

# **Hochwasserminderung durch unterschiedliche Ausführungsvarianten für den Hochwasserrückhalteraum Elisabethenwört**



**HERAUSGEBER** LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg  
Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe  
[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

**BEARBEITUNG** LUBW Sachgebiet 43.2 – Hochwasservorhersage  
Oberrhein, Hochwasserschutz Oberrhein  
Dipl. Wi.-Ing. G. Krauter, Aquantec GmbH, Karlsruhe

**STAND** Oktober 2018



# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	3
1. Veranlassung .....	4
2. Untersuchungsgrundlagen	
2.1 Synoptisches Modell .....	4
2.2 Verwendetes Hochwasserkollektiv und berücksichtigte Rückhaltemaßnahmen .....	4
2.3 Untersuchte Varianten für den Raum Elisabethenwört .....	6
2.4 Flutung des Rückhalteraaumes .....	7
2.5 Wirkungsprinzip unterschiedlicher Ausführungsvarianten des Rückhalteraaumes Elisabethenwört .....	8
3. Hochwasserminderung durch unterschiedliche Ausführungsvarianten des Raumes Elisabethenwört	
3.1 Übersicht der Berechnungsvarianten .....	15
3.2 Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse .....	15
3.3 Hinweise zur Interpretation der Berechnungsergebnisse .....	16
Quellenangaben .....	18

## Anlagen

- Anlage 1: Modellaufbau des Synoptischen Modells für die Ausführungsvarianten kleiner Polder sowie kleine DRV mit Teilabtrag
- Anlage 2: Abminderung des 220-jährlichen Hochwasserscheitels [cm] im Rhein auf Höhe der Neckarmündung durch unterschiedliche Varianten des RHR Elisabethenwört
- Anlage 3: Wirkungsprinzip / Verbundwirkung von Maßnahmen

## Zusammenfassung

Für den am Oberrhein geplanten Hochwasserrückhalteraum (RHR) Elisabethenwört wurde die hochwassermindernde Wirkung verschiedener Ausführungsvarianten untersucht. Betrachtet wurden die Grundvarianten Dammrückverlegung (DRV) und Polder, jeweils in einer kleinen / mittleren / großen Ausführung sowie neben verschiedenen Untervarianten auch Varianten, die eine Kombination (DRV/Polder) aus den beiden Betriebsweisen darstellen. Eine ausführliche Beschreibung der untersuchten Varianten enthält RPK (2018).

Die Wirksamkeitsberechnungen erfolgten mit dem Synoptischen Modell auf Basis des 220-jährlichen Hochwasserkollektivs aus dem Zwischenbericht zum internationalen Wirksamkeitsnachweis (16 Modellhochwasser mit 220-jährlichen Scheitelabfluss am Pegel Worms). In den Berechnungen wurde die Wirkung aller vorhandenen und geplanten deutsch-französischen Retentionsmaßnahmen mit dem im Zwischenbericht des Wirksamkeitsnachweises enthaltenen Betriebsreglement berücksichtigt.

Im Ergebnis der Berechnungen wurden die mittleren Abminderungen des Hochwasserscheitels im Rhein auf Höhe der Neckarmündung für die untersuchten Varianten ermittelt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Abminderung des Hochwasserscheitels im Rhein auf Höhe der Neckarmündung für 220-jährliche Hochwasser

<b>Abminderung des Hochwasserscheitels im Rhein auf Höhe der Neckarmündung</b>										
<b>Mittelwerte für 220-jährliche Hochwasser</b>										
<b>Variante / Untervariante</b>	<b>Dammrückverlegung</b>				<b>DRV/Polder</b>		<b>Polder *1)</b>			
	<b>klein</b>		<b>mittel</b>	<b>groß</b>	<b>klein</b>	<b>mittel</b>	<b>klein</b>		<b>mittel</b>	<b>groß</b>
	Komplett- abtrag	Teil- abtrag			*1)	*2)	ohne Ausbau Sommer- dämme	mit Ausbau Sommer- damm Ost		
lfd. Nr. gemäß RPK (2018)	1	1a	2	3	7	8	4	4b-1	5	6
<b>mittlere Abfluss- reduzierung [m³/s]</b>	<b>-19.1</b>	<b>-20.5</b>	<b>-22.5</b>	<b>-25.3</b>	<b>-25.8</b>	<b>-39.5</b>	<b>-32.0</b>	<b>-32.5</b>	<b>-36.6</b>	<b>-48.8</b>
mittlere Wasser- standsreduzierung [cm]	-1.5	-1.5	-1.6	-1.8	-2.4	-3.5	-2.8	-2.8	-3.4	-4.5
*1) nach vorläufigem Steuerungskonzept: drei von 16 Modellhochwasser ohne Abbruch Ökologischer Flutung, sondern ungesteuerte Polderretention										
*2) vorbehaltlich einer weiteren technischen und naturschutzbezogenen Prüfung										

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass sich alle untersuchten Varianten des RHR Elisabethenwört, im Verbund mit den vorhandenen und geplanten deutsch-französischen Hochwasserrückhaltemaßnahmen, insgesamt wirksam (abmindernd) auf den Hochwasserscheitel des Rheins auf Höhe der Neckarmündung auswirken. Die Hochwasserschutzwirkung nimmt mit zunehmender Größe (Volumen) des Rückhalteraaumes zu (betrifft alle Variantengruppen: DRV, Polder und Kombi DRV/Polder). Durch die Variantengruppen Polder und Kombi DRV/Polder kann gegenüber der Variantengruppe DRV eine zusätzliche Abminderung erzielt werden.

## 1. Veranlassung

Für die Variantenuntersuchung des RHR Elisabethenwört wurde berechnet, welche Hochwasserabminderungen durch unterschiedliche Ausführungsvarianten erzielt werden.

## 2. Untersuchungsgrundlagen

### 2.1 Synoptisches Modell

Die vorliegenden Berechnungen zum Hochwasserablauf im Oberrhein zwischen Basel und Worms wurden mit dem Synoptischen Hochwassermodell der LUBW durchgeführt. Das Synoptische Modell ist von der hierfür vertraglich zuständigen deutsch-französischen „Ständigen Kommission“ (SK) autorisiert zur Ermittlung von Steuerungsreglements für die Rückhaltemaßnahmen am Oberrhein sowie für Wirksamkeitsnachweise hierzu. Ein weiterer Einsatzbereich des Modells ist die operationelle Hochwasservorhersage der LUBW 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.

### 2.2 Verwendetes Hochwasserkollektiv und berücksichtigte Rückhaltemaßnahmen

Die Untersuchungen werden anhand eines Kollektivs mehrerer Hochwasser durchgeführt, um den individuellen Ausprägungen von Hochwasserereignissen (z.B. unterschiedliche Anstiegsgeschwindigkeiten, unterschiedliche Zeitdauer der Hochwasser, ereignisspezifische Hochwasseranteile verschiedener Teileinzugsgebiete am Gesamt ereignis) Rechnung zu tragen.

Das verwendete Hochwasserkollektiv basiert auf 16 großen Rheinhochwassern der Wirksamkeitsuntersuchungen von SK (2016), die über das Synoptische Modell jeweils so skaliert wurden, dass sie - im Ausbauzustand 1977, d.h. ohne Einsatz von Retentionsmaßnahmen - am Pegel Worms einen 220-jährlichen Scheitelabfluss von  $6.800 \text{ m}^3/\text{s}$  aufweisen. Ohne den Einsatz von Retentionsmaßnahmen überschreiten diese Modellhochwasser damit den bei  $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$  liegenden Bemessungsabfluss der Hochwasserdämme im Raum Mannheim/Worms erheblich, d.h. das bestehende Dammsystem wäre überlastet und großflächige Überflutungen auch besiedelter Gebiete wären zu erwarten.

Die Wirkung verschiedener Ausführungsvarianten des RHR Elisabethenwört wurde untersucht im Verbund mit den übrigen vorhandenen und geplanten Rückhaltemaßnahmen am Oberrhein zwischen Basel und Worms in Baden-Württemberg, Frankreich und Rheinland-Pfalz (vgl. SK, 2016). Die erzielbaren Abflussminderungen werden für den Rhein auf Höhe der Neckarmündung ausgewertet. Dies ist flussabwärts des RHR Elisabethenwört der nächstgelegene Nachweis punkt der Wirksamkeitsuntersuchung von SK (2016).

In Abbildung 1 auf der folgenden Seite sind die Abflussganglinien der 16 Modellhochwasser (ohne den Einfluss von Rückhaltemaßnahmen), jeweils zeitzentriert auf den Scheitelwert am Pegel Worms dargestellt. Es ist erkennbar, dass alle 220-jährlichen Modellhochwasser einen Scheitelabfluss von rund  $6.800 \text{ m}^3/\text{s}$  am Pegel Worms aufweisen, jedoch individuell ausgeprägt sind im Hinblick auf die Anstiegsgredienten und die zeitliche Dauer des Hochwassers.

