



Auftraggeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

**Bayerisches Flutpolderprogramm;
weitergehende Untersuchungen
zu Flutpoldern an der Donau**

Ergänzende Überprüfung der Flutpolderwirkung

München, im Februar 2021

Leon Frederik De Vos M. Sc.
(Bearbeiter)

Stefan Giehl M. Sc.
(Bearbeiter)

Prof. Dr.-Ing. Peter Rutschmann
(Projektleiter)

1	Einführung.....	1
1.1	Funktion von gesteuerten Flutpoldern im Hochwassermanagement an der Donau	2
1.2	Zwischenzeitliche Entwicklungen	2
1.3	Begriffsdefinition	4
2	Datengrundlage	6
2.1	Verwendete Modelle	6
2.2	Hydrologische Daten	7
3	Ergebnisse der weitergehenden Untersuchungen	8
3.1	Vertiefte Wirkungsanalyse in den Donauabschnitten III und IV.....	9
3.1.1	Simulationen skaliertes historischer HW-Ereignisse	10
3.1.2	Simulationen mit vier synthetischen HW-Ereignissen mit weiteren Überlastfällen im Donauabschnitt III	22
3.2	Wirkungsanalyse von kombinierten Flutpoldereinsätzen für synthetisch generierte großräumige Überlastfallereignisse	33
3.2.1	E008	35
3.2.2	E097	41
3.2.3	E115.....	49
3.2.4	E265.....	55
3.2.5	E271	63
3.2.6	E288	70
3.3	Fortführende Untersuchungen zur Wirkung von Staustufen	81
3.3.1	Wirkung von geleerten Stauräumen im Donauabschnitt III.....	81
3.3.2	Potenzial einer vorgeschalteten Staustufenkette in Donauabschnitt I auf lechgeprägtes Ereignis in Donauabschnitt II	84
4	Zusammenfassung	93
4.1	Untersuchungen zu Staustufen.....	93
4.2	Untersuchung der Flutpolderwirkungen	93
5	Literaturverzeichnis.....	98
6	Anhang	99

1 Einführung

Bayern verfolgt mit dem Hochwasserschutz-Aktionsprogramm 2020plus und dem Gewässeraktionsprogramm 2030 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 sowie des seit Anfang 2021 anlaufenden Gewässeraktionsprogramms 2030.

Mit dem Bayerischen Flutpolderprogramm sollen die umfangreichen Risiken eines Überlastfalles, also eines Hochwasserereignisses, das die Leistungsfähigkeit der Deiche und Mauern übersteigt, reduziert und Bevölkerung und Wirtschaft noch besser vor Hochwasser geschützt werden. Zweck der Flutpolder ist es dabei, dass auch im Überlastfall noch Handlungsoptionen verbleiben.

Als Grundlage für die Konzeption und Umsetzung des Flutpolderprogramms an der Donau wurden umfangreiche Machbarkeitsstudien und Wirkungsanalysen vom Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München (TUM) erstellt. So wurde zwischen März 2009 und August 2012 am Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TUM die vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) beauftragte Studie „Verzögerung und Abschätzung von Hochwasserwellen entlang der bayerischen Donau“ (Asenkerschbaumer et al. 2012) durchgeführt.

Von 2014 bis 2017 wurden darauf aufbauend am Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TUM vertiefte Wirkungsanalysen zu „Verzögerung und Abschätzung von Hochwasserwellen entlang der bayerischen Donau“ (Giehl et al. 2017) angefertigt.

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 wurde festgelegt, vor einer endgültigen Entscheidung nochmals vertiefte Untersuchungen unter anderem zur Wirkung der Flutpolder, zu zusätzlichen Rückhaltungsmöglichkeiten an den großen Seitenzuflüssen und zu Optimierungsmöglichkeiten für ein Staufufenmanagement durchführen zu lassen, um auf dieser Basis dann eine endgültige Entscheidung über die genannten Standorte treffen zu können.

In diesem Zusammenhang wurde der Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TUM vom LfU beauftragt, eine ergänzende Überprüfung der hydraulischen Wirkung von Flutpoldern durchzuführen. Diese stellt eine Fortführung bzw. Ergänzung der o. g. Wirkungsanalysen der TUM dar, vor allem hinsichtlich der Wirkung und etwaiger Alternativen der in Frage gestellten Standorte Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof.

Für die Standorte Eltheim und Wörthhof wird insbesondere für verschiedene Flutpoldervarianten der Wirkungsverlauf über eine längere Donaustrecke 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 synthetisch generierten Hochwasserereignissen, die vor allem in den Donauabschnitten II ab Lechmündung und III ab Naab-/Regenmündung großräumige Überlastfälle darstellen, wird die Wirkung der Flutpolder Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof noch detaillierter beleuchtet. Ergänzende Wirkungsanalysen zur Staustufenbewirtschaftung runden das Ganze ab.

Der folgende Bericht enthält die Ergebnisse dieser ab Ende 2019 durch die TUM durchgeführten zusätzlichen Untersuchungen im Rahmen des Flutpolderprogramms an der bayerischen Donau.

1.1 Funktion von gesteuerten Flutpoldern im Hochwassermanagement an der Donau

Gesteuerte Flutpolder sind effektive Elemente des Hochwassermanagements, die bei großen Hochwasserereignissen gezielt zur Beeinflussung der Hochwasserwelle eingesetzt werden können. Sie ergänzen den örtlichen bzw. regionalen Hochwasserschutz und entlasten unterhalb im weiteren Donauverlauf die Hochwasserschutzsysteme im sogenannten Überlastfall, d. h. bei Abflüssen, die die Bemessungswerte der Hochwasserschutzanlagen überschreiten. Gleichzeitig stellen sie eine zusätzliche Reserve für mögliche klimabedingte Änderungen der Abflussverhältnisse dar.

1.2 Zwischenzeitliche Entwicklungen

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 (Asenkerschbaumer et al. (2012), Skublics et al. (2014), Giehl et al. (2015), Giehl et al. (2017)) geändert.

Im Donauabschnitt I zwischen Iller- und Lechmündung sind derzeit die Flutpolder Leipheim, Helmeringen (in Giehl et al. (2017) noch nicht enthalten) und Neugeschüttwörth geplant. In dieser Studie mitberücksichtigt werden noch die zwei ungesteuerten Rückhalteräume Tapfheim und Donauwörth, die bei mittleren Hochwasserereignissen zur Unterstützung des Grundschutzes anspringen. Für das gesamte Rückhalteprojekt im Rahmen des Hochwasserschutz-Aktionsprogramms Schwäbische Donau ist noch im Jahr 2021 die Durchführung des erforderlichen Raumordnungsverfahrens (ROV) geplant.

Im Donauabschnitt II zwischen Lech- und Naab-/Regenmündung befindet sich der bereits technisch betriebsbereite Flutpolder Riedensheim sowie die geplanten Flutpolder Bertoldsheim, Großmehring und Katzau. Die ROV für die beiden letztgenannten sind bereits abgeschlossen.

Im Donauabschnitt III zwischen Naab-/Regen- und Isarmündung liegen die geplanten Flutpolder Eltheim, Wörthhof und Oberauer Schleife (Einleitung Planfeststellungsverfahren noch im Jahr 2021 vorgesehen).

Im Bereich Straubing–Vilshofen wird derzeit im Rahmen des Donauausbaus auch der HQ₁₀₀-Grundschutz umgesetzt (Teilabschnitt 1: Straubing–Deggendorf) bzw. ist derzeit im Planfeststellungsverfahren (Teilabschnitt 2: Deggendorf–Vilshofen, Kastrup et al. (2018)). Hier sind im Ausbauzustand mehrere ungesteuerte Rückhalteräume, die ab etwa HQ₄₀₋₅₀ aktiviert werden, sowie der gesteuerte Rückhalteraum Steinkirchen vorgesehen.

Somit sind zum jetzigen Zeitpunkt insgesamt zehn verschiedene Flutpolderstandorte an der Donau geplant, ergänzt durch den gesteuerten Rückhalteraum Steinkirchen und mehrere ungesteuerte Rückhalteräume im Bereich der Wasserwirtschaftsämter (WWA) Donauwörth bzw. Deggendorf, wobei in dieser Studie ein besonderer Fokus auf den drei in Frage gestellten Flutpolderstandorten Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof liegt. Abbildung 1 zeigt die in dieser Untersuchung berücksichtigten Flutpolderstandorte sowie den gesteuerten Rückhalteraum Steinkirchen, in Tabelle 1 sind die Flutpolderstandorte und in Tabelle 2 die weiteren berücksichtigten Rückhalteräume jeweils mit ihren in der Simulation angesetzten Volumina aufgelistet. Bei den derzeitigen Planungen der Flutpolder gibt es zum Teil noch weitere Varianten mit anderen Volumina.

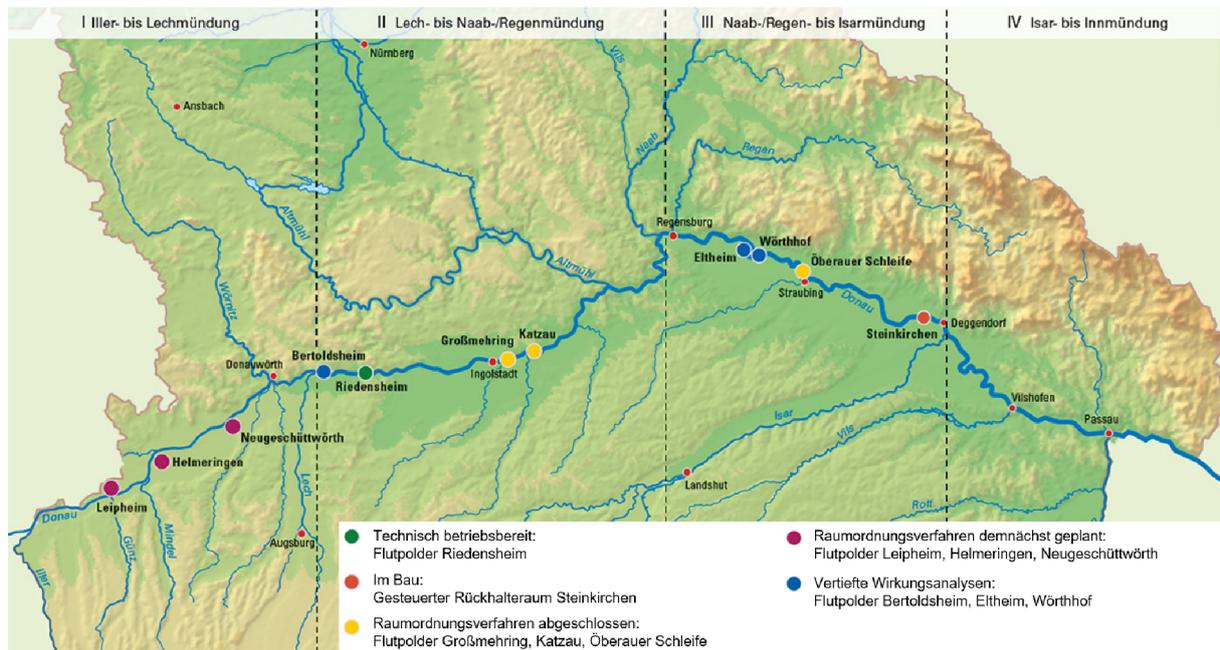


Abbildung 1: Übersicht Flutpolderstandorte an der Donau mit gesteuertem RHR Steinkirchen (Stand Februar 2021).

Abschlussbericht Weitergehende Untersuchungen, Februar 2021

Tabelle 1: Übersicht über die geplanten Flutpolderstandorte mit den angesetzten Volumina

Flutpolderstandort	Retentionsvolumen [Mio. m ³]	Zuständigkeit
Leipheim	10	WWA Donauwörth
Helmeringen	7	WWA Donauwörth
Neugeschüttwörth	23*	WWA Donauwörth
Bertoldsheim	18	WWA Ingolstadt
Riedensheim	8	WWA Ingolstadt
Großmehring	12,8**	WWA Ingolstadt
Katzau	6,6	WWA Ingolstadt
Eltheim	15,1	WWA Regensburg
Wörthhof	15,4***	WWA Regensburg
Öberauer Schleife	14	WWA Deggendorf

* Geplanter Flutpolder Neugeschüttwörth ist ungesteuert, aktivierbares Volumen damit abflussabhängig.

** Das ROV wurde mit der landesplanerischen Beurteilung der Regierung von Oberbayern vom 25.01.2021 abgeschlossen. Nur die Variante 3 mit 10,2 Mio. m³ ist demnach raumverträglich.

*** Für das HQ₁₀₀+15 % im Donauabschnitt III wurde zusätzlich eine große Variante für den Flutpolder Wörthhof mit einem Volumen von 30,5 Mio. m³ untersucht.

Tabelle 2: Übersicht über die weiteren geplanten Rückhalteräume mit den angesetzten Volumina (Volumina aus aktuellen Planungen zum Hochwasserschutz-Aktionsprogramm Schwäbische Donau bzw. aus Planfeststellungsunterlagen zum Donauausbau Straubing–Vilshofen)

Rückhalteraum	Retentionsvolumen [Mio. m ³]	Zuständigkeit
Donauwörth	1,5	WWA Donauwörth
Tapfheim	7	WWA Donauwörth
Parkstetten/Reibersdorf	11,9	WWA Deggendorf
Sand-Irlbach	12,3	WWA Deggendorf
Schwarzach	4,3	WWA Deggendorf
Steinkirchen	21,1	WWA Deggendorf
Fischerdorf/Isar	7,0	WWA Deggendorf
Isarmünd	6,1	WWA Deggendorf
Forstern	3,3	WWA Deggendorf
Gundelau/Auterwörth	11,8	WWA Deggendorf

1.3 Begriffsdefinition

Der Einsatz eines Flutpolders ist dann vorgesehen, wenn im selben oder im nächsten unterhalb liegenden Donauabschnitt (siehe Abbildung 1) ein Überlastfall prognostiziert wird und die

Aktivierung des Flutpoldervolumens zur Vermeidung oder Verringerung dieses Überlastfalls erforderlich ist. Entsprechend den Planungen zum Rückhalteprojekt im Rahmen des Hochwasserschutz-Aktionsprogramms Schwäbische Donau wird für den Donauabschnitt I ein Überlastfall ab $HQ_{100}+15\%$ angesetzt. Bei den anderen Donauabschnitten wird in den Simulationen der Überlastfall bzw. ein Flutpoldereinsatz ab HQ_{100} angenommen.

Im Rahmen der Studie wurden je nach hydrologischem Szenario für das **Einsatzziel „Hochwasserscheitel reduzieren“** folgende Steuervarianten für Flutpolder (gilt entsprechend auch für Staustufen) verwendet:

- **Lokale Steuerung:** Durch den Flutpolder erfolgt eine ereignisbezogen lokal optimierte, d. h. nahezu optimale Kappung der Hochwasserwelle nach dem Flutpoldereinlauf (wie in der Einzelwirkungsanalyse der TUM-Studie von 2012).
- **Regionale/überregionale Steuerung:** Es erfolgt eine Steuerung des Flutpolders auf einen Zielquerschnitt oder einen Zufluss im selben/nächsten hydrologischen Donauabschnitt. Ziel ist nicht die Scheitelreduktion am Flutpolderstandort, sondern am Zielquerschnitt bzw. kurz nach dem seitlichen Zufluss. Dabei kann der Rückhalt auch im ansteigenden oder fallenden Ast der Ganglinie am Flutpolder erfolgen. Eine solche Steuerung wird hier auch als vorgeschaltet bezeichnet. Diese Steuerung erfolgt wegen der größeren Unsicherheiten (Laufzeit und Retentionseffekte bis zum seitlichen Zufluss, erforderlich zusätzliche Vorhersage der Hochwasserwelle des seitlichen Zuflusses) nicht ereignisbezogen optimiert, sondern auf eine robuste Weise, indem ein konstanter Zufluss über eine bestimmte Zeitspanne dem Flutpolder zugeführt wird. Die Zeitspanne ist so zu wählen, dass die Abflusssenke mit hoher Wahrscheinlichkeit zeitlich in den Bereich des Abflussscheitels unterhalb des seitlichen Zuflusses fällt.

Bei Hochwasserereignissen, bei denen das Rückhaltevolumen in den Flutpoldern nicht mehr für eine Scheitelreduktion auf einen noch tolerierbaren Abfluss ausreicht und ein Überströmen oder Versagen der Hochwasserschutzanlagen voraussichtlich auch mit Flutpoldereinsatz nicht vermieden werden kann, ist auch eine alternative Steuerung mit möglichst langem Halten eines noch unkritischen Abflusses denkbar, um zumindest Zeit für Evakuierungen und die Sicherung mobiler Werte zu gewinnen (**Einsatzziel „Zeitgewinn“**).

2 Datengrundlage

2.1 Verwendete Modelle

Die vorliegende Studie stellt eine Fortführung („weitergehende Untersuchungen“) der 2009 bis 2012 durchgeführten Studie „Verzögerung und Abschätzung von Hochwasserwellen entlang der bayerischen Donau“ (Asenkerschbaumer et al. (2012)) sowie der darauf aufbauenden „vertieften Wirkungsanalyse“ von 2014 bis 2017 (Giehl et al. (2017)) dar. Daher wurden aus Konsistenzgründen die gleichen 2D-hydrodynamisch-numerischen Modelle der TUM verwendet. An dieser Stelle wird daher auf die Beschreibung der Modelle und der Datengrundlage in Asenkerschbaumer et al. (2012) verwiesen. Grundsätzlich wurden folgende Daten für die Erstellung der Geländemodelle verwendet (auszugsweise):

- Flussquerprofile: i.d.R. georeferenzierte Querprofilaten im Abstand von ca. 200 m
- Topographie im Vorland- und Auebereich: Rohdaten einer Laserscanbefliegung (Datenstand 2009) mit einer überwiegenden Auflösung von 1x1 m (stellenweise auch 2x2 bzw. 5x5 m)
- Zusätzliche Geländeinformationen wie Bruchkanten aus unterschiedlichen Quellen:
 - o Stauhaltungsdämme
 - o Hochwasserschutzdeiche
 - o zusätzliche Bruchkanten (Gräben, Straßen, Wälle...)
- Landnutzungsdaten (ATKIS-Daten)
- Staustufensteuerung: Betriebssystem und Verwaltungsvorschrift der Staustufen, tatsächlich gemessene Steuerung während der Hochwasser 2002, 2005 und teilweise 2011
- Hydrologische Daten der Hochwasser 1988, 1999, 2002, 2005 und 2011:
 - o Abflüsse und Wasserstände an der Donau
 - o Abflüsse der Donauzuflüsse am letzten Pegel vor der Mündung in die Donau
- Hochwasserfixierungen und ermittelte bzw. festgesetzte Überschwemmungsgebiete

Tabelle 3: Überblick über die verwendeten 2D-Modelle der TUM (nach Asenkerschbaumer et al. (2012)). Das Modell im Abschnitt Neu-Ulm – Donauwörth wird in dieser Studie lediglich für die Untersuchung der Staustufen verwendet.

Donau-/ Modellabschnitt	Neu-Ulm – Donauwörth	Donauwörth – Kelheim	Kelheim – Straubing
HW maßgebend beeinflusst durch	Iller	Lech	Altmühl, Naab, Regen
Sachstand	2006, z.T. 2010	Okt 2010	Okt 2010
Länge (km)	~ 80	~ 94	~ 85
Kalibrierung	HW 99	HW 99	HW 99
Staustufen	11	5	4

Die TUM-Modelle wurden auf Basis der nachfolgenden Daten und Unterlagen aktualisiert:

- Aktualisierte Umgriffe und Volumina der potenziellen Flutpolderstandorte (WWA)
- Aktuelle Deich- und Dammhöhen (LfU, WWA, Bundesanstalt für Gewässerkunde) zur Prüfung von Veränderungen gegenüber 2012
- Ergebnisse des detaillierten lokalen Planungsmodells zur Überauer Schleife für den Istzustand (unkontrollierte Flutung über die Rücklaufdeiche an der Kößnach).

Die Simulationen der synthetisch generierten Hochwasserwellen im Donauabschnitt Neu-Ulm bis Donauwörth wurden vom Ingenieurbüro SKI bzw. vom WWA Donauwörth mit den aktuellen Detailmodellen aus der Erstellung der vorgesehenen 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 Rückhaltemaßnahmen enthalten. Die Simulationen von Straubing bis Vilshofen wurden von der Wasserbaulichen Infrastrukturgesellschaft mbH (WIGES, ehem. RMD Wasserstraßen GmbH) mit ihrem Donaumodell durchgeführt (Kastrup et al. (2018)). Auch dieses Modell beinhaltet bereits die derzeit in Bau oder im Planfeststellungsverfahren befindlichen Maßnahmen des Donauausbaus, insbesondere der Maßnahmen zur Sicherstellung des HQ₁₀₀-Grundschutzes (z. B. Deicherhöhungen, Deichrückverlegung oder Anlegen von ungesteuerten und gesteuerten Rückhalteräumen). Aus diesem Grund werden die Planzustände der Flutpoldervarianten (PZ) nicht mit einem Istzustand, sondern mit einem Bezugszustand (BZ) verglichen. Die Simulationen von Vilshofen bis Achleiten wurden ebenfalls von WIGES durchgeführt. Hierfür wurde ein Modell verwendet, welches für die hydraulischen Untersuchungen an der Wehranlage Kachlet erstellt worden ist.

2.2 Hydrologische Daten

Das verwendete HQ_{100+15%} im Donauabschnitt III (Kapitel 3.1.1.1 und 3.3.1) und der Überlastfall im Donauabschnitt IV (Kapitel 3.1.1.2) stellen wie in den vorherigen Studien hochskalierte Hochwasserereignisse dar, basierend auf den Hochwassern 2011 bzw. 2013.

Die hydrologischen Daten der synthetisch generierten Ereignisse (Kapitel 3.1.2 und Kapitel 3.2) basieren auf Niederschlagsdaten aus dem Forschungsvorhaben ClimEx aus einer insgesamt 3.500 Jahre langen Zeitreihe (50 verschiedene Klimamodellierungen mit unterschiedlichen Startbedingungen für jeweils den hier verwendeten Zeitraum 1980-2050). Mithilfe des Wasserhaushaltsmodells LARSIM wurden für Niederschlagsereignisse, die an der Donau große Hochwasser verursachen, die Abflüsse im Donauebiet berechnet. Aus diesem Datensatz wurden Ereignisse ausgewählt, die vor allem in den Donauabschnitten II und III großräumige Überlastfälle darstellen.

Für die Staustufenuntersuchungen im Donauabschnitt I (Kapitel 3.3.2) wurden die in den vorherigen Studien bereits angesetzten skalierten Ereignisse für den Überlastfall im Donauabschnitt II (etwa HQ₁₀₀ und HQ_{100+15%}, Basis: Hochwasser 1999) verwendet.

3 Ergebnisse der weitergehenden Untersuchungen

Bei den weitergehenden Untersuchungen, die seit Ende 2019 ergänzend zu den Studien Asenkerschbaumer et al. (2012) und Giehl et al. (2017) durchgeführt wurden, handelt es sich um:

- eine vertiefte Wirkungsanalyse der Flutpolder im Donauabschnitt III vom Pegel Schwabelweis bis Achleiten; einmal für einen größeren Überlastfall (ca. $HQ_{100}+15\%$) im Donauabschnitt III (Naab/Regen- bis Isarmündung, Kapitel 3.1.1.1) und für einen Überlastfall (ca. HQ_{100}) im Donauabschnitt IV (Isar- bis Innmündung, Kapitel 3.1.1.2)
- eine vertiefte Wirkungsanalyse der Flutpolder im Donauabschnitt III vom Pegel Kelheim bis Vilshofen anhand von vier synthetisch generierten Hochwasserszenarien (Kapitel 3.1.2)
- eine breitere Wirkungsanalyse von kombinierten Flutpoldereinsätzen für synthetisch generierte großräumige Hochwasserszenarien (Kapitel 3.2):
 - o 1 Ereignis von Neu-Ulm bis Achleiten
 - o 2 Ereignisse von Neu-Ulm bis Vilshofen
 - o 3 Ereignisse von Neu-Ulm bis Straubing
- eine Untersuchung der Wirkung von komplett geleerten Stauräumen (Geisling und Straubing) bei einem $HQ_{100}+15\%$ -Ereignis im Donauabschnitt III (Kapitel 3.3.1)
- eine Einschätzung des Potenzials eines vorgeschalteten Einsatzes der Staustufenkette im Donauabschnitt I auf ein lechgeprägtes großes Hochwasser im Donauabschnitt II (Kapitel 3.3.2)

Die detaillierten Auswertungen erfolgen für jedes Ereignis zumeist an folgenden Pegelstationen (soweit das Ereignis im jeweiligen Abschnitt betrachtet wird):

- Donauabschnitt I: Donauwörth
- Donauabschnitt II: Ingolstadt und Kelheim
- Donauabschnitt III: Schwabelweis, Straubing und Deggendorf
- Donauabschnitt IV: Hofkirchen
- Donau unterhalb Innmündung: Passau Ilzstadt

Für andere Pegel an der Donau werden ggf. nur die Abflussscheitel angegeben. Für die Auswertung der Abflussscheitel an den Pegeln wird stets ein Vergleich zum lokalen HQ_{100} oder anderen statistischen Abflüssen am Pegel gegeben. Eine Übersicht der Pegelstatistik entlang der Donau ist in Tabelle 4 gegeben.

Des Weiteren wird an ausgewählten Pegeln eine Reduktion des maximalen Wasserspiegels (dW) durch Flutpoldereinsatz angegeben. Dies sind die Pegel Donauwörth, Ingolstadt, Kelheim, Schwabelweis, Pfelling, Hofkirchen und Passau Ilzstadt. Das angegebene dW an den Pegeln kann jedoch mit einer größeren Unsicherheit behaftet sein, da die 2D-hydrodynamischen Modelle prinzipiell auf die korrekte Abbildung des Abflusses kalibriert sind und dadurch Ungenauigkeiten bei den simulierten Wasserständen möglich sind.

Eine Besonderheit weist der Pegel Straubing auf. Hinter der Staustufe Straubing teilt sich die Donau in einen Nordarm und einen Südarm auf. Der Pegel liegt bei der Überquerung der Staatsstraße 2125 am Südarm. Für die Auswertung der Abflüsse der Donau in Straubing wird in dieser Untersuchung die Summe aus dem Abfluss aus Nordarm und Südarm gebildet. Die Auswertungsquerschnitte sind jeweils die Überquerungsstelle der Staatsstraße 2125 über den jeweiligen Arm.

Eine weitere Besonderheit stellt der Pegel Pfelling dar. Bei einer Aktivierung des Rückhalterums Sand-Irlbach fließt künftig – analog zum heutigen Zustand – ein Abflussanteil der Donau seitlich durch diesen Rückhalteraum und wird dadurch nicht vom Pegel Pfelling erfasst. Der Pegel Pfelling wird deswegen in diesem Bericht vor allem zur Auswertung des Wasserstandes verwendet und weniger zur Beurteilung einer Abflussänderung.

Tabelle 4: Übersicht über die Pegelstatistik entlang der Donau

	HQ ₅₀ [m ³ /s]	HQ ₁₀₀ [m ³ /s]	HQ ₂₀₀ [m ³ /s]	HQ ₅₀₀ [m ³ /s]	HQ ₁₀₀₀ [m ³ /s]
Neu-Ulm	1.110	1.250	1.350	1.500	1.600
Donauwörth	1.300	1.450	1.550	1.700	1.800
Neuburg/Ingolstadt	1.930	2.100	2.250	2.450	2.600
Kelheim	2.000	2.200	2.380	2.600	2.800
Kelheimwinzer	2.150	2.350	2.550	2.800	3.000
Schwabelweis/Straubing/ Pfelling/Deggendorf	3.050	3.400	3.700	4.100	4.500
Niederalteich/Hofkirchen/ Vilshofen/Passau Donau	3.700	4.100	4.500	5.000	5.500
Passau Ilzstadt/Achleiten	7.800	8.800	9.500	10.500	11.500

3.1 Vertiefte Wirkungsanalyse in den Donauabschnitten III und IV

In den vorausgegangenen Untersuchungen von Asenkerschbaumer et al. (2012) und Giehl et al. (2017-a) wurden für die Kombinationswirkung der Flutpolder im Donauabschnitt III nur theoretische Ganglinienbetrachtungen bis Straubing erstellt. 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), werden 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 ausgeführt. Von besonderem Interesse ist deswegen auch der Wirkungsverlauf im Abschnitt Straubing–Vilshofen im Zusammenspiel mit den dort geplanten Rückhalteräumen.

Hierfür werden der Einsatz und die Wirkung der drei Flutpolder im Donauabschnitt III – Eltheim, Wörthhof und Oberauer Schleife – anhand von zwei skalierten Hochwasserereignissen mit verschiedenen Maßnahmenvarianten untersucht. Entsprechend dem bisherigen Vorgehen bei den Kombinationsanalysen in der Studie von 2017 wird für den Überlastfall im Donauabschnitt III ein hochskaliertes Hochwasser, basierend auf dem Hochwasser 2011, mit der Jährlichkeit eines $HQ_{100}+15\%$ am Pegel Schwabelweis verwendet (Kapitel 3.1.1). Ergänzt wird dieses durch ein weiteres hochskaliertes Ereignis, basierend auf dem Hochwasser 2013, welches nach der Mündung der Isar in die Donau einem Abfluss über HQ_{100} entspricht (Überlastfall im Donauabschnitt IV, Kapitel 3.1.1.2). Die Modellberechnungen beginnen jeweils am Pegel Schwabelweis in Regensburg und reichen je nach untersuchter Variante bis zum Pegel Straubing bzw. bis zum Pegel Achleiten.

