

Vertrag vom 04. Juli 1969 zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Französischen Republik über den Ausbau des Rheins zwischen Kehl / Straßburg und Neuburgweier / Lauterburg

Ständige Kommission - Unterarbeitsgruppe Wirksamkeitsnachweis

**Nachweis der Wirksamkeit der
Hochwasserrückhaltmaßnahmen am Oberrhein
zwischen Basel und Worms**

Bericht, Stand Frühjahr 2020

Gebilligt in der 84. Sitzung der Ständigen Kommission
am 25. November 2020 (Videokonferenz)

Convention du 4 juillet 1969 entre la République française et la République fédérale d'Allemagne sur l'aménagement du Rhin entre Strasbourg/Kehl et Lauterbourg/Neuburgweier

Commission Permanente – sous-groupe de travail Démonstration de l'efficacité

**Démonstration de l'efficacité des mesures
de rétention des crues du Rhin Supérieur
entre Bâle et Worms**

Rapport printemps 2020

Approuvé lors de la 84ème réunion de la Commission Permanente,
le 25 novembre 2020 (par visioconférence)

Beteiligte Dienststellen und Bearbeitung:

Der vorliegende Bericht wurde im Auftrag der deutsch-französischen Ständigen Kommission (SK) durch die Unterarbeitsgruppe Wirksamkeitsnachweis erarbeitet. Der Arbeitsgruppe gehören an:

Rüdiger Beiser	Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS), Obmann der Unterarbeitsgruppe Wirksamkeitsnachweis
Dr. Thomas Bettmann	Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU RP)
Dr. Gerhard Brahmer	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG)
Dr. Manfred Bremicker	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW)
Daniel Habekost	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW)
Marcus Hatz	Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
Christian Iber	Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU RP)
Joachim Krause	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW)
Armin Stelzer	Regierungspräsidium Karlsruhe (RPK)
Christian Lengnick	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW)
Roland Müller	Regierungspräsidium Freiburg (RPF)
Dominique Larose	VNF / Centre d'Alerte Rhéan d'Informations Nautiques de Gamsheim (CARING)
Dominique Rozier	VNF / Centre d'Alerte Rhéan d'Informations Nautiques de Gamsheim (CARING)
Jean-Philippe Royer	Électricité de France (EDF)
Gerhard Ströhlein	Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Oberrhein (WSA)
Anne Toussiot	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Alsace-Champagne-Ardenne-Lorraine (DREAL ACAL)

Verdolmetschung und Übersetzung: Dr. Sabine Seubert, Karlsruhe

Durchführung der Berechnungen: LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Sachgebiet 43.2
Hochwasserschutz Oberrhein, Hochwasservorhersagezentrale

Services contribuant au rapport:

Le présent rapport a été élaboré sur mandat de la Commission Permanente franco-allemande (CP) par le sous-groupe de travail Efficacité. Font partie de ce groupe de travail :

Rüdiger Beiser	Agence fédérale des voies navigables et de la navigation (GDWS) chef de file du sous-groupe de travail Efficacité
Dr. Thomas Bettmann	Office régional de l'Environnement de Rhénanie-Palatinat
Dr. Gerhard Brahmer	Office régional de la Protection de la nature et de la Géologie du Land de Hesse (HLNUG))
Dr. Manfred Bremicker	Agence de l'Environnement du Land de Bade-Wurtemberg (LUBW)
Daniel Habekost	Agence de l'Environnement du Land de Bade-Wurtemberg (LUBW)
Marcus Hatz	Institut fédéral d'Hydrologie (BfG)
Christian Iber	Office régional de l'Environnement du Land de Rhénanie-Palatinat (LfU RP)
Joachim Krause	Agence de l'Environnement du Land de Bade-Wurtemberg (LUBW)
Armin Stelzer	Regierungspräsidium Karlsruhe (RPK)
Christian Lengnick	Agence de l'Environnement du Land de Bade-Wurtemberg (LUBW)
Roland Müller	Regierungspräsidium Freiburg (RPF)
Dominique Larose	VNF/Centre d'Alerte Rhéan d'Informations Nautiques de Gamsheim (CARING)
Dominique Rozier	VNF/Centre d'Alerte Rhéan d'Informations Nautiques de Gamsheim (CARING)
Jean-Philippe Royer	Électricité de France (EDF)
Gerhard Ströhlein	Wasserstrassen- und Schifffahrtsamt Oberrhein (WSA)
Anne Toussiot	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Grand Est (DREAL Grand Est)

Traduction et interprétation: Dr. Sabine Seubert, Karlsruhe

Calculs réalisés par : LUBW Agence de l'Environnement du Land de Bade-Wurtemberg, Service 43.2
Protection contre les crues Rhin Supérieur, Centrale de prévision des crues

Nachweis der Wirksamkeit der Hochwasserrückhalte- maßnahmen am Oberrhein zwischen Basel und Worms

Inhalt

1. Zusammenfassung	6
2. Einleitung	7
3. Grundlagen zur Durchführung und Auswertung der Berechnungen	9
3.1 Hochwasserschutzziel und Nachweiskriterien für die Wirksamkeit der Maßnahmen	9
3.2 Übersicht der untersuchten Rückhaltemaßnahmen	11
3.3 Synoptisches Modell	15
3.4 Verwendete Modellhochwasser	14
3.5 Steuerungsstrategie für die Retentionsmaßnahmen	17
4. Berechnungsergebnisse	20
4.1 Gesamtreglement für die Steuerung der Retentionsmaßnahmen	20
4.2 Berechnungsergebnisse zum Nachweis der Wirksamkeit.....	20
4.2.1 Modellhochwasser „Maxau“	21
4.2.2 Modellhochwasser „Worms“	21
4.3 Bewertung der Berechnungsergebnisse	22
5. Literatur, Quellenangaben	23

Démonstration de l'efficacité des mesures de rétention des crues du Rhin Supérieur entre Bâle et Worms

Sommaire

1. Résumé	6
2. Introduction	7
3. Bases de calcul et d'interprétation des calculs	9
3.1 Objectif de protection contre les crues et critères justifiant de l'efficacité des mesures	9
3.2 Aperçu des mesures de rétention étudiées	11
3.3 Modèle synoptique	15
3.4 Collectif des crues utilisées	14
3.5 Stratégie de pilotage des mesures de rétention	17
4. Résultats de calcul	20
4.1 Règlement d'ensemble du pilotage des mesures de rétention.....	20
4.2 Résultats des calculs démontrant l'efficacité des mesures.....	20
4.2.1 Collectif de crues « Maxau »	21
4.2.2 Collectif de crues « Worms ».....	21
4.3 Interprétation des résultats de calcul	22
5. Bibliographie, sources	23

Verzeichnis der Abbildungen:

Abbildung 1: Übersichtskarte	11
Abbildung 2: Modellhochwasser „Maxau“	16
Abbildung 3: Modellhochwasser „Worms“	16
Abbildung 4: Beispiel für die Überlagerung der Hochwasserabflüsse von Rhein und Neckar	18

Verzeichnis der Tabellen:

Tabelle 1: Nachweiskriterien für die Wiederherstellung des Hochwasserschutzes am Oberrhein	10
Tabelle 2: Übersicht der untersuchten Retentionsmaßnahmen.....	13
Tabelle 3: Berechnungsergebnisse für die Modellhochwasser „Maxau“	21
Tabelle 4: Berechnungsergebnisse für die Modellhochwasser „Worms“	21
Tabelle 5: Berechnungsergebnisse für Modellhochwasser „Maxau“ und „Worms“	22

Liste des figures:

figure 1 : Carte générale.....	11
figure 2 : Collectif de crues «Maxau »	16
figure 3 : Collectif de crues « Worms »	16
Figure 4 : Exemple d'interaction des débits de crue du Rhin et du Neckar	18

Liste des tableaux:

Tableau 1: Critères d'efficacité à atteindre pour le rétablissement de la protection des crues du Rhin Supérieur	10
Tableau 2 : Mesures de rétention étudiées	13
Tableau 3: Résultats de calcul pour le collectif de crues „Maxau“	21
Tableau 4: Résultats de calcul pour le collectif de crues „Worms“	21
Tableau 5: Résultats de calcul pour les collectifs de crues „Maxau“ et „Worms“	22

- Verzeichnis der Anlagen -

Anlage A: Gesamtreglement zur Steuerung der Maßnahmen

Anlage B: Abflussganglinien der Modellhochwasser

- B-1: Ganglinien für die Modellhochwasser „Maxau“ im Bereich der Murgmündung
- B-2: Ganglinien für Modellhochwasser „Maxau“ am Pegel Maxau
- B-3: Ganglinien für Modellhochwasser „Worms“ im Bereich Neckarmündung
- B-4: Ganglinien für Modellhochwasser „Worms“ am Pegel Worms

Anlage C: Berechnungsergebnisse zum Maßnahmeneinsatz (Volumina)

- C-1: Volumina bei den Modellhochwassern „Maxau“
- C-2: Volumina bei den Modellhochwassern „Worms“

Anlage D: Übersicht der Berechnungsergebnisse (Scheitelabflüsse)

- D-1: Scheitelabflüsse für die Modellhochwasser „Maxau“
- D-2: Scheitelabflüsse für die Modellhochwasser „Worms“

Anlage E: Grundsätzliches zur Wirkung von Retentionsmaßnahmen

- Liste des annexes -

Annexe A: Consignes générales pour le pilotage des mesures

Annexe B: Hydrogrammes pour le collectif de crue

- B-1: Hydrogrammes pour le collectif de crues „Maxau“ (embouchure de la Murg)
- B-2: Hydrogrammes pour le collectif de crues „Maxau“ (Maxau)
- B-3: Hydrogrammes pour le collectif de crues „Worms“ (embouchure du Neckar)
- B-4: Hydrogrammes pour le collectif de crues „Worms“ (Worms)

Annexe C: Résultats de calcul de la mise en œuvre des mesures (volumes)

- C-1: Volumes pour le collectif de crues „Maxau“
- C-2: Volumes pour le collectif de crues „Worms“

Annexe D: Tableau des résultats de calcul (débits de pointe)

- D-1: Débits de pointe pour le collectif de crues „Maxau“
- D-2: Débits de pointe pour le collectif de crues „Worms“

Annexe E: Eléments généraux sur l'effet des mesures de rétention

1. Zusammenfassung

Deutschland und Frankreich haben 1982 vereinbart, die erforderlichen Maßnahmen zu ergreifen, um unterhalb der Staustufe Iffezheim den vor dem Ausbau des Oberrheins vorhandenen Hochwasserschutz wieder herzustellen. Gemeint ist hier der Zustand 1955 gemäß Ziffer 8.4 des Schlussberichtes der internationalen Hochwasserstudienkommission für den Rhein (HSK, 1978).

Die Ständige Kommission (SK) hat beschlossen, den hierzu erforderlichen Wirksamkeitsnachweis zu aktualisieren. Gemäß Auftrag der SK wird hiermit der Bericht Frühjahr 2020 vorgelegt.

Grundlage der vorliegenden Untersuchung ist ein Kollektiv mehrerer Hochwasserereignisse mit unterschiedlichen Wellenformen, die - ohne Wirkung von Retentionsmaßnahmen (Zustand 1977) – jeweils auf einen definierten Scheitelabfluss skaliert werden. Für den Pegel Maxau sind dies 17 Ereignisse mit einem Scheitelabfluss von 5.700 m³/s (**Modellhochwasser „Maxau“**), für den Pegel Worms sind dies 16 Ereignisse mit einem Scheitelabfluss von 6.800 m³/s (**Modellhochwasser „Worms“**). Die Berechnungen zum Hochwasserablauf im Oberrhein zwischen Basel und Worms wurden mit dem Synoptischen Modell durchgeführt.

Das Hochwasser 1882 / 83 ist als Einzelereignis nicht Bestandteil des Wirksamkeitsnachweises; es dient bei SK (2016) ergänzend als Beispiel für ein extremes Hochwasser.

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass mit den bereits vorhandenen und noch vorgesehenen Retentionsmaßnahmen der vor dem Oberrheinausbau vorhandene Hochwasserschutz gemäß dem Ziel des deutsch-französischen Staatsvertrags (Ver Vereinbarung, 1982) wiederhergestellt werden kann.

Es sind mindestens die in Tabelle 2 genannten Rückhalteräume auf den aktivierbaren ehemaligen Aueflächen sowie die dadurch erzielbare Retentionswirkung erforderlich, um das Hochwasserschutzziel zu erreichen (Kap. 3.2).

1. Résumé

Par leur convention de 1982, la France et l'Allemagne ont décidé de prendre les mesures nécessaires pour rétablir, à l'aval de la chute d'Iffezheim, le niveau de protection contre les crues tel qu'il avait existé avant l'aménagement du Rhin Supérieur. Le niveau de protection visé est celui de 1955, conformément au point 8.4 du rapport final de la Commission internationale d'étude des crues (CECR, 1978).

La Commission Permanente (CP) a décidé de mettre à jour le document établissant la preuve de l'efficacité des mesures. Conformément au mandat de la CP, le présent document présente l'état au printemps 2020 de la nouvelle démonstration de l'efficacité des mesures.

La présente analyse est fondée sur un collectif de crues avec différentes formes d'onde qui – sans l'effet de mesures de rétention (état 1977) – sont gonflées pour atteindre un débit de pointe défini. Pour l'échelle limnimétrique de Maxau, il s'agit de 17 crues avec un débit de pointe de 5700m³/s (**collectif de crues « Maxau »**), pour l'échelle limnimétrique de Worms, il s'agit de 16 crues avec un débit de pointe de 6800m³/s (**collectif de crues « Worms »**). Les calculs de propagation des crues pour le Rhin Supérieur, entre Bâle et Worms, ont été réalisés grâce au Modèle Synoptique.

L'événement individuel que représente la crue de 1882 / 83 n'est pas pris en compte dans la démonstration de l'efficacité ; il fait office d'exemple d'une crue extrême dans le rapport CP 2016.

Les résultats des calculs font apparaître qu'avec les mesures de rétention déjà existantes et celles qui sont encore prévues, l'objectif de rétablir le niveau de protection contre les crues tel qu'il existait avant l'aménagement du Rhin Supérieur conformément aux préconisations de la convention franco-allemande, (Convention, 1982) peut être atteint.

Les zones de rétention figurant dans le tableau 2, qui se trouvent sur d'anciennes zones alluviales et qui peuvent être mises en eau sont a minima nécessaires, par leur effet d'écrêtement, si l'on veut atteindre l'objectif de protection contre les crues (chap. 3.2).