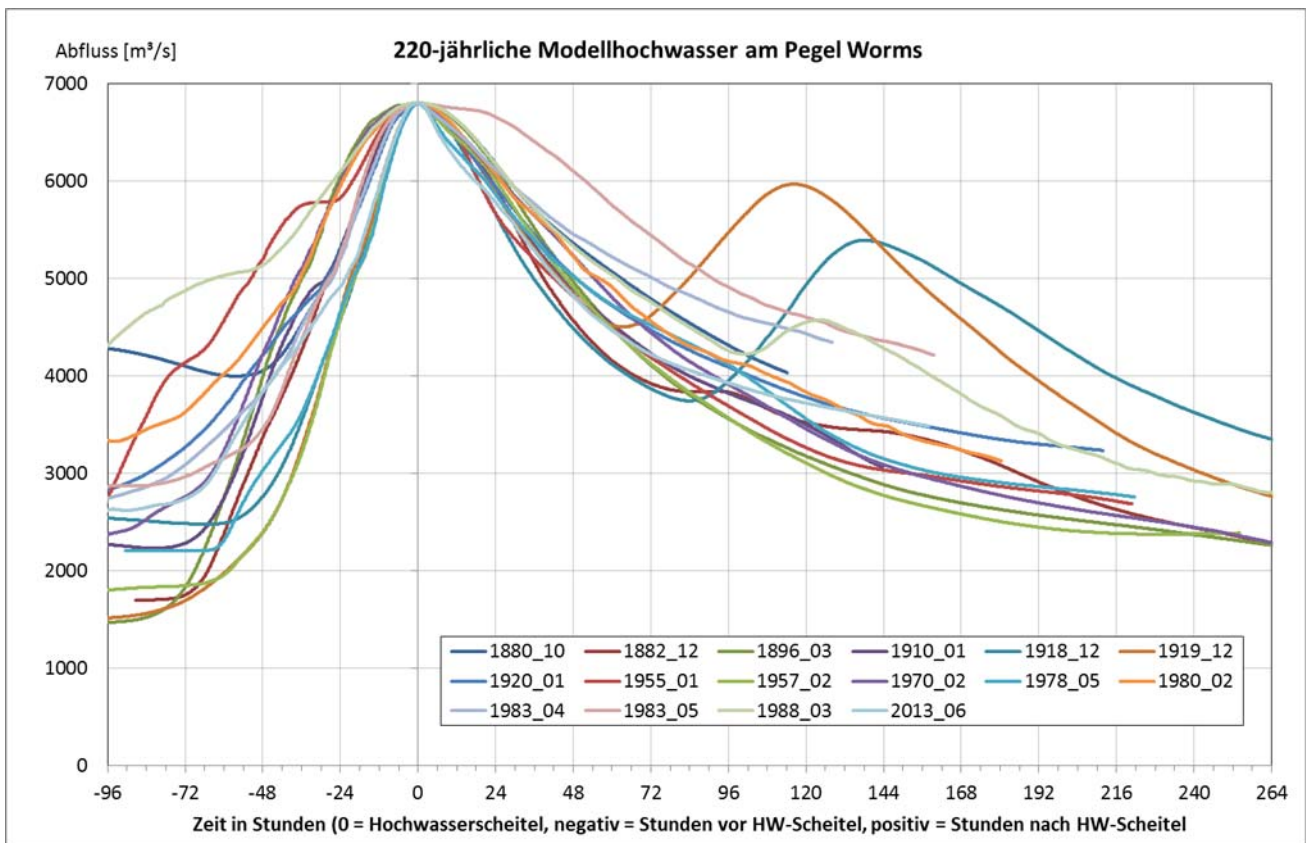


Abb. 1: Abflussganglinien des 220-jährlichen Hochwasserkollektivs für den Pegel Worms (ohne Einsatz von Retentionsmaßnahmen)

### 2.3 Untersuchte Varianten für den Raum Elisabethenwört

Für den geplanten RHR Elisabethenwört wurde die abflussmindernde Wirkung der in Tabelle 1 genannten zehn Ausführungsvarianten berechnet. Zusätzlich wurde der Zustand ohne den RHR Elisabethenwört („Nullvariante“) mit untersucht. Detaillierte Beschreibungen der Varianten enthält RPK (2018).

Abbildung 2 zeigt die Lage des Raumes im Bereich von Rhein-km 380,8 bis 383,4 sowie die Umrisslinien für die kleine, mittlere und die große Variante der Dammrückverlegung bzw. des Polders.

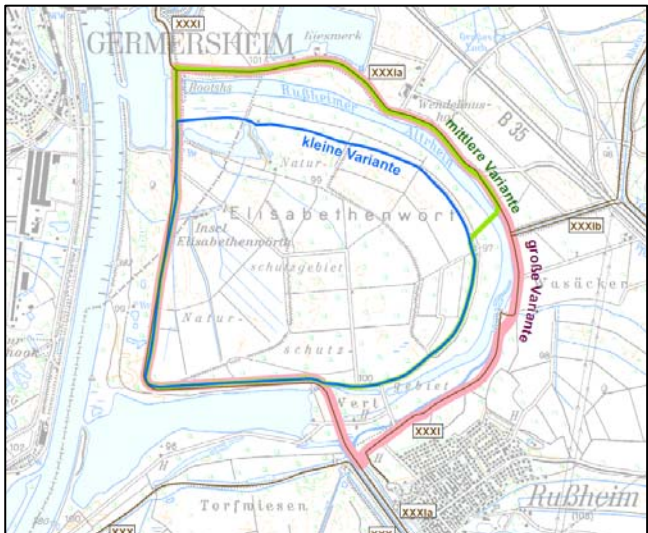


Abb. 2: Umrisslinien für die kleine, mittlere und die große Variante der Dammrückverlegung bzw. des Polders.

Im Synoptischen Modell wurden für die unterschiedlichen Ausführungsvarianten jeweils entsprechende Modellstrukturen erstellt. Abbildung 3 sowie Anlage 1 zeigen den Modellaufbau am Beispiel der Ausführungsvarianten kleine DRV mit Teilabtrag sowie kleiner Polder (ohne Ausbau der Sommerdämme).

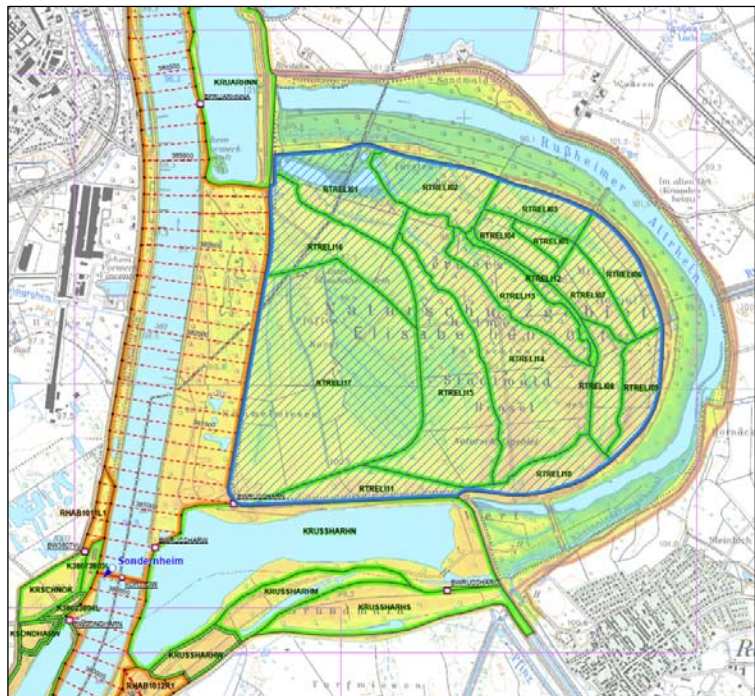


Abb. 3: Flächenaufteilung im Synoptischen Modell für die kleine Ausführungsvariante des Raumes Elisabethenwört



## 2.4 Flutung des Rückhalteraumes

Das vorläufige Konzept der Flutung des RHR Elisabethenwört umfasst gemäß RPK (2017) folgende Randbedingungen:

Bei den **Deichrückverlegungsvarianten** erfolgt eine ungesteuerte Flutung des Rückhalteraumes in Abhängigkeit vom natürlichen Abflussgeschehen im Rhein.

Bei den **Poldervarianten** ist entsprechend zu berücksichtigender naturschutzrechtlicher Vorgaben vorgesehen, in Zeiten, in denen kein Retentionseinsatz zu erwarten ist, die **Ökologischen Flutungen** (ÖF) ungesteuert entsprechend der natürlichen Wasserstandsdynamik des Rheines zuzulassen. Das heißt, dass in Abhängigkeit vom Rheinabfluss ein Ein- und Ausströmen von Wasser zwischen Rhein und RHR durch permanent geöffnete Ein- und Auslassbauwerke stattfinden kann.

Angelehnt an das Reglement von SK (2016) für die benachbarten Rückhaltemaßnahmen Mechttersheim und Flotzgrün wird angesetzt, dass die Rückhaltung in den Polderlösungen Elisabethenwört zwei Stunden nach Überschreitung der Einsatzkriterien für den Polder Wörth/Jockgrim beginnt. Für den **Retentionsbeginn** können für den Polder Wörth/Jockgrim nach SK (2016) folgende Kriterien maßgeblich werden:

- Abfluss Pegel Maxau > 5.000 m<sup>3</sup>/s

oder

- Abfluss Pegel Worms > 5.200 m<sup>3</sup>/s

oder

- Abfluss Pegel Maxau > 4.200 m<sup>3</sup>/s und Heidelberg > 2.150 m<sup>3</sup>/s

Die Rückhaltewirkung variiert abhängig von der Steuerung der Bauwerke, vom Verlauf des einzelnen Hochwasserereignisses und den dabei auftretenden Wasserständen im Rhein und im RHR.

Der **Füllvorgang wird beendet**, wenn das vorgegebene Stauziel im Rückhalteraum erreicht ist oder der Füllvorgang infolge des Rückganges der Hochwassersituation im Rhein natürlich ausläuft.

Bei Erreichen des Stauziels im RHR wird das Einlassbauwerk gedrosselt, der Rückhalteraum soll jedoch weiterhin möglichst durchströmt sein.

Das **Konzept für den Abbruch von Ökologischen Flutungen** ist bei RPK (2017) beschrieben und kann in Kurzform wie folgt formuliert werden:

- außerhalb der Vegetationsperiode (Vegetationsruhe, angesetzt 30.09. bis 01.04.):

Abbruch ÖF wenn laut 48h-Vorhersage:

Abfluss Maxau > 4.000 m<sup>3</sup>/s ODER Abfluss Worms > 5.200 m<sup>3</sup>/s

- in der Vegetationsperiode:

Abbruch ÖF, wenn laut 48h-Vorhersage

Abfluss Maxau > 4.000 m<sup>3</sup>/s ODER Abfluss Worms > 5.200 m<sup>3</sup>/s

UND

Abfluss Maxau < Q<sub>krit</sub> (= Schwellenwert für Abbruch ÖF, vorläufig 2.100 m<sup>3</sup>/s)

Falls Abfluss Maxau > Q<sub>krit</sub>: kein Abbruch ÖF / keine gesteuerte Retention (im Kollektiv der 16 Modellhochwasser betrifft dies die HW April und Mai 1983 sowie Juni 2013).

