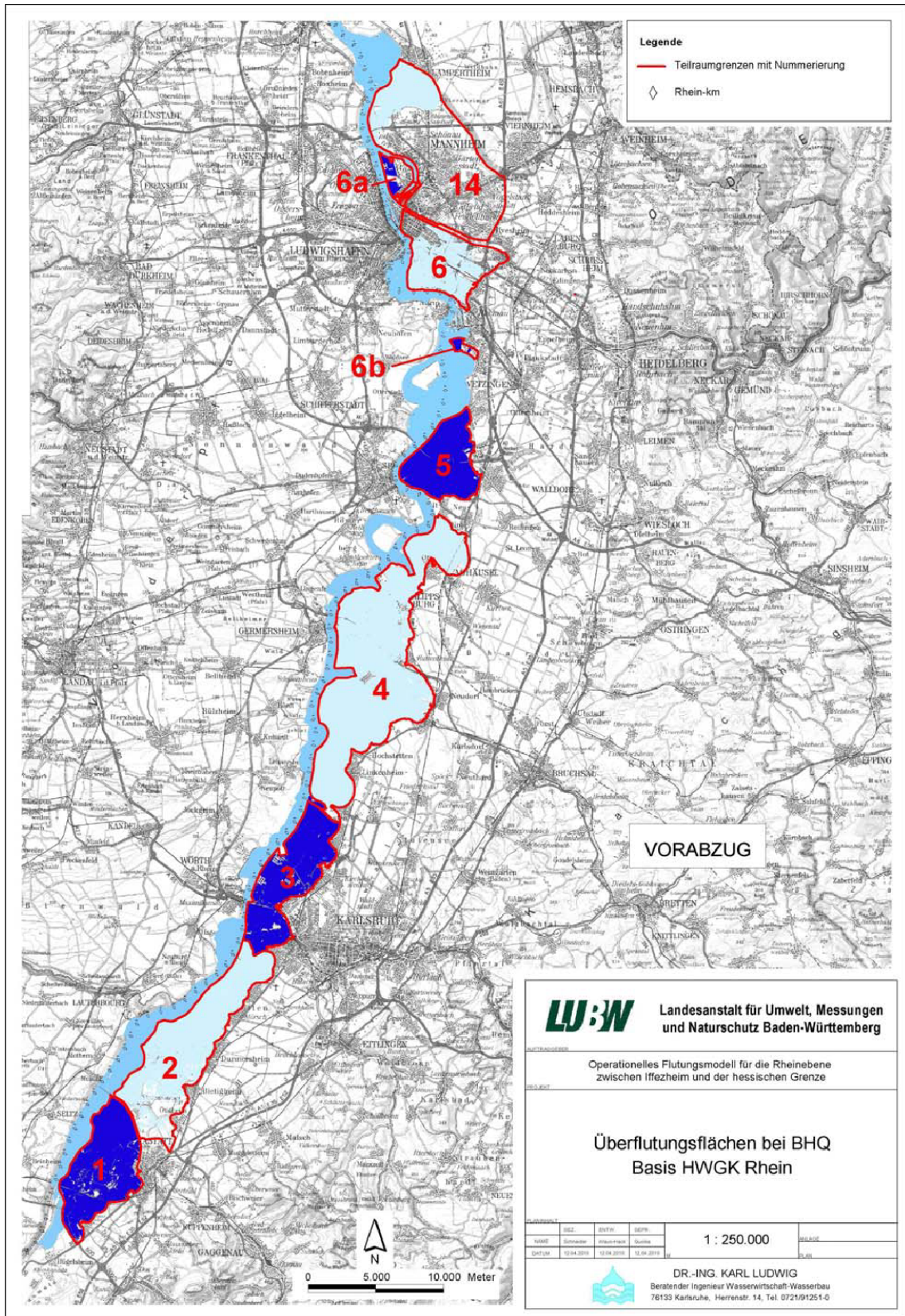
Die folgende Grafik veranschaulicht für die Ganglinie am Pegel Rees, dass ein Retentionsraum von realistischen 30 Mio m³ bei der unbeeinflussten Ganglinie eine idealtypische Wirkung hat, hingegen bei einer beeinflussten Ganglinie wegen der flacheren Scheitelkante eine realistische, geringere Wirkung .