2. Einleitung

Der Oberrheinausbau

Bereits früh hat der Mensch in die natürlichen Abflussverhältnisse des Oberrheins eingegriffen und diese verändert. Größere Eingriffe sind unter der Leitung des badischen Ingenieurs Johann Gottfried Tulla etwa zwischen 1820 und 1880 erfolgt, der den Verlauf des Oberrheins mittels einer Korrektur begradigte.

Um die Wasserkraft des Rheins zu nutzen und den Fluss auf Dauer schiffbar zu machen, wurde der Oberrhein im 20. Jahrhundert weiter ausgebaut. 1928 bis 1932 wurde die Staustufe Kembs gebaut. 1948 bis 1959 kamen drei weitere im Bereich des „Grand Canal d'Alsace“ hinzu. Es folgten von 1957 bis 1970 vier Staustufen in den heute bekannten „Schlingenlösungen“ bis Straßburg. Diese Schlingenlösung erfolgte anstelle eines durchgehenden Ausbaus des Rheinseitenkanals bis Straßburg, um auch landeskulturellen und allgemeinen wasserwirtschaftlichen Belangen gerecht zu werden. Die beiden Staustufen Gamsheim und Iffezheim wurden im Strombett gebaut und im Jahre 1974 bzw. 1977 fertiggestellt.

Durch den 1957 begonnenen Ausbau unterhalb Breisachs trat durch weitere Einschränkung der Überflutungsflächen eine massive Veränderung der Abflussverhältnisse ein.

Die internationale Hochwasserstudienkommission für den Rhein (HSK, 1978) beschäftigte sich in den Jahren 1968 bis 1978 mit den Folgen des Oberrheinausbaus (einschließlich der damals geplanten, jedoch bis heute nicht gebauten Staustufe Neuburgweier) für den Abschnitt von Basel bis Worms. Ergebnis war, dass der Ausbau des Oberrheins eine Wellenbeschleunigung und damit einen Anstieg der Hochwasserscheitel zur Folge hat. Daraufhin wurde die Wirksamkeit der damals vorgesehenen technischen Hochwasserrückhaltungen berechnet.

Deutsch – Französische Staatsverträge und Zielsetzung des Hochwasserschutzes am Oberrhein

Im Dezember 1982 beschlossen Frankreich und Deutschland in der „Vereinbarung zur Änderung und Ergänzung der Zusatzvereinbarung vom 16. Juli 1975 zum Vertrag vom 04. Juli 1969“ in Artikel 7 „auf der Grundlage des Schlussberichtes der Hochwasser-Studienkommission die erforderlichen Maßnahmen zu ergreifen, um unterhalb der Staustufe Iffezheim den vor dem Ausbau des Oberrheins vorhandenen Hochwasserschutz wieder herzustellen.“

Die Untersuchungen der HSK wurden auf Basis von acht historischen Winterhochwassern durchgeführt, Lösungsvarianten für den damals geplanten Endausbauzustand bis Neuburgweier vorgeschlagen und die Wirksamkeit der entsprechenden Retentionsmaßnahmen nachgewiesen. Als Zustand vor dem Ausbau wurde der Bettzustand 1955 festgelegt, da für dieses Jahr Profilaufnahmen des Hochwasserbettes vorlagen (HSK 1978, Kap. 4.1.1).

Da der Oberrheinausbau nur bis Iffezheim durchgeführt und in Frankreich und Deutschland die Planungen der Retentionsmaßnahmen fortgeschrieben wurden, zeigte sich Anfang der 1990er Jahre die Notwendigkeit zur Aktualisierung der HSK-Untersuchungen.

2. Introduction

L'aménagement du Rhin Supérieur

Très tôt, l'homme a cherché à influencer le régime du Rhin Supérieur et à modifier son débit. Sous la direction de Johann Gottfried Tulla, ingénieur de la région de Bade, des interventions majeures ont eu lieu entre 1820 et 1880, avec la correction du cours du Rhin Supérieur et sa rectification.

Afin d'exploiter la force hydraulique et d'assurer la navigation à long terme l'aménagement du Rhin Supérieur a été poursuivi au XX^{ème} siècle. La chute de Kembs a été construite entre 1928 et 1932. Les trois secteurs du Grand Canal d'Alsace ont été aménagés entre 1948 et 1959. Puis, entre 1957 et 1970, quatre autres chutes, appelées aujourd'hui des « festons », ont été aménagées jusqu'à Strasbourg. Cette solution des festons a été adoptée au lieu d'un aménagement en continu du Grand Canal d'Alsace jusqu'à Strasbourg, afin de répondre également à des intérêts agricoles et de gestion générale de l'eau. Les deux biefs de Gamsheim et d'Iffezheim ont été aménagés dans le lit du fleuve et ont été achevés respectivement en 1974 et 1977.

Suite à l'aménagement à l'aval de Brisach commencé en 1957, intervinrent d'autres réductions des zones inondables, ce qui provoqua une modification considérable des conditions d'écoulement.

La Commission internationale d'Etudes des Crues du Rhin (HSK, 1978) a étudié, entre 1968 et 1978, les conséquences qu'a eu l'aménagement du Rhin Supérieur (y compris celles de la chute de Neuburgweier, prévue alors et ajournée jusqu'à aujourd'hui) sur le secteur entre Bâle et Worms. Le constat fut que l'aménagement du Rhin Supérieur avait entraîné une accélération du courant et donc une élévation des débits de pointe des crues. L'efficacité des mesures techniques de rétention des crues a alors été calculée.

Les conventions franco-allemandes et l'objectif de la protection contre les crues du Rhin Supérieur

En décembre 1982, la France et l'Allemagne décidèrent, dans la « Convention modifiant et complétant la Convention additionnelle du 16 juillet 1975 à la Convention du 4 juillet 1969 », à l'article 7, « de prendre les mesures qui, sur la base du Rapport final de la Commission d'études des crues du Rhin, sont nécessaires pour rétablir à l'aval de la chute d'Iffezheim le niveau de protection contre les crues du Rhin qui existait avant l'aménagement du cours supérieur du Rhin. »

Les études de la Commission d'études des crues ont été menées sur la base de huit crues historiques d'hiver, en proposant des variantes de solutions pour l'état d'aménagement alors prévu jusqu'à Neuburgweier. Ce travail a permis d'établir la preuve de l'efficacité des mesures de rétention des crues. L'état « avant l'aménagement » retenu a été l'état du lit de 1955, étant donné que, pour cette année, des relevés de profil du lit majeur étaient disponibles (CECR 1978, 4.1.1).

Etant donné que l'aménagement du Rhin Supérieur n'a été réalisé que jusqu'à Iffezheim et que les projets ont été modifiés en France et en Allemagne, il apparut, au début des années 1990, qu'il était nécessaire de revoir les études de la Commission d'études des crues du Rhin.

Daraufhin hat die Ständige Kommission (SK), die nach Artikel 14 des Vertrages zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Französischen Republik von 1969 dessen Anwendung verfolgt, ihre Unterarbeitsgruppe (UAG) Wirksamkeitsnachweis beauftragt, die notwendigen Untersuchungen durchzuführen. Diese Berechnungen erfolgten auf Basis eines auf 15 Hochwasser erweiterten Kollektivs. Ergebnis dieses Wirksamkeitsnachweises war, dass alle bereits vorhandenen und geplanten Maßnahmen notwendig sind. Der Wirksamkeitsnachweis (SK, 1998) wurde vom Ausschuss der Ständigen Kommission am 4.05.1999 gebilligt und der Ständigen Kommission zu deren Sitzung im Oktober 1999 vorgelegt.

Beim Hochwasser Mai 1999 wurde am Pegel Basel ein Abfluss von 5.090 m³/s gemessen und somit der bis zu diesem Zeitpunkt hier als maximal möglich eingeschätzte Scheitelabfluss deutlich überschritten.

Daher hat die Ständige Kommission auf ihrer 52. Sitzung beschlossen, den Wirksamkeitsnachweis zu aktualisieren. Weitere Veranlassung für die Aktualisierung waren bereits erfolgte oder absehbare Fortschreibungen des Modells sowie Konkretisierungen von Planungsunterlagen für die Retentionsmaßnahmen. Weiterhin wurden dem Hochwasserkollektiv die beiden Hochwasser Mai 1999 und Juni 2013 hinzugefügt (SK, 2016).

Gemäß Auftrag der 77. SK wird hiermit ein aktualisierter Stand des Wirksamkeitsnachweises vorgelegt. Dieser Bericht berücksichtigt - als Fortschreibung des Zwischenberichtes 2016 - als wesentliche Aktualisierungen die Konkretisierung von Planungen für Retentionsmaßnahmen sowie Fortschreibungen von Details im Reglement.

C'est pourquoi la Commission Permanente (CP), chargée de l'application de l'article 14 de la convention de 1969 entre la République Française et la République Fédérale d'Allemagne, a mandaté son sous-groupe de travail (SGT) Efficacité de mener les investigations nécessaires. Les calculs ont été réalisés sur la base d'un collectif étendu de quinze crues. Le résultat de l'étude démontrant l'efficacité des mesures a montré que toutes les mesures déjà existantes ainsi que celles encore prévues sont nécessaires. Le rapport démontrant l'efficacité des mesures (CP, 1998) a été validé par le Comité de la Commission Permanente le 04/05/1999 et soumis à la Commission Permanente lors de sa réunion d'octobre 1999.

Lors de la crue de mai 1999, un débit de 5.090 m³/s a été mesuré au limnimètre de Bâle - le débit maximal estimé possible à cette époque a donc été nettement dépassé.

C'est la raison pour laquelle la Commission Permanente, lors de sa 52^{ème} réunion, a décidé de revoir le rapport contenant les preuves d'efficacité des mesures. Une mise à jour était également indiquée compte tenu de l'évolution des modèles de calcul et de la concrétisation des documents des procédures des plans des zones de rétention. Ont été ajoutées par ailleurs au collectif de crues les deux crues de mai 1999 et de juin 2013 (CP 2016).

Conformément au mandat de la 77. CP, le présent rapport rend compte de l'avancement actuel de la preuve d'efficacité des mesures de rétention. Dans ce rapport, les principales mises à jour depuis le rapport intermédiaire de 2016 sont liées à l'avancement des projets des mesures de rétention ainsi qu'aux mises à jour de détails des lois de manœuvre.

3. Grundlagen zur Durchführung und Auswertung der Berechnungen

3.1 Hochwasserschutzziel und Nachweiskriterien für die Wirksamkeit der Maßnahmen

In der deutsch-französischen Vereinbarung von 1982, Artikel 7 (Vereinbarung, 1982) haben Deutschland und Frankreich vereinbart, auf der Grundlage des Schlussberichtes der Hochwasserstudienkommission (HSK, 1978) die erforderlichen Maßnahmen zu ergreifen, um unterhalb der Staustufe Iffezheim den vor dem Ausbau des Oberrheins vorhandenen Hochwasserschutz wieder herzustellen. Als Kriterium hierfür wurden Abflüsse zugrunde gelegt, die ohne größere Schäden im Hochwasserbett abfließen können. Vor dem Oberrheinausbau (Zustand 1955) lag das Abflussvermögen des Rheins bei 5.000 m³/s im Bereich von Maxau und 6.000 m³/s im Bereich Worms. Die Rheinhauptdämme waren damals und sind auch zukünftig auf diese Scheitelabflüsse ausgelegt.

Diesen Scheitelabflüssen hat die HSK (1978) folgende Auftrittswahrscheinlichkeit zugeordnet:

- Schutz gegen 200-jährliche Hochwasser im Raum Maxau
- Schutz gegen 220-jährliche Hochwasser im Raum Worms

Als Folge des Oberrheinausbaus (ab 1955 bis 1977) erhöhten sich die Scheitelabflüsse für 200-jährliche Hochwasser am Pegel Maxau von 5.000 m³/s auf 5.700 m³/s und für 220-jährliche Hochwasser am Pegel Worms von 6.000 m³/s auf 6.800 m³/s (HSK 1978, Kap. 6.3).

Zur Wiederherstellung des vor dem Ausbau des Oberrheins vorhandenen Hochwasserschutzes muss daher die durch den Oberrheinausbau bedingte Scheitelabflusserhöhung in der Rheinstrecke zwischen Iffezheim und Worms durch geeignete Retentionsmaßnahmen am Rhein zwischen Basel und Worms abgemindert werden.

Gemäß Schlussbericht der HSK gelten hierfür folgende Nachweiskriterien für den Zustand 1977:

- Abminderung der Hochwasserscheitel im Mittel der Modellhochwasser im Bereich Maxau von 5.700 m³/s auf 5.000 m³/s (Mittelwert der Scheitelabflüsse)
- Abminderung der Hochwasserscheitel im Mittel der Modellhochwasser im Bereich Mannheim / Worms von 6.800 m³/s auf 6.000 m³/s (Mittelwert der Scheitelabflüsse)
- Keines der Modellhochwasser darf einen Scheitelabfluss im Bereich Maxau von 5.200 m³/s bzw. im Bereich Mannheim / Worms 6.200 m³/s überschreiten.

Insbesondere aufgrund der potentiellen Gefährdung von menschlicher Gesundheit sowie des hohen Schadenspotenziales im Bereich der freifließenden Rheinstrecke besteht die Notwendigkeit, mindestens die in Tab. 2 genannten Maßnahmen zu realisieren. Damit kann die Überschreitung der oben genannten Mittelwerte der Scheitelabflüsse durch einzelne Hochwasser so gering wie möglich gehalten werden und somit die Belastung der Dämme reduziert werden.

Als Nachweispunkte für die Untersuchungen zur Wiederherstellung des vor dem Ausbau des Oberrheins vorhandenen Hochwasserschutzes nach den vorgenannten Abflusskriterien wurde im Raum Maxau der Rhein auf Höhe der Murgmündung sowie auf Höhe des Pegels Maxau festgelegt.

Als Nachweispunkte im Raum Mannheim-Ludwigshafen-Worms wurde der Rhein auf Höhe der Neckarmündung sowie auf Höhe des Pegels Worms festgelegt.

3. Bases de calcul et d'interprétation des calculs

3.1 Objectif de protection contre les crues et critères justifiant de l'efficacité des mesures

La France et l'Allemagne ont convenu, dans la Convention franco-allemande de 1982, article 7 (Convention 1982), de prendre les mesures nécessaires, issues du rapport final de la Commission internationale d'études des crues du Rhin (HSK 1978), afin de rétablir, à l'aval d'Iffezheim, la protection contre les crues d'avant l'aménagement du Rhin Supérieur. Les critères utilisés correspondaient aux débits pouvant s'écouler sans grand dommage dans le lit majeur. Avant l'aménagement du Rhin Supérieur (état 1955), la capacité d'écoulement du Rhin était de 5.000 m³/s à Maxau et de 6.000 m³/s à Worms. Les digues du Rhin avaient été dimensionnées en référence à ces débits de pointe – et le sont encore aujourd'hui.