Um eine breitere Basis für die Beurteilung der Wirkung der Flutpolderstandorte Eltheim und Wörthhof und insbesondere auch des Wirkungsverlaufs im Abschnitt Straubing–Vilshofen im Zusammenspiel mit den dort geplanten Rückhalteräumen zu erhalten, werden außerdem vier synthetische Ereignisse ausgewählt, die erst ab Kelheim oder flussabwärts von Kelheim im Donauabschnitt III einen Überlastfall darstellen. Diese Ereignisse werden von Kelheim bis Vilshofen simuliert (Kapitel 3.1.2).

Die einzelnen hydrologischen Szenarien und die dabei untersuchten Flutpoldervarianten werden in den nachfolgenden Kapiteln zu den Szenarien genauer erklärt.

3.1.1 Simulationen skaliertes historischer HW-Ereignisse

3.1.1.1 $HQ_{100}+15\%$ im Donauabschnitt III (skaliertes HW2011)

Das Überlastfallereignis stellt am Pegel Schwabelweis ca. ein $HQ_{100}+15\%$ dar und ist eine Hochskalierung des realen Hochwassers der Donau vom Januar 2011. Es hat einen Spitzenabfluss von $3.830 \text{ m}^3/\text{s}$ (zum Vergleich: $HQ_{100} = 3.400 \text{ m}^3/\text{s}$). Das Volumen über dem HQ_{100} am Pegel Schwabelweis beträgt $54,2 \text{ Mio. m}^3$; das HQ_{100} wird über einen Zeitraum von 52 Stunden überschritten. In Abbildung 2 ist die Ganglinie am Modellzulauf am Pegel Schwabelweis zusammen mit den simulierten Ganglinien an den Pegeln Straubing, Deggendorf und Hofkirchen für den Bezugzustand (BZ) gezeigt. Da der vorlaufende Inn mit einem eigenen HQ_{100} bei diesem Ereignis einen deutlich höheren Abfluss erreicht als die Donau selbst und damit den Hochwasserscheitel der Donau unterhalb prägt, wird auf eine detaillierte Auswertung der Pegel ab Passau in diesem Bericht verzichtet. Ein Vergleich der Ganglinien der Donau und des Inns in Passau zusammen mit der resultierenden Ganglinie am Pegel Passau Ilzstadt ist im Anhang 1 beigefügt.

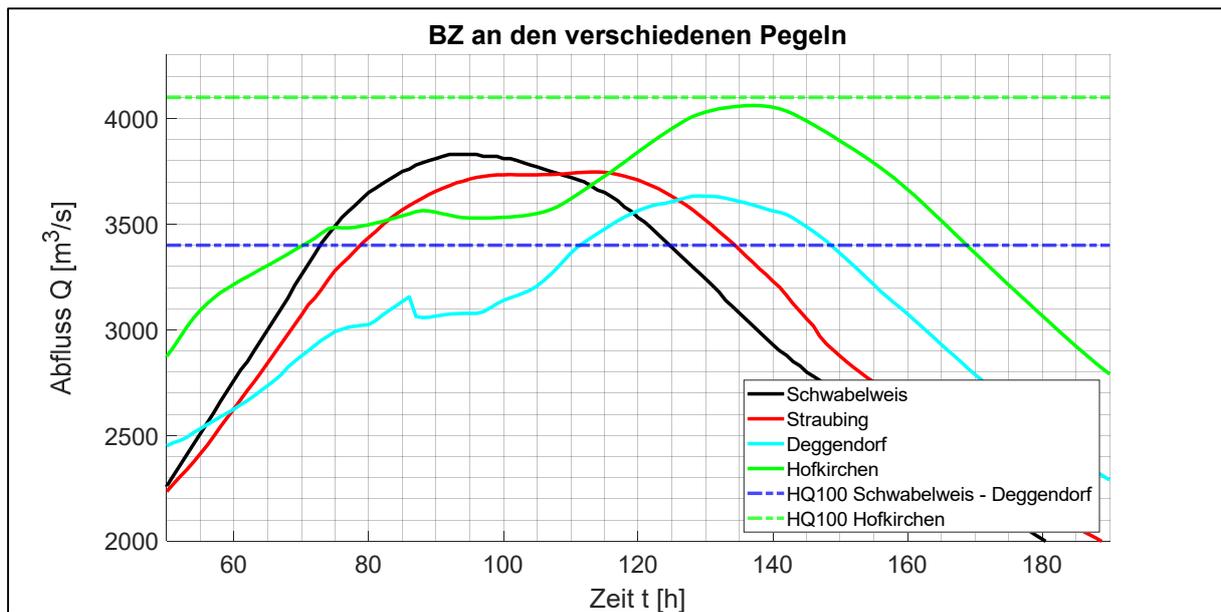


Abbildung 2: Ganglinien des $HQ_{100}+15\%$ im Donauabschnitt III im BZ an den Pegeln Schwabelweis, Straubing, Deggendorf und Hofkirchen mit dem jeweiligen HQ_{100}

In Abbildung 2 ist die Veränderung der Hochwasserwelle entlang der Donau erkennbar. Zunächst wird der Scheitel vom Pegel Schwabelweis kommend kurz vor dem Pegel Straubing 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 Hochwasserfall wird die Öberauer Schleife ab einem Abfluss von ca. $3.300 \text{ m}^3/\text{s}$ über den seitlichen Zulauf der Kößnach von der Donau mit Überströmen der bestehenden Deiche unkontrolliert geflutet und wirkt wie ein ungesteuertes Retentionsbecken. Dies hat zur Folge, dass das Hochwasser am Pegel Straubing zunächst ähnlich wie bei einem gesteuerten Flutpoldereinsatz einen abgeflachten Scheitel hat. Bei $t = 110 \text{ h}$ ist die Öberauer Schleife gefüllt; bei diesem Ereignis fällt der Füllzeitpunkt günstig mit dem Scheitelrückgang zusammen, sodass zufällig auch mit der unkontrollierten Füllung eine nahezu optimale Wirkung erreicht wird und der Abfluss am Pegel Straubing danach nur noch unmerklich auf einen Abflussscheitel von $3.747 \text{ m}^3/\text{s}$ ansteigt. Bei anderen Ereignissen kann die unkontrollierte Füllung der Öberauer Schleife im Bezugszustand eine deutlich ungünstigere Wirkung zeigen. Insgesamt wird am Pegel Straubing das HQ_{100} 56 Stunden lang überschritten.

Zwischen dem Pegel Straubing und dem Pegel Deggendorf liegen die geplanten Rückhalteräume Parkstetten/Reibersdorf, Sand-Irlbach, Schwarzach und Steinkirchen sowie der bereits bestehende Rückhalteraum Öbling. Die ungesteuerten Rückhalteräume (ausgenommen Öbling, der lediglich durch Überlauf geflutet wird) werden automatisch ab ca. einem HQ_{50} durch erodierbare Deiche bzw. der gesteuerte Rückhalteraum Steinkirchen über ein Einlassbauwerk aktiviert. Dies hat zur Folge, dass vor allem der ansteigende Ast bei dem $HQ_{100}+15\%$ -Ereignis stark reduziert wird. Dadurch wird das HQ_{100} nur noch 37 Stunden lang überschritten. Insgesamt reduziert sich der Abflussscheitel am Pegel Deggendorf auf $3.633 \text{ m}^3/\text{s}$. Eine genaue Beschreibung dieser Rückhalteräume ist in Kastrup et al. (2018) gegeben.

Im Bereich der Isarmündung liegen die ungesteuerten Rückhalteräume Fischerdorf/Isar, Isarmünd und Forstern und weiter donauabwärts dann Gundelau/Auterwörth. Für eine detaillierte Beschreibung sei erneut auf Kastrup et al. (2018) verwiesen. Die Mündung der Isar in die Donau kurz hinter Deggendorf veranlasst einen deutlichen Anstieg der Donauwelle mit einem Abflussscheitel am Pegel Hofkirchen von $4.061 \text{ m}^3/\text{s}$. Da der Scheitel der Isar jedoch mit $818 \text{ m}^3/\text{s}$ ca. 3 Tage vor dem Donauscheitel eintrifft, prägt die Isar nicht den Hochwasserscheitel der Donau bei diesem Ereignis und am Pegel Hofkirchen wird das HQ_{100} ($4.100 \text{ m}^3/\text{s}$) knapp nicht erreicht.

Das betrachtete Hochwasserereignis stellt am Pegel Schwabelweis einen deutlichen Überlastfall dar. Deswegen wird für dieses Ereignis an allen Flutpoldern in den verschiedenen Varianten eine lokale Steuerung mit horizontaler Scheitelkappung angenommen.

Flutpoldervarianten

Folgende Flutpoldervarianten werden im Planzustand (PZ) untersucht:

- Ö: PZ mit Einsatz und lokaler Steuerung nur des Flutpolders Öberauer Schleife (Volumen des Flutpolders: 14 Mio. m^3)
- EWÖ: PZ mit Einsatz und lokaler Steuerung aller drei Flutpolder Eltheim, Wörthhof und Öberauer Schleife (kombiniertes Gesamtvolumen der Flutpolder: $44,5 \text{ Mio. m}^3$)
- EWgroßÖ: PZ mit Einsatz und lokaler Steuerung der drei Flutpolder Eltheim, Wörthhof und Öberauer Schleife; hier wird die große Planungsvariante für den Flutpolder Wörthhof mit einem Volumen von $30,5 \text{ Mio. m}^3$ betrachtet (kombiniertes Gesamtvolumen der Flutpolder: $59,6 \text{ Mio. m}^3$)

Die Varianten Ö und EWÖ werden wie der BZ flussabwärts bis nach Achleiten simuliert, eine detaillierte Auswertung erfolgt für diese Varianten zusätzlich an den Pegeln Deggendorf und Hofkirchen. Die Variante EWgroßÖ wird lediglich bis zum Pegel Straubing ausgewertet. Prinzipiell wird für die Auswertung immer der Referenzzustand BZ (Bezugszustand) mit der jeweiligen Variante des PZ (Planzustand) verglichen.

An den Flutpoldern Eltheim, Wörthhof und Öberauer Schleife wird jeweils eine lokale Steuerung angesetzt, das heißt, dass die Abflussspitze am Flutpolder möglichst horizontal gekappt wird. Die durch die optimierte lokale Steuerung erreichte Scheitelkappung kann sich im weiteren Verlauf verringern, wenn seitliche Zuflüsse den Scheitel der Donau beeinflussen. So mündet beispielsweise die Große Laber direkt hinter der Staustufe Straubing in die Donau. Damit liegt die Mündung direkt zwischen dem Einlauf in den Flutpolder Öberauer Schleife oberstrom der Staustufe Straubing und dem Auswertepiegel Straubing. Da die Große Laber bei dem untersuchten donaubetonten Hochwasserereignis einen Spitzenabfluss von $106 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht und eine Erhöhung am Anfang des Scheitelplateaus verursacht, wird die Wirkung der Öberauer Schleife bezogen auf die Scheitelreduktion bereits am Pegel Straubing verringert. Eine leicht vorgeschaltete Steuerung der Öberauer Schleife, die den Zufluss der Großen Laber mitberücksichtigt, ist theoretisch umsetzbar, wurde im Rahmen dieser Untersuchung jedoch nicht weiterverfolgt.

Abschlussbericht Weitergehende Untersuchungen, Februar 2021

Abbildung 3 zeigt den Abfluss am Pegel Straubing für die drei Flutpoldervarianten Ö, EWÖ und EWgÖ im Vergleich zum BZ. Der oben beschriebene Einfluss der Großen Laber macht sich dadurch erkennbar, dass bei den Flutpoldervarianten der ursprünglich nahezu horizontal gekappte Scheitel zu Beginn leicht höher ist als am Ende des gekappten Zeitbereichs. Da im BZ die Öberauer Schleife unterstrom der Mündung der Großen Laber unkontrolliert geflutet wird, ist dies an der Ganglinie des BZ nicht erkennbar.

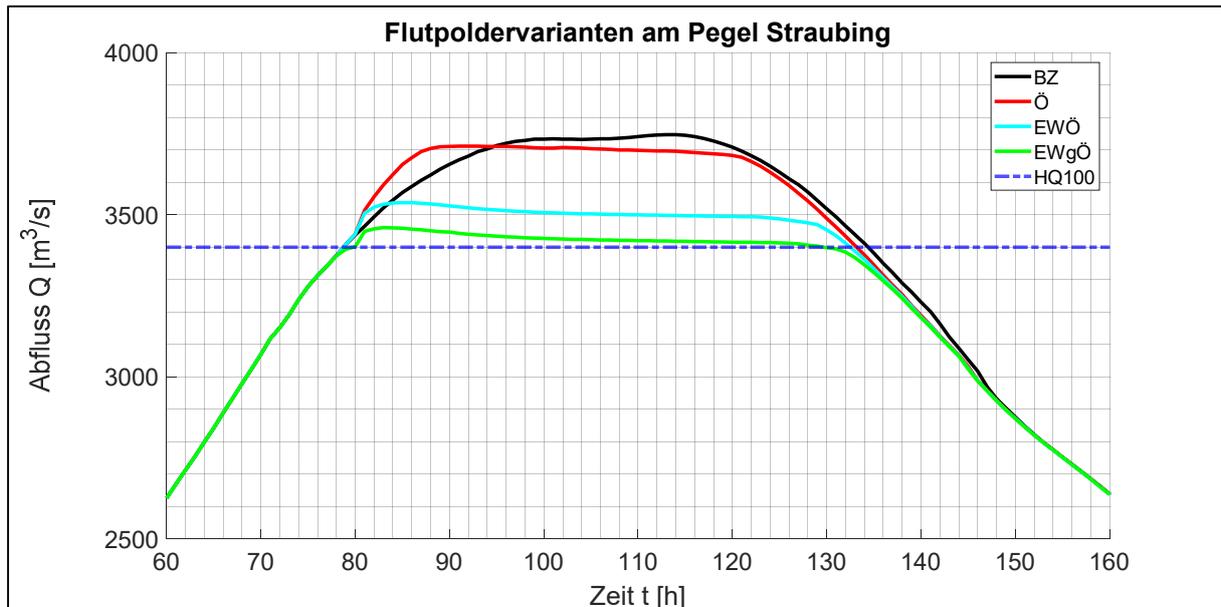


Abbildung 3: Ganglinien der Flutpoldervarianten Ö, EWÖ und EWgÖ und des BZ am Pegel Straubing für das $HQ_{100}+15\%$ im Donauabschnitt III

Der alleinige Einsatz des Flutpolders Öberauer Schleife reduziert den Spitzenabfluss am Pegel Straubing um $35 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $0,9 \%$ auf $3.712 \text{ m}^3/\text{s}$. Eine Hinzunahme der Flutpolder Eltheim und Wörthhof erhöht die Kappung am Pegel Straubing auf insgesamt $210 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $5,6 \%$ auf $3.537 \text{ m}^3/\text{s}$. Bei der Verwendung der großen Variante des Flutpolders Wörthhof kommt es zu einer Scheitelkappung von $287 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $7,6 \%$ auf $3.460 \text{ m}^3/\text{s}$, was nur noch $60 \text{ m}^3/\text{s}$ über dem HQ_{100} liegt.

Abbildung 4 zeigt den Abfluss am Pegel Deggendorf für die Flutpoldervarianten Ö und EWÖ im Vergleich zum BZ. Die Flutpoldervariante EWgÖ wird unterstrom von Straubing nicht weitersimuliert.

Der Einfluss der geplanten Rückhalteräume zwischen Straubing und Deggendorf ist deutlich an allen Ganglinien vor allem im vorderen Teil des Abflussscheitels zu erkennen. Dies ist damit zu begründen, dass diese Rückhalteräume bereits ab einem HQ_{50} aktiviert werden, während die Flutpolder Eltheim, Wörthhof und Öberauer Schleife den Hochwasserscheitel erst im Bereich oberhalb des HQ_{100} kappen.

Durch die starke Verformung der Hochwasserwelle im Scheitelbereich geht auch die erzielte Scheitelreduktion zurück. Der Einsatz des Flutpolders Öberauer Schleife erzielt am Pegel Deggendorf noch eine Scheitelreduktion von $19 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $0,5 \%$ auf $3.614 \text{ m}^3/\text{s}$.

Der Einsatz der drei Flutpolder Eltheim, Wörthhof und Öberauer Schleife zusammen bewirkt am Pegel Deggendorf dennoch eine Scheitelreduktion von $178 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $4,9 \%$ auf $3.455 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Hochwasserganglinie am Pegel Deggendorf überschreitet in dieser Variante das HQ_{100} nur noch für 20 Stunden (37 Stunden im BZ) und um $55 \text{ m}^3/\text{s}$ im Abflussscheitel.

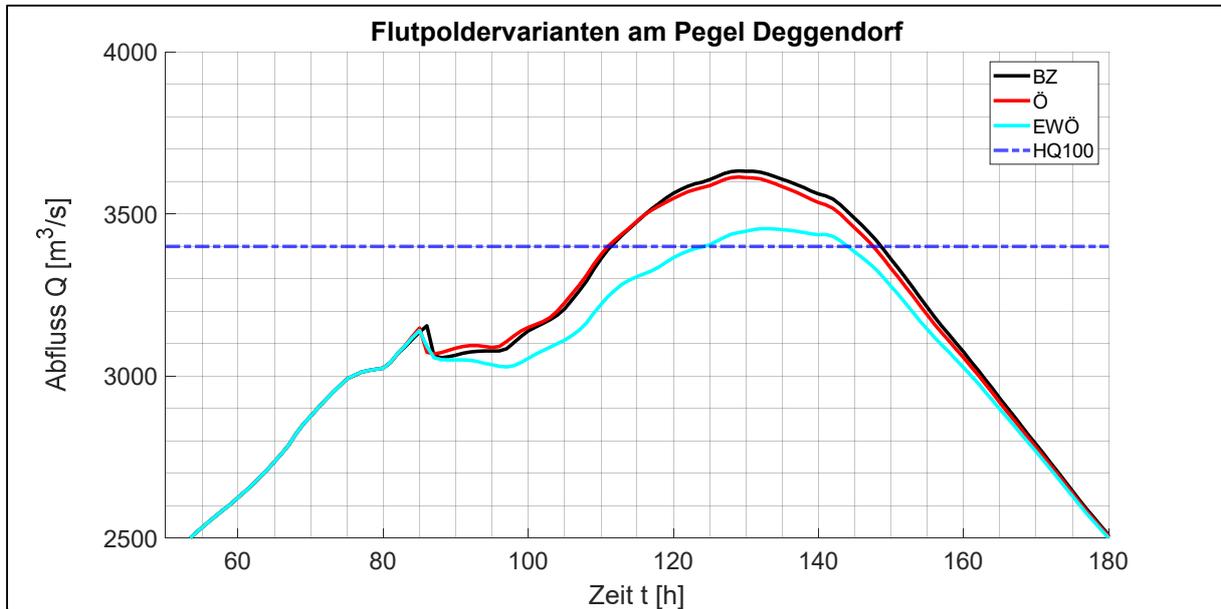


Abbildung 4: Ganglinien der Flutpoldervarianten Ö und EWÖ und des BZ am Pegel Deggendorf für das $HQ_{100}+15\%$ im Donauabschnitt III

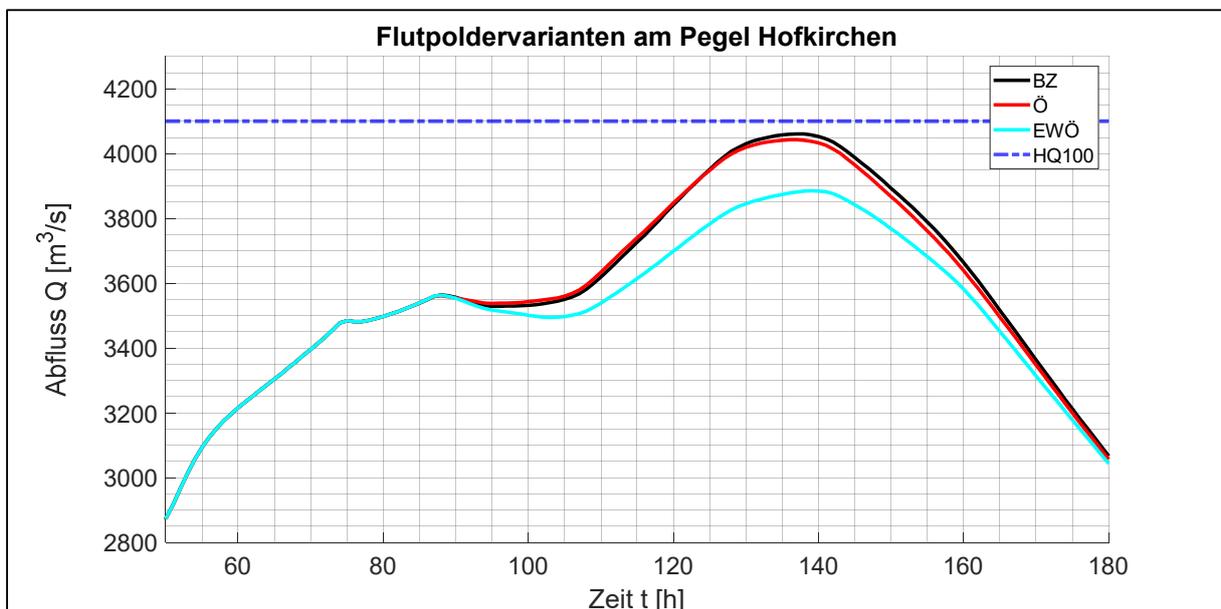


Abbildung 5: Ganglinien der Flutpoldervarianten Ö und EWÖ und des BZ am Pegel Hofkirchen für das $HQ_{100}+15\%$ im Donauabschnitt III

Abbildung 5 zeigt die Hochwasserganglinien der Flutpoldervarianten Ö und EWÖ im Vergleich zum BZ unterhalb der Isarmündung am Pegel Hofkirchen. Die Flutpoldervariante mit der Öberauer Schleife hat noch eine Scheitelkappung von $18 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $0,45 \%$ auf $4.043 \text{ m}^3/\text{s}$ am

Abschlussbericht Weitergehende Untersuchungen, Februar 2021

Pegel Hofkirchen, die Variante mit den Flutpoldern Eltheim, Wörthhof und Öberauer Scheife eine Wirkung von 176 m³/s bzw. 4,3 % auf 3.885 m³/s.

Tabelle 5 zeigt nochmals eine vollständige Übersicht über die absoluten und relativen Scheitelkappungen an allen ausgewerteten Pegeln im Bereich Straubing bis Achleiten für den Überlastfall HQ₁₀₀+15% im Donauabschnitt III. Zur Vollständigkeit werden auch die Pegel nach der Innmündung aufgelistet (siehe hierzu auch Anhang 2).

Tabelle 5: Vergleich der drei Flutpoldervarianten Ö, EWÖ und EWgÖ mit dem BZ an allen ausgewerteten Pegeln im Bereich Straubing bis Achleiten für das HQ₁₀₀+15% im Donauabschnitt III. An den Pegeln Pfelling und Hofkirchen ist zusätzlich die Senkung des maximalen Wasserstandes aufgezeigt.

	BZ	Ö	EWÖ	EWgÖ
	ohne Flutpolder	rd. 14 Mio. m ³ Rückhalt	rd. 44,5 Mio. m ³ Rückhalt	rd. 59,6 Mio. m ³ Rückhalt
Pegel Straubing				
Q(max) [m ³ /s]	3.747	3.712	3.537	3.460
dQ(max) [m ³ /s]	-	35	210	287
dQ(max) [%]	-	0,9	5,6	7,7
Pegel Pfelling*				
Q(max) [m ³ /s]	3.548	3.534	3.371	-
dQ(max) [m ³ /s]	-	14	177	-
dQ(max) [%]	-	0,4	5,0	-
dW(max) [cm]	-	0-5	20-25	-
Pegel Deggendorf				
Q(max) [m ³ /s]	3.633	3.614	3.455	-
dQ(max) [m ³ /s]	-	19	178	-
dQ(max) [%]	-	0,5	4,9	-
Pegel Niederalteich				
Q(max) [m ³ /s]	4.058	4.040	3.882	-
dQ(max) [m ³ /s]	-	18	176	-
dQ(max) [%]	-	0,4	4,3	-
Pegel Hofkirchen				
Q(max) [m ³ /s]	4.061	4.043	3.885	-
dQ(max) [m ³ /s]	-	18	176	-
dQ(max) [%]	-	0,45	4,3	-
dW(max) [cm]	-	0-5	15-20	-
Pegel Vilshofen				
Q(max) [m ³ /s]	4.030	4.014	3.867	-
dQ(max) [m ³ /s]	-	16	163	-
dQ(max) [%]	-	0,4	4,0	-

Abschlussbericht Weitergehende Untersuchungen, Februar 2021

	BZ	Ö	EWÖ	EWgÖ
	ohne Flutpolder	rd. 14 Mio. m ³ Rückhalt	rd. 44,5 Mio. m ³ Rückhalt	rd. 59,6 Mio. m ³ Rückhalt
Pegel Passau Donau				
Q(max) [m ³ /s]	4.083	4.069	3.916	-
dQ(max) [m ³ /s]	-	14	167	-
dQ(max) [%]	-	0,3	4,1	-
Pegel Passau Ilzstadt				
Q(max) [m ³ /s]	8.721	8.721	8.721	-
dQ(max) [m ³ /s]	-	0	0	-
dQ(max) [%]	-	0	0	-
Pegel Achleiten				
Q(max) [m ³ /s]	8.713	8.713	8.713	-
dQ(max) [m ³ /s]	-	0	0	-
dQ(max) [%]	-	0	0	-

*Der Pegel Pfelling erfasst nur einen Teilabfluss, da der Pegel bei großen Hochwasserereignissen umläufig ist.

3.1.1.2 Überlastfall im Donauabschnitt IV (skaliertes HW2013)

Das isarbetonte Hochwasser mit einem Überlastfall im Donauabschnitt IV unterhalb der Isarmündung stellt am Pegel Schwabelweis mit einem Scheitelabfluss von 3.228 m³/s ein Ereignis mit einer Jährlichkeit zwischen HQ₅₀ und HQ₁₀₀ dar und ist eine Hochskalierung des realen Hochwassers der Donau vom Juni 2013. In Abbildung 6 ist die Ganglinie am Modellzulauf am Pegel Schwabelweis zusammen mit den simulierten Ganglinien für den BZ an den Pegeln Straubing, Deggendorf und Hofkirchen gezeigt. Da der vorlaufende Inn auch bei diesem Ereignis einen deutlich höheren Abfluss erreicht als die Donau oberstrom des Pegels Passau und damit die Hochwasserwelle der Donau überprägt, wird wiederum auf eine detaillierte Auswertung der Pegel ab Passau verzichtet. Ein Vergleich der Ganglinien der Donau und des Inns in Passau ist im Anhang 2 beigefügt.

In Abbildung 6 ist die Veränderung der Hochwasserwelle entlang der Donau erkennbar. Am Pegel Straubing zeigt sich bis auf eine Verbreiterung der Welle inklusive eines leicht höheren Scheitels von 3.316 m³/s keine wesentliche Veränderung der Hochwasserwelle zum oberstromigen Pegel Schwabelweis. Im Vergleich mit dem HQ₁₀₀+15% im Donauabschnitt III wirkt die Öberauer Schleife als unkontrolliert gefluteter Rückhalteraum beim isarbetonten Hochwasserereignis weitaus weniger stark, da die Deiche zwischen der Öberauer Schleife und der Kößnach hier im BZ geringfügiger überströmt werden. Dies ist ein charakteristisches Merkmal von ungesteuertem Rückhalt, welcher bei unterschiedlichen Hochwasserwellen in Bezug auf Scheitel und Volumenfülle sehr unterschiedlich wirken kann. Während das HQ₁₀₀+15% im Donauabschnitt III sehr nah an einer optimalen Wirkung der Öberauer Schleife bereits im Bezugszustand liegt (siehe Abbildung 3), ist der Wasserstand bei diesem isarbetonten Hochwasserereignis im Scheitelbereich zu niedrig, als dass die Öberauer Schleife im BZ ausgiebig beansprucht werden würde. Das Rückhaltevolumen wird daher im BZ nur zu einem geringen Teil

genutzt; es fließen insgesamt hier nur ca. 2,5 Mio. m³ Wasser in die Öberauer Schleife. Im Planzustand kommt es hingegen zu einer effektiven gezielten Nutzung des gesamten vorhandenen Retentionsvolumens in der Öberauer Schleife.

