



# Weitergehende Untersuchungen zu den Flutpoldern Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof

Synthesebericht



wasser







# **Weitergehende Untersuchungen zu den Flutpoldern Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof**

**Synthesebericht**

## Impressum

Weitergehende Untersuchungen zu den Flutpoldern Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof – Synthesebericht

### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160

86179 Augsburg

Tel.: 0821 9071-0

E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)

Internet: [www.lfu.bayern.de/](http://www.lfu.bayern.de/)

### Konzept/Text:

LfU

### Redaktion:

LfU

### Bildnachweis:

LfU, StMUV

### Stand:

November 2020

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbenden oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 12 22 20 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Anlass</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Untersuchungskonzept</b>	<b>7</b>
2.1	Vorbereitende Untersuchungen	7
2.2	Ergänzende Wirkungsanalysen	9
2.3	Zusätzliche Informationen	11
<b>3</b>	<b>Vorgehen und Ergebnisse der Einzeluntersuchungen</b>	<b>12</b>
3.1	Vorbereitende Untersuchungen	12
3.1.1	Aufbereitung meteorologischer Daten aus ClimEx-Projekt	12
3.1.2	Ereignisgenerierung mit LARSIM	13
3.1.3	Standortsuche für große Hochwasserrückhaltebecken	15
3.2	Wirkungsanalyse zu Rückhalt im Einzugsgebiet Lech, Naab und Regen	21
3.3	Ergänzende Überprüfung der Flutpolderwirkung	43
3.4	Ergänzende Untersuchungen zum Staustufenmanagement	61
3.5	Laufende Untersuchungen zum Grundwasser	66
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse</b>	<b>69</b>
<b>5</b>	<b>Quellen</b>	<b>74</b>
<b>6</b>	<b>Anlagen</b>	<b>75</b>



# 1 Anlass

Bayern verfolgt mit dem Hochwasserschutz-Aktionsprogramm 2020plus [1] eine integrale Schutzstrategie, in die eine Vielzahl an Maßnahmen von unterschiedlichen Beteiligten einbezogen wird. Ziel ist eine umfassende und nachhaltige Verringerung der Risiken aus Hochwasser für die vier Schutzgüter gemäß EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie: Mensch, Wirtschaft, Umwelt und Kulturerbe. Das Bayerische Flutpolderprogramm ist ein wichtiger Bestandteil des Hochwasserschutz-Aktionsprogramms 2020plus.

Die Schutzanlagen, die in Bayern auf der Grundlage der Vorgaben im Landesentwicklungsprogramm Bayern (LEP) in der Regel zum Schutz gegen ein 100-jährliches Hochwasserereignis ausgelegt werden (sog. Grundschutz), haben Grenzen: bei sehr großen Hochwasserereignissen können höhere Wasserstände auftreten als diejenigen, auf welche die Deiche und Wände bemessen sind. In einem solchen Überlastfall wird die Leistungsfähigkeit der Deiche und Wände überschritten, gegebenenfalls können diese auch überströmt werden, im schlimmsten Fall sogar vollständig versagen. In solchen Fällen steigt der Gesamtschaden durch weitreichende Auswirkungen auf andere Bereiche oft auf ein Mehrfaches der unmittelbar vom Hochwasser verursachten Schäden an (sogenannte Domino- und Kaskadeneffekte). Mit dem Bayerischen Flutpolderprogramm sollen die umfangreichen Risiken eines Überlastfalles reduziert und Bevölkerung und Wirtschaft noch besser vor Hochwasser geschützt werden. Zweck der Flutpolder ist es dabei, dass auch im Überlastfall noch Handlungsoptionen verbleiben.

Die Projektziele und die Projektbegründungen des Bayerischen Flutpolderprogramms, speziell auch für die Donau, sind in der **Bedarfsermittlung** [2] und ihren Anhängen ausführlich beschrieben. Umfangreiche Voruntersuchungen haben die Wirkung von Flutpoldern zur weiteren effektiven Reduktion von Hochwasserrisiken bestätigt.

Zum jetzigen Zeitpunkt sind insgesamt zehn verschiedene Flutpolderstandorte an der Donau geplant. Im Donauabschnitt I (Iller- bis Lechmündung) sollen mit Leipheim (rund 10 Mio. m<sup>3</sup> Rückhaltevolumen), Helmeringen (rund 7 Mio. m<sup>3</sup>) und dem Rückhalteraum Neugeschüttwörth (rund 23 Mio. m<sup>3</sup>) insgesamt rund 40 Mio. m<sup>3</sup> für einen Einsatz im Überlastfall zur Verfügung stehen. Im Donauabschnitt II (Lech- bis Naab-/Regenmündung) sind dies mit Bertoldsheim (rund 18 Mio. m<sup>3</sup>), Riedensheim (rund 8 Mio. m<sup>3</sup>), Großmehring (rund 12,8 Mio. m<sup>3</sup>) und Katzau (rund 6,6 Mio. m<sup>3</sup>) weitere gut 45 Mio. m<sup>3</sup>. Im Donauabschnitt III (Naab-/Regen- bis Isarmündung) sind mit Eltheim (rund 15,1 Mio. m<sup>3</sup>), Wörthhof (rund 15,4 Mio. m<sup>3</sup> bzw. 30,5 Mio. m<sup>3</sup> in einer großen Variante) und Öberauer Schleife (rund 14 Mio. m<sup>3</sup>) nochmals knapp 45 Mio. m<sup>3</sup> bzw. 60 Mio. m<sup>3</sup> geplant.

Ergänzt werden sie von weiteren geplanten Rückhalteräumen, die aber alle bereits bei niedrigeren Hochwasserabflüssen aktiviert werden sollen. Dies sind unterhalb von Straubing im Bereich des Donauausbaus Straubing–Vilshofen (im Donauabschnitt III und IV) der gesteuerte Rückhalteraum Steinkirchen (rund 21,1 Mio. m<sup>3</sup>) sowie mehrere weitere ungesteuerte Rückhalteräume sowie im Donauabschnitt I weitere ungesteuerte Rückhalteräume zur Unterstützung des Grundschutzes. In Abbildung 1 sind die Flutpolderstandorte an der Donau sowie der gesteuerte Rückhalteraum Steinkirchen lagemäßig in den jeweiligen Donauabschnitten und mit ihrem aktuellen Planungsstand dargestellt.

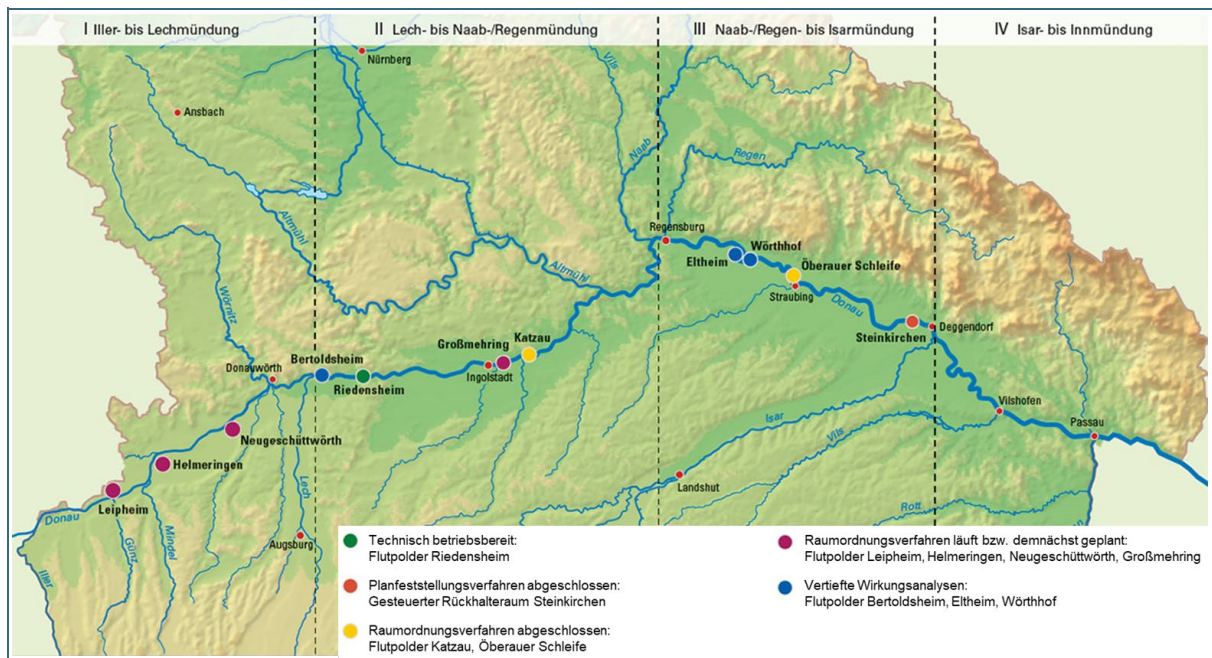


Abb. 1: Flutpolderstandorte an der Donau mit gesteuertem Rückhalteraum Steinkirchen (Stand November 2020)

Mit Beschluss vom 14.01.2019 hat sich der Bayerische Ministerrat grundsätzlich für eine weitere Fortsetzung des Bayerischen Flutpolderprogramms an der Donau ausgesprochen. Für die drei im Koalitionsvertrag zwischen CSU und FREIEN WÄHLERN in Frage gestellten Standorte **Bertoldsheim**, **Eltheim** und **Wörthhof** sollen vertiefte Wirkungsbetrachtungen vor allem in Bezug auf Grundwasser angestellt und mögliche Alternativplanungen untersucht werden, die zusätzliche Rückhaltermöglichkeiten an den großen Seitenzuflüssen und Optimierungsmöglichkeiten für ein Staustufenmanagement enthalten. Über die Ergebnisse dieser Prüfung ist dem Ministerrat wieder zu berichten.

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) beauftragt, die finale Entscheidung zu den in Frage gestellten Standorten durch weitergehende Untersuchungen fachlich zu fundieren und vorzubereiten. Dies beinhaltet

- die Untersuchung von Rückhaltermöglichkeiten an den maßgeblichen Seitenzuflüssen der Donau und den Vergleich ihrer Wirkung mit der Wirkung der in Frage gestellten Flutpolderstandorte an der Donau,
- die Untersuchung zur ergänzenden Überprüfung der Flutpolderwirkung, welche die Fortführung der Wirkungsanalysen der TUM (vgl. Bedarfsermittlung) über Straubing hinaus für die Donauabschnitte III und IV sowie die Betrachtung eines größeren Spektrums an Hochwasserwellen beinhaltet,
- weitere Untersuchungen sowie eine Einschätzung zu den Rückhaltepotenzialen durch ein optimiertes Staustufenmanagement und
- eine Zusammenstellung des Sachstands und der Ergebnisse der bisherigen Grundwasseruntersuchungen, die Polder Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof betreffend.

## 2 Untersuchungskonzept

Für die weitergehenden Untersuchungen wurde ein Untersuchungskonzept erarbeitet, das erforderliche vorbereitende Untersuchungen, die eigentlichen ergänzenden Wirkungsanalysen sowie die Einholung zusätzlicher Informationen umfasst. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die zur Erfüllung des in Kapitel 1 genannten Auftrags durchgeführten und überwiegend durch das LfU beauftragten Untersuchungen sowie die für diesen Bericht eingeholten zusätzlichen Informationen. In die weitergehenden Untersuchungen fließen demnach Beiträge von folgenden Beteiligten mit ein:

- Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU)
- Aquantec Gesellschaft für Wasser und Umwelt mbH
- Tractebel Hydroprojekt GmbH
- Technische Universität München (TUM)
- Wasserbauliche Infrastrukturgesellschaft mbH (WIGES), ehem. RMD Wasserstraßen GmbH
- SKI GmbH + Co. KG
- Wasserwirtschaftsämter Donauwörth, Ingolstadt und Regensburg (WWA DON/IN/R)
- Universität Kassel

In den nachfolgenden Unterkapiteln sind die einzelnen Bausteine der weitergehenden Untersuchungen näher erläutert.

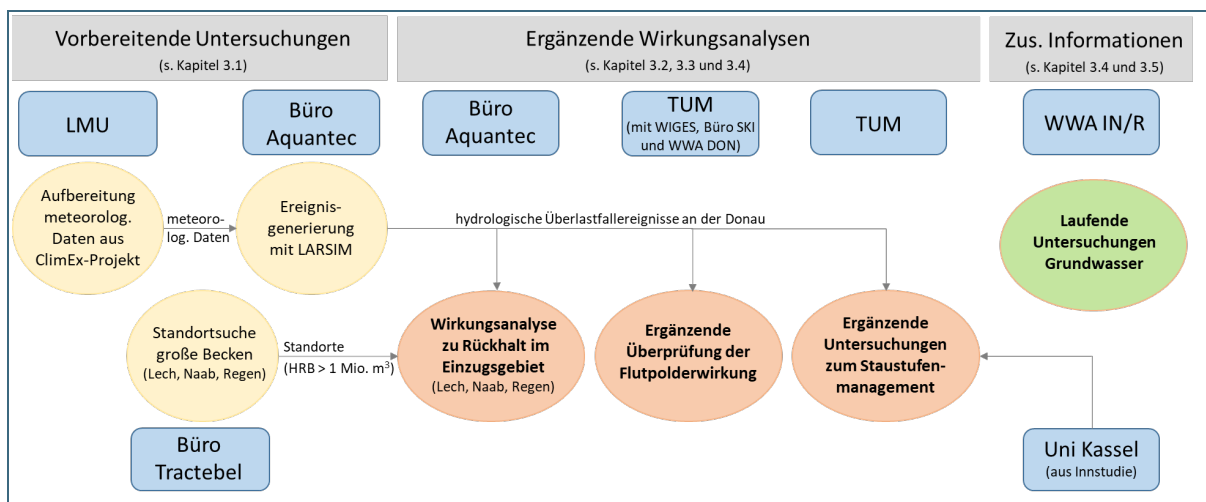


Abb. 2: Bausteine der weitergehenden Untersuchungen (gelbe Kreise: vorbereitende Untersuchungen; rote Kreise: ergänzende Wirkungsanalysen; grüner Kreis: im Planungsprozess bereits laufende Untersuchung; blaue Felder: mit der Ausführung der Untersuchungen beauftragte Universitäten, Unternehmen und Ämter)

### 2.1 Vorbereitende Untersuchungen

Sowohl die Untersuchung möglicher Rückhaltepotenziale an den maßgeblichen Seitenzuflüssen der Donau im Vergleich zu den in Frage gestellten Flutpoldern als auch die ergänzende Überprüfung der Flutpolderwirkung sollten für ein größeres Spektrum an Hochwasserereignissen erfolgen. Voraussetzung für solche Ereignisse ist, entsprechend dem Einsatzkriterium für die Flutpolder, dass mindestens in einem Donauabschnitt ein Überlastfall vorliegt.

In den letzten Jahrzehnten wurden solche Hochwasserereignisse an der Donau beim Pfingsthochwasser 1999 mit Deichbruch in Neustadt und beim Junihochwasser 2013 mit Deichbrüchen bei Deggen-

dorf beobachtet. Diese Ereignisse wurden bereits für die bisherigen Untersuchungen zur Flutpolderwirkung verwendet. Um eine breitere Datenbasis für die Wirkungsanalysen zu erhalten, mussten weitere hydrologische Ereignisse synthetisch generiert werden. Für die Untersuchungen wurden zum einen die Abflüsse für die Donau selbst benötigt, um die Flutpolderwirkung am Gewässerlauf der Donau zu untersuchen, zum anderen aber auch die Abflüsse an den maßgeblichen Seitenzuflüssen der Donau und deren weiteren Verästelungen im jeweiligen Einzugsgebiet, um die Wirkung der dort örtlich verteilt liegenden potenziellen Rückhaltungsmöglichkeiten zu untersuchen.

Als Grundlage für die synthetisch generierten Ereignisse wurde das Klimasimulations-Ensemble aus dem ClimEx-Forschungsprojekt der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU, Department of Geography; Prof. Dr. Ralf Ludwig) verwendet [3]. Das Ensemble umfasst jeweils 50 Läufe des international in der Wissenschaft etablierten und vielfach genutzten CRCM5-Klimamodells von 1950 bis 2100 für weite Teile Mitteleuropas. Da jeder dieser Läufe mit leicht veränderten Startbedingungen initialisiert wurde, kann das Ensemble als Abbild natürlicher Variabilität für den Zeitraum 1950 bis 2100 angesehen werden. Mit dem Ensemble liegt demzufolge eine theoretische Zeitreihe von 7.500 Modelljahren (50 Läufe über 150 Jahre) vor mit konsistenten Niederschlagsdaten und allen anderen relevanten klimatischen Größen (z. B. Temperatur und Luftfeuchtigkeit). Im ClimEx-Forschungsprojekt sind mit diesen Klimadaten über die gesamte theoretische Zeitreihe und für das gesamte hydrologische Bayern Simulationen mit dem physikalisch basierten hydrologischen Modell WaSiM durchgeführt und dabei auch Extremereignisse wie Hochwasser ausgewertet worden. Allerdings liegen Abflussdaten nur für ausgewählte Pegel vor, wodurch diese für die geplanten Untersuchungen nicht direkt verwendbar waren, aber erlaubten, passende Ereigniszeiträume auszuwählen, in denen entlang der Donau sehr große Abflüsse auftreten. Für die weitergehenden Untersuchungen wurde aus der Gesamtzeitreihe der Zeitraum 1981 bis 2050 verwendet, da dieser weitestgehend den aktuellen Zustand, noch ohne die weitreichenden Einflüsse des Klimawandels in der fernen Zukunft, repräsentiert.

Um geeignete hydrologische Grundlagen für die Wirkungsanalysen zu erhalten, war die Vergabe folgender Voruntersuchungen erforderlich:

### **Aufbereitung meteorologischer Daten aus ClimEx-Projekt**

Aus dem ClimEx-Projekt wurden für geeignete Ereigniszeiträume, in denen in den WaSiM-Simulationen an der Donau sehr große Hochwasserereignisse auftreten, die meteorologischen Daten selektiert und so aufbereitet, dass sie als Antriebsdaten für hydrologische Simulationen, die das ganze Untersuchungsgebiet abdecken, verwendet werden konnten.

Die Arbeiten wurden von der LMU von September 2019 bis Dezember 2019 durchgeführt. Eine ausführlichere Beschreibung der Untersuchung (Vorgehen, Ergebnisse) kann Kapitel 3.1.1 entnommen werden.

### **Ereignisgenerierung mit LARSIM**

Die für die Wirkungsanalysen benötigten Zuflüsse in die Donau und Abflüsse in den untersuchten Seiteneinzugsgebieten und deren Verästelungen wurden auf Basis der vorgenannten meteorologischen Antriebsdaten mit den hydrologischen LARSIM-Wasserhaushaltsmodellen erzeugt, die in der Wasserwirtschaftsverwaltung in der operationellen Hochwasservorhersage verwendet werden. Dabei wurde aus Niederschlagsdaten und weiteren meteorologischen Einflussgrößen (zum Beispiel Temperatur, Luftfeuchtigkeit) der Abfluss im bayerischen Donaueinzugsgebiet bis zur Innmündung modelliert.

Die Arbeiten wurden von der Aquantec Gesellschaft für Wasser und Umwelt mbH von Januar 2020 bis August 2020 durchgeführt. Eine ausführlichere Beschreibung der Untersuchung (Vorgehen, Ergebnisse) kann Kapitel 3.1.2 entnommen werden.

Zudem waren an den maßgeblichen Seitenzuflüssen der Donau größere Rückhaltemöglichkeiten zu identifizieren, deren Wirkung mit den Flutpolderstandorten Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof verglichen werden sollte. Als maßgebliche Seitenzuflüsse wurden diejenigen Zuflüsse definiert, die in den Donauabschnitten, in denen diese Flutpolder liegen, einen Überlastfall maßgeblich prägen können. Dies sind für den Donauabschnitt II vor allem der Lech und für den Donauabschnitt III vor allem Naab und Regen. Diese münden jeweils oberstrom der Standorte Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof in die Donau, weshalb ein Rückhalt dort am ehesten einer Wirkung der Flutpolder entsprechen könnte.

Hierfür war die Vergabe einer weiteren Voruntersuchung erforderlich:

### **Standortsuche für große Hochwasserrückhaltebecken**

Mithilfe eines GIS-basierten Verfahrens sollten für die Einzugsgebiete von Lech, Naab und Regen mögliche Standorte für große Rückhaltebecken mit einem Stauvolumen über 1 Mio. m<sup>3</sup> erhoben werden. Für die hydrologisch am ehesten auf die Donau wirksamen Becken sollten dann die Wirkungsanalysen durchgeführt werden.

Die Arbeiten wurden von der Tractebel Hydroprojekt GmbH von Januar 2020 bis August 2020 durchgeführt. Eine ausführliche Beschreibung der Untersuchung (Vorgehen, Ergebnisse) kann Kapitel 3.1.3 entnommen werden.

## **2.2 Ergänzende Wirkungsanalysen**

Auf den Grundlagen, die in den in Kapitel 2.1 aufgeführten Untersuchungen erarbeitet wurden, konnten anschließend die ergänzenden Wirkungsanalysen aufsetzen. Entsprechend dem in Kapitel 1 formulierten Auftrag wurden die nachfolgenden Untersuchungen vergeben:

### **Wirkungsanalyse zu Rückhalt im Einzugsgebiet Lech, Naab und Regen**

Mit modellbasierten Wirkungsanalysen in LARSIM wurde untersucht, ob große Becken an den maßgebenden Seitenzuflüssen eine vergleichbare Wirkung wie die drei Flutpolder Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof auf den Hochwasserscheitel der Donau bei Überlastfallereignissen haben können.

Über eine Voranalyse wurden aus den in der Standortsuche identifizierten möglichen Beckenstandorten im Lech-, Naab- und Regengebiet die hydrologisch sinnvollsten Standorte ermittelt und in die LARSIM-Modelle implementiert.

Für einzelne Becken oder Beckenkombinationen wurden anschließend die Wirkungsanalysen durchgeführt. Die Becken(-kombinationen) wurden jeweils so angesetzt, dass deren Rückhaltevolumina dem Volumen des Flutpolders Bertoldsheim bzw. dem Gesamtvolumen der Flutpolder Eltheim und Wörthhof entspricht. Wirkungsanalysen mit jeweils dem doppelten Volumen komplettierten die Untersuchungen. Als hydrologische Szenarien wurden aus den synthetisch generierten Hochwasserereignissen solche verwendet, die im jeweils unterstrom liegenden Donauabschnitt einen Überlastfall verursachen. Die Wirkungen der Becken in den seitlichen Einzugsgebieten auf die Donau wurden mit der Wirkung der in Frage gestellten Flutpolder an einem unterstrom liegenden Auswertequerschnitt verglichen.

Die Arbeiten wurden ebenfalls von der Aquantec Gesellschaft für Wasser und Umwelt mbH von Juli 2020 bis November 2020 durchgeführt. Eine ausführlichere Beschreibung der Untersuchung (Vorgehen, Ergebnisse) kann Kapitel 3.2 entnommen werden.



## Ergänzende Überprüfung der Flutpolderwirkung

Als Grundlage für die Konzeption und Umsetzung des Flutpolderprogramms an der Donau wurden bereits umfangreiche Machbarkeitsstudien und Wirkungsanalysen vom Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TUM unter Verwendung von hydronumerischen 2D-Modellen der Donau erstellt (siehe auch Anhänge 1 und 2 Teil 1 der Bedarfsermittlung). Die ergänzende Überprüfung der Flutpolderwirkung ist somit als eine konsequente Fortführung bzw. Komplettierung der Vertieften Wirkungsanalyse der TUM [4] zu sehen, vor allem hinsichtlich der Wirkung der Standorte Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof.

Die Untersuchungen der TUM zur Vertieften Wirkungsanalyse beinhalteten unter anderem Kombinationswirkungsanalysen für ein größeres Hochwasserereignis (Szenario  $HQ_{100}+15\%$ ). Für den Donauabschnitt III (Naab-/Regen- bis Isarmündung) wurden damals keine 2D-Simulationen, sondern vereinfachend theoretische Volumenbetrachtungen durchgeführt, die auch nur die Flutpolderwirkung bis Straubing umfassten. Da die Planungen zum Hochwasserschutz Straubing–Vilshofen nun einen konkreteren Stand aufweisen (Planfeststellungsverfahren für Teilabschnitt 1 zwischen Straubing und Deggendorf abgeschlossen und erste Bauabschnitte bereits in der Umsetzung, Teilabschnitt 2 zwischen Deggendorf und Vilshofen derzeit im Verfahren), wurden im Rahmen dieser ergänzenden Überprüfung mit den 2D-Modellen der TUM (bis Straubing) und WIGES (Straubing bis Achleiten für den Ausbauzustand Donauausbau) entsprechende modellgestützte Kombinationswirkungsanalysen im Donauabschnitt III und IV für das Szenario  $HQ_{100}+15\%$  ab der Regenmündung und für einen weiteren Überlastfall unterhalb der Isar durchgeführt.

Mit zusätzlichen 2D-Simulationen im Donauabschnitt III und IV unter Nutzung von synthetischen Ereignissen (vgl. Kapitel 2.1) wurde eine breitere Datenbasis geschaffen, um insbesondere die Interaktionen zwischen den Flutpoldern und den (ungesteuerten) Rückhalteräumen im Bereich Straubing–Vilshofen bei größeren Hochwasserereignissen und damit die Veränderung der Flutpolderwirkung über diese Strecke zu beleuchten.

Schließlich wurden auch Wirkungsanalysen mit 2D-Simulationen über mehrere Donauabschnitte mit synthetischen Ereignissen, die vor allem in den Donauabschnitten II ab Lechmündung und III ab Naab-/Regenmündung großräumige Überlastfälle darstellen, durchgeführt, um die Gesamtwirkung der geplanten Flutpolderkette an der Donau darzustellen. Dazu wurde im Donauabschnitt I das großräumige detaillierte 2D-Modell aus der Erstellung der Raumordnungsunterlagen zum Hochwasserschutz Aktionsprogramm Schwäbische Donau eingesetzt. Über einen Vergleich mit und ohne die Flutpolder Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof wurde deren Wirkungsanteil entlang der Donau detailliert ermittelt.

Die Arbeiten wurden vom Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TUM unter Zuarbeit der WIGES (2D-Modellierung Straubing bis Achleiten) sowie des WWA DON bzw. der SKI GmbH + Co. KG (2D-Modellierung Bereich Schwäbische Donau) von November 2019 bis November 2020 durchgeführt. Eine ausführlichere Beschreibung der Untersuchung (Vorgehen, Ergebnisse) kann Kapitel 3.3 entnommen werden.

## Ergänzende Untersuchungen zum Staustufenmanagement

Für die Staustufenkette an der Donau wurde in der Vertieften Wirkungsanalyse der TUM (siehe auch Anhang 2 Teil 2 der Bedarfsermittlung) das theoretische Potenzial einer Beeinflussung des Hochwasserablaufs für die Lastfälle  $HQ_{100}$  und  $HQ_{100}+15\%$  im jeweiligen Donauabschnitt untersucht und die Einschränkungen bei der Nutzung dieses Potenzials beschrieben.

Im Rahmen der ergänzenden Untersuchungen wurde zusätzlich eine in den Flutpolderdiskussionen vorgebrachte umfangreiche Vorabsenkung der Staustufen im Donauabschnitt III (Geisling und



Straubing) als theoretische Maßnahme in ihrer Wirkung überprüft. Zudem wurde auch das Potenzial eines vorgeschalteten Einsatzes der Staustufenkette im Donauabschnitt I bei einem Ereignis, das erst unterhalb der Lechmündung einen Überlastfall aufweist, untersucht. In diesem Fall wird mit den Staustufen (ähnlich wie bei einem vorgeschalteten Einsatz eines Flutpolders) bei einem lokal eher kleinerem Hochwasser eine Abflusssenke in die Hochwasserwelle gefahren, die sich mit der maßgebenden Lechwelle möglichst günstig überlagern soll und somit zu einer Reduzierung des Überlastfalls im Donauabschnitt II führt.

Die Arbeiten wurden ebenfalls vom Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TUM von November 2019 bis November 2020 durchgeführt. Eine ausführlichere Beschreibung der Untersuchung (Vorgehen, Ergebnisse) kann Kapitel 3.4 entnommen werden.

## **2.3 Zusätzliche Informationen**

Ergänzende Informationen wurden aus den folgenden derzeit laufenden Untersuchungen eingeholt:

### **Laufende Untersuchungen zum Grundwasser**

Um die Auswirkungen der geplanten Flutpolder an der Donau auf das Grundwasser zu ermitteln, sind an allen Standorten im Rahmen der laufenden Planungen numerische Grundwassermodelle aufgestellt worden. Der aktuelle Stand der Grundwassermodellierung an den in Frage gestellten Flutpolderstandorten Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof wurde von den Wasserwirtschaftsämtern Ingolstadt und Regensburg eingeholt. Der aktuelle Sachstand kann Kapitel 3.5 entnommen werden.

### **Erfahrungen zum Staustufenmanagement aus der laufenden Innstudie**

Zusätzlich zu den ergänzenden Wirkungsanalysen der TUM wurden auch aktuelle Informationen aus der derzeit laufenden Innstudie, bei der in einem Teilprojekt auch das Potenzial eines optimierten Staustufenmanagements zur Beeinflussung des Hochwasserablaufs durch die Uni Kassel untersucht wird, berücksichtigt. Hierfür wurde eine Stellungnahme der Universität Kassel, Prof. Theobald, der das Teilprojekt der Innstudie bearbeitet, eingeholt. Die Ergebnisse sind auch im Kapitel 3.4 beschrieben.

## 3 Vorgehen und Ergebnisse der Einzeluntersuchungen

Nachfolgend werden das Vorgehen und die Ergebnisse der Einzeluntersuchungen zusammenfassend beschrieben.

### 3.1 Vorbereitende Untersuchungen

#### 3.1.1 Aufbereitung meteorologischer Daten aus ClimEx-Projekt

##### Vorgehen

Das LfU kann für das in ClimEx verwendete hydrologische WaSiM-Modell nicht die gleiche Aktualität, Detailliertheit und geeignete Kalibrierung versichern wie für die eigenen, in der Hochwasservorhersage verwendeten und stets aktualisierten LARSIM-Modelle. Weiterhin sind für die komplexen Untersuchungen Abflussausgaben an diversen spezifischen Punkten im gesamten Einzugsgebiet notwendig, die in WaSiM nicht hinterlegt sind. Zudem waren auch mehrere Änderungen am Modell (z. B. Einbau der alternativen Rückhalte im Seiteneinzugsgebiet) und wiederholte Simulationen, für die eine detaillierte Kenntnis des spezifischen Modells benötigt wird, wie sie dem LfU nur für die eigenen Modelle vorliegt, erforderlich. Daher wurden weder das WaSiM-Modell noch die damit ermittelten Abflussdaten, sondern die Klimadaten aus ClimEx als Antrieb für die eigenen LARSIM-Modelle zur Erzeugung der hydrologischen Ereignisse und für die Wirkungsanalysen in den Seiteneinzugsgebieten der Donau verwendet.

Zur Aufbereitung der Klimadaten für die Untersuchungen war es zunächst erforderlich, anhand der in WaSiM ermittelten Abflüsse aus den mehreren tausend Modelljahren geeignete kurze Zeiträume mit repräsentativen extremen Niederschlagsereignissen auszuwählen, die an der Donau zu Überlastfallereignissen führen können. Die identifizierten Ereigniszeiträume wurden aus dem Klima-Ensemble ausgeschnitten. Dabei wurde vor dem jeweiligen Monat, in dem das extreme Niederschlagsereignis auftritt, eine Vorlaufzeit von mindestens einem ganzen hydrologischen Jahr, beginnend am 1. November, berücksichtigt, um ein Einschwingen der LARSIM-Modelle zu erlauben. Ebenso wurde eine Nachlaufzeit von einem Monat berücksichtigt. Die meteorologischen Größen wie Niederschlag, Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder Globalstrahlung wurden im CRCM5-Klimamodell in dreistündiger Auflösung ermittelt. Die LARSIM-Modelle werden jedoch mit Parametern in zeitlich höherer, einstündiger Auflösung angetrieben. Die LMU ermittelte für jeden der Parameter die optimale Desaggregationsmethode und erhöhte damit die zeitliche Auflösung der Eingangsdaten auf eine Stunde. Als zusätzliche Hintergrundinformation wurde für die ausgewählten Ereignisse ermittelt, ob sie eher langanhaltenden advektiven Ereignissen oder kurzen Regenereignissen mit hoher Intensität zuzuordnen sind, wie der Niederschlag räumlich verteilt ist und wie groß der Anteil der Schneeschmelze am Abfluss ist.

##### Ergebnisse

Aus dem ClimEx-Klimasimulations-Ensemble wurde für die vorliegenden Untersuchungen nur der Zeitraum von 1981 bis 2050 (70 Jahre in 50 parallelen Simulationen des Clusters, entsprechend 3.500 Modelljahre) verwendet, da er weitestgehend den aktuellen Zustand, noch ohne die weitreichenden Einflüsse des Klimawandels in der fernen Zukunft, repräsentiert. In diesem Zeitraum wurden die jeweils 150 größten Abflüsse an den sieben in den hydrologischen WaSiM-Simulationen in ClimEx berücksichtigten Donaupegeln (Neu-Ulm, Donauwörth, Ingolstadt, Kelheimwinzer, Schwabelweis, Hofkirchen und Achleiten) identifiziert. Statistisch betrachtet sollte an jedem Pegel im betrachteten Zeitraum von 3.500 Modelljahren theoretisch 35 Mal ein Abfluss größer  $HQ_{100}$  auftreten. Um möglichen Differenzen im Abfluss zwischen dem WaSiM- und LARSIM-Modell Rechnung zu tragen, die besonders aufgrund der unterschiedlichen Kalibrierung möglich sind, wurde eine deutlich größere Auswahl als Grundlage gewählt.

Da häufig an mehreren Pegeln gleichzeitig große Abflüsse auftreten, ergaben sich mit den jeweils 150 größten Ereignissen pro Donauepegel insgesamt 321 individuelle Niederschlagsereignisse, die entlang der Donau größere Hochwasserabflüsse erzeugen. Für diese Ereignisse wurden die oben genannten Zeiträume einschließlich Einschwingphase und Nachlaufzeit aus dem ClimEx-Ensemble ausgeschnitten. Diese meteorologischen Antriebsdaten für die LARSIM-Modelle wurden in einstündiger zeitlicher Auflösung und 12,5 x 12,5 km räumlicher Auflösung in dem in ClimEx verwendeten NetCDF-Datenformat flächendeckend für das gesamte Donaueinzugsgebiet für die weiteren Untersuchungen bereitgestellt. Als zusätzliche Hintergrundinformation wurde die Einordnung der Ereignisse nach ihrer Niederschlagsintensität und dem räumlichen Niederschlagsschwerpunkt sowie dem Schneeschmelzanteil am Abfluss übergeben.

### 3.1.2 Ereignisgenerierung mit LARSIM

#### Vorgehen

Für die weitergehenden Untersuchungen wurden die Abflüsse in den untersuchten Seiteneinzugsgebieten und deren Verästelungen sowie die Hochwasserwellen entlang der Donau benötigt. Um diese zu generieren, wurden die hydrologischen LARSIM-Wasserhaushaltsmodelle der operationellen Hochwasservorhersage verwendet, da diese Modelle durch ihre kontinuierliche Anwendung stets gepflegt werden und sofort einsatzfähig waren. Zudem besteht für diese Modelle die notwendige Erfahrung und Detailkenntnis, die für die komplexen Wirkungsanalysen notwendig war. Sie wurden mit den ausgewählten meteorologischen Eingangsdaten aus ClimEx (vgl. Kapitel 3.1.1) angetrieben. Der aus Baden-Württemberg kommende Donauabfluss wurde den Modellen als Abflussganglinie aus den WaSiM-Simulationen aus ClimEx eingespielt, da für diesen Bereich des Einzugsgebiets keine eigenen LARSIM-Modelle vorlagen und die Ergebnisse aus WaSiM an diesem Punkt hydrologisch ausreichend verlässlich waren.

Für die flächendeckende Simulation der Abflüsse und auf Grund der großen Anzahl an Ereignissen war es zunächst notwendig, die sechs LARSIM-Teilmodelle, die das Einzugsgebiet (EZG) der bayerischen Donau bis zur Innmündung abdecken, zu koppeln und eine automatisierte Abarbeitung zu etablieren, da oftmals die Abflüsse eines Modells als Zuflüsse in dem nächsten Modellteil benötigt werden. Die Ereignisanzahl erforderte zudem die Entwicklung einer plausiblen automatisierten Steuerung für den Förggensee und den Sylvensteinspeicher, anstelle der im operationellen Betrieb ans Ereignis adaptierten Steuerung, wie sie im Hochwasservorhersagemodell manuell bei jedem Ereignis eingetragen wird. Weiterhin wurde das NetCDF-Datenformat der vorliegenden meteorologischen Daten aus ClimEx in das LILA-Eingangsdatenformat für LARSIM konvertiert.

Anschließend wurden zunächst 20 der 321 ausgewählten Ereignisse (vgl. Kapitel 3.1.1) in LARSIM simuliert, zur Beurteilung der Abweichungen zwischen den in LARSIM erzeugten Abflüssen im Vergleich zu denen aus WaSiM. Das WaSiM-Modell in ClimEx wurde automatisch kalibriert und hat nicht den Anspruch, die Realität flächendeckend möglichst genau wiederzugeben. Ziel der WaSiM-Kalibrierung war es, die Unterschiede zwischen dem vergangenen und dem künftigen Klima auf großer Einzugsgebietsebene auszuwerten. Die verwendeten LARSIM-Modelle sind hingegen gebietsspezifisch auch für kleinere Einzugsgebiete detailliert manuell kalibriert worden und berücksichtigen die Besonderheiten der Gebiete möglichst nahe an der Beobachtung. Dadurch zeigten sich erwartungsgemäß orts- und ereignisabhängig Abweichungen zwischen den Abflüssen der beiden Modelle. Auf Grundlage des Modellvergleichs konnte anschließend eine Auswahl von insgesamt 120 der 321 Ereignissen getroffen werden, die in den verschiedenen Abschnitten entlang der Donau Überlastfallereignisse enthalten sollten. Für diese 120 Ereignisse wurde der gesamte Zeitraum der einjährigen Einschwingphase sowie die Zeit bis zum Eintreten des Ereignisses im anschließenden hydrologischen Jahr, der Monat des Ereignisses und ein Monat Nachlaufzeit in LARSIM simuliert.

Mit Vorliegen dieser größeren Datengrundlage an 120 in LARSIM simulierten Ereignissen zeigte sich, dass sehr große Abflüsse (Überlastfälle) in den LARSIM-Ergebnissen an einigen Donauegeln, vor allem oberhalb Ingolstadt, stark überrepräsentiert waren, an anderen Donauegeln, vor allem unterhalb Regensburg, dagegen deutlich unterrepräsentiert. Ziel des ClimEx-Projektes war wie oben erläutert, basierend auf relativen Vergleichen zwischen den Ereignissen, die Analyse und Bewertung der natürlichen Variabilität von Niederschlags- und Abflussereignissen sowie deren zukünftigen Änderungen aufgrund des Klimawandels. Eine absolut korrekte Abbildung der Niederschlagsintensitäten oder Abflüsse und deren Einordnung in die bestehende Statistik der Eintrittswahrscheinlichkeit und Jährlichkeit war demnach für das ClimEx-Projekt nicht von höchster Priorität. Im Gegensatz dazu ist für die weitergehenden Wirkungsanalysen aber die – bezogen auf die aktuell gültige Pegelstatistik – plausible Abbildung mittlerer und seltener Hochwasserereignisse entscheidend. Genauere Analysen des ClimEx-Datensatzes zeigten, dass aufgrund verschiedener modellbedingter Einflüsse im Klimamodell in einigen Teilgebieten der modellierte Niederschlag und der daraus entstehende Abfluss zu hoch, in anderen Teilgebieten zu niedrig war und sich nicht in die aus Beobachtungen und statistischer Analyse abgeleiteten Gesetzmäßigkeiten einordnen lässt. Beispielsweise führte die geringe Dichte an Niederschlagsmessstationen im alpinen Bereich dort zu einer Unterschätzung der Niederschläge im ClimEx-Datensatz. Mit den gewonnenen Erkenntnissen ließen sich teileinzugsgebietspezifische Faktoren ableiten, mit denen die Niederschlagsdaten aus ClimEx so korrigiert werden konnten, dass sie die natürliche Variabilität der entstehenden Abflüsse auf Basis der gültigen Pegelstatistik wiedergeben. 88 Ereignisse wurden mit diesen korrigierten Eingangsdaten neu berechnet. Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Verbesserung der statistischen Übereinstimmung dieser Abflüsse. Entlang der Donau sind in dieser Auswahl in allen Abschnitten in etwa so viele repräsentative Hochwasserereignisse vertreten, wie statistisch erwartet.

Unerwartete zeitliche Herausforderungen ergaben sich in der Projektbearbeitung vor allem daraus, dass das gesamte Vorgehen als Pilotprojekt angesehen werden kann und so und in diesem Umfang noch nie durchgeführt wurde. Der ClimEx-Datensatz war hinsichtlich Datenmengen, Datenformat und Anwendungsziel für die Wirkungsanalysen neu, was Nachbesserungen an den Eingangsdaten für die Untersuchungen erforderlich machte. Auch der gekoppelte einzugsgebietsweite Einsatz für die automatisierte Berechnung einer großen Vielzahl langer Ereigniszeiträume, inklusive der Berücksichtigung plausibler automatisierter Speichersteuerungen, entspricht nicht der aktuell üblichen Anwendung der LARSIM-Modelle.