La Commission internationale d'études des crues du Rhin avait attribué les périodes de retour suivantes à ces débits (HSK 1978) :

- protection contre une crue d'une période de retour de 200 ans à Maxau
- protection contre une crue d'une période de retour de 220 ans à Worms

Suite à l'aménagement du Rhin Supérieur (à partir de 1955, jusqu'en 1977), les débits de pointe pour une crue d'une période de retour de 200 ans sont passés de 5.000 m³/s à 5.700 m³/s à Maxau et pour une crue d'une période de retour de 220 ans de 6.000 m³/s à 6.800 m³/s à Worms (point 6.3 rapport final CECR 1978).

Par conséquent, si l'on veut rétablir le niveau de protection d'avant l'aménagement du Rhin Supérieur, les débits de pointe résultant entre Iffezheim et Worms de l'aménagement du Rhin supérieur doivent être écrêtés à l'aide de mesures de rétention appropriées entre Bâle et Worms..

Selon le rapport final HSK, les critères établissant la preuve des mesures sont les suivants pour l'état 1977 :

- Ecrêtement des débits de pointe des crues modélisées à Maxau de 5.700 m³/s à 5.000 m³/s (valeur moyenne des débits de pointe)
- Ecrêtement des débits de pointe des crues modélisées à Mannheim / Worms de 6.800 m³/s à 6.000 m³/s (valeur moyenne des débits de pointe)
- Aucune des crues modélisées ne doit dépasser le débit de pointe de 5.200 m³/s au droit de Maxau, resp. 6.200 m³/s au droit de Mannheim/Worms.

En particulier, compte tenu de la mise en danger potentielle de vies humaines et du potentiel élevé de dégâts sur le secteur du Rhin à courant libre, il est nécessaire de réaliser au moins les mesures figurant dans le tableau 2. Ceci permet d'éviter le plus possible de dépasser les valeurs moyennes précitées de débits de pointe pour certaines crues et de réduire ainsi la charge sur les digues.

Les points de référence retenus pour les études concernant le rétablissement du niveau de protection contre les crues d'avant l'aménagement du Rhin supérieur d'après les critères de débit susmentionnés se situent dans le périmètre de Maxau à l'embouchure de la Murg ainsi qu'au limnimètre de Maxau.

Les points de référence dans le périmètre de Mannheim-Ludwigshafen-Worms ont été fixés comme étant le Rhin à hauteur de l'embouchure du Neckar ainsi qu'au limnimètre de Worms.

Eine Übersicht der genannten Nachweispunkte und Nachweiskriterien enthält Tabelle 1.

Nachweiskriterium	Scheitelabfluss am Nachweispunkt (Rhein auf Höhe von):			
	Murg- mündung	Pegel Maxau	Neckar- mündung	Pegel Worms
	Modellhochwasser „Maxau“		Modellhochwasser „Worms“	
arith. Mittelwert der Scheitel- abflüsse nicht größer als	5.000 m ³ /s	5.000 m ³ /s	6.000 m ³ /s	6.000 m ³ /s
kein einzelner Scheitel- abfluss größer als	5.200 m ³ /s	5.200 m ³ /s	6.200 m ³ /s	6.200 m ³ /s

Tabelle 1: Nachweiskriterien für die Wiederherstellung des Hochwasserschutzes am Oberrhein

Le tableau 1 donne un aperçu des critères permettant de démontrer l'efficacité des mesures et des points de référence.

Critère d'efficacité à atteindre	Débit de pointe au point de référence (Rhin à hauteur de) :			
	Embouchure de la Murg	Limnimètre de Maxau	Embouchure du Neckar	Limnimètre de Worms
	Collectif de crues „Maxau“		Collectif de crues „Worms“	
Moyenne arithm. des débits de pointe inférieure à	5.000 m ³ /s	5.000 m ³ /s	6.000 m ³ /s	6.000 m ³ /s
aucun débit de pointe supérieur à	5.200 m ³ /s	5.200 m ³ /s	6.200 m ³ /s	6.200 m ³ /s

Tableau 1: Critères d'efficacité à atteindre pour le rétablissement de la protection des crues du Rhin Supérieur

3.2 Übersicht der untersuchten Rückhaltemaßnahmen

Entlang des Rheins zwischen Basel und Worms ist eine größere Anzahl von Hochwasserschutzmaßnahmen vorhanden bzw. geplant, durch deren Wirkung die Abflüsse bei Hochwasser reduziert werden.

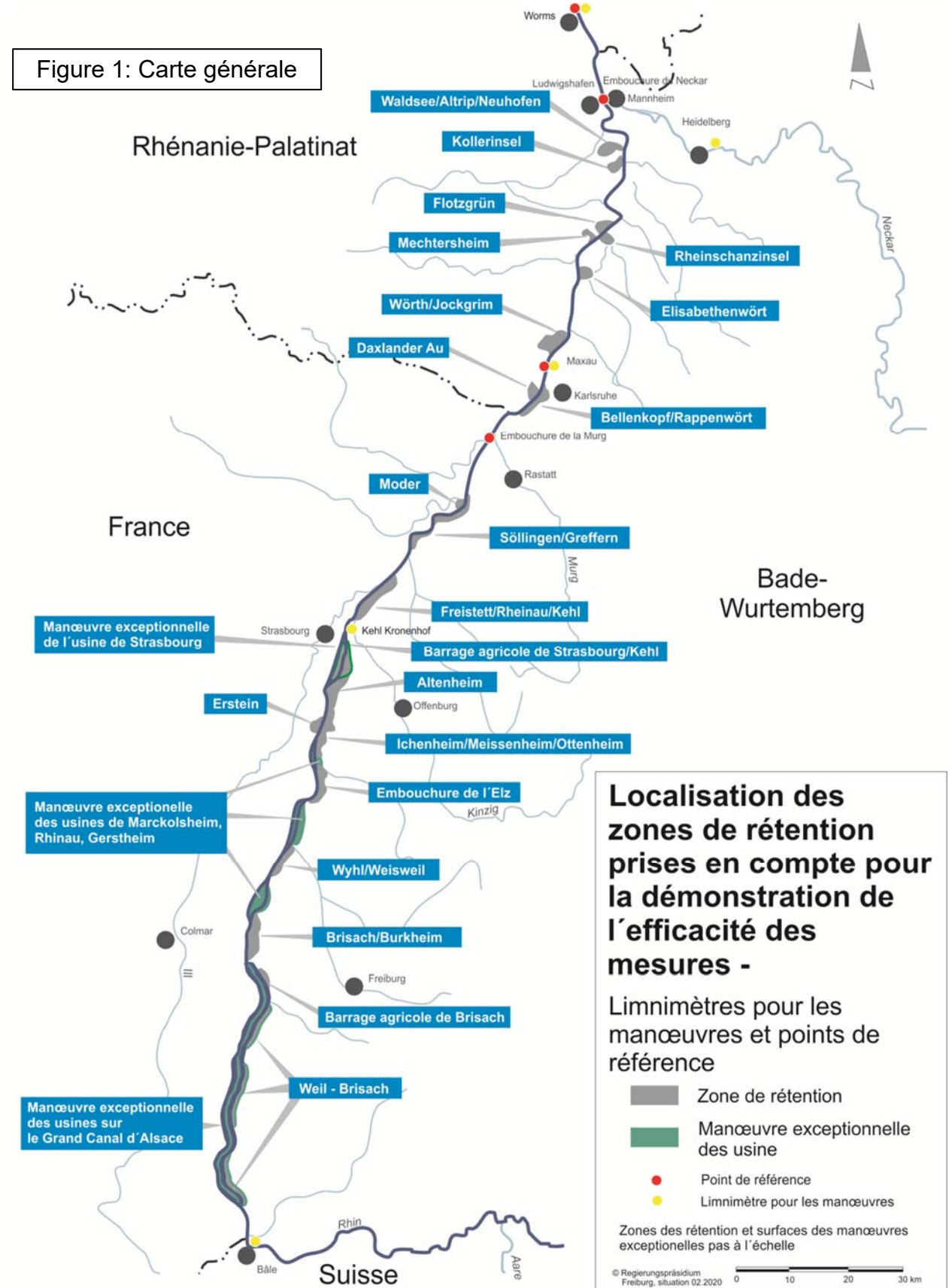
Abbildung 1: Übersichtskarte



3.2 Aperçu des mesures de rétention étudiées

Le long du Rhin, entre Bâle et Worms, un nombre important de mesures de protection contre les crues existent ou sont prévues pour permettre un écrêtement des débits en cas de crue.

Figure 1: Carte générale



Die Ständige Kommission hat 1994 festgestellt:

„Nach Prüfung des Rahmenkonzeptes Teil 1: Wiederherstellung des Hochwasserschutzes, das vom Land Baden-Württemberg vorgelegt worden ist“ (IRP, 1996) „stellt die SK fest, dass die dort beschriebenen Retentionsmaßnahmen sowie die in Rheinland-Pfalz vorgesehenen Hochwasserschutzmaßnahmen insgesamt erforderlich sind, um das in Art. 7 Abs. 1 des Vertrages von 1982 festgelegte Ziel zu erreichen.“

Somit ergab sich zum damaligen Zeitpunkt ein Retentionsvolumen für die Maßnahmen am Oberrhein zwischen Basel und Worms von insgesamt 265 Mio. m³:

- 57 Mio. m³ in Frankreich
- 41 Mio. m³ in Rheinland-Pfalz
- 167 Mio. m³ in Baden-Württemberg

Im Zuge der baulichen Umsetzung der Maßnahmen in Rheinland-Pfalz (und in geringerem Umfang auch in Frankreich) konnte ein Mehrvolumen von rund 8 Mio. m³ gegenüber den ursprünglichen Planungen erreicht werden.

Im Zuge der Fortschreibung der Planung in Baden-Württemberg ergab eine Alternativenprüfung im Bereich des Rückhalterums Weil-Breisach (WB), der eine besondere Stellung im Integrierten Rheinprogramm des Landes Baden-Württemberg einnimmt, ein Mindervolumen von rund 3 Mio. m³ gegenüber der ursprünglichen Planung bei ausreichender Wirkung.

Die hier nach der Rheinbegradigung aufgetretene Tiefenerosion, die von Süden nach Norden abnimmt, führte zu einem deutlichen Absinken des Wasserspiegels im Rhein. Aktuelle Untersuchungen zeigen, dass für den südlichen Bereich des Rückhalterums die Tieferlegung von Vorlandflächen auf ein wieder überflutbares Niveau eine geeignete Ausführungsalternative ist.

Aufgrund der im nördlichen Bereich von Weil-Breisach geringeren Tiefenerosion ist hier im heutigen Zustand ein Ausufer bei sehr großen Hochwassern gerade noch möglich. In diesem Bereich kann durch das Anlegen von Furten (sog. Furtenlösung) im rheinbegleitenden Leinpfad die Ausuferung des Rheins bei Hochwasser gezielt früher erfolgen und damit Überflutungsvolumen aktiviert werden.

Die ökologischen Untersuchungen ergaben für die Furtenlösung innerhalb des nördlichen Abschnitts WB IV geringere Beeinträchtigungen, so dass diese bei ausreichender Wirkung aus naturschutzrechtlich zwingenden Gründen die bevorzugende Alternative ist.

Die zusätzliche Tieferlegung von zwei Teilflächen im südlichen Bereich des Abschnitts IV ermöglicht die Verlagerung der Rückhaltewirkung aus dem besonders naturschutzfachlich wertigen Abschnitt II in Abschnitt IV. Für den Abschnitt IV bedeutet dies eine Kombilösung, bestehend aus einer Furtenlösung im nördlichen Teil einerseits und einem Tieferlegungsabschnitt im Süden des Abschnittes IV.

Insgesamt ergibt sich demnach ein Gesamtvolumen von 21,9 Mio. m³ für den Rückhalteraum Weil-Breisach.

Das Gesamtvolumen der diesem Wirksamkeitsnachweis zugrunde liegenden Retentionsvolumina beträgt demnach 269,4 Mio. m³ (Tabelle 2).

En 1994, la Commission Permanente a constaté : « ...après examen du concept-cadre – Partie 1 : « Rétablissement de la protection contre les crues » » (IRP, 1996) « présentée par le Land Bade-Wurtemberg, que les mesures de rétention qui y sont décrites ainsi que les mesures de protection contre les crues prévues en Rhénanie-Palatinat (...) sont nécessaires en totalité pour atteindre l'objectif défini dans l'article 7, paragraphe 1 de la convention de 1982 ».

Dès lors, pour les mesures de rétention sur le Rhin Supérieur, entre Bâle et Worms, un volume de rétention de 265 M m³ avait à l'époque été déterminé :

- 57 M m³ en France
- 41 M m³ en Rhénanie-Palatinat
- 167 M m³ au Bade-Wurtemberg

Dans le cadre de la réalisation des mesures en Rhénanie-Palatinat (et, pour une moindre mesure, également en France), des volumes supplémentaires d'environ 8 M m³ ont pu être obtenus.

Dans le cadre de la poursuite des projets au Bade-Wurtemberg, les plans ont été adaptés suite à l'analyse d'une variante au droit de la zone de rétention de Weil-Breisach (WB), qui occupe une place particulière au sein du Programme intégré Rhin du Land de Bade-Wurtemberg, pour parvenir à une diminution du volume de rétention de 3 M m³, tout en assurant un effet d'écrêtement suffisant.

L'érosion du lit qui s'est produite après la correction du Rhin et qui diminue du sud vers le nord a fait que la ligne d'eau du Rhin a nettement baissé dans ce périmètre. Les études récentes font apparaître que pour la partie sud de la zone de rétention, un décaissement du lit majeur pour en refaire une zone inondable est une alternative de réalisation appropriée.

L'érosion en profondeur étant moins importante dans la partie nord du polder de Weil-Breisach, des débordements ont lieu dès aujourd'hui, du moins lors de très grandes crues. Par conséquent, en creusant des dépressions dans le terrain naturel (solution dite des dépressions naturelles) dans le chemin de halage longeant le Rhin, ces débordements pourront avoir lieu plus tôt lors d'une crue, activant ainsi le volume de rétention disponible.

C'est pourquoi, au vu de l'efficacité suffisante, cette solution a été considérée comme plus favorable pour des raisons contraignantes de droit environnemental.

Le décaissement complémentaire de deux casiers dans la partie sud du lot IV permet de transférer l'effet de rétention du lot II, revêtant une importance écologique particulière, vers le lot IV. Pour le lot IV, ceci donne lieu à une solution combinée consistant en une solution de dépressions naturelles de terrain dans la partie nord, et d'un décaissement dans la partie sud de ce lot.