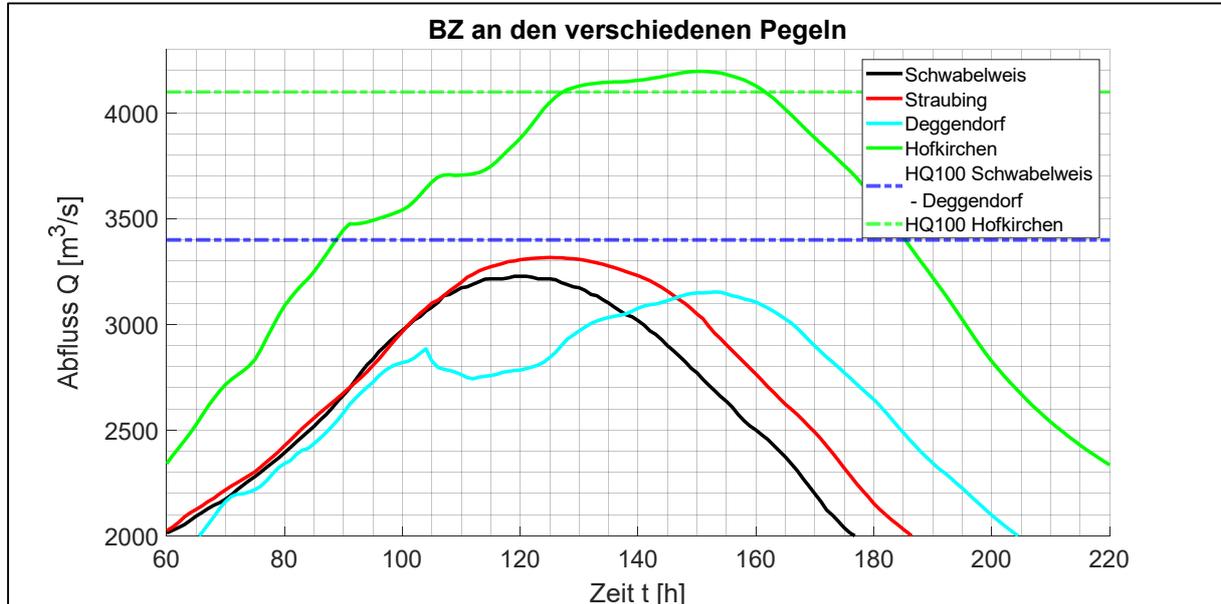


Abbildung 6: Ganglinien des Überlastfalls im Donauabschnitt IV (skaliertes HW2013) im BZ an den Pegeln Schwabelweis, Straubing, Deggendorf und Hofkirchen mit dem jeweiligen HQ₁₀₀

Zwischen dem Pegel Straubing und dem Pegel Deggendorf wirken ebenfalls wieder die geplanten Rückhalteräume Parkstetten/Reibersdorf, Sand-Irlbach, Schwarzach und Steinkirchen. Da diese ab ca. einem HQ₅₀ aktiviert werden, findet eine Entlastung vor allem wieder im ansteigenden Ast der Hochwasserwelle statt, bis die Rückhalteräume vollgefüllt sind. Der Abflussscheitel am Pegel Deggendorf verringert sich dadurch auf 3.154 m³/s.

Unterstrom des Pegels Deggendorf liegen dann noch die ungesteuerten Rückhalteräume Fischerdorf/Isar, Isarmünd, Forstern und Gundelau/Auterwörth. Deutlich auffälliger ist hier jedoch die Auswirkung der Isar auf den Donauscheitel. Unterstrom der Mündung der Isar, mit einem Isarscheitel von 1.295 m³/s, ist die Hochwasserwelle der Donau deutlich isargeprägt. Der Abflussscheitel von 4.197 m³/s am Pegel Hofkirchen überschreitet nun das HQ₁₀₀ (4.100 m³/s). Insgesamt wird das HQ₁₀₀ für 34 Stunden übertroffen.

Flutpoldervarianten

Für den isarbetonten Überlastfall im Donauabschnitt IV (skaliertes HW2013) werden als Planzustände (PZ) zwei Flutpoldervarianten simuliert:

- Ö: PZ mit überregionalem Einsatzfall (vorgeschaltete Steuerung) nur des Flutpolders Öberauer Schleife (Volumen des Flutpolders: 14 Mio. m³)
- EWÖ: PZ mit überregionalem Einsatzfall (vorgeschaltete Steuerung) aller drei Flutpolder Eltheim, Wörthhof und Öberauer Schleife (kombiniertes Gesamtvolumen der Flutpolder: 44,5 Mio. m³)

Eine lokale Steuerung mit horizontaler Kappung an den Flutpoldern ist hier nicht notwendig, da ein Überlastfall erst mit dem Abflussscheitel der Isar eintritt und die Abflussscheitel im Donauabschnitt III noch unter dem 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. Die Füllung der Flutpolder startet erst dann, wenn der Abfluss am Pegel Straubing so hoch ist wie zum Zeitpunkt der letzten Aktivierung der Rückhalteräume zwischen Straubing und Deggendorf im BZ. Damit wird sichergestellt, dass alle Rückhalteräume zwischen Straubing und Isarmündung bereits aktiviert sind, bevor am Pegel Straubing die Abflussminderung durch die Flutpolder einsetzt.

Tabelle 6 zeigt die Kenndaten der Steuerung der einzelnen Flutpolder.

Tabelle 6: Zeitliche überregionale Steuerung der Flutpolder Eltheim, Wörthhof und Öberauer Schleife beim isarbetonten Überlastfall im Donauabschnitt IV (skaliertes HW2013)

Flutpolder	Startzeitpunkt Füllung	Konstanter Zufluss
Eltheim	$t = 111 \text{ h}$	$174 \text{ m}^3/\text{s}$
Wörthhof	$t = 111 \text{ h}$	$178 \text{ m}^3/\text{s}$
Öberauer Schleife	$t = 111,5 \text{ h}$	$160 \text{ m}^3/\text{s}$

Der resultierende lokale Einfluss der überregional gesteuerten Flutpolder auf das isarbetonte Hochwasserereignis am Pegel Straubing ist in Abbildung 7 dargestellt. Anders als die lokale Steuerung der Flutpolder beim $HQ_{100}+15\%$ im Donauabschnitt III in Abbildung 3 wird 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. Dennoch wird auch lokal eine Scheitelreduktion durch die überregionale Steuerung erzielt. So verringert der Einsatz der Öberauer Schleife den Scheitel der Donau 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 am Pegel Straubing 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.

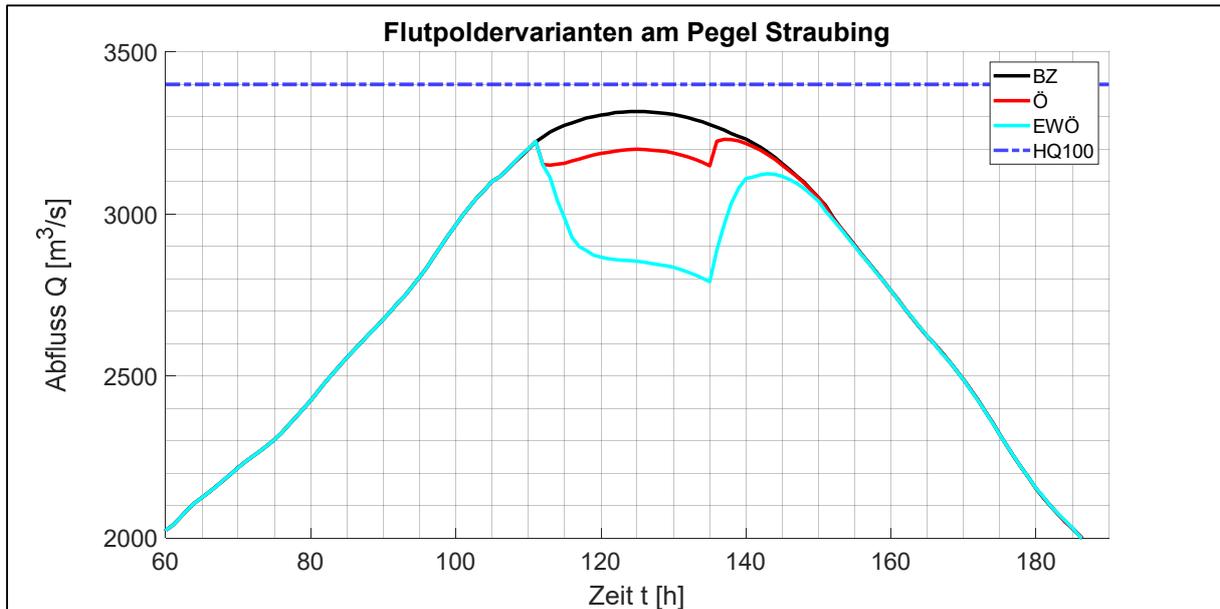


Abbildung 7: Ganglinien der Flutpoldervarianten Ö und EWÖ und des BZ am Pegel Straubing für den isarbetonten Überlastfall im Donauabschnitt IV (skaliertes HW2013)

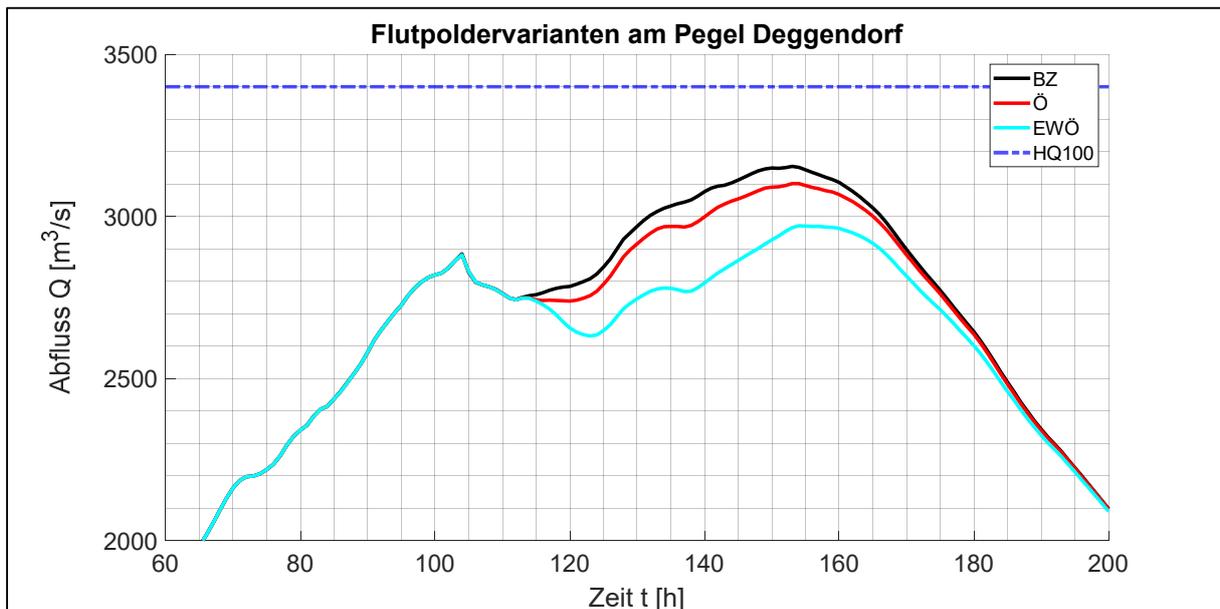


Abbildung 8: Ganglinien der Flutpoldervarianten Ö und EWÖ und des BZ am Pegel Deggendorf für den isarbetonten Überlastfall im Donauabschnitt IV (skaliertes HW2013)

Abbildung 8 zeigt die Abflussganglinien für die Flutpoldervarianten Ö und EWÖ im Vergleich zum BZ am Pegel Deggendorf. Die Rückhalteräume werden wie im BZ über die erodierbaren Deiche gefüllt. Erst nach deren Aktivierung ist der Einfluss der Flutpolder sichtbar (ab $t = 114$ h). Die durch die Flutpolder entstandenen Abflusssenkungen in der Donauganglinie sind am Pegel Deggendorf bereits deutlich verformt; sie sind weniger tief, dafür jedoch breiter geworden.

Abschlussbericht Weitergehende Untersuchungen, Februar 2021

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 $2.971 \text{ m}^3/\text{s}$.

Abbildung 9 zeigt die Abflussganglinien für die Flutpoldervarianten Ö und EWÖ im Vergleich zum BZ am Pegel Hofkirchen. Die Wirkung der geplanten Rückhalteräume zwischen Straubing und Hofkirchen ist vor allem im ansteigenden Ast der Hochwasserwelle im Bereich $90 \text{ h} < t < 120 \text{ h}$ erkennbar. Der durch die Isarmündung geprägte neue Hochwasserscheitel am Pegel Hofkirchen ist jedoch weniger stark dadurch beeinflusst, da bei diesen hohen Abflüssen die Rückhalteräume bereits weitgehend gefüllt sind.

Im Scheitelbereich entfaltet jedoch die vorgeschaltete Flutpoldersteuerung ihre Wirkung, so dass am Pegel Hofkirchen eine deutliche Reduzierung des Abflusses erkennbar ist.

Als absolute Wirkung verringert die Variante Ö den Abflussscheitel am Pegel Hofkirchen um $64 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. relativ um $1,5 \%$ auf $4.133 \text{ m}^3/\text{s}$. Dies liegt noch knapp über einem HQ_{100} am Pegel Hofkirchen ($4.100 \text{ m}^3/\text{s}$), welches insgesamt noch 16 Stunden lang überschritten wird.

Die Variante EWÖ reduziert den Abflussscheitel am Pegel Hofkirchen um $204 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $4,9 \%$ auf $3.993 \text{ m}^3/\text{s}$. Damit kann hier durch den Flutpoldereinsatz die Überschreitung des HQ_{100} verhindert werden.

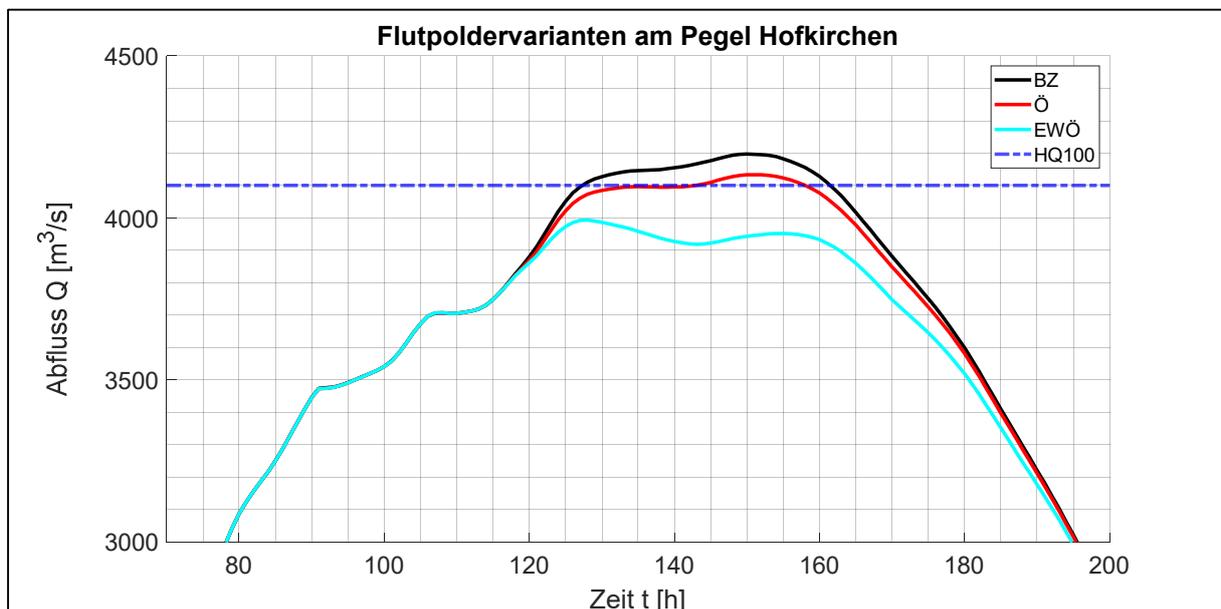


Abbildung 9: Ganglinien der Flutpoldervarianten Ö und EWÖ und des BZ am Pegel Hofkirchen für den isarbetonten Überlastfall im Donauabschnitt IV (skaliertes HW2013)

Tabelle 7 zeigt eine komplette Übersicht über die absoluten und relativen Abflussscheitelreduktionen an allen ausgewerteten Pegeln im Bereich Straubing bis Achleiten für das isarbetonte Ereignis mit Überlastfall im Donauabschnitt IV. Zur Vollständigkeit werden auch die Pegel nach der Innmündung aufgelistet (siehe hierzu auch Anhang 2).

Tabelle 7: Vergleich der Flutpoldervarianten Ö und EWÖ mit dem BZ an allen ausgewerteten Pegeln im Bereich Straubing bis Achleiten für den isarbetonten Überlastfall im Donauabschnitt IV (skaliertes HW2013). An den Pegeln Pfelling und Hofkirchen ist zusätzlich die Senkung des maximalen Wasserstandes aufgezeigt.

	BZ	Ö	EWÖ
	ohne Flutpolder	rd. 14 Mio. m ³ Rückhalt	rd. 44,5 Mio. m ³ Rückhalt
Pegel Straubing			
Q(max) [m ³ /s]	3.316	3.231	3.223
dQ(max) [m ³ /s]	-	85	93
dQ(max) [%]	-	2,6	2,8
Pegel Pfelling*			
Q(max) [m ³ /s]	3.149	3.096	3.014
dQ(max) [m ³ /s]	-	53	135
dQ(max) [%]	-	1,7	4,3
dW(max) [cm]	-	5-10	20-25
Pegel Deggendorf			
Q(max) [m ³ /s]	3.154	3.101	2.971
dQ(max) [m ³ /s]	-	53	183
dQ(max) [%]	-	1,7	5,8
Pegel Niederalteich			
Q(max) [m ³ /s]	4.191	4.128	4.018
dQ(max) [m ³ /s]	-	63	173
dQ(max) [%]	-	1,5	4,1
Pegel Hofkirchen			
Q(max) [m ³ /s]	4.197	4.133	3.993
dQ(max) [m ³ /s]	-	64	204
dQ(max) [%]	-	1,5	4,9
dW(max) [cm]	-	5-10	15-20
Pegel Vilshofen			
Q(max) [m ³ /s]	4.158	4.104	3.977
dQ(max) [m ³ /s]	-	54	181
dQ(max) [%]	-	1,3	4,4
Pegel Passau Donau			
Q(max) [m ³ /s]	4.315	4.277	4.206
dQ(max) [m ³ /s]	-	38	109
dQ(max) [%]	-	0,9	2,5
Pegel Passau Ilzstadt			
Q(max) [m ³ /s]	10.614	10.613	10.613
dQ(max) [m ³ /s]	-	1	1
dQ(max) [%]	-	0,0	0,0

	BZ	Ö	EWÖ
	ohne Flutpolder	rd. 14 Mio. m ³ Rückhalt	rd. 44,5 Mio. m ³ Rückhalt
Pegel Achleiten			
Q(max) [m ³ /s]	10.626	10.625	10.625
dQ(max) [m ³ /s]	-	1	1
dQ(max) [%]	-	0,0	0,0

*Der Pegel Pfelling erfasst nur einen Teilabfluss, da der Pegel bei großen Hochwasserereignissen umläufig ist.

3.1.2 Simulationen mit vier synthetischen HW-Ereignissen mit weiteren Überlastfällen im Donauabschnitt III

3.1.2.1 E083

Das Ereignis E083 verzeichnet am Pegel Kelheim einen Abflussscheitel von 2.064 m³/s. Durch die seitlichen Zuflüsse von Altmühl (466 m³/s), Naab (497 m³/s) und Regen (764 m³/s) erhöht sich der Abflussscheitel am Pegel Schwabelweis auf 3.509 m³/s; das HQ₁₀₀ wird für 18 Stunden überschritten (siehe Abbildung 10).

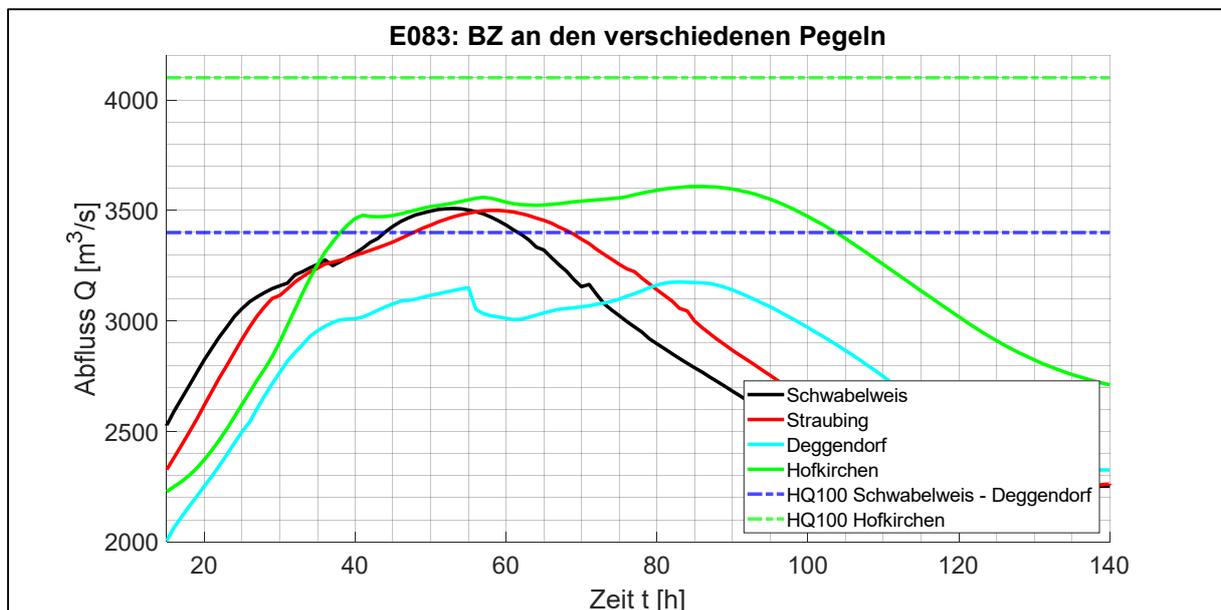


Abbildung 10: Ganglinien des Ereignisses E083 an den Pegeln Schwabelweis, Straubing, Deggendorf und Hofkirchen im BZ mit dem jeweiligen HQ₁₀₀

Da die Öberauer Schleife im BZ bei diesem Ereignis noch nicht stark beansprucht ist, verändert sich der Scheitelabfluss nur geringfügig bis zum Pegel Straubing auf 3.500 m³/s; das HQ₁₀₀ wird für 21 Stunden überschritten.

Abschlussbericht Weitergehende Untersuchungen, Februar 2021

Am Pegel Deggendorf zeigt sich die sehr gute Wirkung der geplanten Rückhalteräume Parkstetten/Reibersdorf, Sand-Irlbach, Schwarzach und Steinkirchen bei Hochwasserwellen im Bereich des HQ_{100} . So liegt in Deggendorf der Abflussscheitel nur noch bei $3.177 \text{ m}^3/\text{s}$ und damit deutlich unter dem HQ_{100} .

Die Isar hat beim Ereignis E083 einen Abflussscheitel von $688 \text{ m}^3/\text{s}$ und kann damit nicht einen erneuten Überlastfall in der Donau verursachen. Am Pegel Hofkirchen ist der Abflussscheitel bei $3.608 \text{ m}^3/\text{s}$.

Da E083 nur einem leichten Überlastfall entspricht, werden nicht alle Flutpolder im PZ aktiviert. Der Einsatz des Flutpolders Eltheim alleine reicht 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_{100} kommt, wird außerdem noch der Flutpolder Öberauer Schleife aktiviert. Somit ergibt sich für die Flutpoldervariante EÖ am Pegel Straubing eine Reduktion des Abflussscheitels um $226 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $6,5 \%$ auf $3.274 \text{ m}^3/\text{s}$ (siehe Abbildung 11).

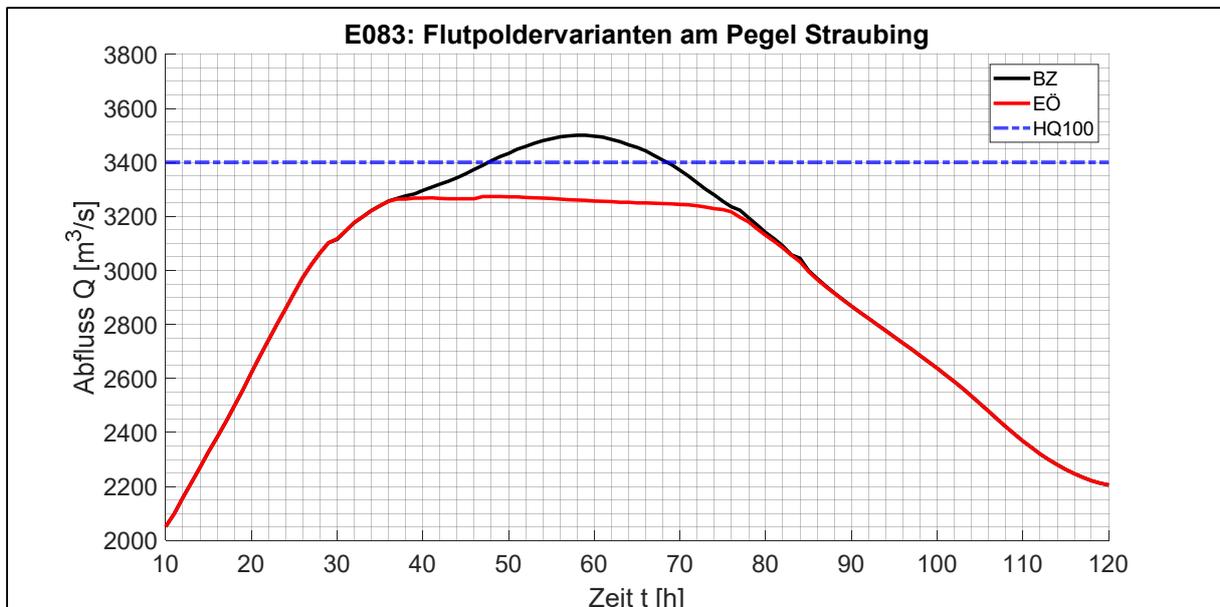


Abbildung 11: Ganglinien der Flutpoldervariante EÖ und des BZ am Pegel Straubing für das Ereignis E083

Zwischen dem Pegel Straubing und dem Pegel Deggendorf wird der Rückhalteraum Steinkirchen im PZ im Gegensatz zum BZ nicht aktiviert. Da der Rückhalteraum Steinkirchen ein sehr großes Retentionsvolumen von ca. 21 Mio. m^3 umfasst und im BZ eine sehr gute Wirkung zeigt, ist am Pegel Deggendorf die Wirkung der Flutpoldervariante EÖ deutlich herabgesetzt. So wird der Abflussscheitel nur noch um $34 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $1,1 \%$ auf $3.143 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert (siehe Abbildung 12).

Am Pegel Hofkirchen kommt es zu dem besonderen Umstand, dass der Abflussscheitel mit der Flutpoldervariante EÖ mit $3.620 \text{ m}^3/\text{s}$ leicht höher ist als im BZ mit $3.608 \text{ m}^3/\text{s}$ (siehe Abbildung 13). Dies liegt auch wieder daran, dass im PZ der Rückhalteraum Steinkirchen nicht

aktiviert wird. Eine Notwendigkeit seines Einsatzes besteht auch nicht, da weder die Aktivierungsschwelle von rd. HQ_{50} erreicht wird noch im Donauabschnitt IV ein Überlastfall auftritt. Die Erhöhung des Scheitels um $12 \text{ m}^3/\text{s}$ ist auch nur sehr geringfügig und verschärft die Hochwassersituation am Pegel Hofkirchen nicht. Der Rückhalteraum Steinkirchen würde dennoch bei Bedarf im PZ als Rückhalteoption zu Verfügung stehen.