## Ergebnisse

Die 88 mit korrigierten Eingangsdaten berechneten Hochwasserereignisse bildeten die Grundlage für die Auswahl der synthetisch generierten Ereignisse, mit denen die Untersuchung möglicher Rückhaltetpotenziale an den maßgeblichen Seitenzuflüssen der Donau (vgl. Kapitel 3.2) sowie die 2D-hydraulische Überprüfung der Flutpolderwirkung an der Donau (vgl. Kapitel 3.3) durchgeführt wurden. Sie stellen einen in LARSIM für das betrachtete Donauegebiet simulierten Strauß repräsentativer Abflussereignisse auf Basis der synthetischen Niederschlagsereignisse aus der ClimEx-Klimasimulation dar und bilden so die natürliche Variabilität großer Abflussereignisse an der Donau nach. An den einzelnen Pegeln entlang der Donau treten in dieser Auswahl in etwa so viele repräsentative Überlastfallereignisse auf, wie statistisch erwartet (etwa 35 Ereignisse über  $HQ_{100}$  aus 3.500 Modelljahren Datengrundlage). Auch hier treten naturgemäß häufig an mehreren Pegeln gleichzeitig große Abflüsse auf. Bei 72 der 88 Ereignisse tritt mindestens an einem Donauegel ein Abfluss über  $HQ_{100}$  auf.

Für die Wirkungsanalyse zum Rückhalt in den Einzugsgebieten (EZG) von Lech und Naab/Regen (vgl. Kapitel 3.2) wurden hieraus jeweils 10 Ereignisse ausgewählt, um die Wirkung bei einer Bandbreite verschiedenartiger Ereignisse darstellen zu können. Wichtig war dabei, dass an der Donau im

Bereich unterhalb der Mündungen der Seitenzuflüsse, als Einsatzkriterium für die Flutpolder, ein Überlastfall droht. Gleichzeitig sollten an der Donau nicht übermäßig große Abflüsse auftreten, welche die in Frage gestellten Flutpolder alleine übermäßig überlasten und einen Einsatz mehrerer Flutpolder notwendig machen würden.

Dementsprechend wurden für das Lechgebiet Ereignisse gewählt, bei denen in Ingolstadt ein Scheitelabfluss zwischen rund 2.000 m<sup>3</sup>/s und rund 2.500 m<sup>3</sup>/s auftritt (entsprechend knapp HQ<sub>100</sub> bis etwa HQ<sub>500</sub>). Weiterhin wurde darauf geachtet, dass der Scheitelabfluss in Donauwörth ein HQ<sub>100</sub>+15%, was dem Einsatzkriterium der Flutpolder im schwäbischen Donauabschnitt entspricht und dort einen lokalen Flutpoldereinsatz erfordern würde, nicht deutlich übersteigt. Die selektierten Ereignisse im Lecheinzugsgebiet weisen hinsichtlich Niederschlagsschwerpunkt im Einzugsgebiet, Intensität und Schneeschmelzanteil eine unterschiedliche Charakteristik auf. Zudem wurden zwei Ereignisse gewählt, die am Lech einen geringen Abfluss aufweisen, um Donauhochwasser zu berücksichtigen, bei denen der Lech die Hochwasserwelle nicht maßgeblich mitprägt.

Für das Naab-/Regengebiet wurden Ereignisse ausgewählt, die in Schwabelweis im Scheitel den Abfluss von 3.400 m<sup>3</sup>/s (HQ<sub>100</sub> als Einsatzkriterium der Flutpolder) in etwa erreichen oder darüberliegen. Zudem sollte in Kelheimwinzer kein zu großer Abfluss auftreten, um auch dort keinen lokalen Flutpoldereinsatz notwendig zu machen. Die gewählten Ereignisse repräsentieren ebenfalls verschiedenartige Charakteristika hinsichtlich Abflussschwerpunkt (Naab- oder Regengebiet), Eintrittszeitpunkt der Scheitel und Entstehungscharakteristik sowie Beitrag zum Hochwassergeschehen an der Donau.

Die in der ergänzenden Überprüfung der Flutpolderwirkung hieraus verwendeten synthetisch generierten Ereignisse sind in Kapitel 3.3 (Ergebnisse) tabellarisch aufgeführt und teilweise zur Veranschaulichung der Wirkung und Wirksamkeit der Retentionsmaßnahmen an der Donau näher erläutert.

### 3.1.3 Standortsuche für große Hochwasserrückhaltebecken

Rückhaltestandorte, deren Wirkung mit der Wirkung der drei in Frage gestellten Flutpolder an der Donau verglichen werden kann, wurden in den Einzugsgebieten von Lech, Naab und Regen untersucht. Diese Seitenzuflüsse münden kurz oberhalb der Standorte Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof in die Donau und sind maßgebend für einen Überlastfall im jeweiligen Donauabschnitt. Nachfolgend ist dargestellt, wie potenziell noch verfügbare große Rückhaltungsmöglichkeiten in den drei Einzugsgebieten als Grundlage für den Wirkungsvergleich identifiziert wurden.

#### Vorgehen

Für den Wirkungsvergleich mit den Flutpoldern Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof sollten keine rein fiktiven, sondern auf Grund von Topographie und vorliegender Nutzung potenziell noch verfügbare Rückhaltestandorte in den Einzugsgebieten von Lech, Naab und Regen untersucht werden. Die Standorte wurden mittels einer einzugsgebietsweiten GIS-basierten Suche identifiziert. Dabei wurden potenzielle neue Standorte im Hauptschluss (im Gewässerlauf liegend und unmittelbar durchflossen) und im Nebenschluss (seitlich neben dem Gewässer angeordnet und über Zuleitungskanäle, Streichwehre o. ä. gefüllt und über Auslassbauwerke entleert) sowie Erweiterungsmöglichkeiten bestehender großer Speicher berücksichtigt.

Anders als im üblichen räumlich begrenzten Planungsprozess, in dem oberhalb eines bestimmten Schadenspotenzials oder Schutzobjektes ein geeigneter Standort für ein Hochwasserrückhaltebecken gesucht wird, wurde in dieser Studie zunächst das gesamte Einzugsgebiet als Suchraum betrachtet. Ausgeschlossen wurden lediglich die Bereiche, die als besonders große Hindernisse (Restriktionen) einer Nutzung für den Hochwasserschutz entgegenstehen oder hydrologische Mindestanforderungen

für ein wirksames Hochwasserrückhaltebecken nicht gewährleisten. Diese Restriktionen sind folgende:

- Einzugsgebiet am Sperrenstandort mindestens 10 km<sup>2</sup>
- Kein Einstau von Siedlungsflächen (davon ausgenommen sind Einzelobjekte und einzelne Gehöfte mit einer Fläche von weniger als 1 ha)
- Kein Einstau von übergeordneten Verkehrswegen (Autobahnen, Bundesstraßen, Eisenbahnlinien)

Für die Klassifikation der Restriktionsflächen und den Abgriff ihrer Höhenlage wurde der ATKIS-Basis-DLM25-Datensatz und ein digitales Geländemodell mit 5 x 5 m räumlicher Auflösung verwendet. An Lech und Wertach wurde zudem auf die Überlagerung mit den bestehenden Staustufenketten verzichtet. Ebenso wurde keine Überlagerung mit bestehenden großen Talsperren zugelassen. Diese wurden separat auf Erweiterungsmöglichkeiten untersucht. Als Mindestanforderung und Begrenzung für die identifizierten Becken wurden folgende Kriterien festgelegt:

- Rückhalteraum: mindestens 1 Mio. m<sup>3</sup> (Mindestgröße für Klassifizierung als große Becken gemäß DIN 19700-12)
- Maximale Stauhöhe für Becken im Hauptschluss: 30 m (Erfahrungswert für Trockenbecken ohne Teildauerstau)  
Maximale Stauhöhe für Becken im Nebenschluss: 13 m (im Einklang mit vergleichbaren Untersuchungen)

Für die Identifikation von Becken im Hauptschluss wurde auf dem gesamten Gewässernetz eines Einzugsgebiets, außerhalb der oben genannten Restriktionsbereiche, alle 250 m ein fiktiver Sperrenstandort für ein Hochwasserrückhaltebecken gesetzt. Anschließend wurde überprüft, welches Volumen an jedem Standort zurückgehalten werden kann, bis der Wasserstand die Höhe einer der oben genannten Restriktionen (z. B. Rand einer Siedlungsfläche) oder die maximal zulässige Einstauhöhe erreicht. Standorte, in denen so nicht mindestens 1 Mio. m<sup>3</sup> zurückgehalten werden können, wurden verworfen. Durch die Ausdehnung der Stauräume hinter den fiktiven Sperrenstandorten ergeben sich methodisch bedingt Standorte, die direkt nacheinander liegen und sich gegenseitig überlagern können. In diesen Fällen wurde jeweils der Standort mit dem größten möglichen Rückhaltevolumen ausgewählt.

Für die Identifikation von Becken im Nebenschluss wurden, wie bei den Flutpoldern an der Donau, nur Bereiche hinter bestehenden Dämme und Deiche betrachtet. Für diese wurde – analog zu den Becken im Hauptschluss – bestimmt, welches Volumen darin zurückgehalten werden kann, bis die Höhenlage einer Restriktion oder die maximal zulässige Stauhöhe erreicht wird. In Gebieten mit langen Dammtrassen, wie zum Beispiel am unteren Lech, sind so auch mehrere Nebenschlussbecken parallel zum Fluss in direkter Abfolge möglich. Für Becken im Nebenschluss stellt der Wasserstand im Gewässer, von dem aus sie beschickt werden, eine zusätzliche Randbedingung dar. Der Wasserstand im Nebenschlussbecken kann maximal so hoch ansteigen, wie der Wasserstand im Gewässer am Einlassbauwerk, bei dem das Becken gefüllt wird. Daher wurde der Wasserstand bei HQ<sub>100</sub> an einem günstigen Ausleitungspunkt für jedes Nebenschlussbecken bestimmt und als weiteres Höhenkriterium berücksichtigt. Bei Nebenschlussbecken sind seitliche Begrenzungsdämme zugelassen, wo keine natürliche Hanglage oder Restriktion die Stauffläche begrenzt.

Bei bestehenden großen Speichern wurde überprüft, ob das aktuell gültige Hochwasserstauziel Z<sub>H</sub> weiter erhöht werden könnte, bis der Wasserstand eine der oben genannten Restriktionen erreicht.



Es wird darauf hingewiesen, dass es sich bei der Standortidentifikation um eine Potenzialermittlung und keine detaillierte örtliche Planung handelt. Aufgrund der großflächigen Betrachtung war es notwendig, ein einheitliches Verfahren für die gesamten Einzugsgebiete mit grobgefassten Restriktionskriterien anzuwenden, das spezielle örtliche Belange und Unterschiede nicht detailliert berücksichtigen kann. Beispielsweise eine Optimierung der Lage des Absperrbauwerkes und Planung der Baumaßnahmen, eine Kostenermittlung sowie eine detaillierte Konfliktermittlung und Bestimmung gegebenenfalls notwendiger Ausgleichsmaßnahmen kann im Rahmen dieser Untersuchung für die Vielzahl der ermittelten Standorte nicht geleistet werden. Die Restriktionskriterien und maximal zulässigen Stauhöhen wurden bewusst so gewählt, dass sie nicht von vornherein die Standorte zu sehr einschränken. Es ist möglich, dass an den einzelnen Standorten weitere Einschränkungen oder Konfliktpotenziale vorliegen, die einer Umsetzung entgegenstehen oder zumindest dazu führen können, dass bei einer Umsetzung nicht das gesamte, hier ermittelte Rückhaltevolumen erreicht werden könnte.

## Ergebnisse

### Standorte im Einzugsgebiet Lech

Gemäß der oben beschriebenen Methodik wurden im Einzugsgebiet des Lechs rund 1.900 potenzielle Sperrenstandorte für Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss identifiziert. Nach Anwendung der oben erläuterten Kriterien verbleiben 154 Standorte für potenziell mögliche Rückhaltebecken im Hauptschluss als Grundlage für die modellgestützten Wirkungsanalysen in LARSIM (Abb. 3). Aufgrund der langen Stauhaltungsdammtrassen an Lech und Wertach und ausreichend potenziell verfügbarem Raum in den dahinterliegenden breiten und flachen Vorländern konnten im Einzugsgebiet des Lechs auch 23 Standorte für Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss identifiziert werden, die das Mindestvolumen vom 1 Mio. m<sup>3</sup> erreichen: 19 Standorte liegen am Lech, 4 an der Wertach. Da hier methodisch bedingt keine Überlagerungen der Standorte entstehen, gehen alle identifizierten 23 Standorte als Grundlage in die Wirkungsanalysen ein (Abb. 4). Im Einzugsgebiet des Lechs wurden zudem der Grüntensee und der Forggensee auf mögliche Erweiterung ihrer Stauräume untersucht. Am Grüntensee könnte bei einer Erhöhung des aktuellen Hochwasserstauziels um rund 1,3 m das zurückhaltbare Volumen prinzipiell um rund 3,4 Mio. m<sup>3</sup> vergrößert werden, bis randlich Siedlungsgebiete größer ein Hektar tangiert werden. Am Forggensee ist keine Erhöhung möglich, ohne dass Siedlungsbereiche betroffen sind.

### Standorte im Einzugsgebiet Naab

Im Einzugsgebiet der Naab wurden rund 4.400 potenzielle Sperrenstandorte für Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss identifiziert. Nach Anwendung der oben erläuterten Kriterien verbleiben 347 Standorte für potenziell mögliche Rückhaltebecken im Hauptschluss als Grundlage für die modellgestützten Wirkungsanalysen in LARSIM (Abb. 5). Im Einzugsgebiet der Naab sind nur in wenigen und kurzen Gewässerabschnitten bestehende Deiche und Dämme vorhanden. Zudem stehen hier zumeist keine ausreichenden Flächen zwischen den Hochwasserschutzanlagen und der dahinterliegenden Bebauung zur Verfügung. So konnte nur ein Standort für ein Rückhaltebecken im Nebenschluss mit ausreichendem Volumen größer 1 Mio. m<sup>3</sup> identifiziert werden. Im Einzugsgebiet der Naab wurden zudem der Liebensteinspeicher, der Perlsee, der Silbersee und der Eixendorfer See auf mögliche Erweiterung ihrer Stauräume untersucht. Am Liebensteinspeicher wäre bis zum Erreichen des Siedlungsrandes der Ortslage Geisleithen prinzipiell eine Erhöhung des aktuellen Hochwasserstauziels um rund 7,8 m möglich und damit eine Vergrößerung des Rückhaltevolumens um rund 9,8 Mio. m<sup>3</sup>. Am Perlsee ist keine ausreichende Erhöhung möglich, um das zusätzliche Mindestvolumen vom 1 Mio. m<sup>3</sup> zu erreichen. Am Silbersee wäre, bis zum Erreichen des Siedlungsrandes der Ortslage Hammertiefenbach, eine Erhöhung um rund 5,2 m und damit eine Erweiterung des Stauraumes um rund 7,6 Mio. m<sup>3</sup> denkbar. Am Eixendorfer See führt eine potenziell mögliche Erhöhung um rund 1,1 m, bis zum Erreichen des Siedlungsrandes der Ortslage Röt, zu einem rund 2,0 Mio. m<sup>3</sup> größeren Stauraum.

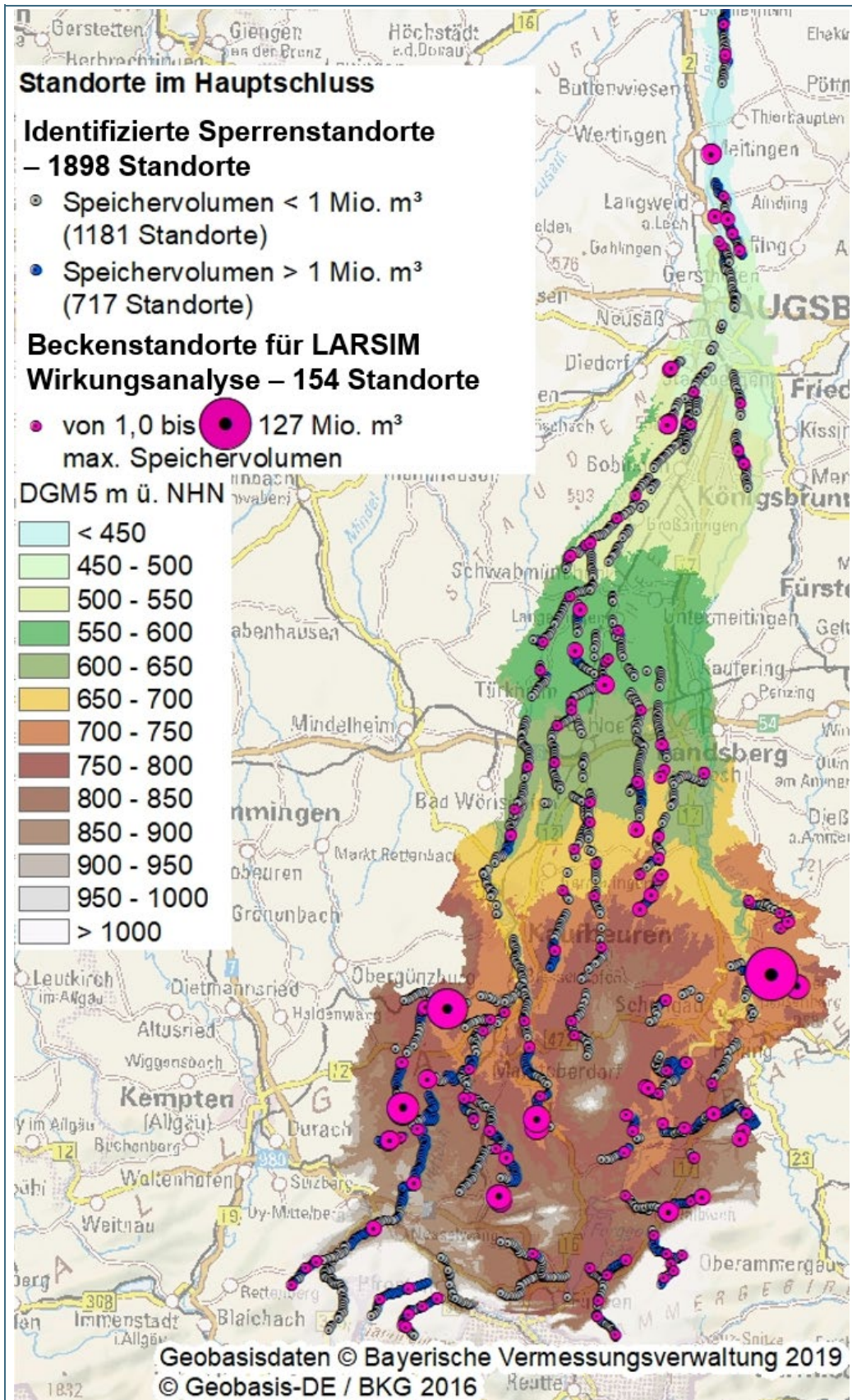


Abb. 3: Identifizierte Standorte für potenzielle Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss im Einzugsgebiet des Lechs





Abb. 4: Identifizierte Standorte für Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss im Einzugsgebiet des Lechs



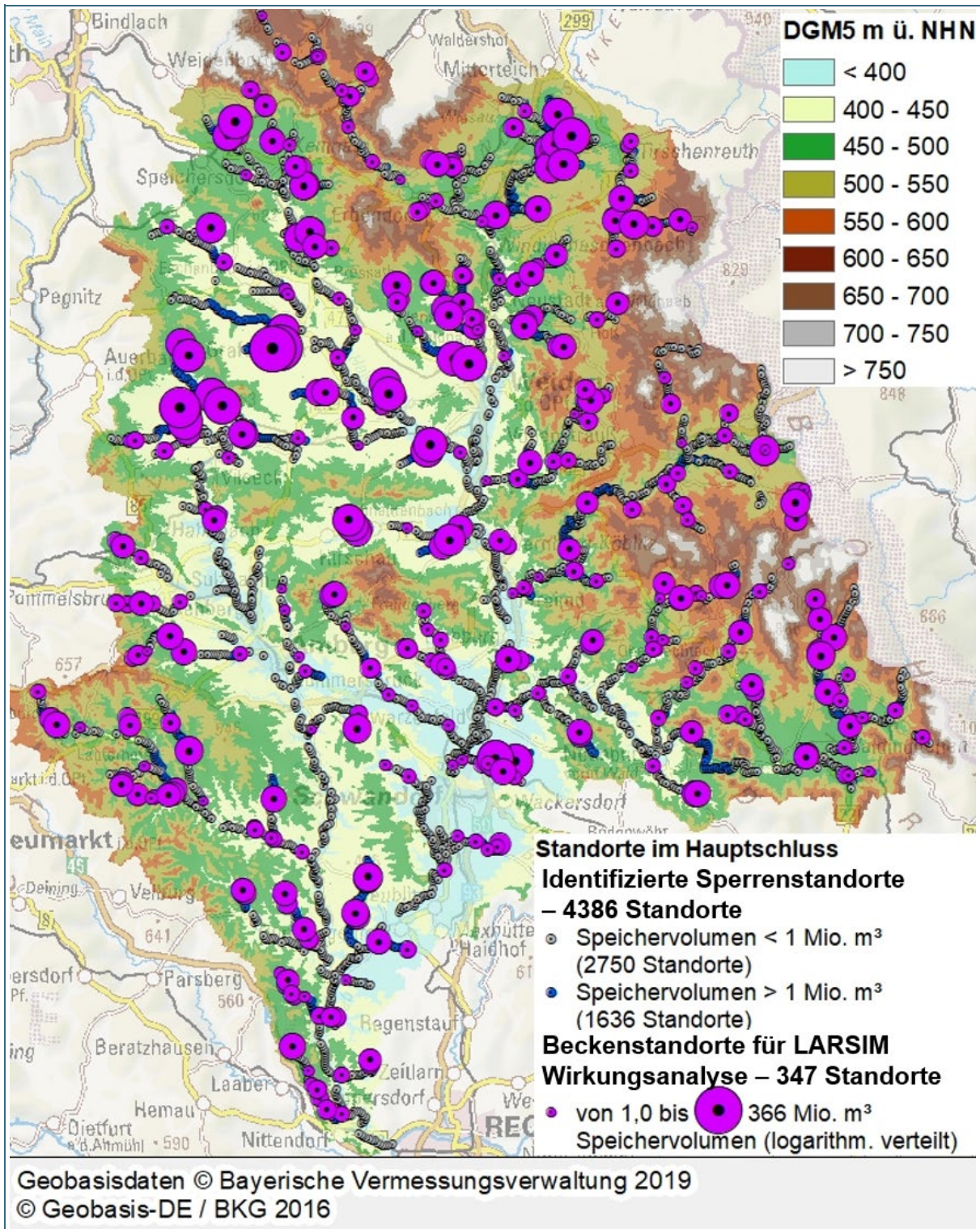


Abb. 5: Identifizierte Standorte für potenzielle Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss im Einzugsgebiet der Naab



### Standorte im Einzugsgebiet Regen

Im Einzugsgebiet des Regens wurden rund 2.100 potenzielle Sperrenstandorte für Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss identifiziert. Nach Anwendung der oben erläuterten Kriterien verbleiben 161 Standorte für potenziell mögliche Rückhaltebecken im Hauptschluss als Grundlage für die modellgestützten Wirkungsanalysen in LARSIM (Abb. 6). Im Einzugsgebiet des Regens sind, ähnlich wie an der Naab, ebenfalls nur in wenigen und kurzen Gewässerabschnitten bestehende Deiche und Dämme vorhanden. In keinem dieser Bereiche stehen ausreichende Flächen zwischen den Hochwasserschutzanlagen und der dahinterliegenden Bebauung zur Verfügung, so dass kein Standort für ein Rückhaltebecken im Nebenschluss identifiziert werden konnte. Im Einzugsgebiet des Regens wurde zudem der Drachensee auf mögliche Erweiterung seines Stauraums geprüft. Eine Erhöhung des Hochwasserstauziels war auszuschließen, da bereits jetzt eine Siedlung größer als ein Hektar (kleiner Gewerbebetrieb, Cafébetrieb, Wohnhäuser) unmittelbar an die bei Hochwasserstauziel  $Z_H$  beanspruchte Stauffläche grenzt.

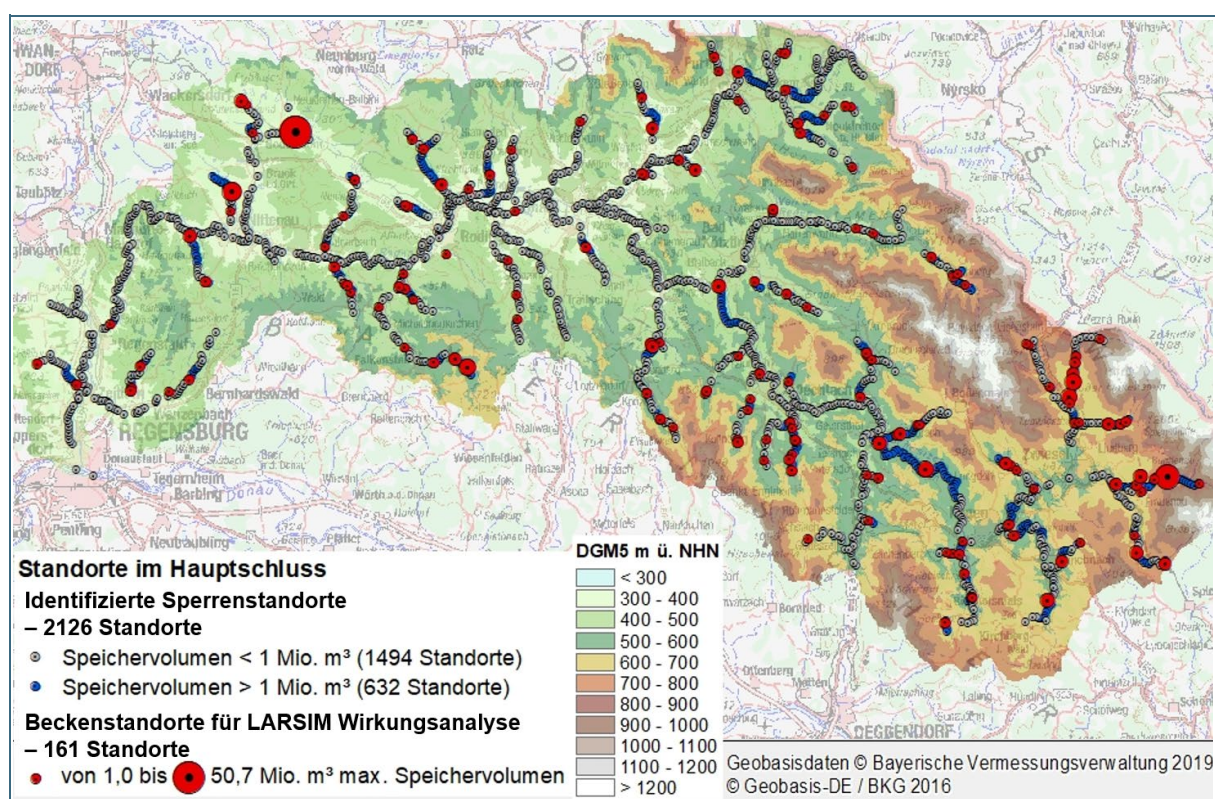


Abb. 6: Identifizierte Standorte für potenzielle Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss im Einzugsgebiet des Regen

## 3.2 Wirkungsanalyse zu Rückhalt im Einzugsgebiet Lech, Naab und Regen

### Vorgehen

Mit den modellbasierten Wirkungsanalysen in LARSIM wurde untersucht, ob die Wirkung der drei in Frage gestellten Flutpolder auf den Hochwasserscheitel der Donau durch Rückhalt in den Einzugsgebieten (EZG) maßgeblicher Seitenzuflüsse erreicht werden kann. Der Lech mündet knapp oberhalb Bertoldsheim in die Donau, die Naab und der Regen etwas weiter entfernt oberhalb der Standorte Eltheim und Wörthhof. Alle drei Zuflüsse können einen signifikanten Abflussanteil zum Hochwasseregeschehen an der Donau beitragen. Ein Rückhalt in diesen maßgeblichen seitlichen Einzugsgebieten

kann demnach – im Vergleich zu entfernteren oder kleineren Einzugsgebieten – am ehesten die Wirkung der drei in Frage gestellten Flutpolderstandorte erreichen. Daher wurden in das LARSIM-Modell sowohl die drei in Frage gestellten Flutpolder als auch verschiedene Kombinationen von geeigneten Hochwasserrückhaltebecken (HRB) aus der einzugsgebietsweiten Standortsuche an Lech, Naab und Regen (vgl. Kapitel 3.1.3) eingebaut und Simulationen für jeweils 10 unterschiedliche, repräsentative Hochwasserereignisse (vgl. Kapitel 3.1.2) durchgeführt, um deren Wirkung bei einer Bandbreite verschiedenartiger Ereignisse vergleichend darstellen zu können. Für die Untersuchungen wurden die gleichen aktuellen und kalibrierten hydrologischen LARSIM-Wasserhaushaltsmodelle der operationellen Hochwasservorhersage verwendet, mit denen bereits die einzugsgebietsweiten Simulationen zur Generierung der hydrologischen Überlastfallereignisse durchgeführt wurden (vgl. Kapitel 3.1.2). Diese Simulationsergebnisse für den Ist-Zustand (ohne aktive Flutpolder und HRB) dienten zugleich als unbeeinflusster Referenzzustand für den Vergleich.

### Voranalyse und Auswahl der Beckenkombinationen

Im ersten Schritt der Untersuchung wurde eine Voranalyse der in der Standortsuche identifizierten Rückhaltestandorte durchgeführt (Abb. 7). Darin wurden aus den jeweils deutlich über hundert potenziell möglichen Rückhaltebecken pro Einzugsgebiet diejenigen ausgewählt, bei denen ein möglichst hoher Einfluss auf das Hochwassergeschehen an der Donau zu erwarten war, also Standorte, an denen einerseits nennenswerte Hochwasserabflüsse auftreten und die andererseits ein ausreichendes Speichervolumen bereitstellen (= geeignete Standorte).

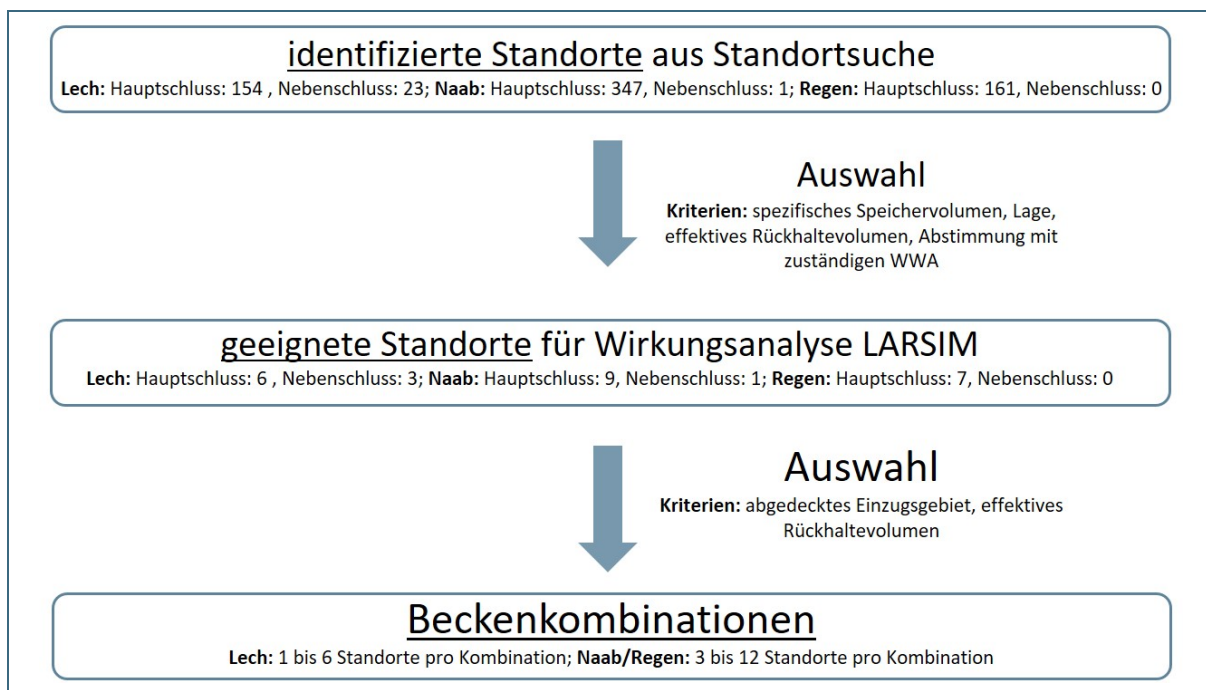


Abb. 7: Ablaufschema der Auswahl der Standorte und Beckenkombinationen für die Wirkungsanalysen in LARSIM

In der Vorauswahl wurden solche Standorte ausgeschlossen, die aufgrund größerer unterhalb liegender Becken keinen zusätzlichen Nutzen bringen würden. Zudem wurde mit Hilfe der 88 Ereignisse aus der Ereignisgenerierung das effektive Rückhaltevolumen ( $V_{\text{netto}}$ ) der übrigen Becken bestimmt. Dieses  $V_{\text{netto}}$  beschreibt das Hochwasservolumen, das an den Standorten tatsächlich zurückgehalten werden kann. Wird beispielsweise ein Becken A mit einem potenziellen Volumen (aus Standortsuche) von 5 Mio.  $\text{m}^3$  bei den größten der 88 Ereignisse vollständig gefüllt, besitzt es ein  $V_{\text{netto}}$  von 5 Mio.  $\text{m}^3$ . Ein Becken B mit 12 Mio.  $\text{m}^3$  potenziellem Volumen (aus Standortsuche), an dem bei den größten der 88 Ereignisse aber nur 2 Mio.  $\text{m}^3$  Hochwasservolumen auftreten, hat gegenüber Becken A ein kleineres

$V_{\text{netto}}$  von 2 Mio.  $\text{m}^3$ . Die Verwendung von  $V_{\text{netto}}$  für die weitere Beckenauswahl und Umsetzung in den LARSIM-Modellen stellt sicher, dass für einen effektiven Hochwasserrückhalt im Einzugsgebiet geeignete und keine unnötig überdimensionierten Becken untersucht werden. Die Becken mit den größten  $V_{\text{netto}}$  wurden mit den örtlich zuständigen Wasserwirtschaftsämtern (WWA) abgestimmt, um ihre Plausibilität zu überprüfen und sicherzustellen, dass keine gravierenden örtlichen Restriktionen vorliegen, die in der Standortsuche nicht berücksichtigt wurden.

Aus den so ausgewählten geeigneten und abgestimmten Standorten wurden verschiedene Kombinationen (Varianten) gebildet, die mit den Flutpoldern an der Donau verglichen wurden. Dabei wurden zum einen Kombinationen untersucht, deren Gesamtvolumen (= Zielvolumen) dem der im Vergleich betrachteten Flutpolder entspricht, also 18 Mio.  $\text{m}^3$  im EZG Lech (entsprechend Bertoldsheim Variante Nord oder Variante Süd) und 30,5 Mio.  $\text{m}^3$  im EZG von Naab und Regen zusammen (entsprechend Vorzugsvarianten E1a mit 15,1 Mio.  $\text{m}^3$  für Eltheim und W6a mit 15,4 Mio.  $\text{m}^3$  für Wörthhof). Diese Betrachtung ermöglicht direkt zu vergleichen, wie gut das gleiche Rückhaltevolumen wirkt, wenn es einmal direkt an der Donau und einmal im Einzugsgebiet umgesetzt wird. Da im Einzugsgebiet ein weit größeres Rückhaltepotenzial verfügbar ist, wurde zusätzlich die Wirkung des doppelten im Einzugsgebiet umgesetzten Rückhaltevolumens im Vergleich zur jeweiligen Flutpolderwirkung untersucht (36 Mio.  $\text{m}^3$  im EZG Lech und 61 Mio.  $\text{m}^3$  im EZG Naab/Regen). Im Naabgebiet wurde eines der geeigneten Becken aufgrund seines sehr kleinen Einzugsgebietes nicht in den Kombinationen verwendet. Am Regen waren zwei der geeigneten Becken nicht für die Kombinationen notwendig, da größere unterstrom liegende Becken ausreichten, um das jeweilige Zielvolumen zu erreichen.

Für einen belastbaren Vergleich zwischen den Beckenkombinationen und den Flutpoldern wurde das Zielvolumen eingestellt, indem das Volumen einzelner Rückhaltestandorte der Kombinationen geringfügig angepasst wurde. Am Lech unterhalb von Augsburg besteht über eine längere Strecke sehr großes Rückhaltepotenzial in Nebenschlussbecken. Dort wurde für die Wirkungsanalyse ein identifizierter Beckenstandort gewählt und mit dem benötigten Zielvolumen angesetzt. Da diese Untersuchungen jedoch keine Planung darstellen, ist es möglich, dass dieser Standort in Realität aufgrund örtlicher Bedingungen und Belange nicht so umgesetzt werden könnte, sondern durch einen anderen oder mehrere kleinere Standorte mit gleicher Wirkung ersetzt werden müsste.

Um die Wirkung des Rückhalts in den Seitengebieten umfassend beurteilen zu können, wurde darauf geachtet, möglichst unterschiedliche Beckenszenarien zu berücksichtigen. Es wurden sowohl Kombinationen gebildet, in denen mit den Becken das größtmögliche Einzugsgebiet abgedeckt werden kann, als auch Kombinationen, die möglichst wenige und dafür große Einzelbecken enthalten, woraus sich Vorteile hinsichtlich Planungs- und Umsetzungsaufwand ergeben würden. Zudem wurden weitere Kombinationen gewählt, welche zeigen, wie sich die Wirkung verhält, sollten die hydrologisch wirksamsten Beckenoptionen (größte EZG, größte  $V_{\text{netto}}$ ) nicht umsetzbar sein.

Es wird darauf hingewiesen, dass die in der Wirkungsanalyse untersuchten Beckenstandorte in den Seiteneinzugsgebieten als Ergebnis der einzugsgebietsweiten Standortsuche plausibilisiert und mit den regional zuständigen Wasserwirtschaftsämtern (WWA) abgestimmt wurden. Es liegt ihnen allerdings keine detaillierte Planung zugrunde, da dies ein langjähriger Prozess ist, der im Rahmen der weitergehenden Untersuchungen zu den Flutpoldern nicht geleistet werden konnte. Die Standortsuche und LARSIM-Wirkungsanalyse stellen Potenzialstudien dar, in der lediglich gravierende Restriktionen (z. B. Überlagerung mit Siedlungsgebieten), aber keine weiteren zum Teil von den WWA benannten Konfliktpotenziale (z. B. Naturschutz, Grundwasserproblematik) als Einschränkungen für die potenziellen Standorte berücksichtigt wurden. Es ist möglich, dass im Rahmen einer Planung aufgrund örtlicher Gegebenheiten die Rückhaltevolumina der untersuchten Standorte angepasst werden müssten oder von einer Beckenumsetzung an ermittelten Standorten ganz abgesehen wird.



### **Einbau und Steuerung der Hochwasserrückhaltebecken und Flutpolder in LARSIM**

Bei der Implementierung der für die Kombinationen notwendigen Becken in die LARSIM-Modelle wurde berücksichtigt, dass ein beträchtlicher Teil des Talraumes bei einem ablaufenden Hochwasser gefüllt sein kann, was so durch das hydrologische Modell nicht abgebildet wird. Daher wurde für die darin umgesetzten Becken die Talvorfüllung bei einem hundertjährigen Hochwasser bestimmt und von den ermittelten Beckenvolumen abgezogen. Dies war bei der Parametrisierung der Rückhaltebecken im Nebenschluss in LARSIM nicht erforderlich. Zudem wurden die drei in Frage gestellten Flutpolder an der Donau im Modell eingebaut.

Um die bestmögliche Wirkung zu erzielen, wurde sichergestellt, dass die modellhaft umgesetzten Hochwasserrückhaltebecken und Flutpolder vor dem Eintreffen der Hochwasserwelle vollständig leer waren und mit einer ereignisoptimierten lokalen Spitzenkappung gesteuert wurden: An ihrem Standort wird die Hochwasserwelle waagrecht so gekappt, dass das zurückgehaltene Volumen die Becken vollständig füllt. Tritt eine Hochwasserwelle mit mehreren Spitzen auf, zwischen denen der Abfluss unter den Kappungsabfluss (Drosselabfluss) fällt, wird bei Becken im Hauptschluss eine Zwischenentleerung mit dem Drosselabfluss erlaubt, um für die zweite bzw. weitere Hochwasserspitzen wieder Rückhaltevolumen frei zu machen. Bei Becken im Nebenschluss wird auf eine solche Zwischenentleerung verzichtet. Bei ihnen ist das Auslassbauwerk üblicherweise deutlich kleiner dimensioniert als das Einlassbauwerk. Somit wäre in der kurzen Zeit zwischen zwei Spitzen eines Hochwasserereignisses nur eine geringere Zwischenentleerung zu erreichen, die in dieser Potenzialstudie vernachlässigt werden konnte. Um zu verhindern, dass bei ausreichend großem Beckenvolumen an einem Standort der gesamte Abfluss zurückgehalten wird und damit das Gewässer vollständig trockengelegt würde, darf der Drosselabfluss den mittleren jährlichen Niedrigwasserabfluss (MNQ) nicht unterschreiten. Nach Durchgang der Hochwasserwelle verbleibt das zurückgehaltene Wasser in den Becken. Sie werden nicht wieder entleert und somit wird das zurückgehaltene Volumen dem Hochwassergeschehen vollständig entzogen. Diese Steuerung entspricht dem optimalen Einsatz des umgesetzten Rückhaltevolumens. Sie verhindert, dass sich der Entleerungsabfluss aus den Becken unter Umständen ungünstig mit dem Abfluss anderer Gewässer im Seiteneinzugsgebiet oder der Donau überlagert, was zu einer Verschlechterung anstatt einer Verbesserung der Hochwassersituation führen könnte. Eine überregional optimierte Steuerung der einzelnen im Einzugsgebiet verteilten Becken mit dem Ziel, in der Donau einen optimaleren Rückhalt zu erreichen, ist aufgrund von Vorhersageunsicherheiten sowie der zum Teil sehr langen Fließstrecken nicht realistisch. Für eine gezielte Steuerung auf die Donau liegen insbesondere für die in den Oberläufen liegenden Becken für den relevanten Zeitpunkt keine ausreichend genauen Informationen über die Entwicklung des Hochwassergeschehens vor. Zudem müsste die komplexe Gewässerstruktur im Einzugsgebiet berücksichtigt werden, da es an jedem Zusammenfluss zu Überlagerungen der Wellen kommt, die sich bei ungünstiger Steuerung negativ auf den Hochwasserabfluss auswirken können. Die einzige Ausnahme zu diesem Vorgehen stellt ein nahe der Mündung in die Donau gelegenes Nebenschlussbecken am Lech dar (Standort 11, Abb. 8). Hier wäre es aufgrund der kurzen Fließstrecken möglich, durch eine hypothetische Beobachtung des Hochwassergeschehens am Pegel Augsburg (Lech) und am Pegel Donauwörth (Donau) oberhalb der Lechmündung auch eine alternative Steuerung zu fahren, die auf eine möglichst effektive Dämpfung der Abflussspitze in der Donau zielt (exemplarisch bei einem Beispiel gezeigt, wo eine gesonderte Steuerung eine große Wirkung hat).