Au total, un volume de 21,9 M m³ peut donc être écrêté par la zone de rétention de Weil-Breisach.

Par conséquent, le volume total de rétention pris en compte dans le présent rapport sur l'efficacité des mesures est de 269,4 M m³ (Tableau 2)

Tab. 2: Übersicht der untersuchten Retentionsmaßnahmen			Fläche [ha]	Volumen [Mio. m³]	
Name	Typ	Betreiber		gesteuert	ungesteuert
Sonderbetrieb Rheinkraftwerke	Sonderbetrieb Rheinseitenkanal und Schlingen	F	-	45.0	
Weil-Breisach	Vorlandtieferlegung / Furtenlösung	BW	1019		21.9
KW Breisach	Kulturwehr (s. Kapitel 4.2)	BW	505	9.3	
Breisach/Burkheim	Polder mit Ökolog. Flutungen	BW	634	6.5	
Wyhl/Weisweil	Polder mit Ökolog. Flutungen	BW	595	7.7	
Elzmündung	Polder mit Ökolog. Flutungen	BW	469	5.3	
Ichen-/Meißen-/Ottenheim	Polder mit Ökolog. Flutungen	BW	390	5.8	
Erstein	Polder ¹⁾	F	600	7.8	
Altenheim	Polder mit Ökolog. Flutungen	BW	520	17.6	
KW Kehl/Straßburg	Kulturwehr (s. Kapitel 4.2)	BW	700	37.0	
Freistett	Polder mit Ökolog. Flutungen	BW	475	9.0	
Söllingen/Greffern	Polder mit Ökolog. Flutungen	BW	580	12.0	
Moder	Polder	F	240	5.6	
Bellenkopf/Rappenwört	Polder mit Ökolog. Flutungen	BW	510	14.0	
Daxlander Au ²⁾	Sommerpolder	RP	166		5.1
Wörth/Jockgrim	Polder mit Deichrückverlegung	RP	303+145	13.9	4.2
Elisabethenwört	hier untersucht: DRV	BW	400		11.9
Mechtersheim	Polder	RP	145	3.6	
Rheinschanzinsel	Polder mit partiellen Ökologischen Flutungen	BW	210	6.2	
Flotzgrün	Polder	RP	165	5.0	
Kollerinsel	Polder	RP	232	6.1	
Waldsee/Altrip/Neuhofen	Polder	RP	221+42	7.7	1.2
Gesamtfläche / -volumen:			9 266	225.1	44.3
				269.4	

¹⁾ Im Polder Erstein werden ökologische Flutungen nur durchgeführt, wenn kein Hochwasser zu erwarten ist

²⁾ Die Daxlander Au wurde in ihrer Funktion als bestehendes Überflutungsgebiet gesichert. In den Berechnungen mit dem Synoptischen Modell sowie in dieser Auflistung der vorhandenen und geplanten Retentionsvolumina wird die Daxlander Au daher mitberücksichtigt.

Hinweise zu den Retentionsmaßnahmen:

- Aufgrund des komplexen Wirkungsgeschehens (z.B. räumliche Lage sowie Ausgestaltung der Retentionsmaßnahme, z.B. Kulturwehr, Polder, Deichrückverlegung, Tieferlegung oder Furtenlösung), ist für die Wirksamkeit der Retentionsmaßnahmen zur Erfüllung der Nachweiskriterien nicht allein das Rückhaltevolumen maßgeblich.
- Bei den in Tabelle 2 genannten Volumina der Rückhalteräume ist zu berücksichtigen, dass das effektiv nutzbare Rückhaltevolumen von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird. Zu Beginn eines Retentionseinsatzes kann noch eine gewisse Vorfüllung bestehen. Diese kann sich ergeben durch binnenseitige Zuflüsse von Gewässern in die Rückhalteräume, durch Ökologische Flutungen (auch bei deren frühzeitigem Abbruch können nicht immer alle Räume vollständig entleert werden), durch Rückstau aus den Vorflutern sowie dem Grad der Vorentleerung der Kulturwehre. Die Retentionswirkung ergibt sich aus dem Volumen, das bei Berücksichtigung der vorliegenden Vorfüllung bis zum Erreichen des maximalen Stauzieles zur Verfügung steht. Zudem ist es möglich, dass je nach Ausprägung der Hochwasserwelle das maximale Stauziel nicht in jedem Fall erreicht werden kann.

Tab. 2 Mesures de rétention étudiées			Superficie [ha]	Volumen [Millions. m³]	
Nom	Type	Exploitant		avec manœuvre	sans manœuvre
Manœuvre exceptionnelle des usines du Rhin	Manœuvre exceptionnelle Grand Canal d'Alsace et festons	F	-	45.0	
Weil-Breisach	Décaissement lit majeur / Solution des gués	BW	1019		21.9
BA Breisach (BAB)	Barrage agricole (cf. chap. 4.2)	BW	505	9.3	
Breisach/Burkheim	Polder avec subm. écologiques	BW	634	6.5	
Wyhl/Weisweil	Polder avec subm. écologiques	BW	595	7.7	
Embouchure de l'Elz	Polder avec subm. écologiques	BW	469	5.3	
Ichenheim Meißenheim/Ott.	Polder avec subm. écologiques	BW	390	5.8	
Erstein	Polder ¹⁾	F	600	7.8	
Altenheim	Polder avec subm. écologiques	BW	520	17.6	
BA Kehl/Strasbourg (BKS)	Barrage agricole (cf. chap. 4.2)	BW	700	37.0	
Freistett	Polder avec subm. écologiques	BW	475	9.0	
Söllingen/Greffern	Polder avec subm. écologiques	BW	580	12.0	
Moder	Polder	F	240	5.6	
Bellenkopf/Rappenwört	Polder avec subm. écologiques	BW	510	14.0	
Daxlander Au ²⁾	Polder d'été	RP	166		5.1
Wörth/Jockgrim	Polder avec recul de digue	RP	303+145	13.9	4.2
Elisabethenwört	étudié ici: recul de digue	BW	400		11.9
Mechtersheim	Polder	RP	145	3.6	
Rheinschanzinsel	Polder avec subm. écologiques partielles	BW	210	6.2	
Flotzgrün	Polder	RP	165	5.0	
Kollerinsel	Polder	RP	232	6.1	
Waldsee/Altrip/Neuhofen	Polder	RP	221+42	7.7	1.2
Volume / Superficie total :			9 266	225.1	44.3
				269.4	

¹⁾ Les submersions écologiques dans le polder d'Erstein n'ont lieu que lorsqu'aucune crue n'est prévue.

²⁾ La zone de Daxlander Au a été confirmée comme zone inondable. Elle est donc comprise dans les calculs réalisés à l'aide du modèle synoptique ainsi que dans la présente liste des volumes de rétention.

Remarques concernant les mesures de rétention :

- Compte tenu de la complexité de l'interaction des effets (p. ex. emplacement et conception de la mesure de rétention, p. ex. polder, recul de digue, décaissement ou solution des dépressions de terrain), le volume de rétention n'est pas le seul critère permettant de justifier de l'efficacité des mesures de rétention.
- Pour les zones de rétention figurant dans le tableau 2, il s'agit de prendre en compte le fait que les volumes pouvant effectivement être retenus dépendent de plusieurs facteurs. En début de rétention, les zones ne sont pas entièrement vides, un certain volume d'eau s'y trouve déjà. Ces volumes peuvent provenir d'affluents intérieurs aux zones de rétention, de submersions écologiques (même en cas d'interruption précoce de celles-ci, les zones ne peuvent pas être entièrement vidangées), de remous des émissaires ainsi que du niveau de prévidange des barrages agricoles. L'effet de rétention résulte du volume disponible au-delà du volume, déjà présent dans la zone, jusqu'à la cote maximale de remplissage. Par ailleurs, selon l'ampleur de l'onde de crue, la cote maximale de remplissage ne peut pas toujours être atteinte.

- Mit Hilfe des Synoptischen Modells wird ein Gesamtreglement für alle Maßnahmen entwickelt, um an den Nachweispunkten eine geeignete Abminderung der Hochwasserwellen zu erreichen.
- In den staugeregelten Abschnitten des Oberrheins können die Retentionsmaßnahmen aus hydraulischen Gründen nur gesteuert betrieben werden (Sonderbetrieb der Wasserkraftwerke, gesteuerte Polder und gesteuerte Kulturwehre).
- Auf der Rheinstrecke zwischen Märkt und dem Kulturwehr Breisach wird als Retentionsmaßnahme das Vorland auf deutscher Seite tiefergelegt bzw. über eine Furtenlösung wieder an den Rhein angebunden.
- Im freifließenden Abschnitt des Rheins, flussabwärts von Plittersdorf, werden vornehmlich gesteuerte Retentionsmaßnahmen eingesetzt. Hinzu kommen hier Deichrückverlegungen und Sommerpolder.

In der Anlage E sind die verschiedenen Arten der Retentionsmaßnahmen erläutert.

Rückhaltmaßnahmen, die nicht im Wirksamkeitsnachweis berücksichtigt werden, da diese außerhalb des Zuständigkeitsbereiches der Ständigen Kommission liegen:

a) Maßnahmen zur Verbesserung des lokalen Hochwasserschutzes

In kleinem Umfang gibt es weitere Maßnahmen der Länder, die die Situation lokal verbessern. Diese sind nicht in den Wirksamkeitsnachweis einzubeziehen.

Hierzu gehören die Deichrückverlegungen in Mannheim-Kirschgartshausen (Baden-Württemberg), Sondernheim (Rheinland-Pfalz), Speyer (Rheinland-Pfalz) und Worms-Bürgerweide (Rheinland-Pfalz).

b) Maßnahmen zur Verbesserung des Hochwasserschutzes bei extremen Ereignissen

Dies betrifft den in Planung befindlichen Reserveraum Hördt (Rheinland-Pfalz) mit einem Volumen in der Größenordnung um 30 Mio. m³. Dieser wird nur zur Abwehr von extremen, über das Schutzniveau des Rheinhauptdeichsystems hinausgehenden Hochwasserereignisse, eingesetzt.

c) Maßnahmen zur Verbesserung des Hochwasserschutzes ausschließlich flussabwärts von Worms

Das im Jahr 1988/1989 geschlossene Verwaltungsabkommen zwischen der Bundesrepublik Deutschland und den Ländern Rheinland-Pfalz und Hessen beinhaltet neben den Hochwasserrückhaltungen, die die Hochwassersicherheit am Oberrhein bis Worms wiederherstellen sollen, weitere Retentionsmaßnahmen. Von diesen Maßnahmen liegen die Deichrückverlegung Petersau-Bannen (Rheinland-Pfalz) und der ungesteuerte Polder Worms-Mittlerer-Busch (Rheinland-Pfalz) nur wenige Kilometer flussaufwärts von Worms. Diese dienen vereinbarungsgemäß der Verbesserung des Hochwasserschutzes flussabwärts von Worms und sind daher im vorliegenden Wirksamkeitsnachweis nicht berücksichtigt.

- Le Modèle Synoptique permet d'élaborer une loi de manœuvre générale pour toutes les mesures, grâce à laquelle un écrêtement approprié des ondes de crue peut être obtenu à tous les points de référence.
- Pour des raisons hydrauliques, les zones de rétention ne peuvent être exploitées qu'à l'aide d'ouvrages manœuvrables dans les secteurs canalisés du Rhin Supérieur (manœuvres exceptionnelles des usines hydroélectriques, pilotage des polders et des barrages agricoles).
- Sur le secteur du Rhin entre Märkt et le barrage agricole de Breisach, la mesure de rétention consiste à décaisser le lit majeur en rive allemande, pour le relier au Rhin par un réseau de dépressions de terrain.
- A l'aval de Plittersdorf, sur le Rhin à courant libre, ce sont principalement des mesures de rétention pilotées qui sont exploitées. A cela s'ajoutent des reculs de digues et des polders d'été.

Les différents types de mesures de rétention sont détaillés à l'annexe E.

Mesures de rétention non prises en compte dans les calculs d'efficacité étant donné qu'elles se situent hors du champ de compétence de la Commission Permanente :

a) Mesures destinées à améliorer la protection contre les crues au niveau local

Il existe dans une moindre mesure des mesures propres à chaque Land, améliorant la situation sur le plan local. Celles-ci ne sont pas prises en compte dans la démonstration de l'efficacité des mesures.

Parmi les mesures non prises en compte figurent le recul de la digue sèche à Mannheim-Kirschgartshausen (Bade-Wurtemberg), Sondernheim (Rhénanie-Palatinat), Spire (Rhénanie-Palatinat) et Worms-Bürgerweide (Rhénanie-Palatinat).

b) Mesures destinées à améliorer la protection contre les crues en cas d'événements extrêmes

Ceci concerne la zone de rétention de réserve de Hördt (Rhénanie-Palatinat) en cours de planification, avec un volume de rétention d'environ 30 M m³. Elle ne sera mise en œuvre qu'en cas de crue extrême dépassant le niveau de protection pouvant être assuré par le système des digues du Rhin.

c) Mesures destinées à améliorer la protection contre les crues uniquement à l'aval de Worms

La convention administrative conclue en 1988/1989 entre la République fédérale d'Allemagne et les Lands de Rhénanie-Palatinat et de Hesse comprend, outre les zones de rétention destinées à rétablir la sécurité contre les crues du Rhin Supérieur jusqu'à Worms, d'autres mesures de rétention. Parmi ces mesures, le recul de la digue de Petersau-Bannen (Rhénanie-Palatinat) et le polder non manœuvré de Worms-Mittlerer-Busch (Rhénanie-Palatinat) ne se situent que quelques kilomètres à l'amont de Worms. Selon les termes convenus, elles sont destinées à améliorer la protection contre les crues à l'aval de Worms et ne sont donc pas prises en compte dans la présente démonstration de l'efficacité des mesures.

3.3 Synoptisches Modell

Die vorliegenden Berechnungen zum Hochwasserablauf im Oberrhein zwischen Basel und Worms wurden im Auftrag der Ständigen Kommission durch die LUBW mit dem Synoptischen Modell durchgeführt.

Das Synoptische Modell (LUBW & LfU RP, 2016) wird sowohl zum Nachweis der Hochwasserminderung als auch zur Ermittlung von Steuerungsreglements für die Rückhaltmaßnahmen am Oberrhein eingesetzt.

Ein weiterer Einsatzbereich des Modells ist die operationelle Hochwasservorhersage für den Oberrhein zwischen Basel und Worms.

Die Fortschreibung des Synoptischen Modells wird von der LUBW in enger Abstimmung mit den für den Hochwasserschutz am Oberrhein zuständigen deutschen und französischen Behörden durchgeführt.