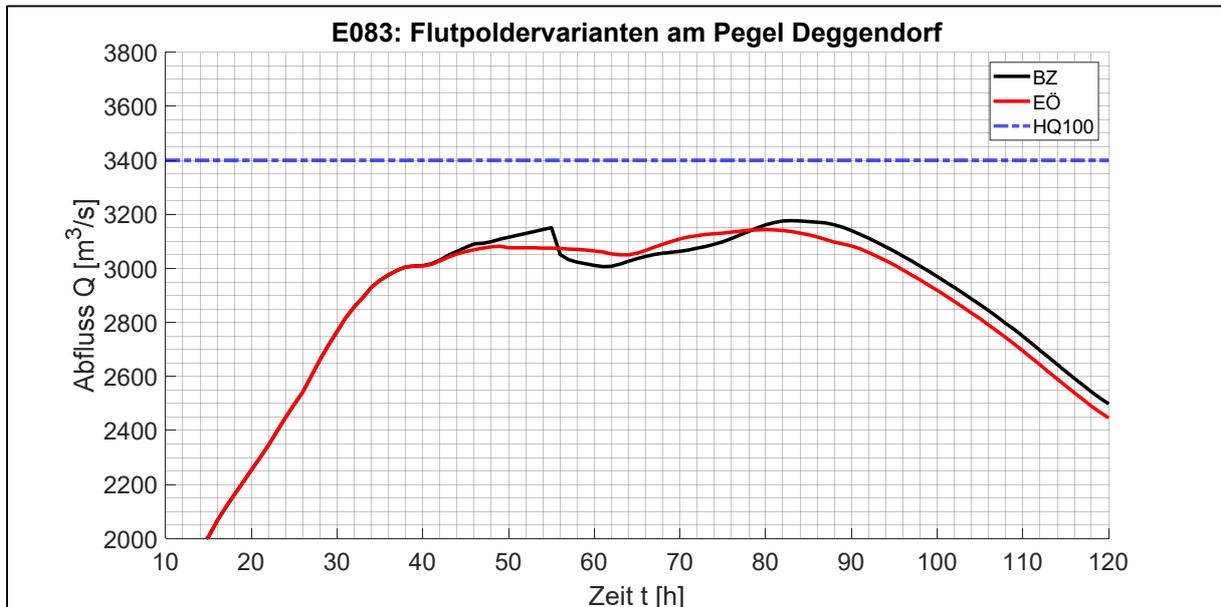


Abbildung 12: Ganglinien der Flutpoldervariante EÖ und des BZ am Pegel Deggendorf für das Ereignis E083

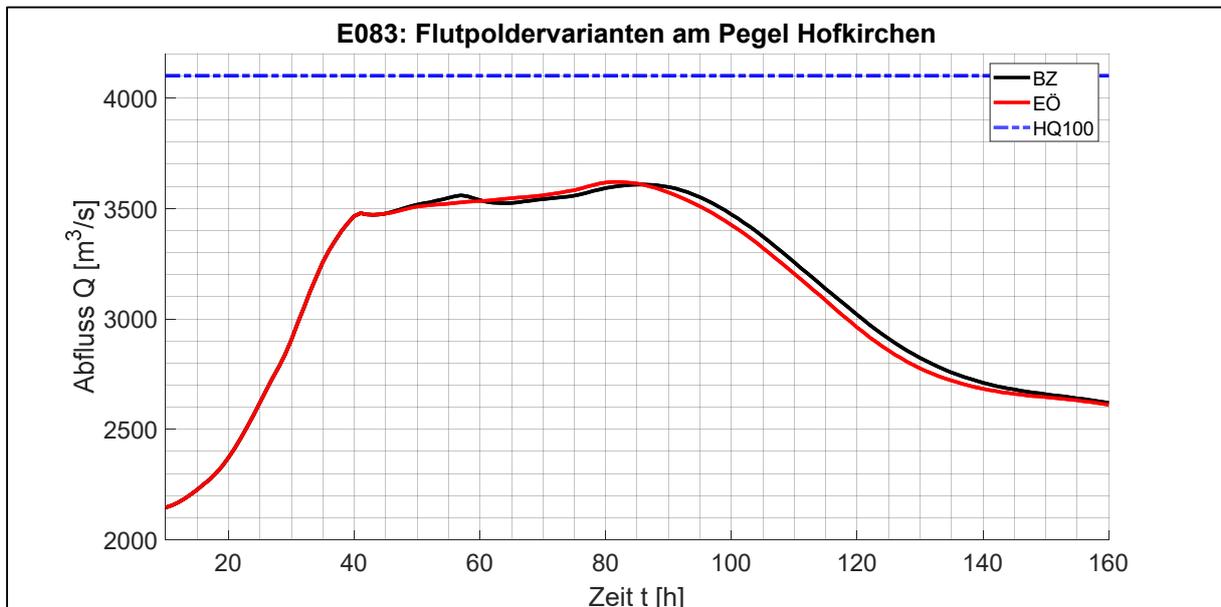


Abbildung 13: Ganglinien der Flutpoldervariante EÖ und des BZ am Pegel Hofkirchen für das Ereignis E083

3.1.2.2 E144

Das Ereignis E144 hat am Pegel Kelheim noch eine relativ geringe Jährlichkeit und unterschreitet mit einem Abflussscheitel von $1.556 \text{ m}^3/\text{s}$ das HQ_{10} . Durch hohe Scheitel von Altmühl ($363 \text{ m}^3/\text{s}$), Regen ($532 \text{ m}^3/\text{s}$) und vor allem Naab ($1.122 \text{ m}^3/\text{s}$) entwickelt sich dann jedoch am Pegel Schwabelweis ein Abflussscheitel von $3.602 \text{ m}^3/\text{s}$. Insgesamt wird das HQ_{100} 19 Stunden lang überschritten. Die Abflussganglinie am Pegel Schwabelweis ist gemeinsam mit den Ganglinien an den Pegeln Straubing, Deggendorf und Hofkirchen in Abbildung 14 dargestellt.

Am Pegel Straubing wird der Scheitel der Donau durch die unkontrollierte Flutung der Öberauer Schleife im BZ ein wenig gekappt und aufgeweitet. Der maximale Abfluss ist $3.538 \text{ m}^3/\text{s}$ und das HQ_{100} wird 18 Stunden lang übertroffen.

Stromabwärts von Straubing senken die ungesteuerten Rückhalteräume Parkstetten/Reibersdorf, Sand-Irlbach und Schwarzach bis zum Pegel Deggendorf den Donauscheitel auf einen Wert von $3.198 \text{ m}^3/\text{s}$. Damit wird am Pegel Deggendorf kein HQ_{100} erreicht. Der Rückhalteraum Steinkirchen wird nicht aktiviert im BZ.

Der Zufluss der Isar hat einen Abflussscheitel von $607 \text{ m}^3/\text{s}$ und läuft zeitlich vor dem Donauscheitel. Durch den Einfluss der Isar wird die Hochwasserganglinie am Pegel Hofkirchen deutlich breiter, mit einem Abflussscheitel von $3.516 \text{ m}^3/\text{s}$ liegt das Ereignis jedoch nur noch zwischen einem HQ_{20} und einem HQ_{50} .

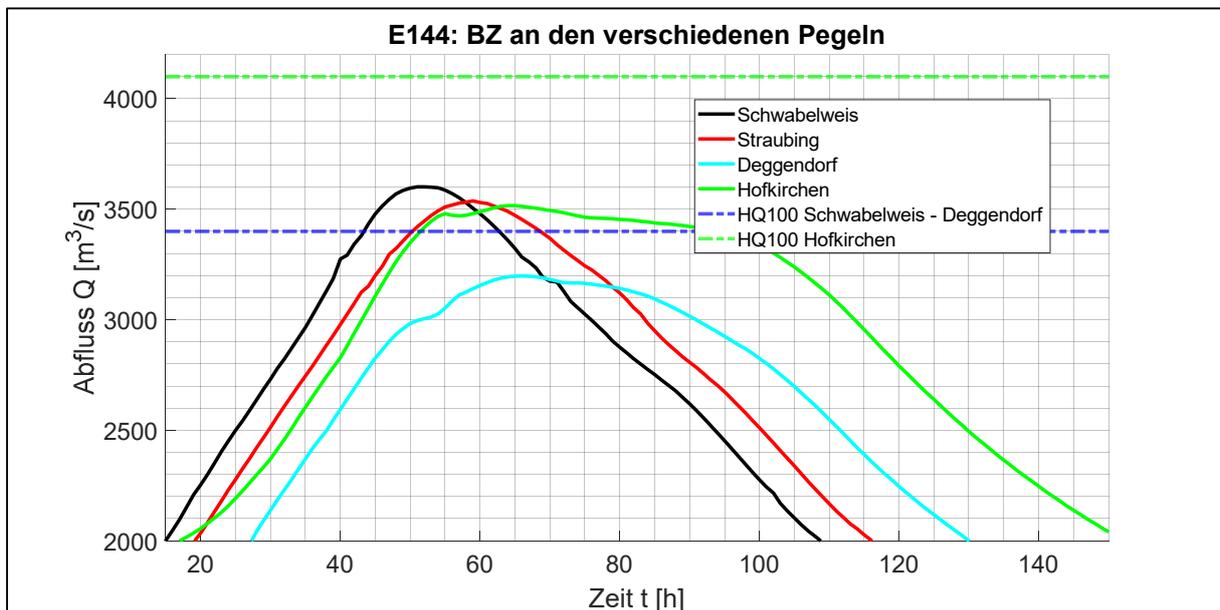


Abbildung 14: Ganglinien des Ereignisses E144 an den Pegeln Schwabelweis, Straubing, Deggendorf und Hofkirchen im BZ mit dem jeweiligen HQ_{100}

Abbildung 15 zeigt den Abfluss für den PZ am Pegel Straubing. Da mit dem Einsatz der beiden Flutpolder Eltheim und Wörthhof bereits der Überlastfall in Straubing verhindert werden kann, wird der Flutpolder Öberauer Schleife nicht aktiviert. Mit der Einsatzvariante EW wird der Abflussscheitel am Pegel Straubing um $293 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $8,3 \%$ auf $3.245 \text{ m}^3/\text{s}$ gesenkt.

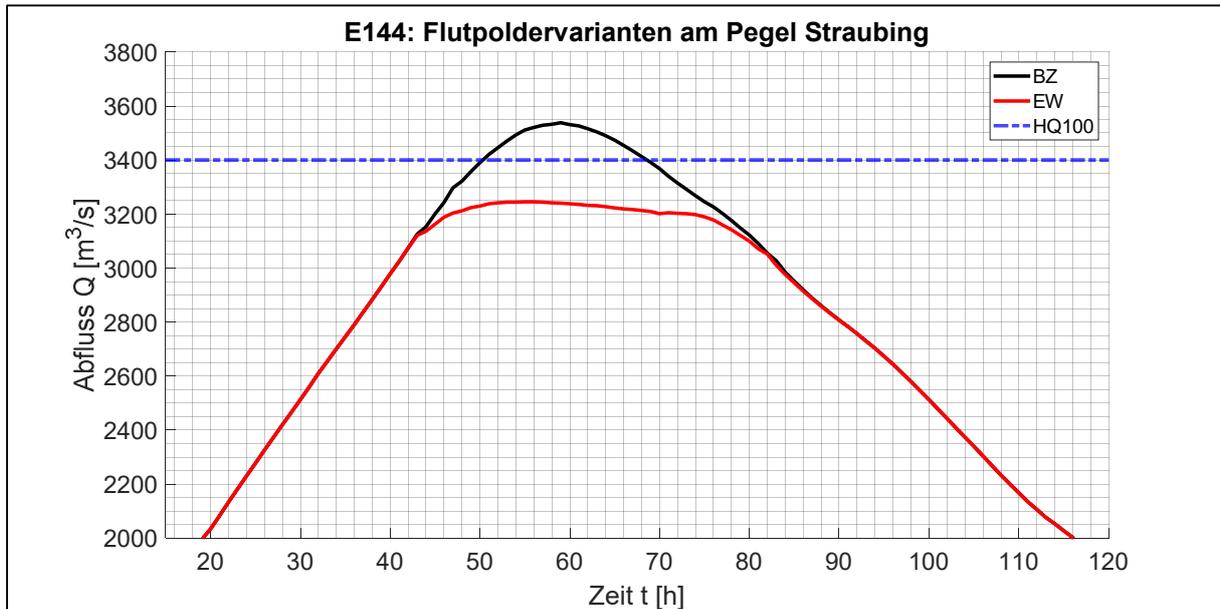


Abbildung 15: Ganglinien der Flutpoldervariante EW und des BZ am Pegel Straubing für das Ereignis E144

Im PZ wird, anders als im BZ, der ungesteuerte Rückhalteraum Schwarzach nicht aktiviert; dadurch ist die Wirkung der Variante EW am Pegel Deggendorf geringer als noch in Straubing. Am Pegel Deggendorf (siehe Abbildung 16) wird der Abflussscheitel um 123 m³/s bzw. 3,9 % reduziert und erreicht 3.075 m³/s.

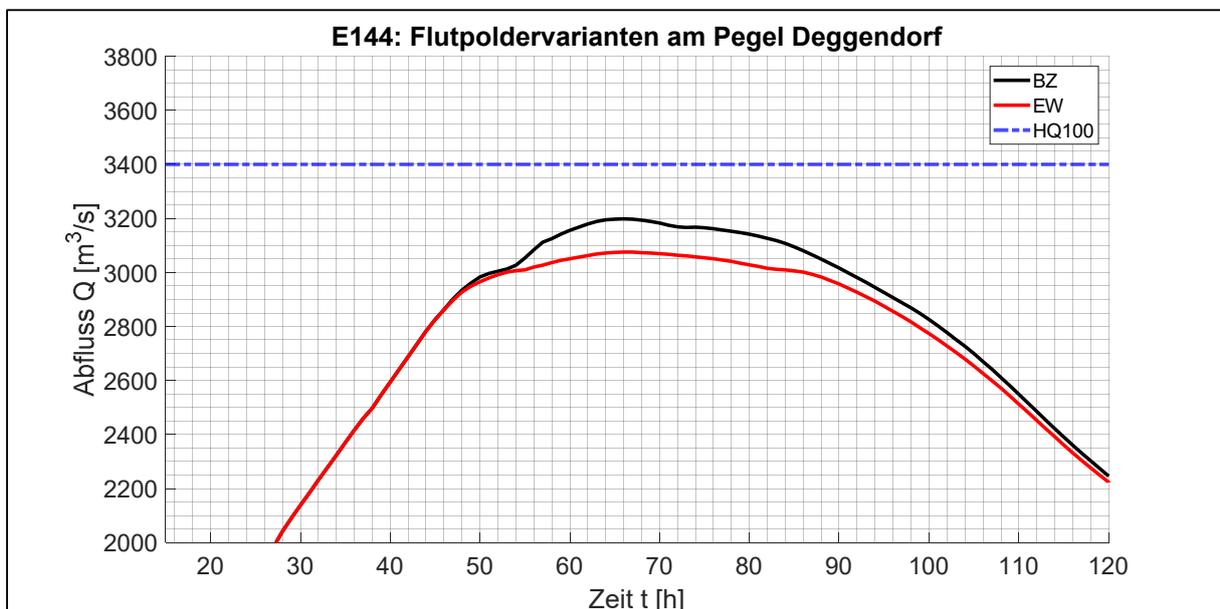


Abbildung 16: Ganglinien der Flutpoldervariante EW und des BZ am Pegel Deggendorf für das Ereignis E144

Der zeitlich vorlaufende Isarscheitel verringert die Wirkung weiter, sodass der Scheitel der Flutpoldervariante EW im Vergleich zum BZ am Pegel Hofkirchen (siehe Abbildung 17) nur noch um 37 m³/s bzw. 1,1 % auf 3.479 m³/s gesenkt wird.

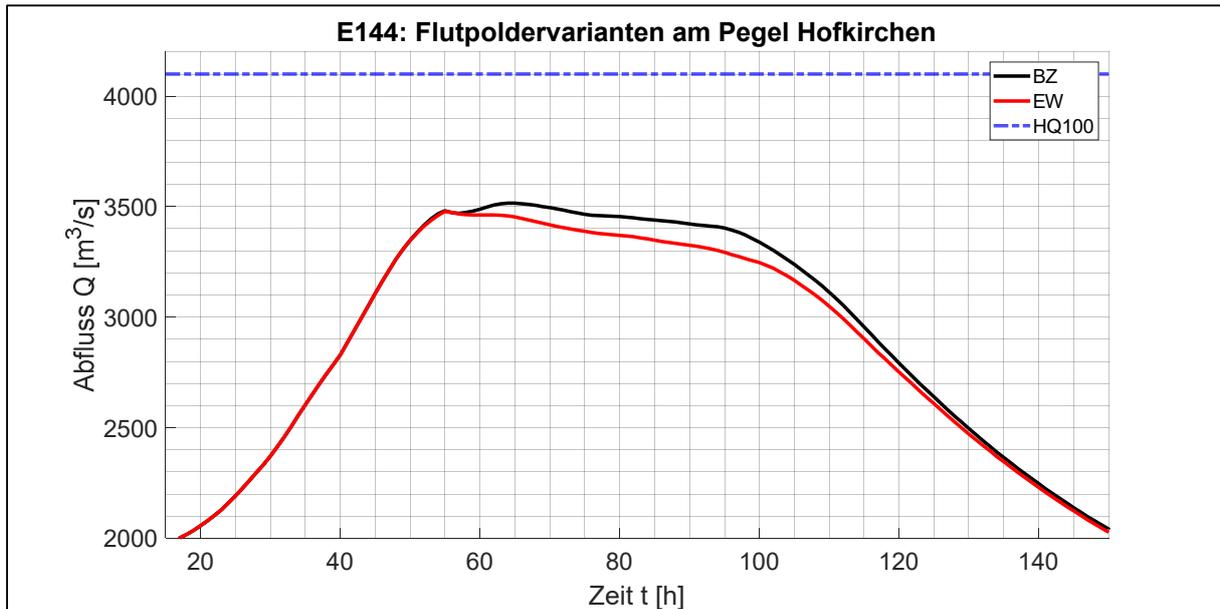


Abbildung 17: Ganglinien der Flutpoldervariante EW und des BZ am Pegel Hofkirchen für das Ereignis E144

3.1.2.3 E249

Das Ereignis E249 hat am Pegel Kelheim einen Scheitel von $2.284 \text{ m}^3/\text{s}$. Dies überschreitet das lokale HQ_{100} von $2.200 \text{ m}^3/\text{s}$. Mit einer Flutpolderaktivierung von Großmehring oder Katzau im Donauabschnitt II könnte am Pegel Kelheim vermutlich die Überschreitung des HQ_{100} verhindert werden. Die Untersuchungen mit dem Ereignis E249 werden jedoch trotzdem mit dem leichten Überlastfall am Pegel Kelheim durchgeführt.

Die Altmühl (Abflussscheitel $256 \text{ m}^3/\text{s}$) und Naab (Abflussscheitel $525 \text{ m}^3/\text{s}$) haben bei E249 sehr breite Hochwasserwellen, der Regen hat zwei Abflussspitzen und ist mit einem Abflussscheitel von $780 \text{ m}^3/\text{s}$ am prägendsten. Somit wird am Pegel Schwabelweis mit einem Abflussscheitel von $3.807 \text{ m}^3/\text{s}$ ein HQ_{200} überboten. Insgesamt wird das HQ_{100} 30 Stunden lang überschritten. Die Ganglinien an den Pegeln Schwabelweis, Straubing, Pfelling und Hofkirchen für den BZ sind in Abbildung 18 dargestellt.

Die unkontrollierte Flutung der Öberauer Schleife im BZ senkt den Abflussscheitel in Straubing auf $3.698 \text{ m}^3/\text{s}$; dadurch ist das Ereignis in Straubing niedriger als ein HQ_{200} . Die Öberauer Schleife verbreitert den Scheitel jedoch auch, sodass die Welle das HQ_{100} 32 Stunden lang übertrifft.

Bis zum Pegel Deggendorf werden die geplanten Rückhalteräume Parkstetten/Reibersdorf, Sand-Irlbach, Schwarzach und Steinkirchen aktiviert, sodass der Abflussscheitel noch $3.359 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt und das Hochwasser kein HQ_{100} mehr erreicht.

Die Isar hat beim Ereignis E249 einen Abflussscheitel von $621 \text{ m}^3/\text{s}$ und verschärft das Hochwasser nicht weiter. Dadurch liegt am Pegel Hofkirchen mit einem Abflussscheitel von $3.632 \text{ m}^3/\text{s}$ etwa ein HQ_{50} vor.

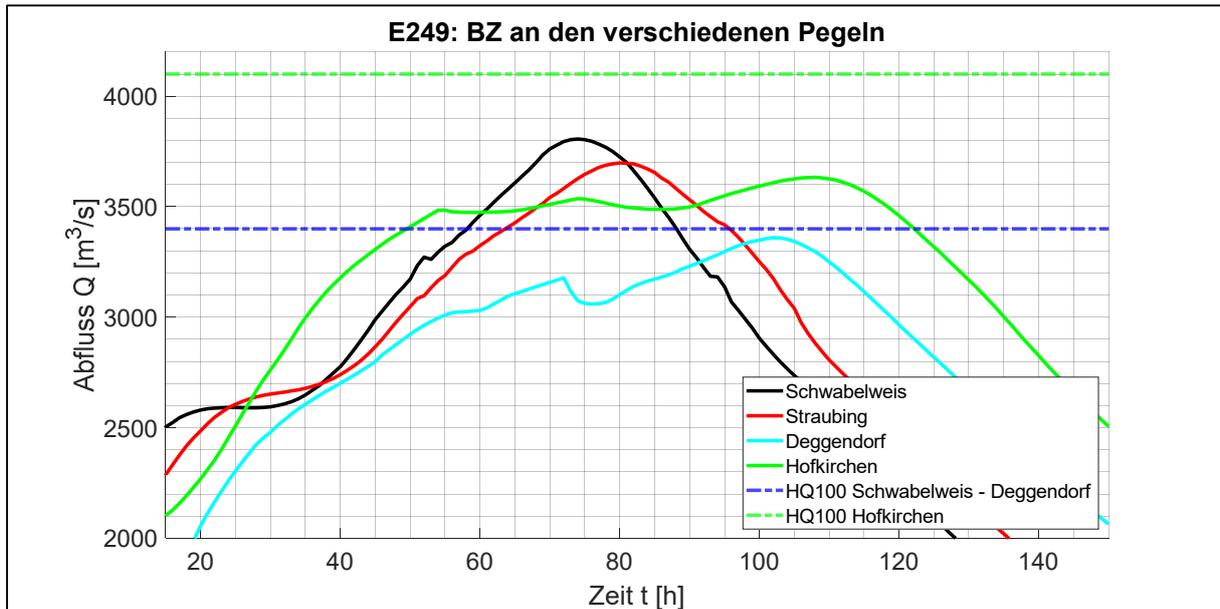


Abbildung 18: Ganglinien des Ereignisses E249 an den Pegeln Schwabelweis, Straubing, Deggendorf und Hofkirchen im BZ mit dem jeweiligen HQ_{100}

Aufgrund des hohen Abflussscheitels in Schwabelweis werden alle drei Flutpolder im Donauabschnitt III (Eltheim, Wörthhof und Öberauer Schleife) aktiviert. Die daraus resultierende Ganglinie am Pegel Straubing ist in Abbildung 19 ausgeführt. Am Pegel Straubing wird der Abflussscheitel um $364 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $9,8 \%$ auf $3.334 \text{ m}^3/\text{s}$ gesenkt. Hierdurch wird ein Überlastfall in Straubing verhindert.

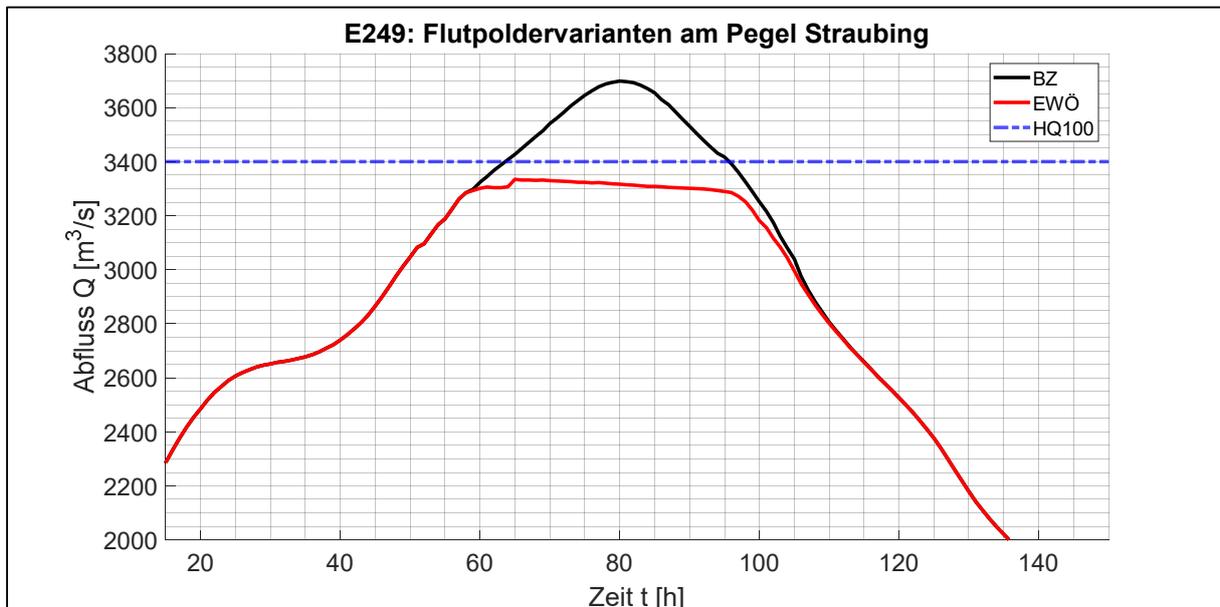


Abbildung 19: Ganglinien der Flutpoldervariante EWÖ und des BZ am Pegel Straubing für das Ereignis E249

Im PZ verringert sich die Wirkung der Flutpoldervariante am Pegel Deggendorf. Dies ist u. a. darin begründet, dass bereits der erste im BZ erkennbare lokale Abflussscheitel (bei $t = 72 \text{ h}$

Abschlussbericht Weitergehende Untersuchungen, Februar 2021

in Abbildung 20) im PZ gekappt und somit der Rückhalteraum Steinkirchen im PZ nicht aktiviert wird, wodurch die im BZ nach $t = 74$ h auftretende Abflusssenke im PZ nicht entsteht. Der zweite und höhere Abflussscheitel im BZ bei $t = 102$ h wird im PZ um $144 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $4,3 \%$ auf $3.215 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert. Auch hier würde im PZ der gesteuerte Rückhalteraum Steinkirchen noch als Option zur Verfügung stehen. Die Notwendigkeit eines Einsatzes ist aber beim Ereignis E249 nicht gegeben.

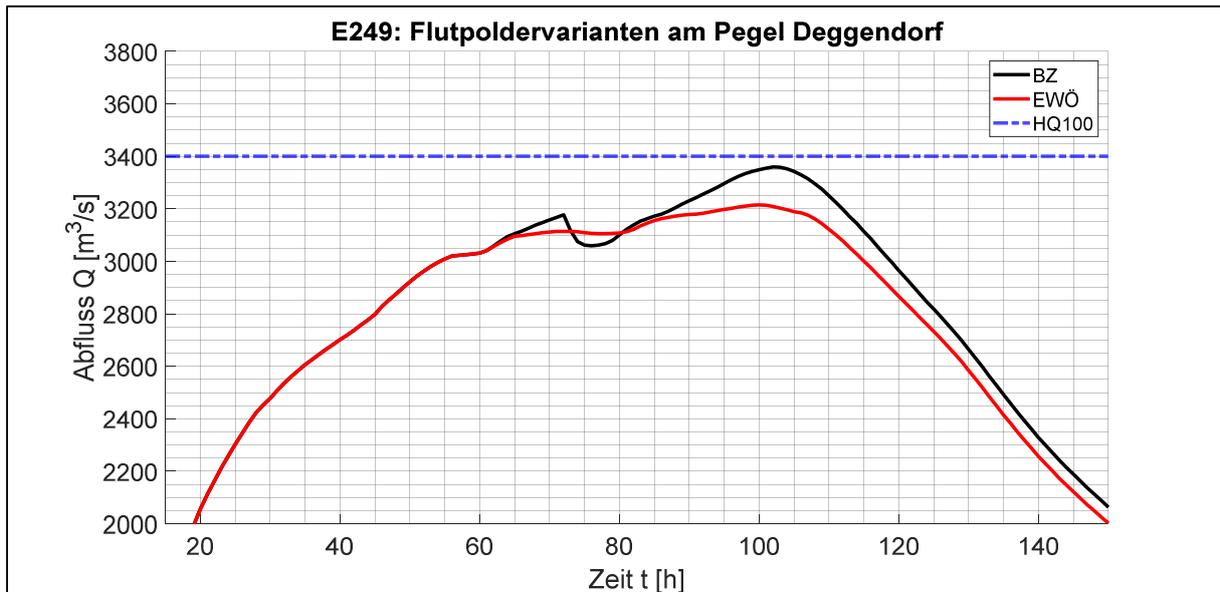


Abbildung 20: Ganglinien der Flutpoldervariante EWÖ und des BZ am Pegel Deggendorf für das Ereignis E249

Am Pegel Hofkirchen liegt eine nahezu horizontale Abflusskappung vor mit einem Scheitel von $3.525 \text{ m}^3/\text{s}$ (siehe Abbildung 21). Dies entspricht einer Reduktion von $107 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $2,9 \%$.

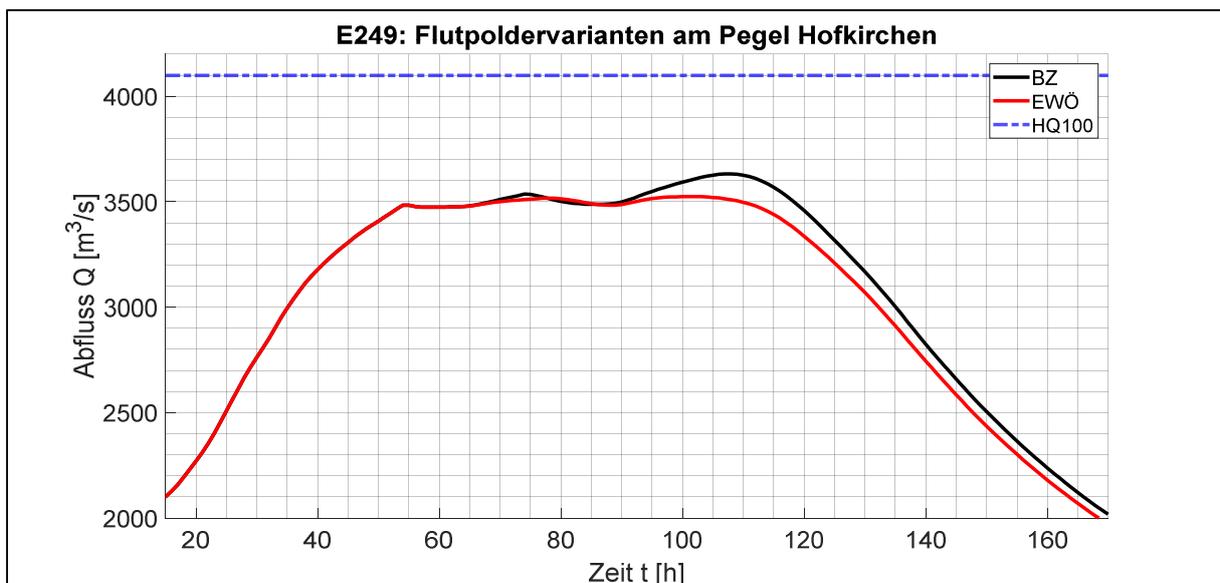


Abbildung 21: Ganglinien der Flutpoldervariante EWÖ und des BZ am Pegel Hofkirchen für das Ereignis E249

3.1.2.4 E309

Das Ereignis E309 hat am Pegel Kelheim einen Abflussscheitel von $2.035 \text{ m}^3/\text{s}$ und ist damit geringer als ein HQ_{100} . Die hohen Abflussscheitel von Altmühl ($421 \text{ m}^3/\text{s}$), Naab ($753 \text{ m}^3/\text{s}$) und Regen ($751 \text{ m}^3/\text{s}$) treffen jedoch alle zeitnah auf den Abflussscheitel der Donau und verursachen dadurch am Pegel Schwabelweis einen Abflussscheitel von $3.826 \text{ m}^3/\text{s}$ (zwischen HQ_{200} und HQ_{300}); insgesamt wird das HQ_{100} am Pegel Schwabelweis für 32 Stunden überschritten (siehe Abbildung 22).