Bei Becken im Hauptschluss ist technisch gewährleistet, dass sie vollständig gefüllt werden können, da der gesamte Abfluss durch sie hindurchfließt. Becken im Nebenschluss werden von einer geeigneten Ausleitungsstelle im Gewässer befüllt. Ihr Wasserstand – der das zurückgehaltene Volumen bestimmt – kann damit maximal so hoch liegen, wie der Wasserstand an der Ausleitungsstelle. Eine geeignete Ausleitungsstelle, der entsprechende Wasserstand und das maximale potenzielle Rückhaltevolumen für Nebenschlussbecken wurde in der Standortsuche bei HQ<sub>100</sub> bestimmt (vgl. Kapitel 3.1.3).

In der Wirkungsanalyse wird aber grundsätzlich davon ausgegangen, dass unabhängig vom Abfluss und Wasserstand im Gewässer auch bei Nebenschlussbecken immer das gesamte umgesetzte Rückhaltevolumen genutzt werden kann. Um dies bei Abflüssen niedriger als  $HQ_{100}$  in Realität zu erreichen, müssten gegebenenfalls längere Zuleitungen von einem weiter oberstrom gelegenen Punkt in die Nebenschlussbecken gebaut werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass die vorliegende Wirkungsanalyse eine Potenzialstudie darstellt. Aufgrund der Vielzahl an Ereignissimulationen und Beckenkombinationen mussten gewisse Verallgemeinerungen getroffen werden.

### **Berechnung und Analyse**

Alle umgesetzten Beckenkombinationen und die drei in Frage gestellten Flutpolder an der Donau wurden anschließend mit den zehn repräsentativen Hochwasserereignissen (vgl. Kapitel 3.1.2) belastet. An Auswertequerschnitten in Neuburg und direkt unterhalb von Eltheim und Wörthhof an der Donau, wurde die Wirkung der Beckenkombinationen und der Flutpolder auf den Abfluss (Reduktion des Spitzenabflusses in %) und auf das Volumen der Hochwasserwelle (Reduktion des Volumens über  $HQ_{100}$ ) analysiert und verglichen.

Der Vergleich der Beckenkombinationen im Lecheinzugsgebiet mit dem Flutpolder Bertoldsheim wurde am Pegel Neuburg vorgenommen, da erst im Bereich nach der Steppberger Enge der gesamte Donauabfluss im Hochwasserfall wieder in einem Gerinne vereinigt ist und eine einheitliche Auswertung erlaubt. Unterhalb von Eltheim und Wörthhof liegt hingegen keine Aufteilung des Donauabflusses in Gerinne und parallele Auenbereiche vor, so dass der Vergleich dieser beiden Flutpolder mit den Beckenkombinationen im Naab- und Regengebiet direkt unterhalb der Flutpolderstandorte ausgewertet werden konnte. Zusätzlich wurde die Wirkung der Beckenkombinationen in den Seiteneinzugsgebieten ebenfalls direkt an Lech, Naab und Regen jeweils knapp vor deren Mündung in die Donau ausgewertet.

### **Ergebnisse**

Von den diversen in den LARSIM-Wirkungsanalysen ausgewerteten Parametern an den verschiedenen Auswertequerschnitten bezieht sich die Ergebnisdarstellung in diesem Bericht hauptsächlich auf die Scheitelreduktionen der Hochwasserwelle an der Donau (Pegel Neuburg für den Vergleich mit Flutpolder Bertoldsheim bzw. Auswertequerschnitt unterhalb Flutpolder Eltheim und Wörthhof).

#### **Vergleich Flutpolder Bertoldsheim mit Beckenkombinationen im Einzugsgebiet Lech**

Abbildung 8 zeigt, in welchen Bereichen des Lecheinzugsgebiets in der Wirkungsanalyse Rückhaltepotenziale umgesetzt wurden. Tabelle 1 stellt dar, welche Standorte in welcher Kombination (Variante) zusammen aktiviert wurden und enthält wichtige Kenngrößen der Kombinationen und modellhaft umgesetzten Hochwasserrückhaltebecken (HRB). Aus der Bemerkung zu den Varianten werden die zugrundeliegenden Auswahlkriterien deutlich. V0 bezeichnet die Flutpoldervariante Donau (Flutpolder Bertoldsheim), V1 bis V7 die sieben im Vergleich untersuchten Beckenkombinationen im Einzugsgebiet Lech. Das Volumen der Kombinationen V1 bis V4 entspricht dem in der Wirkungsanalyse umgesetzten Volumen des Flutpolders Bertoldsheim (18 Mio.  $m^3$ ). In den Kombinationen V5 bis V7 wurde im Einzugsgebiet des Lechs das doppelte Volumen an Rückhalt umgesetzt (36 Mio.  $m^3$ ).

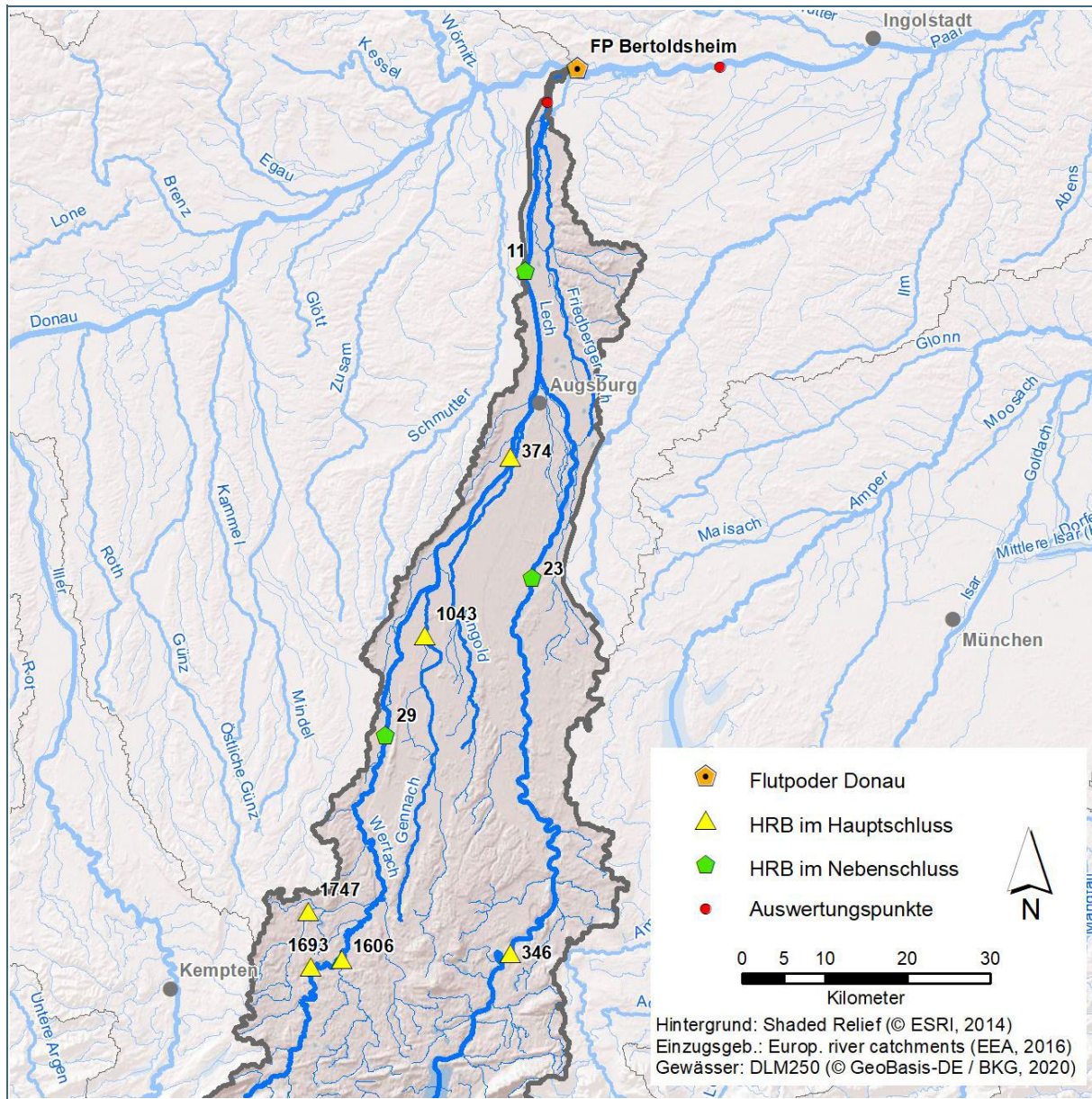


Abb. 8: Lage und Kennnummer (ID) der für die Wirkungsanalyse ausgewählten Hochwasserrückhaltebecken (HRB) im Haupt- und Nebenschluss im Einzugsgebiet des Lechs, sowie Lage des Flutpolders an der Donau und der Auswertequerschnitte für den Wirkungsvergleich



Tab. 1: HRB-Kombinationen (Varianten) für die Wirkungsanalyse im Lecheinzugsgebiet mit insgesamt abgedeckter Einzugsgebietsfläche (EZG), gerundeter Summe der Beckenvolumina ( $\Sigma$  V Var.), zugehörigen HRB, HRB-Typ (HS: Hauptschluss, NS: Nebenschluss) und angepasstem Volumen (V Var.) der Becken

Var.	Bemerkung Auswahl	EZG [km <sup>2</sup> ]	$\Sigma$ V Var. [Mio. m <sup>3</sup> ]	HRB-ID	HRB-Typ	Gewässer	V Var. [Mio. m <sup>3</sup> ]
0	Flutpolder Bertoldsheim	-	18	100	NS	Donau	18
1	größtes EZG, Flutpolder 11 (Lech)	3.834	18	11	NS	Lech	18 <sup>1)</sup>
1a	wie Var. 1 mit alternativer Steuerung, exemplarisch für 1 Ereignis	3.834	18	11	NS	Lech	18 <sup>1)</sup>
2	größtes EZG (ohne Flutpolder 11)	2.886	18	346	HS	Lech	7.8 <sup>2)</sup>
				29	NS	Wertach	6.4 <sup>2)</sup>
				374	HS	Wertach	3.8 <sup>2)</sup>
3	größtes effektives Rückhaltepotenzial (ohne Flutpolder 11)	2.031	18	346	HS	Lech	7.7
				1693	HS	Wertach	10.3 <sup>1)</sup>
4	größtes EZG (ohne Flutpolder 11 sowie HRB 346 und 374)	883	18	1606	HS	Wertach	3.6
				1043	HS	Gennach	8.1 <sup>2)</sup>
5	wie Var. 1, doppeltes Gesamtvolumen	3.834	36	11	NS	Lech	36
6	größtes EZG, doppeltes Gesamtvolumen	3.202	36	346	HS	Lech	7.7
				1606	HS	Wertach	3.6
				1043	HS	Gennach	8.1 <sup>2)</sup>
				23	NS	Lech	6.6 <sup>1)</sup>
				29	NS	Wertach	6.3
				374	HS	Wertach	3.7
7	geeignete HRB ohne NS-Becken; doppeltes Gesamtvolumen	2.886	36	346	HS	Lech	7.7
				1693	HS	Wertach	10.3 <sup>1)</sup>
				1747	HS	Kirnach	2.6 <sup>1)</sup>
				1043	HS	Gennach	8.1 <sup>2)</sup>
				1606	HS	Wertach	3.6
374	HS	Wertach	3.7				

1) Beckenvolumen im Vergleich zum effektiven Rückhaltepotenzial reduziert  
2) Beckenvolumen im Vergleich zum effektiven Rückhaltepotenzial erhöht

Die mit den untersuchten Varianten im Lecheinzugsgebiet beobachteten Scheitelreduktionen der Hochwasserwelle an der Donau im Vergleich zum Ist-Zustand (Auswertequerschnitt: Pegel Neuburg) ist in Abbildung 9 für die zehn untersuchten repräsentativen Ereignisse zusammenfassend dargestellt. Tabelle A1 im Anhang enthält die Aufstellung der absoluten und relativen Werte der Donauabflüsse und der beobachteten Reduktionen für die Simulationen im Lecheinzugsgebiet.

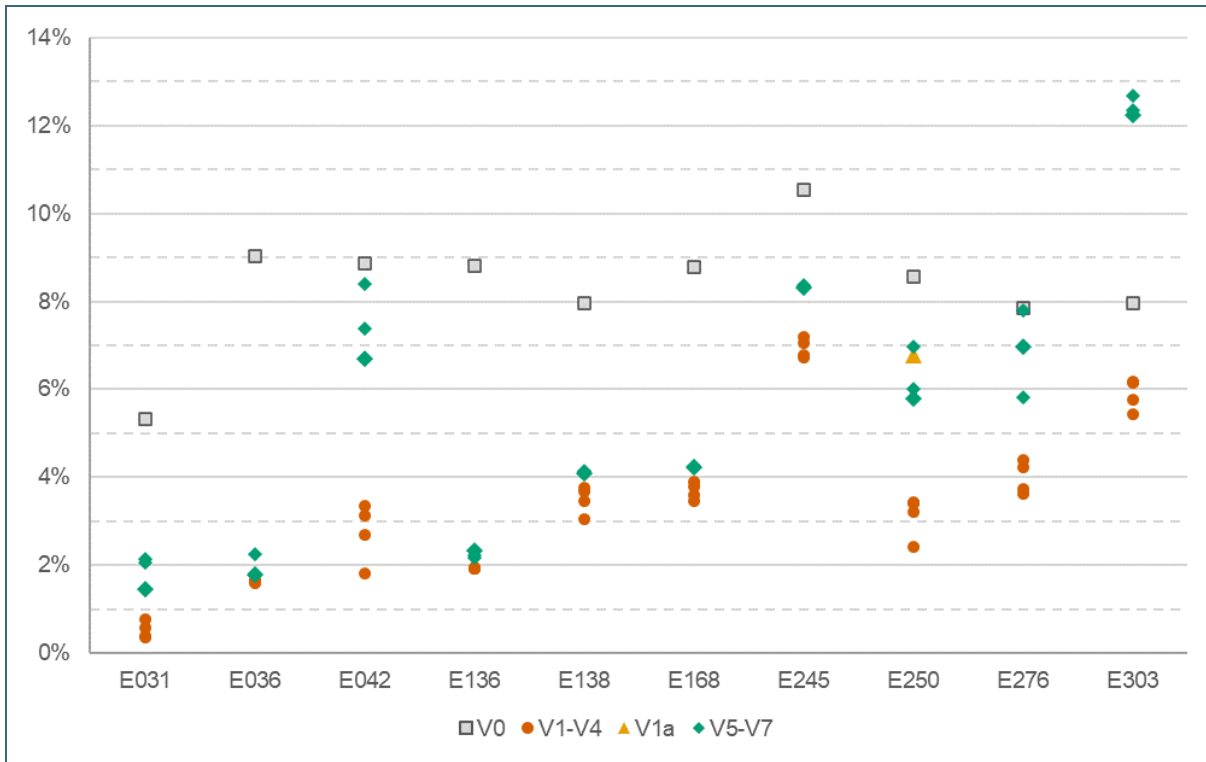


Abb. 9: Zusammenstellung der relativen Scheitelreduktion [%] am Pegel Neuburg für den Flutpolder Bertoldsheim (Variante V0) und die sieben im Vergleich untersuchten Beckenkombinationen im Einzugsgebiet (V1–V4: gleiches Gesamtvolumen wie Bertoldsheim, 18 Mio. m<sup>3</sup>; V5–V7: doppeltes Gesamtvolumen, 36 Mio. m<sup>3</sup>; V1a: alternative Steuerungsvariante für V1 auf Donau bei Ereignis E250)

Im Vergleich zum Ist-Zustand ergibt sich für Variante V0 in Neuburg eine Scheitelreduktion von 8,4 % im Mittel aller zehn Ereignisse. Die größte Reduktion zeigt sich für das relativ große Sommerereignis E245 (zwischen HQ<sub>100</sub> und HQ<sub>200</sub> am Pegel Ingolstadt/Donau, Bezugspegel gewählt auf Grund der zuverlässigeren Pegelstatistik im Vergleich zu Pegel Neuburg), das einen vergleichsweise steilen Scheitelbereich aufweist. Die geringste Absenkung des Scheitels wird beim niedrigeren Winterereignis E031 (knapp HQ<sub>100</sub>, Pegel Ingolstadt) mit einer langgezogenen zweigipfligen Welle erzielt. Der Einsatz der Beckenkombinationen im Lecheinzugsgebiet mit gleichem Volumen (V1–V4: 18 Mio. m<sup>3</sup>) resultiert am Pegel Neuburg im Mittel über alle Varianten und Ereignisse in einer Scheitelreduzierung um 3,4 %. Im Durchschnitt ist die Wirkung auf den Hochwasserabfluss damit rund 59 % geringer als bei der Flutpoldervariante. Auch diese Varianten zeigen die größte Wirksamkeit beim Ereignis E245 und die niedrigste bei Ereignis E031 (Abb. 10). Bei keinem der betrachteten Szenarien wird jedoch die Wirkung des Flutpolders erreicht. Bei den Kombinationen mit 36 Mio. m<sup>3</sup> Rückhalt im Einzugsgebiet (V5–V7) ergibt sich im Mittel über alle Szenarien am Pegel Neuburg eine Scheitelreduktion von 5,6 %. Das Maximum liegt bei 12,7 % (V5, E303), das Minimum bei 1,5 % (V7, E031). Die durchschnittliche Reduktion liegt damit etwa um zwei Drittel höher als bei den Varianten V1 bis V4. Dennoch wird die Reduktion der Flutpoldervariante (V0 mit 18 Mio. m<sup>3</sup>) nur bei Ereignis E303 übertroffen. Im Mittel ist die Scheitelreduktion um rund ein Drittel geringer als bei V0.

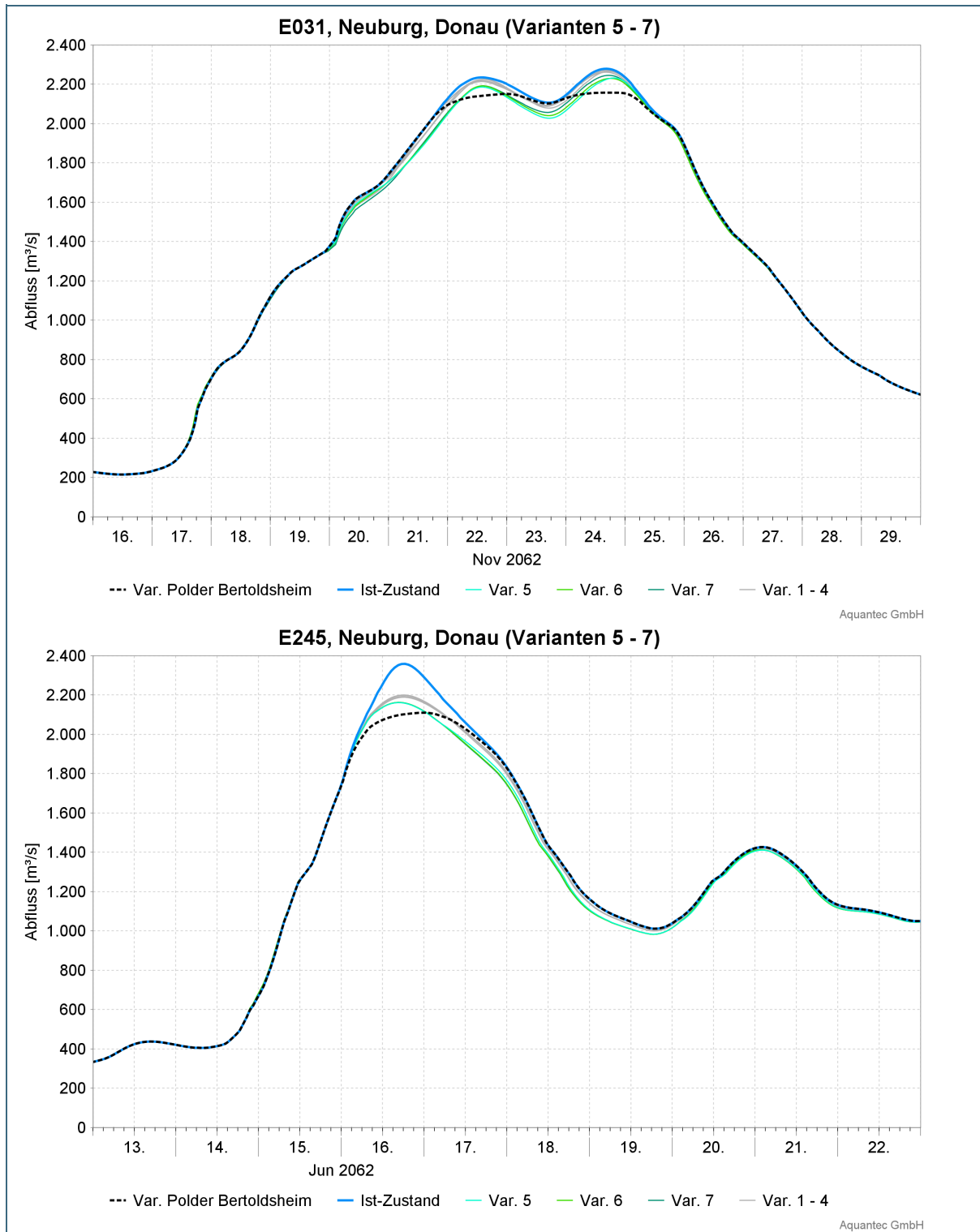


Abb. 10: Simulierte Hochwasserganglinien für das Ereignis E031 (oben) und E245 (unten) am Auswertequerschnitt in Neuburg (Donau): Flutpoldervariante, Ist-Zustand und Varianten des Rückhalts im Lecheinzugsgebiet

Während der Einsatz des Flutpolders an der Donau (V0) bei allen Ereignissen eine signifikante Wirkung am Pegel Neuburg zeigt, ist die Scheitelreduktion bei den Varianten V1 bis V7 deutlich stärker vom jeweiligen Ereignis abhängig. Die vergleichsweise größte Wirkung zeigt sich bei den Ereignissen E303 (>HQ<sub>500</sub>, Pegel Ingolstadt) und E245. Hier fällt bei den Varianten V1 bis V4 die Scheitelreduktion

im Mittel um nur 26 % bzw. 34 % geringer aus als bei V0. Die Varianten V5 bis V7 erreichen bzw. übertreffen V0 bei diesen beiden Ereignissen sogar. Bei den Ereignissen E031 und E036 (<HQ<sub>100</sub>, Pegel Ingolstadt) dagegen liegt die Wirkung von V1 bis V4 90 % bzw. 82 % unter der des Flutpolders, V5 bis V7 erreichen bei E036 nur gut 20 % der Flutpolderwirkung. Ursachen für diese Ereignisabhängigkeit liegen u.a. im Abflussanteil des Lechs bezogen auf den Gesamtabfluss der Donau, in der Form der Hochwasserwellen sowie im Zeitversatz der Scheitel in Lech und Donau. Bei Ereignissen mit vergleichsweise größeren Lechabflüssen, wie E245 oder E303, ist das Potenzial für eine signifikante Scheitelreduktion an der Donau naturgemäß größer. Die Form der Hochwasserwelle spielt ebenfalls eine Rolle. Bei langgestreckten, flachen Wellen oder Wellen mit mehreren Scheiteln verteilt sich das zurückgehaltene Volumen auf einen längeren Zeitraum als bei kurzen, steilen Wellen, so dass die Scheitelsenkung geringer ausfällt. Dies zeigt sich z. B. bei Ereignis E031, das bereits am Unterlauf des Lechs im Mittel die geringste Scheitelreduktion aller Ereignisse aufweist. Bezüglich der Abfolge der Wellen ist die größte Wirksamkeit zu erwarten, wenn die Scheitel aus Lech und Donau zeitlich in etwa zusammentreffen, so dass die Reduktion am Lech zielgenau auf den Donauscheitel wirkt. Dies ist beispielweise beim Ereignis E303 zu beobachten. Dagegen trifft beim Ereignis E250 (zw. HQ<sub>100</sub> u. HQ<sub>200</sub>, Pegel Ingolstadt) der Lechscheitel deutlich früher, beim Ereignis E138 (zw. HQ<sub>100</sub> u. HQ<sub>200</sub>, Pegel Ingolstadt) deutlich später ein als der Donauscheitel. Dadurch verschiebt sich die Volumenreduktion an der Donau eher in den anlaufenden bzw. ablaufenden Ast der Welle und wirkt sich weniger stark auf den Scheitel aus.

Wie in der Vorgehensbeschreibung der LARSIM-Wirkungsanalysen oben beschrieben, ist es aufgrund der langen Laufzeiten von den im Einzugsgebiet verteilten Hochwasserrückhaltebecken bis zur Donau im Allgemeinen nicht möglich, eine auf die Donau ausgerichtete Steuerung zu fahren. An den Ganglinien in Neuburg (Donau) zeigt sich auch, dass in den meisten Fällen die lokal optimierte Steuerung der HRB im Einzugsgebiet zu ähnlichen Ganglinienverläufen wie der Einsatz des Flutpolders Bertoldsheim führt. Auch die lokal optimale Scheitelkappung der Donau am Flutpolder Bertoldsheim wird bis zum Pegel Neuburg durch Retentionseffekte entlang der dazwischenliegenden Donaueinfließstrecke (19 km) und durch Zuflüsse aus dem Zwischeneinzugsgebiet leicht verformt. Besonders bei Ereignis E250 ist jedoch auffällig, dass der Rückhalt der Beckenkombinationen im Einzugsgebiet an der Donau bereits im ansteigenden Ast der Welle wirksam ist, da der Lechscheitel, wie oben beschrieben, bei diesem Ereignis vorläuft. Für das weit am Unterlauf des Lechs gelegene Nebenschlussbecken 11 aus Variante V1 soll daher geprüft werden, inwieweit sich hier die Wirkung durch Berücksichtigung des Donauabflusses bei der HRB-Steuerung verbessern lässt. Bei der optimierten Variante V1a beginnt die Absenkung am Lech erst mit Erreichen des Scheitels, fast einen Tag später als bei V1, so dass das Lechhochwasser vorwiegend im ablaufenden Bereich reduziert wird. Durch die zeitliche Abstimmung auf den Donauscheitel ergibt sich aber eine deutlich bessere Scheitelreduktion an der Donau in Neuburg (6,8 % statt 3,4 % bei V1; Abb. 11), so dass der Scheitel von V1a nur noch geringfügig höher ist als bei der Flutpoldervariante V0 (Reduktion 8,6 %). Es ist davon auszugehen, dass eine in dieser Form angepasste HRB-Steuerung bei allen Ereignissen mit vor- oder nachlaufender Lechwelle zu besseren Ergebnissen führen würde. Allerdings erscheint dies nur für mündungsnaher HRB sinnvoll, da nur in diesem Fall vorab eine realistische Abschätzung des zeitlichen Verlaufs der Wellen möglich ist. Zudem muss beachtet werden, dass in dieser Untersuchung angenommen wurde, dass das Volumen im Nebenschlussbecken 11 stets vollständig genutzt werden kann. Wird im ansteigenden oder absteigenden Ast der Lechwelle jedoch auf einen niedrigen Abfluss gedrosselt, müsste in Realität gegebenenfalls durch längere Zuleitungskanäle von einem höheren Wasserstand oberstrom gewährleistet werden, dass ein Nebenschlussbecken noch ganz gefüllt werden kann.

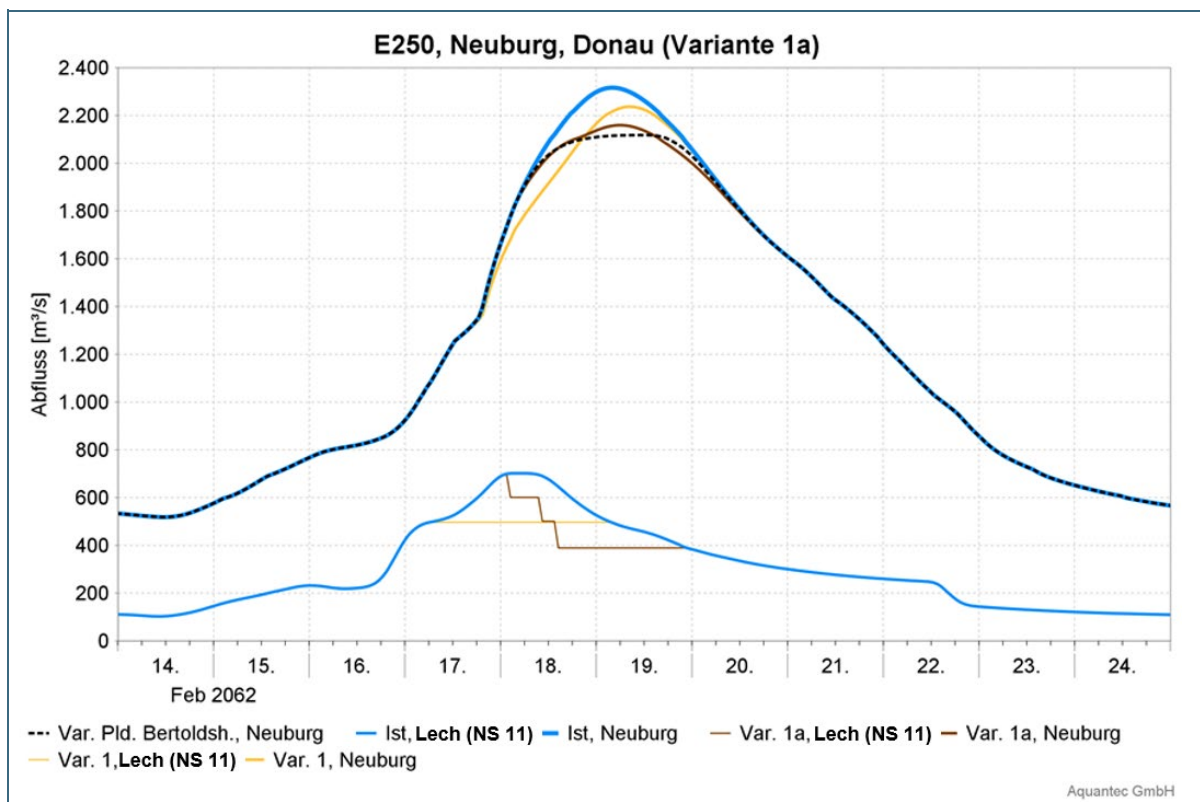


Abb. 11: Vergleich der Steuerungsvarianten V1 und V1a für Nebenschlussbecken 11 und deren Wirkung am Pegel Neuburg im Vergleich zur Flutpolderwirkung Bertoldsheim (dünne Linien: Ganglinien am Standort des Nebenschlussbeckens 11 am Lech; dicke Linien: resultierende Ganglinien am Pegel Neuburg, Donau)

Im Vergleich der Beckenkombinationen im Einzugsgebiet untereinander ergibt sich für die Kombinationen mit 18 Mio. m<sup>3</sup> die größte Scheitelreduktion für Variante V1 sowohl im Mittel über die Ereignisse (3,6 %) als auch bei allen einzelnen Ereignissen mit Ausnahme von E031. V1 umfasst mit dem Nebenschlussbecken 11 am Unterlauf des Lechs nur ein großes Hochwasserrückhaltebecken, deckt aber einen Großteil des Lecheinzugsgebiets ab. Mit 3,5 % ist die durchschnittliche Reduktion bei Variante V2 nur etwas geringer. Sie beinhaltet die HRB mit dem größten Einzugsgebiet – außer dem Nebenschlussbecken 11. Für Variante V3, die die beiden HRB mit dem größten Einzelvolumen umfasst (außer Nebenschlussbecken 11), ist die mittlere Scheitelreduktion mit 3,3 % noch geringer. Die geringste Auswirkung auf den Scheitel in Neuburg lässt sich bei Variante V4 beobachten (Reduktion 3,1 %), bei der die mündungsnäheren HRB 11, 346 und 374 nicht berücksichtigt sind und die nur knapp ein Viertel der Einzugsgebietsfläche von V1 abdeckt. Diese Wirksamkeitsrangfolge findet sich mit nur wenigen Abweichungen bei allen Ereignissen wieder. Bei den Kombinationen mit 36 Mio. m<sup>3</sup> ergibt sich die größte Scheitelreduktion in Relation zum Istzustand am Pegel Neuburg durchgängig für Variante V5 (durchschnittlich 5,9 %). Diese Kombination umfasst, wie V1 nur das eine Nebenschlussbecken (HRB 11) im Unterlauf des Lechs nahe der Mündung in die Donau, allerdings mit doppeltem Volumen. Etwas geringere Auswirkungen zeigen die Varianten V6 (größtes Einzugsgebiet ohne HRB 11) und V7 (alle geeigneten HRB ohne Nebenschlussbecken) mit einer mittleren Reduktion von jeweils 5,4 %.

Die Ergebnisse legen nahe, dass sich mit mündungsnahen HRB, die ein größeres Einzugsgebiet abdecken, eine größere Wirkung erzielen lässt als beispielweise mit den Becken, die nach ihrem großen effektiven Rückhaltevolumen ausgewählt wurden.

Das Hochwasservolumen über  $HQ_{100}$  wird durch den Flutpolder Bertoldsheim (V0) im Mittel um 76,9 % reduziert, wobei bei den drei kleinsten Ereignissen (E036, E136, E276) das  $HQ_{100}$  nicht mehr überschritten wird (Reduktion 100 %; Tab. A2 im Anhang). Bei den Beckenkombinationen im Einzugsgebiet mit gleichem Volumen ist die Wirkung etwa halb so groß wie bei Einsatz des Flutpolders an der Donau. Die Wirksamkeitsrangfolge der Varianten für die Volumenreduktion entspricht der Rangfolge der Scheitelreduktion mit der durchschnittlich größten Wirksamkeit bei V1. Bei den Varianten mit doppelem Volumen liegt die Reduktion im Mittel bei 59 % und entspricht damit rund 88 % der Flutpolderwirkung. Mit 61,5 % schneidet auch hier die Variante V5 im Mittel über die Ereignisse am besten ab. Die Verminderung des Volumens entspricht bei V0 stets annähernd dem Flutpoldervolumen Bertoldsheim von 18 Mio.  $m^3$ . Bei den Varianten V1 bis V4 wird nicht bei allen Ereignissen eine Volumenreduktion am Pegel Neuburg erreicht, die den in den dezentralen Speichern zurückgehaltenen 18 Mio.  $m^3$  entspricht. Auch ist bei einigen Ereignissen die Scheitelreduktion am Pegel Neuburg auffällig gering, selbst bei steilen Wellen mit geringen Zeitversatz.

Dies lässt sich damit erklären, dass am unteren Lech kurz vor der Mündung in die Donau – und damit unterhalb aller im Einzugsgebiet angeordneten HRB – im Hochwasserfall ein großer natürlicher Rückhalt auftritt, sobald der Lech über seine Ufer tritt und die schottrigen Vorländer geflutet werden (bordvoller Abfluss rund 800  $m^3/s$ ). Dann ist davon auszugehen, dass ein Großteil des ausufernden Wassers nicht wieder in das Flussbett zurückfließt, sobald der Hochwasserscheitel vorüber ist, sondern im Schotterkörper der Vorländer versickert und dort deutlich verlangsamt zum Abfluss kommt. Dieser Effekt wurde bei den historischen Hochwasserereignissen 1999 und 2005 beobachtet und entsprechend im LARSIM-Modell für die operative Hochwasservorhersage über ein fiktives HRB, das den Grundwasserrückhalt und weitere Retentionseffekte wie z. B. das Auffüllen von Mulden simuliert, implementiert.

Diese natürliche Retention wirkt sich grundsätzlich bei allen Ereignissen, die den bordvollen Abfluss überschreiten, stark dämpfend auf den Hochwasserabfluss im Lech aus – auch im Ist-Zustand und damit auch bei der Flutpolderpoldervariante V0. Wird durch den weiter oben im Einzugsgebiet angeordneten Rückhalt der Varianten V1 bis V7 der Lechabfluss schon so weit reduziert, dass der Lech kurz vor der Mündung in die Donau nicht mehr oder nur wenig über seine Ufer tritt, wird dadurch der (zusätzliche) natürliche Rückhalt größtenteils deaktiviert. Ein erheblicher Teil des insgesamt zurückgehaltenen Volumens fehlt somit beim ereignisbezogenen Volumenvergleich am Pegel Neuburg, was dazu führt, dass die Differenzen deutlich geringer ausfallen als das in den HRB genutzte Volumen von 18 Mio.  $m^3$  (z. B. E042, Abb. 12). In Fällen, bei denen auch die Abflüsse der Speichervarianten V1 bis V7 deutlich oberhalb 800  $m^3/s$  aufweisen, sind die Auswirkungen weniger prägnant (z. B. E245, Abb. 10). Dieser Effekt führt auch dazu, dass bei etlichen Ereignissen (vor allem E036, E136, E138 und E168, Abb. 13) die Verdoppelung des Rückhalts im Einzugsgebiet kaum zu einer verbesserten Wirksamkeit an der Donau führt. Die weitere Senkung des Abflusses am Lech verhindert lediglich seine Ausuferung und damit den großen zusätzlichen Beitrag des natürlichen Rückhalts in der Grundwasserretention, der im Istzustand und bei den Varianten V0 bis V4 erhebliche Wirkung entfaltet. Beim Ereignis E042 ist der Schwellenwert schon bei den Varianten V1 bis V4 meist unterschritten, so dass die Grundwasserretention hier keinen dämpfenden Einfluss mehr hat. Dadurch zeigt sich an der Donau die Wirkung des erhöhten Speichervolumens (V5 bis V7) deutlich. Letzteres gilt beispielsweise auch für das Ereignis E303, bei dem die Scheitel aller Varianten deutlich über 800  $m^3/s$  liegen und die Grundwasserretention damit alle Varianten beeinflusst.