3.4 Verwendete Modellhochwasser

Grundlage der vorliegenden Untersuchung ist eine Gruppe (sog. Kollektiv) von Hochwasserereignissen, die im Zustand 1977 ohne Einsatz von Rückhaltmaßnahmen einen Scheitelabfluss von 5.700 m³/s am Pegel Maxau aufweisen bzw. einen Scheitelabfluss von 6.800 m³/s am Pegel Worms aufweisen. Da jedes der einzelnen Hochwasser unterschiedliche Genesen aufweist, wird damit den individuellen Ausprägungen von Hochwasserereignissen (z.B. unterschiedliche Anstiegsgeschwindigkeiten, unterschiedliche Zeitdauer der Hochwasser, ereignisspezifische Hochwasseranteile verschiedener Teileinzugsgebiete am Gesamt ereignis) Rechnung getragen.

Auf Basis eines Hochwasserkollektivs können daher verlässliche Aussagen zur Wirkung von Retentionsmaßnahmen getroffen werden, eine ausschließliche Untersuchung eines einzigen Hochwassers bietet hingegen keine ausreichende Repräsentativität.

Bislang ist jedoch keine ausreichende Anzahl derart großer und hinreichend dokumentierter Hochwasser im Rhein aufgetreten. Lediglich das Hochwasser 1882/83 ist (homogenisiert ohne die aufgetretenen Deichbrüche) größer als gefordert. Es müssen daher geeignete Hochwasserganglinien rechnerisch erzeugt werden.

Die verwendeten Modellhochwasser basieren auf größeren Rheinhochwassern, die über das Synoptische Modell jeweils so skaliert wurden, dass sie im heutigen Ausbauzustand des Oberrheins, ohne Einsatz von Retentionsmaßnahmen, einem Scheitelabfluss von 5.700 m³/s am Pegel Maxau bzw. einem Scheitelabfluss von 6.800 m³/s am Pegel Worms aufweisen.

Dies entspricht im Zustand vor dem Oberrheinausbau (definiert als Zustand 1955) einem Scheitelabfluss am Pegel Maxau von 5.000 m³/s bzw. am Pegel Worms von 6.000 m³/s (vgl. Kap. 3.1).

Die Hochwasserstudienkommission hatte seinerzeit die Berechnungen mit acht ausgewählten Hochwassern durchgeführt. Weitere größere Hochwasserereignisse aus der Folgezeit nach den Arbeiten der Hochwasserstudienkommission, sind zu diesem Kollektiv hinzugekommen, insbesondere das Hochwasser Mai 1999 und das Hochwasser Juni 2013.

Das Hochwasser Mai 1999 stellte zwar am Pegel Maxau ein größeres Hochwasser dar, war jedoch aufgrund des damals unbedeutenden Neckarzuflusses nicht für den Raum Mannheim/Worms relevant. Aus diesem Grund wird das Hochwasser Mai 1999 nur im Kollektiv der Modellhochwasser „Maxau“ berücksichtigt.

3.3 Modèle Synoptique

Les calculs propagation de crues pour le Rhin Supérieur entre Bâle et Worms ont été réalisés sur mandat de la Commission Permanente par la LUBW à l'aide du Modèle de crue Synoptique.

Le Modèle Synoptique (LUBW & LfU RP, 2016) est utilisé pour démontrer les effets d'écrêtement ainsi que pour fixer les lois de manœuvre pour les mesures de rétention du Rhin Supérieur.

Le modèle est également utilisé pour la prévision des crues pour le Rhin Supérieur, entre Bâle et Worms.

La mise à jour du Modèle Synoptique est assurée par la LUBW, en concertation étroite avec les autorités françaises et allemandes responsables de la protection contre les crues du Rhin Supérieur.

3.4 Collectifs de crues utilisés

La présente étude est basée sur un groupe (appelé collectif) d'événements de crue qui, à l'état d'aménagement de 1977 et sans mise en œuvre de mesures de rétention, atteignent un débit de pointe de 5700 m³/s au limnimètre de Maxau et de 6800 m³/s au limnimètre de Worms. Etant donné que la genèse de chaque crue est différente, ceci permet de prendre en compte le caractère individuel de chaque événement de crue (p. ex. vitesse d'élévation du niveau d'eau et durée de la crue différentes, contribution individuelle des différents bassins hydrographiques partiels à l'événement global).

Un collectif de crues permet ainsi de conclure de manière fiable sur l'efficacité de mesures de rétention, l'étude d'une crue individuelle, n'étant, quant à elle, pas suffisamment représentative.

Par le passé, il n'y a pas eu de crues du Rhin d'une telle ampleur en nombre suffisant et suffisamment documentées. Seule la crue de 1882/83 (homogénéisée sans les ruptures de digues intervenues) dépasse ces valeurs. Il est donc nécessaire d'élaborer les hydrogrammes de crue appropriés.

Les collectifs de crues utilisés sont fondés sur les crues du Rhin d'une certaine ampleur, mises à l'échelle dans le modèle synoptique de telle sorte qu'elles correspondent à l'état d'aménagement actuel du Rhin Supérieur, sans mesures de rétention, c.-à-d. au limnimètre de Maxau à un débit de pointe de 5.700 m³/s et au limnimètre de Worms de 6.800 m³/s.

Ceci correspond, à l'état du Rhin supérieur avant l'aménagement (défini comme état 1955), à un débit de pointe de 5000 m³/s au limnimètre de Maxau et de 6000 m³/s au limnimètre de Worms (voir point 3.1).

La Commission d'étude des crues avait réalisé ses calculs à l'époque avec une sélection de huit crues. D'autres crues importantes, principalement intervenues dans la période qui a suivi les travaux de la Commission d'études des crues, ont été ajoutées à ce collectif, notamment la crue de mai 1999 et la crue de juin 2013.

La crue de mai 1999 a certes été d'une certaine ampleur au limnimètre de Maxau mais n'a pas joué de rôle majeur pour la grande agglomération de Mannheim/Worms, compte tenu du faible volume apporté par le Neckar. C'est la raison pour laquelle la crue de mai 1999 n'est prise en compte que dans le collectif des crues « Maxau ».

Im Folgenden sind die für die Berechnung der Modellhochwasser als Basis verwendeten historischen Hochwasser aufgelistet [Jahr-Monat]: 1880-10, 1882-12, 1896-03, 1910-01, 1918-12, 1919-12, 1920-01, 1955-01, 1957-02, 1970-02, 1978-05, 1980-02, 1983-04, 1983-05, 1988-03, 1999-05 (nur im Kollektiv für die Modellhochwasser „Maxau“), 2013-06.

In Abbildung 2 sind die 17 Modellhochwasser „Maxau“ (Scheitelabfluss 5.700 m³/s im Zustand 1977, ohne den Einsatz von Retentionsmaßnahmen) zeitlich überlagert dargestellt.

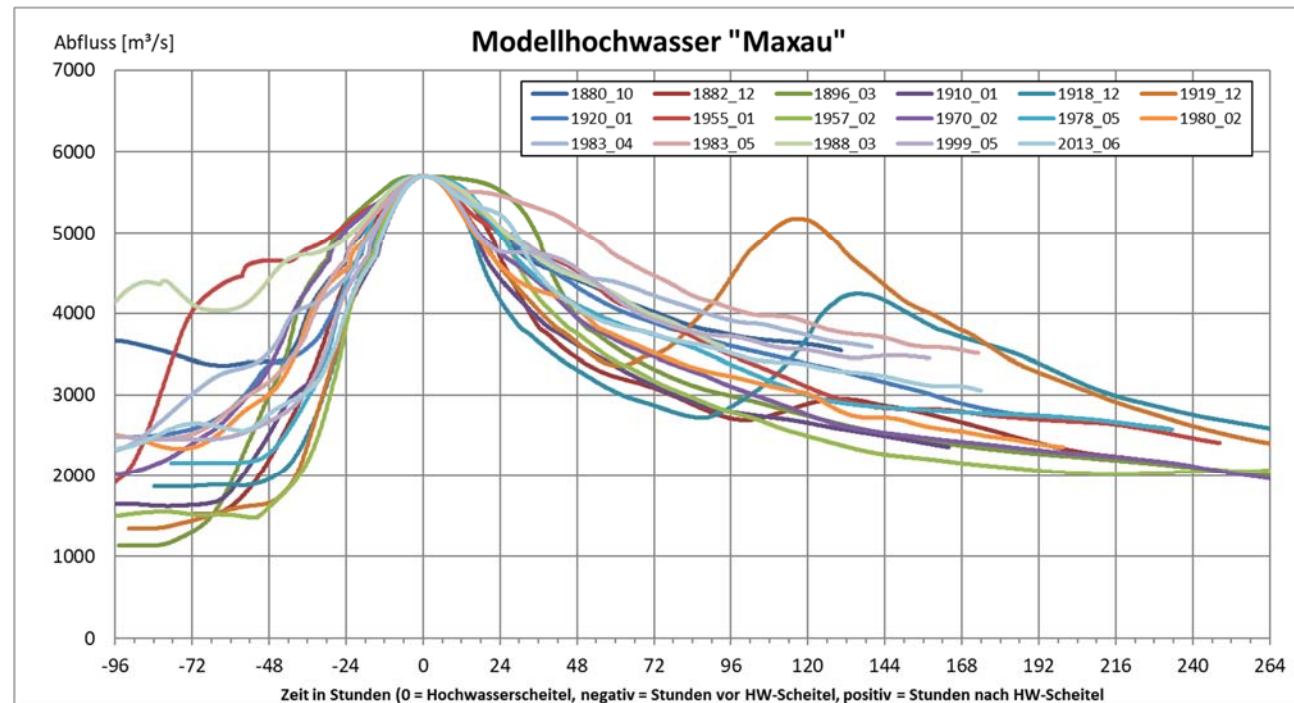


Abbildung 2: Modellhochwasser „Maxau“

In Abbildung 3 sind die 16 Modellhochwasser „Worms“ (Scheitelabfluss 6.800 m³/s im Zustand 1977, ohne Einsatz von Retentionsmaßnahmen) zeitlich überlagert dargestellt.

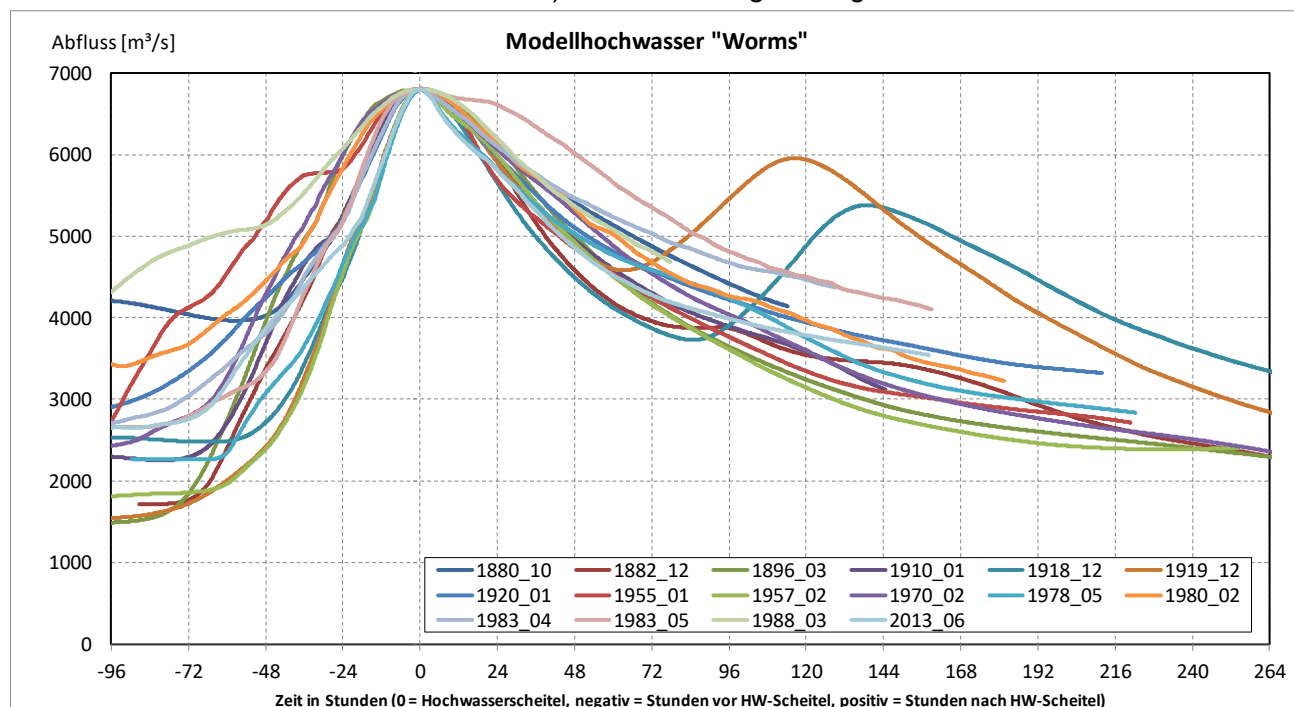


Abbildung 3: Modellhochwasser „Worms“

Ci-après figurent les crues historiques utilisées pour la modélisation des crues [mois/année]: 10/1880, 12/1882, 03/1896, 01/1910, 12/1918, 12/1919, 01/1920, 01/1955, 02/1957, 02/1970, 05/1978, 02/1980, 04/1983, 05/1983, 03/1988, 05/1999 (uniquement dans le collectif de crues « Maxau »), 06/2013

Dans la figure 2, les 17 crues du collectif de crues « Maxau » (débit de pointe : 5700 m³/s à l'état 1977, sans la mise en œuvre de mesures de rétention) ont été superposées dans le temps.