Am Pegel Straubing wird durch die unkontrollierte Flutung der Öberauer Schleife im BZ der Abflussscheitel bereits auf $3.749 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert. Dafür wird die Hochwasserwelle verbreitert und das HQ_{100} in Straubing für 36 Stunden überschritten.

Durch den Einfluss der geplanten Rückhalteräume zwischen Straubing und Deggendorf wird der Abfluss am Pegel Deggendorf schon beinahe auf ein HQ_{100} reduziert; der Abflussscheitel liegt bei $3.442 \text{ m}^3/\text{s}$. Insgesamt wird das HQ_{100} für einen Zeitraum von 11 Stunden überschritten.

Der Abflussscheitel der Isar liegt beim Ereignis E309 bei $699 \text{ m}^3/\text{s}$ und verursacht keinen neuen Überlastfall am Pegel Hofkirchen. Mit einem Abflussscheitel von $3.863 \text{ m}^3/\text{s}$ liegt das Ereignis E309 am Pegel Hofkirchen zwischen einem HQ_{50} und einem HQ_{100} .

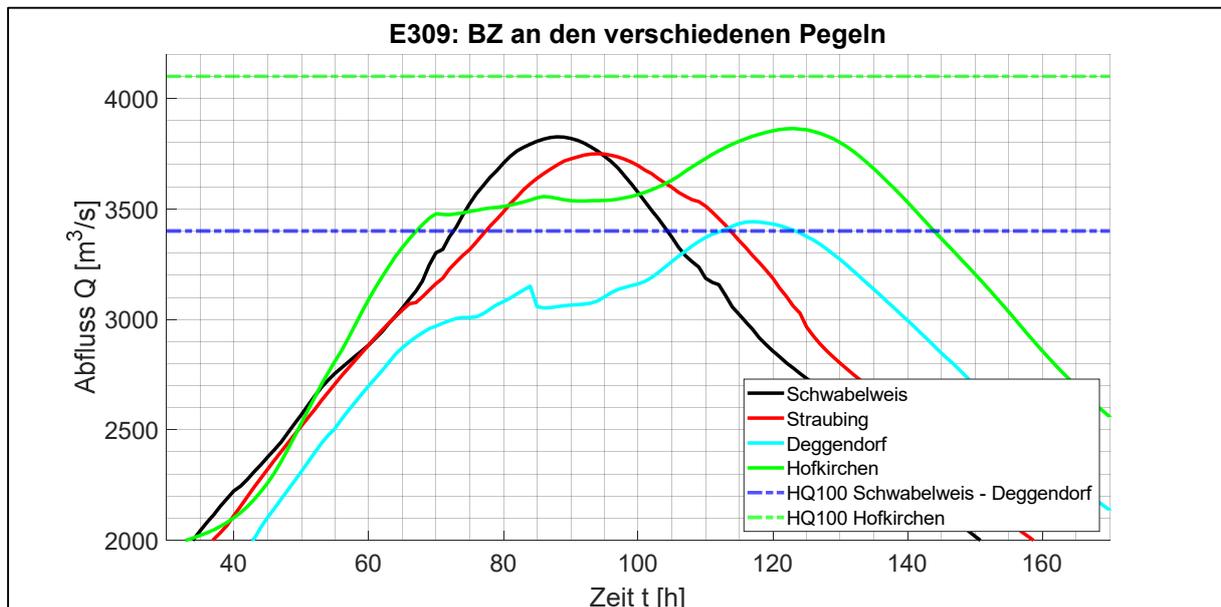


Abbildung 22: Ganglinien des Ereignisses E309 an den Pegeln Schwabelweis, Straubing, Deggendorf und Hofkirchen im BZ mit dem jeweiligen HQ_{100}

Der hohe Abflussscheitel am Pegel Schwabelweis erfordert einen Einsatz von allen drei Flutpoldern (Variante EWÖ) zwischen Regensburg und Straubing. Hierdurch kann am Pegel Straubing der Abflussscheitel um $321 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $8,6 \%$ auf $3.428 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert werden (siehe Abbildung 23). Damit liegt der Abflussscheitel nur noch knapp über dem HQ_{100} , welches nur noch für 10 Stunden überschritten wird.

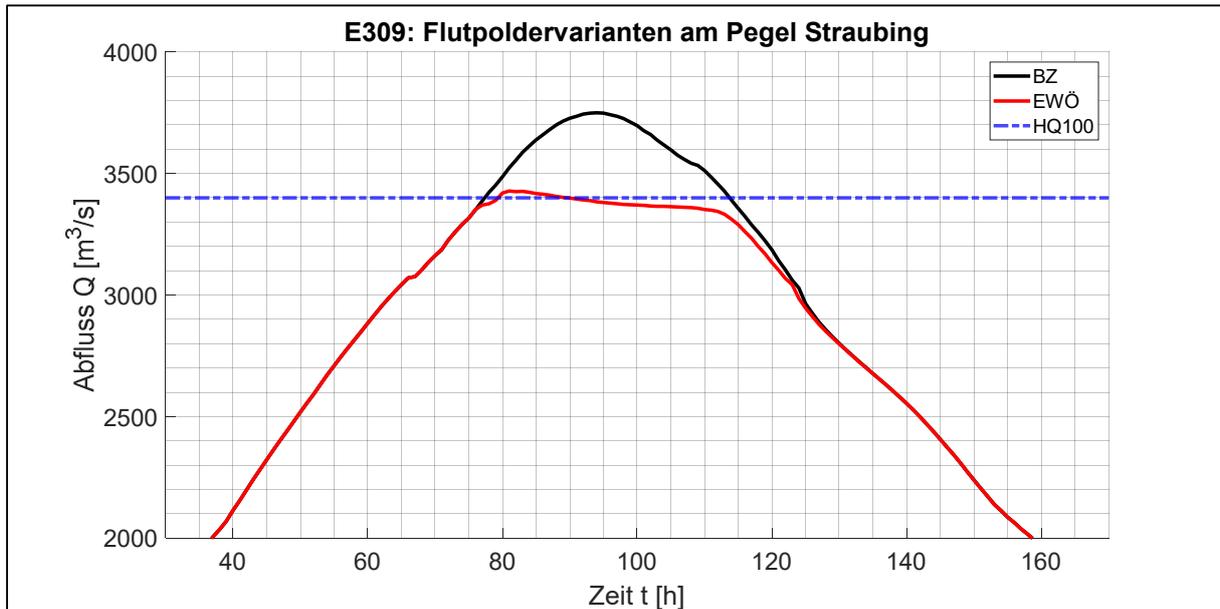


Abbildung 23: Ganglinien der Flutpoldervariante EWÖ und des BZ am Pegel Straubing für das Ereignis E309

Auch im PZ werden zwischen Straubing und Deggendorf alle geplanten Rückhalteräume aktiviert. Abbildung 24 zeigt, wie durch die Flutpoldervariante die Rückhalteräume verzögert aktiviert werden, da die Aktivierungswasserstände erst später erreicht werden. Somit macht sich die Abflusssenke durch den Rückhalteraum Steinkirchen am Pegel Deggendorf im PZ ca. 4 Stunden später als im BZ bemerkbar ($t = 89 \text{ h}$ zu $t = 85 \text{ h}$). Der absolute Abflussscheitel am Pegel Deggendorf wird jedoch um $222 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $6,4 \%$ auf $3.220 \text{ m}^3/\text{s}$ gesenkt. Dadurch wird der Überlastfall am Pegel Deggendorf durch die Flutpoldervariante EWÖ verhindert.

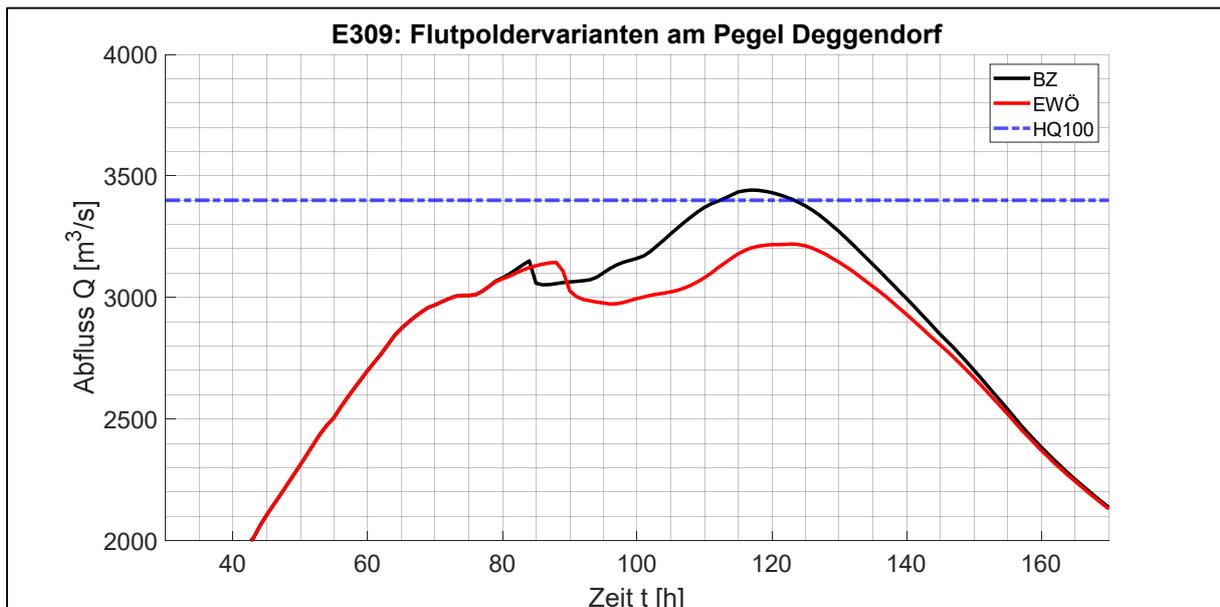


Abbildung 24: Ganglinien der Flutpoldervariante EWÖ und des BZ am Pegel Deggendorf für das Ereignis E309

Am Pegel Hofkirchen wird der Abflussscheitel um 233 m³/s bzw. 6,0 % auf 3.630 m³/s gekappt (siehe Abbildung 25). Damit wird am Pegel Hofkirchen das HQ₅₀ unterschritten.

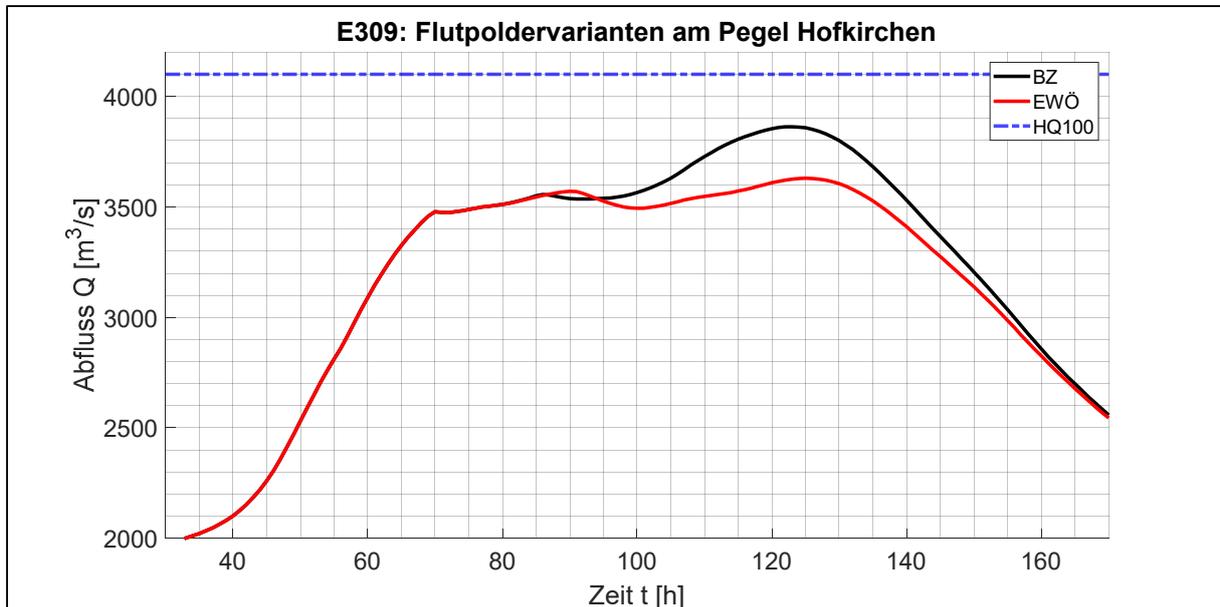


Abbildung 25: Ganglinien der Flutpoldervariante EWÖ und des BZ am Pegel Hofkirchen für das Ereignis E309

Tabelle 8 fasst die Ergebnisse der Flutpolderwirkungen für die Ereignisse E083, E144, E249 und E309 zusammen.

Tabelle 8: Vergleich der jeweiligen Flutpoldervariante im PZ mit dem BZ an allen ausgewerteten Pegeln im Bereich Straubing bis Vilshofen für die synthetischen Hochwasserereignisse E083, E144, E249 und E309. An den Pegeln Pfelling und Hofkirchen ist zusätzlich die Senkung des maximalen Wasserstandes aufgezeigt.

	E083 (PZ EÖ)	E144 (PZ EW)	E249 (PZ EWÖ)	E309 (PZ EWÖ)
Pegel Straubing				
Q(max) BZ [m ³ /s]	3.500	3.538	3.698	3.749
Q(max) PZ [m ³ /s]	3.274	3.245	3.334	3.428
dQ(max) [m ³ /s]	226	293	364	321
dQ(max) [%]	6,5	8,3	9,8	8,6
Pegel Pfelling*				
Q(max) BZ [m ³ /s]	3.329	3.244	3.513	3.547
Q(max) PZ [m ³ /s]	3.146	3.057	3.205	3.258
dQ(max) [m ³ /s]	183	187	308	289
dQ(max) [%]	5,5	5,8	8,8	8,1
dW(max) [cm]	10-15	15-20	20-25	25-30

Abschlussbericht Weitergehende Untersuchungen, Februar 2021

	E083 (PZ EÖ)	E144 (PZ EW)	E249 (PZ EWÖ)	E309 (PZ EWÖ)
Pegel Deggendorf				
Q(max) BZ [m ³ /s]	3.177	3.198	3.359	3.442
Q(max) PZ [m ³ /s]	3.143	3.075	3.215	3.220
dQ(max) [m ³ /s]	34	123	144	222
dQ(max) [%]	1,1	3,8	4,3	6,4
Pegel Niederalteich				
Q(max) BZ [m ³ /s]	3.644	3.593	3.637	3.868
Q(max) PZ [m ³ /s]	3.653	3.518	3.586	3.652
dQ(max) [m ³ /s]	-9**	75	51	216
dQ(max) [%]	-0,2**	2,1	1,4	5,6
Pegel Hofkirchen				
Q(max) BZ [m ³ /s]	3.608	3.516	3.632	3.863
Q(max) PZ [m ³ /s]	3.620	3.479	3.525	3.630
dQ(max) [m ³ /s]	-12**	37	107	233
dQ(max) [%]	-0,3**	1,1	2,9	6,0
dW(max) [cm]	-5-0**	5-10	10-15	20-25
Pegel Vilshofen				
Q(max) BZ [m ³ /s]	3.614	3.522	3.632	3.849
Q(max) PZ [m ³ /s]	3.625	3.472	3.530	3.635
dQ(max) [m ³ /s]	-11**	50	102	214
dQ(max) [%]	-0,3**	1,4	2,8	5,6

*Der Pegel Pfelling erfasst nur einen Teilabfluss, da der Pegel bei großen Hochwasserereignissen umläufig ist.

**Geringfügige Abflusserhöhung, da der RHR Steinkirchen im Planzustand nicht aktiviert wird, Volumen würde als Rückhalteoption bei Bedarf noch zur Verfügung stehen.

3.2 Wirkungsanalyse von kombinierten Flutpoldereinsätzen für synthetisch generierte großräumige Überlastfallereignisse

Bei der Wirkungsanalyse zu den synthetischen großräumigen Hochwasserereignissen (siehe Kapitel 2.2) wird das Zusammenwirken von Flutpoldern aus mehreren Donauabschnitten bei großräumigen Hochwasserereignissen untersucht. Damit kann der Wirkungsverlauf der Flutpolder entlang der gesamten bayerischen Donau dargestellt werden.

Wegen des besonderen Fokus auf die Wirkung der Flutpolder Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof werden Ereignisse ausgewählt, die insbesondere in den Donauabschnitten II und III einen Überlastfall darstellen. An den Flutpoldern der Donauabschnitte II und III wird daher auch aus Konsistenzgründen prinzipiell eine lokale Steuerung verwendet. Lediglich bei den Flutpoldern im Donauabschnitt I wird eine vorgeschaltete Steuerung angesetzt, wenn dies aus regionaler/überregionaler Sicht erforderlich und der lokale Einsatzfall nicht gegeben ist.

Für alle Ereignisse werden als Planzustände (PZ) die nachfolgend beschriebenen zwei Flutpoldervarianten im Donauabschnitt II und Donauabschnitt III – von Donauwörth bis Straubing – berechnet:

- Die Variante PZ 10 FP umfasst alle im Flutpolderprogramm Donau geplanten Flutpolder. Sie ermöglicht die Aktivierung der Flutpolder Leipheim, Helmeringen und Neugeschüttwörth im Donauabschnitt I, Bertoldsheim, Riedensheim, Großmehring und Katzau im Donauabschnitt II sowie Eltheim, Wörthhof und Oberauer Schleife im Donauabschnitt III. Insgesamt können also zehn Flutpolder geflutet werden. Bei dieser Variante stehen im Donauabschnitt I somit 40 Mio. m³ an Rückhalteraum in Flutpoldern zur Verfügung, im Abschnitt II 45,4 Mio. m³ und im Abschnitt III 44,5 Mio. m³.
- Bei der Variante PZ 7 FP entfallen die drei in Frage gestellten Standorte Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof. Somit stehen im Donauabschnitt II nur noch 27,4 Mio. m³ an Flutpoldervolumen zur Verfügung, zwischen der Lechmündung und Ingolstadt davon lediglich 8 Mio. m³. Im Donauabschnitt III verbleibt ohne die Flutpolder Eltheim und Wörthhof mit der Oberauer Schleife nur noch ein Flutpoldervolumen von 14 Mio. m³.

Somit stehen im PZ 7 FP zwischen der Lechmündung und Ingolstadt lediglich 31 % des Volumens des PZ 10 FP zur Verfügung, im gesamten Donauabschnitt II 60 %. Durch das Fehlen von Eltheim und Wörthhof stehen im PZ 7 FP im Donauabschnitt II lediglich 31 % des Gesamtvolumens des PZ 10 FP zur Verfügung.

Die Weiterberechnung der synthetischen Ereignisse unterstrom von Straubing im PZ erfolgt nur mit der Variante PZ 10 FP.

Insgesamt wird ein Ereignis entlang der kompletten Donau, von der Staustufe Oberelchingen (ca. 12 km unterhalb der Illermündung) bis zum Pegel Achleiten (ca. 2 km unterhalb der Innmündung) betrachtet (E288, Kapitel 3.2.6), zwei Ereignisse von der Staustufe Oberelchingen bis zum Pegel Vilshofen (E097, Kapitel 3.2.2 und E265, Kapitel 3.2.4) und drei Ereignisse von der Staustufe Oberelchingen bis zum Pegel Straubing (E008, Kapitel 3.2.1, E115, Kapitel 3.2.3 und E271, Kapitel 3.2.5). Eine genauere Beschreibung der Hydrologie wird zu jedem Ereignis einzeln gegeben.

Einige dieser Ereignisse weisen in einzelnen Bereichen der Donau sehr hohe Abflüsse auf und überschreiten teilweise sogar kurzzeitig das HQ₁₀₀₀ und über mehrere Tage das HQ₁₀₀. Hierzu muss gesagt werden, dass bei großen Überlastfällen, d. h. bei einem deutlichen Überschreiten der Bemessungswasserstände, Deichbrüche nicht auszuschließen und sogar wahrscheinlich sind. Prinzipiell wird ein Deichbruch wahrscheinlicher, je höher der Wasserspiegel über dem jeweiligen Bemessungswasserstand ist (d. h. je weniger Freibord bis zur Deichoberkante verbleibt). Je größer das Hochwasser also ist, desto höher auch die Wahrscheinlichkeit eines Deichbruchs. Sobald ein Deich überströmt wird, reduziert sich die Standsicherheit des Deiches nochmals erheblich.

Da die für diese Wirkungsanalyse durchgeführten Berechnungen keine Deichbrüche, sondern nur ein Überströmen simulieren, sind die angegebenen Abflussscheitel bei sehr hohen Abflüssen unter diesem Vorbehalt zu sehen. Wenn ein Deichbruch in einem Abschnitt der Donau erfolgt, so werden große Flächen jenseits der Donau geflutet mit u. U. lokal katastrophalen Folgen wie beispielsweise beim Juni-Hochwasser 2013 bei Deggendorf. Dies verringert dann unterstrom des Deichbruchs den Abflussscheitel maßgebend. Auch wenn somit bei den Planzuständen noch Ereignisse größer als das HQ_{200} auftreten und die Wahrscheinlichkeit eines (hier nicht betrachteten) Deichbruchs noch besteht, so bewirken die Flutpolder doch zusätzlich zu den bzw. aufgrund der ermittelten Abflussreduzierungen bei diesen Ereignissen auf jeden Fall auch eine deutliche Verringerung der Wahrscheinlichkeit von Deichbrüchen entlang der Donau. Bei sehr großen Überlastfällen, wenn auch mit Flutpoldereinsatz ein Deichversagen wahrscheinlich bleibt, könnte anstelle der simulierten Scheitelkappung auch alternativ auf das Einsatzziel „Zeitgewinn“ gesteuert werden. Eine Abschätzung, um wieviel Stunden länger mit Flutpolderaktivierung der Abfluss z. B. auf ein HQ_{100} begrenzt werden könnte, wird daher bei einigen Ereignissen mit noch verbleibenden deutlichen Überlastfällen ergänzend durchgeführt.

Die Simulationen des BZ und des PZ im Donauabschnitt I bis Donauwörth wurden vom Ingenieurbüro SKI bzw. WWA Donauwörth, die Simulationen im Abschnitt II und III von Donauwörth bis Straubing wurden von der TUM und die Simulationen ab Straubing bis Vilshofen bzw. bis zum Pegel Achleiten wurden von WIGES, ehemals RMD Wasserstraßen, ausgeführt.

3.2.1 E008

Das Ereignis E008 hat am Modellzulauf an der Staustufe Oberelchingen einen Abflussscheitel von $1.171 \text{ m}^3/\text{s}$ und liegt damit unter dem HQ_{100} . Durch die Zuflüsse der Günz ($110 \text{ m}^3/\text{s}$), Mindel ($89 \text{ m}^3/\text{s}$), Brenz ($86 \text{ m}^3/\text{s}$), Egau ($139 \text{ m}^3/\text{s}$) und vor allem Wörnitz ($364 \text{ m}^3/\text{s}$) entsteht eine deutlich breitere Hochwasserwelle am Pegel Donauwörth (siehe Abbildung 26). Der Abfluss in Donauwörth erreicht damit einen Scheitelwert von $1.597 \text{ m}^3/\text{s}$; das HQ_{100} wird dabei für 46 Stunden überschritten. Der Lech hat einen Abflussscheitel von $819 \text{ m}^3/\text{s}$ und läuft zeitlich vor dem Abflussscheitel der Donau.

Am Pegel Ingolstadt bildet sich schon im BZ anstatt einer eindeutigen Abflussspitze ein ca. 50-stündiges Plateau (von $t = 120 \text{ h}$ bis $t = 170 \text{ h}$) mit zwei kleinen einzelnen Scheiteln. Der erste Scheitel entsteht durch den Scheitel des Lechs, der zweite, leicht höhere Scheitel leitet sich vom Donauscheitel vor der Lechmündung ab und hat einen Spitzenwert von $2.224 \text{ m}^3/\text{s}$.

Bis zum Pegel Kelheim verbreitert und erhöht sich das Abflussplateau weiter – vor allem durch die Paar ($82 \text{ m}^3/\text{s}$) und die Abens ($144 \text{ m}^3/\text{s}$) – und erreicht einen Abflussscheitel von $2.341 \text{ m}^3/\text{s}$.

Am Pegel Kelheimwinzer sorgt der Zufluss der Altmühl ($315 \text{ m}^3/\text{s}$) für einen Abflussscheitel von $2.609 \text{ m}^3/\text{s}$ (siehe Abbildung 27), wodurch dort ein HQ_{200} erreicht wird. Insgesamt wird das HQ_{100} für 83 Stunden und das HQ_{200} für 40 Stunden überschritten. Damit liegt am Pegel Kelheimwinzer der stärkste Überlastfall beim Ereignis E008 vor.

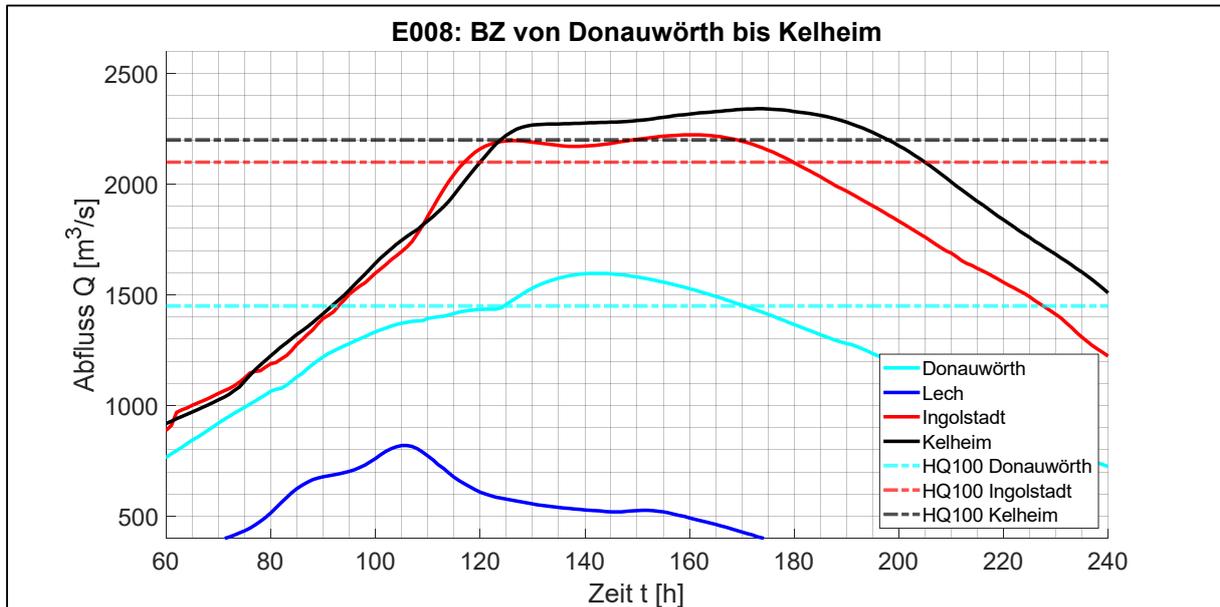


Abbildung 26: Ganglinien des Ereignisses E008, am Pegel Donauwörth, Pegel Ingolstadt und Pegel Kelheim im BZ mit dem HQ_{100} und der Zulaufganglinie des Lechs

Da die Scheitel der Naab ($620 \text{ m}^3/\text{s}$) und des Regens ($802 \text{ m}^3/\text{s}$) zeitlich deutlich vor dem Donauscheitel kommen, wird im Donauabschnitt III das HQ_{100} nicht mehr überschritten. Zwar wird die Hochwasserwelle nochmals deutlich verbreitert, mit einem Abflussscheitel von $3.135 \text{ m}^3/\text{s}$ ist das Ereignis E008 jedoch nur noch $85 \text{ m}^3/\text{s}$ über dem HQ_{50} . Weil die Öberauer Schleife erst bei einem höheren Abfluss im Bezugszustand aktiviert wird, erhöht sich der Abflussscheitel bis Straubing leicht auf $3.241 \text{ m}^3/\text{s}$.