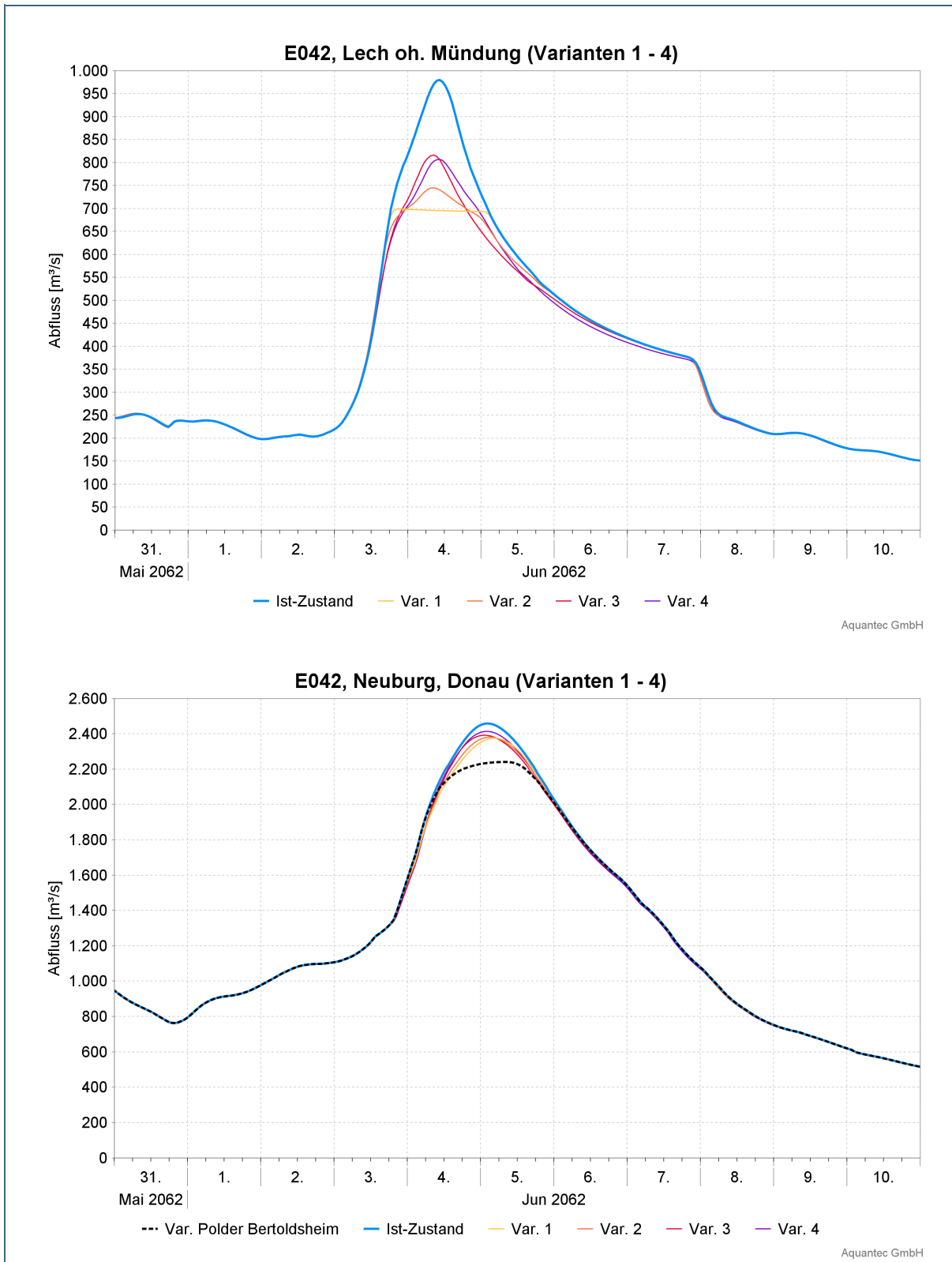


Abb. 12: Simulierte Hochwasserganglinien für das Ereignis E042 am Unterlauf des Lechs (oben) und am Pegel Neuburg/ Donau (unten): Flutpoldervariante, Ist-Zustand und Varianten des Rückhalts im Lecheinzugsgebiet V1 bis V4



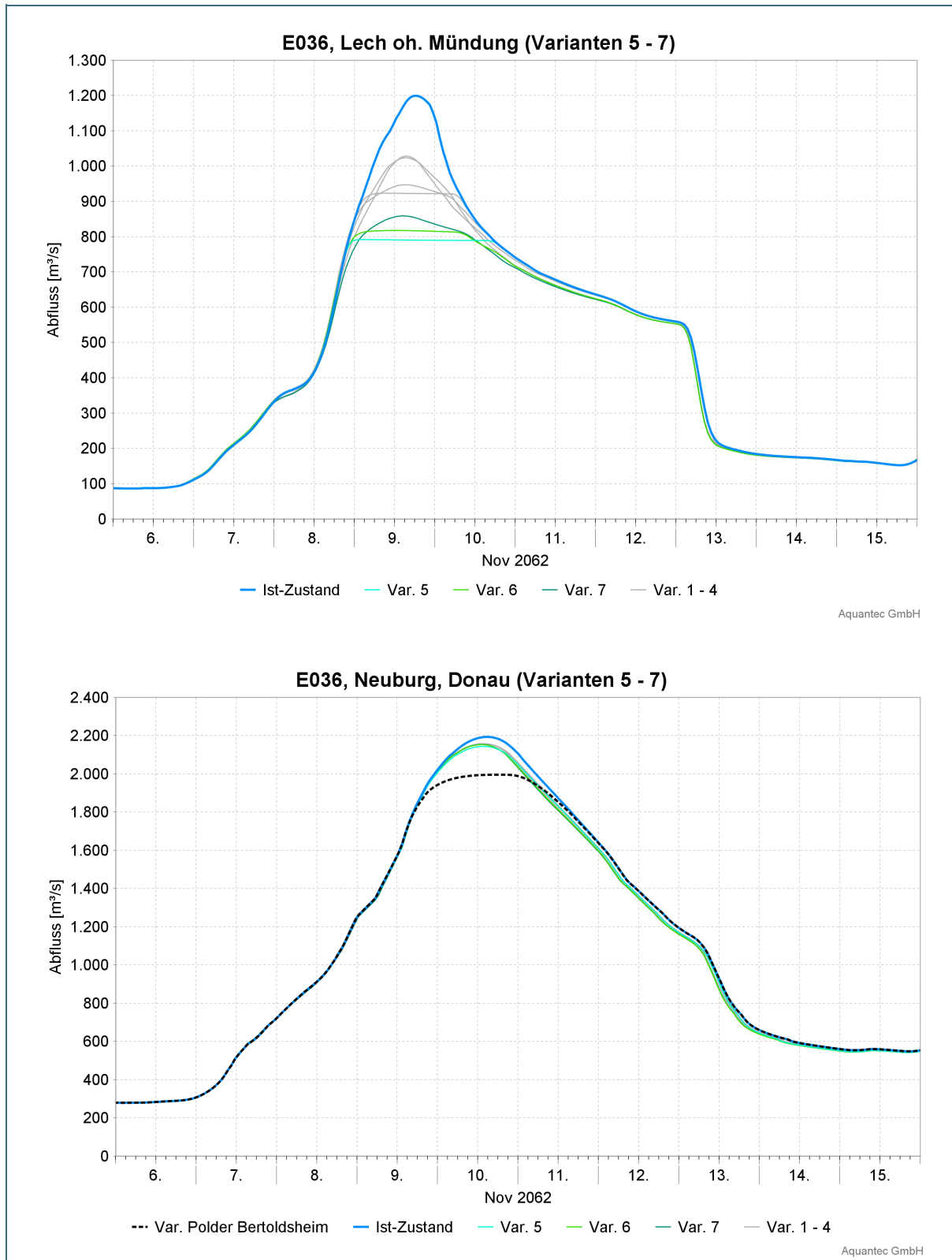


Abb. 13: Simulierte Hochwasserganglinien für das Ereignis E036 am Unterlauf des Lechs (oben) und am Pegel Neuburg/ Donau (unten): Flutpoldervariante, Ist-Zustand und Varianten des Rückhalts im Lecheinzugsgebiet

Ein weiterer Effekt, den der große Einfluss der natürlichen Retention am unteren Lech erklärt, ist, dass die Wirksamkeiten der verschiedenen Beckenkombinationen im Einzugsgebiet an der Donau sehr häufig eng beieinanderliegen, auch wenn sich am Auswertequerschnitt am Lech selbst (der oberhalb



des natürlichen Retentionsbereiches liegt) deutlich ausgeprägte Unterschiede zeigen. Durch die Ausuferung ab einem Abfluss von 800 m<sup>3</sup>/s und die zusätzliche Retention im Grundwasser werden die Spitzen der Lechwelle gedämpft und kommen an der Donau stärker vereinheitlicht an. Ausnahmen hiervon bilden die Ereignisse E042, E250 und E276, bei denen schon in den Varianten V1 bis V4 keine Ausuferung am Lech mehr auftritt und so die Wirksamkeiten der Varianten auch an der Donau stärker differenziert sind.

### Vergleich Flutpolder Eltheim und Wörthhof mit Beckenkombinationen in den Einzugsgebieten von Naab und Regen

Abbildung 14 zeigt, in welchen Bereichen des Naab- und Regeneinzugsgebiets in der Wirkungsanalyse Rückhaltepotenziale umgesetzt wurden. Tabelle 2 stellt dar, welche Standorte in welcher Kombination (Variante) zusammen aktiviert wurden und enthält wichtige Kenngrößen der Kombinationen und modellhaft umgesetzten Rückhaltebecken. Aus der Bemerkung zu den Varianten werden die zugrundeliegenden Auswahlkriterien deutlich. V0 bezeichnet die Flutpoldervariante Donau (Flutpolder Eltheim und Wörthhof immer beide aktiv), V1 bis V6 die sechs im Vergleich untersuchten Beckenkombinationen in den Einzugsgebieten von Naab und Regen. Das Volumen der Kombinationen V1 bis V5 entspricht dem in der Wirkungsanalyse umgesetzten Volumen der Flutpolder Eltheim und Wörthhof (zusammen 30,5 Mio. m<sup>3</sup>). In der Kombination V6 ist in den Einzugsgebieten von Naab und Regen das doppelte Volumen an Rückhalt umgesetzt (61 Mio. m<sup>3</sup>). Sie umfasst an der Naab alle ausgewählten Becken, am Regen die drei Becken, die das größte Einzugsgebiet abdecken.

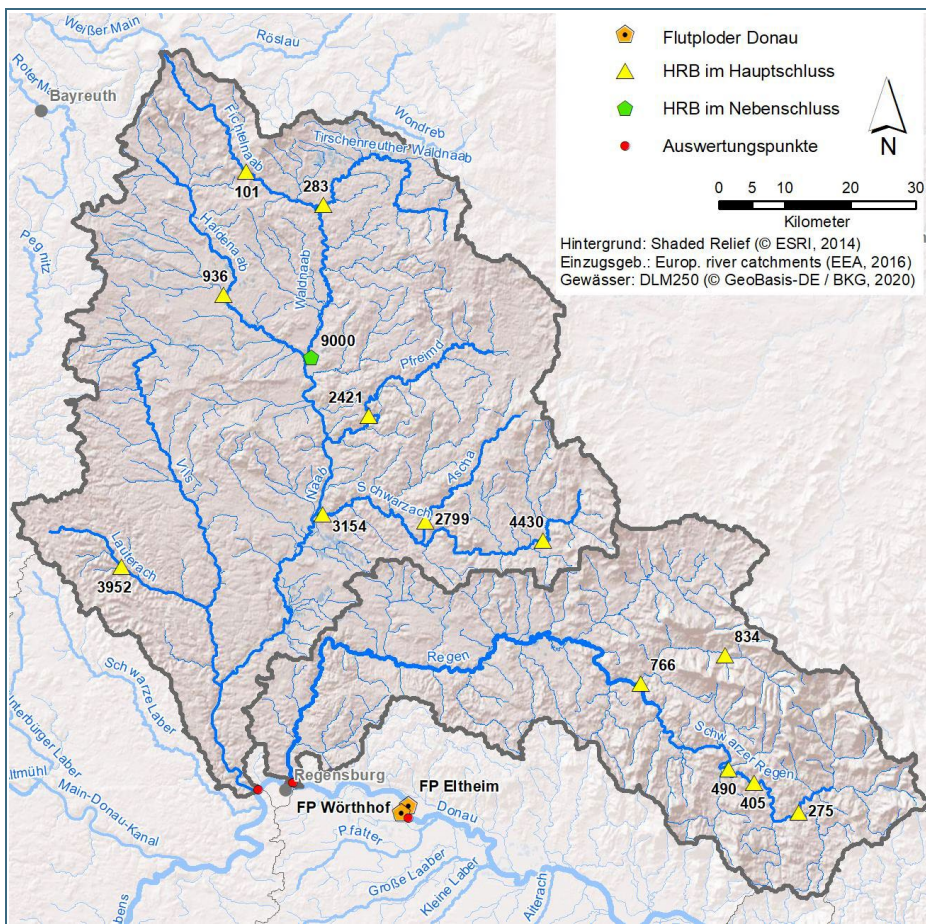


Abb. 14: Lage und Kennnummer (ID) der für die Wirkungsanalyse ausgewählten Hochwasserrückhaltebecken (HRB) im Haupt- und Nebenschluss in den Einzugsgebieten von Naab und Regen, sowie Lage der Flutpolder an der Donau und der Auswertequerschnitte für den Wirkungsvergleich

Tab. 2: HRB-Kombinationen (Varianten) für die Wirkungsanalyse in den Einzugsgebieten von Naab (N) und Regen (R) mit insgesamt abgedeckter Einzugsgebietsfläche (EZG), gerundeter Summe der Beckenvolumina ( $\Sigma V$  Var.), zugehörigen HRB, HRB-Typ (HS: Hauptschluss, NS: Nebenschluss) und angepasstem Volumen (V Var.) der Becken

Var.	Bemerkung Auswahl	EZG [km <sup>2</sup> ]	$\Sigma V$ Var. [Mio. m <sup>3</sup> ]	HRB-ID	HRB-Typ	Gewässer	V Var. [Mio. m <sup>3</sup> ]
0	Flutpolder Eltheim & Wörthhof	-	30.5	100	NS	Donau	15.1
				101	NS	Donau	15.4
1	größtes EZG	3.813	30.5	9000	NS	Waldnaab (N)	1.4
				936	HS	Haidenaab (N)	2.1
				2421	HS	Pfreimd (N)	8.8
				3154	HS	Schwarzach (N)	2.8
				3952	HS	Lauterach (N)	3.4 <sup>2)</sup>
				766	HS	Regen (R)	11.9
2	größtes EZG mit gleicher HRB-Anzahl in Naab und Regen	3.419	30.5	9000	NS	Waldnaab (N)	1.4
				2421	HS	Pfreimd (N)	8.8
				3154	HS	Schwarzach (N)	2.8
				490	HS	Schw. Regen (R)	3.9 <sup>1)</sup>
				834	HS	Weißer Regen (R)	1.7
				766	HS	Regen (R)	11.9
3	größtes effektives Rückhaltepotenzial mit möglichst ausgewogener Verteilung auf Naab und Regen	1.387	30.5	283	HS	Tirschenr. Waldnaab (N)	6.8 <sup>2)</sup>
				2421	HS	Pfreimd (N)	8.8
				405	HS	Schw. Regen (R)	14.8
4	größtes EZG ohne 766 (Regen) sowie 9000 (NS), 2421, 3154 (alle Naab)	1.859	30.5	283	HS	Tirschenr. Waldnaab (N)	6.1 <sup>2)</sup>
				101	HS	Fichtelnaab (N)	1.9
				936	HS	Haidenaab (N)	2.1
				4430	HS	Schwarzach (N)	2.2
				2799	HS	Ascha (N)	2.3
				3952	HS	Lauterach (N)	4.2 <sup>2)</sup>
				490	HS	Schw. Regen (R)	11.7
				283	HS	Tirschenr. Waldnaab (N)	6.5 <sup>2)</sup>
5	größtes effektives Rückhaltepotenzial ohne 490, 766 (Regen) sowie 9000 (NS), 2421, 3154 (alle Naab) mit möglichst ausgewogener Verteilung auf Naab und Regen	998	30.5	3952	HS	Lauterach (N)	4.3 <sup>2)</sup>
				275	HS	Schw. Regen (R)	4.8
				405	HS	Schw. Regen (R)	14.8
				283	HS	Tirschenr. Waldnaab (N)	6.8 <sup>2)</sup>
6	Naab: alle HRB aus Var. 1-5, Regen: größtes EZG bei minimierte Beckenanzahl, doppeltes Gesamtvolumen	3.866	61	101	HS	Fichtelnaab (N)	1.9
				936	HS	Haidenaab (N)	2.1
				2421	HS	Pfreimd (N)	8.8
				4430	HS	Schwarzach (N)	2.2
				2799	HS	Ascha (N)	2.3
				3952	HS	Lauterach (N)	4.3 <sup>2)</sup>
				9000	NS	Waldnaab (N)	1.4

Var.	Bemerkung Auswahl	EZG [km <sup>2</sup> ]	Σ V Var. [Mio. m <sup>3</sup> ]	HRB-ID	HRB-Typ	Gewässer	V Var. [Mio. m <sup>3</sup> ]
				3154	HS	Schwarzach (N)	2.8
				405	HS	Schw. Regen (R)	14.8
				834	HS	Weißer Regen (R)	1.7
				766	HS	Regen (R)	11.9
1) Beckenvolumen im Vergleich zum effektiven Rückhaltepotenzial reduziert							
2) Beckenvolumen im Vergleich zum effektiven Rückhaltepotenzial erhöht							

Die mit den untersuchten Varianten in den Einzugsgebieten von Naab und Regen beobachteten Scheitelreduktionen der Hochwasserwelle an der Donau im Vergleich zum Ist-Zustand (Auswertequerschnitt unterhalb Flutpolder Wörthhof) ist in Abbildung 15 für die zehn untersuchten repräsentativen Ereignisse zusammenfassend dargestellt. Tabelle A3 im Anhang enthält die Aufstellung der absoluten und relativen Werte der Donauabflüsse und der beobachteten Reduktionen für die Simulationen im Naab-/Regengebiet.

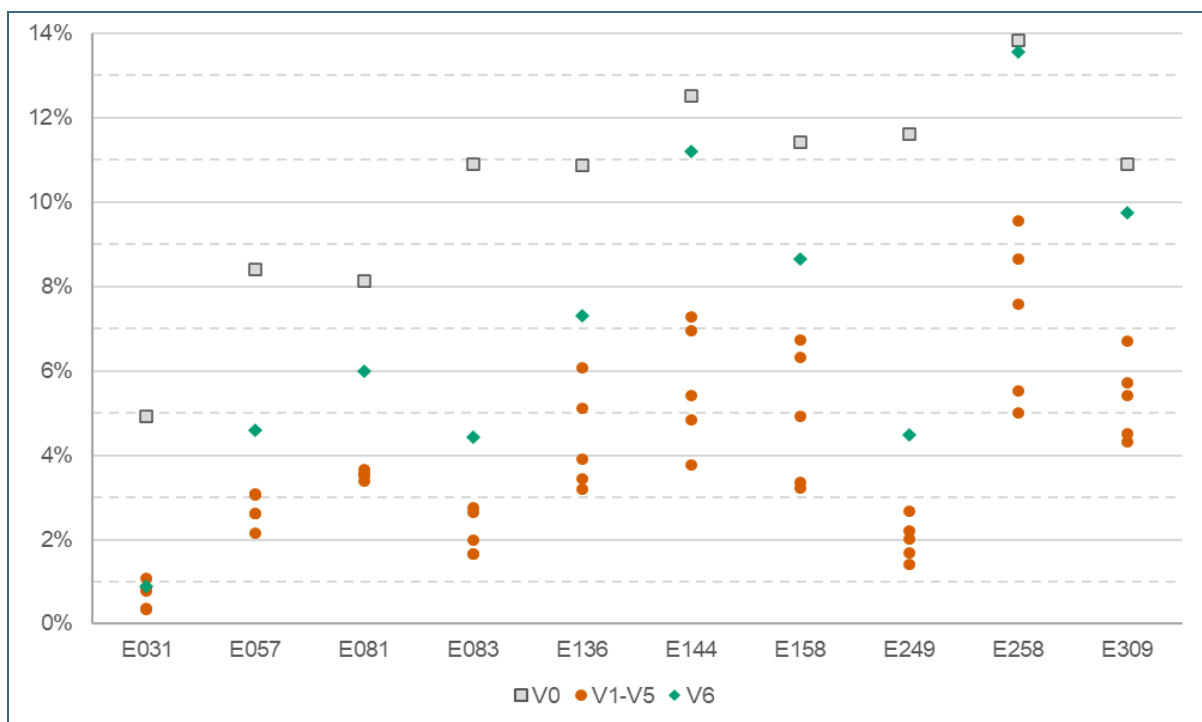


Abb. 15: Zusammenstellung der relativen Scheitelreduktion am Auswertequerschnitt unterhalb Wörthhof für die Flutpoldervariante Eltheim und Wörthhof (Variante V0) und die sechs im Vergleich untersuchten Beckenkombinationen im Einzugsgebiet (V1–V5: gleiches Gesamtvolumen wie Eltheim+Wörthhof, 30,5 Mio. m<sup>3</sup>; V6: doppeltes Gesamtvolumen; 61 Mio. m<sup>3</sup>)

Im Vergleich zum Ist-Zustand ergibt sich für die Variante V0 am Auswertequerschnitt an der Donau im Mittel über alle Ereignisse eine Scheitelreduktion von 10,4 %. Die größte Wirkung mit 13,8 % lässt sich für das Spätsommerereignis E258 (knapp über HQ<sub>100</sub> am Pegel Schwabelweis/Donau) beobachten, das sich durch eine steile Welle mit vergleichsweise geringem Volumen auszeichnet. Die geringste Scheitelreduktion ergibt sich für das Winterereignis E031 (zwischen HQ<sub>100</sub> und HQ<sub>200</sub>, Pegel Schwabelweis) mit einer langgezogenen mehrgipfligen Welle und dem größten Volumen aller betrachteten Ereignisse. Der Einsatz der Beckenkombinationen in den Einzugsgebieten von Naab und Regen

mit gleichem Volumen (V1–V5: 30,5 Mio. m<sup>3</sup>) resultiert am Auswertequerschnitt an der Donau im Mittel über alle Varianten und Ereignisse in einer Scheitelreduzierung um 3,9 %. Durchschnittlich erreichen V1 bis V5 damit nur rund 36 % der Flutpolderwirkung. Die geringste Scheitelreduktion zeigt sich wie bei V0 bei dem langanhaltenden Winterereignis E031 (V4: 0,3 %), die höchste, ebenfalls wie bei der Flutpoldervariante, beim Septemberereignis E258 (V2: 9,6 %; Abb. 16 und 17 unten, Tab. A3 im Anhang). Die Wirkung dieser Varianten ist durchgängig bei allen Ereignissen geringer als die der Variante V0. Bei der Kombination mit 61 Mio. m<sup>3</sup> Rückhalt im Einzugsgebiet (V6) ergibt sich im Mittel über alle Szenarien am Auswertequerschnitt an der Donau eine Scheitelreduktion von um 7,1 %. Im Vergleich zu den Varianten mit einfachem Volumen ist die Scheitelreduktion um 84 % höher, entspricht aber nur rund 69 % der Wirkung der Flutpoldervariante. Trotz des deutlich höheren Retentionsvolumens wird bei keinem der Ereignisse die Scheitelreduktion der Flutpoldervariante erreicht. Die besten Ergebnisse werden bei den Ereignissen E258 (13,6 %, Abb. 17), E144 (11,2 %) und E309 (9,7 %) erzielt (Tab. A3 im Anhang). Die reduzierten Scheitel liegen hier jeweils nur wenig über denen der Flutpoldervariante V0. Die geringste Scheitelreduktion zeigt sich bei den Ereignissen E249 (4,5 %), E083 (4,4 %) und E031 (0,9 %, Abb. 16).

Während der Einsatz der Flutpolder an der Donau (V0) bei allen Ereignissen eine signifikante Wirkung am Auswertequerschnitt zeigt, ist die Scheitelreduktion bei den Varianten V1 bis V6 deutlich stärker vom jeweiligen Ereignis abhängig. Betrachtet man im Vergleich dazu die Ergebnisse direkt an den Unterläufen von Naab und Regen, zeigt sich, dass dort die Unterschiede in der relativen Wirkung zwischen den Ereignissen weniger prägnant sind. Dies weist darauf hin, dass die Gründe für die Ereignisabhängigkeit nicht nur in diesen Einzugsgebieten zu suchen sind, sondern auch im Zusammenwirken der Abflüsse von Naab, Regen und Donau. So ist davon auszugehen, dass die Relation der Abflüsse aus Naab und Regen zum Gesamtabfluss der Donau eine wesentliche Rolle bei der Ereignisabhängigkeit spielt. Das Verhältnis ist bei den Ereignissen E249 (>HQ<sub>200</sub>, Pegel Schwabelweis) und E083 (zw. HQ<sub>100</sub> u. HQ<sub>200</sub>, Pegel Schwabelweis) mit geringer Wirksamkeit vergleichsweise niedrig, so dass der Einfluss der HRB an den Seitenzuflüssen naturgemäß beschränkt ist. Dagegen sind die beiden Gebiete insbesondere bei den Ereignissen E144 (zw. HQ<sub>100</sub> u. HQ<sub>200</sub>, Pegel Schwabelweis) und E258 sehr stark am Donauabfluss beteiligt und die Rückhaltemaßnahmen können damit eine größere Wirkung entfalten. Daneben ist die Form und Dauer der Hochwasserwelle von Bedeutung für die Absenkung der Hochwasserwellen. Das Ereignis E031 beispielsweise zeigt die insgesamt geringste Scheitelreduktion, obwohl Naab und Regen hier einen erheblichen Anteil am Donauabfluss besitzen. Allerdings ist dies auch das Ereignis mit dem größten Hochwasservolumen und einem langandauernden mehrgipfligen Scheitel. Letzteres trifft insbesondere auch auf das Hochwassergeschehen an der Naab zu. Aufgrund des breiten, voluminösen Scheitels erstreckt sich der Rückhalt in den Becken über einen längeren Zeitraum, so dass die Scheitelhöhe in geringerem Maße reduziert wird als bei Ereignissen mit kurzen Scheiteln und geringerem Volumen wie z. B. dem Ereignis E258.

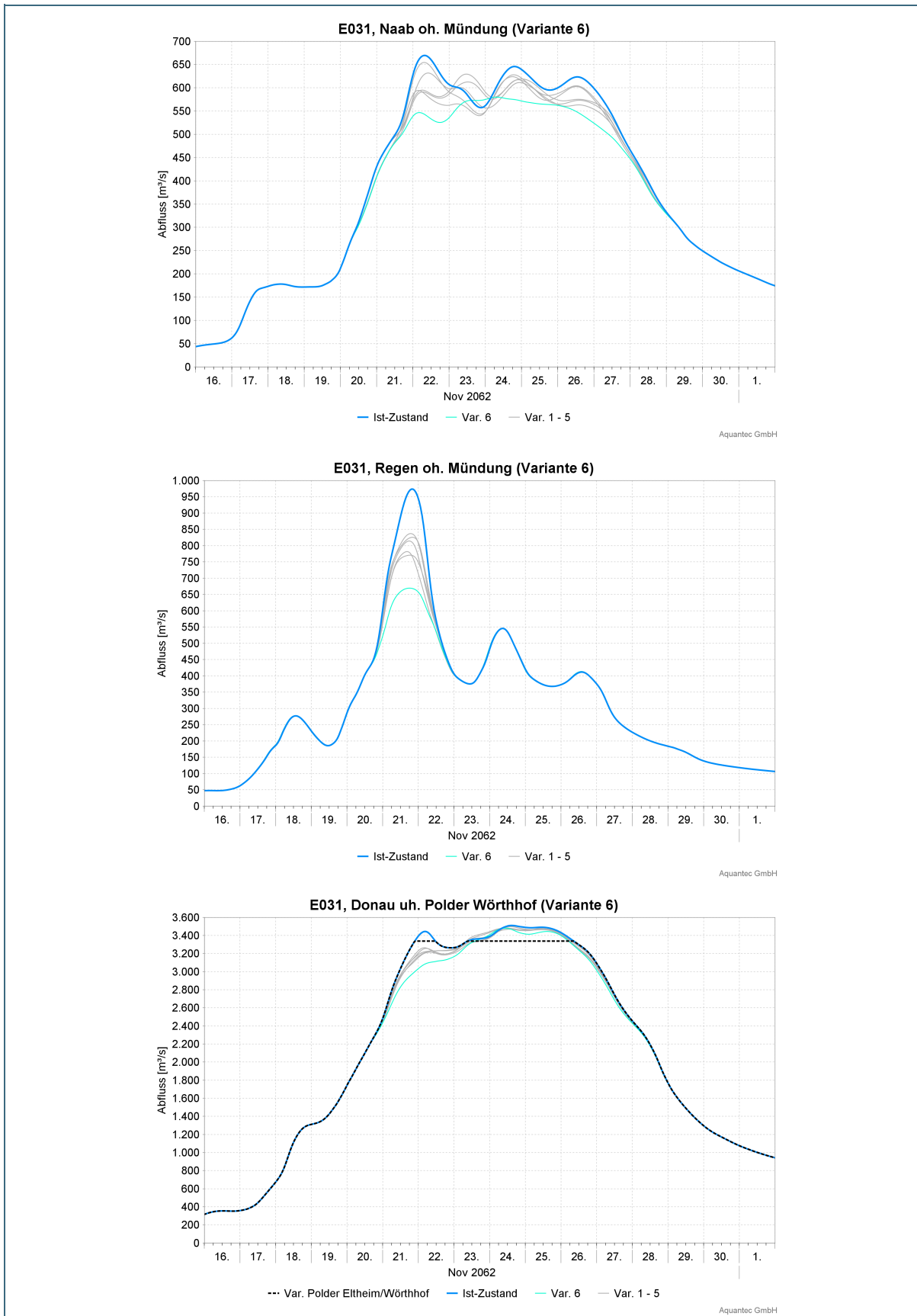


Abb. 16: Simulierte Hochwasserganglinien für das Ereignis E031 am Unterlauf von Naab (oben), Regen (Mitte) und unterhalb des Flutpolders Wörthhof an der Donau (unten): Flutpoldervariante, Ist-Zustand und Varianten des Rückhalts im Naab- und Regengebiet



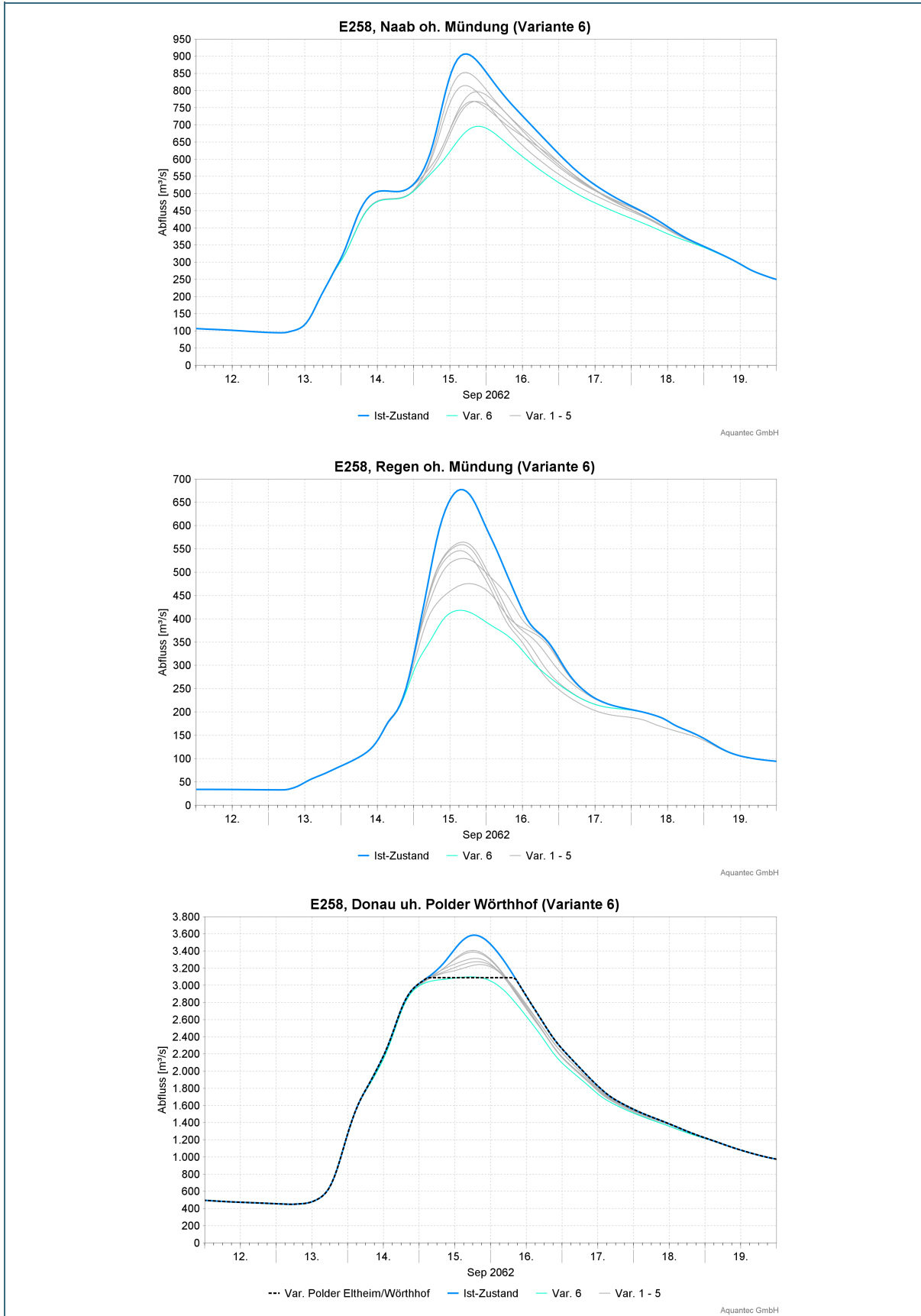


Abb. 17: Simulierte Hochwasserganglinien für das Ereignis E258 am Unterlauf von Naab (oben), Regen (Mitte) und unterhalb des Flutpolders Wörthhof an der Donau (unten): Flutpoldervariante, Ist-Zustand und Varianten des Rückhalts im Naab- und Regengebiet

Auch die räumliche Verteilung des Niederschlags – und damit des Abflusses – innerhalb der Einzugsgebiete hat einen Einfluss auf die Wirksamkeit der Beckenkombinationen. Bei vergleichsweise geringen Abflüssen an einem HRB-Standort kann es dazu kommen, dass das Becken nicht vollständig ausgelastet wird und sich damit das tatsächlich genutzte Retentionsvolumen reduziert. Dieser Fall tritt in der vorliegenden Untersuchung ausschließlich beim Ereignis E136 (zw. HQ<sub>100</sub> u. HQ<sub>200</sub>, Pegel Schwabelweis) auf, das die in beiden Einzugsgebieten insgesamt geringsten Abflüsse aufweist. Betroffen davon sind bei den Varianten V3 bis V6 jeweils ein bis zwei HRB. Lokal geringe Abflüsse können sich selbst dann auf die Wirksamkeit einer Variante auswirken, wenn die beteiligten Becken ausgelastet sind. Das Füllen der Becken benötigt in diesen Fällen vergleichsweise lange, so dass sich auch die Abflussreduktion über einen längeren Zeitraum erstreckt. Die Wirkung zum Scheitelzeitpunkt fällt damit geringer aus. Für die Wirkung der HRB an den Seitenzuflüssen ist es des Weiteren von maßgeblicher Bedeutung, ob die Hochwasserscheitel aus Naab, Regen und Donau zeitlich zusammentreffen. Dies ist beim Ereignis E144 mit vergleichsweise hoher Reduktionswirkung am ehesten der Fall: Naab- und Donauwelle treffen annähernd zeitgleich ein, der Scheitel des Regen läuft nur um einige Stunden nach. Die Reduktion an den Seitengewässern wirkt sich so vorwiegend im Scheitelbereich der Donau aus. Beim Ereignis E057 (knapp HQ<sub>100</sub>, Pegel Schwabelweis) dagegen laufen die Wellen aus Naab und Regen rund einen Tag vor. An der Donau bildet sich unterhalb der Regenmündung deshalb ein Vorscheitel aus, der sogar etwas höher ist als der ursprüngliche Donauscheitel. Die Rückhaltemaßnahmen wirken sich folglich im Wesentlichen auf den Vorscheitel aus, während der nachfolgende ursprüngliche Donauscheitel kaum reduziert wird. Ein ganz ähnlicher Effekt zeigt sich auch bei Ereignis E083. Das Regen-lastige Ereignis E249 fällt am Regen durch eine ausgeprägte Doppelwelle auf. Die Rückhaltevarianten wirken sich hier vor allem auf die erste Welle aus, die allerdings die Donau vor deren Scheitel erreicht. Unterhalb der Polderstandorte zeigt sich die Retentionswirkung daher vor allem im ansteigenden Ast der Welle, bewirkt aber keine nennenswerte Reduktion des Donauscheitels. Auch bei Variante 6 zeigt sich eine ausgeprägte Ereignisabhängigkeit der Scheitelreduktion. Die Relation der Ergebnisse zwischen den Ereignissen unterscheidet sich nicht signifikant von den entsprechenden Ergebnissen für Variante V1 bis V5, so dass davon auszugehen ist, dass auch hier dieselben Einflussfaktoren von Relevanz sind.

Bei einigen Ereignissen zeigt sich eine deutliche Differenzierung in der Wirkung der unterschiedlichen Beckenkombinationen. Dies umfasst vor allem die Ereignisse E258, E144, E158 sowie mit Abstrichen E136 und E309. Bei diesen Ereignissen ergibt sich die größte Scheitelreduktion mit durchschnittlich 7,3 % jeweils für die Variante V2 (größtes Einzugsgebiet bei gleicher Verteilung der HRB auf Naab und Regen). Etwas schlechter schneidet hier die Variante V1 (größtes Einzugsgebiet) mit einer Reduktion um 6,5 % ab. Eine eher durchschnittliche Scheitelsenkung ergibt sich für Variante V3 (größtes effektives Rückhaltepotenzial) mit 5,5 %. Die Varianten V4 (größtes Einzugsgebiet, ohne die mündungsnächsten HRB) und V5 (größtes effektives Rückhaltepotenzial, ohne die mündungsnächsten HRB) zeigen mit 4,3 % und 3,9 % bei den ausgewählten Ereignissen die geringste Wirkung. Die beschriebene Rangfolge ergibt sich auch für die mittlere Reduktion über alle Ereignisse. Bei den weniger differenzierten Ereignissen, insbesondere E081, E031 und E057 sowie E083 und E249, zeigen sich jeweils abweichende Rangfolgen der Varianten (Tab. A3 im Anhang). Insgesamt sind die Unterschiede bei diesen Ereignissen aber wenig signifikant. Die Analyse der Ergebnisse für die Varianten deutet dennoch insgesamt darauf hin, dass die Varianten, bei denen die HRB die größten Einzugsgebiete abdecken (V2 und V1), die beste Wirkung zeigen. Die Auswahl nach dem größten effektiven Rückhaltevolumen resultiert in nur durchschnittlichen Ergebnissen. Der Verzicht auf die mündungsnächsten HRB erweist sich in der Regel als nachteilig für die Reduktion der Hochwasserabflüsse.

Bei sieben der zehn Ereignisse bewirkt der Poldereinsatz (V0) eine Verminderung des Scheitelabflusses unter HQ<sub>100</sub> (3400 m<sup>3</sup>/s, Pegel Schwabelweis), so dass das Volumen über HQ<sub>100</sub> jeweils um

100 % reduziert wird (Tab. A4 im Anhang). Die Scheitel zweier weiterer Ereignisse (E057, E081) liegen bereits im Ist-Zustand etwas unter dem  $HQ_{100}$ . Beim größten Ereignis E309 wird das Volumen über  $HQ_{100}$  um genau das Volumen der beiden Polder (30,5 Mio.  $m^3$  bzw. 90,5 %) reduziert. Während bei der Flutpoldervariante das Volumen über  $HQ_{100}$  im Mittel über die Ereignisse um 11,3 Mio.  $m^3$  reduziert wird, ergibt sich für die Varianten V1 bis V5 ein durchschnittlicher Wert von 5,9 Mio.  $m^3$ , was 52 % der Flutpolderwirkung entspricht. Die Volumenreduktion ist im Mittel ebenfalls für Variante V2 am größten (6,5 Mio.  $m^3$ ), gefolgt von V1 und V3 (6,2 und 6,1 Mio.  $m^3$ ), V5 (5,6 Mio.  $m^3$ ) und V4 (5,2 Mio.  $m^3$ ). Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass diese Werte nur eine beschränkte Aussagekraft besitzen, da einige Ereignisse  $HQ_{100}$  nicht oder nur geringfügig überschreiten und damit in den Mittelwerten unterrepräsentiert sind.

Das Hochwasservolumen über  $HQ_{100}$  wird bei Variante V6 um durchschnittlich 9,1 Mio.  $m^3$  pro Ereignis reduziert. Damit liegt die Reduktion 20 % unter dem Wert der Flutpoldervariante (11,3 Mio.  $m^3$ ) und 53 % über dem Mittelwert für die Varianten V1 bis V5 (5,9 Mio.  $m^3$ ). Wie bereits oben erwähnt, sind diese Zahlen allerdings nur bedingt aussagekräftig, da das Volumen über  $HQ_{100}$  bereits im Ist-Zustand meist deutlich unter dem veranschlagten Retentionsvolumen liegt und das  $HQ_{100}$  bei zwei Ereignissen nicht überschritten wird.

Für die Wirkung der Beckenkombinationen spielt die natürliche Hochwasserretention in den Einzugsgebieten von Naab und Regen zwar keine so entscheidende Rolle wie am Lech (s. o) und wird hier nicht näher analysiert, eine gewisse Retention in Vorländern, Auen und im Grundwasser ist aber in jedem Einzugsgebiet wirksam. Im Ist-Zustand und beim Einsatz des Flutpolders wirkt sich die natürliche Retention über die gesamte Fließstrecke der Gewässer dämpfend auf den Hochwasserabfluss aus. Durch die Umsetzung von Rückhaltmaßnahmen in den Seitengewässern wird mit deren Abfluss auch die natürliche Retention flussabwärts der Becken gemindert. Dies verringert die Wirksamkeit der Maßnahmen z. B. in Relation zum Flutpolder. Je länger die Fließstrecke unterhalb der HRB ist, d. h. je mündungsferner die HRB verortet sind, desto mehr Einfluss hat dieser Effekt im Allgemeinen.

### 3.3 Ergänzende Überprüfung der Flutpolderwirkung

Die ergänzende Überprüfung der hydraulischen Wirkung von Flutpoldern stellt eine Fortführung bzw. Ergänzung der bisherigen Wirkungsanalysen der TUM dar, vor allem hinsichtlich der Wirkung der in Frage gestellten Standorte Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof.

Für die Standorte Eltheim und Wörthhof werden insbesondere für verschiedene Flutpoldervarianten der Wirkungsverlauf über eine längere Donauabschnitt bis Vilshofen anhand eines Überlastfalls im Donauabschnitt III (Naab-/Regen- bis Isarmündung) und eines Überlastfalls ab der Isarmündung im Donauabschnitt IV näher betrachtet. Im Zuge von Simulationen mit synthetischen Hochwasserereignissen, die vor allem in den Donauabschnitten II ab Lechmündung und III ab Naab-/Regenmündung großräumige Überlastfälle darstellen, werden die Wirkung der Flutpolder Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof noch detaillierter beleuchtet.

#### Vorgehen

Für die Wirkungsanalysen wurden wie bei den bisherigen TUM-Studien numerische 2D-Modelle verwendet. Aufgrund des zwischenzeitlichen Planungsfortschritts im Flutpolderprogramm an der Donau haben sich die Flutpolderstandorte zum Teil in Lage, Konzeption oder Volumina im Vergleich zu den Ansätzen in den bisherigen TUM-Studien geändert. Zum Teil wurden im Rahmen der Planung auch aktuelle detaillierte 2D-Modelle erstellt.

Daher wurden die Simulationen zwischen Neu-Ulm und Donauwörth vom Büro SKI bzw. vom WWA Donauwörth mit den aktuellen Detailmodellen aus der Erstellung der Raumordnungsunterlagen zum Hochwasserschutz Aktionsprogramm Schwäbische Donau durchgeführt. Das Modell des Bezugszustands stellt den Zustand nach Umsetzung der Grundschutzmaßnahmen an der Schwäbischen Donau dar, im Modell des Planzustands sind zusätzlich noch die Rückhaltmaßnahmen enthalten.

Für die Simulationen zwischen Donauwörth und Straubing wurden die bisherigen 2D-Modelle der TUM eingesetzt. Sie wurden aufgrund zwischenzeitlich geänderter Umgriffe und Volumina der geplanten Flutpolderstandorte und aktueller Deich- und Dammhöhen auf den neuesten Stand gebracht. Insbesondere ist bei der Modellaktualisierung für den Bereich der Öberauer Schleife im Istzustand, wo unter  $HQ_{100}$  schon eine unkontrollierte Flutung über die Rücklaufdeiche an der Kößnach einsetzt, ein intensiver Abgleich mit den Ergebnissen des detaillierten lokalen Planungsmodells zur Öberauer Schleife erfolgt.