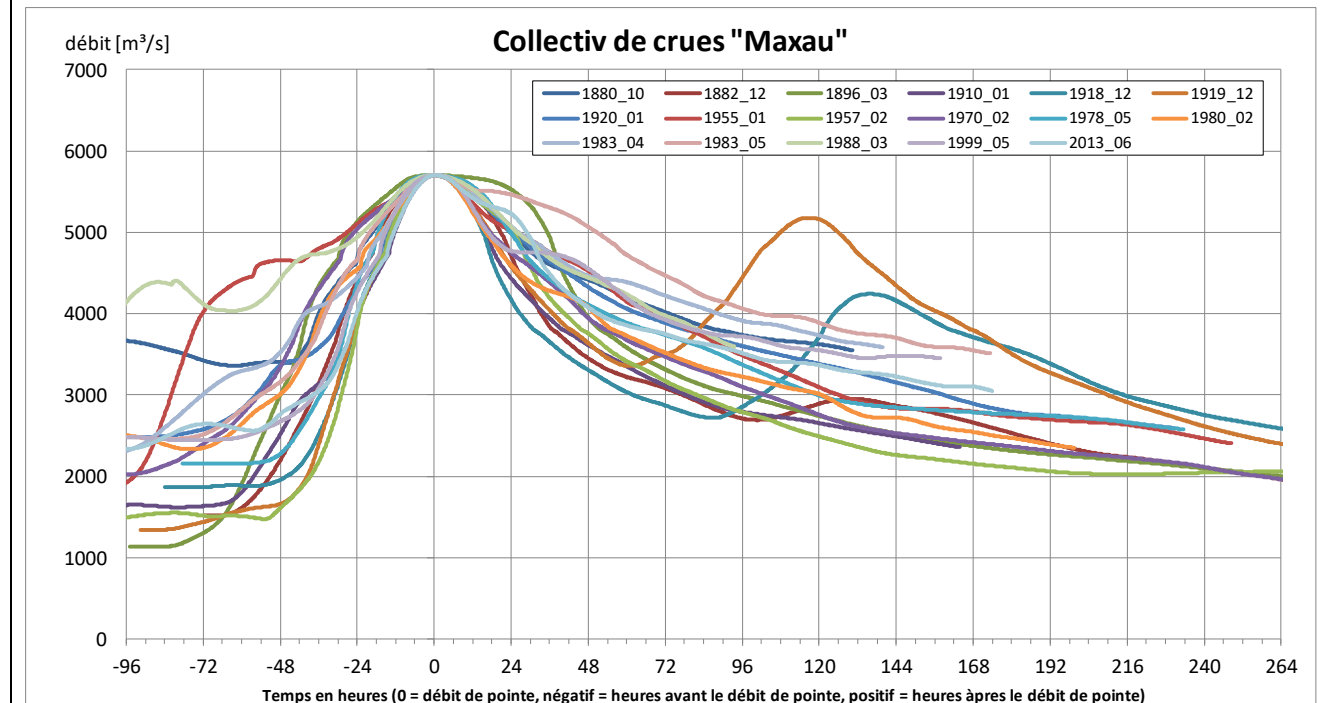


figure 2 : Collectif de crues « Maxau »

Dans la figure 3, les 16 crues du collectif de crues « Worms » (débit de pointe : 6800 m³/s à l'état 1977, sans la mise en œuvre de mesures de rétention) ont été superposées dans le temps.

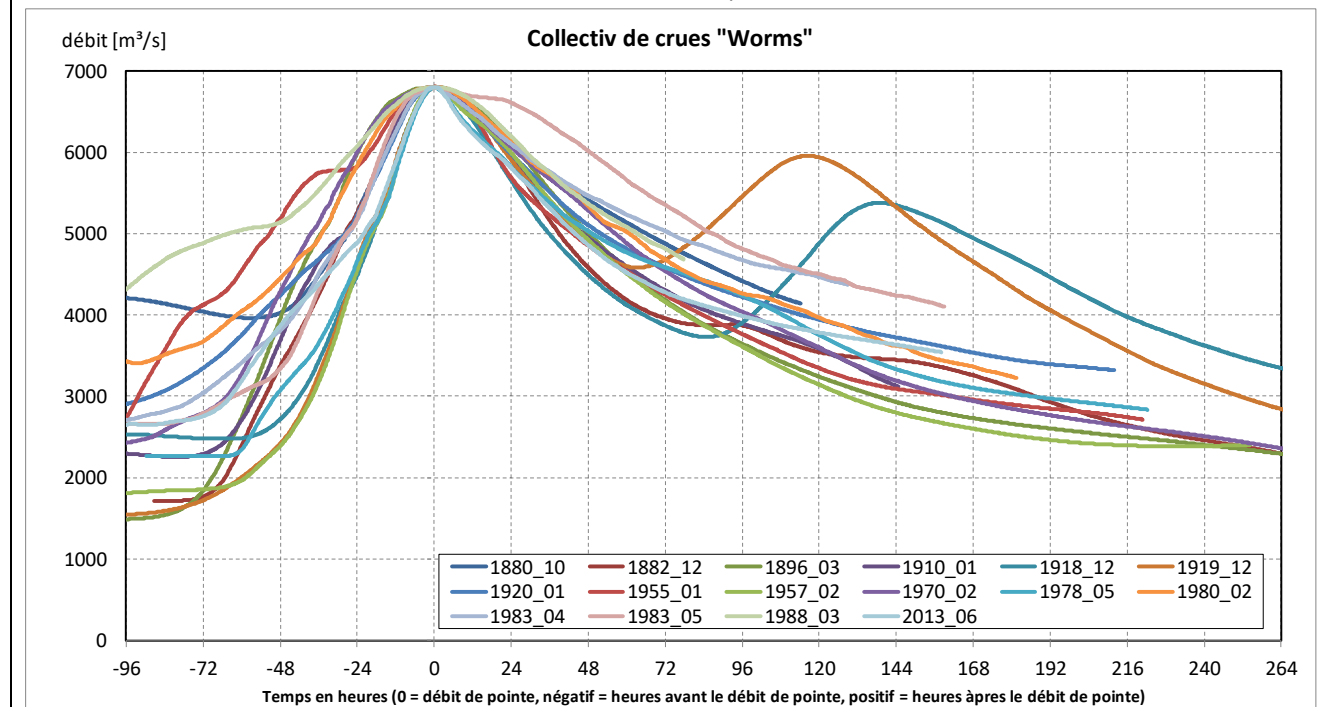


figure 3 : Collectif de crues « Worms »

3.5 Steuerungsstrategie für die Retentionsmaßnahmen

Durch den Oberrheinausbau sind natürliche und somit ungesteuerte Überflutungsflächen verloren gegangen. Es ist aus verschiedensten Gründen nicht möglich, diese insgesamt wieder zurück zu gewinnen.

Der vor dem Oberrheinausbau vorhandene Hochwasserschutz kann daher nur wieder hergestellt werden, wenn die weit überwiegende Anzahl der Retentionsmaßnahmen gesteuert eingesetzt wird. Hierfür ist ein aufeinander abgestimmtes Gesamtrecht für alle Maßnahmen zu entwickeln, das die Einsatzkriterien (und damit die Einsatzzeitpunkte) der einzelnen Maßnahmen enthält.

Für die hier untersuchten Retentionsmaßnahmen wurde mittels zahlreicher Berechnungen ein geeignetes Reglement hinsichtlich der Scheitelabminderung der zu untersuchenden Hochwasserereignisse entwickelt.

Dabei musste mit dem Reglement sowohl der Hochwasserschutz im Hinblick auf die freifließende Rheinstrecke unmittelbar flussabwärts von Iffezheim (Nachweispunkte Murgmündung und Maxau) als auch für den Rhein nach der Neckarmündung (Nachweispunkte Neckarmündung und Worms) erreicht werden.

Das bedeutet einerseits, dass für den Großraum Karlsruhe eine Abminderung im Scheitelbereich der Rheinwelle erreicht werden muss. Andererseits bildet sich durch die Überlagerung von Rhein und Neckar ab der Neckarmündung ein neuer, in der Regel zeitlich versetzter Scheitel. Flussabwärts der Neckarmündung wird daher nur eine Scheitelabminderung erreicht, wenn weiter oberhalb eine länger anhaltende Abminderung im ansteigenden Bereich der Rheinwelle geschaffen wird.

In Abbildung 4 sind die Wirkungszusammenhänge beim Zusammenfluss von Rhein und Neckar am Beispiel eines Modellhochwassers dargestellt:

- die blau markierte Abflussganglinie zeigt den Hochwasserverlauf im Rhein unmittelbar vor der Neckarmündung. Durchgezogen dargestellt ist der Hochwasserverlauf ohne Einsatz der Retentionsmaßnahmen, gestrichelt dargestellt ist der Hochwasserverlauf mit Einsatz der Retentionsmaßnahmen.
- die grün markierte Abflussganglinie zeigt den Hochwasserverlauf im Neckar unmittelbar vor der Mündung in den Rhein.
- die rot markierte Abflussganglinie zeigt den Hochwasserverlauf im Rhein unmittelbar nach der Neckarmündung. Durchgezogen dargestellt ist der Hochwasserverlauf ohne Einsatz der Retentionsmaßnahmen, gestrichelt dargestellt ist der Hochwasserverlauf mit Einsatz der Retentionsmaßnahmen.

Die Ganglinien zeigen, dass bei diesem Modellhochwasser der Abflussscheitel des Neckars bereits zum Zeitpunkt t1 eintritt und damit deutlich früher als der Abflussscheitel des Rheins vor der Neckarmündung, der zum Zeitpunkt t3 eintritt.

Durch den Zusammenfluss von Rhein und Neckar bildet sich flussabwärts der Neckarmündung ein neuer Abflussscheitel zum Zeitpunkt t2, der bei der Abflusskombination bei diesem Hochwasser nicht in der Mitte zwischen den beiden vorgenannten Scheitelzeitpunkten, sondern etwas näher am Abflussscheitel des Neckars liegt.

3.5 Stratégie de pilotage des mesures de rétention

Au fil de l'aménagement du Rhin Supérieur, des zones inondables naturellement, donc sans intervention humaine, ont été perdues. Pour différentes raisons, il n'est pas possible de les rétablir en totalité.

Le niveau de protection contre les crues existant avant l'aménagement du Rhin Supérieur ne peut donc être rétabli qu'en mettant en œuvre de manière ciblée la plus grande partie des mesures de rétention. C'est dans cet objectif qu'un concept global de lois de manœuvres, reliées entre elles, doit être élaboré, dans lequel sont contenus les critères de mise en œuvre (et donc l'instant précis de mise en œuvre) de chacune des mesures individuelles.

Pour les mesures de rétention étudiées ici, un concept de lois de manœuvres appropriées pour écrêter les crues étudiées a été élaboré à l'aide d'une importante série de calculs.

Les lois de manœuvres devaient permettre une protection contre les crues sur le secteur du Rhin à courant libre immédiatement à l'aval d'Iffezheim (points de référence embouchure de la Murg et Maxau), tout comme sur le secteur du Rhin après l'embouchure du Neckar (points de référence embouchure de Neckar et Worms).

Ceci signifie, d'une part, que les pointes de crue devaient être écrêtées pour la zone de la grande agglomération de Karlsruhe ; d'autre part, que la concomitance des phénomènes du Rhin et du Neckar à partir de l'embouchure du Neckar produit un nouveau débit de pointe, généralement décalé dans le temps. Par conséquent, il n'est possible de réduire le débit de pointe à l'aval de l'embouchure du Neckar que si un écrêtement prolongé durant la phase montante de l'onde de crue a lieu plus à l'amont.

La figure 4 montre l'interaction entre le Rhin et le Neckar lors d'une crue modélisée :

- La courbe bleue montre le déroulement de la crue du Rhin immédiatement avant l'embouchure du Neckar. La ligne en continu représente le déroulement de la crue sans mise en œuvre des mesures de rétention, en pointillés le déroulement de la crue avec mise en œuvre des mesures de rétention.
- La courbe verte montre le déroulement de la crue du Neckar immédiatement avant sa confluence avec le Rhin.
- La courbe rouge montre le déroulement de la crue du Rhin immédiatement après l'embouchure du Neckar. La ligne en continu représente le déroulement de la crue sans mise en œuvre des mesures de rétention, en pointillés le déroulement de la crue avec mise en œuvre des mesures de rétention.

Les courbes montrent que pour cette crue modélisée, le débit de pointe du Neckar est déjà atteint à l'instant t1, donc nettement plus tôt que n'est atteint le débit de pointe du Rhin avant l'embouchure du Neckar, à savoir t3.

La confluence du Rhin et du Neckar entraînent à l'aval de l'embouchure du Neckar un deuxième débit de pointe à l'instant t2, plus proche, avec cette combinaison de débits de crue, de l'instant du débit de pointe du Neckar et non pas entre les deux instants des débits de pointe précités.

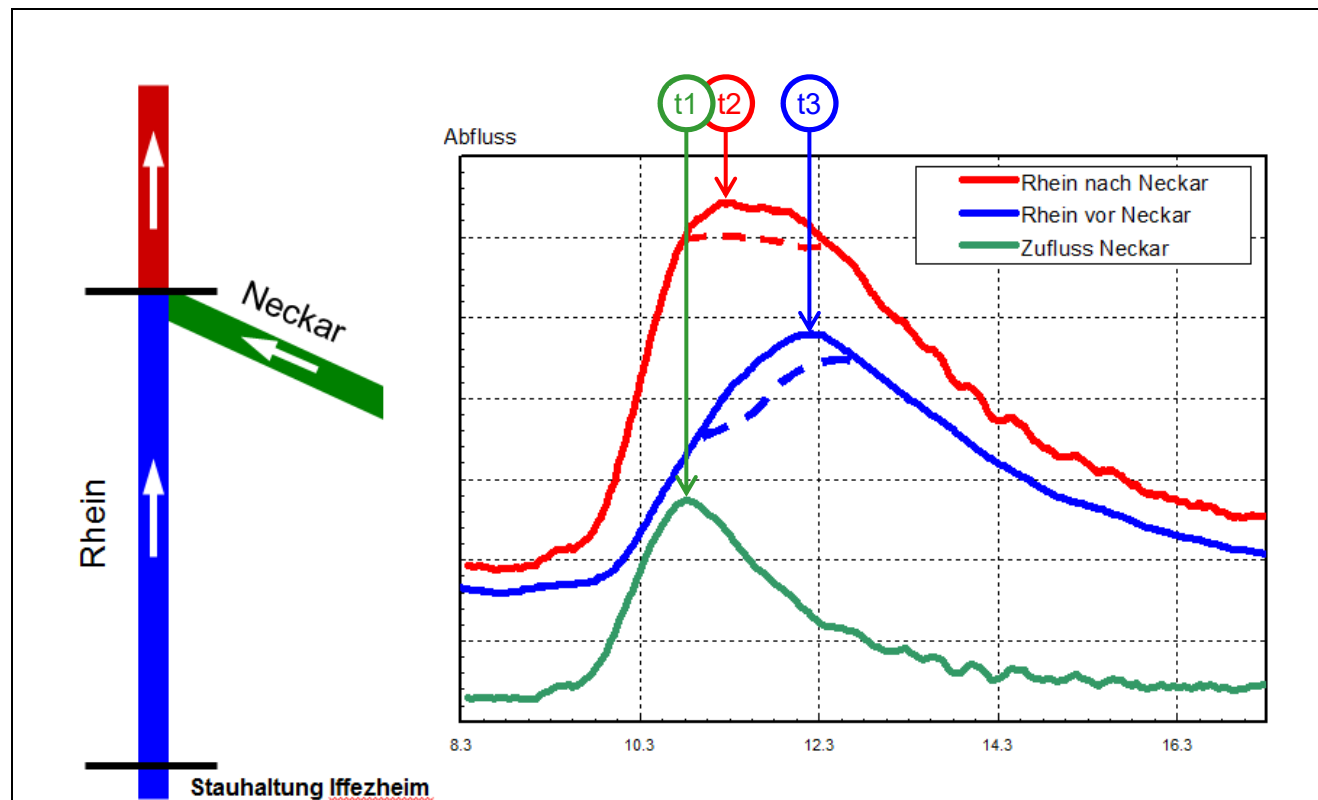


Abbildung 4: Beispiel für die Überlagerung der Hochwasserabflüsse von Rhein und Neckar

Der Abflussscheitel des Rheins flussabwärts der Neckarmündung (Zeitpunkt t2) tritt durch den Zufluss des Neckars bei diesem Hochwasser somit deutlich früher ein als der Scheitelabfluss des Rheins unmittelbar vor der Neckarmündung (Zeitpunkt t3). Für die untersuchten Modellhochwasser sind die entsprechenden Zusammenhänge in Anlage B-3 zusammengestellt.