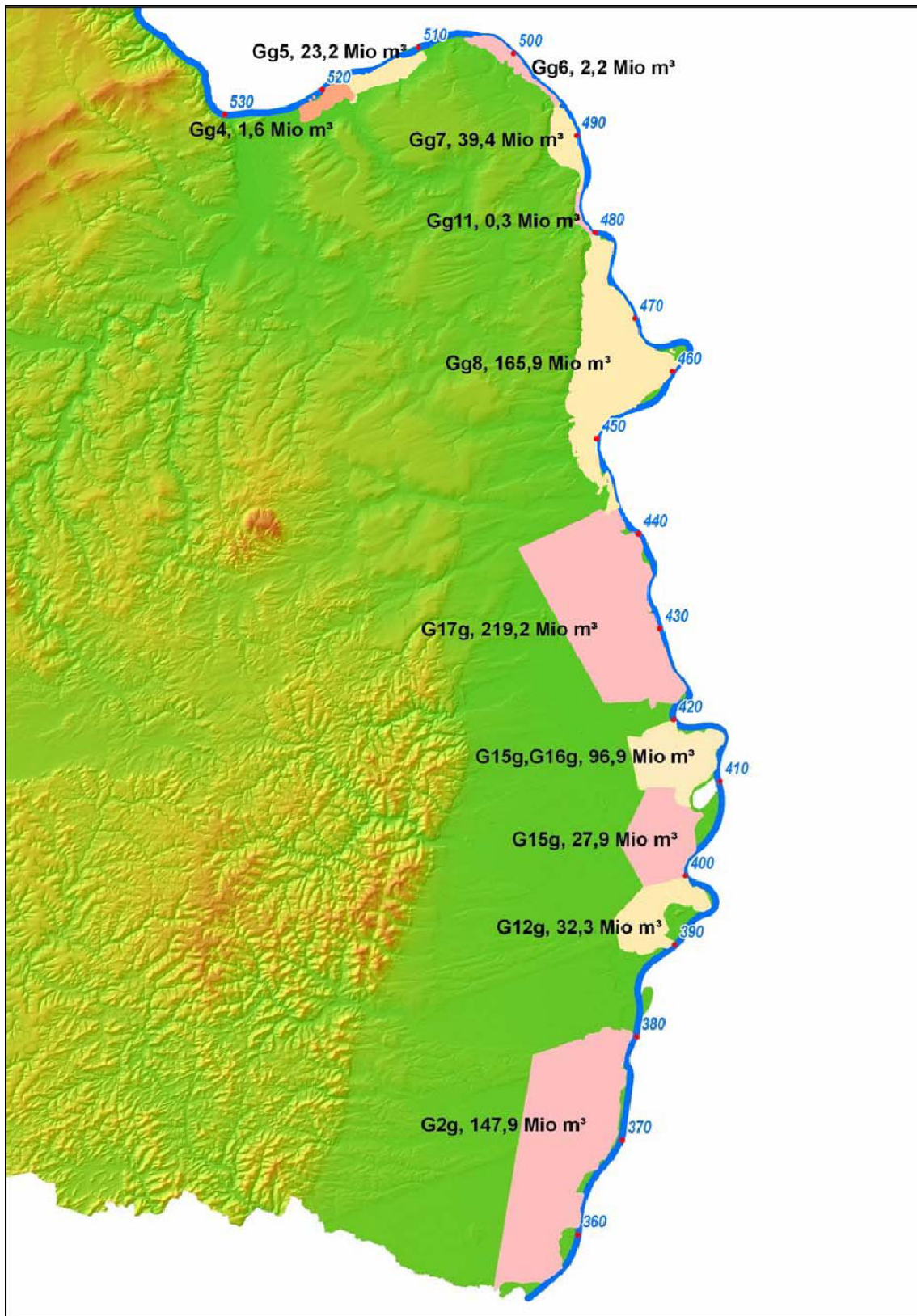
Anlage 7a: Potentielle Überflutungsflächen in der Folge von Deichüberströmungen entlang des Rheins flussabwärts des Bodensees; die Überflutungsflächen sind mittelblau dargestellt, analog zum IKSR - Rheinatlant, 2001 (aus: te Linde, 2011)



Anlage 7b: Berücksichtigte Überflutungsgebiete in Baden-Württemberg
 (die französischen Flächen werden in einer nächsten Phase ergänzt, siehe. Kap. 7.1.1)



Anlage 7c: Berücksichtigte Überflutungsgebiete in Rheinland Pfalz



Anlage 7d: Einteilung des Überflutungsgebietes am Niederrhein in einzelne Überflutungsflächen (aus: Deutsch-Niederländische Arbeitsgruppe Hochwasser, 2004b)

Gebiete, welche mit „O“ bezeichnet sind, werden durch Wasser gefüllt, das über eine Hochwassermauer strömt, Gebiete, die mit einem „D“ bezeichnet sind, werden über Deichbrüche eingeströmt, die als Folge von Deichüberströmen entstanden sind. Gebiete mit der Bezeichnung „L“ sind höher liegende Gebiete, die gar nicht überflutet werden.