Die **Entleerung** des Rückhalteraumes nach einem Retentionseinsatz beginnt im Regelfall unmittelbar nach Durchgang des Hochwasserscheitels mit fallendem Wasserstand im Rhein. Für die Entleerung werden die Ein-/ Auslassbauwerke am RHR sukzessive wieder geöffnet und bleiben dann vollständig geöffnet.

## 2.5 Wirkungsprinzip unterschiedlicher Ausführungsvarianten des Rückhalteraumes Elisabethenwört

Für die Wirksamkeit der Retentionsmaßnahmen im Bereich der freifließenden Rheinstrecke nördlich von Karlsruhe ist die Überlagerung der Hochwasserwellen von Rhein und Neckar von großer Bedeutung. Bei dieser Überlagerung bildet sich im Rhein flussabwärts der Neckarmündung ein neuer Hochwasserscheitel, welcher in der Regel einen zeitlichen Versatz aufweist gegenüber dem Scheitelzeitpunkt im Rhein flussaufwärts der Neckarmündung (Details siehe SK, 2016).

Dadurch können die Hochwasserscheitel am Pegel Worms im Verlaufe eines Rheinhochwassers zu einem früheren Zeitpunkt auftreten als am flussaufwärts gelegenen Pegel Speyer. So wurde beispielsweise beim Rheinhochwasser Juni 2013 der Hochwasserscheitel in Worms bei Rhein-km 443,4 um rund 15 Stunden früher erreicht (am 03.06.2013 um 13:15 Uhr), bevor der Hochwasserscheitel in Speyer verzeichnet wurde (bei Rhein-km 400,6 am 04.06.2013 zwischen 3:45 Uhr und 11:15 Uhr).

Für eine Abminderung des Hochwasserscheitels im Raum Mannheim-Ludwigshafen-Worms flussabwärts des Zusammenflusses von Rhein und Neckar müssen die Maßnahmen am Rhein zwischen Karlsruhe-Maxau und Mannheim daher vor Ort vorrangig im ansteigenden Ast des Rheinhochwassers wirken, um den Hochwasserscheitel des Rheins auf Höhe der Neckarmündung wirksam abzumindern.

Bei den (ungesteuerten) DRV-Varianten für Elisabethenwört ergibt sich diese vorrangige abflussmindernde Wirkung des Raumes im ansteigenden Ast des Rheinhochwassers aus den natürlichen hydraulischen Zusammenhängen heraus: Die Retentionswirkung von solchen ungesteuerten, direkt an den Fluss angebundenen und vorlandähnlichen Überflutungsbereichen ist am größten, wenn der Abflussgradient (Änderung des Abfluss pro Zeiteinheit) hohe Werte erreicht. Dies ist im ansteigenden Ast des Hochwassers gegeben.

Im Hinblick auf den Retentionseinsatz der gesteuerten Polder-Varianten für Elisabethenwört sind die oben ausgeführten Zusammenhänge berücksichtigt in der Steuerungsstrategie für die Retentionsmaßnahmen am Oberrhein (SK, 2016). Angelehnt an das dort erarbeitete Reglement für die zu Elisabethenwört benachbarten Rückhaltmaßnahmen Mechtersheim und Flotzgrün beginnt bei den Polderlösungen des RHR Elisabethenwört die Rückhaltung - wie in Kap. 2.4. beschrieben - zwei Stunden nach Überschreitung der Retentionskriterien für den Polder Wörth/Jockgrim.

Die unterschiedliche Wirkung von Dammrückverlegungs- bzw. Poldervarianten des RHR Elisabethenwört lässt sich am Beispiel des Modellhochwassers Feb. 1970 auf den folgenden Seiten in den Abbildungen 5, 6 und 8 gut erkennen. Die Abbildungen und zugehörigen Erläuterungen beziehen sich auf folgende Varianten/Untervarianten gemäß Tabelle 1:

- DRV Elisabethenwört: Dammrückverlegung klein, mit Teilabtrag
- Polder Elisabethenwört: Polder klein, ohne Ausbau Sommerdämme

Dargestellt wird die abflussmindernde Wirkung des Raumes Elisabethenwört, im Verbund mit allen weiteren vorhandenen und geplanten deutsch-französischen Retentionsmaßnahmen, auf den Hochwasserabfluss im Rhein auf Höhe von Rheinsheim (d.h. unmittelbar flussabwärts des Rückhalterraumes), am Pegel Mannheim (Rhein flussaufwärts der Neckarmündung) sowie Rhein auf Höhe der Neckarmündung (inkl. Neckar). Abb. 4 zeigt die Lage der entsprechenden Berechnungsknoten in der Modellstruktur des Synoptischen Modells.

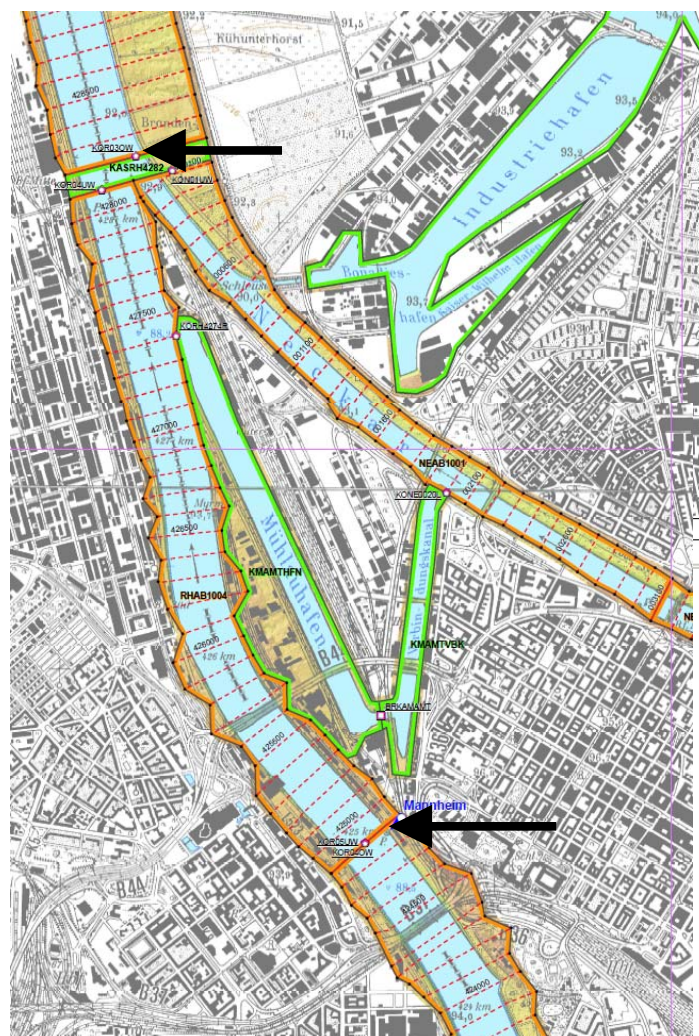
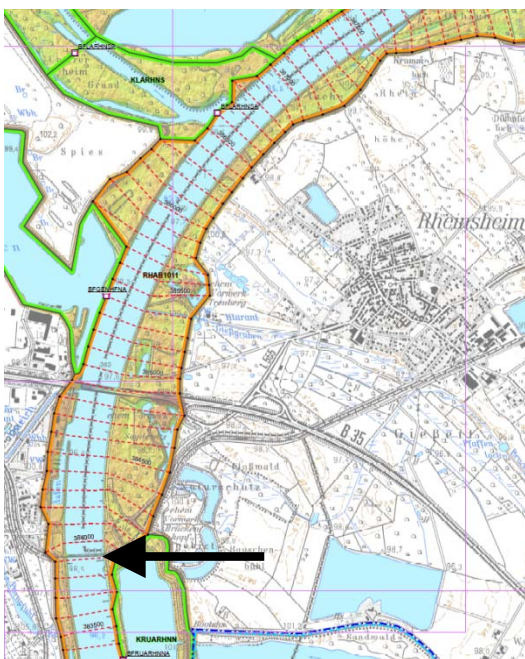


Abb. 4: Lage der ausgewerteten Berechnungspunkte zur Darstellung der unterschiedlichen Wirkungsweisen von DRV / Polder