Die Simulationen von Straubing bis Vilshofen wurden von WIGES mit dem Donaumodell zum geplanten Donauausbau (Ausbauzustand) durchgeführt. Auch dieses Modell beinhaltet bereits die derzeit in Bau oder im Planfeststellungsverfahren befindlichen Maßnahmen des Donauausbaus, insbesondere die Maßnahmen zur Sicherstellung des  $HQ_{100}$ -Grundschutzes (z. B. Deicherhöhungen, Deichrückverlegung oder Anlegen von ungesteuerten und gesteuerten Rückhalteräumen). Mit einem weiteren Modell, das WIGES für hydraulische Untersuchungen am Wehr Kachlet erstellt hat, wurden einzelne Simulationen bis zum Pegel Achleiten (unterhalb Passau) gerechnet.

Aus vorgenannten Gründen werden die Planzustände (PZ) der Flutpoldervarianten bei dieser Wirkungsanalyse nicht mit einem Ist-Zustand, sondern mit einem Bezugszustand (BZ) verglichen. Deichbruchszenarien wurden nicht simuliert.

Als hydrologische Szenarien wurden zunächst wie in den vorherigen TUM-Studien hochskalierte abgelaufene Hochwasserereignisse für die Betrachtungen eines  $HQ_{100}+15\%$  im Donauabschnitt III und eines Überlastfalls (knapp über  $HQ_{100}$ ) im Donauabschnitt IV, basierend auf den historischen Hochwassern 2011 bzw. 2013, verwendet. Um eine breitere Basis vor allem für die Beurteilung des Wir-

kungsverlaufs im Abschnitt Straubing–Vilshofen im Zusammenspiel mit den dort geplanten Rückhalteräumen zu erhalten, wurden weitere vier Szenarien für die Donauabschnitte III und IV aus den synthetisch generierten Ereignissen ausgewählt. Für die Wirkungsanalysen entlang der gesamten Donau wurden zusätzliche sechs synthetisch generierte Ereignisse verwendet, die vor allem in den Donauabschnitten II und III großräumige Überlastfälle verursachen.

Die Steuerung der Flutpolder entlang der Donau erfolgte bei einem lokalen Einsatzfall so, dass möglichst eine optimierte Scheitelkappung erzielt wird. Ein vorgeschalteter Einsatz der Flutpolder unter Annahme einer pauschalen Abflussentnahme über einen bestimmten Zeitraum wurde nur beim Überlastfall im Donauabschnitt IV und teilweise beim Flutpolder Helmeringen für einen Einsatz bei sehr großen Wörnitzabflüssen angesetzt.

Weiterhin wurden in dieser Studie im Donauabschnitt I die zwei geplanten Rückhalteräume Tapfheim und Donauwörth, die bei etwa  $HQ_{80}$  zur Unterstützung des Grundschutzes anspringen, in den Planungszuständen sowie in den Donauabschnitten III und IV die geplanten Rückhalteräume im Bereich Straubing–Vilshofen, die bei  $HQ_{40-50}$  aktiviert werden, in den Bezugs- und Planungszuständen mitberücksichtigt.

Die Auswertungen findet an maßgeblichen Donauepegeln statt. Eine Besonderheit stellt der Pegel Straubing dar. In Straubing teilt sich die Donau in einen Nordarm und einen Südarm auf. Der Pegel liegt am Südarm. Für die Auswertung der Abflüsse der Donau in Straubing wurde die Summe aus dem Abfluss aus Nordarm und Südarm jeweils an der Staatsstraße 2125 gebildet.

### **Ergebnisse der Simulation von Überlastfallereignissen im Donauabschnitt III und IV**

Insgesamt sechs Ereignisse wurden für die Donauabschnitte III und IV simuliert, um die Wirkung der dort geplanten Flutpolder insgesamt und auch den Beitrag der Flutpolder Eltheim und Wörthhof zu ermitteln. Von besonderem Interesse ist auch der weitere Verlauf der Flutpolderwirkung im Abschnitt Straubing–Vilshofen im Zusammenspiel mit den dort geplanten Rückhalteräumen.

Die Ergebnisse aller sechs hydrologischen Szenarien, simuliert zum Teil mit unterschiedlichen Flutpoldervarianten, sind in Tabelle 3 enthalten. Auf die beiden skalierten Ereignisse wird im Folgenden näher eingegangen. Für die Beschreibung der weiteren vier synthetischen Ereignisse wird auf den ausführlichen Bericht der TUM [6] verwiesen.



Tab. 3: Ergebnisse der Simulationen für die Donauabschnitte III und IV (die maximalen Abflüsse sind nach ihrer Jährlichkeit farblich gekennzeichnet; Abkürzungen siehe nachfolgende textliche Beschreibung der Simulationen)

		< HQ <sub>100</sub>	(HQ <sub>T</sub> -Werte in m <sup>3</sup> /s)								
		≥ HQ <sub>100</sub>	2200	2350	3400	3400	3400	4100	4100	4100	8800
		≥ HQ <sub>200</sub>	2380	2550	3700	3700	3700	4500	4500	4500	9500
		≥ HQ <sub>500</sub>	2600	2800	4100	4100	4100	5000	5000	5000	10500
		≥ HQ <sub>1000</sub>	2800	3000	4500	4500	4500	5500	5500	5500	11500
Szenario			Kelheim	Kelheimwinzer	Schwabelweis	Straubing	Deggendorf	Niederaltteich	Hofkirchen	Vilshofen	Passau Iizstadt
HQ <sub>100</sub> +15% DA III (HW2011 skal.)	Q <sub>max</sub> (Bezugszustand BZ)	(m <sup>3</sup> /s)			3830	3747	3633	4058	4061	4030	8721
	Q <sub>max</sub> (Planzustand PZ EWÖ)	(m <sup>3</sup> /s)			3830	3537	3455	3882	3885	3867	8721
	dQ (PZ EWÖ - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)				210	178	176	176	163	0
	dQ (PZ EWÖ - BZ)	(%)				5,6	4,9	4,3	4,3	4,0	0
	Q <sub>max</sub> (PZ EWgÖ)	(m <sup>3</sup> /s)			3830	3460					
	dQ (PZ EWgÖ - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)				287					
	dQ (PZ EWgÖ - BZ)	(%)				7,7					
	Q <sub>max</sub> (PZ Ö)	(m <sup>3</sup> /s)			3830	3712	3614	4040	4043	4014	8721
	dQ (PZ Ö - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)				35	19	18	18	16	0
	dQ (PZ Ö - BZ)	(%)				0,9	0,5	0,4	0,4	0,4	0
ÜLF DA IV (HW2013 skal.)	Q <sub>max</sub> (BZ)	(m <sup>3</sup> /s)			3228	3316	3154	4191	4197	4158	10614
	Q <sub>max</sub> (PZ EWÖ)	(m <sup>3</sup> /s)			3228	3223	2971	4018	3993	3977	10613
	dQ (PZ EWÖ - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)				93	183	173	204	181	1
	dQ (PZ EWÖ - BZ)	(%)				2,8	5,8	4,1	4,9	4,4	0
	Q <sub>max</sub> (PZ Ö)	(m <sup>3</sup> /s)			3228	3231	3101	4128	4133	4104	10613
	dQ (PZ Ö - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)				85	53	63	64	54	1
	dQ (PZ Ö - BZ)	(%)				2,6	1,7	1,5	1,5	1,3	0
E083	Q <sub>max</sub> (BZ)	(m <sup>3</sup> /s)	2064	2487	3509	3500	3177	3644	3608	3614	
	Q <sub>max</sub> (PZ EWÖ)	(m <sup>3</sup> /s)	2064	2487	3509	3274	3143	3653	3620	3625	
	dQ (PZ EWÖ - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)				226	34	-9	-12	-11	
	dQ (PZ EWÖ - BZ)	(%)				6,5	1,1	-0,2	-0,3	-0,3	
E144	Q <sub>max</sub> (BZ)	(m <sup>3</sup> /s)	1556	1908	3602	3538	3198	3593	3516	3522	
	Q <sub>max</sub> (PZ EWÖ)	(m <sup>3</sup> /s)	1556	1908	3602	3245	3075	3518	3479	3472	
	dQ (PZ EWÖ - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)				293	123	75	37	50	
	dQ (PZ EWÖ - BZ)	(%)				8,3	3,8	2,1	1,1	1,4	
E249	Q <sub>max</sub> (BZ)	(m <sup>3</sup> /s)	2284	2537	3807	3698	3359	3637	3632	3632	
	Q <sub>max</sub> (PZ EWÖ)	(m <sup>3</sup> /s)	2284	2537	3807	3334	3215	3586	3525	3530	
	dQ (PZ EWÖ - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)				364	144	51	107	102	
	dQ (PZ EWÖ - BZ)	(%)				9,8	4,3	1,4	2,9	2,8	
E309	Q <sub>max</sub> (BZ)	(m <sup>3</sup> /s)	2035	2415	3826	3749	3442	3868	3863	3849	
	Q <sub>max</sub> (PZ EWÖ)	(m <sup>3</sup> /s)	2035	2415	3826	3428	3220	3652	3630	3635	
	dQ (PZ EWÖ - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)				321	222	216	233	214	
	dQ (PZ EWÖ - BZ)	(%)				8,6	6,4	5,6	6,0	5,6	

**HQ<sub>100</sub>+15% im Donauabschnitt III (skaliertes HW2011)**

Das Hochwasserereignis stellt am Pegel Schwabelweis mit einem Scheitel von 3.830 m<sup>3</sup>/s bereits einen deutlichen Überlastfall dar. Die Ganglinien für den Bezugszustand (BZ) an den Pegeln Schwabelweis, Straubing, Deggendorf und Hofkirchen mit den jeweiligen HQ<sub>100</sub>-Werten sind in Abbildung 18 gezeigt.

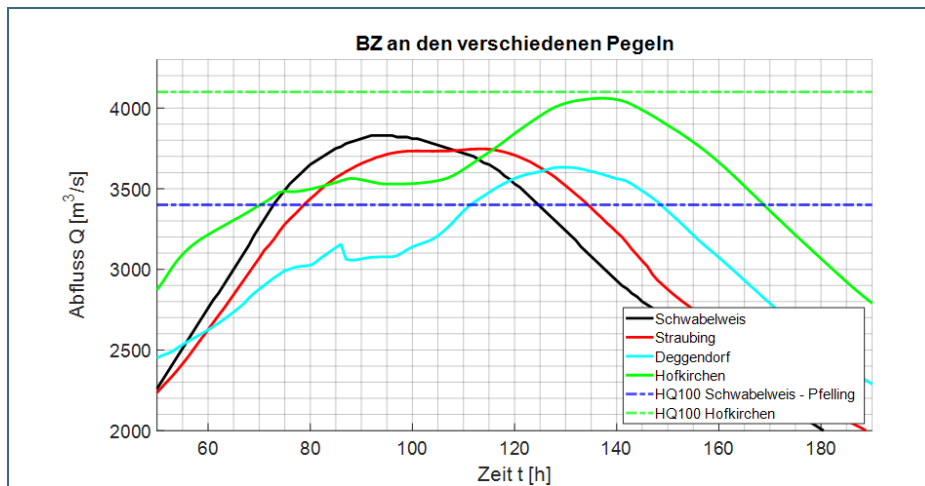


Abb. 18:  
Abflussganglinien für das Ereignis „HQ<sub>100</sub>+15% im Donauabschnitt III“ im BZ an den Pegeln Schwabelweis, Straubing, Deggendorf und Hofkirchen mit den jeweiligen HQ<sub>100</sub>-Werten

In Abbildung 18 ist die Veränderung der Hochwasserganglinie entlang der Donau gut erkennbar. Kurz vor dem Pegel Straubing wird die Hochwasserganglinie durch die unkontrollierte Flutung der Öberauer Schleife beeinflusst. Die Öberauer Schleife ist eine Altarmschleife der Donau, die beim Bau des Stauwehres Straubing durchstoßen wurde und nun ein von der Donau abgetrenntes Altwasser darstellt. Im derzeitigen Zustand wird die Öberauer Schleife schon vor Erreichen eines HQ<sub>100</sub> durch Überströmen der bestehenden Rücklaufdeiche an der Kößnach unkontrolliert geflutet und wirkt wie ein ungesteuertes Retentionsbecken. Bei diesem Ereignis wird auch mit der unkontrollierten Flutung aufgrund der Deichüberströmung eine nahezu optimale Wirkung mit einer Scheitelreduzierung auf 3.747 m<sup>3</sup>/s erreicht. Bei Ansatz eines Deichbruchs und bei anderen Ereignissen kann die unkontrollierte Flutung der Öberauer Schleife im Bezugszustand eine deutlich ungünstigere Wirkung zeigen.

Zwischen dem Pegel Straubing und dem Pegel Deggendorf liegen die geplanten Rückhalteräume Parkstetten/Reibersdorf, Sand-Irlbach, Schwarzach und Steinkirchen. Ab der Isarmündung kommen die Rückhalteräume Fischerdorf/Isar, Isarmünd, Forstern und Gundelau/Auterwörth hinzu. Die ungesteuerten Rückhalteräume werden automatisch durch erodierbare Deiche bzw. Steinkirchen als gesteuerter Rückhalteraum über das Einlassbauwerk ab etwa einem HQ<sub>40-50</sub> aktiviert. Dies hat zur Folge, dass vor allem der ansteigende Ast bei dem HQ<sub>100</sub>+15%-Ereignis stark reduziert wird, sich aber auch der Abflussscheitel weiter auf 3.633 m<sup>3</sup>/s am Pegel Deggendorf verringert (immer noch deutlich über einem HQ<sub>100</sub>). Unterhalb der Isarmündung liegt der Hochwasserscheitel am Pegel Hofkirchen mit 4.061 m<sup>3</sup>/s knapp unter einem HQ<sub>100</sub>.

Als Planungszustände (PZ) wurden folgende Flutpoldervarianten untersucht:

- Ö: nur mit Flutpolder Öberauer Schleife (rund 14 Mio. m<sup>3</sup>)
- EWÖ: mit allen Flutpoldern (Eltheim, Wörthhof und Öberauer Schleife) (insg. rund 45 Mio. m<sup>3</sup>)
- EWgÖ: wie oben, jedoch Wörthhof mit größter Variante (insg. rund 60 Mio. m<sup>3</sup>).

In Abbildung 19 sind die Ganglinien der PZ und des BZ an den Pegeln Straubing, Deggendorf, Hofkirchen und Passau Ilzstadt gezeigt.

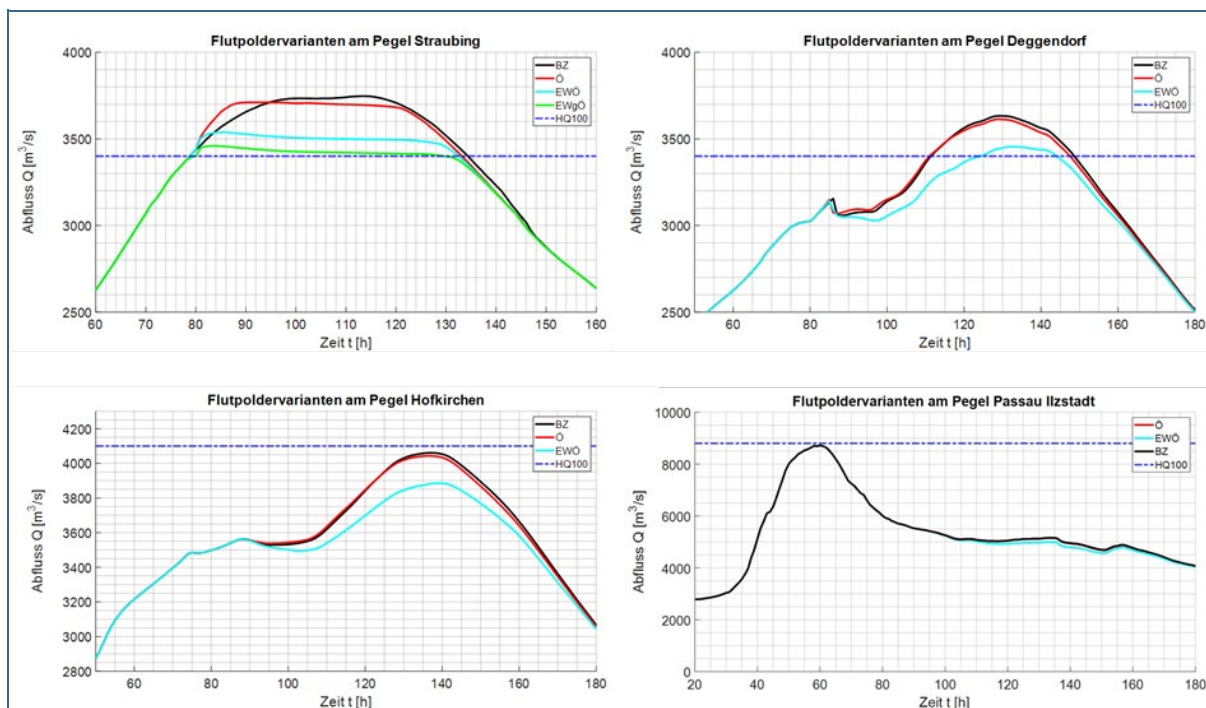


Abb. 19: Abflussganglinien für das Ereignis „HQ<sub>100</sub>+15% im Donauabschnitt III“ für die PZ und den BZ an den Pegeln Straubing, Deggendorf, Hofkirchen und Passau Ilzstadt mit den jeweiligen HQ<sub>100</sub>-Werten

Am Pegel Straubing ist im BZ deutlich die unkontrollierte Flutung der Öberauer Schleife im derzeitigen Zustand zu erkennen, die eine Verzögerung der Ganglinie im ansteigenden Scheitelbereich und auch ein leichtes Scheitelplateau verursacht. Im PZ reduziert der alleinige Einsatz des Flutpolders Öberauer Schleife den Scheitelabfluss am Pegel Straubing im Vergleich zum BZ um 35 m<sup>3</sup>/s bzw. 0,9 % auf 3.712 m<sup>3</sup>/s. Eine Hinzunahme der Flutpolder Eltheim und Wörthhof erhöht die Scheitelkappung am Pegel Straubing auf insgesamt 210 m<sup>3</sup>/s bzw. 5,6 % auf 3.537 m<sup>3</sup>/s. Mit der großen Variante des Flutpolders Wörthhof kommt es zu einer Reduktion von 287 m<sup>3</sup>/s bzw. 7,6 % auf 3.460 m<sup>3</sup>/s. Wie oben beschrieben, wurde für die Flutpoldersteuerung jeweils eine möglichst lokal optimierte Scheitelkappung angesetzt. Da die etwas vorauslaufende Hochwasserwelle der Großen Laber, die direkt unterhalb der Staustufe Straubing einmündet, am Anfang des Scheitelplateaus eine leichte Erhöhung verursacht, könnte eine gezielte Steuerung der Öberauer Schleife, die auch den Zufluss der Großen Laber berücksichtigt, noch zu einer Verbesserung der Wirkung führen.

Im Bereich unterhalb Straubing wurden nur noch die PZ Ö und EWÖ weiter simuliert. Am Pegel Deggendorf zeigt sich wiederum der Einfluss der geplanten Rückhalteräume zwischen Straubing und Deggendorf. Durch den in den PZ wegen des Flutpoldereinsatzes niedrigeren Scheitel sind die Retentionseffekte jedoch etwas geringer, wodurch auch die erzielte Scheitelreduktion leicht zurückgeht. Der Einsatz des Flutpolders Öberauer Schleife erzielt am Pegel Deggendorf noch eine Scheitelreduktion von 19 m<sup>3</sup>/s bzw. 0,5 % auf 3.614 m<sup>3</sup>/s. Der Einsatz der drei Flutpolder Eltheim, Wörthhof und Öberauer Schleife zusammen bewirkt noch eine Scheitelreduktion von 178 m<sup>3</sup>/s bzw. 4,9 % auf 3.455 m<sup>3</sup>/s.

Da die Isar bei diesem Szenario keinen neuen Scheitel prägt, zeigt sich am Pegel Hofkirchen immer noch eine Scheitelreduktion durch die Flutpolder von 18 m<sup>3</sup>/s bzw. 0,45 % auf 4.043 m<sup>3</sup>/s für die Öberauer Schleife allein und von 176 m<sup>3</sup>/s bzw. 4,3 % auf 3.885 m<sup>3</sup>/s für alle drei Flutpolder. Da der vorlaufende Inn ab Passau einen neuen Scheitel prägt, zeigt sich die Wirkung der Flutpolder nur noch im ablaufenden Hochwasserast.

### Überlastfall im Donauabschnitt IV (skaliertes HW2013)

Das isarbetonte Hochwasserereignis stellt im Donauabschnitt III noch keinen Überlastfall dar. Erst durch den starken Isarzufluss wird das  $HQ_{100}$  überschritten. Die Ganglinien für den Bezugszustand (BZ) an den Pegeln Schwabelweis, Straubing, Deggendorf und Hofkirchen mit den jeweiligen  $HQ_{100}$ -Werten sind in Abbildung 20 gezeigt.

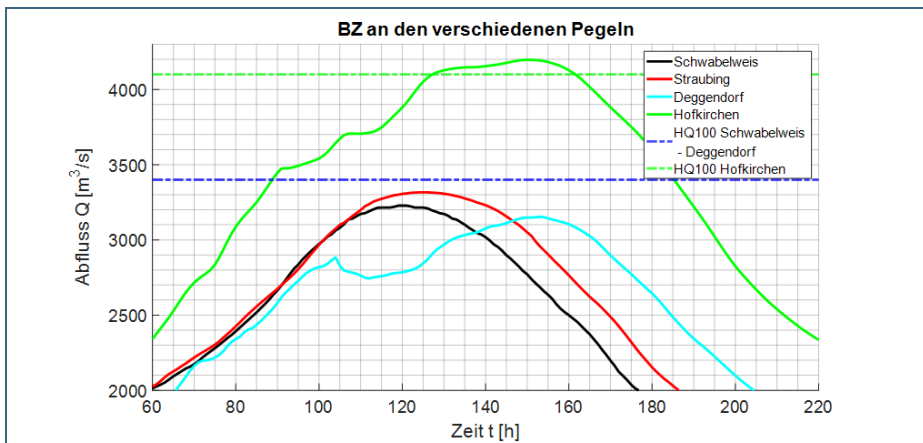


Abb. 20:  
Abflussganglinien für  
das Ereignis „Überlast-  
fall im Donauabschnitt  
IV“ im BZ an den Peg-  
eln Schwabelweis,  
Straubing, Deggendorf  
und Hofkirchen mit  
den jeweiligen  $HQ_{100}$ -  
Werten

Die Veränderung der Hochwasserwelle entlang der Donau zeigt vor allem am Pegel Straubing im Vergleich zum vorigen Szenario ein anderes Bild. Die Verbreiterung und Erhöhung des Scheitels zwischen Schwabelweis und Straubing von  $3.228 m^3/s$  auf  $3.316 m^3/s$  durch seitliche Zuflüsse ist gut erkennbar, da hier die Deiche an der Öberauer Schleife nur in weit geringerem Maße überströmt werden und die unkontrollierte Flutung mit ihrer Auswirkung auf die Hochwasserwelle deutlich geringer ausfällt.

Zwischen dem Pegel Straubing und dem Pegel Deggendorf zeigt sich wiederum die Wirkung der geplanten Rückhalteräume im Bereich Straubing–Vilshofen, durch die vor allem der ansteigende Ast, aber auch der Scheitel am Pegel Deggendorf auf  $3.154 m^3/s$  reduziert wird. Unterhalb der Isarmündung ist die Hochwasserwelle der Donau deutlich isargeprägt. Der Abflussscheitel überschreitet nun mit  $4.197 m^3/s$  am Pegel Hofkirchen das  $HQ_{100}$ .

Als Planungszustände (PZ) wurden bei diesem Ereignis nur die Flutpoldervarianten Ö und EWÖ untersucht. Eine lokale Steuerung mit horizontaler Kappung an den Flutpoldern ist hier nicht notwendig, da ein Überlastfall erst unterhalb der Isarmündung eintritt und die Abflussscheitel im Donauabschnitt III noch unter einem  $HQ_{100}$  liegen. Stattdessen wird eine robuste vorgeschaltete Steuerung angesetzt, d. h. eine konstante Entnahme aus der Abflusswelle über einen bestimmten Zeitraum, der so gewählt ist, dass der reduzierte Donauabfluss möglichst mit dem Isarscheitel zusammenfällt. Zusätzlich sollte darauf geachtet werden, dass die Flutpolder die Aktivierung der erodierbaren Deiche zwischen Straubing und Deggendorf möglichst wenig beeinflussen. Ein zu früh eingesetzter Flutpolder könnte bewirken, dass der Wasserstand unterstrom von Straubing so sehr reduziert wird, dass ungesteuerte Rückhalteräume nicht mehr aktiviert werden.

Für die Füllung der Flutpolder wird ein Zeitraum von 24 Stunden angesetzt, womit eine Beeinflussung des Isarscheitels auch angesichts von Vorhersageunsicherheiten wahrscheinlich ist. Der konstante Zufluss in die Flutpolder ist jeweils so bemessen, dass sie nach 24 Stunden vollständig gefüllt sind.

In Abbildung 21 sind die Ganglinien der PZ und des BZ an den Pegeln Straubing, Deggendorf, Hofkirchen und Passau Ilzstadt gezeigt.

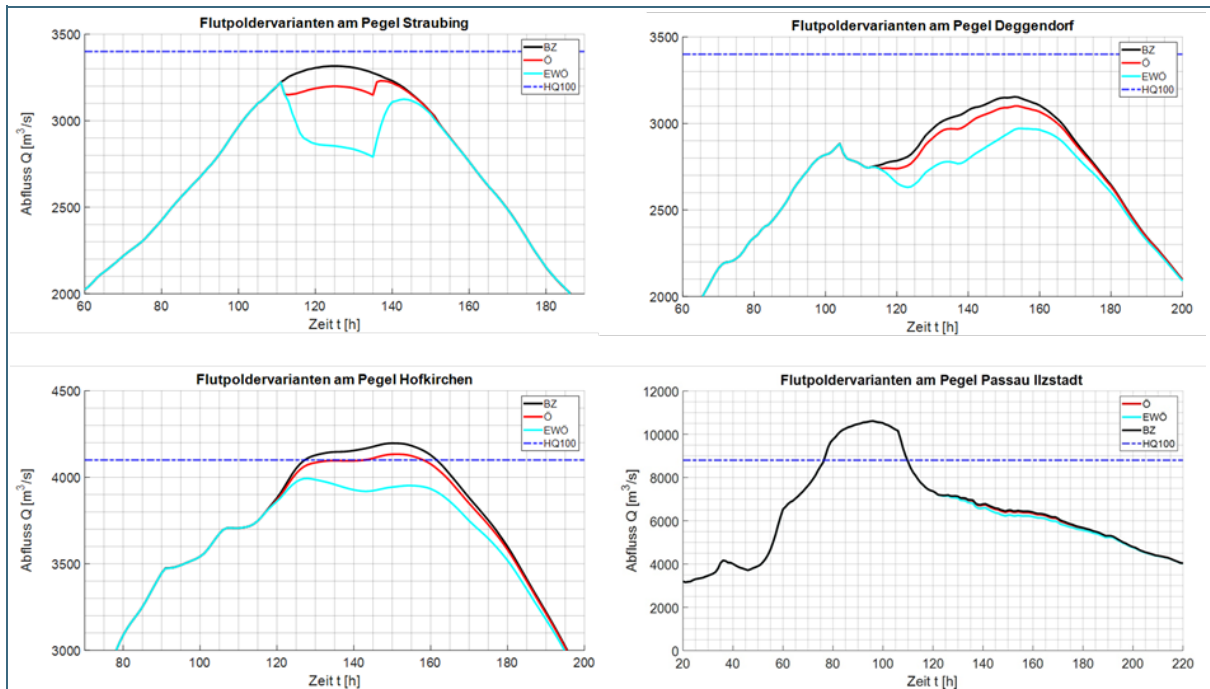


Abb. 21: Abflussganglinien für das Ereignis „Überlastfall im Donauabschnitt IV“ für die PZ und den BZ an den Pegeln Straubing, Deggendorf, Hofkirchen und Passau Ilzstadt mit den jeweiligen HQ<sub>100</sub>-Werten

Die überregionale vorgeschaltete Steuerung der Flutpolder auf das isarbetonte Hochwasserereignis ist am Pegel Straubing gut erkennbar. Anders als die lokale Steuerung der Flutpolder beim vorigen Ereignis wird hier der Scheitel der Donau nicht horizontal gekappt, sondern es wird eine Senke in der Hochwasserwelle erzeugt. Durch diese Senke soll unterstrom der Isarmündung der Hochwasserscheitel reduziert werden. Am Pegel Straubing verringert sich der Scheitelwert durch den Einsatz nur der Oberauer Schleife dennoch um  $85 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw.  $2,6 \%$  auf  $3.231 \text{ m}^3/\text{s}$ . Bei der Steuerung aller drei Flutpolder verringert sich der Scheitel um  $93 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw.  $2,8 \%$  auf  $3.223 \text{ m}^3/\text{s}$ . Entsprechend dem größeren verfügbaren Rückhaltevolumen ist die Senke in der Abflussganglinie der Variante EWÖ nicht nur tiefer, sondern auch breiter als die Senke in der Variante Ö.

Bis zum Pegel Deggendorf werden die Rückhalteräume wie im BZ über die erodierbaren Deiche gefüllt. Erst nach deren Aktivierung ist der Einfluss der Flutpolder sichtbar (ab  $t = 114 \text{ h}$ ). Die durch die Flutpolder entstandenen Abflusssenkungen in der Donauganglinie sind am Pegel Deggendorf bereits deutlich verformt; sie sind durch die Retentionseffekte weniger tief, dafür jedoch breiter geworden. Der Abflussscheitel der Donau am Pegel Deggendorf wird durch die Variante Ö um  $53 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw.  $1,7 \%$  auf  $3.101 \text{ m}^3/\text{s}$  reduziert. Die Variante EWÖ verringert den Abflussscheitel der Donau am Pegel Deggendorf um  $183 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw.  $5,8 \%$  auf  $2.971 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Unterhalb der Isarmündung entfaltet die vorgeschaltete Flutpoldersteuerung ihre Wirkung im Scheitelbereich. Am Pegel Hofkirchen verringert die Variante Ö den Abflussscheitel um  $64 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw.  $1,5 \%$  auf  $4.133 \text{ m}^3/\text{s}$ . Die Variante EWÖ reduziert den Abflussscheitel am Pegel Hofkirchen um  $204 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw.  $4,9 \%$  auf  $3.993 \text{ m}^3/\text{s}$ , wodurch bei diesem Szenario durch den Flutpoldereinsatz die Überschreitung des HQ<sub>100</sub> verhindert werden kann. Auch beim Ereignis 2013 lief die sehr große Innwelle der Donauwelle voraus und prägte ab Passau einen neuen Scheitel. Dadurch zeigt sich auch bei diesem Ereignis die Wirkung der Flutpolder nur noch im ablaufenden Hochwasserast.



### **Weitere untersuchte synthetische Ereignisse im Donauabschnitt III und IV**

Die weiteren vier untersuchten synthetisch generierten Ereignisse stellen unterschiedlich hohe Überlastfälle im Donauabschnitt III dar. E083 und E144 entsprechen mit einem Scheitelabfluss am Pegel Schwabelweis von 3.509 m<sup>3</sup>/s bzw. 3.602 m<sup>3</sup>/s Jährlichkeiten zwischen HQ<sub>100</sub> und HQ<sub>200</sub>, E249 und E309 sind größere Überlastfallereignisse mit Scheitelabflüssen von 3.807 m<sup>3</sup>/s bzw. 3.826 m<sup>3</sup>/s, was zwischen HQ<sub>200</sub> und HQ<sub>300</sub> liegt (s. auch Tabelle 3).

Im PZ ist bei den beiden kleineren Ereignissen jeweils nur der Einsatz zweier Flutpoldern erforderlich, um den Abfluss am Pegel Straubing unter HQ<sub>100</sub> zu drücken. Bei Ereignis E083 reicht der Einsatz des Flutpolders Eltheim alleine schon aus, um den Überlastfall lokal zu verhindern. Da der Abfluss am Wehr Straubing durch die seitlichen Zuflüsse wieder näher in die Größenordnung eines HQ<sub>100</sub> kommt, wird außerdem noch der Flutpolder Öberauer Schleife aktiviert. Beim Ereignis E144 kann mit dem Einsatz der beiden Flutpolder Eltheim und Wörthhof der Überlastfall auch in Straubing verhindert werden, sodass der Flutpolder Öberauer Schleife nicht aktiviert werden muss. Bei den beiden größeren Ereignissen werden alle drei Flutpolder eingesetzt.

Am Pegel Straubing kann im PZ bei allen Ereignissen eine deutliche Scheitelreduzierung mit 226 bis 364 m<sup>3</sup>/s bzw. 6,5 bis 9,8 % erreicht werden. Bis auf ein Ereignis kann der Überlastfall verhindert werden, bei E309 liegt der Abflussscheitel mit 3.428 m<sup>3</sup>/s auch im PZ noch leicht über HQ<sub>100</sub>.

Im Bereich Straubing–Vilshofen zeigen sich unterschiedliche Wirkungsverläufe, die sich vor allem aus der Beeinflussung der Aktivierung der geplanten Rückhalteräume durch die Flutpolderwirkung ergeben. Beim Ereignis E083 wird im PZ im Gegensatz zum BZ der Rückhalteraum Steinkirchen nicht aktiviert. Die Notwendigkeit eines Einsatzes besteht im PZ nicht, da weder die Aktivierungsschwelle von rund HQ<sub>50</sub> erreicht wird noch im Donauabschnitt IV ein Überlastfall auftritt. Da der Rückhalteraum Steinkirchen ein sehr großes Retentionsvolumen von rund 21 Mio. m<sup>3</sup> hat und im BZ eine sehr gute Wirkung zeigt, ist am Pegel Deggendorf die Wirkung der Flutpoldervariante deutlich herabgesetzt. So wird der Abflussscheitel nur noch um 34 m<sup>3</sup>/s bzw. 1,1 % auf 3.143 m<sup>3</sup>/s reduziert. Am Pegel Hofkirchen liegt der Abflussscheitel im PZ mit 3.620 m<sup>3</sup>/s sogar leicht höher als im BZ mit 3.608 m<sup>3</sup>/s. Der Rückhalteraum Steinkirchen würde aber bei Bedarf im PZ als Rückhalteoption zu Verfügung stehen.

Beim Ereignis E144 wird im PZ, anders als im BZ, der ungesteuerte Rückhalteraum Schwarzach nicht aktiviert. Dadurch ist die Wirkung im PZ am Pegel Deggendorf geringer als noch in Straubing, der Einbruch ist aber nicht so deutlich wie beim Ereignis E083. Am Pegel Deggendorf wird der Abflussscheitel um 123 m<sup>3</sup>/s bzw. 3,9 % reduziert und erreicht 3.075 m<sup>3</sup>/s. Der Rückhalteraum Steinkirchen wird sowohl im BZ als auch im PZ nicht aktiviert.

Beim Ereignis E249 wird wiederum im PZ im Gegensatz zum BZ der Rückhalteraum Steinkirchen nicht aktiviert, wodurch auch hier am Pegel Deggendorf ein Rückgang der Flutpolderwirkung erkennbar ist. Im PZ wird der Scheitel aber immer noch um 144 m<sup>3</sup>/s bzw. 4,3 % auf 3.215 m<sup>3</sup>/s reduziert. Der gesteuerte Rückhalteraum Steinkirchen würde im PZ hier ebenfalls noch als Option zur Verfügung stehen.

Beim größten Ereignis E309 werden auch im PZ alle geplanten Rückhalteräume zwischen Straubing und Vilshofen aktiviert. Durch die im PZ niedrigeren Abflüsse und damit etwas geringeren Retentionseffekte geht die erzielte Scheitelreduktion jedoch auch wieder leicht zurück. Der Abflussscheitel am Pegel Deggendorf wird noch um 222 m<sup>3</sup>/s bzw. 6,4 % auf 3.220 m<sup>3</sup>/s gesenkt, wodurch der Überlastfall durch den Flutpoldereinsatz dann auch hier verhindert wird.

## Ergebnisse der Simulation großräumiger Überlastfallereignisse

Um die Wirkung der gesamten geplanten Flutpolderkette an der Donau zu untersuchen, wurden weitere sechs synthetisch generierte großräumige Hochwasserereignisse ausgewählt, die insbesondere in den Donauabschnitten II und III einen Überlastfall darstellen.

Die Ergebnisse dieser sechs Szenarien, simuliert mit jeweils zwei Flutpoldervarianten, sind in Tabelle 4 enthalten. Auf das Ereignis E288 wird im Folgenden näher eingegangen. Für die detaillierte Beschreibung der anderen fünf Ereignisse wird auf den ausführlichen Bericht der TUM [6] verwiesen.

Tab. 4: Ergebnisse der Simulationen großräumiger Überlastfallereignisse (die maximalen Abflüsse sind nach ihrer Jährlichkeit farblich gekennzeichnet; Abkürzungen siehe nachfolgende textliche Beschreibung der Simulationen)

		< HQ <sub>100</sub>	(HQ <sub>T</sub> -Werte in m <sup>3</sup> /s)											
		≥ HQ <sub>100</sub>	1250	1450	2100	2200	2350	3400	3400	3400	4100	4100	4100	8800
		≥ HQ <sub>200</sub>	1350	1550	2250	2380	2550	3700	3700	3700	4500	4500	4500	9500
		≥ HQ <sub>500</sub>	1500	1700	2450	2600	2800	4100	4100	4100	5000	5000	5000	10500
		≥ HQ <sub>1000</sub>	1600	1800	2600	2800	3000	4500	4500	4500	5500	5500	5500	11500
Szenario			Neu-Ulm	Donauwörth	Ingolstadt	Kelheim	Kelheimwinzer	Schwabelweis	Straubing	Deggendorf	Niederaltlach	Hofkirchen	Vilshofen	Passau Ilzstadt
E288	Q <sub>max</sub> (Bezugszustand BZ)	(m <sup>3</sup> /s)	881	1538	2228	2454	2864	4293	4220	4066	4951	4919	4794	7065
	Q <sub>max</sub> (Planzustand PZ 10 FP)	(m <sup>3</sup> /s)	881	1419	1970	2250	2688	4078	3865	3747	4630	4625	4531	6857
	dQ (PZ 10 FP - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)		119	258	204	176	215	355	319	321	294	263	208
	dQ (PZ 10 FP - BZ)	(%)		7,7	11,6	8,3	6,1	5,0	8,4	7,8	6,5	6,0	5,5	2,9
	Q <sub>max</sub> (PZ 7 FP)	(m <sup>3</sup> /s)			2079	2307	2742	4144	4132					
	dQ (PZ 7 FP - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)			149	147	122	149	88					
	dQ (PZ 7 FP - BZ)	(%)			6,7	6,0	4,3	3,5	2,1					
E265	Q <sub>max</sub> (BZ)	(m <sup>3</sup> /s)	1347	1450	2956	3036	3235	3840	3924	3901	5105	5066	5036	
	Q <sub>max</sub> (PZ 10 FP)	(m <sup>3</sup> /s)	1347	1299	2577	2655	2869	3692	3533	3534	4756	4743	4702	
	dQ (PZ 10 FP - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)		151	379	381	366	148	391	367	349	323	333	
	dQ (PZ 10 FP - BZ)	(%)		10,4	12,8	12,5	11,3	3,9	10,0	9,4	6,8	6,4	6,6	
	Q <sub>max</sub> (PZ 7 FP)	(m <sup>3</sup> /s)			2702	2718	2925	3721	3711					
	dQ (PZ 7 FP - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)			254	318	310	119	213					
	dQ (PZ 7 FP - BZ)	(%)			8,6	10,5	9,6	3,1	5,4					
E097	Q <sub>max</sub> (BZ)	(m <sup>3</sup> /s)	1365	1717	2209	2295	2569	3576	3583	3496	4215	4216	4163	
	Q <sub>max</sub> (PZ 10 FP)	(m <sup>3</sup> /s)	1365	1605	1984	2113	2413	3544	3345	3232	3943	3946	3926	
	dQ (PZ 10 FP - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)		112	225	182	156	32	238	264	272	270	237	
	dQ (PZ 10 FP - BZ)	(%)		6,5	10,2	7,9	6,1	0,9	6,6	7,6	6,5	6,4	5,7	
	Q <sub>max</sub> (PZ 7 FP)	(m <sup>3</sup> /s)			2079	2169	2468	3558	3571					
	dQ (PZ 7 FP - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)			130	126	101	18	12					
	dQ (PZ 7 FP - BZ)	(%)			5,9	5,5	3,9	0,5	0,3					
E008	Q <sub>max</sub> (BZ)	(m <sup>3</sup> /s)	1126	1597	2224	2341	2609	3135	3241	kein Überlastfall mehr				
	Q <sub>max</sub> (PZ 10 FP)	(m <sup>3</sup> /s)	1126	1502	2023	2137	2401	3023	3141					
	dQ (PZ 10 FP - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)		95	201	204	208	112	100					
	dQ (PZ 10 FP - BZ)	(%)		5,9	9,0	8,7	8,0	3,6	3,1					
	Q <sub>max</sub> (PZ 7 FP)	(m <sup>3</sup> /s)			2102	2185	2462	3065	3179					
	dQ (PZ 7 FP - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)			122	156	147	70	62					
	dQ (PZ 7 FP - BZ)	(%)			5,5	6,7	5,6	2,2	1,9					
E115	Q <sub>max</sub> (BZ)	(m <sup>3</sup> /s)	989	1887	2310	2485	2996	4611	4268	deutliche Überflutungen				
	Q <sub>max</sub> (PZ 10 FP)	(m <sup>3</sup> /s)	989	1772	2001	2257	2757	4486	4164					
	dQ (PZ 10 FP - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)		115	309	228	239	125	104					
	dQ (PZ 10 FP - BZ)	(%)		6,1	13,4	9,2	8,0	2,7	2,4					
	Q <sub>max</sub> (PZ 7 FP)	(m <sup>3</sup> /s)			2129	2302	2797	4527	4228	deutliche Überflutungen				
	dQ (PZ 7 FP - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)			181	183	199	84	40					
	dQ (PZ 7 FP - BZ)	(%)			7,8	7,4	6,6	1,8	0,9					

		(HQ <sub>T</sub> -Werte in m <sup>3</sup> /s)											
		< HQ <sub>100</sub>	≥ HQ <sub>100</sub>	≥ HQ <sub>200</sub>	≥ HQ <sub>500</sub>	≥ HQ <sub>1000</sub>							
		1250	1450	2100	2200	2350	3400	3400	3400	4100	4100	4100	8800
		1350	1550	2250	2380	2550	3700	3700	3700	4500	4500	4500	9500
		1500	1700	2450	2600	2800	4100	4100	4100	5000	5000	5000	10500
		1600	1800	2600	2800	3000	4500	4500	4500	5500	5500	5500	11500
Szenario		Neu-Ulm	Donauwörth	Ingolstadt	Kelheim	Kelheimwinzer	Schwabelweis	Straubing	Deggendorf	Niederaltlach	Hofkirchen	Vilshofen	Passau Ilzstadt
E271	Q <sub>max</sub> (BZ)	(m <sup>3</sup> /s)	821	1926	2480	2655	3194	4575	4230	deutliche Überflutungen			
	Q <sub>max</sub> (PZ 10 FP)	(m <sup>3</sup> /s)	821	1858	2232	2414	2964	4399	4057				
	dQ (PZ 10 FP - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)		68	248	241	230	176	173				
	dQ (PZ 10 FP - BZ)	(%)		3,5	10,0	9,1	7,2	3,8	4,1				
	Q <sub>max</sub> (PZ 7 FP)	(m <sup>3</sup> /s)			2354	2482	3031	4450	4187	deutliche Überflutungen			
	dQ (PZ 7 FP - BZ)	(m <sup>3</sup> /s)			126	173	163	125	43				
	dQ (PZ 7 FP - BZ)	(%)			5,1	6,5	5,1	2,7	1,0				

### Großräumiges Überlastfallereignis E288

Das synthetisch generierte Hochwasserereignis E288 stellt ein großräumiges Ereignis dar, das vom Pegel Donauwörth bis zur Innmündung durchgehend ein HQ<sub>100</sub> deutlich überschreitet. Die Ganglinien für den Bezugszustand (BZ) an den Donauegeln Donauwörth, Ingolstadt, Kelheim, Schwabelweis, Straubing, Deggendorf, Hofkirchen und Passau Ilzstadt mit den jeweiligen HQ<sub>100</sub>-Werten sind in Abbildung 22 gezeigt. Zu den Scheitelwerten und Jährlichkeiten siehe auch Tabelle 4.