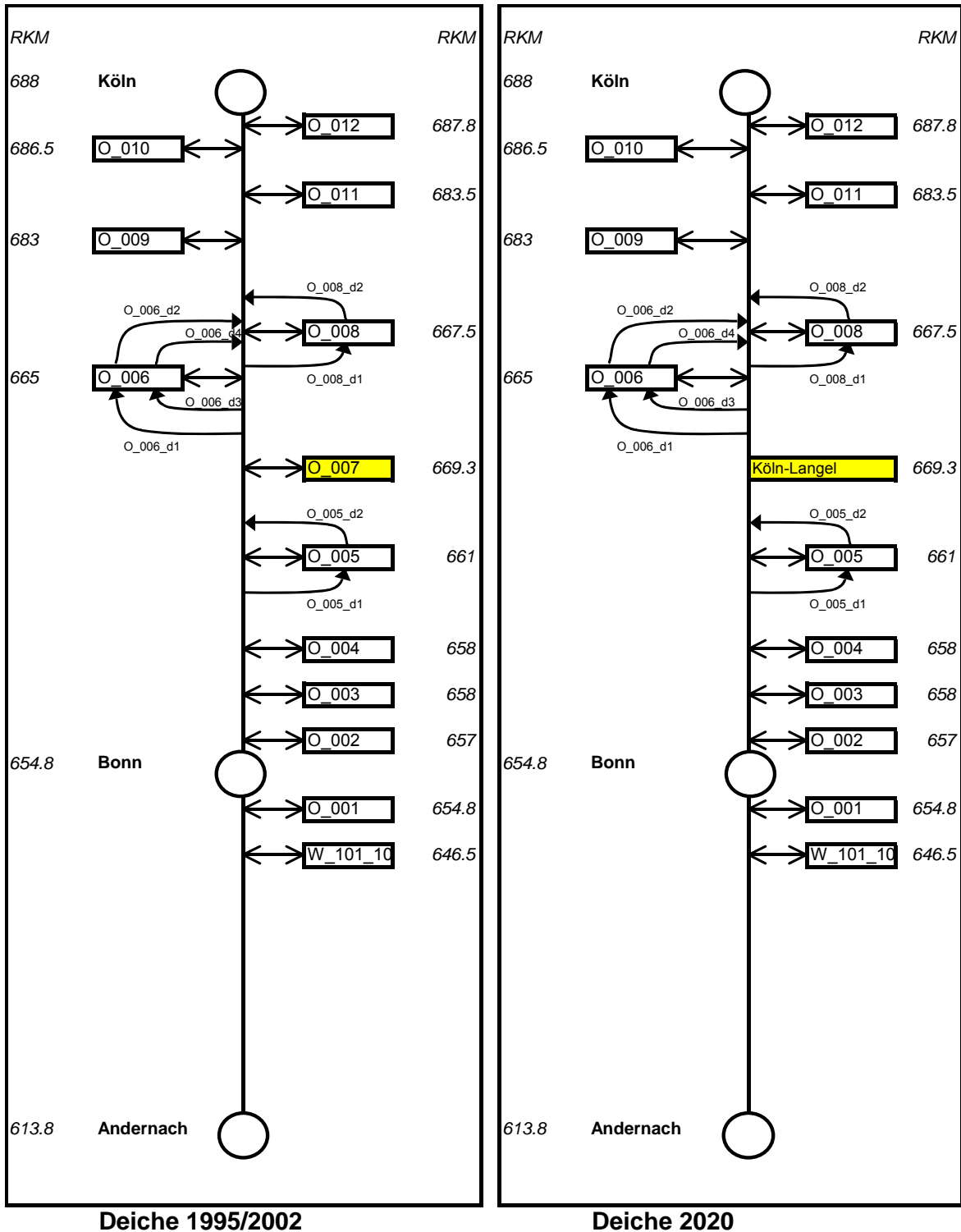


Anlage 8: Schematisierung der Überflutungsgebiete hinter den Deichen im SOBEK-Modell zwischen Andernach und Lobith

Gebiete, welche mit „O“ bezeichnet sind, werden durch Wasser gefüllt, das über eine Hochwassermauer strömt, Gebiete, die mit einem „D“ bezeichnet sind, werden über Deichbrüche eingeströmt, die als Folge von Deichüberströmen entstanden sind.

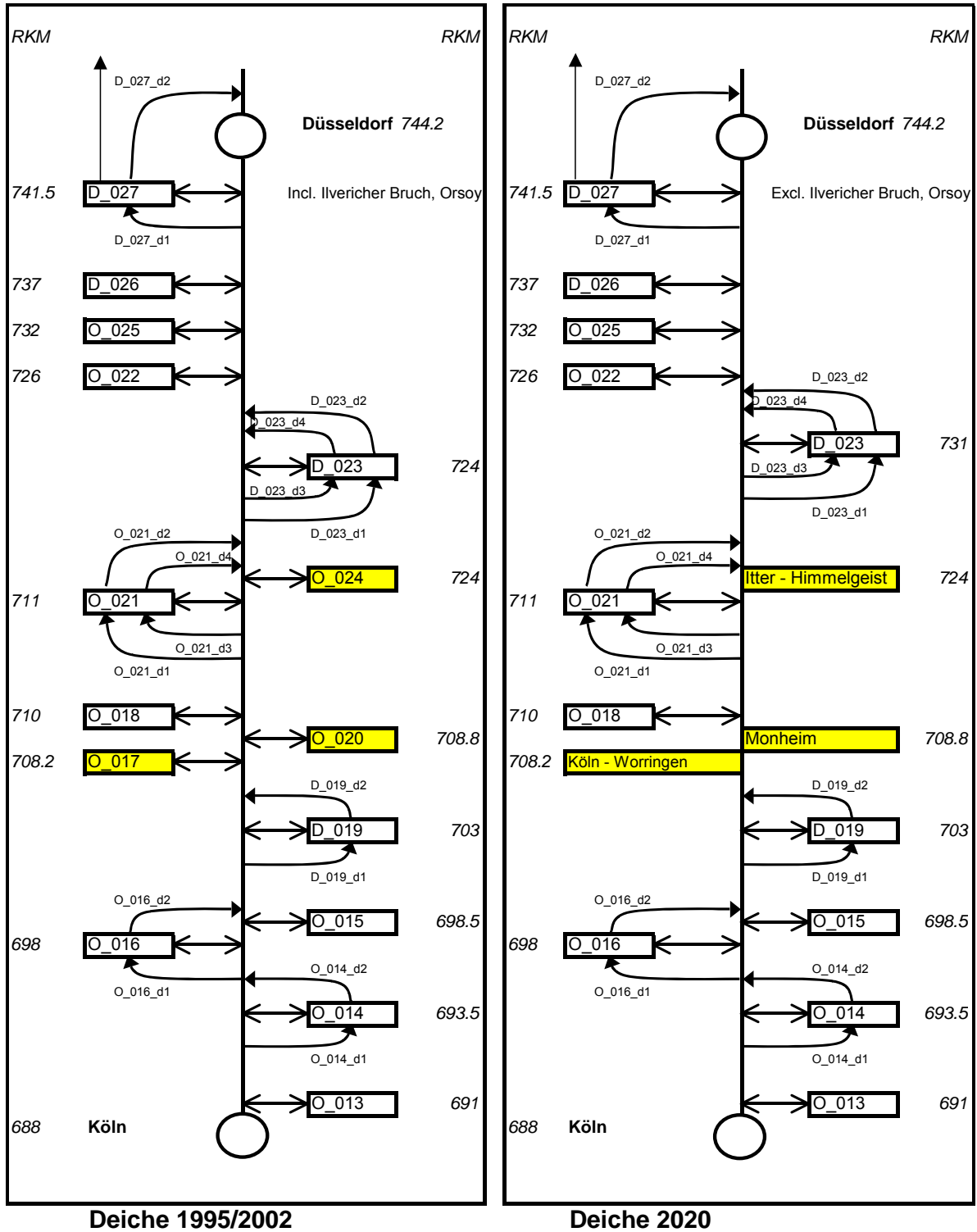
Anlage 8a: Systemskizze Deichüberströmungs- und Deichbruchgebiete in SOBEK (aus Deutsch-Niederländische Arbeitsgruppe Hochwasser (2004a).