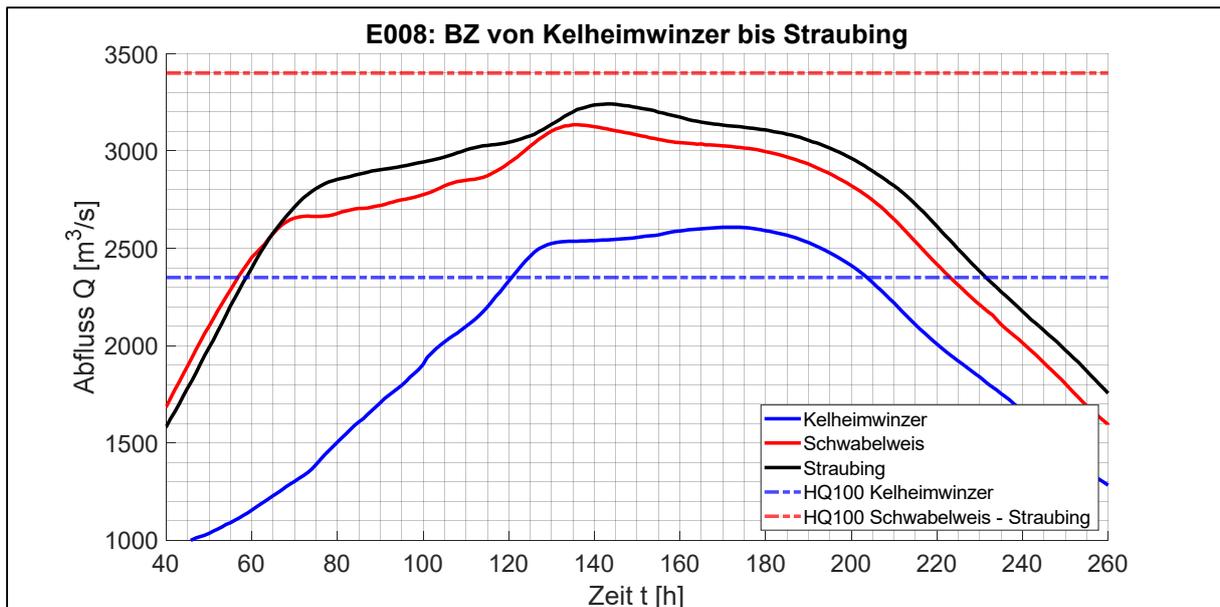


Abbildung 27: Ganglinien des Ereignisses E008 am Pegel Kelheimwinzer, Pegel Schwabelweis und Pegel Straubing im BZ mit dem jeweiligen HQ_{100}

Da beim Ereignis E008 ab dem Pegel Schwabelweis kein Überlastfall mehr vorliegt und somit die Flutpolder im Donauabschnitt III nicht zum Einsatz kommen, wird mit den Modellen ab Straubing nicht weiter simuliert.

Im Donauabschnitt I liegt im BZ auch kein Überlastfall vor, da das lokale Einsatzkriterium der dortigen Flutpolder in der aktuellen Vorplanung für den Bezugszustand (nach Umsetzung der Grundschutzmaßnahmen) $HQ_{100} + \text{Klimaänderungszuschlag}$ beträgt. Deswegen werden die Flutpolder Leipheim und Helmeringen nicht aktiviert; der ungesteuerte Flutpolder Neugeschüttwörth im Riedstrom wirkt durch die geplante Abflussdrossel bei den hohen Abflüssen automatisch. Der Rückhalteraum Donauwörth wird, wie in der Vorplanung angesetzt, zur Unterstützung des Grundschutzes ab etwa einem HQ_{80} aktiviert. Der Rückhalteraum Donauwörth füllt sich bereits durch einen hohen Abflussscheitel der Kessel ($70 \text{ m}^3/\text{s}$).

Abbildung 28 zeigt die Abflussreduktion am Pegel Donauwörth im PZ im Vergleich zum BZ. Insgesamt wird der Abflussscheitel um $94 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $5,9 \%$ auf $1.502 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert. Dies entspricht noch etwa einem HQ_{150} . Das HQ_{100} wird im PZ 31 Stunden lang überschritten.

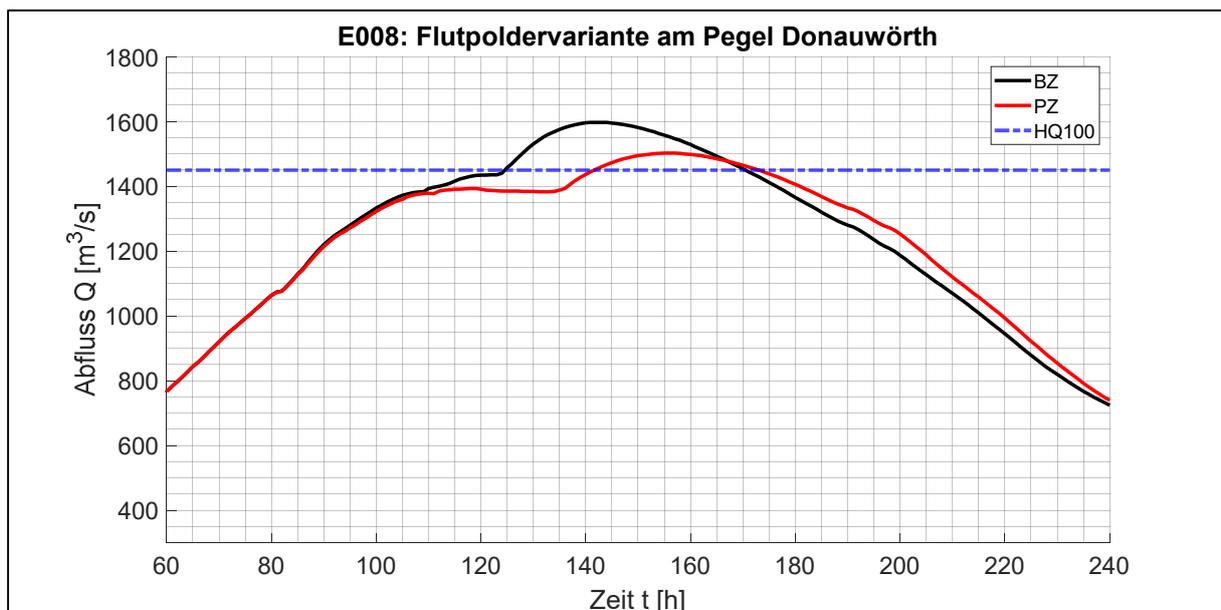


Abbildung 28: Ganglinien des PZ und des BZ am Pegel Donauwörth für das Ereignis E008

Im Donauabschnitt II wurden beide Flutpoldervarianten PZ 7 FP und PZ 10 FP simuliert.

Abbildung 29 zeigt deutlich, dass das fehlende Volumen des Flutpolders Bertoldsheim eine geringere Reduktion des Abflussscheitels am Pegel Ingolstadt im PZ 7 FP verursacht. Mit einer alleinigen Füllung des Flutpolders Riedensheim wird der Abflussscheitel am Pegel Ingolstadt um $122 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $5,5 \%$ auf $2.102 \text{ m}^3/\text{s}$ gesenkt; das HQ_{100} wird 3 Stunden lang überschritten. Mit einer zusätzlichen Aktivierung des Flutpolders Bertoldsheim (PZ 10 FP) wird am Pegel Ingolstadt der Abflussscheitel um insgesamt $201 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. 9% auf $2.023 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert. Damit wird der Überlastfall am Pegel Ingolstadt vollständig verhindert.

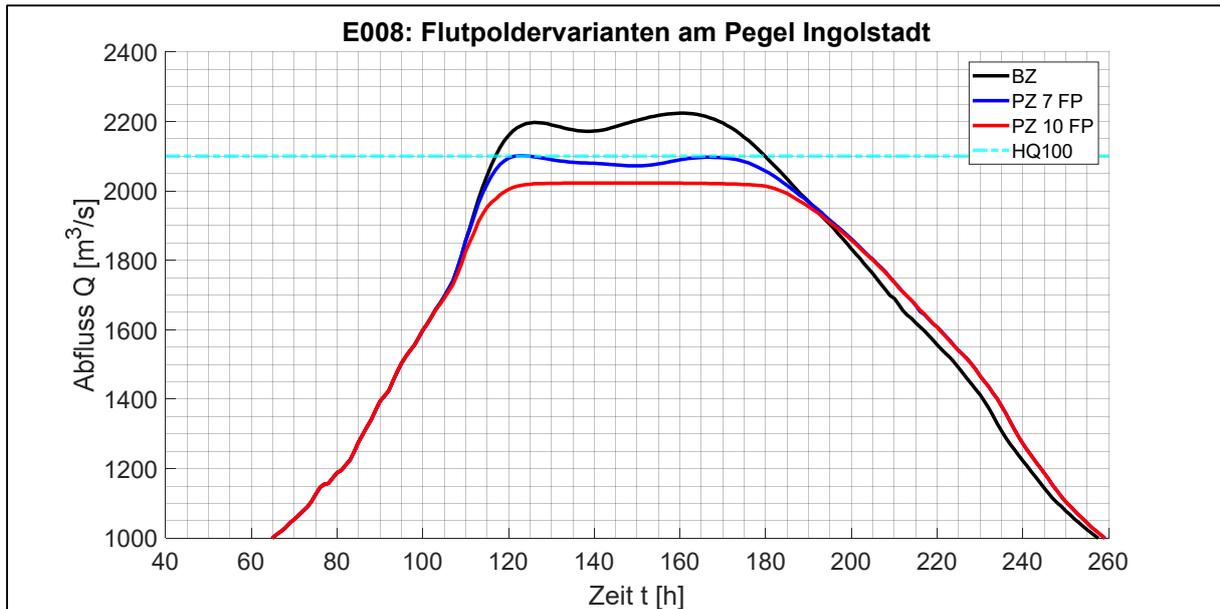


Abbildung 29: Ganglinien des PZ 7 FP, PZ 10 FP und des BZ am Pegel Ingolstadt für das Ereignis E008

Zwischen dem Pegel Ingolstadt und dem Pegel Kelheim wirken in beiden Varianten des PZ die Flutpolder Großmehring und Katzau mit einem kombinierten Volumen von 19,4 Mio. m³. Dennoch ist weiterhin ein deutlicher Unterschied zwischen der Variante PZ 7 FP und der Variante PZ 10 FP zu erkennen (siehe Abbildung 30). Mit der Variante PZ 7 FP wird der Abflussscheitel am Pegel Kelheim um 156 m³/s bzw. 6,7 % auf 2.185 m³/s reduziert; damit wird das HQ₁₀₀ um 15 m³/s unterschritten. Mit einer zusätzlichen Aktivierung des Flutpolders Bertoldsheim (PZ 10 FP) wird am Pegel Kelheim der Abflussscheitel um 204 m³/s bzw. 8,7 % auf 2.137 m³/s gesenkt. Hiermit wird der Überlastfall deutlich verhindert.

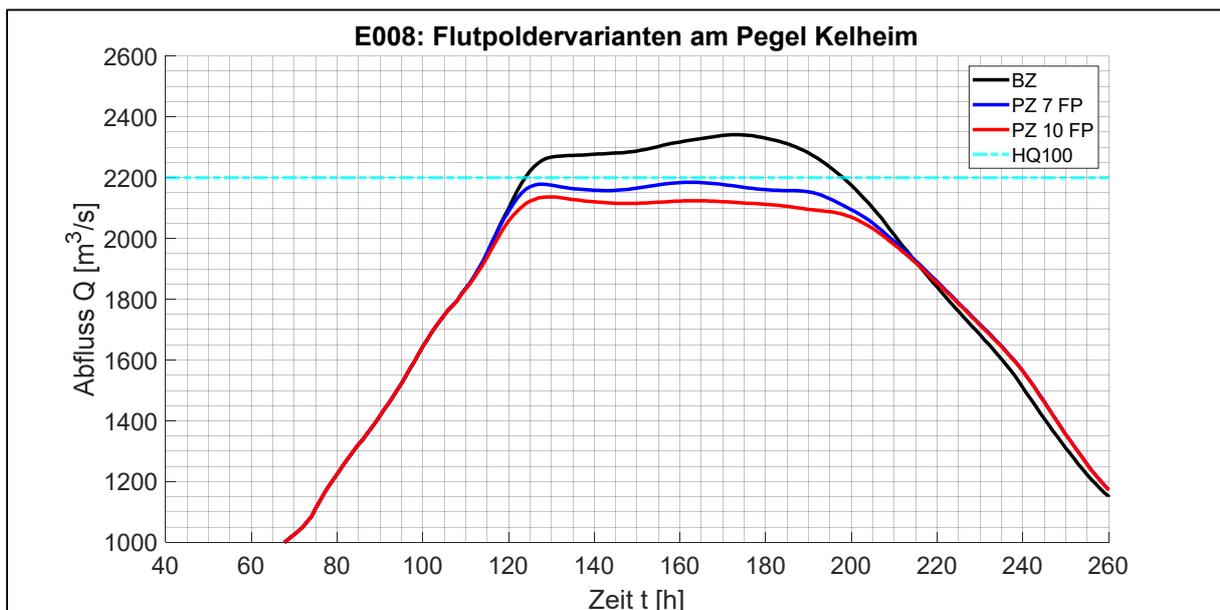


Abbildung 30: Ganglinien des PZ 7 FP, PZ 10 FP und des BZ am Pegel Kelheim für das Ereignis E008

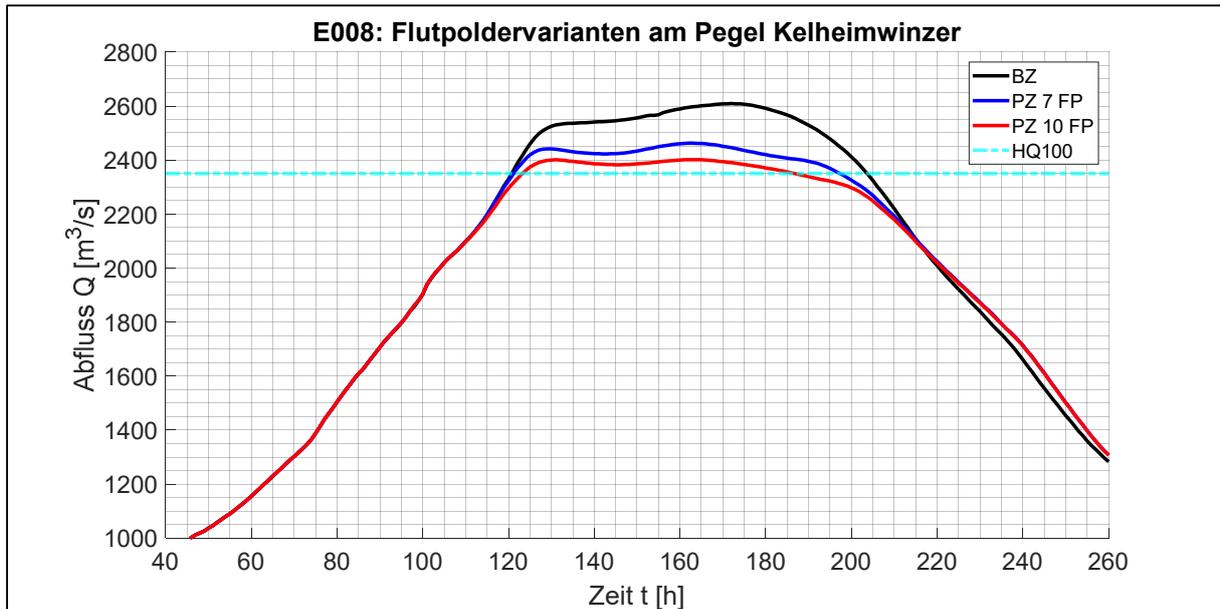


Abbildung 31: Ganglinien des PZ 7 FP, PZ 10 FP und des BZ am Pegel Kelheimwinzer für das Ereignis E008

Am Pegel Kelheimwinzer kann mit beiden Flutpoldervarianten der Überlastfall nicht verhindert werden (siehe Abbildung 31). Im PZ 7 FP wird der Abflussscheitel um $147 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $5,6 \%$ auf $2.462 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert. Das HQ_{100} wird dadurch noch für 76 Stunden überschritten. Bei einer zusätzlichen Füllung des Flutpolders Bertoldsheim (PZ 10 FP) wird der Abflussscheitel um $208 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $8,0 \%$ auf $2.401 \text{ m}^3/\text{s}$ gekappt. Damit wird das HQ_{100} nur noch gering für 63 Stunden überschritten.

Am Pegel Schwabelweis wird im PZ 7 FP der Scheitelabfluss um $70 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $2,2 \%$ auf $3.065 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert. Im PZ 10 FP wird dort der Abfluss um $112 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $3,6 \%$ auf $3.023 \text{ m}^3/\text{s}$ gekappt. Ein Einsatz der Flutpolder im Donauabschnitt III ist somit nicht erforderlich.

Am Pegel Straubing erreicht die Variante PZ 7 FP noch eine Reduktion von $62 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $1,9 \%$ mit einem Abflussscheitel von $3.179 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Variante PZ 10 FP verringert den Abflussscheitel um $100 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $3,1 \%$ auf $3.141 \text{ m}^3/\text{s}$. Somit ist selbst am Pegel Straubing ohne Einsatz der Flutpolder im Donauabschnitt III noch ein Unterschied zwischen den beiden Flutpoldervarianten von $38 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $1,2 \%$ -Punkte vorhanden, der allein auf den Flutpolder Bertoldsheim zurückzuführen ist.

Tabelle 9 fasst die Ergebnisse der Flutpolderwirkungen für das Ereignis E008 zusammen.

Tabelle 9: Abflussscheitel, Überschreitungsdauer des HQ_{100} , HQ_{200} , HQ_{500} und HQ_{1000} , absolute und relative Abflussscheitelreduktion sowie Reduktion des maximalen Wasserstandes an den Pegeln entlang der Donau für das Ereignis E008. Im Donauabschnitt III werden in beiden PZ-Varianten keine weiteren Flutpolder eingesetzt.

	Q max. [m ³ /s]	T>HQ ₁₀₀ [h]	T>HQ ₂₀₀ [h]	T>HQ ₅₀₀ [h]	T>HQ ₁₀₀₀ [h]	dQ abs. [m ³ /s]	dQ rel. [%]	dW [cm]
Donauwörth BZ	1.597	46	25	0	0	-	-	-
Donauwörth PZ	1.502	31	0	0	0	95	5,9	10-15
Neuburg BZ	2.227	65	0	0	0	-	-	-
Neuburg PZ 7 FP	2.125	13	0	0	0	102	5,5	-
Neuburg PZ 10 FP	2.029	0	0	0	0	198	8,9	-
Ingolstadt BZ	2.224	63	0	0	0	-	-	-
Ingolstadt PZ 7 FP	2.102	3	0	0	0	122	5,5	20-25
Ingolstadt PZ 10 FP	2.023	0	0	0	0	201	9,0	35-40
Kelheim BZ	2.341	75	0	0	0	-	-	-
Kelheim PZ 7 FP	2.185	0	0	0	0	156	6,7	20-25
Kelheim PZ 10 FP	2.137	0	0	0	0	204	8,7	30-35
Kelheimwinzer BZ	2.609	83	40	0	0	-	-	-
Kelheimwinzer PZ 7 FP	2.462	76	0	0	0	147	5,6	-
Kelheimwinzer PZ 10 FP	2.401	63	0	0	0	208	8,0	-
Schwabelweis BZ	3.135	0	0	0	0	-	-	-
Schwabelweis PZ 7 FP	3.065	0	0	0	0	70	2,2	5-10
Schwabelweis PZ 10 FP	3.023	0	0	0	0	112	3,6	10-15
Straubing BZ	3.241	0	0	0	0	-	-	-
Straubing PZ 7 FP	3.179	0	0	0	0	62	1,9	-
Straubing PZ 10 FP	3.141	0	0	0	0	100	3,1	-

3.2.2 E097

Das Ereignis E097 hat am Modellzufluss in Oberelchingen einen Abflussscheitel von $1398 \text{ m}^3/\text{s}$ und übersteigt damit bereits zu Beginn das HQ_{200} . Durch die Abflussscheitel der seitlichen Zuflüsse von Günz ($85 \text{ m}^3/\text{s}$), Egau ($91 \text{ m}^3/\text{s}$) und vor allem Wörnitz ($455 \text{ m}^3/\text{s}$) erhöht sich der Abflussscheitel am Pegel Donauwörth auf $1.717 \text{ m}^3/\text{s}$. Damit wird am Pegel Donauwörth ein HQ_{500} erreicht und das HQ_{100} über einen Zeitraum von 50 Stunden überschritten (siehe Abbildung 32).

Der Lech hat beim Ereignis E097 einen moderaten Abflussscheitel von $785 \text{ m}^3/\text{s}$ und läuft zeitlich vor dem Donauscheitel. Dadurch wird am Pegel Ingolstadt lediglich ein Abflussscheitel von $2.209 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht. Das HQ_{100} wird für 45 Stunden überschritten.

Am Pegel Kelheim steigt der Abflussscheitel auf $2.295 \text{ m}^3/\text{s}$; das HQ_{100} wird für 54 Stunden überschritten.

Am Pegel Kelheimwinzer wird durch den Zufluss der Altmühl ($331 \text{ m}^3/\text{s}$) mit einem Abflussscheitel von $2.569 \text{ m}^3/\text{s}$ ein HQ_{200} erreicht; das HQ_{100} wird für 70 Stunden überschritten.

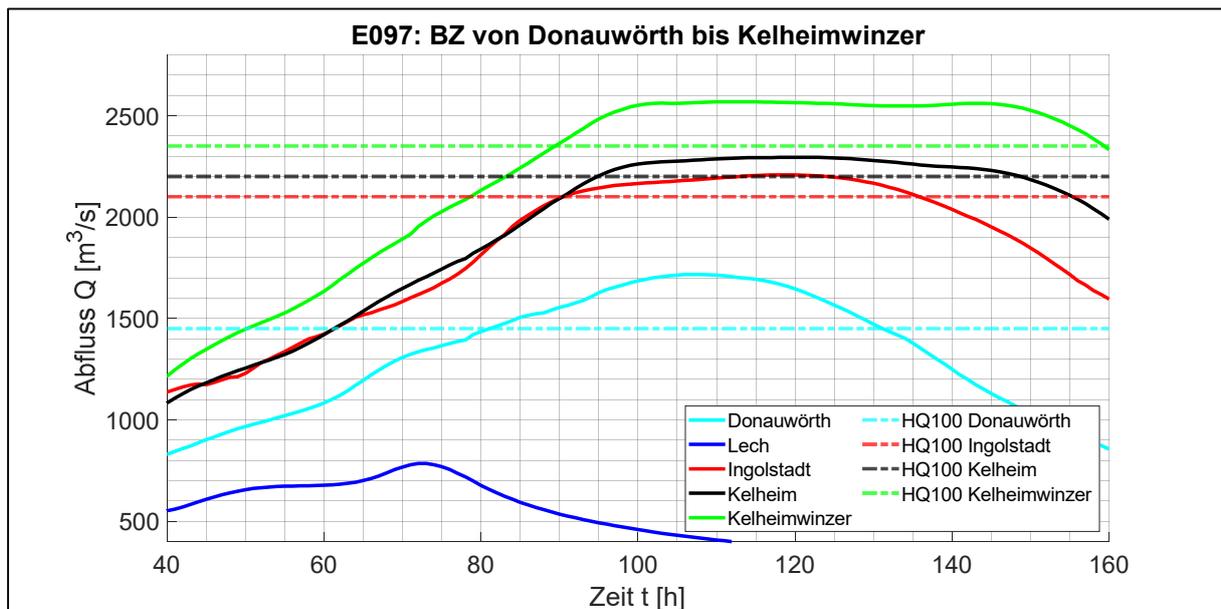


Abbildung 32: Ganglinien des Ereignisses E097 am Pegel Donauwörth, Pegel Ingolstadt, Pegel Kelheim und Pegel Kelheimwinzer im BZ mit dem jeweiligen HQ_{100} und der Zulaufganglinie des Lechs

Abbildung 33 zeigt im Vergleich mit der vorigen Abbildung, dass die Abflussscheitel von Naab ($629 \text{ m}^3/\text{s}$) und Regen ($956 \text{ m}^3/\text{s}$) am Pegel Schwabelweis den Donauscheitel prägen. Der neue Donauscheitel tritt deutlich vorgelagert ab ca. $t = 80 \text{ h}$ auf. Mit einem Abflussscheitel von $3.576 \text{ m}^3/\text{s}$ wird das HQ_{100} für 44 Stunden überschritten.

Aufgrund der Breite der Hochwasserwelle von E097 und dem hohen Abflussscheitel der Großen Laber ($116 \text{ m}^3/\text{s}$) ist am Pegel Straubing im BZ keine Abflussscheitelreduktion durch die unkontrollierte Flutung der Öberauer Schleife erkennbar. Mit einem Abflussscheitel von $3.583 \text{ m}^3/\text{s}$ wird das HQ_{100} für 55 Stunden überschritten.

Abschlussbericht Weitergehende Untersuchungen, Februar 2021

Durch die geplanten Rückhalteräume zwischen Straubing und Deggendorf wird der Abflussscheitel am Pegel Deggendorf auf $3.496 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert. Damit wird das HQ_{100} nur noch für 35 Stunden überschritten.

Durch den Zufluss der Isar ($806 \text{ m}^3/\text{s}$) erhöht sich der Abflussscheitel am Pegel Hofkirchen auf $4.216 \text{ m}^3/\text{s}$; das HQ_{100} wird für 27 Stunden überschritten.

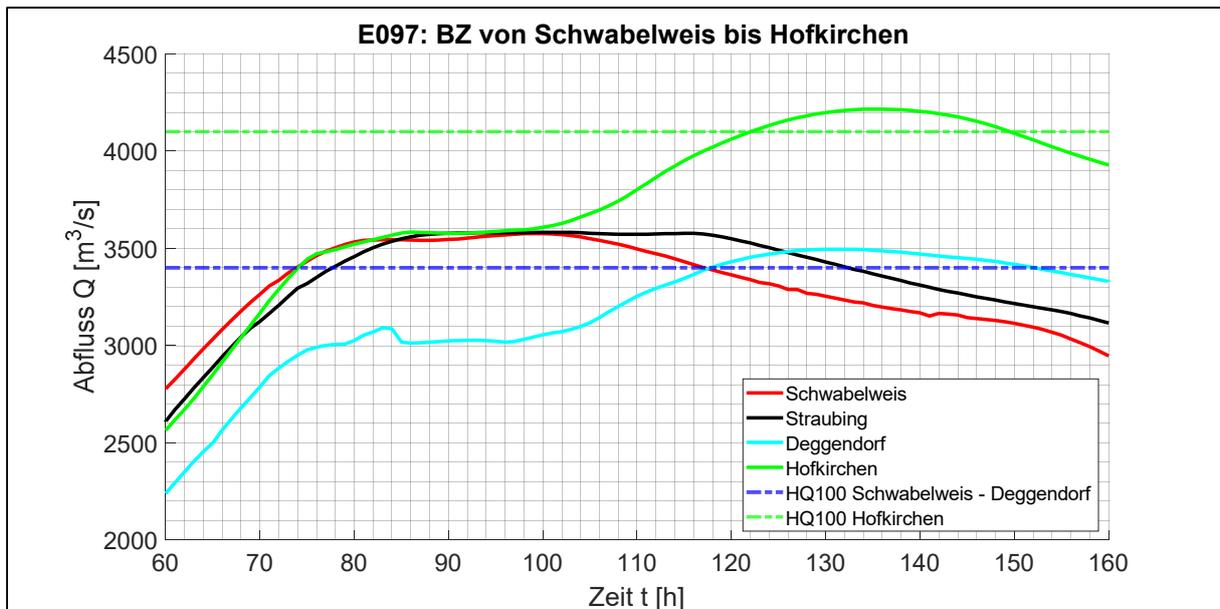


Abbildung 33: Ganglinien des Ereignisses E097 am Pegel Schwabelweis, Pegel Straubing, Pegel Deggendorf und Pegel Hofkirchen im BZ mit dem jeweiligen HQ_{100}

Da das Ereignis E097 am Anfang des Donauabschnitts I noch keinen Überlastfall (erst ab HQ_{100} +Klimaänderungszuschlag) darstellt, wird der Flutpolder Leipheim im PZ nicht aktiviert. Der Flutpolder Helmeringen wird aufgrund des großen Abflusses am Pegel Donauwörth vorgeschaltet eingesetzt. Zusammen mit der automatischen Wirkung des ungesteuerten Flutpolders Neugeschüttwörth und der bereits ab HQ_{80} aktivierten Rückhalteräume Tapfheim und Donauwörth wird der Abflussscheitel am Pegel Donauwörth um $112 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $6,5 \%$ auf $1.605 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert (siehe Abbildung 34). Dadurch liegt der Scheitel nur noch zwischen HQ_{200} und HQ_{500} .

Durch die Flutpoldervariante PZ 7 FP wird am Pegel Ingolstadt der Abflussscheitel um $130 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $5,9 \%$ auf $2.079 \text{ m}^3/\text{s}$ verringert (siehe Abbildung 35). Damit wird der Überlastfall knapp verhindert. Mit der Flutpoldervariante PZ 10 FP wird der Abflussscheitel am Pegel Ingolstadt deutlich um $225 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $10,2 \%$ auf $1.984 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert. Ein Einsatz aller Flutpolder im Donauabschnitt II wird hier trotzdem angenommen, da ab der Altmühlmündung (Pegel Kelheimwinzer) wieder ein Überlastfall droht.