Hinweis: Infolge von Rückstauwirkungen durch den Neckarzufluss sind im Rhein keine Unterschiede beim Scheitelzeitpunkt des Wasserspiegels vor und nach der Neckarmündung erkennbar. In den hydrodynamischen Berechnungen des Synoptischen Modells werden die entsprechenden Rückstauwirkungen und ihre Auswirkungen auf den Hochwasserverlauf mitberechnet.

Betrachtet man in Abbildung 4 die Wirkung der Retentionsmaßnahmen lässt sich erkennen:

- Durch den Einsatz der Retentionsmaßnahmen zwischen Basel und der Neckarmündung wird im Rhein unmittelbar vor der Neckarmündung eine länger anhaltende Wirkung im ansteigenden Bereich der Rheinwelle sowie im Scheitelbereich erzielt.
- Infolge des Zusammenflusses von Rhein- und Neckarhochwasser und der damit verbundenen zeitlichen Verschiebung des Hochwasserscheitels verlagert sich die Wirkung der Retentionsmaßnahmen flussabwärts der Neckarmündung in den Scheitelbereich des Hochwassers.

Das Gesamtreglement der Retentionsmaßnahmen berücksichtigt diese Zusammenhänge und ist so ausgelegt, dass die vertraglich vereinbarte Wiederherstellung des Hochwasserschutzes sowohl im Hinblick auf die freifließende Rheinestrecke unmittelbar flussabwärts von Iffezheim (Nachweispunkte Murgmündung und Maxau) als auch für den Rhein nach der Neckarmündung (Nachweispunkte Neckarmündung und Worms) erreicht werden kann.

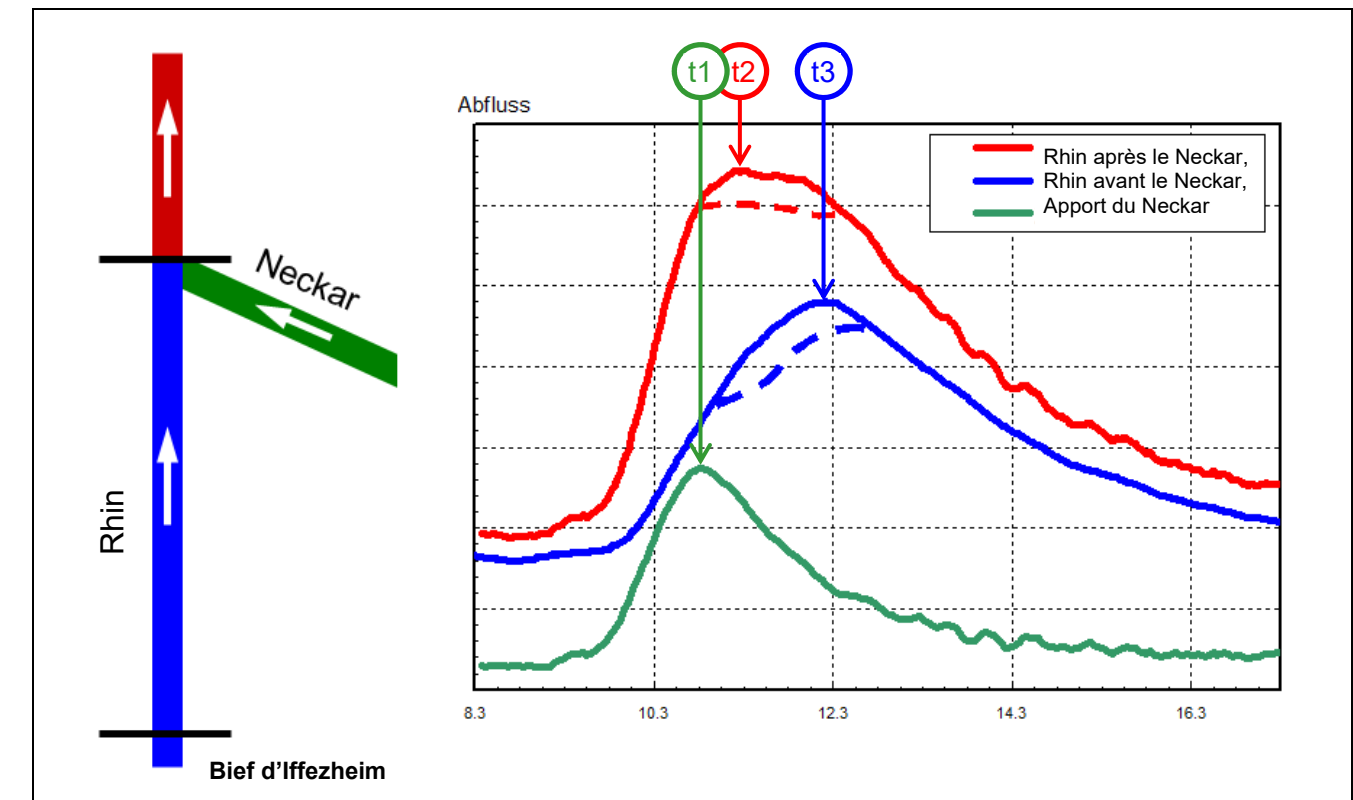


Figure 4 : Exemple d'interaction des débits de crue du Rhin et du Neckar

L'affluent du Neckar fait donc intervenir le débit de pointe du Rhin à l'aval de l'embouchure du Neckar (instant t2) nettement plus tôt lors de cette crue que n'est atteint le débit de pointe du Rhin immédiatement avant l'embouchure du Neckar (instant t3). Pour les crues modélisées étudiées, les interactions sont présentées dans l'annexe B-3.

Remarque : Les effets de remous du Neckar font qu'il n'y a pas de différences de niveau d'eau maximal du Rhin avant et après l'embouchure du Neckar. Les calculs hydrodynamiques du Modèle Synoptique prennent en compte les effets de remous et leur impact sur le déroulement des crues.

Si l'on se penche sur l'effet des mesures de rétention, la figure 4 fait apparaître que :

- la mise en œuvre des mesures de rétention entre Bâle et l'embouchure du Neckar permet un effet prolongé d'écrêtement durant la montée de la crue dans le Rhin, immédiatement avant l'embouchure du Neckar, ainsi que pour le débit de pointe ;
- La concomitance des crues du Rhin et du Neckar et le décalage de l'instant où le débit de pointe est atteint entraîne un impact des mesures de rétention sur le débit de pointe à l'aval de l'embouchure du Neckar.

Les lois de manœuvre de toutes les mesures de rétention prennent en compte ces interactions et sont conçues pour rétablir le niveau de protection contre les crues convenu sur le plan international tant pour le secteur du Rhin à courant libre immédiatement à l'aval d'Iffezheim (points de référence : embouchure de la Murg et Maxau) que pour le Rhin après l'embouchure du Neckar (points de référence : embouchure du Neckar et Worms).

Weitere Hinweise zur Steuerung:

- Die Erarbeitung von geeigneten Kriterien für den Beginn des Retentionseinsatzes ist Schwerpunkt der Untersuchungen zum Steuerungsreglement im Wirksamkeitsnachweis. Die Kriterien für den Entleerungsbeginn sind für die Aufgabenstellung des Wirksamkeitsnachweises nicht vertieft zu untersuchen. Weiterführende Untersuchungen zum Entleerungsbeginn und damit zur Einsatzdauer von einzelnen Rückhalteräumen bleiben daher ergänzenden Bearbeitungen vorbehalten.
- Die Ökologischen Flutungen müssen wegen der damit einhergehenden Inanspruchnahme des Retentionsvolumens abgebrochen werden oder gar gänzlich unterbleiben, wenn absehbar ist, dass ein Retentionseinsatz erforderlich ist.
- Für die verschiedenen Betriebsarten wie Abbruch der Ökologischen Flutungen, Vorabsenkung (Legen des Normalstaus der Kulturwehre), Retention, Unterbrechung der Retention, Wiederbeginn der Retention und Entleerung gelten Abflusskriterien z.B. an den Rheinpegeln Basel, Kehl-Kronenhof, Lauterbourg, Maxau und Worms. Das Reglement berücksichtigt außerdem Auflagen aus den Planfeststellungsbeschlüssen sowie technische Einschränkungen der einzelnen Räume wie z. B. die Regelungsmöglichkeit von Bauwerken.
- Einzelne Modellhochwasser sind besonders schwer abminderbar (z.B. besonders lang andauerndes HW 1896). Für diese Ereignisse muss sichergestellt werden, dass bei Überschreitung von bestimmten, relativ hohen Abflussschwellenwerten, noch ausreichend Retentionsvolumen verfügbar ist, um auch diese Ereignisse ausreichend abzumindern. Einzelne Maßnahmen kommen somit gezielt nur bei besonders kritischen Hochwassern zum Einsatz. Dies hat zur Folge, dass verschiedene Rückhalteräume nicht bei jedem Modellhochwasser zum Einsatz kommen.

Autres remarques concernant les lois de manœuvre.

- Pour la démonstration de l'efficacité, l'objet premier des études concernant les lois de manœuvre est l'élaboration de critères appropriés pour le début de la mise en œuvre à des fins de rétention. Les critères de démarrage de la vidange ne sont pas à étudier dans le cadre de la démonstration de l'efficacité. Par conséquent, des études complémentaires concernant le début de la vidange et donc la durée de la rétention dans les différentes zones de rétention ne peuvent faire l'objet que de travaux complémentaires.
- Les submersions écologiques doivent être interrompues voire entièrement arrêtées pour rendre disponibles les volumes de rétention en cas de mise en œuvre prévisible des polders pour la rétention de crue.
- Les débits, par exemple aux limnimètres du Rhin à Bâle, Kehl-Kronenhof, Lauterbourg, Maxau et Worms déterminent les différents états d'exploitation tels que l'interruption des submersions écologiques, la prévidange (abaissement de la cote de consigne des barrages agricoles), la rétention, l'interruption de la rétention, la reprise de la rétention et la vidange. Les consignes respectent également les dispositions exigées dans le cadre de la procédure d'approbation des plans ainsi que les contraintes techniques liées à certaines zones, telles que la manœuvrabilité des ouvrages par exemple.
- Certaines crues modélisées sont difficiles à écrêter (par exemple crue d'une durée particulièrement longue de 1896). Lors de tels événements, il s'agit d'assurer la disponibilité d'un volume suffisant de rétention au moment du dépassement de valeurs de débits maximales relativement élevées si l'on veut, là aussi, parvenir à un écrêtement suffisant. Certaines mesures ne sont donc déployées de manière ciblée que lors de crues particulièrement critiques. Par conséquent, il y a des zones de rétention qui ne sont pas mises en œuvre lors de certaines crues modélisées.

4. Berechnungsergebnisse

4.1 Gesamtreglement für die Steuerung der Retentionsmaßnahmen

Auf Basis der 33 untersuchten Modellhochwasser (17 Hochwasser mit einem Scheitelabfluss am Pegel Maxau von 5.700 m³/s sowie 16 Hochwasser mit einem Scheitelabfluss am Pegel Worms von 6.800 m³/s) wurde ein Gesamtreglement für die Retentionsmaßnahmen ermittelt.

Das Reglement definiert Abflusswerte („Abflusskriterien“) an Pegeln bzw. an Berechnungspunkten des Synoptischen Modells, bei deren Über- oder Unterschreitung ein Wechsel der Betriebsart in den danach gesteuerten Retentionsmaßnahmen erfolgt.

Für die hier untersuchten Retentionsmaßnahmen wurde mittels zahlreicher Berechnungen ein geeignetes Reglement, hinsichtlich der geforderten Scheitelabminderung entwickelt. In Anlage A sind die Kriterien des Gesamtreglements (Reglement „R-2020“) zusammengestellt.

Hinweise zum Gesamtreglement:

- Mit dem Wirksamkeitsnachweis wird untersucht, ob das Hochwasserschutzziel erreicht werden kann.
- Das hier erarbeitete Gesamtreglement enthält die wesentlichen Eckpunkte des Zusammenwirkens der Retentionsmaßnahmen am Oberrhein nach Fertigstellung aller vertraglich vorgesehenen Maßnahmen.
- Die detaillierten Steuerungsreglements der einzelnen Maßnahmen werden in der jeweiligen Planung auf der Grundlage des Wirksamkeitsnachweises entwickelt.

4.2 Berechnungsergebnisse

Hinweise zu den Berechnungen:

- Bei den vorliegenden Untersuchungen werden die naturschutzrechtlich erforderlichen Ökologischen Flutungen vor einem Retentionseinsatz von einer Maßnahme mit berechnet. Die mögliche Wiederaufnahme von Ökologischen Flutungen nach Beendigung eines Retentionseinsatzes wird hier hingegen nicht berücksichtigt, da diese für die Wirksamkeit der Maßnahmen im Hochwasserfall nicht relevant ist.
- Die Berücksichtigung von Ökologischen Flutungen in den Kulturwehren Breisach und Kehl-Strasbourg bleibt weiterführenden Bearbeitungen vorbehalten..

4. Résultats de calcul

4.1 Règlement d'ensemble du pilotage des mesures de rétention

Les 33 crues modélisées étudiées (17 avec un débit de pointe de 5700 m³/s à Maxau et 16 avec un débit de pointe de 6800 m³/s à Worms) ont permis d'élaborer les lois de manœuvres globales pour les mesures de rétention.