Bereich Andernach – Köln



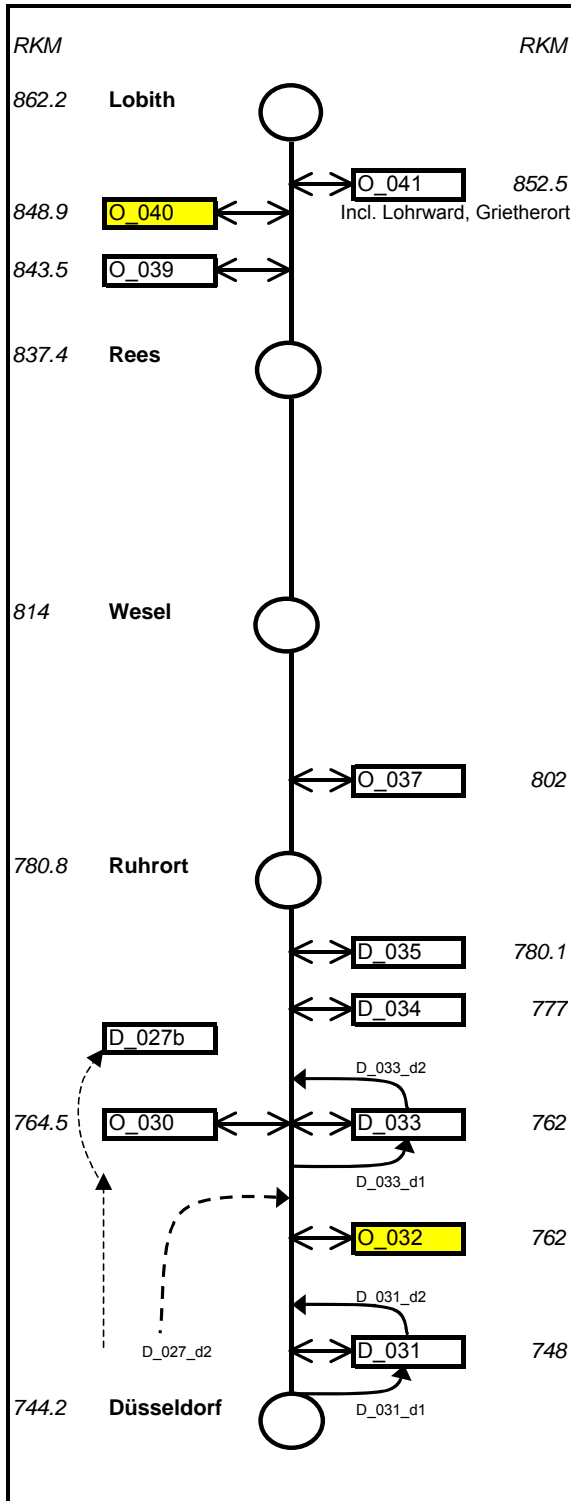
Anlage 8b: Systemskizze Deichüberströmungs- und Deichbruchgebiete in SOBEK (aus Deutsch-Niederländische Arbeitsgruppe Hochwasser (2004a).