## 2.5.1 Wirkungsprinzip DRV Elisabethenwört auf Höhe von Rheinsheim

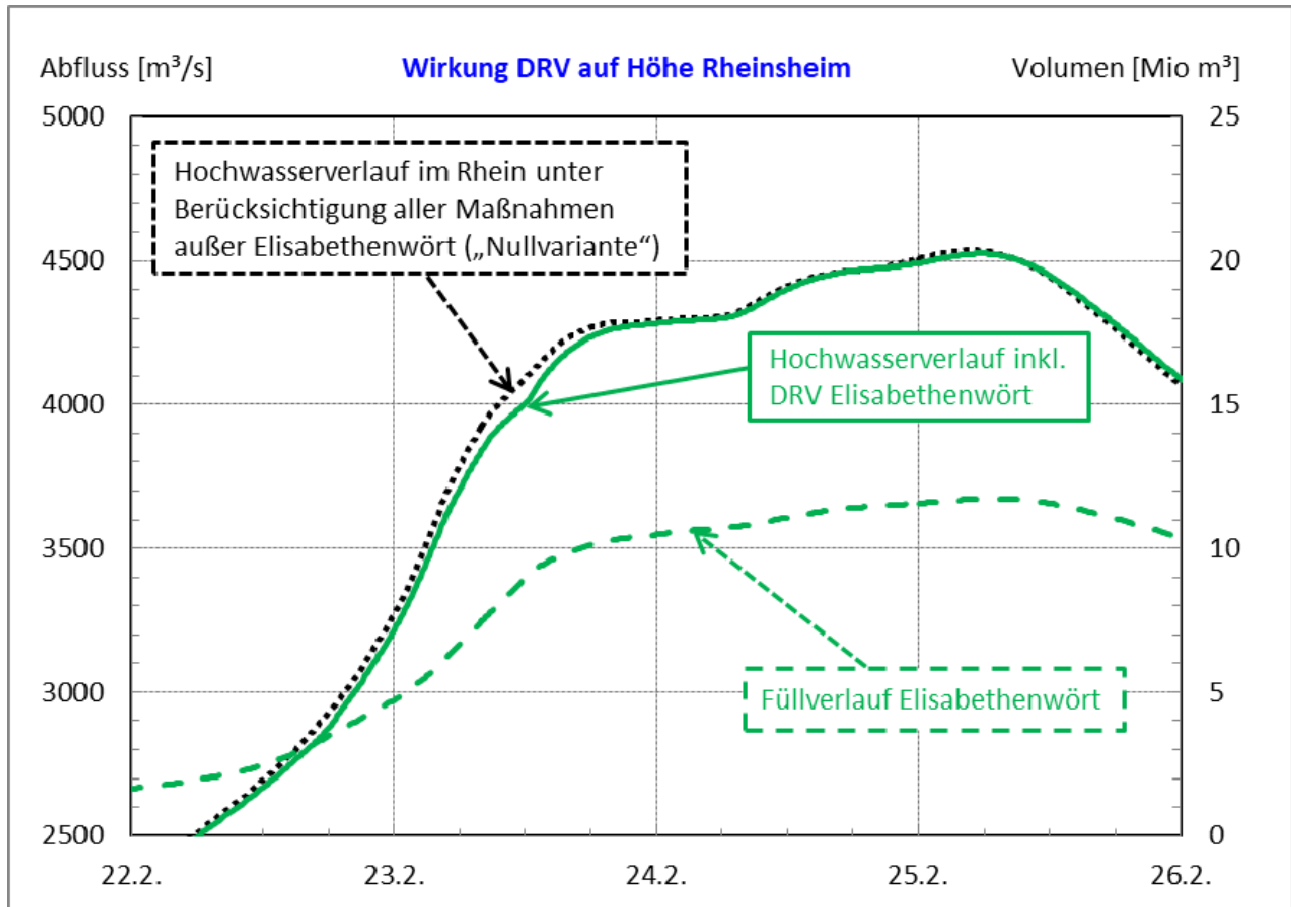


Abb. 5a: Wirkung der kleinen DRV-Variante Elisabethenwört beim Modellhochwasser 1970 im Bereich Rheinsheim

Abb. 5a zeigt die Wirkung der kleinen DRV-Variante mit Teilabtrag (Variante 1a) im Bereich Rheinsheim am Beispiel der Berechnungsergebnisse für das Modellhochwasser Feb. 1970:

- schwarz strichliert ist der Hochwasserverlauf des Rheins mit Wirkung aller vorhandenen und geplanten deutsch-französischen Retentionsmaßnahmen gemäß SK (2016), jedoch ohne die Wirkung des Raumes Elisabethenwört
- grün durchgezogen ist der Hochwasserverlauf des Rheins mit Wirkung aller vorhandenen und geplanten deutsch-französischen Retentionsmaßnahmen gemäß SK (2016), inkl. der kleinen DRV Elisabethenwört
- grün strichliert ist der zugehörige Füllungsverlauf der DRV Elisabethenwört

Die Berechnungsergebnisse zeigen für den Zeitraum des Hochwasseranstieges bis zum Scheitel:

- Die Füllung der DRV Elisabethenwört erfolgt kontinuierlich und quasi zeitgleich mit dem Hochwasseranstieg im Rhein, hier dargestellt vom 22.2. bis zum 25.2. vormittags, d.h. bei diesem Hochwasser über einen Zeitraum von rund 3,5 Tagen.
- Durch die Zunahme des Wasservolumens in der DRV erfolgt eine entsprechende Abminderung des Rheinabflusses auf Höhe von Rheinsheim über 3,5 Tage.
- Die Abflussminderung (Differenz zwischen schwarz strichlierter Linie und grün durchgezogener Linie) ist am größten im ansteigenden Ast des Hochwassers, dort am 23.2. etwa zwischen Vor- und Nachmittag.

## 2.5.2 Wirkungsprinzip Polder Elisabethenwört auf Höhe von Rheinsheim

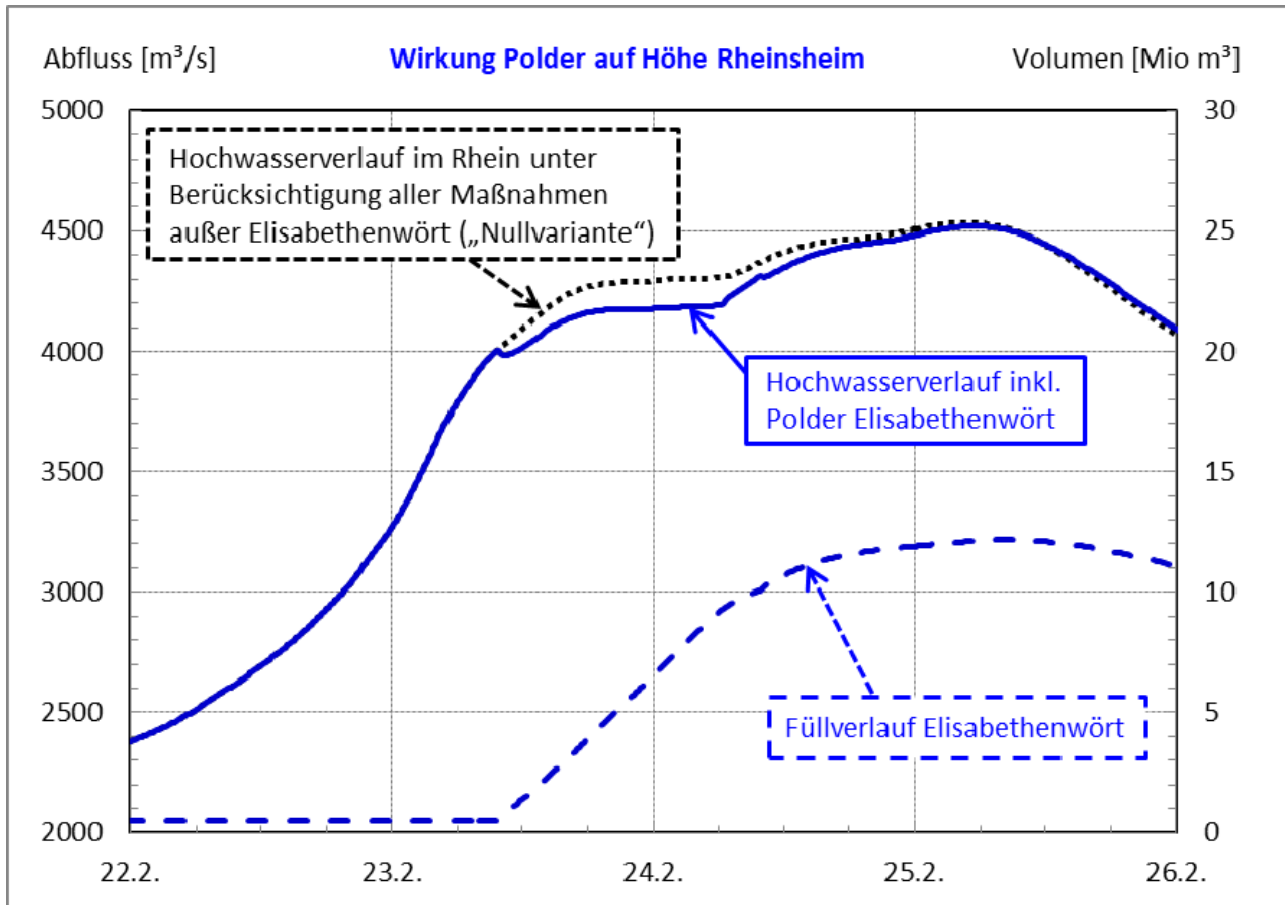


Abb. 5b: Wirkung der kleinen Polder-Variante Elisabethenwört beim Modellhochwasser 1970 im Bereich Rheinsheim

Abb. 5b zeigt die Wirkung der kleinen Polder Variante (ohne Ausbau Sommerdämme, Variante 4) im Bereich Rheinsheim am Beispiel des Modellhochwassers Feb. 1970:

- schwarz strichliert ist der Hochwasserverlauf des Rheins mit Wirkung aller vorhandenen und geplanten deutsch-französischen Retentionsmaßnahmen gemäß SK (2016), jedoch ohne die Wirkung des Raumes Elisabethenwört
- blau durchgezogen ist der Hochwasserverlauf des Rheins mit Wirkung aller vorhandenen und geplanten deutsch-französischen Retentionsmaßnahmen gemäß SK (2016), inkl. des kleinen Polders Elisabethenwört
- blau strichliert ist der zugehörige Füllungsverlauf im Polder Elisabethenwört

Die Berechnungsergebnisse zeigen für den Zeitraum des Hochwasseranstieges bis zum Scheitel:

- Die Füllung des Polders Elisabethenwört beginnt bei diesem Hochwasser am späten Vormittag des 23.2. und erreicht das Maximum am 25.2. vormittags, d.h. erfolgt bei diesem Hochwasser in einem Zeitraum von rund 2 Tagen (DRV: 3,5 Tage).
- Durch die Zunahme des Wasservolumens im Polder erfolgt eine entsprechende Abminderung des Rheinabflusses auf Höhe von Rheinsheim im ansteigenden Ast des Hochwassers. Hierbei erfolgt die Wirkung zeitlich konzentrierter gegenüber der DRV, d.h. mit einem höheren Abminderungsbetrag, jedoch mit kürzerer Wirkungsdauer.
- Die Abflussminderung (Differenz zwischen schwarz strichliertem Linie und blau durchgezogenem Linie) ist am größten im höheren Bereich des ansteigenden Hochwasserastes, etwa zwischen dem 23.2. mittags und dem 24.2. mittags.