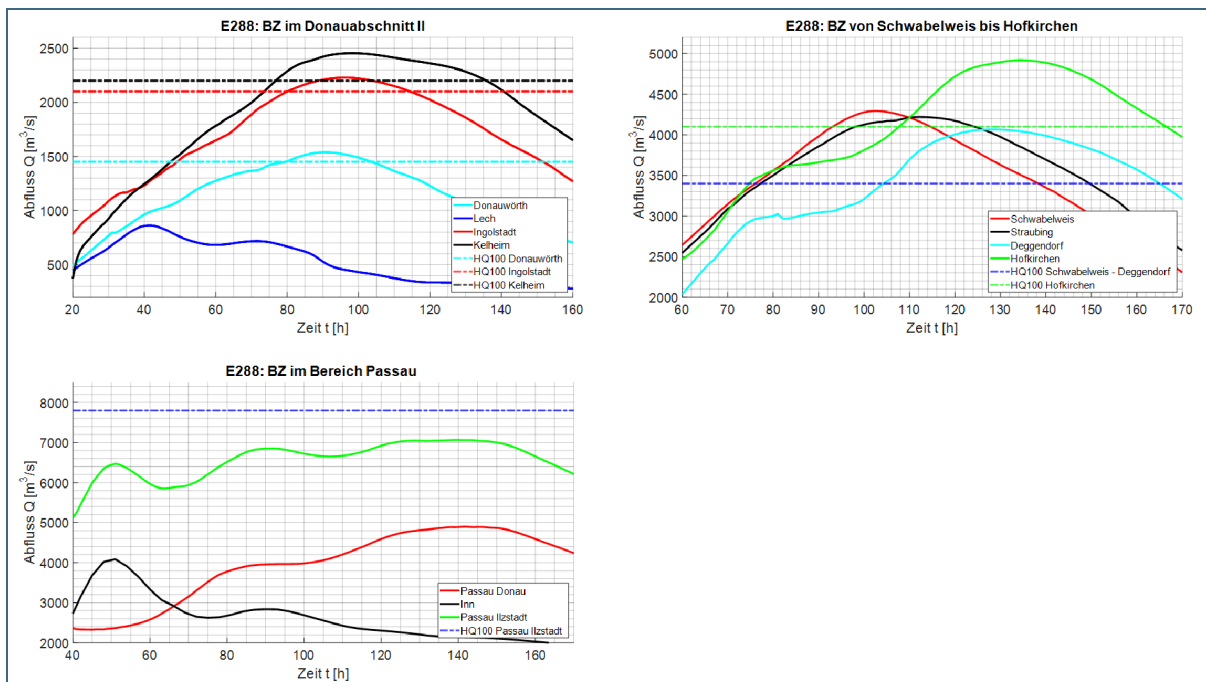


Abb. 22: Abflussganglinien für das großräumige Überlastfallereignis E288 im BZ an verschiedenen Donauegeln mit den jeweiligen HQ<sub>100</sub>-Werten

Am Pegel Neu-Ulm entspricht das Ereignis E288 nur einem HQ<sub>10</sub>. Erst durch die weiteren seitlichen Zuflüsse überschreitet es am Pegel Donauwörth mit einem Abflussscheitel von 1.538 m<sup>3</sup>/s das HQ<sub>100</sub>. Der vorauslaufende Lech mit einem Abflussscheitel von 863 m<sup>3</sup>/s kann keinen neuen Scheitel prägen. Er führt aber auch in seinem ablaufenden Hochwasserast noch einen erhöhten Abfluss, sodass am

Pegel Ingolstadt mit  $2.228 \text{ m}^3/\text{s}$  ein Scheitelabfluss knapp unter einem  $HQ_{200}$  erreicht wird. Die Zuflüsse von Paar und Abens verschärfen den Überlastfall weiter. Am Pegel Kelheim wird mit einem Abflussscheitel von  $2.454 \text{ m}^3/\text{s}$  das  $HQ_{200}$  überschritten.

Die Abflüsse der Altmühl sorgen dafür, dass ab dem Pegel Kelheimwinzer sogar das  $HQ_{500}$  überschritten wird. Auch im Donauabschnitt III liegt der Abflussscheitel durch die Zuflüsse von Naab und Regen noch über  $HQ_{500}$ , am Pegel Schwabelweis erkennbar mit  $4.293 \text{ m}^3/\text{s}$ . Die unkontrollierte Flutung der Öberauer Schleife kann im BZ den Abflussscheitel am Pegel Straubing etwas auf  $4.220 \text{ m}^3/\text{s}$  senken. Die geplanten Rückhalteräume zwischen Straubing und Deggendorf wirken wiederum vor allem im anlaufenden Scheitel, können ihn aber am Pegel Deggendorf auf  $4.066 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw. wieder unter  $HQ_{500}$  reduzieren. Die Isar mit einem Abflussscheitel von  $1.001 \text{ m}^3/\text{s}$  sorgt dafür, dass auch im Donauabschnitt IV noch ein starker Überlastfall mit einem Abflussscheitel von  $4.919 \text{ m}^3/\text{s}$  (knapp unter  $HQ_{500}$ ) am Pegel Hofkirchen bestehen bleibt. Da der Inn mit einem Scheitel von  $4.086 \text{ m}^3/\text{s}$  (knapp  $HQ_{10}$ ) zeitlich ein paar Tage der Donau vorausläuft, bilden sich am Pegel Passau Ilzstadt drei lokale Abflussscheitel. Der erste Scheitel von  $6.470 \text{ m}^3/\text{s}$  (knapp  $HQ_{20}$ ) bei  $t = 51 \text{ h}$  ist direkt vom Scheitel des Inns geprägt und hat damit eine sehr spitzen Form. Der zweite Scheitel von  $6.857 \text{ m}^3/\text{s}$  (etwa  $HQ_{20}$ ) ist bei  $t = 92 \text{ h}$  erkennbar. Der dritte und höchste Abflussscheitel mit  $7.065 \text{ m}^3/\text{s}$  (gut  $HQ_{20}$ ) und einem etwa eintägigen Plateau ist vor allem vom Donauscheitel vor der Innmündung geprägt.

Als Planungszustände (PZ) wurden bei den großräumigen synthetischen Ereignissen folgende zwei Flutpoldervarianten untersucht:

- PZ 10 FP: mit allen 10 an der Donau geplanten Flutpoldern
- PZ 7 FP: ohne die drei in Frage gestellten Flutpolder Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof

Bei der Variante PZ 10 FP stehen im Donauabschnitt I somit rund 40 Mio.  $\text{m}^3$  an Rückhalteraum zur Verfügung, im Donauabschnitt II und III jeweils rund 45 Mio.  $\text{m}^3$ . Bei der Variante PZ 7 FP entfällt im Donauabschnitt II der Flutpolder Bertoldsheim, sodass dort nur noch gut 27 Mio.  $\text{m}^3$  an Flutpoldervolumen zur Verfügung stehen. Im Donauabschnitt III verbleibt ohne die Flutpolder Eltheim und Wörthhof nur noch ein Flutpoldervolumen von rund 14 Mio.  $\text{m}^3$ .

Die beiden Flutpoldervarianten werden jeweils bis zum Pegel Straubing simuliert. Die Weiterberechnung unterstrom von Straubing im PZ erfolgt dann nur noch mit der Variante PZ 10 FP.

In Abbildungen 23 und 24 sind die Ganglinien der PZ und des BZ an den Pegeln Donauwörth, Ingolstadt, Kelheim und Schwabelweis sowie Straubing, Deggendorf, Hofkirchen und Passau Ilzstadt gezeigt.

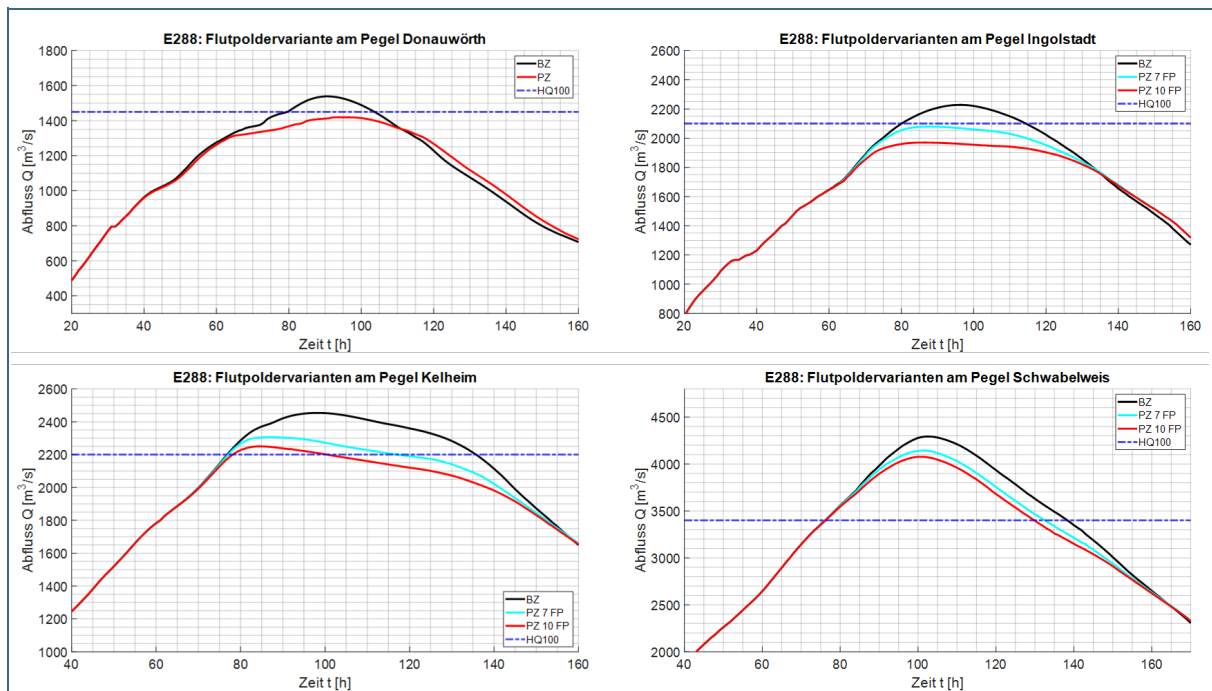


Abb. 23: Abflussganglinien für das großräumige Überlastfallereignis E288 für die PZ und den BZ an den Pegeln Donauwörth, Ingolstadt, Kelheim und Schwabelweis mit den jeweiligen  $HQ_{100}$ -Werten

Da im Donauabschnitt I kein lokaler Überlastfall auftritt (Einsatzkriterium dort bei  $HQ_{100}$ +Klimaänderungszuschlag), werden diese beiden Flutpolder Leipheim und Helmeringen beim Ereignis E288 im PZ nicht aktiviert. Der Flutpolder Neugeschüttwörth wirkt automatisch, indem der Riedstromabfluss über die offenen Durchlässe im Absperrdeich gedrosselt wird. Der Rückhalteraum Tapfheim wird bei etwa  $HQ_{80}$  aktiviert, der Rückhalteraum Donauwörth ist durch das Hochwasser der Kessel bereits gefüllt. Im PZ wird der Abflussscheitel am Pegel Donauwörth dadurch um  $119 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw. 7,7 % auf  $1.419 \text{ m}^3/\text{s}$  reduziert. Das  $HQ_{100}$  wird im PZ am Pegel Donauwörth damit unterschritten.

Am Pegel Ingolstadt wird mit der Variante PZ 7 FP der Abflussscheitel um  $149 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw. 6,7 % auf  $2.079 \text{ m}^3/\text{s}$  reduziert, sodass auch hier das  $HQ_{100}$  knapp unterschritten werden kann. Mit der Variante PZ 10 FP wird der Abflussscheitel um  $258 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw. 11,6 % auf  $1.970 \text{ m}^3/\text{s}$  gesenkt. Auch wenn hier der Überlastfall nur mit Einsatz eines Flutpolders schon hätte verhindert werden können, wurden trotzdem beide Flutpolder aktiviert, da ab dem Pegel Kelheim wieder ein größerer Überlastfall droht.

Am Pegel Kelheim wird im PZ 7 FP der Abflussscheitel um  $147 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw. 6,0 % auf  $2.307 \text{ m}^3/\text{s}$  verringert, was etwa einem  $HQ_{150}$  entspricht. Durch den PZ 10 FP wird der Abflussscheitel um  $204 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw. 8,3 % auf  $2.250 \text{ m}^3/\text{s}$  reduziert, womit das  $HQ_{100}$  noch leicht überschritten wird.

Da der Abflussscheitel durch die Zuflüsse von Altmühl, Naab und Regen zeitlich im weiteren Verlauf nach vorn geschoben wird, zeigen die oberhalb eingesetzten Flutpolder ihre Wirkung nun vor allem im ablaufenden Ast des Scheitels. Die Scheitelreduktion nimmt dadurch ab. Die eingesetzten Flutpolder tragen damit aber immer noch deutlich zur Verringerung der Scheitelfülle bei. Durch die Variante PZ 7 FP wird der Abflussscheitel am Pegel Schwabelweis um  $149 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw. 3,5 % auf  $4.144 \text{ m}^3/\text{s}$  reduziert, womit weiterhin das  $HQ_{500}$  überschritten wird. Durch die Variante PZ 10 FP wird der Abflussscheitel am Pegel Schwabelweis um  $215 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw. 5,0 % auf  $4.078 \text{ m}^3/\text{s}$  vermindert. Damit wird das  $HQ_{500}$  leicht unterschritten. Die Zeitdauer des Überschreitens des  $HQ_{100}$  wird bei beiden Flutpoldervarianten deutlich reduziert.



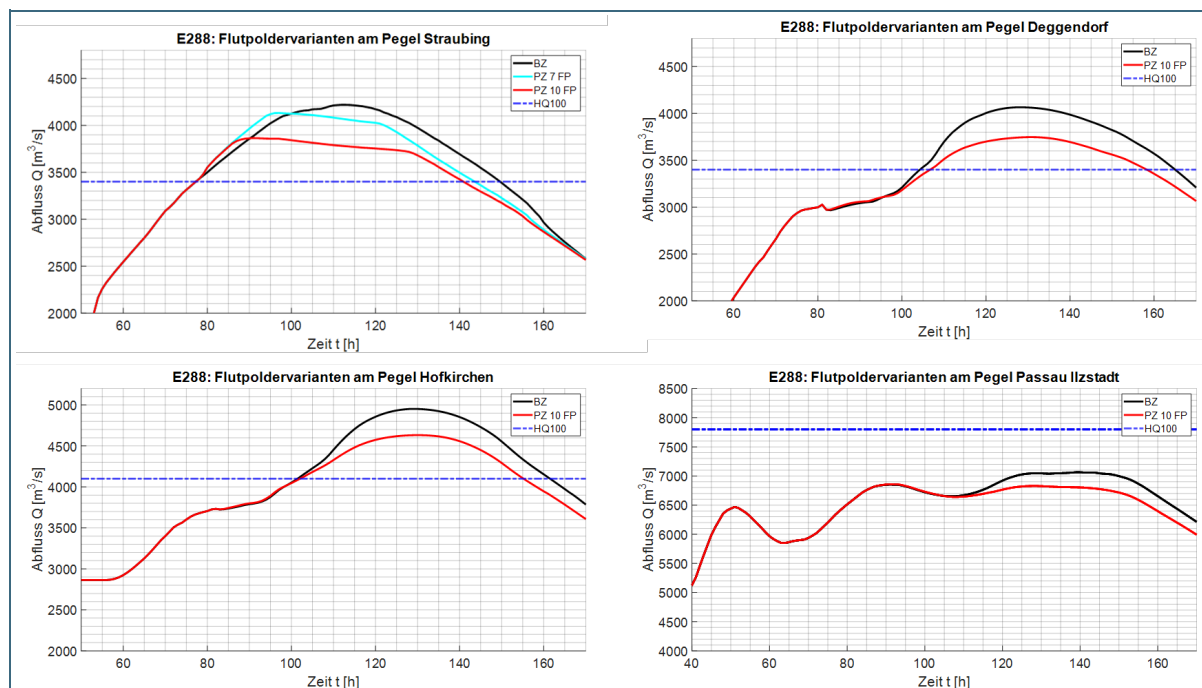


Abb. 24: Abflussganglinien für das großräumige Überlastfallereignis E288 für die PZ und den BZ an den Pegeln Straubing, Deggendorf, Hofkirchen und Passau Ilzstadt mit den jeweiligen  $HQ_{100}$ -Werten

Zwischen dem Pegel Schwabelweis und dem Pegel Straubing kann im PZ 7 FP lediglich der Flutpolder Öberauer Schleife aktiviert werden. Da im BZ durch die unkontrollierte Flutung auch wieder eine gewisse Scheitelreduktion erfolgt, wird am Pegel Straubing der Abflussscheitel durch die eingesetzten Flutpolder nur um  $88 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw. 2,1 % auf  $4.132 \text{ m}^3/\text{s}$  vermindert und weiterhin ein  $HQ_{500}$  überschritten. Durch die zusätzliche Aktivierung der Flutpolder Eltheim und Wörthhof im PZ 10 FP kann der Abflussscheitel um  $355 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw. 8,4 % auf  $3.865 \text{ m}^3/\text{s}$  reduziert werden, was knapp einem  $HQ_{300}$  entspricht.

Ab dem Pegel Straubing wird nur noch die Planungsvariante PZ 10 FP weitersimuliert. Die geplanten Rückhalteräume zwischen Straubing und Deggendorf wirken wieder vor allem im anlaufenden Hochwasserscheitel. Durch den im PZ wegen des Flutpoldereinsatzes niedrigeren Scheitel sind die Retentionseffekte auch wieder etwas geringer, wodurch die erzielte Scheitelreduktion leicht zurückgeht. Am Pegel Deggendorf beträgt die Reduktion des Abflussscheitels  $319 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw. 7,8 % auf  $3.747 \text{ m}^3/\text{s}$ , was nur noch etwas über dem  $HQ_{200}$  liegt.

Am Pegel Hofkirchen erreicht die Flutpoldervariante PZ 10 FP trotz des Zuflusses der Isar noch eine Abflussscheitelminderung von  $294 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw. 6,0 % auf  $4.625 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw. gut  $HQ_{200}$ . Selbst unterstrom der Innmündung kann mit den eingesetzten Flutpoldern an der Donau noch eine Abflussscheitelreduktion erzielt werden. Das aus dem Donauscheitel vor der Innmündung resultierende Plateau wird am Pegel Passau Ilzstadt um  $235 \text{ m}^3/\text{s}$  auf  $6.829 \text{ m}^3/\text{s}$  reduziert. Dadurch wird im PZ 10 FP der lokale Abflussscheitel bei  $t = 92 \text{ h}$  nun zum höchsten Abflussscheitel mit  $6.857 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dadurch ergibt sich insgesamt eine Reduktion um  $208 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw. 2,9 %.

Für das Ereignis 288 wurde auch der Verlauf der Differenz des maximalen Wasserstandes ( $dW$ ) zwischen dem BZ und dem PZ 10 FP entlang der Donau vom Kraftwerk Oberelchingen bis zum Pegel Vilshofen ermittelt (Abb. 25). Zwischen dem Pegel Donauwörth und dem Pegel Straubing sind zusätzlich die Differenzen aus der Flutpoldervariante PZ 7 FP aufgezeigt. An den Schnittstellen zwischen den verwendeten 2D-Modellen in Donauwörth, Kelheim und Straubing sind die Bereiche ausgegraut, da hier die Wasserspiegellagen von den Modellrandbedingungen beeinflusst werden.

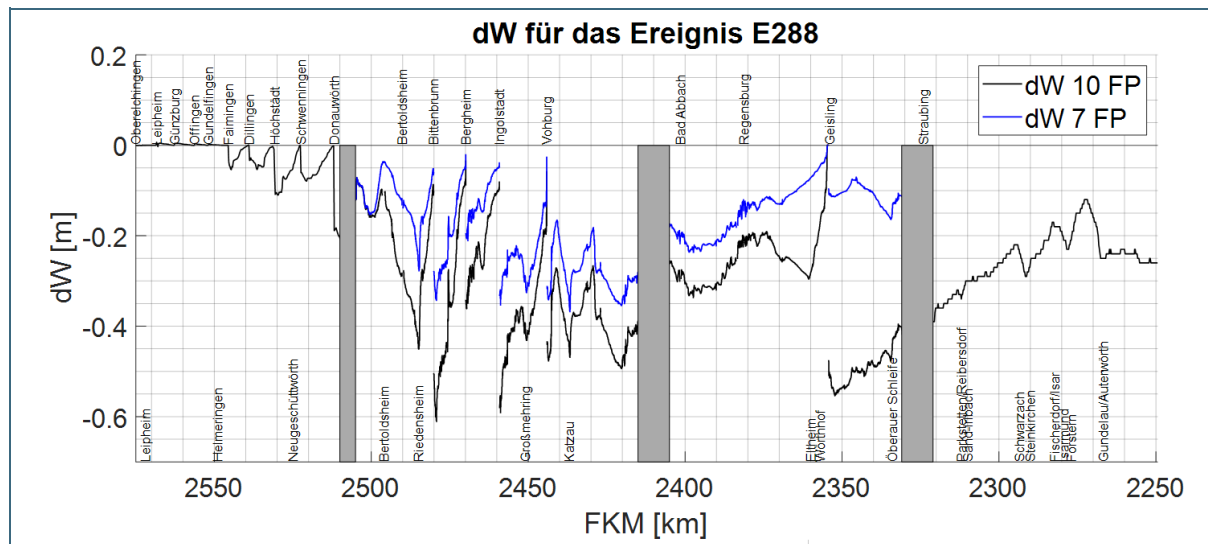


Abb. 25: Differenz des maximalen Wasserstandes (dW) zwischen BZ und den beiden PZ im Längsschnitt der Donau für das Ereignis E288 (zusätzlich entlang der x-Achse angetragen: oben die Staustufen, unten die (geplanten) Flutpolder entlang der Donau sowie die geplanten Rückhalteräume im Bereich Straubing–Vilshofen)

Abweichungen zu Wasserstandsdifferenzen, die aus den W/Q-Beziehungen des Hochwassernachrichtendienstes für die Donauegel abgeleitet werden, können sich ergeben, da dort die W/Q-Beziehungen im oberen, nicht von abgelaufenen Hochwasserereignissen erfassten Bereich extrapoliert wurden. Des Weiteren wird im Abschnitt Straubing bis Vilshofen mit einem Modell simuliert, welches bereits im BZ nicht den Ist-Zustand repräsentiert, sondern einen zukünftigen ausgebauten Zustand der Donau darstellt.

Die Wasserstandsreduktion ist von mehreren Faktoren abhängig. Prinzipiell verursacht eine Reduktion des Abflusses durch die Flutpolder auch eine Reduktion des Wasserstandes. Eine Reduktion des Abflusses um beispielsweise  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  sorgt jedoch in einem engen Flussquerschnitt für eine deutlich größere Wasserstandsreduktion als in einem breiten Flussquerschnitt. Somit hat die räumliche Geometrie des Flusses entlang des Längsschnitts einen sehr großen Einfluss. So nehmen beispielsweise die Wasserstandsreduktionen vor der Weltenburger Enge (etwa Flusskilometer 2.410) stark zu, obwohl hier keine zusätzliche Abflussreduktion erfolgt. Dies wird alleine dadurch verursacht, dass der Flussquerschnitt der Donau vor dem Donaudurchbruch schmaler wird.

Ein weiterer wichtiger Faktor für den Verlauf der Wasserstandsreduktionen sind die Staustufen entlang der Donau. Falls an einer Staustufe im BZ das bescheidgemäße Stauziel gehalten werden kann, ist im PZ im Oberwasser der Staustufe selbst bei einer deutlichen Abflussreduktion keine Wasserstandsreduktion erkennbar. Ausgehend von der Stauwurzel nimmt die Wasserstandsreduktion also bis hin zur Staustufe ab. Unterstrom der Staustufe ist jedoch wieder eine Wasserstandsreduktion erkennbar.

Obwohl beim Ereignis E288 im PZ nur der Flutpolder Neugeschüttwörth im Donauabschnitt I aktiviert wird, zeigen sich dort an der Donau Wasserstandsreduktionen bis max. 20 cm. An sämtlichen Staustufen kann im BZ das Stauziel gehalten werden, wodurch die Reduktion jeweils auf den Wert 0 zurückgeht. Auch am Beginn des Donauabschnitts II sind noch Reduktionen bis max. 15 cm erkennbar.

Im Donauabschnitt II werden im PZ 10 FP alle Flutpolder eingesetzt, während im PZ 7 FP der Flutpolder Bertoldsheim nicht zur Verfügung steht. Daher ergibt sich unterstrom des Flutpolders Bertoldsheim eine deutlich größere Wasserstandsreduktion im PZ 10 FP als im PZ 7 FP (im Mittel um rund 15

bis 20 cm). Mit Einsatz aller Flutpolder treten Reduktionen von bis zu rund 60 cm auf, ohne Bertoldsheim bis zu rund 35 cm. Da im Donauabschnitt II an keiner Staustufe im BZ das bescheidgemäße Stauziel gehalten werden kann, gehen die Werte bis zur jeweiligen Staustufe zwar deutlich zurück, zeigen dort aber auch noch eine gewisse Scheitelreduktion.

Im Donauabschnitt III laufen die Wasserstandsreduktionen im PZ 7 FP und PZ 10 FP zu Beginn nahezu parallel mit einem Versatz von rund 10 cm. Ab Flusskilometer 2.375 wird dann der Einsatz der Flutpolder Eltheim und Wörthhof deutlich erkennbar, da die Wasserstandsreduktion im PZ 10 FP deutlich zunimmt. Da an der Staustufe Geisling jedoch im BZ das bescheidgemäße Stauziel gehalten wird, sinkt die Wasserstandsreduktion zunächst wieder auf den Wert 0. Unterstrom der Staustufe Geisling zeigt sich dann jedoch wieder die große Wasserstandssenkung durch die Flutpolder Eltheim und Wörthhof. Direkt unterhalb der Staustufe Geisling ist die Wasserstandsreduktion im PZ 10 FP um bis zu rund 45 cm größer (mit Eltheim und Wörthhof rund 55 cm, ohne rund 10 cm), vor der Oberauer Schleife sind es noch rund 30 cm (mit Eltheim und Wörthhof rund 40 cm, ohne rund 10 cm; die lokale Abnahme der Wasserstandsreduktion ist wiederum auf den Einfluss der Staustufe Straubing zurückzuführen).

Zwischen Straubing und Vilshofen liegen keine weiteren Staustufen mehr, sodass der Verlauf der Wasserstandsreduktionen im Längsschnitt nun stetiger verläuft. Generell zeigt sich eine lineare Abnahme der Wasserstandsreduktion in diesem Abschnitt. Durch das Überströmen der ersten Deichlinie an den Rückhalteräumen Steinkirchen, Isarmünd mit Forstern und Gundelau/Auterwörth beim hohen Hochwasserereignis E288 kommt es zu besonderen Wechselwirkungen bei der Flutung und Entleerung der Rückhalteräume, sodass im PZ jeweils eine lokale Zunahme der Wasserstandsreduktion auftritt.

#### **Weitere untersuchte großräumige synthetische Ereignisse im Donauabschnitt III und IV**

Die weiteren fünf untersuchten synthetisch generierten Ereignisse stellen wiederum unterschiedlich hohe Überlastfälle entlang der gesamten Donau dar. Zwei Ereignisse E097 und E265 wurden bis Vilshofen simuliert, für die drei anderen Ereignisse E008, E115 und E271 war eine Simulation nur bis Straubing sinnvoll (s. Tab. 4).

Beim Ereignis E097 liegen im BZ die Abflüsse entlang der gesamten Donau über einem  $HQ_{100}$ , mit Schwerpunkten über  $HQ_{200}$  im Donauabschnitt I und unterhalb der Altmühlmündung. Es wurden im PZ alle Flutpolder bis auf Leipheim eingesetzt (Einsatzkriterium  $HQ_{100}$ +Klimaänderungszuschlag wird dort nicht erreicht). Bis auf leichte Überschreitungen ab Kelheim bis Schwabelweis (im PZ 7 FP auch bis Straubing) kann der Überlastfall durch den Flutpoldereinsatz vermieden werden. Deutlich zeigt sich hier das sehr frühe Vorlaufen der Hochwasserwellen von Naab und Regen, die am Pegel Schwabelweis einen neuen Scheitel prägen. Da die oberhalb eingesetzten Flutpolder dadurch kaum mehr im Scheitelbereich, sondern weit im abfallenden Hochwasserast wirken, sinkt hier die Scheitelreduktion auf unter 1 %. Insgesamt zeigen die Flutpolder im PZ 10 FP in den Donauabschnitten I, II, III und IV mit max. 6,5 %, 10,2 %, 7,6 % und 6,4 % eine deutliche Wirkung, im PZ 7 FP ist sie weitaus geringer.

Das Ereignis E265 stellt ein sehr breites Extremszenario dar mit Abflüssen, die im BZ im Donauabschnitt II sogar das  $HQ_{1000}$  und im Donauabschnitt IV das  $HQ_{500}$  überschreiten. Hier werden in den PZ alle Flutpolder eingesetzt. Dadurch können im PZ 10 FP die Scheitelabflüsse in den Donauabschnitten I, II, III und IV um max. 10,4 %, 12,8 %, 10,0 % und 6,4 % verringert werden, im PZ 7 FP fallen die Reduktionen wieder entsprechend geringer aus. Da auch im Planzustand im Donauabschnitt II noch Abflüsse auftreten, die ein  $HQ_{500}$  überschreiten, und daher auch mit Deichbrüchen zu rechnen ist, wurde auch eine alternative Steuerung der Flutpolder Bertoldsheim und Riedensheim oberhalb der Deichstrecken bei Neuburg auf Zeitgewinn anhand der Ganglinie am Pegel Neuburg theoretisch betrachtet. Die anlaufende Hochwasserwelle könnte mit Einsatz beider Flutpolder rund 18 Stunden auf

dem Niveau eines  $HQ_{100}$  gehalten werden, bis die Rückhalteräume gefüllt sind. Ohne Bertoldsheim kann mit Riedensheim allein nur ein Zeitgewinn von rund 8 Stunden erreicht werden.

Beim Ereignis E008 liegen ab dem Pegel Donauwörth und im Donauabschnitt II Abflüsse über  $HQ_{100}$ , zum Teil auch über  $HQ_{200}$  vor. Da erst im Donauabschnitt II ein Überlastfall auftritt (Einsatzkriterium im Donauabschnitt I beträgt  $HQ_{100}$ +Klimaänderungszuschlag), werden die Flutpolder Leipheim und Helmeringen nicht eingesetzt. Der Flutpolder Neugeschüttwörth wirkt hier automatisch durch die Abflussdrossel im Absperrdeich. Zusammen mit dem gesteuerten Einsatz der Flutpolder im Donauabschnitt II können im PZ 10 FP Scheitelreduktionen in den Donauabschnitten I und II von max. 5,9 % und 9,0 % erreicht werden, ohne Bertoldsheim liegen sie deutlich darunter. Im Donauabschnitt III werden keine Flutpolder eingesetzt, da hier kein Überlastfall mehr auftritt. Die Scheitelreduktion durch die oberhalb eingesetzten Flutpolder beträgt trotzdem noch max. 3,6 %. Auf eine Weitersimulation wurde wegen der unkritischen Situation in den Donauabschnitten III und IV verzichtet.

Die Ereignisse E115 und E271 stellen wiederum Extremereignisse dar, die im BZ am Pegel Donauwörth und im Donauabschnitt III Abflüsse über  $HQ_{1000}$  aufweisen. In den PZ werden alle Flutpolder bis auf Leipheim, wo der lokale Einsatzfall nicht gegeben ist, eingesetzt. Dadurch können im PZ 10 FP die Scheitelabflüsse in den Donauabschnitten I und II bei E115 um max. 6,1 % und 13,4 % und bei E271 um max. 3,5 % und 10,0 % verringert werden. Die relativ niedrige Reduktion bei E271 im Donauabschnitt I kommt daher, dass hauptsächlich die Wörnitz hier für den Überlastfall verantwortlich ist und Neugeschüttwörth durch den vergleichsweise niedrigen Riedstromabfluss nur eine geringe Wirkung hat.

Im Donauabschnitt III treten bei beiden Ereignissen sowohl im BZ als auch im PZ 7 FP vor allem unterhalb von Schwabelweis im Bereich der Wiesentmündung großflächige Überströmungen der Deiche auf. Durch diese Überströmungen wird das gesamte Gebiet zwischen der Mündung der Wiesent und der Mündung der Kößnach überflutet. Ein Versagen der überströmten Deiche ist zudem sehr wahrscheinlich. Im PZ 10 FP können diese Überflutungen verhindert werden. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit eines Deichversagens in diesem Abschnitt deutlich reduziert und das Abwenden von katastrophalen Hochwasserschäden wahrscheinlicher. Aufgrund der unkontrollierten großflächigen Deichüberströmungen im BZ und PZ 7 FP findet bereits eine deutliche Kappung der Hochwasserwelle statt, weshalb die ermittelten Scheitelreduktionen im Donauabschnitt III nur geringe Werte aufweisen. Die tatsächliche Wirkung der Flutpolder im PZ 10 FP zeigt sich aber vor allem in der Vermeidung großflächiger Deichüberströmungen, eine Betrachtung der Abflussreduktion am Pegel Straubing alleine ist hier nicht ausreichend. Da auch im PZ 10 FP im Donauabschnitt III noch Abflüsse auftreten, die ein  $HQ_{500}$  überschreiten, und daher auch mit Deichbrüchen zu rechnen ist, wurde auch eine alternative Steuerung (Zeitgewinn) der Flutpolder Eltheim und Wörthhof betrachtet. Die anlaufende Hochwasserwelle könnte mit Einsatz beider Flutpolder bei den Ereignissen E115 und E271 rund 15 bzw. 20 Stunden auf dem Niveau eines  $HQ_{100}$  gehalten werden, bis die Rückhalteräume gefüllt sind. Ohne diese Flutpolder wäre kein Zeitgewinn möglich. Auf eine Weitersimulation unterhalb von Straubing wurde verzichtet, da dies aufgrund der wahrscheinlichen Deichbrüche im BZ und PZ 7 FP nur theoretische und eher unrealistische Szenarien wären.

## Zusammenfassende Betrachtung aller Szenarien

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Wirkung der Flutpolder Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof einen großen Anteil an der Abflussreduktion in der Donau bei größeren Hochwasserereignissen bzw. Überlastfällen ausmacht. In Abbildung 26 sind die ermittelten Scheitelreduktionen an den Pegeln Ingolstadt, Kelheim, Schwabelweis und Straubing für den Planzustand mit allen Flutpoldern (PZ 10 FP) und für den Planzustand ohne die drei in Frage gestellten Flutpolder (PZ 7 FP) jeweils über dem Scheitelabfluss im BZ aufgetragen. Am Pegel Straubing ist auch das HQ<sub>100</sub>+15%-Ereignis für den Donauabschnitt III mit enthalten, bei dem entsprechend dem PZ 7 FP auch eine Variante ohne die Flutpolder Eltheim und Wörthhof simuliert wurde.

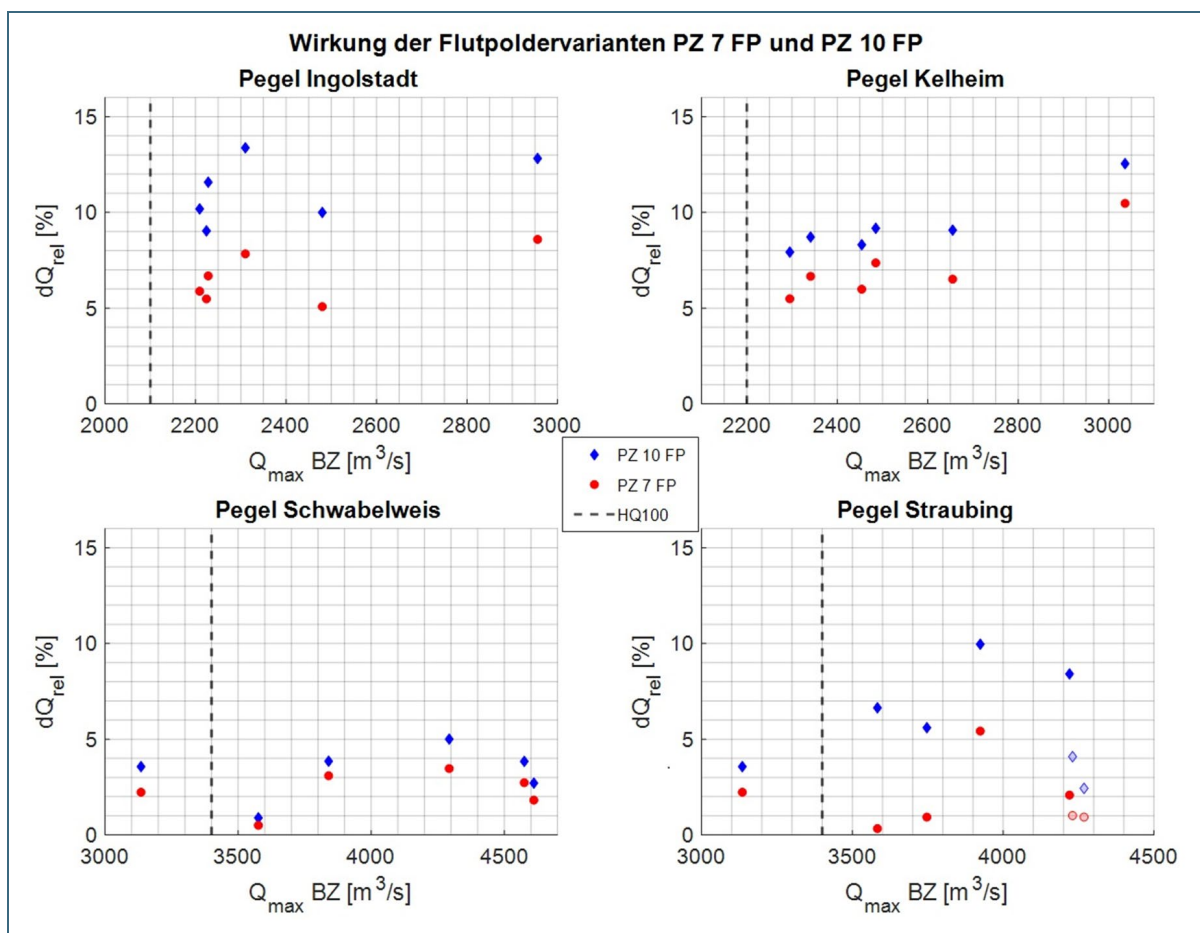


Abb. 26: Vergleich der Abflussreduktionen bei den Flutpoldervarianten PZ 10 FP und PZ 7 FP an den Pegeln Ingolstadt, Kelheim, Schwabelweis und Straubing

Der Flutpolder Bertoldsheim hat vor allem großen Einfluss auf den Donauabschnitt II. Am Pegel Ingolstadt erzielt die Flutpoldervariante mit Aktivierung des Flutpolders Bertoldsheim eine um rund 3 bis 5 %-Punkte höhere und damit zum Teil doppelt so große Abflussscheitelreduktion als in der Flutpoldervariante ohne Bertoldsheim. Auch am Pegel Kelheim sind die %-Werte der mit Bertoldsheim erzielten Abflussscheitelreduktionen rund um 1,5 bis 2,5 %-Punkte höher als ohne Bertoldsheim.