Bereich Köln - Düsseldorf

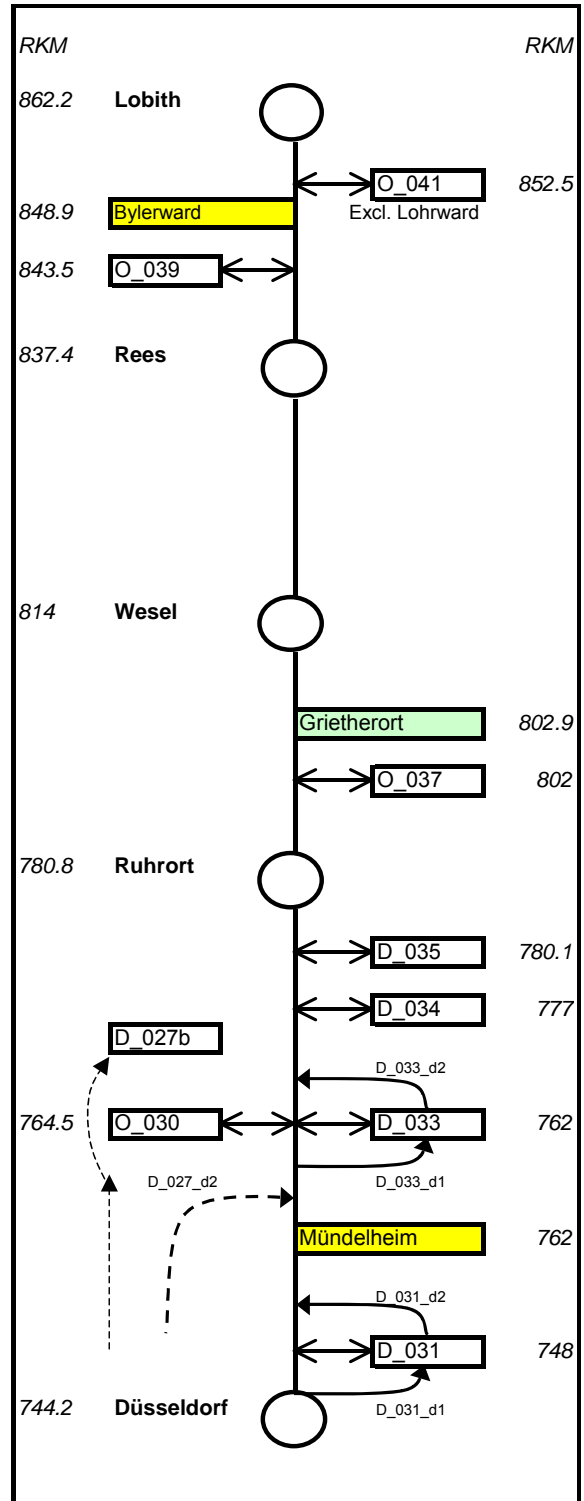


Anlage 8c: Systemskizze Deichüberströmungs- und Deichbruchgebiete in SOBEK (aus Deutsch-Niederländische Arbeitsgruppe Hochwasser (2004a).

Bereich Düsseldorf – Lobith



Deiche 1995/2002



Deiche 2020

Anlage 9: Scheitelminderungen für Abfluss und Wasserstand für die untersuchten Ausbauzustände

Hier: Angaben zu Minima und Maxima sowie Mittelwerten für die jeweils berechneten Ganglinien; in der Zusammenfassung finden sich Angaben zu den Perzentilen, wenn dieses möglich war

| Pegel Maxau | Minimale, mittlere und maximale Scheitelabflussänderungen [m ³ /s] der untersuchten Ausbauzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--|------------|------|-----------------------|--------|------|------------------------|-------------|------|-----------------------|--------|------|-------------------------|-------------|------|-----------------------|------------|------|
| | um HQ ₁₀ | | | | | | um HQ ₁₀₀ | | | | | | um HQ _{Extrem} | | | | | |
| | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. |
| Δ HQ 1977 | -120 | 121 | 477 | | | | -81 | 462 | 763 | | | | 65 | 434 | 628 | | | |
| Δ HQ 2005 | -290 | -38 | 108 | | | | -289 | -89 | 150 | | | | -180 | -50 | 70 | | | |
| Δ HQ 2010 | -290 | -38 | 108 | | | | -289 | -89 | 150 | | | | -180 | -50 | 70 | -70 | -30 | 29 |
| Δ HQ 2020 | -333 | -51 | 81 | | | | -392 | -157 | 102 | | | | -291 | -100 | 68 | -126 | -57 | 32 |
| Δ HQ 2020+ | -431 | -79 | 46 | | | | -670 | -284 | -74 | | | | -483 | -268 | -103 | | | |

| Pegel Maxau | Minimale, mittlere und maximale Wasserstandsscheiteländerungen [cm] der untersuchten Ausbauzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--|-----------|------|-----------------------|--------|------|------------------------|------------|------|-----------------------|--------|------|-------------------------|------------|------|-----------------------|-----------|------|
| | um HQ ₁₀ | | | | | | um HQ ₁₀₀ | | | | | | um HQ _{Extrem} | | | | | |
| | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. |
| Δ HW 1977 | -8 | 8 | 30 | | | | -3 | 29 | 47 | | | | 3 | 18 | 27 | | | |
| Δ HW 2005 | -19 | -3 | 7 | | | | -18 | -6 | 10 | | | | -10 | -3 | 3 | | | |
| Δ HW 2010 | -19 | -3 | 7 | | | | -18 | -6 | 10 | | | | -10 | -3 | 3 | -4 | -2 | 1 |
| Δ HW 2020 | -23 | -3 | 5 | | | | -24 | -10 | 6 | | | | -16 | -6 | 3 | -7 | -3 | 2 |
| Δ HW 2020+ | -29 | -5 | 5 | | | | -42 | -18 | -3 | | | | -27 | -14 | -4 | | | |

| Pegel Worms | Minimale, mittlere und maximale Scheitelabflussänderungen [m ³ /s] der untersuchten Ausbauzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--|-------------|------|-----------------------|--------|------|------------------------|-------------|------|-----------------------|--------|------|-------------------------|-------------|------|-----------------------|-------------|------|
| | um HQ ₁₀ | | | | | | um HQ ₁₀₀ | | | | | | um HQ _{Extrem} | | | | | |
| | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. |
| Δ HQ 1977 | -31 | 115 | 421 | | | | -10 | 349 | 656 | | | | 190 | 426 | 638 | | | |
| Δ HQ 2005 | -230 | -32 | 4 | | | | -279 | -156 | -43 | | | | -343 | -167 | 18 | | | |
| Δ HQ 2010 | -231 | -33 | 2 | | | | -284 | -163 | -44 | | | | -354 | -172 | 16 | -255 | -98 | 5 |
| Δ HQ 2020 | -394 | -92 | 17 | | | | -628 | -357 | -93 | | | | -714 | -396 | -62 | -551 | -266 | -13 |
| Δ HQ 2020+ | -426 | -112 | 9 | | | | -729 | -463 | -201 | | | | -1164 | -661 | -274 | | | |