### 2.5.3 Wirkungsverlagerung in der Rheinstrecke von Rheinsheim bis Mannheim

Die Abb. 6a und 6b zeigen die Verlagerung des Modellhochwassers Feb. 1970 in der rund 41 Kilometer langen Fließstrecke von Rheinsheim bis zum Pegel Mannheim/Rhein (= Rheinpegel vor der Neckarmündung).

Infolge von Translations- und Retentionseffekten ergibt sich eine zeitliche Verschiebung der Hochwasserwelle, so dass der Hochwasseranstieg am Pegel Mannheim rund einen Tag später gegenüber dem Rhein auf Höhe von Rheinsheim erfolgt. Im Hinblick auf die Hochwasserabminderung durch den RHR Elisabethenwört ergibt sich durch natürliche Fließeigenschaften eine „Abflachung“ der Wirkung, d.h. eine zeitliche Verbreiterung der Wirkungsdauer mit gleichzeitiger Abminderung des Wirkungsbetrages. Sowohl für DRV wie auch Polder liegt die maximale Wirkung der Hochwasserabflussminderung auch am Pegel Mannheim/Rhein weiterhin im ansteigenden Ast des Rheinhochwassers.

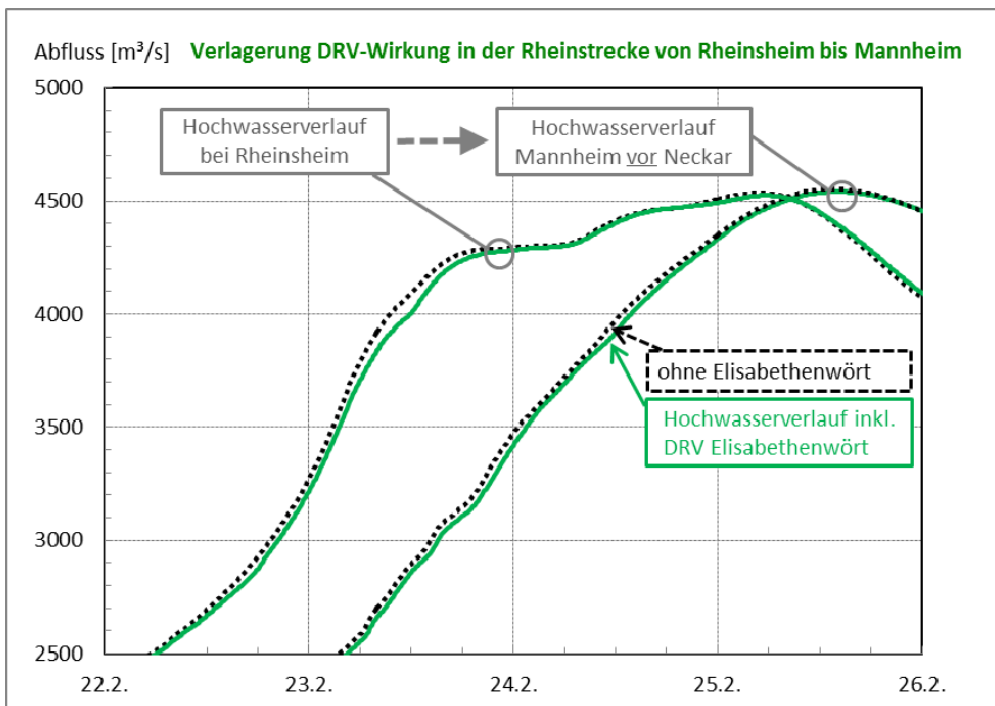
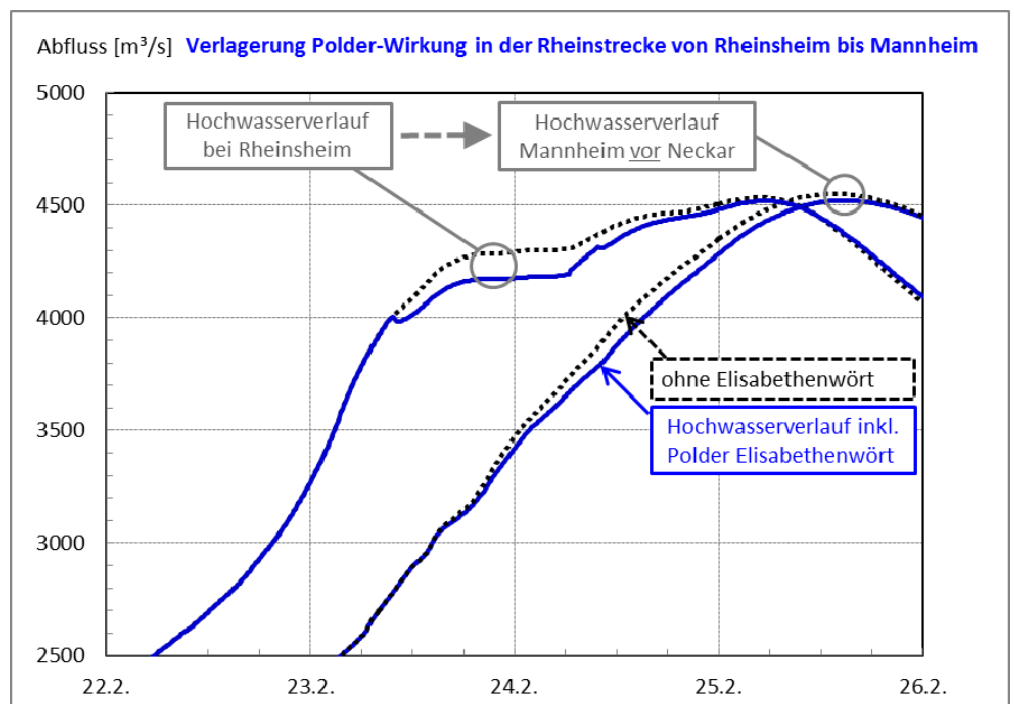


Abb. 6a:  
Verlagerung der Hochwasserwelle zwischen Rheinsheim und dem Pegel Mannheim / Rhein mit / ohne DRV Elisabethenwört beim Modellhochwasser 1970

Abb. 6b:  
Verlagerung der Hochwasserwelle zwischen Rheinsheim und dem Pegel Mannheim / Rhein mit / ohne Polder Elisabethenwört beim Modellhochwasser 1970



## 2.5.4 Wirkung beim Zusammenfluss von Rhein und Neckar

Beim Zusammenfluss von Rhein und Neckar bilden sich insbesondere dann bedeutende Rheinhochwasser, wenn sowohl der Rhein als auch der Neckar Hochwasser führen. In solchen Fällen trifft auf Höhe der Neckarmündung in aller Regel zuerst die Hochwasserwelle des Neckars ein und erst später die von Süden kommende Hochwasserwelle des Rheins.

Die Abbildung 7 zeigt ein Beispiel für die Überlagerung der Hochwasserabflüsse von Rhein und Neckar: Der Abflussscheitel des Neckars tritt bereits zum Zeitpunkt  $t_1$  ein und damit deutlich früher als der Abflussscheitel des Rheins vor der Neckarmündung, der zum Zeitpunkt  $t_3$  eintritt. Durch den Zusammenfluss von Rhein und Neckar bildet sich flussabwärts der Neckarmündung ein neuer Abflussscheitel zum Zeitpunkt  $t_2$ , der bei der Abflusskombination bei diesem Hochwasser nicht in der Mitte zwischen den beiden vorgenannten Scheitelzeitpunkten, sondern etwas näher am Abflussscheitel des Neckars liegt.

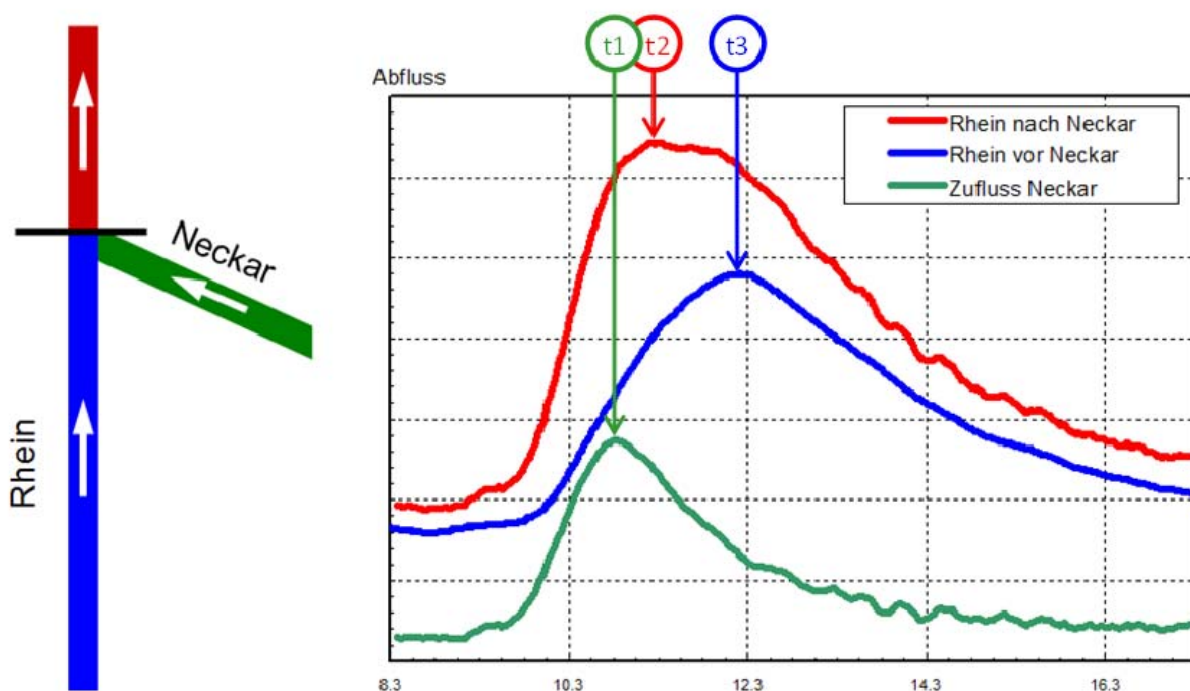


Abb. 7: Beispiel für die Überlagerung der Hochwasserabflüsse von Rhein und Neckar

Der Abflussscheitel des Rheins flussabwärts der Neckarmündung (Zeitpunkt  $t_2$ ) tritt durch den Zufluss des Neckars bei diesem Hochwasser somit früher ein als der Scheitelabfluss des Rheins unmittelbar vor der Neckarmündung (Zeitpunkt  $t_3$ ).