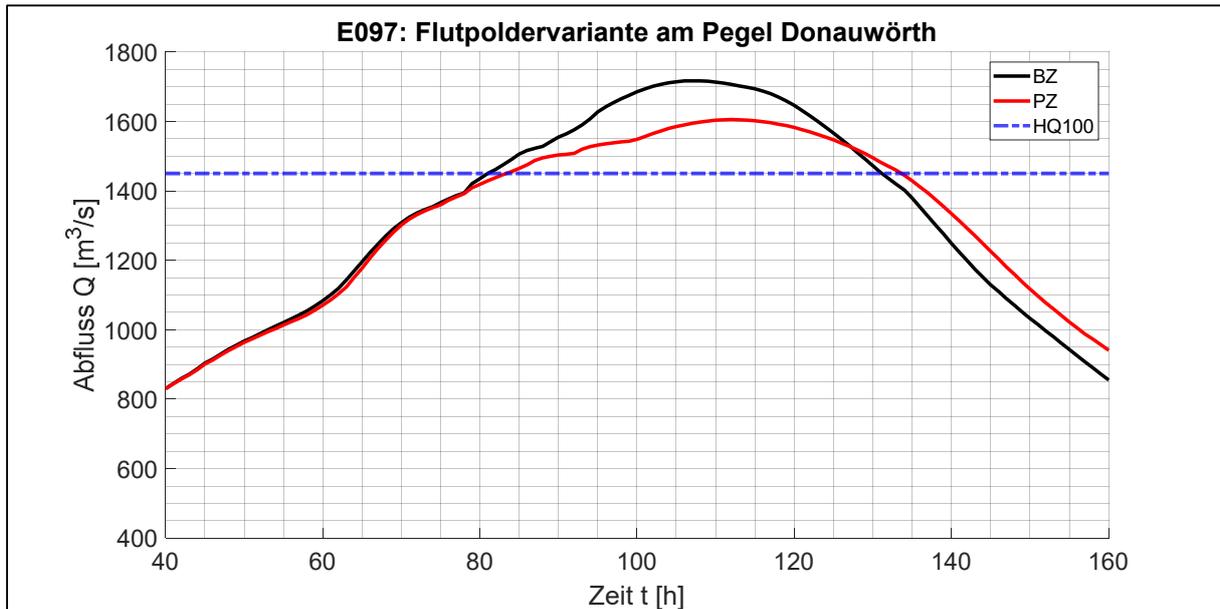


Abbildung 34: Ganglinien des PZ und des BZ am Pegel Donauwörth für das Ereignis E097

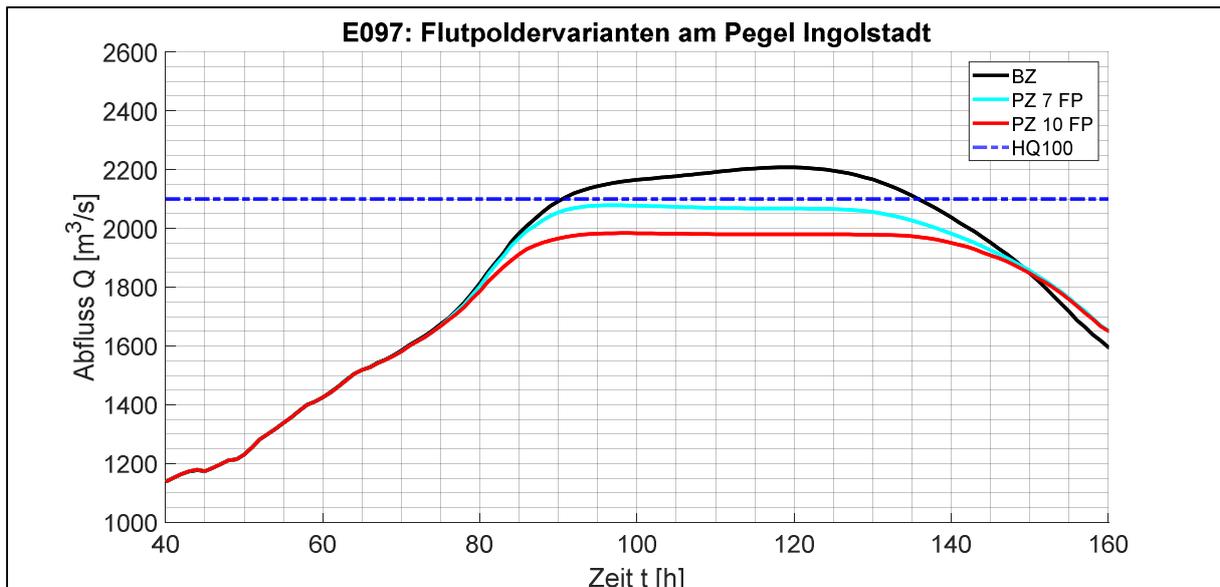


Abbildung 35: Ganglinien des PZ 7 FP, PZ 10 FP und des BZ am Pegel Ingolstadt für das Ereignis E097

Am Pegel Kelheim kann mit der Flutpoldervariante PZ 7 FP der Abflussscheitel um 126 m³/s bzw. 5,5 % auf 2.169 m³/s reduziert werden (siehe Abbildung 36). Mit der Variante PZ 10 FP wird der Abflussscheitel um 182 m³/s bzw. 7,9 % auf 2.113 m³/s abgemindert. Dadurch wird mit beiden Varianten der Überlastfall am Pegel Kelheim verhindert.

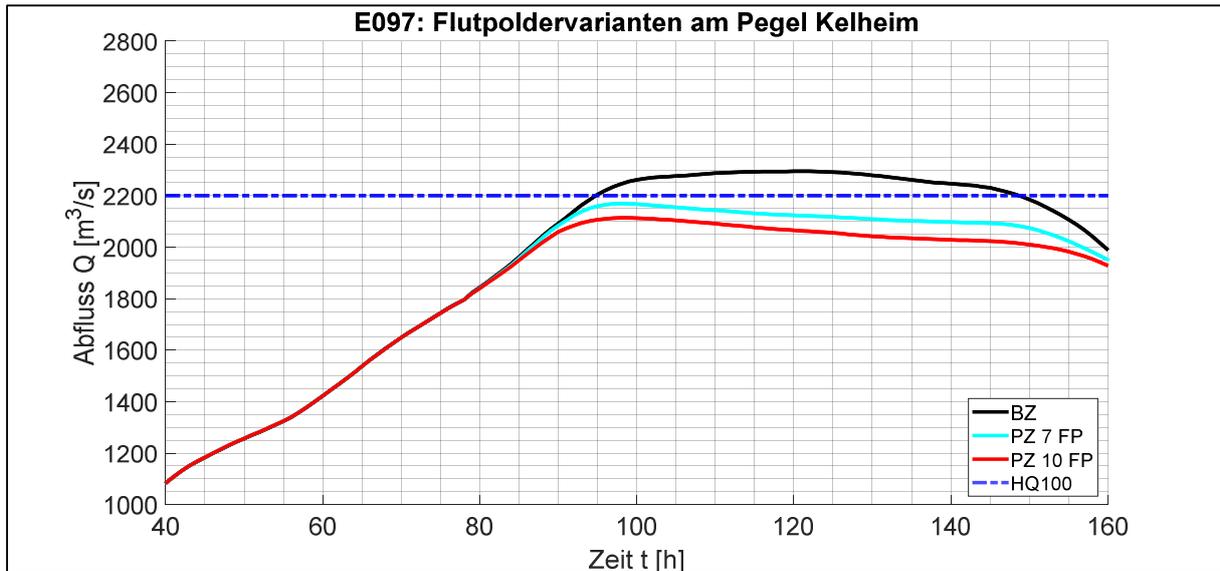


Abbildung 36: Ganglinien des PZ 7 FP, PZ 10 FP und des BZ am Pegel Kelheim für das Ereignis E097

Am Pegel Kelheimwinzer wird im PZ 7 FP der Abflussscheitel von 2.569 m^3/s im BZ auf 2.468 m^3/s und damit um 101 m^3/s bzw. 3,9 % reduziert (siehe Abbildung 37). Im PZ 10 FP wird der Abflussscheitel um 156 m^3/s bzw. 6,1 % auf 2.413 m^3/s gesenkt. Dadurch ist am Pegel Kelheimwinzer eine deutliche Scheitelreduzierung durch die eingesetzten Flutpolder im Donauabschnitt II vorhanden.

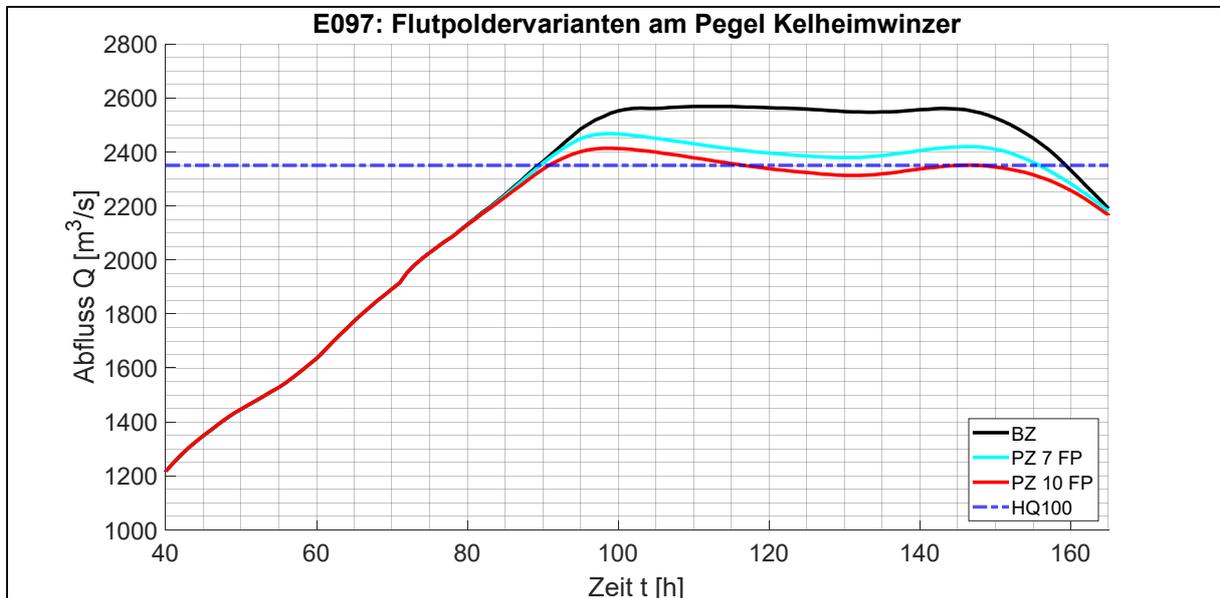


Abbildung 37: Ganglinien des PZ 7 FP, PZ 10 FP und des BZ am Pegel Kelheimwinzer für das Ereignis E097

Da zwischen dem Pegel Kelheimwinzer und dem Pegel Schwabelweis die Zuflüsse Naab und Regen einen neuen, zeitlich früheren Abflussscheitel prägen, haben die beiden Flutpoldervarianten nur noch eine geringe Wirkung in der Abflussspitze am Pegel Schwabelweis und wir-

ken vor allem im absteigenden Ast der Hochwasserwelle (siehe Abbildung 38). Mit der Variante PZ 7 FP bleibt eine Abflussscheitelreduzierung von 18 m³/s bzw. 0,5 % auf 3.558 m³/s. Die Breite der Hochwasserwelle wird jedoch reduziert, sodass die Überschreitung des HQ₁₀₀ von 44 Stunden auf 36 Stunden gesenkt werden kann. Mit der Variante PZ 10 FP wird der Abflussscheitel um 32 m³/s bzw. 0,9 % auf 3.544 m³/s verringert. Das HQ₁₀₀ wird noch für 33 Stunden überstiegen.

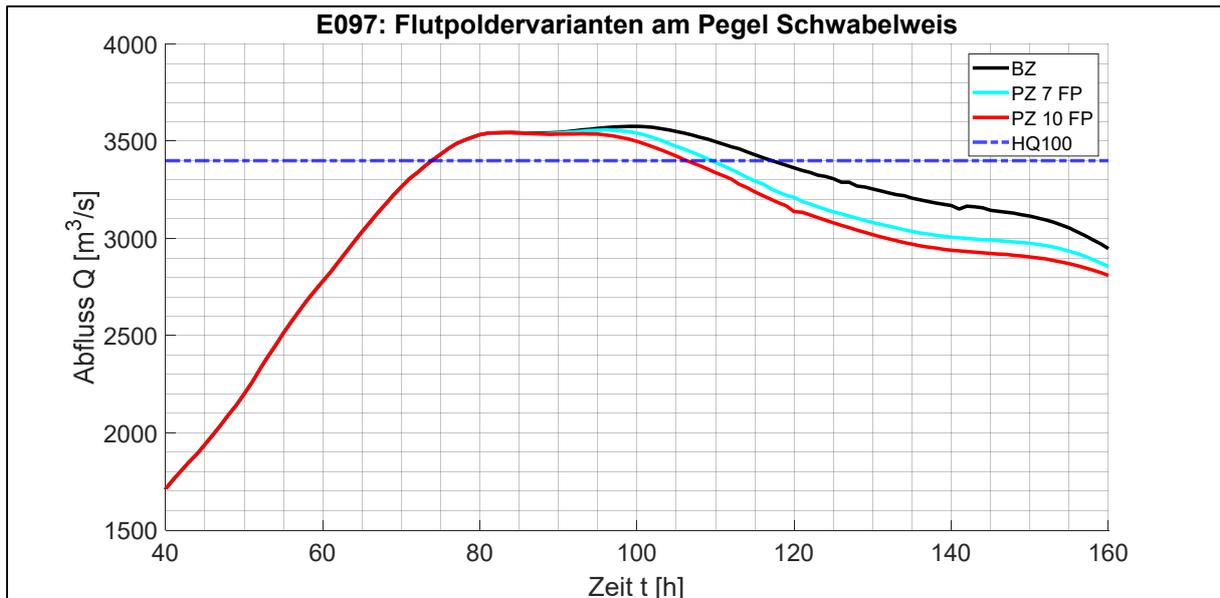


Abbildung 38: Ganglinien des PZ 7 FP, PZ 10 FP und des BZ am Pegel Schwabelweis für das Ereignis E097

Da die Hochwasserwelle vor dem Flutpolder Öberauer Schleife einen breiten Scheitel hat und unterstrom der Öberauer Schleife im PZ die Große Lauer einen Abflussscheitel von 112 m³/s in die Donau einbringt, kann die alleinige Aktivierung der Öberauer Schleife im PZ 7 FP nur eine geringe Entlastung am Pegel Straubing im Vergleich zum BZ bringen (siehe Abbildung 39). So wird der Abflussscheitel um lediglich 12 m³/s bzw. 0,3 % auf 3.571 m³/s reduziert. Eine leicht vorgeschaltete Steuerung der Öberauer Schleife, die den Zufluss der Großen Lauer mitberücksichtigt, wäre auch hier theoretisch umsetzbar, wurde im Rahmen dieser Untersuchung jedoch nicht weiterverfolgt. Durch die Wirkung der Flutpolder im Donauabschnitt II wird die Zeit der Überschreitung des HQ₁₀₀ jedoch von 55 Stunden auf 44 Stunden verringert.

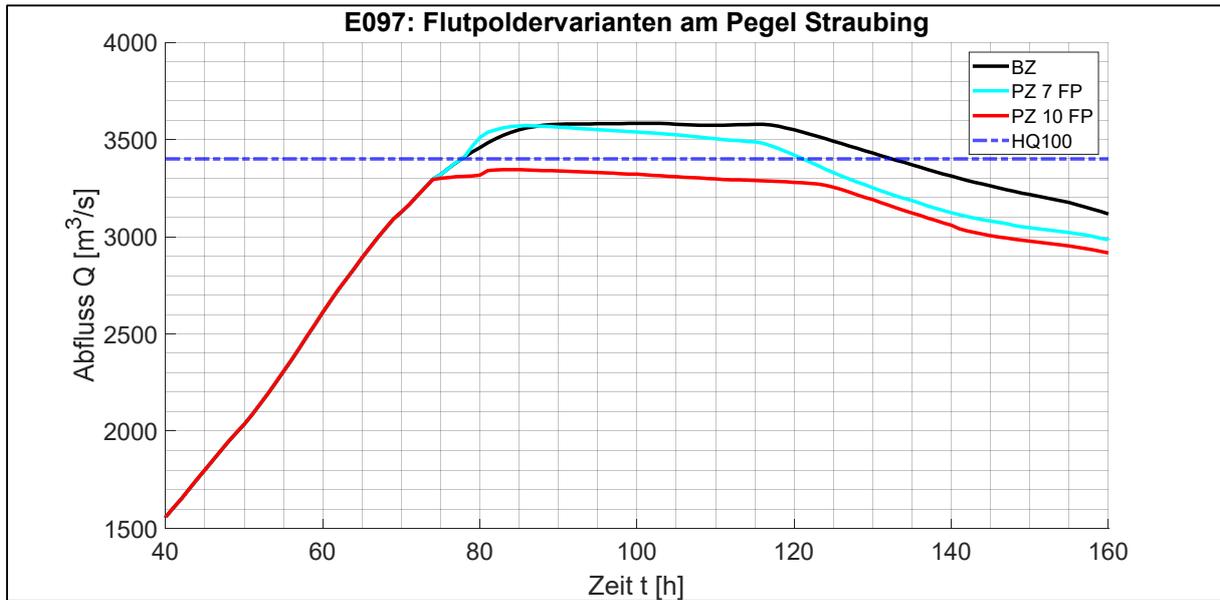


Abbildung 39: Ganglinien des PZ 10 FP und des BZ am Pegel Straubing für das Ereignis E097

Die großen Retentionsvolumina der Flutpolder Eltheim und Wörthhof erzielen dagegen gemeinsam mit der Öberauer Schleife eine große Entlastung am Pegel Straubing im PZ 10 FP (siehe Abbildung 39). So wird der Abflussscheitel um 238 m³/s bzw. 6,7 % auf 3.345 m³/s reduziert. Dadurch wird das HQ₁₀₀ und somit der Überlastfall verhindert.

Ab dem Pegel Straubing wird nur noch die Variante PZ 10 FP weitersimuliert. Durch den Einsatz der Flutpolder wird auch am Pegel Deggendorf der Überlastfall verhindert (siehe Abbildung 40). Der Abflussscheitel wird um 264 m³/s bzw. 7,6 % auf 3.232 m³/s gesenkt.

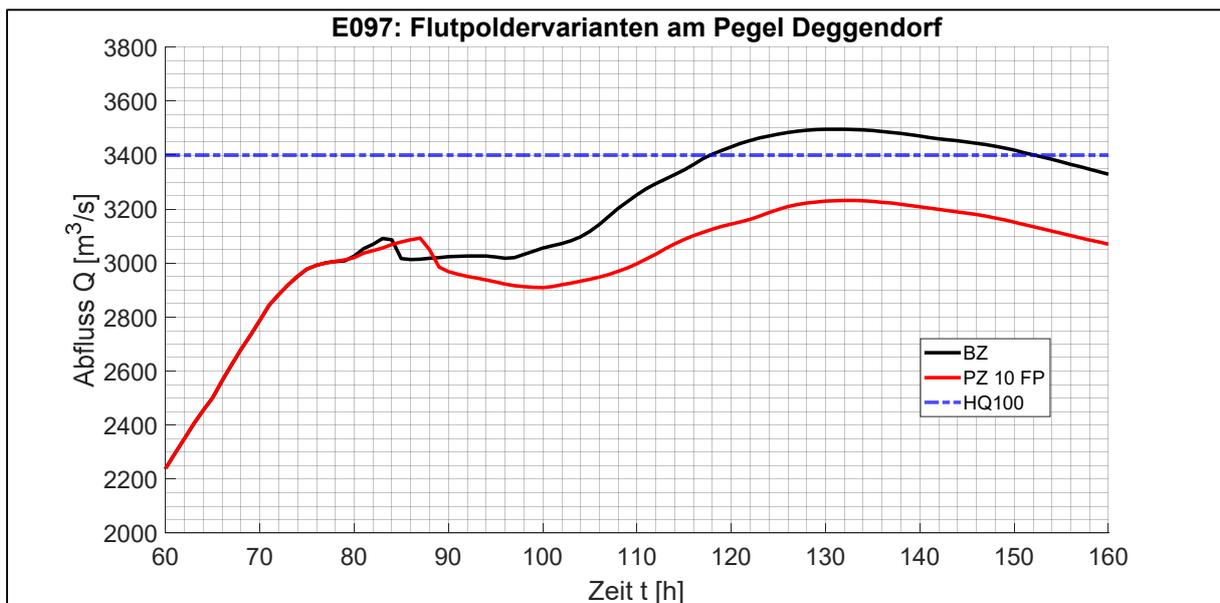


Abbildung 40: Ganglinien des PZ 10 FP und des BZ am Pegel Deggendorf für das Ereignis E097

Am Pegel Hofkirchen unterstrom der Isarmündung kann der Überlastfall im PZ 10 FP ebenfalls verhindert werden (siehe Abbildung 41). Mit einer Abflussscheitelreduktion von 270 m³/s bzw. 6,4 % beträgt der neue Abflussscheitel 3.946 m³/s.

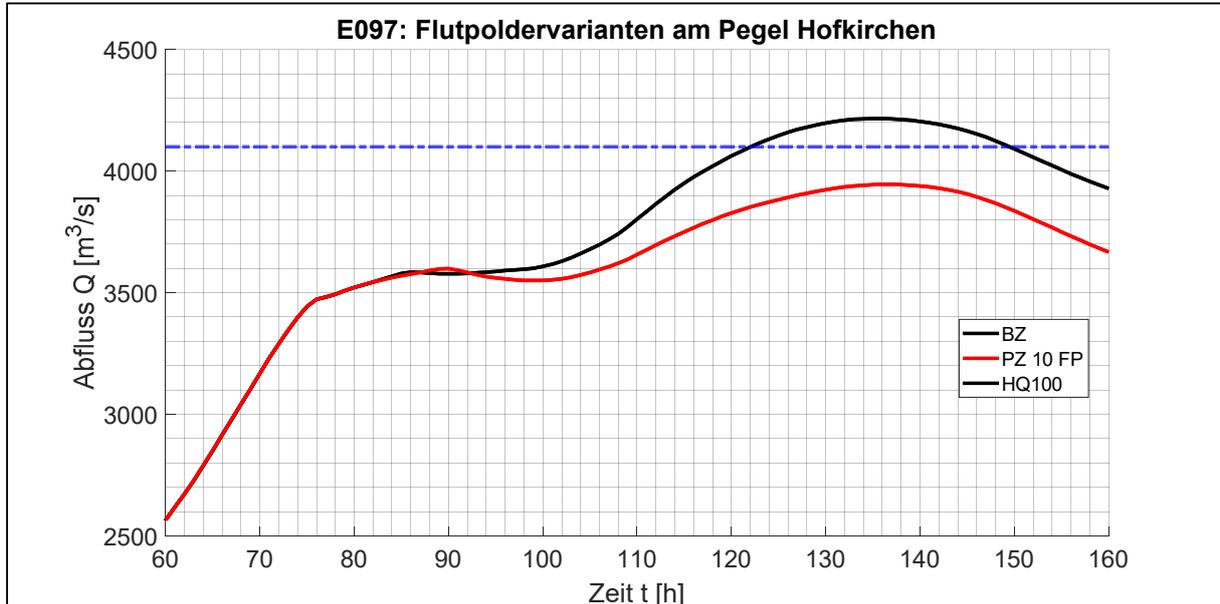


Abbildung 41: Ganglinien des PZ 10 FP und des BZ am Pegel Hofkirchen für das Ereignis E097

Tabelle 10 fasst die Ergebnisse der Untersuchung für das Ereignis E097 zusammen.

Tabelle 10: Abflussscheitel, Überschreitungsdauer des HQ₁₀₀, HQ₂₀₀, HQ₅₀₀ und HQ₁₀₀₀, absolute und relative Abflussscheitelreduktion sowie Reduktion des maximalen Wasserstandes an den Pegeln entlang der Donau für das Ereignis E097.

	Q max. [m ³ /s]	T>HQ ₁₀₀ [h]	T>HQ ₂₀₀ [h]	T>HQ ₅₀₀ [h]	T>HQ ₁₀₀₀ [h]	dQ abs. [m ³ /s]	dQ rel. [%]	dW [cm]
Donauwörth BZ	1.717	50	36	12	0	-	-	-
Donauwörth PZ	1.605	50	24	0	0	112	6,5	15-20
Neuburg BZ	2.213	48	0	0	0	-	-	-
Neuburg PZ 7 FP	2.094	0	0	0	0	119	5,4	-
Neuburg PZ 10 FP	1.995	0	0	0	0	218	9,9	-
Ingolstadt BZ	2.209	45	0	0	0	-	-	-
Ingolstadt PZ 7 FP	2.079	0	0	0	0	130	5,9	25-30
Ingolstadt PZ 10 FP	1.984	0	0	0	0	225	10,2	40-45

Abschlussbericht Weitergehende Untersuchungen, Februar 2021

	Q max. [m ³ /s]	T>HQ ₁₀₀ [h]	T>HQ ₂₀₀ [h]	T>HQ ₅₀₀ [h]	T>HQ ₁₀₀₀ [h]	dQ abs. [m ³ /s]	dQ rel. [%]	dW [cm]
Kelheim BZ	2.295	54	0	0	0	-	-	-
Kelheim PZ 7 FP	2.169	0	0	0	0	126	5,5	15-20
Kelheim PZ 10 FP	2.113	0	0	0	0	182	7,9	25-30
Kelheimwinzer BZ	2.569	70	40	0	0	-	-	-
Kelheimwinzer PZ 7 FP	2.468	66	0	0	0	101	3,9	-
Kelheimwinzer PZ 10 FP	2.413	28	0	0	0	156	6,1	-
Schwabelweis BZ	3.576	44	0	0	0	-	-	-
Schwabelweis PZ 7 FP	3.558	36	0	0	0	18	0,5	0-5
Schwabelweis PZ 10 FP	3.544	33	0	0	0	32	0,9	0-5
Straubing BZ	3.583	55	0	0	0	-	-	-
Straubing PZ 7 FP	3.571	44	0	0	0	12	0,3	-
Straubing PZ 10 FP	3.345	0	0	0	0	238	6,6	-
Pfelling* BZ	3.428	7	0	0	0	-	-	-
Pfelling* PZ 10 FP	3.203	0	0	0	0	225	6,6	30-35
Deggendorf BZ	3.496	35	0	0	0	-	-	-
Deggendorf PZ 10 FP	3.232	0	0	0	0	264	7,6	-
Niederalteich BZ	4.215	27	0	0	0	-	-	-
Niederalteich PZ 10 FP	3.943	0	0	0	0	272	6,5	-
Hofkirchen BZ	4.216	27	0	0	0	-	-	-
Hofkirchen PZ 10 FP	3.946	0	0	0	0	270	6,4	25-30
Vilshofen BZ	4.163	23	0	0	0	-	-	-
Vilshofen PZ 10 FP	3.926	0	0	0	0	237	5,7	-

*Der Pegel Pfelling erfasst nur einen Teilabfluss, da der Pegel bei großen Hochwasserereignissen umläufig ist.

3.2.3 E115

Das Ereignis E115 hat am Modellzulauf am Kraftwerk Oberelchingen einen Abflussscheitel von $1.036 \text{ m}^3/\text{s}$ und ist damit geringer als ein HQ_{50} . Durch die hohen Abflussscheitel von Roth ($111 \text{ m}^3/\text{s}$), Günz ($141 \text{ m}^3/\text{s}$), Mindel ($97 \text{ m}^3/\text{s}$), Egau ($154 \text{ m}^3/\text{s}$), Kessel ($129 \text{ m}^3/\text{s}$) und vor allem einer sehr hohen Wörnitz ($810 \text{ m}^3/\text{s}$) wird jedoch am Pegel Donauwörth ein deutlicher Überlastfall erreicht (siehe Abbildung 42). Der Abflussscheitel von $1.887 \text{ m}^3/\text{s}$ liegt über einem HQ_{1000} ; das HQ_{100} wird für 68 Stunden überschritten.

Da der Lech lediglich einen Abflussscheitel von $513 \text{ m}^3/\text{s}$ hat, zeigt sich am Pegel Ingolstadt mit $2.310 \text{ m}^3/\text{s}$ nur noch ein Abfluss über HQ_{200} . Das HQ_{100} wird für einen Zeitraum von 44 Stunden überschritten.

Bis zum Pegel Kelheim verschärfen die Zuflüsse der Paar ($173 \text{ m}^3/\text{s}$) und vor allem der Abens ($480 \text{ m}^3/\text{s}$) den Überlastfall wieder. So wird am Pegel Kelheim ein Abflussscheitel von $2.485 \text{ m}^3/\text{s}$ simuliert. Die Hochwasserwelle nimmt zusätzlich besonders in der Volumenfülle zu und übersteigt dadurch das HQ_{100} jetzt für 67 Stunden.