| Pegel Worms | Minimale, mittlere und maximale Wasserstandsscheiteländerungen [cm] der untersuchten Ausbauzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--|-----------|------|-----------------------|--------|------|------------------------|------------|------|-----------------------|--------|------|-------------------------|------------|------|-----------------------|------------|------|
| | um HQ ₁₀ | | | | | | um HQ ₁₀₀ | | | | | | um HQ _{Extrem} | | | | | |
| | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. |
| Δ HW 1977 | -2 | 9 | 30 | | | | 0 | 21 | 39 | | | | 9 | 21 | 32 | | | |
| Δ HW 2005 | -19 | -3 | 1 | | | | -18 | -10 | -2 | | | | -18 | -9 | 1 | | | |
| Δ HW 2010 | -19 | -3 | 1 | | | | -18 | -10 | -3 | | | | -19 | -9 | 1 | -14 | -5 | 0 |
| Δ HW 2020 | -33 | -7 | 2 | | | | -44 | -23 | -5 | | | | -39 | -21 | -3 | -31 | -15 | -1 |
| Δ HW 2020+ | -35 | -9 | 1 | | | | -52 | -31 | -14 | | | | -67 | -36 | -15 | | | |

| Pegel Mainz | Minimale, mittlere und maximale Scheitelabflussänderungen [m ³ /s] der untersuchten Ausbauzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--|--------|------|-----------------------|--------|------|------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|-------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|
| | um HQ ₁₀ | | | | | | um HQ ₁₀₀ | | | | | | um HQ _{Extrem} | | | | | |
| | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. |
| Δ HQ 1977 | -18 | 151 | 528 | | | | -4 | 328 | 570 | | | | 229 | 335 | 487 | | | |
| Δ HQ 2005 | -265 | -69 | 10 | | | | -250 | -120 | -19 | | | | -102 | -56 | -16 | | | |
| Δ HQ 2010 | -271 | -76 | 10 | -259 | -73 | 10 | -334 | -151 | -34 | -306 | -112 | 56 | -102 | -63 | -25 | -99 | -48 | 17 |
| Δ HQ 2020 | -512 | -150 | 10 | -471 | -146 | 10 | -477 | -286 | -71 | -475 | -230 | 11 | -241 | -159 | -78 | -154 | -91 | 18 |
| Δ HQ 2020+ | -858 | -198 | 12 | | | | -894 | -504 | -81 | | | | -588 | -406 | -189 | | | |

| Pegel Mainz | Minimale, mittlere und maximale Wasserstandsscheiteländerungen [cm] der untersuchten Ausbauzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--|------------|------|-----------------------|--------|------|------------------------|------------|------|-----------------------|--------|------|-------------------------|------------|------|-----------------------|--------|------|
| | um HQ ₁₀ | | | | | | um HQ ₁₀₀ | | | | | | um HQ _{Extrem} | | | | | |
| | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. |
| Δ HW 1977 | -1 | 10 | 35 | | | | 0 | 20 | 34 | | | | 12 | 17 | 24 | | | |
| Δ HW 2005 | -23 | -10 | -3 | | | | -20 | -11 | -5 | | | | -8 | -6 | -4 | | | |
| Δ HW 2010 | -24 | -11 | -4 | -23 | -10 | -4 | -25 | -13 | -6 | -24 | -11 | 0 | -8 | -6 | -4 | -7 | -4 | -2 |
| Δ HW 2020 | -41 | -16 | -2 | -37 | -15 | -2 | -38 | -22 | -8 | -35 | -18 | -3 | -15 | -11 | -7 | -10 | -7 | -2 |
| Δ HW 2020+ | -63 | -19 | -4 | | | | -61 | -36 | -9 | | | | -33 | -24 | -13 | | | |

| Pegel Kaub | Minimale, mittlere und maximale Scheitelabflussänderungen [m ³ /s] der untersuchten Ausbauzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--|--------|------|-----------------------|--------|------|------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|-------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|
| | um HQ ₁₀ | | | | | | um HQ ₁₀₀ | | | | | | um HQ _{Extrem} | | | | | |
| | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. |
| Δ HQ 1977 | -18 | 144 | 476 | | | | -17 | 297 | 539 | | | | 235 | 383 | 575 | | | |
| Δ HQ 2005 | -278 | -68 | 11 | | | | -245 | -105 | 42 | | | | -204 | -106 | -20 | | | |
| Δ HQ 2010 | -311 | -85 | 11 | -298 | -84 | 7 | -317 | -145 | 38 | -313 | -117 | 44 | -219 | -125 | -31 | -189 | -78 | 20 |
| Δ HQ 2020 | -520 | -153 | 12 | -494 | -151 | 17 | -504 | -273 | 87 | -476 | -232 | 93 | -422 | -263 | -86 | -327 | -180 | 21 |
| Δ HQ 2020+ | -799 | -193 | 9 | | | | -893 | -481 | -68 | | | | -717 | -451 | -244 | | | |

| Pegel Kaub | Minimale, mittlere und maximale Wasserstandsscheiteländerungen [cm] der untersuchten Ausbauzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--|------------|------|-----------------------|--------|------|------------------------|------------|------|-----------------------|--------|------|-------------------------|------------|------|-----------------------|--------|------|
| | um HQ ₁₀ | | | | | | um HQ ₁₀₀ | | | | | | um HQ _{Extrem} | | | | | |
| | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. |
| Δ HW 1977 | -2 | 13 | 40 | | | | -1 | 23 | 42 | | | | 18 | 28 | 43 | | | |
| Δ HW 2005 | -31 | -12 | -5 | | | | -28 | -16 | -3 | | | | -23 | -15 | -9 | | | |
| Δ HW 2010 | -34 | -14 | -5 | -30 | -13 | -5 | -33 | -19 | -3 | -33 | -16 | -2 | -24 | -17 | -10 | -22 | -13 | -4 |
| Δ HW 2020 | -50 | -19 | -5 | -49 | -19 | -4 | -50 | -29 | 1 | -46 | -26 | 1 | -40 | -27 | -14 | -32 | -21 | -4 |
| Δ HW 2020+ | -70 | -23 | -5 | | | | -80 | -46 | -12 | | | | -63 | -41 | -25 | | | |