*Hinweise:*

*Die genannten Wirkungszusammenhänge zeigen sich z.B. auch beim Hochwasser Juni 2013: Hier wurde der Hochwasserscheitel des Rheins am Pegel Mannheim am 3. Juni um 11:30 Uhr erreicht, während der Scheitelwasserstand am flussaufwärts gelegenen Pegel Speyer erst im Laufe des 4. Juni aufgetreten ist.*

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

Infolge dieser zeitlichen Verschiebung des Hochwasserabflussscheitels beim Zusammenfluss von Rhein- und Neckarhochwasser verlagert sich die bisher insbesondere im ansteigenden Ast des Rheinhochwassers auftretende Wirkung des Raumes Elisabethenwört in den Scheitelbereich des Rheinhochwassers.

Die Abb. 8a zeigt für die kleine DRV Elisabethenwört, wie sich beim Modellhochwasser 1970 infolge der zeitlichen Verschiebung des Hochwasserabflussscheitels der Wirkungsschwerpunkt der DRV nach dem Zusammenfluss von Rhein und Neckar in den Hochwasserscheitel des Rheins hineinverlagert. Die Abbildung 8b zeigt die entsprechenden Zusammenhänge für den Wirkungsschwerpunkt des kleinen Polders Elisabethenwört. Infolge der zeitlich konzentrierteren Wirkung der Polderlösung ergibt sich hierbei eine zusätzliche Abminderung gegenüber der Deichrückverlegung.

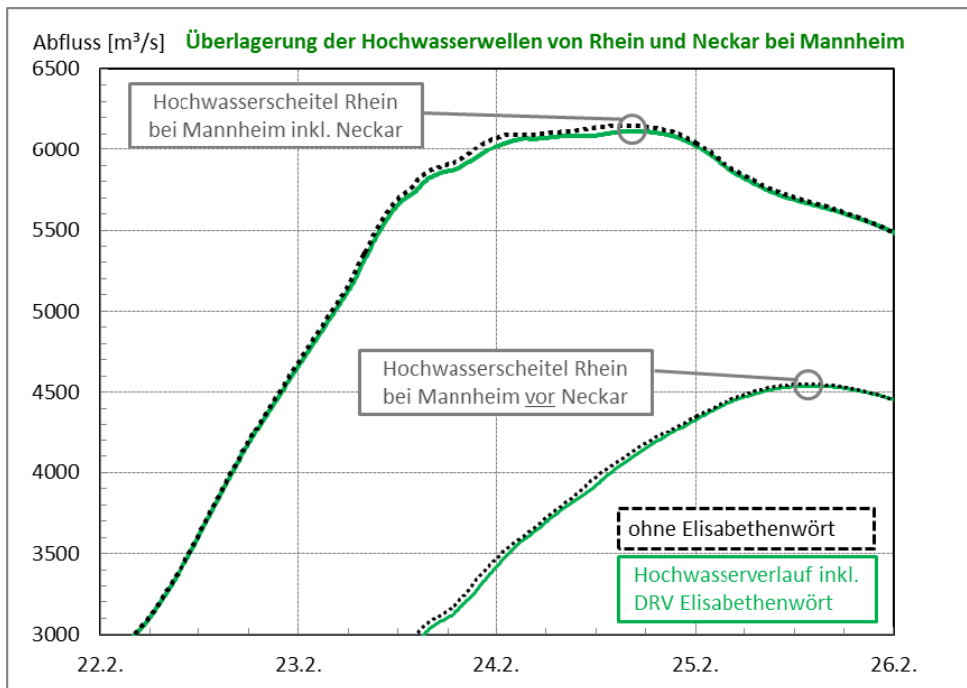
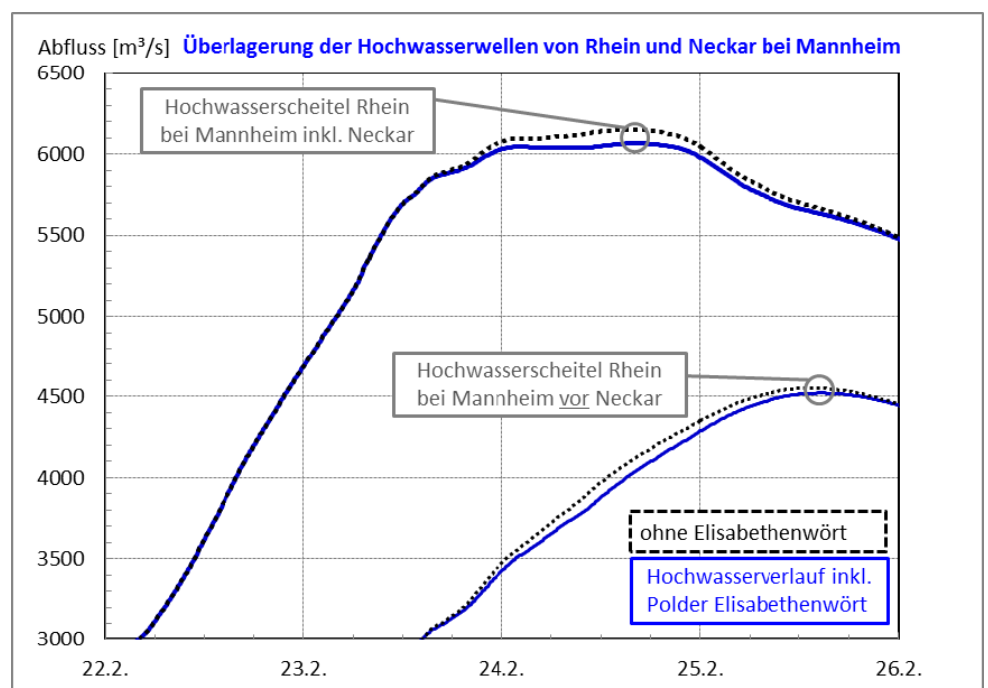


Abb. 8a:  
Überlagerung der Hochwasserwellen von Rhein und Neckar sowie zeitliche Verlagerung des Rheinscheitels für das Modellhochwasser 1970 mit / ohne kleiner DRV Elisabethenwört

Abb. 8b:  
Überlagerung der Hochwasserwellen von Rhein und Neckar sowie zeitliche Verlagerung des Rheinscheitels für das Modellhochwasser 1970 mit / ohne kleinem Polder Elisabethenwört





### 3. Hochwasserminderung durch unterschiedliche Ausführungsvarianten des Rückhalteraumes Elisabethenwört

#### 3.1 Übersicht der Berechnungsvarianten

Zur Untersuchung der Hochwasserminderung durch unterschiedliche Ausführungsvarianten für den Raum Elisabethenwört wurden mit dem Synoptischen Modell insgesamt 176 Hochwasserabläufe im Oberrhein zwischen Basel und Worms berechnet (11 Berechnungsvarianten mit jeweils 16 Hochwassern).

Die Berechnungen des Hochwasserablaufs erfolgten für alle Untersuchungsvarianten und Modellhochwasser gemäß dem Zwischenbericht Wirksamkeitsnachweis (SK, 2016), d.h. für den Zustand mit vorhandenen und geplanten Rückhaltmaßnahmen.

#### 3.2 Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

In Tabelle 2 ist die Einzelwirkung des Raumes Elisabethenwört, die sich im Verbund mit den übrigen Maßnahmen ergibt, als Differenz gegenüber dem Zustand ohne einen Einsatz des RHR Elisabethenwört für die 16 Modellhochwasser zusammengestellt.