Die Wirkung des Flutpolders Bertoldsheim zeigt sich aber auch noch im Donauabschnitt III mit rund 0,5 bis 1,5 höheren %-Werten der Abflussscheitelreduktion am Pegel Schwabelweis. Selbst am Pegel Straubing kann noch eine separate Wirkung des Flutpolders Bertoldsheim ausgemacht werden. Bei dem Ereignis E008, das unter HQ<sub>100</sub> liegt (linkes Punktepaar) wurden keine Flutpolder im Donauab-



schnitt III aktiviert, da ab dem Pegel Schwabelweis im BZ kein Überlastfall mehr vorlag. Der Unterschied der Abflussscheitelreduktion zwischen PZ 10 FP und PZ 7 FP von 1,4 bei den %-Werten resultiert also ausschließlich aus der Aktivierung des Flutpolders Bertoldsheim.

Die Flutpolder Eltheim und Wörthhof spielen im Donauabschnitt III eine besonders wichtige Rolle, um hier im Überlastfall die Hochwasserschutzdeiche merklich zu entlasten, da ansonsten lediglich die Öberauer Schleife ab Straubing noch für eine Entlastung sorgen kann. Deren Bedeutung zeigt sich in Abbildung 26 an den übrigen Ereignissen am Pegel Straubing. Durch die Zuflüsse von Naab und Regen können sich sehr große Hochwasserereignisse mit einem verlagerten Abflussscheitel unterstrom von Regensburg bilden, bei denen sich die Wirkung der Flutpolder im Donauabschnitt II dann eher im abfallenden Ast des Hochwasserscheitels und mit einer geringeren Scheitelreduktion zeigt. Eine zusätzliche Aktivierung der Flutpolder Eltheim und Wörthhof kann dann (zusammen mit der Reduzierung der Hochwasserfülle im abfallenden Ast des Scheitels durch die Flutpolder des Donauabschnittes II) wiederum deutliche Scheitelkappungen bewirken. Im Lastfall HQ<sub>100</sub>+15% im Donauabschnitt III (kein Einsatz der Flutpolder im Donauabschnitt II angenommen) zeigt sich mit den Flutpoldern Eltheim und Wörthhof am Pegel Straubing eine um knapp 5 %-Punkte höhere Abflussscheitelreduktion als in der Variante ohne die beiden Flutpolder (Punktepaar bei Q<sub>max</sub> BZ von 3.747 m<sup>3</sup>/s). Bei den drei großräumigen synthetischen Ereignissen E097, E265 und E288 ergeben sich bei der Variante ohne Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof am Pegel Straubing deutlich geringere Scheitelreduktionen (um 4,5 bis 6,5 %-Punkte) als bei der Variante mit allen geplanten Flutpoldern. Bei den Ereignissen E115 und E271 (transparente Füllung der Markierungen in Abbildung 26) treten im BZ und im PZ 7 FP große Deichüberströmungen im Donauabschnitt III auf, weshalb die Abflussscheitelreduktionen der Planzustände im Vergleich zum BZ niedriger ausfallen. Wie oben bereits beschrieben bedeutet dies nicht, dass der Flutpoldereinsatz hier nur eine geringe Wirkung erzielt. Die tatsächliche Wirkung der Flutpolder Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof im PZ 10 PZ zeigt sich hier vor allem in der Vermeidung großflächiger Deichüberströmungen.

Der weitere Wirkungsverlauf im Abschnitt Straubing–Vilshofen im Zusammenspiel mit den dort geplanten Rückhalteräumen wurde insgesamt an 9 Ereignissen überprüft (Abb. 27).

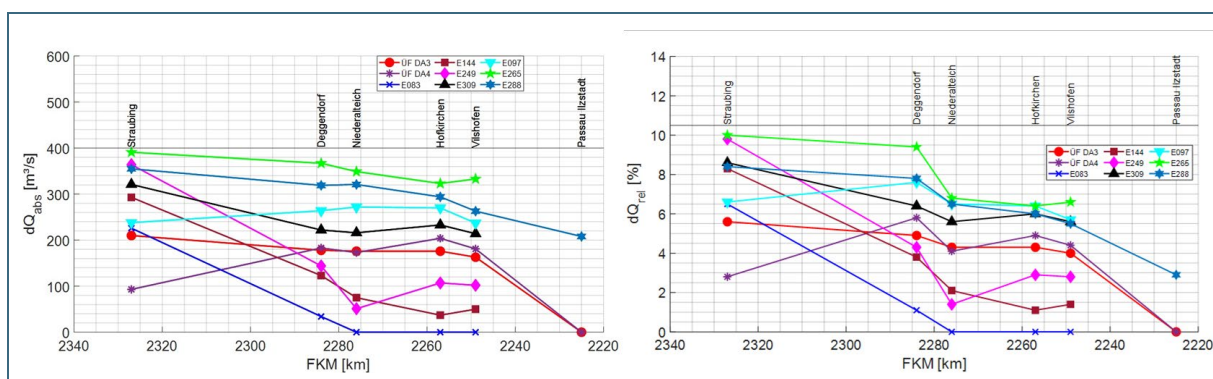


Abb. 27: Verlauf der Flutpolderwirkung unterstrom des Pegels Straubing (links: absolute Scheitelreduktion; rechts: relative Scheitelreduktion)

Lediglich bei drei Ereignissen, bei denen nur zwei bzw. drei Flutpolder im Abschnitt III eingesetzt wurden und die im PZ am Pegel Straubing bereits keinen Überlastfall mehr verursachen (E083, E144 und E249), nimmt die Wirkung der Flutpolder teilweise deutlich ab (von im Mittel 294 m<sup>3</sup>/s bzw. 8,2 % am Pegel Straubing bis auf im Mittel 47 m<sup>3</sup>/s bzw. 1,3 % am Pegel in Vilshofen), da hier die Rückhalteräume im BZ auch im Bereich des Abflussscheitels wirken. Hinzu kommt, dass teilweise einzelne

Rückhalteräume zwischen Straubing und Vilshofen im PZ nicht mehr aktiviert werden, da das Hochwasser bereits oberstrom dieser Rückhalteräume deutlich reduziert wurde.

Bei weiteren fünf Ereignissen (ÜF DA3, E097, E265, E288, E309) ist nur ein geringer Wirkungsabfall von im Mittel 303 m<sup>3</sup>/s bzw. 7,8 % am Pegel Straubing bis auf im Mittel 242 m<sup>3</sup>/s bzw. 5,5 % am Pegel Vilshofen erkennbar, auch unterstrom der Isarmündung liegt noch eine deutliche Abflussscheitelreduktion vor. Während die absolute Scheitelreduktion einen stetigen und weitgehend flachen Verlauf zeigt, reduziert sich die prozentuale Wirkung der Flutpolder zwischen dem Pegel Deggendorf und dem Pegel Niederalteich durch den Einfluss der Isarmündung mit dem unterhalb dann höheren Abflussniveau als Ausgangsbasis. Unterhalb der Innmündung kann eine Scheitelreduktion auf niedrigerem Niveau bestehen bleiben (E288), wenn der Inn keinen neuen Scheitel prägt, oder aber auch verschwinden, wenn ein vorlaufender, sehr großer Innabfluss einen neuen Scheitel bildet und die Wirkung der Flutpolder sich nur noch in der ablaufenden Hochwasserganglinie zeigt (ÜF DA3 und ÜF DA4).

Auch ein vorgeschalteter Einsatz einzelner oder mehrerer Flutpolder auf einen prägenden seitlichen Zufluss kann eine erhebliche Abflussreduktion unterstrom der Flutpolder bewirken. Selbst bei einer sehr robusten Steuerungsannahme, die weniger abhängig von präzisen Hochwasservorhersagen ist, kommt es zu einer signifikanten Abflussscheitelreduktion an Pegeln unterstrom des prägenden seitlichen Zuflusses. Bei der Untersuchung des Überlastfalls im Donauabschnitt IV (ÜF DA4 in Abbildung 27) ergab sich unterstrom des prägenden Zuflusses der Isar am Pegel Vilshofen eine Scheitelreduktion von 181 m<sup>3</sup>/s bzw. 4,4 %. Die geringe Wirkung in Straubing ist darauf zurückzuführen, dass hier keine Scheitelkappung erfolgt, sondern eine Abflusssenke in die Ganglinie gefahren wird.

### 3.4 Ergänzende Untersuchungen zum Staustufenmanagement

Die ergänzenden Untersuchungen zum Staustufenmanagement stellen ebenfalls eine Fortführung bzw. Ergänzung der bisherigen Wirkungsanalysen der TUM [5] dar. Es wurde zum einen eine komplette Vorabsenkung der Staustufen im Donauabschnitt III (Geisling und Straubing) als theoretische Maßnahme in ihrer Wirkung überprüft. Zum anderen wurde das Potenzial eines vorgeschalteten Einsatzes der Staustufenkette im Donauabschnitt I bei zwei Ereignissen, die erst unterhalb der Lechmündung im Donauabschnitt II einen Überlastfall aufweisen, untersucht.

Zusätzlich werden Ergebnisse aus der derzeit laufenden Innstudie, wo ähnliche Fragestellungen durch die Universität Kassel, Prof. Theobald, untersucht werden, als weitere Informationen zur Abrundung des aktuellen Stands mit aufgeführt.

#### Vorgehen

Für die Wirkungsanalysen der TUM wurden wie bei den Flutpolderuntersuchungen numerische 2D-Modelle verwendet, in diesem Fall für die gesamten Donauabschnitte von Neu-Ulm bis Straubing die aktualisierten 2D-Modelle der TUM für den Ist-Zustand.

Als hydrologische Szenarien wurden für die Simulation der komplett vorabgesenkten Staustufen Geisling und Straubing das auch bei den Flutpolderuntersuchungen verwendete HQ<sub>100</sub>+15% im Donauabschnitt III zugrunde gelegt, für die Simulation der vorgeschalteten Staustufensteuerung die auf Basis des Pfingsthochwassers 1999 auf gut HQ<sub>100</sub> (Überlastfall 1) bzw. auf HQ<sub>100</sub>+15% (Überlastfall 2) skalierten Ereignisse, die bei der TUM-Studie von 2017 als Überlastfallereignisse für den Donauabschnitt II verwendet wurden.

### Ergebnisse der Simulation von geleerten Stauräumen im Donauabschnitt III

Bei der Variante mit kompletter Vorabsenkung wurde untersucht, inwiefern ein massives Vorabsenken der Wasserstände an den Staustufen Geisling und Straubing einen Einfluss auf den Hochwasserverlauf hat. Hierfür wurden jeweils Stauziele nur 50 cm über der Kote der Wehrkrone eingestellt, was an beiden Staustufen einer Vorabsenkung von rund 8,30 m entspricht. Da eine vollständige Entleerung des Oberwassers der Staustufen an der Bundeswasserstraße nicht umsetzbar ist, stellt dies eine theoretische Analyse dar, soll aber dadurch aufzeigen, wie sich die Verhältnisse bei dieser Grenzbetrachtung mit der anlaufenden Hochwasserwelle verändern bzw. welche Retentionsvolumina im Scheitelbereich großer Hochwasserereignisse überhaupt wirksam wären. Ein gesteuerter gezielter Aufstau wurde hier nicht simuliert.

Die Ergebnisse der Simulationsläufe sind für die Staustufen Geisling und Straubing in Abbildung 28 dargestellt. Neben den Abflussganglinien mit und ohne Vorabsenkung ist zusätzlich auch der zeitliche Wasserspiegelverlauf im Oberwasser und Unterwasser der Staustufen dargestellt.

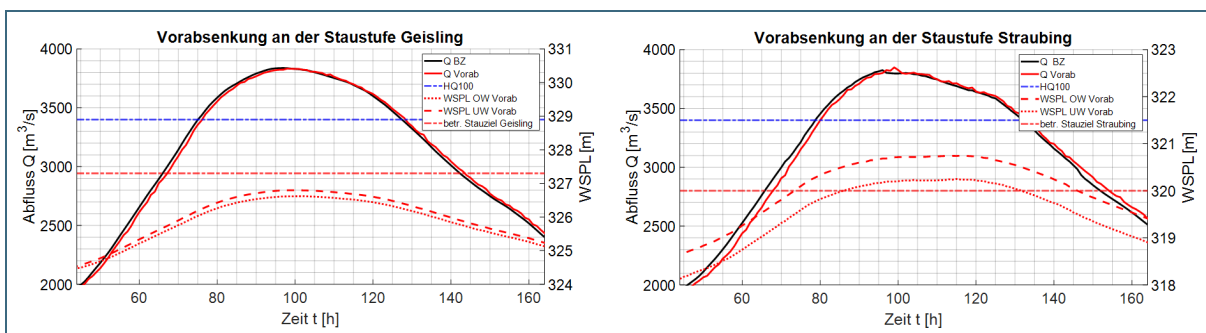


Abb. 28: Vergleich der Abfluss- und Wasserstandganglinien an den Staustufen Geisling und Straubing

Mit ansteigender Hochwasserwelle steigt automatisch auch der Wasserspiegel im Ober- und Unterwasser an. Dies zeigt den allgemeinen Effekt, dass ein Gewässer bei höheren Abflüssen auch höhere Wasserstände hat. Beim Oberwasser einer Staustufe kommt hinzu, dass ein Wehr aufgrund des verringerten Querschnitts noch einen Drossелеffekt haben kann, der sich in der Differenz zwischen Ober- und Unterwasser äußert. Der ansteigende Wasserspiegel oberstrom des Wehres bedeutet, dass ein Volumenteil des Hochwassers im Stauraum des Wehres gespeichert wird. Dies hat zur Folge, dass etwas weniger Wasser aus dem Stauraum abfließt als oben zufließt, und verursacht somit eine zeitliche Verzögerung der Hochwasserwelle im ansteigenden Ast. Das theoretisch durch maximale Vorabsenkung geschaffene Retentionsvolumen im Stauraum wird also bereits im ansteigenden Ast der Hochwasserwelle langsam, aber stetig aufgebraucht.

An der Staustufe Geisling wird das betriebliche Stauziel von 327,30 m ü. NN durch die automatische Füllung des Stauraums bei dieser Hochwasserwelle nicht wieder erreicht, die maximal erreichte Wasserspiegellage im Oberwasser liegt bei rund 326,80 m ü. NN. Dies bedeutet, dass hier noch ein tatsächliches Retentionsvolumen für einen gesteuerten Aufstau zur Verfügung stünde. Zum Zeitpunkt des Erreichens eines  $HQ_{100}$  in Geisling ( $3.400 \text{ m}^3/\text{s}$ ) beträgt der Wasserstand im Oberwasser der Staustufe rund 326,25 m ü. NN. Beim  $HQ_{100}$  würden bei diesem Ereignis somit nur noch gut 1 m Vorabsenkung für eine gezielte Scheitelkappung verbleiben, was einem zur Verfügung stehenden Retentionsvolumen von rund 3–4 Mio.  $\text{m}^3$  entspricht. Beim  $HQ_{200}$  ( $3.700 \text{ m}^3/\text{s}$ ) wären es entsprechend noch rund 70 cm oder rund 2–3 Mio.  $\text{m}^3$  Retentionsvolumen.

An der Staustufe Straubing wird das betriebliche Stauziel von 320,00 m ü. NN bereits bei einem Abfluss von unter  $HQ_{100}$  wieder erreicht. Der Stauraum ist dann wieder komplett gefüllt und es steht kein zusätzliches Retentionsvolumen mehr für eine gezielte Scheitelkappung zur Verfügung.

Insgesamt zeigt sich, dass bei einer kompletten Vorabsenkung der Staustufen Geisling und Straubing aufgrund der automatisch einsetzenden Füllung des Stauraumes der ansteigende Ast der Hochwasserwelle um rund 2 Stunden verzögert wird. Im Scheitelbereich größerer Hochwasser kann nur an der Staustufe Geisling noch ein Teil der Vorabsenkung gehalten werden. Dieses Restvolumen könnte dann noch für eine gezielte Scheitelkappung verwendet werden, es entspricht aber nur einem Bruchteil des Volumens, das mit den Flutpoldern Eltheim und Wörthhof zur Verfügung stehen würde.

### Ergebnisse der Simulation einer vorgeschalteten Staustufenkette in Donauabschnitt I auf ein lechgeprägtes Überlastfallereignis in Donauabschnitt II

Bei der Simulation der vorgeschalteten Staustufenkette im Donauabschnitt I (Staufstufen Oberelchingen, Leipheim, Günzburg, Offingen, Gundelfingen, Faimingen, Dillingen, Höchstädt, Schwenningen und Donauwörth) war das Ziel, im ansteigenden Ast der Hochwasserwelle der Donau eine Abflusssenke zu erzeugen, welche dann im Bereich des maßgebenden Lechscheitels eine Abflussreduktion bewirken kann. Dies entspricht dem vorgeschalteten Einsatz eines Flutpolders. Hierfür werden die Staustufen zunächst abgesenkt und im Anschluss bei anlaufender Hochwasserwelle so aufgestaut, dass die erzeugte Abflusssenke zeitlich auf den Lechscheitel abgestimmt ist. Der Start der Absenkung beginnt in den Simulationen frühestens 48 Stunden vor dem Eintreffen des Lechscheitels. Er erfolgt an allen Staustufen zeitgleich, sodass es nicht zu einer Überlagerung der Absenkungswellen der einzelnen Staustufen kommt. Als Aufstauziele wurden wie bei der TUM-Studie von 2017 die bescheidgemäßen maximalen Hochwasserstauziele angesetzt. Eine beispielhafte Steuerung einer Staustufe zeigt Abbildung 29 mit einer Vorabsenkung im Zeitraum  $t = 30$  bis  $t = 43$  h und einem Wiederaufstau im Zeitraum  $t = 44$  bis  $t = 55$  h.

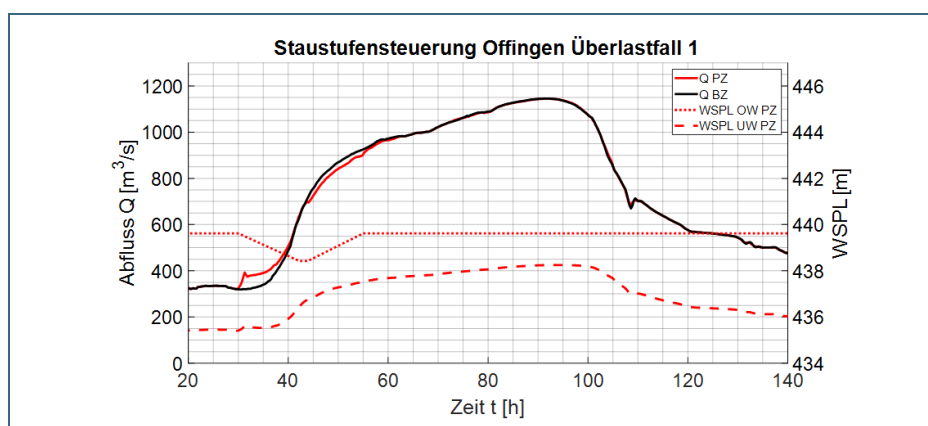


Abb. 29:  
Beispielhafte Steuerung einer vorgeschalteten Staustufe

An den 10 im Donauabschnitt I gelegenen Staustufen konnten Vorabsenkungen bis maximal rund 1,5 m erzielt werden. Die sich dadurch ergebende Wirkung auf die Ganglinien an den Pegeln Donauwörth, Ingolstadt und Kelheim für den Überlastfall 1 (gut HQ<sub>100</sub>) ist in Abbildung 30 gezeigt.

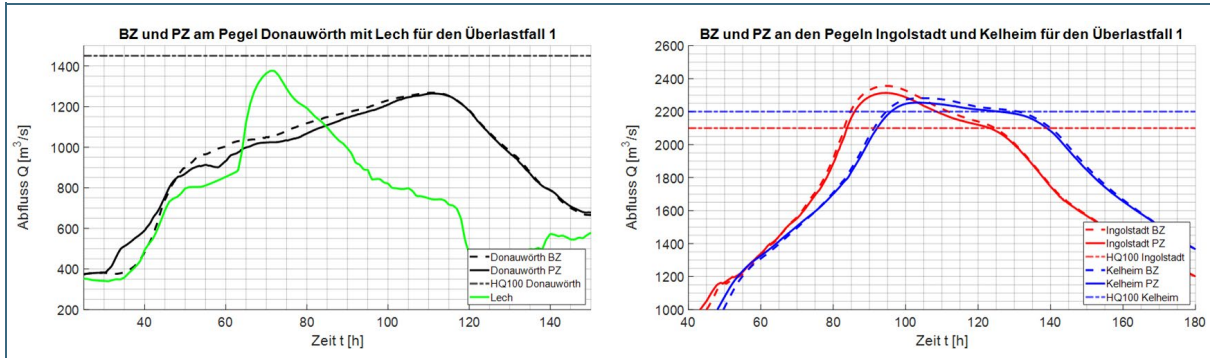


Abb. 30: Ganglinien mit und ohne vorgeschaltet eingesetzte Staustufen an den Pegeln Donauwörth, Ingolstadt und Kelheim für den Überlastfall 1 (gut HQ<sub>100</sub>)

Die temporäre Abflusserhöhung in der Phase, in der die Vorabsenkungen durchgeführt werden, ist an der Ganglinie in Donauwörth gut im Zeitraum  $t = 30$  h bis  $t = 45$  h erkennbar. Die sich durch Wiederauffüllung der Stauräume ergebende Abflusssenke in der Ganglinie in Donauwörth erstreckt sich über rund 60 Stunden, obwohl die Aufstaudauer an den Staustufen jeweils nur 9 bis 18 Stunden beträgt.

Die Verbreiterung der Abflusssenke ist vor allem mit dem Einfluss des Riedstroms zu begründen. Dadurch, dass ein Teil des Donauabflusses in den Riedstrom abgeschlagen wird, gelangt die Abflusssenke des in der Donau verbleibenden Abflussanteils relativ schnell bis zum Pegel Donauwörth. Durch die natürliche Retention im Überschwemmungsgebiet des Riedstroms wird der in der Aue abfließende Teil verzögert, wodurch dessen Absenkung später am Pegel Donauwörth ankommt. Dadurch werden Abflusssenken gleichsam wie Abflussscheitel abgeflacht und zeitlich aufgeweitet. Bei der Vorabsenkungswelle tritt dieser Effekt nicht auf, da der Riedstrom erst bei höheren Abflüssen aktiviert wird.

An den Pegeln Ingolstadt und Kelheim wird der Donauscheitel von der Abflusssenke zeitlich gut getroffen. Durch die vorgeschaltete Staustufenkette kann der Abflussscheitel um  $43 m^3/s$  bzw.  $1,8 \%$  auf  $2.313 m^3/s$  gesenkt werden. Am Pegel Kelheim beträgt die Scheitelreduktion noch  $29 m^3/s$  bzw.  $1,3 \%$  auf  $2.248 m^3/s$ .

Die sich beim Überlastfall 2 (HQ<sub>100</sub>+15%) ergebende Wirkung auf die Ganglinien an den Pegeln Donauwörth, Ingolstadt und Kelheim ist in Abbildung 31 gezeigt.

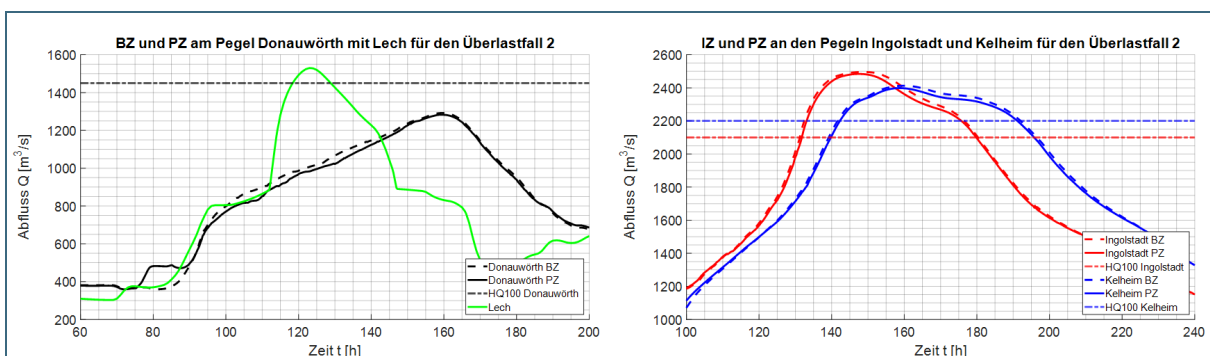


Abb. 31: Ganglinien mit und ohne vorgeschaltet eingesetzte Staustufen an den Pegeln Donauwörth, Ingolstadt und Kelheim für den Überlastfall 2 (HQ<sub>100</sub>+15%)

Auch hier wird wieder eine relativ breite Abflusssenke erzeugt, mit welcher der Lechscheitel getroffen wird. Am Pegel Ingolstadt wird der Scheitel durch die vorgeschaltete Staustufensteuerung um  $12 m^3/s$



bzw. 0,5 % auf 2.484 m<sup>3</sup>/s gesenkt. Am Pegel Kelheim wird eine Verringerung des Scheitels um 15 m<sup>3</sup>/s bzw. 0,6 % auf 2.398 m<sup>3</sup>/s erzielt.

An beiden Pegeln ist zu erkennen, dass die Staustufensteuerung etwas weniger deutlich im Bereich des Scheitels wirkt und mehr in Richtung ablaufender Welle verschimmt. Dies liegt an der Überflutung des rechtsseitigen Vorlandes zwischen der Lechmündung und der Staustufe Bertoldsheim bzw. deren rechtsseitige Umströmung. Hier wird im BZ ohne vorgeschaltete Staustufensteuerung im Scheitelbereich noch ein größerer Geländebereich neu überflutet, sodass der Scheitel durch natürliche ungesteuerte Retention beeinflusst ist. Durch die Staustufensteuerung wird dies nun weniger überflutet und die Reduktion im Flussschlauch der Donau fällt geringer aus. Es wird also im Vergleich zum BZ Wasservolumen aus dem natürlichen Überflutungsgebiet an der Lechmündung in die Stauräume im Donauabschnitt I verlagert. Dies hat eine spürbare Reduktion der Scheitelwirkung der Staustufensteuerung zur Folge. Um dennoch für dieses Ereignis eine effektive Scheitelkappung durchzuführen, müsste folglich eine weitaus tiefere Abflusssenke in die Ganglinie gefahren werden. Dies ist jedoch aufgrund der Wechselwirkung der Staustufensteuerung mit dem Riedstrom modelltechnisch kaum und in der Realität überhaupt nicht umsetzbar.

Ein vorgeschalteter Einsatz der Staustufenkette im Donauabschnitt I auf einen prägenden seitlichen Zufluss des Lechs bewirkt trotz einer nahezu optimalen Steuerung und einem theoretisch optimierten nutzbaren Volumen nur eine geringfügige Abflussreduktion unterhalb der Lechmündung. Die Wechselwirkungen der Staustufensteuerungen mit komplexen natürlichen Retentionssystemen wie dem Riedstrom oder dem südlichen Auestrom unterhalb der Lechmündung und die weiteren seitlichen Zuflüsse erschweren und limitieren die Optimierung der Staustufenkette und schränken deren Wirkung ein. Generell hat sich hier wie auch schon in der TUM-Studie von 2017 gezeigt, dass die Potenziale einer Staustufenbewirtschaftung im Hochwasserfall mit zunehmender Größe der Hochwasserereignisse geringer werden. In den beiden simulierten Überlastfällen erzielt die vorgeschaltete Staustufensteuerung an den Pegeln Ingolstadt mit 0,5 bzw. 1,8 % und Kelheim mit 0,6 bzw. 1,3 % nur eine geringe Abflussreduktion. Die Wirkung ist somit deutlich niedriger als die eines einzelnen Flutpolders im Donauabschnitt II.

### **Erfahrungen zum Staustufenmanagement aus der laufenden Innstudie**

Als zusätzliche Informationen zum Potenzial einer Staustufenbewirtschaftung können noch Erkenntnisse aus der derzeit laufenden Innstudie dienen, die von der Universität Kassel (Prof. Theobald) eingeholt wurden. Nachfolgend werden die wichtigsten Aussagen aus der Stellungnahme zusammengefasst.

Im Rahmen der Innstudie wird unter anderem anhand von drei abgelaufenen Hochwasser 2002, 2005 und 2013 sowie 12 synthetische Hochwasserereignissen untersucht, ob es durch einen angepassten Betrieb der Stauanlagen bzw. modifizierte Wehrbetriebsordnungen Potenziale gibt, den Hochwasserabfluss des Inns zu verringern. Grundlage bildet ein hydrodynamisch-numerisches 1D-Modell des bayerischen Inns von Oberaudorf bis Passau Ingling mit einer Länge von 211 km und 15 Staustufen.

Als Ergebnis zeigt sich, dass bei Einbezug aller Stauanlagen durch Vorabsenkung und Wiederaufstau bis maximal auf das bescheidgemäße Hochwasserstauziel im untersuchten Abflussspektrum (HQ<sub>10</sub> bis HQ<sub>1000</sub>) am Pegel Passau Ingling prozentuale Abflussminderungen von 9,3 % bis 1 % erreicht werden. Dabei ist das Potenzial zur Abminderung des Wellenscheitels im Abflussbereich HQ<sub>10</sub> bis HQ<sub>30</sub> (5 bis 9 %) deutlich größer als bei sehr hohen Abflüssen mit HQ<sub>100</sub> und darüber (1 bis 2,5 %). Da der Inn erheblich zum Hochwassergeschehen in Passau beiträgt und es dort im Mündungsbereich bereits bei Hochwasserereignissen mit niedrigen Jährlichkeiten zu Überschwemmungen kommt, ist bereits eine Abminderung kleinerer Ereignisse am Inn sinnvoll.

Zusätzlich wurde die Wechselwirkung von Flutpolderbetrieb und Stauraummanagement untersucht. Es wurde sowohl der Einzelbetrieb jeweils eines Flutpolders am Inn oberhalb und unterhalb der Salzachmündung als auch der gemeinsame Betrieb beider Flutpolder mit und ohne Stauraummanagement bei sechs Hochwasserereignissen betrachtet. Die Auswertung der Simulationsergebnisse für die unterschiedlichen Hochwasserereignisse zeigt, dass sich bei gemeinsamen Betrieb von Flutpolder und Stauraummanagement am Inn die Einzelwirkungen nahezu additiv überlagern, die positive Wirkung des Stauraummanagements bleibt auch bei Flutpolderbetrieb erhalten.

Für das Stauraummanagement wurden ergänzend robuste und praxisnahe Steuerungsregeln entwickelt. Eine Analyse von Vorhersagedaten zeigt, dass der Abstauvorgang rechtzeitig eingeleitet werden kann, sodass die damit verbundenen temporären Abflusserhöhungen keine negativen Auswirkungen unterstrom hervorrufen. Der Aufstauvorgang wird messwertbasiert in Abhängigkeit vom Wasserstand an Inn und Salzach eingeleitet. Nach Angabe des Betreibers liegt eine Steuerbarkeit der Anlagen am unteren Inn (Ausnahme Passau Ingling) bis zu einem Abfluss von 7.800 bzw. 9.900 m<sup>3</sup>/s (HQ<sub>300</sub> bis über HQ<sub>1000</sub>) vor. Da im Rahmen der durchgeführten Simulationen Maximalabflüsse von rund 4.000 bis 8.000 m<sup>3</sup>/s in diesem Bereich auftreten, ist die Annahme einer Steuerbarkeit (hydraulische Voraussetzungen) zulässig. Der Einfluss der Unterwasserstände an den Staustufen und somit mögliche Rückstaueffekte sind in den Simulationen berücksichtigt. Es zeigt sich, dass durch die praxisnahen Steuerungsregeln bei den untersuchten drei abgelaufenen sowie 12 synthetischen Ereignissen, bis auf einzelne Ausnahmen, ähnlich große Abminderungen wie für das theoretische Potenzial erreicht werden können.

### **Übertragbarkeit auf andere Flüsse und Ausblick**

Die in der Innstudie ermittelten Ergebnisse zum Stauraummanagement können nicht direkt auf andere Flusssysteme übertragen werden. Hierzu sind detaillierte Untersuchungen notwendig. Es ist hervorzuheben, dass im betrachteten Abschnitt des Inns günstige Standortbedingungen (zum Beispiel große Fallhöhen, keine Schifffahrt) vorliegen und Restriktionen in Bezug auf Bewirtschaftungsvolumen, Anlagendimension und Steuerbarkeit bei großen Abflüssen hinsichtlich der auftretenden Wasserstände eingehalten werden können. Mit Hilfe der entwickelten robusten und praxisnahen Steuerungsregeln konnten unter der Annahme, dass keine situationsabhängigen Einschränkungen (zum Beispiel Verklausungen) vorliegen, gute Ergebnisse für die Abminderung des Hochwasserscheitels am Pegel Passau Ingling erzielt werden.

Das Stauraummanagement stellt im Bereich des Hochwasserschutzes beziehungsweise Hochwasserrückhaltes eine additive Maßnahme zu Rückhaltebecken und Flutpoldern dar. Beim Stauraummanagement ist die Verfügbarkeit nicht immer vollumfänglich gegeben und die Wirkung nimmt bei sehr hohen Abflüssen (HQ<sub>100</sub> und darüber hinaus) deutlich ab. Rückhaltebecken im Nebenschluss (z. B. Flutpolder) und das darin speicherbare Volumen stehen, bei Voraussetzung der Betriebsfähigkeit, garantiert über das gesamte Abflussspektrum zur Verfügung und bieten dabei insbesondere auch bei sehr großen Ereignissen (HQ<sub>100</sub> und darüber hinaus) eine gute Eingriffsmöglichkeit zur Abflussreduzierung.

## **3.5 Laufende Untersuchungen zum Grundwasser**

Um die Auswirkungen der geplanten Flutpolder an der Donau auf das Grundwasser zu ermitteln, wurden an allen Standorten numerische Grundwassermodelle aufgestellt.

Als wichtige Grundlage für numerische Grundwassermodelle dienen sogenannte hydrogeologische Modelle. Die Qualität eines hydrogeologischen Modells ist wesentlich verantwortlich für die Vertrauenswürdigkeit der Aussagen und Prognosen hydrogeologischer Aufgabenstellungen. Darauf aufbau-

end erfolgt die Erstellung von Grundwassermodellen, welche an unterschiedlichen Zeiträumen mit unterschiedlichen hydrologischen Bedingungen geprüft und verifiziert (Kalibrierung, Modelltest) werden müssen, bevor Variantenberechnungen entsprechend der Aufgaben- und Zielstellung durchgeführt werden können. In Anlehnung an die einschlägigen Leitfäden und technischen Regeln zum Aufbau hydrogeologischer Modelle und Grundwassermodelle erfolgte für alle geplanten Flutpolder an der bayerischen Donau die Entwicklung eines qualitativ hochwertigen hydrogeologischen Modells und darauf aufbauend ein an mehreren langen Zeiträumen (mehrere Jahre) kalibriertes und validiertes aussagekräftiges Grundwassermodell, welches jeweils uneingeschränkt für die in den Raumordnungsunterlagen zu treffenden Aussagen eingesetzt werden kann. Um eine einheitlich hohe Qualität der für die im Zuge der Flutpolderplanungen an der Donau erstellten Grundwassermodelle zu gewährleisten, erfolgte neben der Begutachtung und Projektbegleitung durch das LfU durchweg auch eine externe Begutachtung und Qualitätssicherung durch Herrn Prof. Kinzelbach (ETH Zürich). Dieses Vorgehen wurde für alle an der bayerischen Donau geplanten Flutpolder in Hinblick auf die Grundwasseruntersuchungen einheitlich durchgeführt. Jeweilige standortspezifische Besonderheiten wurden ebenfalls entsprechend berücksichtigt. Für die geplanten Flutpolder Eltheim, Wörthhof und Bertoldsheim werden im Folgenden die vertieften standortspezifischen Grundwasseruntersuchungen zusammengefasst.

### Flutpolder Bertoldsheim

Zur Erstellung des hydrogeologischen Modells erfolgte zunächst die Erfassung und Auswertung aller für die Grundwasserströmung relevanten Daten. Anschließend wurde nach Festlegung von Randbedingungen und Modellkonzepten das hydrogeologische Modell in ein numerisches Grundwassermodell umgesetzt. Das Grundwassermodell wurde an einem Langzeitdatensatz der Grundwasserstände und an weiteren, davon unabhängigen, Messdaten verifiziert (Kalibrierung, Modelltest) und damit anhand unterschiedlichster hydrologischer Bedingungen angepasst. Durch geeignete Parameterwahl konnte der Mittelwert der absoluten Abweichung im gesamten Modellgebiet so reduziert werden, dass eine sehr gute Modellanpassung vorliegt. Für die Kalibrierung und den Modelltest wurden zudem auch Messdaten Dritter eingesetzt. Des Weiteren erfolgte im Rahmen des Projektes eine Stichtagsmessung an ausgewählten Grundwasser- und Abflussmessstellen, deren Daten im Grundwassermodell ebenfalls berücksichtigt wurden. Zudem wurden systemrelevante bestehende Drainagegräben (insbesondere östlich Niederschönenfeld und nördlich Burgheim) im Grundwassermodell implementiert. Ein Messstellennetz mit kontinuierlicher Registrierung von Grundwasserstandsdaten wurde eingerichtet. Damit die Auswirkungen des Vorhabens quantifiziert werden können, wurde ein Bezugszustand definiert, welcher die Situation ohne Flutpolder bei einem Hochwasserereignis darstellt. Den Berechnungen wurden zwei Hochwasserwellen zugrunde gelegt. Dabei ist eine der Wellen durch einen hohen Abfluss der Donau (donaubetont), die andere durch einen hohen Abfluss des Lechs (lechbetont) verursacht. Darauf aufbauend wurden mit dem Grundwassermodell Fallstudien / Variantenberechnungen mit Flutpoldereinsatz berechnet sowie erforderliche Anpassungsmaßnahmen konzipiert. Zur Quantifizierung der Unsicherheiten wurden umfangreiche Sensitivitätsuntersuchungen durchgeführt und Fallstudien mit ungünstigen Annahmen der Parameterwerte gerechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Realisierung des Flutpolders Bertoldsheim mit Maßnahmen zum Schutz von tiefergelegenen Ortsteilen ohne negative Veränderungen der Grundwassersituation für Anlieger möglich ist.

### FP Eltheim und Wörthhof

Für die Erstellung des hydrogeologischen Modells und Grundwassermodells standen umfangreiche Langzeitdaten zahlreicher Grundwassermessstellen aus verschiedensten Zeiträumen mit unterschiedlichen hydrologischen Systemzuständen zur Verfügung (unter anderem vor, während und nach dem Staustufenbau), an denen eine Kalibrierung und Validierung des Grundwassermodells erfolgte. Darüber hinaus wurden rund 1.700 Bohrdaten, Daten zu Dichtwänden im Donaubereich, Deckschichtkartierungen, geophysikalische Untersuchungen, kontinuierliche Abflussmessungen des Grabensystems

sowie die Pumpmengen der systemrelevanten Schöpfwerke für die Verifizierung des Grundwassermodells verwendet. Im Jahr 2016 wurde ein Messstellennetz, welches sowohl Grundwasser- als auch Abflussmessstellen an oberirdischen Gewässern beinhaltet, durch das Wasserwirtschaftsamt Regensburg für die detaillierte und kontinuierliche Aufnahme von Grundwasserstands- und Abflussdaten eingerichtet. Für die im Raumordnungsverfahren zu treffenden Aussagen wurde eine sehr gute Modellanpassung hinsichtlich Detaillierungsgrad des Grundwassermodells und der daraus resultierenden Genauigkeit der Kalibrierung erreicht. Zur Quantifizierung der Unsicherheiten wurden umfangreiche Sensitivitätsuntersuchungen durchgeführt und der Einfluss extremer Inhomogenitäten der Durchlässigkeiten des Grundwasserleiters untersucht. Als Bezugszustand, dem Zustand bei dem eine Hochwassersituation ohne Flutpolder berechnet wird, wurde der planfestgestellte Zustand nach dem Bau der Stauhaltungen Geisling und Straubing verwendet. Dieser Zustand wurde durch die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) im März 2020 bestätigt. Darauf aufbauend wurden mit dem Grundwassermodell Variantenrechnungen mit Einsatz der Flutpolder Eltheim und Wörthhof berechnet. Im Rahmen des Modelleinsatzes wurden zusätzlich auch die Auswirkungen der Staustufen Geisling und Straubing beschrieben. Es zeigt sich, dass mit entsprechenden Schutzmaßnahmen eine Realisierung der Flutpolder Eltheim und Wörthhof ohne negative Veränderungen der Grundwassersituation für Anlieger erfolgen kann. Die benachbarte Wassergewinnungsanlage Giffa kann in jedem Fall erhalten werden.

Alle Berichte zum Grundwassermodell und deren Einsatz sowie standortspezifische Informationen sind öffentlich zugänglich und auf der Internetseite des Wasserwirtschaftsamtes Regensburg abrufbar: [https://www.wwa-r.bayern.de/hochwasser/hochwasserschutzprojekte/flutpolder/gw\\_modell/index.htm](https://www.wwa-r.bayern.de/hochwasser/hochwasserschutzprojekte/flutpolder/gw_modell/index.htm).

Zusammengefasst liegen für die Untersuchungen hinsichtlich der Grundwassersituation an den geplanten Flutpoldern Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof insgesamt aussagekräftige Grundwassermodelle vor, mit denen entsprechende standortspezifische vertiefte Untersuchungen zu den Auswirkungen auf das Grundwasser durchgeführt wurden. Das Ergebnis dieser Untersuchungen ist, dass mit entsprechenden Anpassungsmaßnahmen eine Realisierung der Flutpolder ohne negative Veränderungen der Grundwassersituation für Anlieger erfolgen kann.