| Pegel Andernach | Minimale, mittlere und maximale Scheitelabflussänderungen [m ³ /s] der untersuchten Ausbautzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---|--------|------|-----------------------|--------|------|------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|-------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|
| | um HQ ₁₀ | | | | | | um HQ ₁₀₀ | | | | | | um HQ _{Extrem} | | | | | |
| | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. |
| Δ HQ 1977 | -183 | 158 | 501 | | | | -14 | 272 | 533 | | | | -7 | 195 | 577 | | | |
| Δ HQ 2005 | -242 | -64 | 17 | | | | -270 | -96 | 12 | | | | -224 | -83 | -10 | | | |
| Δ HQ 2010 | -339 | -85 | 17 | -278 | -87 | 6 | -305 | -144 | -3 | -307 | -115 | 56 | -231 | -116 | -57 | -219 | -124 | -63 |
| Δ HQ 2020 | -524 | -158 | 17 | -463 | -159 | 18 | -542 | -275 | 4 | -493 | -227 | 39 | -348 | -204 | -72 | -330 | -202 | -132 |
| Δ HQ 2020+ | -854 | -208 | 18 | | | | -950 | -502 | -18 | | | | -562 | -301 | -73 | | | |

| Pegel Andernach | Minimale, mittlere und maximale Wasserstandsscheiteländerungen [cm] der untersuchten Ausbautzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---|--------|------|-----------------------|--------|------|------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|-------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|
| | um HQ ₁₀ | | | | | | um HQ ₁₀₀ | | | | | | um HQ _{Extrem} | | | | | |
| | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. |
| Δ HW 1977 | -12 | 11 | 31 | | | | -1 | 14 | 27 | | | | 0 | 9 | 26 | | | |
| Δ HW 2005 | -21 | -6 | 9 | | | | -16 | -6 | 1 | | | | -8 | -1 | 3 | | | |
| Δ HW 2010 | -25 | -8 | 9 | -25 | -10 | 2 | -18 | -8 | 0 | -23 | -12 | -2 | -8 | -3 | 1 | -15 | -10 | -8 |
| Δ HW 2020 | -37 | -13 | 9 | -37 | -14 | 2 | -30 | -16 | 0 | -32 | -18 | -3 | -14 | -7 | -1 | -20 | -14 | -10 |
| Δ HW 2020+ | -57 | -16 | 8 | | | | -59 | -29 | 0 | | | | -24 | -12 | -1 | | | |

| Pegel Köln | Minimale, mittlere und maximale Scheitelabflussänderungen [m ³ /s] der untersuchten Ausbautzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|---|--------|------|-----------------------|--------|------|------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|-------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|
| | um HQ ₁₀ | | | | | | um HQ ₁₀₀ | | | | | | um HQ _{Extrem} | | | | | |
| | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. |
| Δ HQ 1977 | -201 | 135 | 485 | | | | -15 | 258 | 501 | | | | -7 | 158 | 569 | | | |
| Δ HQ 2005 | -217 | -58 | 12 | | | | -257 | -95 | 34 | | | | -232 | -75 | -2 | | | |
| Δ HQ 2010 | -308 | -77 | 12 | -254 | -79 | 6 | -294 | -151 | 21 | -295 | -124 | 15 | -232 | -106 | -50 | -392 | -104 | 87 |
| Δ HQ 2020 | -478 | -143 | 17 | -419 | -144 | 16 | -542 | -276 | 55 | -460 | -238 | 34 | -315 | -182 | -28 | -437 | -168 | 10 |
| Δ HQ 2020+ | -795 | -185 | 21 | | | | -960 | -469 | 7 | | | | -511 | -263 | -29 | | | |

| Abschnitt Sieg­mündung bis Ruhrmündung | Minimale, mittlere und maximale abschnittsgemittelte Wasserstandsscheiteländerungen [cm] der untersuchten Ausbautzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--------|------|-----------------------|--------|------|------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|-------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|
| | um HQ ₁₀ | | | | | | um HQ ₁₀₀ | | | | | | um HQ _{Extrem} | | | | | |
| | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. |
| Δ HW 1977 | -1 | 10 | 26 | | | | -13 | 7 | 22 | | | | -1 | 14 | 29 | | | |
| Δ HW 2005 | -11 | 1 | 8 | | | | -11 | 2 | 9 | | | | -10 | 0 | 6 | | | |
| Δ HW 2010 | -14 | -1 | 8 | -11 | 0 | 9 | -11 | 0 | 9 | -10 | 0 | 7 | -12 | -1 | 6 | -6 | 1 | 4 |
| Δ HW 2020 | -24 | -7 | 9 | -24 | -4 | 9 | -22 | -4 | 9 | -16 | -5 | 7 | -26 | -7 | 5 | -10 | -4 | 0 |
| Δ HW 2020+ | -44 | -12 | 7 | | | | -34 | -7 | 9 | | | | -39 | -12 | 3 | | | |

| Pegel Lobith | Minimale, mittlere und maximale Scheitelabflussänderungen [m³/s] der untersuchten Ausbautzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--|--------|------|-----------------------|--------|------|------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|-------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|
| | um HQ ₁₀ | | | | | | um HQ ₁₀₀ | | | | | | um HQ _{Extrem} | | | | | |
| | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. |
| Δ HQ 1977 | -304 | 125 | 480 | | | | -1 | 214 | 429 | | | | -8 | 153 | 576 | | | |
| Δ HQ 2005 | -203 | -64 | 21 | | | | -240 | -97 | -12 | | | | -220 | -71 | 26 | | | |
| Δ HQ 2010 | -221 | -82 | 22 | -225 | -80 | 19 | -285 | -150 | -15 | -290 | -116 | -12 | -230 | -111 | 2 | -330 | -107 | 2 |
| Δ HQ 2020 | -400 | -135 | 18 | -389 | -133 | 14 | -539 | -301 | -16 | -399 | -234 | -30 | -515 | -321 | -146 | -505 | -188 | 38 |
| Δ HQ 2020+ | -807 | -181 | 17 | | | | -942 | -450 | -13 | | | | -1044 | -629 | -188 | | | |