Ces lois de manœuvre définissent des valeurs de débit (« critères de débit ») aux limnimètres resp. aux points de calcul du Modèle Synoptique dont le dépassement ou la non-atteinte induit un changement dans l'exploitation des mesures de rétention qui sont alors manœuvrées en conséquence.

Pour les mesures de rétention étudiées ici, de nombreux calculs ont permis d'élaborer les lois de manœuvres globales appropriées permettant d'écarter les débits de pointe. L'annexe A contient les critères des lois de manœuvres globales (Lois de manœuvre « R-2020 »).

Remarques concernant les lois de manœuvres globales :

- La démonstration de l'efficacité des mesures permet d'analyser si l'objectif de protection contre les crues peut être atteint.
- Les lois de manœuvres globales présentées ici contiennent les données principales de l'interaction des mesures de rétention du Rhin Supérieur une fois que toutes les mesures convenues seront achevées.
- Les lois de manœuvre détaillées de chacune des mesures sont élaborées sur la base du rapport de démonstration de l'efficacité, dans le cadre des procédures de planification.

4.2 Résultats des calculs

Remarques concernant les calculs

- Les présentes études tiennent compte des submersions écologiques prescrites par la législation environnementale avant la mise en œuvre d'une mesure de rétention. La reprise possible des submersions écologiques en fin de rétention, par contre, n'est pas prise en compte ici, étant donné que celle-ci n'a pas d'impact sur la démonstration de l'efficacité des mesures prises en cas de crue.
- La prise en compte des Submersions écologiques aux barrages agricoles de Breisach et de Kehl-Strasbourg pourra faire l'objet de travaux ultérieurs.

4.2.1 Modellhochwasser „Maxau“

In den Anlagen B1 und B2 sowie C1 sind Berechnungsergebnisse für siebzehn Modellhochwasser „Maxau“ (Scheitelabfluss am Pegel Maxau von 5.700 m³/s im Zustand 1977) dargestellt. Anlage B1 enthält Darstellungen für den Hochwasserverlauf am Nachweispunkt Murgmündung, Anlage B2 die entsprechenden Darstellungen für den Nachweispunkt Maxau. Weiterhin werden in den Anlagen B1 und B2 die Einsatzzeiten der gesteuerten Retentionsmaßnahmen dargestellt. Anlage C1 enthält Darstellungen zu den eingesetzten Rückhaltevolumina, in Anlage D1 sind die berechneten Scheitelabflüsse zusammengestellt.

Eine Zusammenfassung der wesentlichen Berechnungsergebnisse für die Modellhochwasser „Maxau“ enthält die Tabelle 3.

Berechnungsergebnisse für die Modellhochwasser „Maxau“	Scheitelabfluss am Nachweispunkt (Rhein auf Höhe von):	
	Murgmündung	Pegel Maxau
arith. Mittelwert der Scheitelabflüsse (17 Modellhochwasser)	4.876 m ³ /s	4.722 m ³ /s
maximaler Scheitelabfluss	5.183 m ³ /s (HW 1896)	5.088 m ³ /s (HW 1896)

Tabelle 3: Berechnungsergebnisse für die Modellhochwasser „Maxau“

4.2.2 Modellhochwasser „Worms“

In den Anlagen B3 und B4 sowie C2 sind Berechnungsergebnisse für sechzehn Modellhochwasser „Worms“ (Scheitelabfluss am Pegel Worms von 6.800 m³/s im Zustand 1977) dargestellt. Anlage B3 enthält die Darstellungen für den Hochwasserverlauf am Nachweispunkt Neckarmündung, Anlage B4 die entsprechenden Darstellungen für den Nachweispunkt Worms. Weiterhin werden in den Anlagen B3 und B4 die Einsatzzeiten der gesteuerten Retentionsmaßnahmen dargestellt. Anlage C2 enthält Darstellungen zu den eingesetzten Rückhaltevolumina, in Anlage D2 sind die berechneten Scheitelabflüsse zusammengestellt.

Eine Zusammenfassung der wesentlichen Berechnungsergebnisse für die Modellhochwasser „Worms“ enthält die Tabelle 4.

Berechnungsergebnisse für die Modellhochwasser „Worms“	Scheitelabfluss am Nachweispunkt (Rhein auf Höhe von):	
	Neckarmündung	Pegel Worms
arith. Mittelwert der Scheitelabflüsse (16 Modellhochwasser)	5.874 m ³ /s	5.784 m ³ /s
maximaler Scheitelabfluss	6.144 m ³ /s (HW 04/1983)	6.097 m ³ /s (HW 4/1983)

Tabelle 4: Berechnungsergebnisse für die Modellhochwasser „Worms“

4.2.1 Collectif de crues „Maxau“

Les annexes B1 et B2 ainsi que C1 contiennent les résultats de calcul pour dix-sept crues modélisées (collectif « Maxau » : débit de pointe : 5700 m³/s au limnimètre de Maxau à l'état 1977). L'annexe B1 présente le déroulement des crues au point de référence de l'embouchure de la Murg ; l'annexe B2 au point de référence de Maxau. Par ailleurs, les annexes B1 et B2 présentent les durées de mise en œuvre des mesures de rétention manœuvrables. L'annexe C1 contient les volumes de rétention obtenus et l'annexe D1 rassemble les débits de pointe calculés.

Le tableau 3 résume les principaux résultats de calcul pour le collectif de crues « Maxau ».

Résultats de calcul pour collectif de crues „Maxau“	Débit de pointe au point de référence (Rhin):	
	à hauteur de l'embouchure de la Murg	à hauteur du limnimètre de Maxau
Valeur moyenne arithm. des débits de pointe (17 crues modélisées)	4.876 m ³ /s	4.722 m ³ /s
débit de pointe maximal	5.183 m ³ /s (crue 1896)	5.088 m ³ /s (crue 1896)

Tableau 3: Résultats de calcul pour le collectif de crues „Maxau“

4.2.2 Collectif de crues „Worms“

Les annexes B3 et B4 ainsi que C2 contiennent les résultats de calcul pour seize crues modélisées (collectif « Worms » : débit de pointe : 6800 m³/s au limnimètre de Worms à l'état 1977). L'annexe B3 présente le déroulement des crues au point de référence de l'embouchure du Neckar ; l'annexe B4 au point de référence de Worms. Par ailleurs, les annexes B3 et B4 présentent les durées de mise en œuvre des mesures de rétention manœuvrables. L'annexe C2 contient les volumes de rétention obtenus et l'annexe D2 rassemble les débits de pointe calculés.

Le tableau 4 résume les principaux résultats de calcul pour le collectif de crues « Worms ».

Résultats de calcul le collectif de crues „Worms“	Débit de pointe au point de référence (Rhin):	
	à hauteur de l'embouchure du Neckar	à hauteur du limnimètre de Worms
Valeur moyenne arithm. des débits de pointe (16 crues modélisées)	5.874 m ³ /s	5.784 m ³ /s
débit de pointe maximal	6.144 m ³ /s (crue 04/1983)	6.097 m ³ /s (crue 04/1983)

Tableau 4: Résultats de calcul le collectif de crues „Worms“

4.3 Bewertung der Berechnungsergebnisse

Die Berechnungsergebnisse für die Modellhochwasser „Maxau“ zeigen, dass deren mittlerer Scheitelabfluss durch Einsatz der in Tab. 2 aufgeführten Retentionsmaßnahmen an den Nachweispunkten Murgmündung und am Pegel Maxau unter den geforderten Wert von 5.000 m³/s reduziert werden kann.

Bei 6 von 17 Modellhochwassern wird am Nachweispunkt Murgmündung ein Scheitelabfluss von 5.000 m³/s überschritten, am Nachweispunkt Maxau bei einem von 17 Hochwassern. Die maximal erreichten Scheitelabflüsse verbleiben jedoch immer unterhalb des maximal zulässigen Scheitelabflusses von 5.200 m³/s.

Die Berechnungsergebnisse für die Modellhochwasser „Worms“ zeigen, dass deren mittlerer Scheitelabfluss durch Einsatz der in Tab. 2 aufgeführten Retentionsmaßnahmen an den Nachweispunkten Neckarmündung und am Pegel Worms unter den geforderten Wert von 6.000 m³/s reduziert werden kann.

Bei 4 von 16 Modellhochwassern wird am Nachweispunkt Neckarmündung ein Scheitelabfluss von 6.000 m³/s überschritten, am Nachweispunkt Worms bei 3 von 16 Hochwassern. Die maximal erreichten Scheitelabflüsse verbleiben jedoch immer unterhalb des maximal zulässigen Scheitelabflusses von 6.200 m³/s.

Nachweiskriterium	Durch die Retentionsmaßnahmen reduzierten Scheitelabflüsse der Modellhochwasser für			
	Modellhochwasser „Maxau“		Modellhochwasser „Worms“	
	Murgmündung	Pegel Maxau	Neckarmündung	Pegel Worms
arith. Mittelwert der Scheitelabflüsse	4.876 m ³ /s	4.722 m ³ /s	5.874 m ³ /s	5.784 m ³ /s
max. Scheitelabfluss	5.183 m ³ /s	5.088 m ³ /s	6.144 m ³ /s	6.097 m ³ /s

Tabelle 6: Berechnungsergebnisse für die Modellhochwasser „Maxau“ und „Worms“

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass mit den bereits vorhandenen und noch vorgesehenen Retentionsmaßnahmen der vor dem Oberrheinausbau vorhandene Hochwasserschutz gemäß dem Ziel des deutsch-französischen Staatsvertrags wiederhergestellt werden kann.

4.3 Interprétation des résultats de calcul

Les résultats de calcul pour le collectif de crues « Maxau » montrent que leur débit de pointe moyen peut être réduit pour tomber en-deçà de la valeur de 5.000 m³/s aux points de référence de l'embouchure de la Murg et au limnimètre de Maxau grâce à la mise en œuvre des mesures de rétention figurant dans le tableau 2.

Pour 6 des 17 crues modélisées, le débit de pointe de 5.000 m³/s est dépassé au point de référence de l'embouchure de la Murg, au point de référence de Maxau, ceci est le cas pour une des 17 crues. Les débits de pointe maximaux atteints restent cependant toujours en-deçà du débit de pointe maximal autorisé de 5.200 m³/s.

Les résultats de calcul pour le collectif de crues « Worms » montrent que leur débit de pointe moyen peut être réduit pour tomber en-deçà de la valeur de 6.000 m³/s aux points de référence de l'embouchure du Neckar et au limnimètre de Worms grâce à la mise en œuvre des mesures de rétention figurant dans le tableau 2.

Pour 4 des 16 crues modélisées, le débit de pointe de 6.000 m³/s est dépassé au point de référence de l'embouchure du Neckar, au point de référence de Worms, ceci est le cas pour 3 des 16 crues. Les débits de pointe maximaux atteints restent cependant toujours en-deçà du débit de pointe maximal autorisé de 6.200 m³/s.

Critère d'efficacité	Débits de pointe diminués grâce aux mesures de rétention pour les crues modélisées de période de retour de			
	collectif de crues „Maxau“		collectif de crues „Worms“	
	Embouchure de la Murg	Echelle de Maxau	Embouchure du Neckar	Echelle de Worms
Moyenne arithm. des débits de pointe	4.876 m ³ /s	4.722 m ³ /s	5.874 m ³ /s	5.784 m ³ /s
Débit de pointe maxi.	5.183 m ³ /s	5.088 m ³ /s	6.144 m ³ /s	6.097 m ³ /s

Tableau 6: Résultats de calcul pour les collectifs de crues „Maxau“ et „Worms“

Les résultats des calculs font apparaître qu'avec les mesures de rétention déjà existantes et celles qui sont encore prévues, l'objectif de rétablir le niveau de protection contre les crues tel qu'il existait avant l'aménagement du Rhin Supérieur conformément aux préconisations de la convention franco-allemande peut être atteint.

5. Quellen, Literatur

HSK, 1978: Schlussbericht der Hochwasser-Studienkommission für den Rhein: Ergebnisse über

- die Hochwasser und ihre Entwicklungen 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

IRP, 1996: Rahmenkonzept des Landes Baden-Württemberg zur Umsetzung des Integrierten Rheinprogrammes. Materialien zum Integrierten Rheinprogramm Band 7.

LUBW & LfU RP 2016: Dokumentation des Synoptischen Modells
<https://www.hvz.baden-wuerttemberg.de/pdf/S1D-Dokumentation.pdf>

SK, 1998: Nachweis der Wirksamkeit der Hochwasserrückhaltemaßnahmen am Oberrhein zwischen Basel und Worms. Technischer Ausschuss der Ständigen Kommission, Arbeitsgruppe Nachweis der Wirkung der Hochwasserrückhaltemaßnahmen

SK, 2016: Nachweis der Wirksamkeit der Hochwasserrückhaltemaßnahmen am Oberrhein zwischen Basel und Worms. Zwischenbericht Herbst 2016, Ständige Kommission.

Vereinbarung, 1982: Vereinbarung vom 6. Dez. 1982 zur Änderung und Ergänzung der Zusatzvereinbarung vom 16. Juli 1975 zum Vertrag vom 4. Juli 1969 zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Französischen Republik über den Ausbau des Rheins zwischen Kehl/Straßburg und Neuburgweier/Lauterbourg (Bundesgesetzblatt 1984 II S. 268ff)

5. Sources, Bibliographie

CECR, 1978: Rapport final Commission d'Etude des Crues du Rhin : Résultats concernant

- les crues et leur évolution depuis le début de leur documentation
- l'impact de l'aménagement du Rhin, de ses affluents et des lacs sur les crues
- l'avancement actuel de la protection contre les crues ainsi que les recommandations en termes de mesures contre le risque aggravé d'inondations

IRP, 1996 : Concept cadre du Land de Bade-Wurtemberg pour la mise en œuvre du Programme Intégré Rhin. Documents sur le Programme Intégré Rhin, vol. 7

LUBW & LfU RP 2016: Dokumentation des Synoptischen Modells
<https://www.hvz.baden-wuerttemberg.de/pdf/S1D-Dokumentation.pdf>

CP 1998 : Démonstration de l'efficacité des mesures de rétention des crues du Rhin Supérieur entre Bâle et Worms. Comité technique de la Commission Permanente, Groupe de travail Démonstration de l'effet des mesures de rétention des crues

CP, 2016 : Démonstration de l'efficacité des mesures de rétention des crues du Rhin Supérieur entre Bâle et Worms. Rapport intermédiaire automne 2016, Commission Permanente.

Convention, 1982 : Convention du 6 décembre 1982 modifiant et complétant la Convention additionnelle du 16 juillet 1975 à la Convention du 4 juillet 1969 entre la République Française et la République Fédérale d'Allemagne au sujet de l'aménagement du Rhin entre Strasbourg/Kehl et Lauterbourg/Neuburgweier