## 4 Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse

Die Hochwasserschutzanlagen, die in Bayern entsprechend dem Landesentwicklungsprogramm Bayern (LEP) in der Regel zum Schutz gegen ein 100-jährliches Hochwasserereignis ausgelegt sind (sog. Grundschutz), haben Grenzen: bei sehr großen Hochwasserereignissen können höhere Wasserstände auftreten als diejenigen, auf welche die Deiche und Wände bemessen sind. In einem solchen Überlastfall wird die Leistungsfähigkeit der Deiche und Wände überschritten, gegebenenfalls können diese auch überströmt werden, im schlimmsten Fall sogar vollständig versagen. In solchen Fällen kann der Gesamtschaden durch weitreichende Auswirkungen auf andere Bereiche oft auf ein Mehrfaches der unmittelbar vom Hochwasser verursachten Schäden ansteigen (sogenannte Domino- und Kaskadeneffekte).

Mit dem Bayerischen Flutpolderprogramm sollen die umfangreichen Risiken eines Überlastfalles reduziert und Bevölkerung und Wirtschaft noch besser vor Hochwasser geschützt werden. Bei sehr großen Hochwasserereignissen kann im kritischen Scheitelpunkt Wasser aus der Hochwasserwelle entnommen und in den Flutpoldern gespeichert werden. Dies entlastet die unterhalb liegenden Gewässerstrecken. Mit gesteuerten Flutpoldern werden ehemals natürliche Hochwasserrückhalteflächen zurückgewonnen bzw. wiederhergestellt und möglichst effektiv genutzt, um Belastungen zu minimieren und den Nutzen zu maximieren. Gerade auch vor dem Hintergrund des fortschreitenden Klimawandels und der prognostizierten Hochwasserverschärfungen schaffen Flutpolder wichtige zusätzliche Handlungsoptionen bei sehr großen Hochwasserereignissen. Auch außerhalb Bayerns setzt man im Umgang mit sehr großen Hochwasserereignissen auf den Bau von Flutpoldern, z. B. an Rhein und Elbe. Die Bundesregierung fördert diese übergeordneten Maßnahmen der Länder im Rahmen des Nationalen Hochwasserschutzprogramms.

Die Donau ist eine sehr wichtige bayerische Entwicklungsachse mit sehr großem Schadenspotenzial hinter den Deichen. Große seitliche Zuflüsse wie Iller, Lech, Naab, Regen, Isar oder Inn prägen die Hochwasser der Donau deutlich. Dies führt dazu, dass die verschiedenen Donauabschnitte je nach Ereignis unterschiedlich stark betroffen sein können. Insofern ist es wichtig, in jedem Donauabschnitt gesteuerte Flutpolder zu realisieren, um flexibel auf die jeweilige Hochwassersituation reagieren zu können. In den letzten beiden Jahrhunderten sind entlang der Donau in erheblichem Ausmaß natürliche Rückhalteflächen verloren gegangen. Da die für eine Entlastung geeigneten und noch verfügbaren Gebiete an der Donau begrenzt sind, sollen die wenigen noch aktivierbaren Rückhalteräume möglichst effektiv genutzt werden.

An der Donau sind derzeit insgesamt 10 verschiedene Flutpolderstandorte geplant. Im Donauabschnitt I (Iller- bis Lechmündung) sollen mit Leipheim, Helmeringen und dem Rückhalteraum Neugeschüttwörth insgesamt rund 40 Mio. m<sup>3</sup> für einen Einsatz im Überlastfall zur Verfügung stehen. Im Donauabschnitt II (Lech- bis Naab-/Regenmündung) sind dies mit Bertoldsheim, Riedensheim, Großmehring und Katzau weitere gut 45 Mio. m<sup>3</sup>. Im Donauabschnitt III (Naab-/Regen- bis Isarmündung) sind mit Eltheim, Wörthhof und Öberauer Schleife nochmals rund 45 Mio. m<sup>3</sup> bzw. 60 Mio. m<sup>3</sup> geplant.

Mit Beschluss vom 14.01.2019 hat sich der Bayerische Ministerrat grundsätzlich für eine weitere Fortsetzung des Flutpolderprogramms an der Donau ausgesprochen. Für die drei im Koalitionsvertrag zwischen CSU und FREIEN WÄHLERN in Frage gestellten Standorte Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof sollen vertiefte Wirkungsbetrachtungen vor allem in Bezug auf Grundwasser angestellt und mögliche Alternativplanungen untersucht werden, die zusätzliche Rückhaltemöglichkeiten an den großen Seitenzuflüssen und Optimierungsmöglichkeiten für ein Staustufenmanagement enthalten. Über die Ergebnisse dieser Prüfung ist dem Ministerrat wieder zu berichten.



Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) hat daher mit besonderem Fokus auf die Standorte Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof

- eine Untersuchung zur ergänzenden Überprüfung der Flutpolderwirkung, welche die Fortführung der Wirkungsanalysen der TUM über Straubing hinaus für die Donauabschnitte III und IV sowie die Betrachtung eines größeren Spektrums an Hochwasserwellen beinhaltet,
- eine Untersuchung von Rückhaltemöglichkeiten an den maßgeblichen Seitenzuflüssen der Donau und den Vergleich ihrer Wirkung mit der Wirkung der in Frage gestellten Flutpolderstandorte an der Donau sowie
- weitere Untersuchungen zu den Rückhaltepotenzialen durch ein optimiertes Staustufenmanagement

durchführen lassen sowie zusätzliche Informationen aus den laufenden Grundwasseruntersuchungen zusammengetragen.

Als zusammenfassende Bewertung der in Kapitel 3 ausführlich dargestellten Ergebnisse können folgende Aussagen getroffen werden:

### **Ergänzende Überprüfung der Flutpolderwirkung**

Anhand von 12 zusätzlichen, z. T. großräumigen Hochwasserereignissen wurde die Wirkung der an der Donau geplanten Flutpolder untersucht. Bei sämtlichen Ereignissen konnten die Flutpolder zusammen mit den weiteren im Bereich Donauwörth und Deggendorf geplanten Rückhalteräumen dazu beitragen, Überlastfälle deutlich abzuschwächen oder auch zu verhindern. Auch wenn bei den betrachteten sehr großen Ereignissen das HQ<sub>100</sub> nicht immer unterschritten werden kann, bedeutet dies eine deutliche Reduzierung des Hochwasserscheitels und damit eine spürbare Entlastung und Reduzierung der Versagenswahrscheinlichkeiten für die unterhalb liegenden Hochwasserschutzanlagen bzw. bei extremen Überlastfällen zumindest ein deutlicher Zeitgewinn für Evakuierungen und Sicherung mobiler Werte.

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Wirkung der in Frage gestellten Flutpolder Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof einen großen Anteil an der Abflussreduktion in der Donau bei größeren Hochwasserereignissen bzw. Überlastfällen ausmacht.

Der Flutpolder Bertoldsheim umfasst allein schon rund 40 % des im Donauabschnitt II (Lech- bis Naab-/Regenmündung) geplanten Rückhaltevolumens (bzw. rund 70 % des zwischen Lechmündung und Neuburg–Ingolstadt geplanten Volumens). Dadurch und auch aufgrund seiner Lage unmittelbar unterhalb der Lechmündung hat er großen Einfluss auf diesen Donauabschnitt. Ohne den Flutpolder Bertoldsheim würde am Pegel Ingolstadt die Wirkung der Flutpolderkette um bis zu rund 50 % und am Pegel Kelheim um bis zu rund 25 % niedriger ausfallen. Bei großräumigen Überlastfällen, die mehrere Donauabschnitte umfassen, ist dieser Wirkungsverlust auch noch im Donauabschnitt III (Naab-/Regen- bis Isarmündung) zu erkennen.

Die Flutpolder Eltheim und Wörthhof spielen eine besonders wichtige Rolle im Donauabschnitt III, da sie über 2/3 des in diesem Abschnitt geplanten Rückhaltevolumens ausmachen und mit ihrer Lage am Anfang des Donauabschnittes III eine große Donaustrecke entlasten können. Ohne die beiden Flutpolder würden bis zur Staustufe Straubing, wo der gesteuerte Flutpolder Öberauer Schleife hinzukommt, bestenfalls noch die in den oberhalb gelegenen Donauabschnitten I und II eingesetzten Flutpolder wirken. Hier hat sich gezeigt, dass vorlaufende Hochwasserwellen aus Naab und Regen einen neuen, zeitlich nach vorne versetzten Donauscheitel prägen können. Bei großräumigen Überlastfällen

eignissen tritt dann die Wirkung der oberhalb eingesetzten Flutpolder nur noch im ablaufenden Scheitel auf. Die Wirkung bei Überlastfällen im Donauabschnitt III kann daher ohne den Einsatz der gesteuerten Flutpolder Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof um bis über 90 % abnehmen.

**Ein Verzicht auf die drei in Frage gestellten Flutpolder Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof würde eine deutliche Reduzierung der Flutpolderwirkung im Donauabschnitt II und eine sehr deutliche Reduzierung der Flutpolderwirkung im Donauabschnitt III bedeuten.**

Der weitere Wirkungsverlauf im Abschnitt Straubing–Vilshofen im Zusammenspiel mit den im Rahmen des Donauausbaus geplanten Rückhalteräumen wurde insgesamt an 9 Hochwasserereignissen überprüft. Bei Überlastfallereignissen weist die Hochwasserwelle in Straubing durch den Flutpoldereinsatz ein eher breiteres Scheitelplateau auf. Da die geplanten Rückhalteräume im Bereich Straubing-Vilshofen ab etwa HQ<sub>40-50</sub> aktiviert werden, wirken sie bei Hochwasserabflüssen, die mit Flutpolderwirkung noch im Bereich eines HQ<sub>100</sub> und darüber liegen, bereits in der anlaufenden Welle. Die Flutpolderwirkung bleibt in diesen Fällen weitgehend erhalten, meist auch über die Isarmündung hinaus (z. B. bei den drei untersuchten großräumigen Hochwasserereignissen mit im Mittel 328 m<sup>3</sup>/s Scheitelreduktion am Pegel Straubing, 317 m<sup>3</sup>/s in Deggendorf und 296 m<sup>3</sup>/s am Pegel Hofkirchen). Lediglich bei einzelnen lokalen Überlastfällen nur im Donauabschnitt III, die deutlich unter HQ<sub>100</sub> gedrückt werden können, nimmt die Wirkung der Flutpolder teilweise merklich ab, da in diesen Fällen die Rückhalteräume auch im Bereich des Abflussscheitels wirken bzw. dann teilweise einzelne Rückhalteräume zwischen Straubing und Vilshofen im Planzustand nicht mehr aktiviert werden.

### Wirkungsanalyse zu Rückhalt in Seiteneinzugsgebieten (LARSIM)

Zudem wurde untersucht, ob die gleiche Wirkung der drei Flutpolder Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof auch mit einem Hochwasserrückhalt an den maßgeblichen Seitenzuflüssen der Donau erreicht werden könnte. Dazu wurden potenziell noch verfügbare Standorte für Hochwasserrückhaltebecken in den Einzugsgebieten von Lech, Naab und Regen identifiziert und daraus verschiedene Beckenkombinationen modellhaft umgesetzt. Es wurden sowohl Kombinationen untersucht, die das gleiche Rückhaltevolumen umfassen wie die im Vergleich betrachteten Flutpolder (Lecheinzugsgebiet, Flutpolder Bertoldsheim 18 Mio. m<sup>3</sup>; Einzugsgebiet von Naab und Regen, Flutpolder Eltheim und Wörthhof 30,5 Mio. m<sup>3</sup>), als auch Kombinationen mit doppeltem Volumen von Hochwasserrückhaltebecken in den Einzugsgebieten (Lecheinzugsgebiet 36 Mio. m<sup>3</sup>; Einzugsgebiet von Naab und Regen 61 Mio. m<sup>3</sup>).

Im Lecheinzugsgebiet wurden so bis zu sechs Hochwasserrückhaltebecken, im Naab-/Regengebiet bis zu zwölf Rückhaltestandorte in einer Kombination gleichzeitig umgesetzt. Die Wirkung dieser Beckenkombinationen auf den Hochwasserabfluss in der Donau wurde für jeweils 10 repräsentative Hochwasserereignisse simuliert und mit der Wirkung der in Frage gestellten Flutpolder verglichen.

Die untersuchten Varianten mit Hochwasserrückhaltebecken in den Einzugsgebieten von Lech, Naab und Regen erweisen sich im Vergleich zu den Flutpoldern Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof an der Donau als deutlich weniger wirksam. Wird im Einzugsgebiet das gleiche Rückhaltevolumen angeordnet, wie es in den Flutpoldern an der Donau geplant ist, wird der Hochwasserscheitel an der Donau im Mittel weniger als halb so weit reduziert wie mit den Flutpoldern. Durch eine Verdopplung des an den Seitengewässern angeordneten Rückhaltevolumens werden im Mittel rund 70 % der Flutpolderwirkung erreicht.

Die Wirksamkeit der Maßnahmen in den Seiteneinzugsgebieten bei den einzelnen untersuchten Ereignissen schwanken um die oben genannten Mittelwerte und sind deutlich von der Ereignischarakteristik abhängig. Wichtige Einflussfaktoren hierfür sind der Abflussanteil aus dem Seitengebiet bezogen

auf den Gesamtabfluss der Donau, die Form der Hochwasserwellen sowie der Zeitversatz der Scheitel der Seitenzuflüsse und der Donau. Jedoch wird bei keinem der zehn untersuchten Hochwasserereignisse mit keiner der untersuchten Rückhaltevarianten im Einzugsgebiet von Naab und Regen die Wirkung der Flutpolder Eltheim und Wörthhof erreicht. Die Wirkung des Flutpolders Bertoldsheim wird nur in einem von zehn Fällen erreicht und in einem übertroffen, wenn im Einzugsgebiet des Lechs doppelt so viel Rückhaltevolumen umgesetzt wird, wie der Flutpolder selbst fasst. Die Ergebnisse zeigen auch, dass es für eine gute Wirkung auf die Donau bedeutender ist, mit den an den Seitengewässern angeordneten Rückhaltestandorten einen großen Flächenanteil des jeweiligen seitlichen Einzugsgebiets abzudecken, als wenige Becken mit großem Einzelvolumen auszuwählen.

**Die Wirkung der in Frage gestellten Flutpolder kann durch (volumenmäßig) vergleichbaren Rückhalt in den Einzugsgebieten maßgeblicher seitlicher Donauzuflüsse nicht und durch vergleichsweise deutlich größeren Rückhalt in den Einzugsgebieten maßgeblicher seitlicher Donauzuflüsse bei nahezu allen Ereignissen nicht erreicht werden.**

Nicht einmal durch den Einsatz des doppelten Rückhaltevolumens in den Einzugsgebieten von Lech, Naab und Regen kann die Wirkung der Flutpolder Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof auf den Hochwasserabfluss der Donau bei verschiedenartigen Ereignissen erreicht werden. Gleichzeitig würde dies eine Vielzahl an Planungen, Verfahren und auch Betroffenheiten bedeuten, da (wie oben genannt) in den Einzugsgebieten bis zu zwölf Rückhaltestandorte gleichzeitig notwendig waren, um die in dieser Studie wirksamsten Kombinationen zusammenzustellen. Zudem muss betont werden, dass die untersuchten Standorte in den seitlichen Einzugsgebieten ein theoretisches ermitteltes Rückhaltepotenzial und keine Planung darstellen. Die reale Umsetzbarkeit der einzelnen Standorte konnte im Zuge dieser Studie mit ihrer einzugsgebietsweiten, großräumigen Betrachtung nicht bewertet werden. Es ist möglich, dass sich die untersuchten potenziellen Standorte in einer weitergehenden Planung aufgrund örtlicher Gegebenheiten nicht in diesem Umfang oder sogar als überhaupt nicht umsetzbar erweisen.

## Ergänzende Untersuchungen zum Staustufenmanagement

Als Ergänzung zu den bislang vorliegenden Untersuchungen wurde zum einen untersucht, inwiefern ein massives Absenken der Wasserstände an den Staustufen Geisling und Straubing einen Einfluss auf den Hochwasserverlauf hat. Da eine vollständige Entleerung des Oberwassers der Staustufen an der Bundeswasserstraße nicht umsetzbar ist, stellt dies eine theoretische Analyse dar. Dadurch kann aber aufgezeigt werden, wie sich die Verhältnisse bei dieser Grenzbetrachtung mit der anlaufenden Hochwasserwelle verändern bzw. welche Retentionsvolumina im Scheitelbereich großer Hochwasserereignisse überhaupt wirksam wären. Zum anderen wurde das Potenzial eines vorgeschalteten Einsatzes der Staustufenkette im Donauabschnitt I (Staustufen Oberelchingen, Leipheim, Günzburg, Offingen, Gundelfingen, Faimingen, Dillingen, Höchstädt, Schwenningen und Donauwörth) bei einem Ereignis, das erst unterhalb der Lechmündung im Donauabschnitt II einen Überlastfall aufweist, untersucht. Ergänzend wurden noch Erkenntnisse aus der laufenden Innstudie zum Potenzial eines optimierten Staustufenmanagements im Hochwasserfall berücksichtigt.

Bei einer kompletten Vorabsenkung der Staustufen Geisling und Straubing zeigt sich, dass aufgrund der automatisch einsetzenden Füllung des Stauraumes der ansteigende Ast der Hochwasserwelle um rund 2 Stunden verzögert wird. Im Scheitelbereich größerer Hochwasser kann nur an der Staustufe Geisling noch ein Teil der Vorabsenkung gehalten werden. Dieses Restvolumen könnte dann noch für eine gezielte Scheitelkappung verwendet werden, es entspricht aber mit 3–4 Mio. m<sup>3</sup> bei HQ<sub>100</sub> und 2–3 Mio. m<sup>3</sup> bei HQ<sub>200</sub> nur einem Bruchteil des Volumens, das mit den Flutpoldern Eltheim und Wörthhof (über 30 Mio. m<sup>3</sup>) zur Verfügung stehen würde.

Ein vorgeschalteter Einsatz der Staustufenkette im Donauabschnitt I auf einen prägenden seitlichen Zufluss des Lechs bewirkt trotz einer nahezu optimalen Steuerung und einem theoretisch optimierten nutzbaren Volumen nur eine geringfügige Abflussreduktion unterhalb der Lechmündung. Die Wechselwirkungen der Staustufensteuerungen mit komplexen natürlichen Retentionssystemen wie dem Riedstrom oder dem südlichen Auestrom unterhalb der Lechmündung und die weiteren seitlichen Zuflüsse erschweren und limitieren die Optimierung der Staustufenkette und schränken deren Wirkung ein. In zwei simulierten Überlastfällen erzielte die vorgeschaltete Staustufensteuerung an den Pegeln Ingolstadt mit 0,5 bis 1,8 % und Kelheim mit 0,6 bzw. 1,3 % nur eine geringe Abflussreduktion. Die Wirkung ist somit deutlich niedriger als die eines einzelnen Flutpolders im Donauabschnitt II.

Generell hat sich hier wie auch schon in der TUM-Studie von 2017 und der derzeit laufenden Innstudie gezeigt, dass die Potenziale einer Staustufenbewirtschaftung im Hochwasserfall mit zunehmender Größe der Hochwasserereignisse geringer werden. Am Inn wurde z. B. ein Potenzial zur Abminderung des Wellenscheitels im Abflussbereich HQ<sub>10</sub> bis HQ<sub>30</sub> von 5 bis 9 % ermittelt, was deutlich größer ist als die erreichbaren 1 bis 2,5 % beim sehr hohen Abflussbereich von HQ<sub>100</sub> und darüber. Am Inn wurde zusätzlich die Wechselwirkung von Flutpolderbetrieb und Stauraummanagement untersucht. Die Auswertung der Simulationsergebnisse zeigt, dass sich bei gemeinsamem Betrieb von Flutpolder und Stauraummanagement die Einzelwirkungen am Inn nahezu additiv überlagern, die positive Wirkung des Stauraummanagements bleibt auch bei Flutpolderbetrieb erhalten. Ergänzend wurden robuste Steuerungsregeln messwertbasiert in Abhängigkeit von Wasserstandsmesswerten an Inn und Salzach entwickelt. Es zeigt sich, dass durch die praxisnahen Steuerungsregeln bei den meisten untersuchten Ereignissen ähnlich große Abminderungen wie für das theoretische Potenzial erreicht werden können.

Die in der Innstudie ermittelten Ergebnisse zum Stauraummanagement können nicht direkt auf die Donau übertragen werden. Vor allem liegen im betrachteten Abschnitt des Inns günstige Standortbedingungen (z. B. große Fallhöhen, keine Schifffahrt) vor.

**Allgemein kann bestätigt werden, dass das Stauraummanagement im Hochwasserfall eine additive Maßnahme zu Rückhaltebecken und Flutpoldern darstellt. Beim Stauraummanagement ist die Verfügbarkeit nicht immer vollumfänglich gegeben und die Wirkung nimmt bei sehr hohen Abflüssen (HQ<sub>100</sub> und darüber hinaus) deutlich ab.**

Rückhaltebecken im Nebenschluss (z. B. Flutpolder) und das darin speicherbare Volumen stehen, bei Voraussetzung der Betriebsfähigkeit, garantiert über das gesamte Abflussspektrum zur Verfügung und bieten dabei insbesondere auch bei sehr großen Ereignissen (HQ<sub>100</sub> und darüber hinaus) eine gute Eingriffsmöglichkeit zur Abflussreduzierung.

### Laufende Untersuchungen zum Grundwasser

Für die Untersuchungen hinsichtlich der Grundwassersituation liegen an den geplanten Flutpoldern Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof insgesamt aussagekräftige Grundwassermodelle vor, mit denen entsprechende standortspezifische vertiefte Untersuchungen zu den Auswirkungen auf das Grundwasser durchgeführt wurden. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass mit entsprechenden Anpassungsmaßnahmen eine Realisierung der Flutpolder ohne negative Veränderungen der Grundwassersituation für Anlieger erfolgen kann. Beim Flutpolder Wörthhof kann die benachbarte Wassergewinnungsanlage Giffa in jedem Fall erhalten werden.

## 5 Quellen

- [1] Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) [Hrsg.] (2014): Hochwasserschutz Aktionsprogramm 2020plus, Bayerns Schutzstrategie, Ausweiten – Intensivieren – Beschleunigen, München 2014  
[http://www.bestellen.bayern.de/shoplink/stmuv\\_wasser\\_002.htm](http://www.bestellen.bayern.de/shoplink/stmuv_wasser_002.htm)
- [2] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) [Hrsg.] (2018): Bayerisches Flutpolderprogramm Flutpolder an der Donau Bedarf, Ziele, Alternativen, Augsburg  
[https://www.lfu.bayern.de/wasser/hw\\_strategie/aktionsprogramm\\_2020\\_plus/flutpolder/doc/01\\_bedarfsermittlung.pdf](https://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_strategie/aktionsprogramm_2020_plus/flutpolder/doc/01_bedarfsermittlung.pdf)
- [3] ClimEx Projekthomepage: <https://www.climex-project.org/> (Abruf am 27.10.2020)
- [4] Technische Universität München (TUM) (2017): Vertiefte Wirkungsanalyse zu „Verzögerung und Abschätzung von Hochwasserwellen entlang der bayerischen Donau – Teil 1: Ergänzende Untersuchungen zur Flutpolderwirkung“, München  
[https://www.lfu.bayern.de/wasser/hw\\_strategie/aktionsprogramm\\_2020\\_plus/flutpolder/doc/05\\_anhang2\\_bericht\\_teil1.pdf](https://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_strategie/aktionsprogramm_2020_plus/flutpolder/doc/05_anhang2_bericht_teil1.pdf)
- [5] Technische Universität München (TUM) (2017): Vertiefte Wirkungsanalyse zu „Verzögerung und Abschätzung von Hochwasserwellen entlang der bayerischen Donau – Teil 2: Staustufenbewirtschaftung“, München  
[https://www.lfu.bayern.de/wasser/hw\\_strategie/aktionsprogramm\\_2020\\_plus/flutpolder/doc/06\\_anhang2\\_bericht\\_teil2.pdf](https://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_strategie/aktionsprogramm_2020_plus/flutpolder/doc/06_anhang2_bericht_teil2.pdf)
- [6] Technische Universität München (TUM) (2021): Bericht „Bayerisches Flutpolderprogramm; weitergehende Untersuchungen zu Flutpoldern an der Donau - Ergänzende Überprüfung der Flutpolderwirkung“ (noch nicht veröffentlicht)
- [7] Aquantec Gesellschaft für Wasser und Umwelt mbH (2021): Bericht „Bayerisches Flutpolderprogramm; weitergehende Untersuchungen zu Flutpoldern an der Donau - Hydrologische Modellierung und Auswertung im Donaueinzugsgebiet mit Wirkungsanalyse großer Hochwasserrückhaltebecken an Seitengewässern der Donau“ (noch nicht veröffentlicht)
- [8] Tractebel Hydroprojekt GmbH (2021) Bericht „Bayerisches Flutpolderprogramm; weitergehende Untersuchungen zu Flutpoldern an der Donau - Standortsuche für große Hochwasserrückhaltebecken in den Einzugsgebieten von Lech, Naab und Regen“ (noch nicht veröffentlicht)



## 6 Anlagen

Tab. A1: Scheitelabflüsse der Rückhalteszenarien für den Lech am Pegel Neuburg, Donau nach HRB-Variante und Ereignis mit absoluter und relativer Reduktion im Vergleich zum Ist-Zustand

Ereignis	Wert	IST	V0	V1	V2	V3	V4	V1a	V5	V6	V7
E031	Scheitel [m³/s]	2279	2157	2265	2271	2270	2261		2232	2230	2245
	Abw. v. IST [m³/s]		-122	-14	-8	-9	-18		-47	-49	-34
	Reduktion		5,3%	0,6%	0,3%	0,4%	0,8%		2,0%	2,1%	1,5%
E036	Scheitel [m³/s]	2193	1995	2156	2156	2157	2157		2143	2153	2153
	Abw. v. IST [m³/s]		-198	-37	-37	-36	-36		-50	-40	-40
	Reduktion		9,0%	1,7%	1,7%	1,6%	1,6%		2,3%	1,8%	1,8%
E042	Scheitel [m³/s]	2458	2240	2375	2381	2392	2413		2252	2276	2293
	Abw. v. IST [m³/s]		-218	-83	-77	-66	-45		-206	-182	-165
	Reduktion		8,9%	3,4%	3,1%	2,7%	1,8%		8,4%	7,4%	6,7%
E136	Scheitel [m³/s]	2292	2090	2247	2248	2247	2247		2240	2242	2238
	Abw. v. IST [m³/s]		-202	-45	-44	-45	-45		-52	-50	-54
	Reduktion		8,8%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%		2,2%	2,2%	2,3%
E138	Scheitel [m³/s]	2366	2177	2277	2279	2284	2294		2267	2268	2269
	Abw. v. IST [m³/s]		-189	-89	-87	-82	-72		-99	-98	-97
	Reduktion		8,0%	3,7%	3,7%	3,4%	3,0%		4,2%	4,1%	4,1%
E168	Scheitel [m³/s]	2456	2240	2360	2363	2368	2371		2352	2352	2352
	Abw. v. IST [m³/s]		-216	-96	-93	-88	-85		-104	-104	-104
	Reduktion		8,8%	3,9%	3,8%	3,6%	3,5%		4,2%	4,2%	4,2%
E245	Scheitel [m³/s]	2358	2109	2188	2192	2198	2199		2161	2162	2162
	Abw. v. IST [m³/s]		-249	-170	-166	-160	-159		-197	-196	-196
	Reduktion		10,6%	7,2%	7,0%	6,8%	6,7%		8,4%	8,3%	8,3%
E250	Scheitel [m³/s]	2315	2117	2236	2241	2237	2259	2158	2154	2176	2181
	Abw. v. IST [m³/s]		-198	-79	-74	-78	-56	-157	-161	-139	-134
	Reduktion		8,6%	3,4%	3,2%	3,4%	2,4%	6,8%	7,0%	6,0%	5,8%
E276	Scheitel [m³/s]	2267	2089	2167	2171	2185	2182		2090	2135	2109
	Abw. v. IST [m³/s]		-178	-100	-96	-82	-85		-177	-132	-158
	Reduktion		7,8%	4,4%	4,2%	3,6%	3,7%		7,8%	5,8%	7,0%
E303	Scheitel [m³/s]	2759	2539	2588	2589	2600	2609		2409	2418	2422
	Abw. v. IST [m³/s]		-220	-171	-170	-159	-150		-350	-341	-337
	Reduktion		8,0%	6,2%	6,2%	5,8%	5,4%		12,7%	12,4%	12,2%
Minimum	Abw. v. IST [m³/s]		-122	-14	-8	-9	-18		-47	-40	-34
	Reduktion		5,3%	0,6%	0,3%	0,4%	0,8%		2,0%	1,8%	1,5%
Mittelwert	Abw. v. IST [m³/s]		-199	-88	-85	-80	-75		-144	-133	-132
	Reduktion		8,4%	3,6%	3,5%	3,3%	3,1%		5,9%	5,4%	5,4%
Maximum	Abw. v. IST [m³/s]		-249	-171	-170	-160	-159		-350	-341	-337
	Reduktion		10,6%	7,2%	7,0%	6,8%	6,7%		12,7%	12,4%	12,2%

Tab. A2: Volumen über HQ100 der Rückhalteszenarien für den Lech am Pegel Neuburg, Donau nach HRB-Variante und Ereignis mit absoluter und relativer Reduktion im Vergleich zum Ist-Zustand

Ereignis	Wert	IST	V0	V1	V2	V3	V4	V1a	V5	V6	V7
<b>E031</b>	V ü. HQ100 [Mio. m³]	27,1	10,1	22,0	22,9	22,8	22,3		13,3	14,1	15,9
	Abw. v. IST [Mio. m³]		-17,0	-5,1	-4,2	-4,3	-4,8		-13,8	-13,0	-11,2
	Reduktion [%]		62,7%	18,8%	15,5%	15,9%	17,7%		50,9%	48,0%	41,3%
<b>E036</b>	V ü. HQ100 [Mio. m³]	4,5	0,0	2,3	2,3	2,3	2,3		1,6	1,9	1,9
	Abw. v. IST [Mio. m³]		-4,5	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2		-2,9	-2,6	-2,6
	Reduktion [%]		100,0%	48,9%	48,9%	48,9%	48,9%		64,4%	57,8%	57,8%
<b>E042</b>	V ü. HQ100 [Mio. m³]	28,9	12,0	21,1	21,7	22,8	24,4		9,6	11,5	12,9
	Abw. v. IST [Mio. m³]		-16,9	-7,8	-7,2	-6,1	-4,5		-19,3	-17,4	-16,0
	Reduktion [%]		58,5%	27,0%	24,9%	21,1%	15,6%		66,8%	60,2%	55,4%
<b>E136</b>	V ü. HQ100 [Mio. m³]	11,7	0,0	8,2	8,2	7,9	7,8		7,7	7,3	6,9
	Abw. v. IST [Mio. m³]		-11,7	-3,5	-3,5	-3,8	-3,9		-4,0	-4,4	-4,8
	Reduktion [%]		100,0%	29,9%	29,9%	32,5%	33,3%		34,2%	37,6%	41,0%
<b>E138</b>	V ü. HQ100 [Mio. m³]	23,9	7,5	15,9	16,0	16,5	17,4		14,1	14,2	14,3
	Abw. v. IST [Mio. m³]		-16,4	-8,0	-7,9	-7,4	-6,5		-9,8	-9,7	-9,6
	Reduktion [%]		68,6%	33,5%	33,1%	31,0%	27,2%		41,0%	40,6%	40,2%
<b>E168</b>	V ü. HQ100 [Mio. m³]	29,4	12,3	21,3	21,4	21,8	22,2		19,2	19,2	19,2
	Abw. v. IST [Mio. m³]		-17,1	-8,1	-8,0	-7,6	-7,2		-10,2	-10,2	-10,2
	Reduktion [%]		58,2%	27,6%	27,2%	25,9%	24,5%		34,7%	34,7%	34,7%
<b>E245</b>	V ü. HQ100 [Mio. m³]	14,5	0,2	4,2	4,4	4,9	4,9		2,3	2,4	2,4
	Abw. v. IST [Mio. m³]		-14,3	-10,3	-10,1	-9,6	-9,6		-12,2	-12,1	-12,1
	Reduktion [%]		98,6%	71,0%	69,7%	66,2%	66,2%		84,1%	83,4%	83,4%
<b>E250</b>	V ü. HQ100 [Mio. m³]	16,4	1,0	7,9	8,2	8,2	9,9	2,8	2,1	3,2	3,6
	Abw. v. IST [Mio. m³]		-15,4	-8,5	-8,2	-8,2	-6,5	-13,6	-14,3	-13,2	-12,8
	Reduktion [%]		93,9%	51,8%	50,0%	50,0%	39,6%	82,9%	87,2%	80,5%	78,0%
<b>E276</b>	V ü. HQ100 [Mio. m³]	13,1	0,0	3,5	4,0	5,0	5,0		0,0	1,3	0,2
	Abw. v. IST [Mio. m³]		-13,1	-9,6	-9,1	-8,1	-8,1		-13,1	-11,8	-12,9
	Reduktion [%]		100,0%	73,3%	69,5%	61,8%	61,8%		100,0%	90,1%	98,5%
<b>E303</b>	V ü. HQ100 [Mio. m³]	62,4	44,5	44,3	44,6	45,4	46,0		30,3	31,0	31,3
	Abw. v. IST [Mio. m³]		-17,9	-18,1	-17,8	-17,0	-16,4		-32,1	-31,4	-31,1
	Reduktion [%]		28,7%	29,0%	28,5%	27,2%	26,3%		51,4%	50,3%	49,8%
<b>Minimum</b>	Abw. v. IST [Mio. m³]		-4,5	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2		-2,9	-2,6	-2,6
	Reduktion		28,7%	18,8%	15,5%	15,9%	15,6%		34,2%	34,7%	34,7%
<b>Mittelwert</b>	Abw. v. IST [Mio. m³]		-14,4	-8,1	-7,8	-7,4	-7,0		-13,2	-12,6	-12,3
	Reduktion		76,9%	41,1%	39,7%	38,0%	36,1%		61,5%	58,3%	58,0%
<b>Maximum</b>	Abw. v. IST [Mio. m³]		-17,9	-18,1	-17,8	-17,0	-16,4		-32,1	-31,4	-31,1
	Reduktion		100,0%	73,3%	69,7%	66,2%	66,2%		100,0%	90,1%	98,5%

Tab. A3: Scheitelabflüsse der Rückhalteszenarien für Naab und Regen unterhalb des Flutpolders Wörthhof an der Donau nach HRB-Variante und Ereignis mit absoluter und relativer Reduktion im Vergleich zum Ist-Zustand

Ereignis	Wert	IST	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6
E031	Scheitel [m³/s]	3510	3337	3479	3482	3472	3498	3497	3478
	Abw. v. IST [m³/s]		-173	-31	-28	-38	-12	-13	-32
	Reduktion		4,9%	0,9%	0,8%	1,1%	0,3%	0,4%	0,9%
E057	Scheitel [m³/s]	3365	3082	3261	3277	3277	3262	3293	3210
	Abw. v. IST [m³/s]		-283	-104	-88	-88	-103	-72	-155
	Reduktion		8,4%	3,1%	2,6%	2,6%	3,1%	2,1%	4,6%
E081	Scheitel [m³/s]	3324	3054	3202	3206	3207	3206	3211	3124
	Abw. v. IST [m³/s]		-270	-122	-118	-117	-118	-113	-200
	Reduktion		8,1%	3,7%	3,5%	3,5%	3,5%	3,4%	6,0%
E083	Scheitel [m³/s]	3545	3159	3486	3486	3448	3475	3452	3388
	Abw. v. IST [m³/s]		-386	-59	-59	-97	-70	-93	-157
	Reduktion		10,9%	1,7%	1,7%	2,7%	2,0%	2,6%	4,4%
E136	Scheitel [m³/s]	3685	3284	3497	3461	3541	3558	3567	3415
	Abw. v. IST [m³/s]		-401	-188	-224	-144	-127	-118	-270
	Reduktion		10,9%	5,1%	6,1%	3,9%	3,4%	3,2%	7,3%
E144	Scheitel [m³/s]	3620	3167	3369	3357	3424	3446	3484	3215
	Abw. v. IST [m³/s]		-453	-251	-263	-196	-174	-136	-405
	Reduktion		12,5%	6,9%	7,3%	5,4%	4,8%	3,8%	11,2%
E158	Scheitel [m³/s]	3430	3038	3213	3199	3261	3315	3320	3133
	Abw. v. IST [m³/s]		-392	-217	-231	-169	-115	-110	-297
	Reduktion		11,4%	6,3%	6,7%	4,9%	3,4%	3,2%	8,7%
E249	Scheitel [m³/s]	3813	3370	3748	3729	3735	3759	3711	3642
	Abw. v. IST [m³/s]		-443	-65	-84	-78	-54	-102	-171
	Reduktion		11,6%	1,7%	2,2%	2,0%	1,4%	2,7%	4,5%
E258	Scheitel [m³/s]	3585	3089	3275	3242	3313	3387	3405	3098
	Abw. v. IST [m³/s]		-496	-310	-343	-272	-198	-180	-487
	Reduktion		13,8%	8,6%	9,6%	7,6%	5,5%	5,0%	13,6%
E309	Scheitel [m³/s]	3849	3429	3640	3591	3629	3683	3676	3474
	Abw. v. IST [m³/s]		-420	-209	-258	-220	-166	-173	-375
	Reduktion		10,9%	5,4%	6,7%	5,7%	4,3%	4,5%	9,7%
Minimum	Abw. v. IST [m³/s]		-173	-31	-28	-38	-12	-13	-32
	Reduktion		4,9%	0,9%	0,8%	1,1%	0,3%	0,4%	0,9%
Mittelwert	Abw. v. IST [m³/s]		-372	-156	-170	-142	-114	-111	-255
	Reduktion		10,4%	4,3%	4,7%	4,0%	3,2%	3,1%	7,1%
Maximum	Abw. v. IST [m³/s]		-496	-310	-343	-272	-198	-180	-487
	Reduktion		13,8%	8,6%	9,6%	7,6%	5,5%	5,0%	13,6%

Tab. A4: Volumen über HQ100 der Rückhalteszenarien für Naab/Regen unterhalb des Flutpolderstandorts Wörthhof, Donau nach HRB-Variante und Ereignis mit absoluter und relativer Reduktion im Vergleich zum Ist-Zustand

Ereignis	Wert	IST	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6
E031	V ü. HQ100 [Mio. m <sup>3</sup> ]	14,5	0,0	10,8	12,2	9,1	10,2	11,1	6,8
	Abw. v. IST [Mio. m <sup>3</sup> ]		-14,5	-3,7	-2,3	-5,4	-4,3	-3,4	-7,7
	Reduktion [%]		100,0%	25,5%	15,9%	37,2%	29,7%	23,4%	53,1%
E057	V ü. HQ100 [Mio. m <sup>3</sup> ]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Abw. v. IST [Mio. m <sup>3</sup> ]		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Reduktion [%]		-	-	-	-	-	-	-
E081	V ü. HQ100 [Mio. m <sup>3</sup> ]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Abw. v. IST [Mio. m <sup>3</sup> ]		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Reduktion [%]		-	-	-	-	-	-	-
E083	V ü. HQ100 [Mio. m <sup>3</sup> ]	6,2	0,0	2,7	2,6	1,2	2,2	1,3	0,0
	Abw. v. IST [Mio. m <sup>3</sup> ]		-6,2	-3,5	-3,6	-5,0	-4,0	-4,9	-6,2
	Reduktion [%]		100,0%	56,5%	58,1%	80,6%	64,5%	79,0%	100,0%
E136	V ü. HQ100 [Mio. m <sup>3</sup> ]	18,4	0,0	4,2	2,5	7,2	8,2	9,2	0,3
	Abw. v. IST [Mio. m <sup>3</sup> ]		-18,4	-14,2	-15,9	-11,2	-10,2	-9,2	-18,1
	Reduktion [%]		100,0%	77,2%	86,4%	60,9%	55,4%	50,0%	98,4%
E144	V ü. HQ100 [Mio. m <sup>3</sup> ]	9,8	0,0	0,0	0,0	0,4	0,9	2,3	0,0
	Abw. v. IST [Mio. m <sup>3</sup> ]		-9,8	-9,8	-9,8	-9,4	-8,9	-7,5	-9,8
	Reduktion [%]		100,0%	100,0%	100,0%	95,9%	90,8%	76,5%	100,0%
E158	V ü. HQ100 [Mio. m <sup>3</sup> ]	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Abw. v. IST [Mio. m <sup>3</sup> ]		-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
	Reduktion [%]		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
E249	V ü. HQ100 [Mio. m <sup>3</sup> ]	27,1	0,0	21,8	23,3	22,7	24,7	20,0	15,8
	Abw. v. IST [Mio. m <sup>3</sup> ]		-27,1	-5,3	-3,8	-4,4	-2,4	-7,1	-11,3
	Reduktion [%]		100,0%	19,6%	14,0%	16,2%	8,9%	26,2%	41,7%
E258	V ü. HQ100 [Mio. m <sup>3</sup> ]	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Abw. v. IST [Mio. m <sup>3</sup> ]		-6,2	-6,2	-6,2	-6,2	-6,2	-6,2	-6,2
	Reduktion [%]		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
E309	V ü. HQ100 [Mio. m <sup>3</sup> ]	33,7	3,2	14,6	11,3	14,5	18,0	16,9	2,6
	Abw. v. IST [Mio. m <sup>3</sup> ]		-30,5	-19,1	-22,4	-19,2	-15,7	-16,8	-31,1
	Reduktion [%]		90,5%	56,7%	66,5%	57,0%	46,6%	49,9%	92,3%
Minimum	Abw. v. IST [m <sup>3</sup> /s]		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Reduktion		90,5%	19,6%	14,0%	16,2%	8,9%	23,4%	41,7%
Mittelwert	Abw. v. IST [m <sup>3</sup> /s]		-11,3	-6,2	-6,5	-6,1	-5,2	-5,6	-9,1
	Reduktion		98,8%	66,9%	67,6%	68,5%	62,0%	63,1%	85,7%
Maximum	Abw. v. IST [m <sup>3</sup> /s]		-30,5	-19,1	-22,4	-19,2	-15,7	-16,8	-31,1
	Reduktion		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%







Eine Behörde im Geschäftsbereich  
Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt und Verbraucherschutz