| Abschnitt Ruhrmündung bis Pannerdenschepolder Kop | Minimale, mittlere und maximale abschnittsgemittelte Wasserstandsscheiteländerungen [cm] der untersuchten Ausbautzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--------|------|-----------------------|--------|------|------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|-------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|
| | um HQ ₁₀ | | | | | | um HQ ₁₀₀ | | | | | | um HQ _{Extrem} | | | | | |
| | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. |
| Δ HW 1977 | -10 | 6 | 20 | | | | 0 | 8 | 17 | | | | 0 | 5 | 19 | | | |
| Δ HW 2005 | -12 | -2 | 5 | | | | -3 | 1 | 4 | | | | -4 | 2 | 5 | | | |
| Δ HW 2010 | -12 | -2 | 6 | -10 | -2 | 6 | -4 | 1 | 6 | -3 | 2 | 6 | -1 | 3 | 7 | -5 | 3 | 7 |
| Δ HW 2020 | -25 | -11 | 4 | -22 | -8 | 5 | -25 | -14 | -2 | -16 | -9 | 0 | -31 | -27 | -17 | -29 | -17 | -7 |
| Δ HW 2020+ | -35 | -13 | 3 | | | | -34 | -19 | -2 | | | | -43 | -33 | -18 | | | |

| Abschnitt des Gewässers Nederrijn/Lek | Minimale, mittlere und maximale abschnittsgemittelte Wasserstandsscheiteländerungen [cm] der untersuchten Ausbautzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--|--------|------|-----------------------|--------|------|------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|-------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|
| | um HQ ₁₀ | | | | | | um HQ ₁₀₀ | | | | | | um HQ _{Extrem} | | | | | |
| | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. |
| Δ HW 1977 | -5 | 2 | 12 | | | | 0 | 3 | 6 | | | | 0 | 3 | 11 | | | |
| Δ HW 2005 | -6 | -1 | 2 | | | | -3 | -1 | 0 | | | | -3 | -1 | 1 | | | |
| Δ HW 2010 | -7 | -2 | 1 | -6 | -1 | 1 | -6 | -3 | -1 | -3 | -2 | 0 | -4 | -2 | -1 | -6 | -2 | 0 |
| Δ HW 2020 | -22 | -11 | -1 | -23 | -11 | -1 | -19 | -10 | -2 | -13 | -7 | -2 | -26 | -15 | -7 | -18 | -9 | -4 |
| Δ HW 2020+ | -29 | -12 | -1 | | | | -21 | -11 | -2 | | | | -32 | -20 | -8 | | | |

| Abschnitt des Gewässers Waal | Minimale, mittlere und maximale abschnittsgemittelte Wasserstandsscheiteländerungen [cm] der untersuchten Ausbautzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--|--------|------|-----------------------|--------|------|------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|-------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|
| | um HQ ₁₀ | | | | | | um HQ ₁₀₀ | | | | | | um HQ _{Extrem} | | | | | |
| | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. |
| Δ HW 1977 | -7 | 3 | 11 | | | | 0 | 6 | 17 | | | | 0 | 4 | 14 | | | |
| Δ HW 2005 | -9 | -2 | 1 | | | | -5 | -3 | 0 | | | | -5 | -2 | 1 | | | |
| Δ HW 2010 | -10 | -3 | 0 | -8 | -2 | 1 | -8 | -5 | -2 | -6 | -2 | 0 | -7 | -5 | -2 | -7 | -2 | 1 |
| Δ HW 2020 | -49 | -17 | -7 | -48 | -16 | -7 | -25 | -19 | -11 | -23 | -16 | -8 | -31 | -25 | -18 | -29 | -19 | -6 |
| Δ HW 2020+ | -50 | -18 | -7 | | | | -35 | -23 | -10 | | | | -42 | -32 | -19 | | | |

| Abschnitt des Gewässers IJssel | Minimale, mittlere und maximale abschnittsgemittelte Wasserstandsscheiteländerungen [cm] der untersuchten Ausbautzustände gegenüber dem Zustand 1995 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|--------|------|-----------------------|--------|------|------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|-------------------------|--------|------|-----------------------|--------|------|
| | um HQ ₁₀ | | | | | | um HQ ₁₀₀ | | | | | | um HQ _{Extrem} | | | | | |
| | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | | ohne Deichüberströmung | | | mit Deichüberströmung | | |
| | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. | max. | mittel | min. |
| Δ HW 1977 | -3 | 2 | 8 | | | | 0 | 3 | 7 | | | | 0 | 3 | 13 | | | |
| Δ HW 2005 | -8 | -1 | 0 | | | | -5 | -2 | 0 | | | | -6 | -2 | 0 | | | |
| Δ HW 2010 | -8 | -2 | 0 | -7 | -1 | 0 | -8 | -3 | -1 | -4 | -2 | 0 | -8 | -5 | -2 | -7 | -3 | 0 |
| Δ HW 2020 | -45 | -38 | -25 | -44 | -38 | -25 | -57 | -45 | -37 | -50 | -43 | -36 | -61 | -52 | -43 | -56 | -46 | -40 |
| Δ HW 2020+ | -48 | -39 | -25 | | | | -59 | -46 | -37 | | | | -74 | -58 | -44 | | | |