Abminderung des 220-jährlichen Hochwasserscheitels [m <sup>3</sup> /s] im Rhein auf Höhe der Neckarmündung												
Modellhochwasser	Scheitelabfluss [m <sup>3</sup> /s] ohne Elisabethenwört	Dammrückverlegung				DRV/Polder		Polder				zugehörige Maßeinheit
		klein		mittel	groß	klein	mittel <sup>1)</sup>	klein		mittel	groß	
		Komplettabtrag	Teilabtrag					ohne Ausbau So.damm	Ausbau So.damm Ost			
		1	1a	2	3	7	8	4	4b-1	5	6	
1880_10	5637	6.4	5.4	6.3	10.4	-11.8	-14.1	-20.1	-20.6	-20.2	-22.7	m <sup>3</sup> /s
1882_12	5938	-30.6	-31.2	-33.7	-34.7	-37.3	-59.0	-55.0	-51.9	-63.7	-99.4	m <sup>3</sup> /s
1896_03	5822	-14.9	-16.7	-19.7	-22.7	-9.9	-20.5	-6.7	-7.0	-6.7	-8.1	m <sup>3</sup> /s
1910_01	5552	-17.9	-19.4	-21.3	-23.4	-11.1	-19.8	-7.0	-7.1	-7.0	-8.8	m <sup>3</sup> /s
1918_12	5589	-28.5	-29.4	-33.0	-40.7	-9.2	-21.5	-1.0	-1.0	-1.0	-1.3	m <sup>3</sup> /s
1919_12	5953	-39.2	-40.9	-44.6	-48.4	-50.4	-75.7	-53.3	-56.3	-53.4	-93.2	m <sup>3</sup> /s
1920_01	5998	10.0	8.3	6.6	10.6	-18.2	-17.6	-27.7	-29.2	-27.8	-38.8	m <sup>3</sup> /s
1955_01	6112	1.2	-0.5	0.8	0.8	-16.5	-17.9	-34.7	-33.0	-61.8	-64.1	m <sup>3</sup> /s
1957_02	5782	-53.8	-56.7	-62.6	-72.7	-48.3	-79.7	-41.4	-43.9	-41.4	-57.9	m <sup>3</sup> /s
1970_02	6152	-33.6	-34.7	-38.4	-43.4	-61.6	-84.9	-85.6	-80.9	-100.7	-119.4	m <sup>3</sup> /s
1978_05	6044	-43.7	-44.6	-49.9	-57.4	-66.6	-92.9	-76.4	-76.1	-76.9	-107.9	m <sup>3</sup> /s
1980_02	5642	-9.6	-11.6	-10.7	-12.2	-5.5	-13.4	-7.1	-7.3	-7.1	-9.3	m <sup>3</sup> /s
1983_04	6142	-17.2	-18.6	-20.4	-24.4	-20.0*	-36.1	-27.0*	-30.0*	-31.4*	-39.7*	m <sup>3</sup> /s
1983_05	6018	-11.1	-13.4	-14.8	-15.1	-15.7*	-17.3	-24.6*	-26.5*	-26.8*	-33.8*	m <sup>3</sup> /s
1988_03	5991	-5.6	-6.3	-5.0	-7.5	-12.8	-21.5	-18.5	-22.1	-29.6	-31.9	m <sup>3</sup> /s
2013_06	5918	-16.9	-17.3	-19.2	-24.1	-17.6*	-40.4	-26.6*	-27.2*	-30.8*	-44.3*	m <sup>3</sup> /s
<b>mittl. Abflussreduzierung [m<sup>3</sup>/s]</b>		<b>-19.1</b>	<b>-20.5</b>	<b>-22.5</b>	<b>-25.3</b>	<b>-25.8</b>	<b>-39.5</b>	<b>-32.0</b>	<b>-32.5</b>	<b>-36.6</b>	<b>-48.8</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
mittlere Wasserstandsabminderung [cm]		-1.5	-1.5	-1.6	-1.8	-2.4	-3.5	-2.8	-2.8	-3.4	-4.5	cm

<sup>1)</sup> vorbehaltlich einer weiteren technischen und naturschutzbezogenen Prüfung  
\* Modellhochwasser ohne Abbruch Ökologischer Flutung, sondern ungesteuerte Polderretention

Tabelle 2: Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse zur Hochwasserminderung durch unterschiedliche Ausführungsvarianten für den Raum Elisabethenwört

Die Berechnungen zeigen, dass sich alle untersuchten Varianten des RHR Elisabethenwört, im Verbund mit den vorhandenen und geplanten deutsch-französischen Hochwasserrückhaltemaßnahmen, insgesamt wirksam (abmindernd) auf den Hochwasserscheitel des Rheins auf Höhe der Neckarmündung auswirken. Die Hochwasserschutzwirkung nimmt mit zunehmender Größe (Volumen) des Rückhaltereaumes zu (betrifft alle Variantengruppen: DRV, Polder und Kombi DRV/Polder). Durch die Variantengruppen Polder und Kombi DRV/Polder kann gegenüber der Variantengruppe DRV eine zusätzliche Abminderung erzielt werden.

Anlage 2 enthält als weiteres Berechnungsergebnis eine Zusammenstellung zur Abminderung des Wasserstandscheitels bei den Modellhochwassern.

### **3.3 Hinweise zur Interpretation der Berechnungsergebnisse**

Die nachfolgenden Hinweise sollen zum besseren Verständnis der Berechnungsergebnisse beitragen:

#### Hochwasserbezogene Einzelwirkung von Rückhaltemaßnahmen:

Wie in Kap. 2.2 ausgeführt, weist jedes (Oberrhein-)Hochwasser eine individuelle Ausprägung auf, z.B. im Hinblick auf die Anstiegsgeschwindigkeiten, die zeitliche Dauer des Hochwassers sowie die ereignisspezifischen Hochwasseranteile verschiedener Oberrheinzuflüsse wie Hochrhein, den Schwarzwaldzuflüssen und dem Neckar.

Die Untersuchungen SK (2016) zeigen, dass der Verbund der vorhandenen und geplanten Retentionsmaßnahmen eine effektive Abminderung der Hochwasserscheitel im Oberrhein bewirkt. Bei einzelnen Hochwassern kann jedoch die isolierte Betrachtung der Wirkung einer einzelnen Retentionsmaßnahme innerhalb des Maßnahmenverbundes rechnerisch zu einer Erhöhung des Scheitelabflusses führen, als es ohne diese einzelne Maßnahme der Fall gewesen wäre. Im Wirkungsverbund aller zu betrachtenden Retentionsmaßnahmen tritt eine Erhöhung des Scheitelabflusses gegenüber dem Zustand ohne den Einsatz der Verbundmaßnahmen hingegen nicht auf.

Aufgrund der unterschiedlichen Ausprägungen jedes einzelnen Modellhochwassers ist es prinzipiell ausgeschlossen, dass die Gesamtwirkung einzelner oder aller Maßnahmen (egal, ob diese gesteuert oder ungesteuert sind) bei jedem einzelnen Hochwasser immer gleich groß ist. Die tatsächlich erzielbare Hochwasserminderung durch die Gesamtwirkung aller Maßnahmen weist daher grundsätzlich eine Streubreite auf.

Maßgeblich für den Zugewinn an Hochwasserschutz durch eine neu hinzukommende Retentionsmaßnahme ist immer die Gesamtwirkung aller Maßnahmen. Diese Gesamtwirkung ist - wie auch die Berechnungen SK (2016) zeigen - bei jedem einzelnen Hochwasser immer im deutlichen Umfang vorhanden.

In Anlage 3 ist der nichtlineare Zusammenhang zwischen der theoretisch maximal erzielbaren Hochwasserabminderung [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] und dem hierzu erforderlichen Retentionsvolumen [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] vereinfacht dargestellt und erläutert.

Auch der Zusammenhang zwischen Abfluss [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] und Wasserstand [cm] ist nichtlinear abhängig u.a. von der durchflossenen Fläche des Rheinquerprofils [ $\text{m}^2$ ], dem Wasserspiegellagen- bzw. Energieliniengefälle und den damit zusammenhängenden Fließgeschwindigkeiten [m/s]. Diese Einflussgrößen variieren sowohl während des Hochwasserverlaufes als auch von Hochwasser zu Hochwasser. Infolge dieser nichtlinearen Zusammenhänge können sich bei der Betrachtung von Abfluss- bzw. Wasserstandsdifferenzen für Hochwasserscheitel im Einzelfall auch gegenläufige Tendenzen zeigen.

In den hydrodynamischen Berechnungen des Synoptischen Modells (LUBW & LfU RP 2018) werden die entsprechenden Effekte und ihre Auswirkungen auf den Hochwasserverlauf mitberechnet.

## Quellenangaben

LUBW & LfU RP, 2018: Dokumentation des Synoptischen Modells

<http://www.hvz.baden-wuerttemberg.de/pdf/S1D-Dokumentation.pdf>

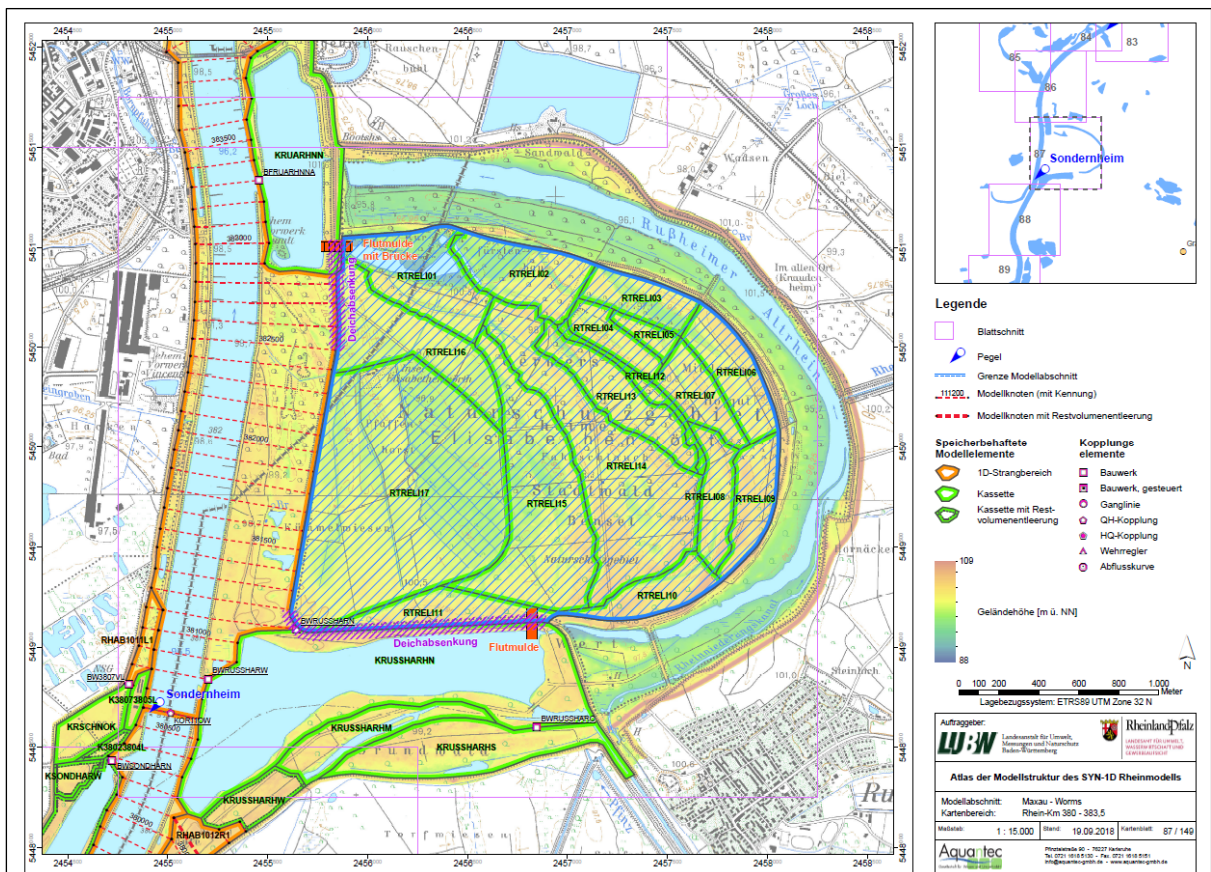
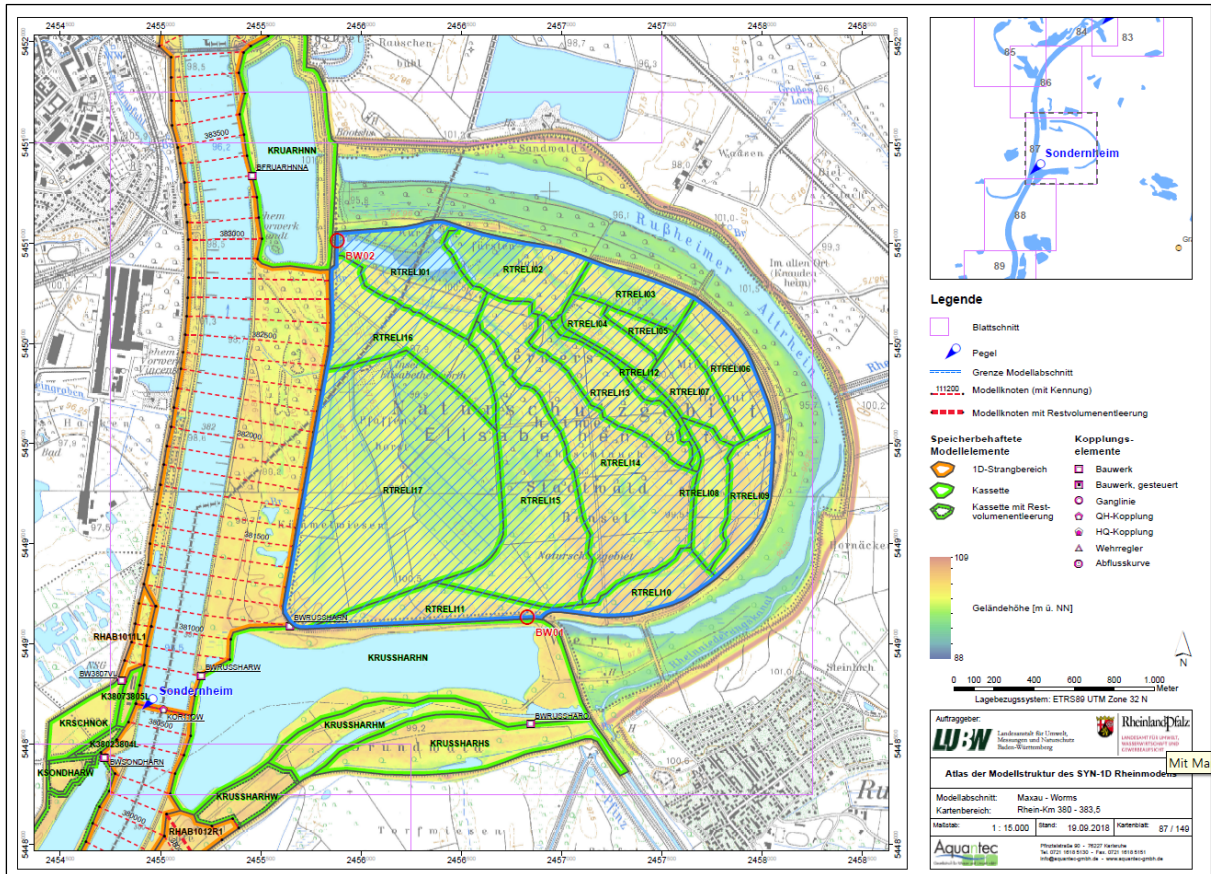
RPK, 2018: Rückhalteraum Elisabethenwört: Dokumentation Variantenuntersuchung. Regierungspräsidium Karlsruhe, Abteilung 5 - Umwelt.

RPK, 2017: Rückhalteraum Elisabethenwört: Konzept der Steuerung und Ökologischen Flutungen bei Poldervarianten (Entwurf) für Arbeitsgruppen und Projektbegleitkreis. Regierungspräsidium Karlsruhe, Abteilung 5 - Umwelt.

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

<https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/wasser/hochwasserschutz>

Anlage 1: Modellaufbau des Synoptischen Modells für die Ausführungsvarianten kleiner Polder (Abb. oben) sowie kleine DRV mit Teilabtrag (Abb. unten)



**Anlage 2: Abminderung des 220-jährlichen Hochwasserscheitels [cm] im Rhein auf Höhe der Neckarmündung durch unterschiedliche Varianten des RHR Elisabethenwört**

Abminderung des 220-jährlichen Hochwasserscheitels [cm] im Rhein auf Höhe der Neckarmündung											
Modell- hochwasser	Dammrückverlegung				DRV/Polder		Polder				zugehörige Maß- Einheit
	klein		mittel	groß	klein	mittel <sup>1)</sup>	klein		mittel	groß	
	Komplett- abtrag	Teil- abtrag					ohne Ausbau So.damm	Ausbau So.damm Ost			
	1	1a	2	3	7	8	4	4b-1	5	6	
1880_10	0.4	0.3	0.3	0.7	-0.9	-1.2	-1.7	-1.7	-1.7	-2.0	cm
1882_12	-1.8	-1.8	-2.1	-2.4	-2.6	-2.7	-2.4	-2.3	-3.6	-5.6	cm
1896_03	-1.8	-1.9	-2.0	-2.2	-4.5	-5.6	-6.4	-6.3	-8.1	-9.4	cm
1910_01	-1.1	-1.2	-1.4	-1.5	-1.3	-1.8	-1.2	-1.2	-1.2	-1.5	cm
1918_12	-1.9	-2.0	-2.2	-2.7	-1.0	-1.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	cm
1919_12	-2.1	-2.2	-2.4	-2.8	-3.2	-3.4	-2.4	-2.3	-2.7	-5.5	cm
1920_01	-1.0	-1.1	-1.2	-1.3	-3.8	-4.9	-5.1	-4.9	-5.2	-6.7	cm
1955_01	-0.1	-0.2	-0.1	0.0	-2.0	-2.2	-3.6	-3.5	-5.7	-6.1	cm
1957_02	-3.9	-4.1	-4.6	-5.3	-4.1	-6.3	-3.7	-3.9	-3.7	-5.3	cm
1970_02	-2.3	-2.4	-2.6	-3.0	-4.0	-5.6	-5.7	-5.4	-6.9	-8.1	cm
1978_05	-3.0	-3.0	-3.4	-3.9	-4.3	-6.3	-5.0	-4.9	-5.2	-7.4	cm
1980_02	-1.0	-1.0	-1.1	-1.4	-1.5	-3.0	-2.0	-2.0	-2.9	-3.5	cm
1983_04	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.3*	-4.4	-1.8*	-2.0*	-2.1*	-2.6*	cm
1983_05	-1.3	-1.4	-1.5	-1.9	-1.5*	-3.3	-1.6*	-1.6*	-2.1*	-2.5*	cm
1988_03	-0.4	-0.5	-0.4	-0.5	-1.6	-2.4	-2.2	-2.5	-3.0	-3.3	cm
2013_06	-1.0	-1.0	0.4	0.1	-1.0*	-1.8	0.0*	0.0*	-0.3*	-1.2*	cm
<b>mittl. Wasserstands- änderung [cm]</b>	<b>-1.5</b>	<b>-1.5</b>	<b>-1.6</b>	<b>-1.8</b>	<b>-2.4</b>	<b>-3.5</b>	<b>-2.8</b>	<b>-2.8</b>	<b>-3.4</b>	<b>-4.5</b>	<b>cm</b>
<sup>1)</sup> vorbehaltlich einer weiteren technischen und naturschutzbezogenen Prüfung * Modellhochwasser ohne Abbruch Ökologischer Flutung, sondern ungesteuerte Polderretention											

### Anlage 3: Wirkungsprinzip / Verbundwirkung von Maßnahmen

Erläuterung des „Pyramideneffekts“ bei der Verbundwirkung von Retentionsmaßnahmen: Die „Spitze“ / der Scheitel eines noch gänzlich unreduzierten Hochwassers lässt sich leichter abtragen / reduzieren, als ein bereits durch andere Retentionsmaßnahmen abgemindertes Hochwasser.

Grund hier ist - vereinfacht formuliert - dass mit zunehmender Abminderung des Hochwasserscheitels die zeitliche Dauer des „abzutragenden“ Hochwasserbereiches zunehmend breiter wird und somit das hierfür erforderliche Retentionsvolumen ansteigt (Abflussminderung [m<sup>3</sup>/s] \* Zeit [s] = Retentionsvolumen [m<sup>3</sup>]).