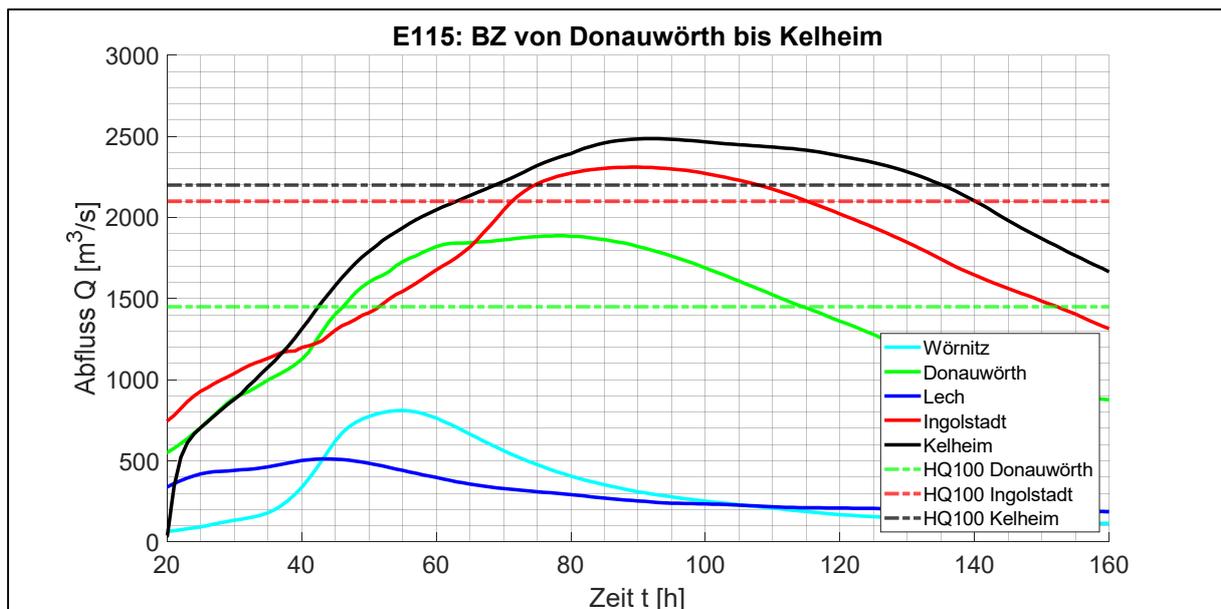


Abbildung 42: Ganglinien des Ereignisses E115 am Pegel Donauwörth, Pegel Ingolstadt und Pegel Kelheim im BZ mit dem jeweiligen HQ_{100} und den Zulaufganglinien der Wörnitz und des Lechs

Im Ereignis E115 wird die Donau im Abschnitt III sehr stark von den Abflussscheiteln von Altmühl ($577 \text{ m}^3/\text{s}$), Naab ($749 \text{ m}^3/\text{s}$) und Regen ($1.117 \text{ m}^3/\text{s}$) geprägt. Dadurch erreicht der Abflussscheitel der Donau in Schwabelweis $4.611 \text{ m}^3/\text{s}$ und liegt damit wieder über einem HQ_{1000} . Das HQ_{100} wird insgesamt für 84 Stunden überschritten (siehe Abbildung 43).

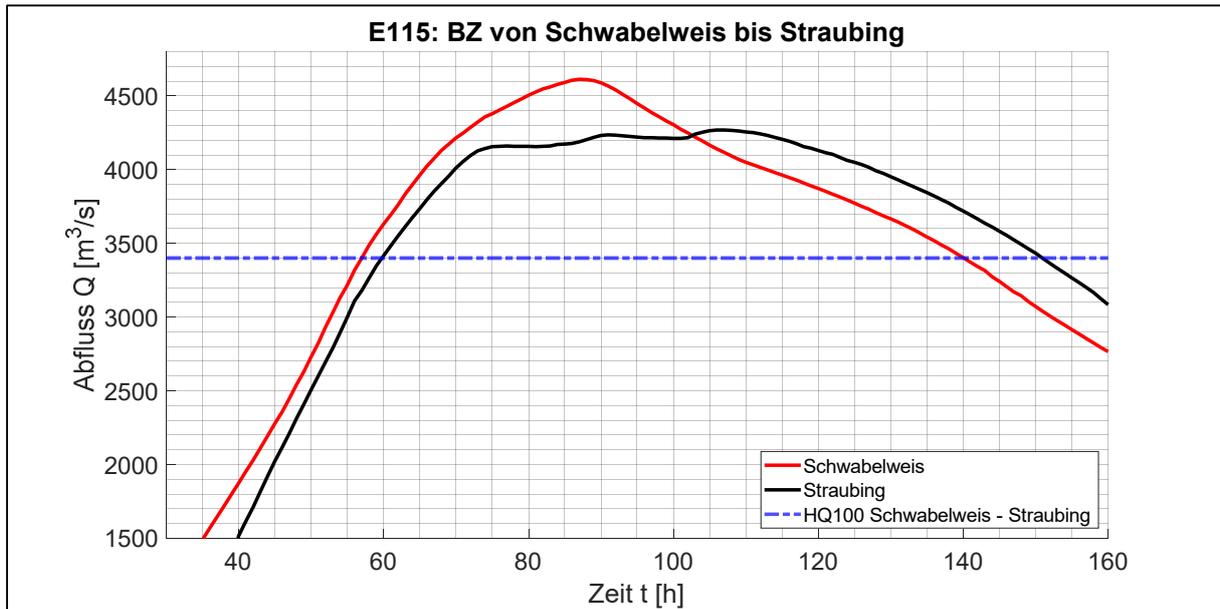


Abbildung 43: Ganglinien des Ereignisses E115 am Pegel Schwabelweis und Pegel Straubing im BZ mit dem HQ₁₀₀

Durch den extremen Überlastfall im Donauabschnitt III kommt es zu großflächigen Deichüberströmungen unterhalb des Pegels Schwabelweis und insbesondere unterhalb der Staustufe Geisling. Am stärksten sind diese Deichüberströmungen im Mündungsbereich der Wiesent. Dort übersteigt das Wasser ab ca. $t = 74$ h auf beiden Seiten der Donau die Deiche und flutet das Hinterland. Ab ca. $t = 88$ h wird zusätzlich der Rückstauedeich der Kößnach überströmt und weitere große Wassermengen verlassen den Flussschlauch der Donau. Diese großflächigen Deichüberströmungen wirken ähnlich wie eine Retention im Flutpolder und können in der Ganglinie am Pegel Straubing deutlich an der nahezu horizontalen Scheitelkappung bereits im BZ identifiziert werden (siehe Abbildung 43).

Die Öberauer Schleife wird im BZ ab ca. $t = 58$ h aktiviert; am Pegel Straubing erzeugt dies eine zeitverzögerte, kaum erkennbare Steigungsänderung der Ganglinie bei ca. $t = 62$ h. Zum Zeitpunkt der Überströmung der Donaudeiche bei der Mündung der Wiesent bei $t = 74$ h flacht die Ganglinie am Pegel Straubing nahezu vollständig ab, da der darüber liegende Scheitelabfluss über die Deiche strömt und das Hinterland flutet. Nach einem kurzen Anstieg bei $t = 87-90$ h wird nun auch der orographisch rechte Rückstauedeich der Kößnach überflutet und die Ganglinie am Pegel Straubing erreicht ein zweites Plateau. Da bei ca. $t = 102$ h Wasser aus dem Hinterland über die Kößnach zurück in die Donau strömt, steigt der Abfluss am Pegel Straubing nochmals kurz an und erreicht erst bei $t = 107$ h seinen Scheitel mit $4.268 \text{ m}^3/\text{s}$. Damit liegt der Scheitel nur noch über einem HQ₅₀₀; das HQ₁₀₀ wird insgesamt für 91 Stunden überschritten.

Dieses Ereignis stellt im BZ somit ein Katastrophenereignis dar, bei dem große Flächen hinter den Schutzdeichen unkontrolliert geflutet würden. Da auch Siedlungsbereiche betroffen wären, würde hier ein sehr großer finanzieller Schaden entstehen. Generell ist ein Versagen der

Deiche bei Überströmung zudem sehr wahrscheinlich. Wegen der dadurch eher theoretischen Ganglinie im BZ wird das Ereignis E115 mit den Modellen ab Straubing nicht weiter simuliert.

Da das Ereignis E115 am Anfang des Donauabschnitts I noch keinen Überlastfall darstellt, wird der Flutpolder Leipheim im PZ nicht aktiviert. Der Flutpolder Helmeringen wird aufgrund des großen Abflusses der Wörnitz in Donauwörth vorgeschaltet eingesetzt. Der ungesteuerte Flutpolder Neugeschüttwörth wirkt wiederum automatisch durch die Abflussdrossel. Der Rückhalteraum Tapfheim wird bei etwa HQ_{80} aktiviert, der Rückhalteraum Donauwörth ist durch das Hochwasser der Kessel bereits gefüllt. Abbildung 44 zeigt die dadurch resultierende Ganglinie am Pegel Donauwörth im PZ. Aufgrund der Kappung von $115 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $6,1 \%$ wird ein Abflussscheitel von $1.772 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht, was noch über einem HQ_{500} liegt.

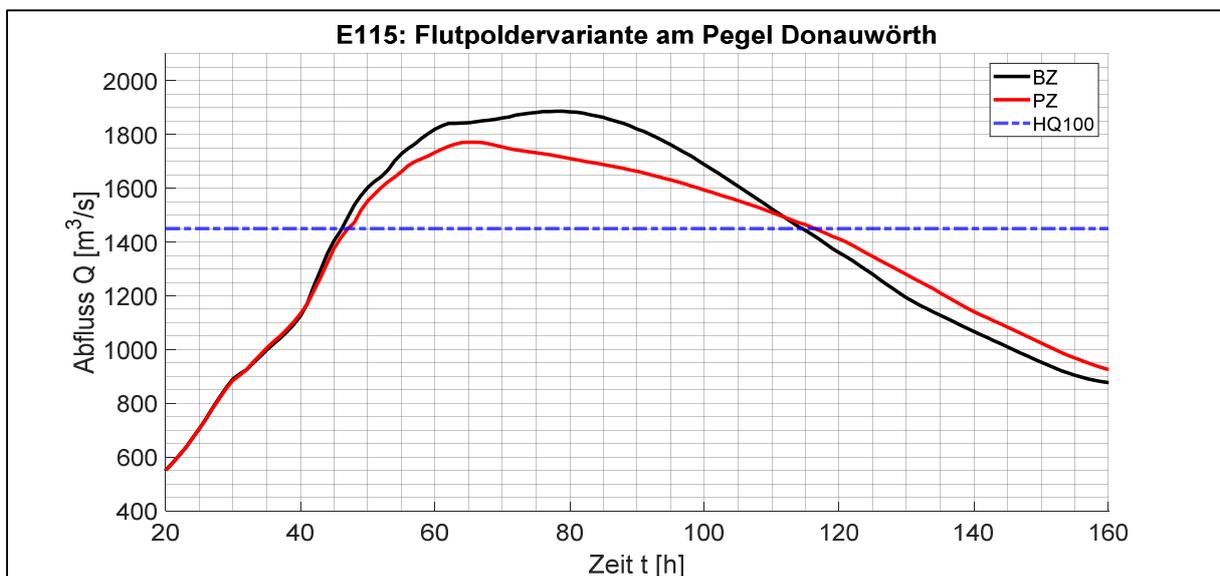


Abbildung 44: Ganglinien des PZ und des BZ am Pegel Donauwörth für das Ereignis E115

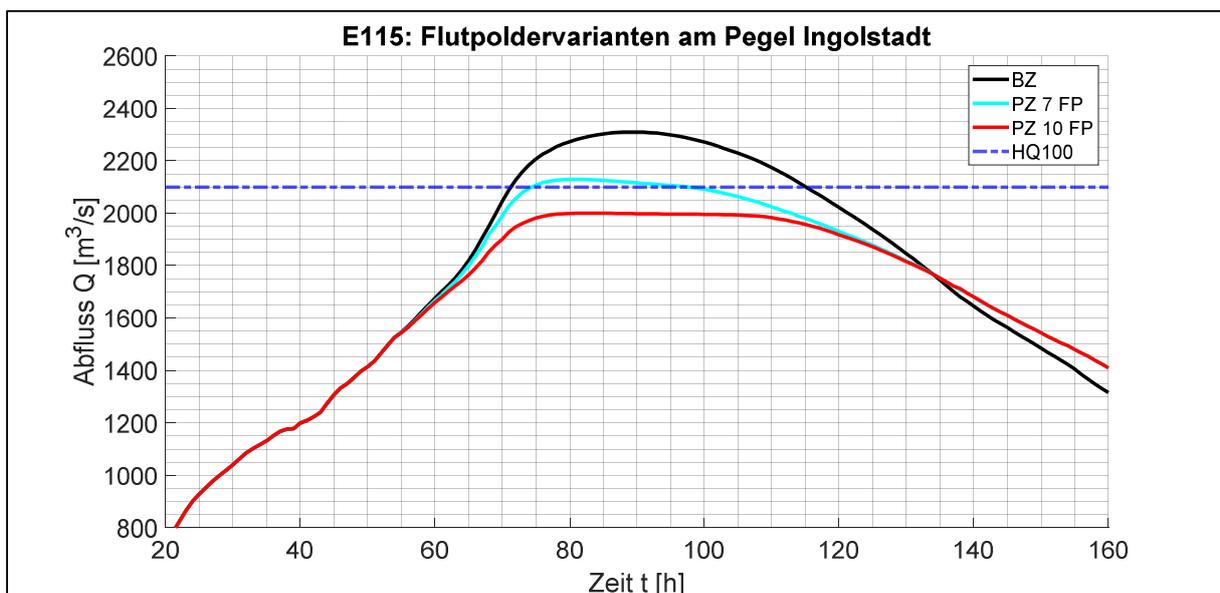


Abbildung 45: Ganglinien des PZ 7 FP, PZ 10 FP und des BZ am Pegel Ingolstadt für das Ereignis E115

Im PZ 7 FP wird der Abflussscheitel am Pegel Ingolstadt um $181 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $7,8 \%$ auf $2.129 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert. Es liegt immer noch ein leichter Überlastfall vor, das HQ_{100} wird noch 23 Stunden überschritten (siehe Abbildung 45). Im PZ 10 FP wird der Überlastfall am Pegel Ingolstadt jedoch verhindert. Durch ein zusätzliches Aktivieren des Flutpolders Bertoldsheim sinkt der Abflussscheitel am Pegel Ingolstadt um $309 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $13,4 \%$ auf $2.001 \text{ m}^3/\text{s}$.

Da der große Zufluss der Abens ($480 \text{ m}^3/\text{s}$) zwischen dem letzten Flutpolder im Donauabschnitt II (Katzau) und dem Pegel Kelheim liegt, kann am Pegel Kelheim mit beiden Varianten nicht der Überlastfall verhindert werden (siehe Abbildung 46). Im PZ 7 FP wird der Abflussscheitel um $183 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $7,4 \%$ auf $2.302 \text{ m}^3/\text{s}$ gesenkt. Dadurch wird das HQ_{100} noch für 46 Stunden überschritten. Im PZ 10 FP wird der Abflussscheitel um $228 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $9,2 \%$ auf $2.257 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert; das HQ_{100} wird für 24 Stunden überschritten. Mit einer leichten vorgeschalteten Steuerung eines oder mehrerer Flutpolder im Donauabschnitt II auf den Einfluss der Abens könnte auch am Pegel Kelheim der Überlastfall verhindert werden. Eine solche Vorschaltung wurde aber im Rahmen dieser Untersuchung bei den synthetischen Hochwasserereignissen nicht weiterverfolgt.

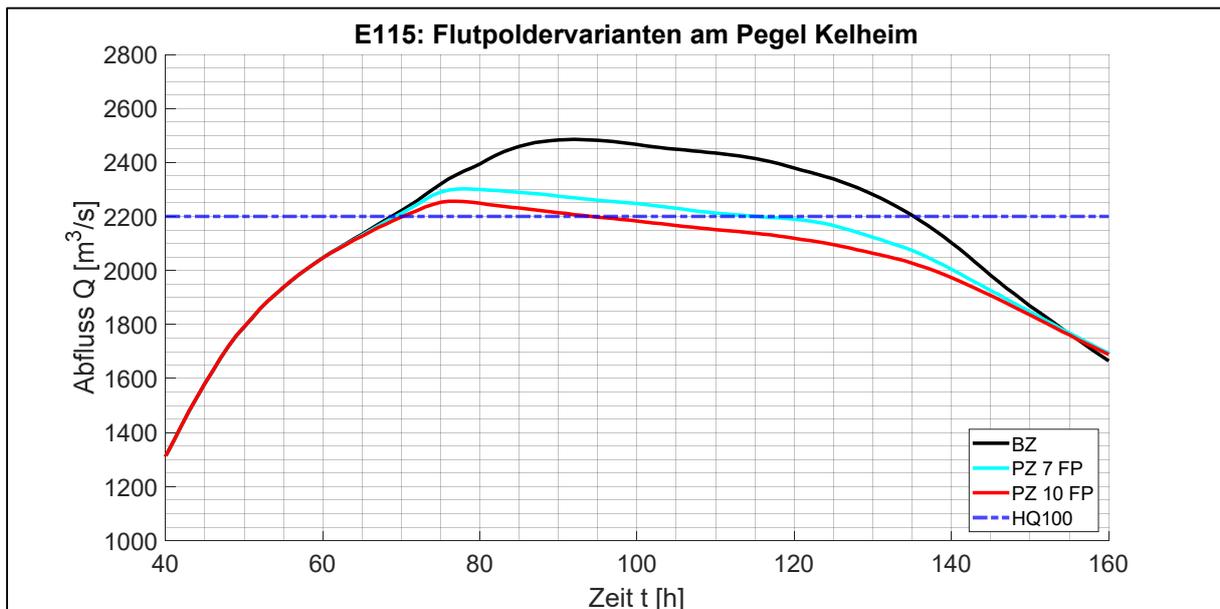


Abbildung 46: Ganglinien des PZ 7 FP, PZ 10 FP und des BZ am Pegel Kelheim für das Ereignis E115

Durch die besonders hohen Zuflüsse von Naab und Regen und deren Vorlauf relativ zum Donauscheitel ist am Pegel Schwabelweis nur noch eine geringere Abflussscheitelreduktion vorhanden (siehe Abbildung 47). Die oberhalb eingesetzten Flutpolder zeigen ihre Wirkung im ablaufenden Ast des Scheitels und tragen damit zur Verringerung der Scheitelfülle bei. Im PZ 7 FP wird der Abflussscheitel um $84 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $1,8 \%$ auf $4.527 \text{ m}^3/\text{s}$ gesenkt und somit das HQ_{1000} weiterhin überschritten. Im PZ 10 FP wird der Abflussscheitel um $125 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $2,7 \%$ auf $4.486 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert und damit das Überschreiten des HQ_{1000} verhindert.

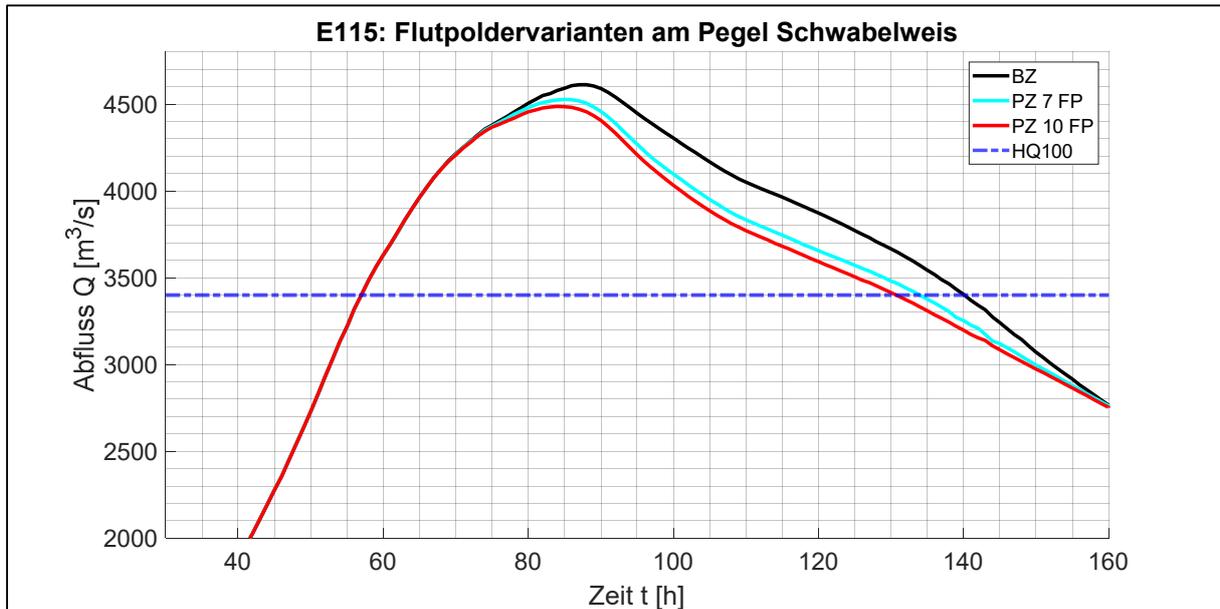


Abbildung 47: Ganglinien des PZ 7 FP, PZ 10 FP und des BZ am Pegel Schwabelweis für das Ereignis E115

Da im PZ 7 FP die Flutpolder Eltheim und Wörthhof nicht zur Verfügung stehen, kann die großflächige Überströmung der Deiche im Bereich der Wiesentmündung in dieser Variante nicht verhindert werden. Die massiven Überflutungen des Hinterlandes der Donau finden also auch bei dieser Variante statt. Am Pegel Straubing erzielt die Variante PZ 7 FP eine Abflussscheitelreduktion von 40 m³/s bzw. 0,9 % auf 4.228 m³/s (siehe Abbildung 48).

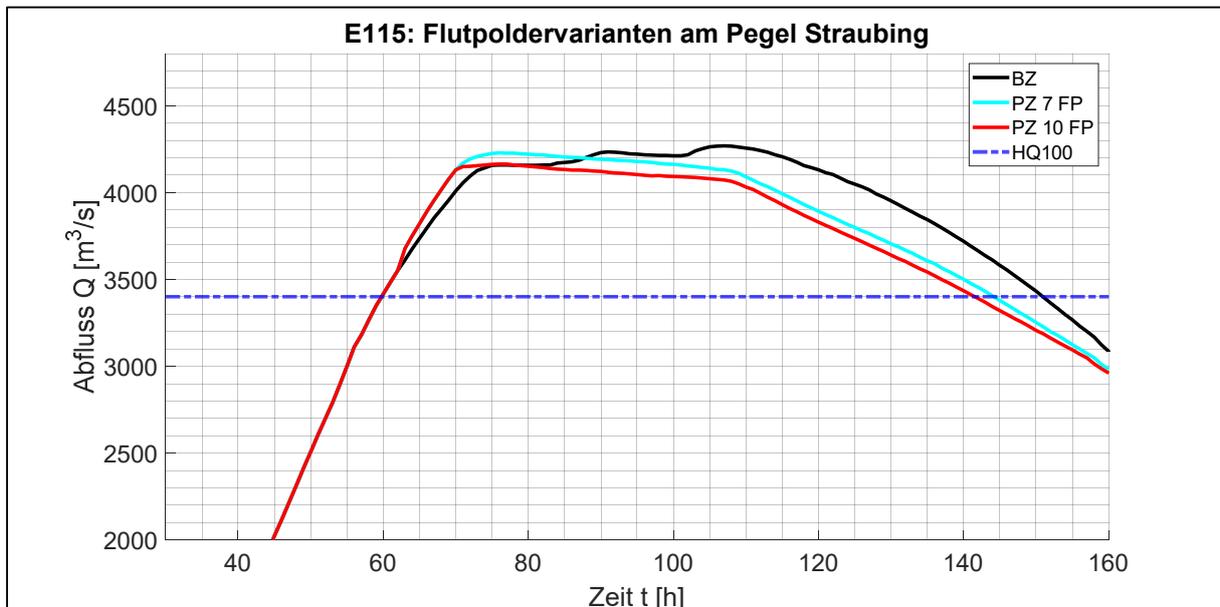


Abbildung 48: Ganglinien des PZ 7 FP, PZ 10 FP und des BZ am Pegel Straubing für das Ereignis E115

Durch die Aktivierung der Flutpolder Eltheim und Wörthhof im PZ 10 FP wird die Überströmung der Deiche im Bereich der Wiesentmündung verhindert. Die Wahrscheinlichkeit eines Deichversagens in diesem Abschnitt wird dadurch deutlich herabgesetzt. Am Pegel Straubing wird der Abflussscheitel um 104 m³/s bzw. 2,4 % auf 4.164 m³/s reduziert. Das Verhindern der Deichüberströmungen hat zur Folge, dass die Abflussreduktion am Pegel Straubing im Vergleich zum BZ und zu PZ 7 FP gering ausfällt, da hier im BZ wie auch im PZ 7 FP bereits eine deutliche Scheitelreduzierung durch die Deichüberströmungen auftritt. Eine Betrachtung der Abflussreduktion alleine ist hier nicht ausreichend, da bei allen drei Varianten eine beachtliche Scheitelkappung im Vergleich zur jeweiligen Ganglinie am Pegel Schwabelweis stattfindet. Die tatsächliche Wirkung der Flutpolder Eltheim und Wörthhof im Donauabschnitt III beim Ereignis E115 zeigt sich somit vor allem in der Vermeidung großflächiger Deichüberströmungen (wie sie im BZ auftreten und was in der Regel zu einem Deichversagen mit katastrophalen Folgen für die Siedlungen führt), also in einer gezielten Volumenverlagerung aus den Siedlungsbereichen in die dafür vorgesehenen Flutpolder.

Da auch für den PZ 10 FP im Donauabschnitt III noch Abflüsse auftreten, die ein HQ₅₀₀ überschreiten, und daher grundsätzlich weiterhin ein (allerdings gegenüber dem BZ deutlich vermindertes) Risiko eines Deichversagens besteht, werden die Auswirkungen einer alternativen Steuerung der Flutpolder Eltheim und Wörthhof auf Zeitgewinn abgeschätzt. Dabei wird angenommen, dass möglichst lange das HQ₁₀₀ gehalten und damit ein Zeitgewinn für kurzfristige Maßnahmen wie beispielsweise Evakuierungen geschaffen wird. Bei einer solchen Steuerung der Flutpolder Eltheim und Wörthhof würde sämtlicher Abfluss über HQ₁₀₀ in die Flutpolder laufen, bis diese vollständig gefüllt sind. Beim Ereignis E115 könnte mit dieser Steuerung ein Zeitgewinn von ca. 15 Stunden geschaffen werden.

Tabelle 11 fasst die Ergebnisse der Flutpolderuntersuchungen für das Ereignis E115 zusammen.

Tabelle 11: Abflussscheitel, Überschreitungsdauer des HQ₁₀₀, HQ₂₀₀, HQ₅₀₀ und HQ₁₀₀₀, absolute und relative Abflussscheitelreduktion sowie Reduktion des maximalen Wasserstandes an den Pegeln entlang der Donau für das Ereignis E115.

	Q max. [m ³ /s]	T>HQ ₁₀₀ [h]	T>HQ ₂₀₀ [h]	T>HQ ₅₀₀ [h]	T>HQ ₁₀₀₀ [h]	dQ abs. [m ³ /s]	dQ rel. [%]	dW [cm]
Donauwörth BZ	1.887	68	60	46	33	-	-	-
Donauwörth PZ	1.772	69	56	25	0	115	6,1	10-15
Neuburg BZ	2.320	47	28	0	0	-	-	-
Neuburg PZ 7 FP	2.147	30	0	0	0	173	7,5	-
Neuburg PZ 10 FP	2.015	0	0	0	0	305	13,1	-
Ingolstadt BZ	2.310	44	25	0	0	-	-	-

	Q max. [m ³ /s]	T>HQ ₁₀₀ [h]	T>HQ ₂₀₀ [h]	T>HQ ₅₀₀ [h]	T>HQ ₁₀₀₀ [h]	dQ abs. [m ³ /s]	dQ rel. [%]	dW [cm]
Ingolstadt PZ 7 FP	2.129	23	0	0	0	181	7,8	35-40
Ingolstadt PZ 10 FP	2.001	0	0	0	0	309	13,4	55-60
Kelheim BZ	2.485	67	41	0	0	-	-	-
Kelheim PZ 7 FP	2.302	46	0	0	0	183	7,4	20-25
Kelheim PZ 10 FP	2.257	24	0	0	0	228	9,2	25-30
Kelheimwinzer BZ	2.996	95	81	57	0	-	-	-
Kelheimwinzer PZ 7 FP	2.797	93	76	0	0	199	6,6	-
Kelheimwinzer PZ 10 FP	2.757	92	73	0	0	239	8,0	-
Schwabelweis BZ	4.611	84	67	40	14	-	-	-
Schwabelweis PZ 7 FP	4.527	77	56	32	7	84	1,8	5-10
Schwabelweis PZ 10 FP	4.486	74	52	30	0	125	2,7	10-15
Straubing BZ	4.268*	91	76	50	0	-	-	-
Straubing PZ 7 FP	4.228*	85	67	40	0	40*	0,9*	-
Straubing PZ 10 FP	4.164*	82	63	26	0	104*	2,4*	-

*Sowohl im BZ als auch im PZ 7 FP treten zwischen dem Pegel Schwabelweis und dem Pegel Straubing großflächige Deichüberströmungen auf. Die tatsächliche Wirkung der Flutpolder im PZ 10 FP zeigt sich vor allem in der Vermeidung großflächiger Deichüberströmungen, eine alleinige Betrachtung der Abflussreduktion am Pegel Straubing ist hier nicht ausreichend.

3.2.4 E265

Das Ereignis E265 hat am Modellzulauf am Kraftwerk Oberelchingen einen Abflussscheitel von 1.359 m³/s; dies liegt knapp über dem HQ₂₀₀. Am Pegel Donauwörth wird das HQ₁₀₀ mit 1.450 m³/s genau erreicht.

Abbildung 49 zeigt, dass das Ereignis E265 jedoch im Donauabschnitt II deutlich vom Lech geprägt ist. Der Lech hat einen frühen Abflussscheitel von 1.735 m³/s bei t = 54 h. Zum Zeitpunkt t = 126 h trifft ungefähr der Donauscheitel an der Lechmündung ein und beide Flüsse

zusammen erzeugen unterstrom am Pegel Ingolstadt einen Abflussscheitel von 2.956 m³/s. Damit wird am Pegel Ingolstadt sogar das HQ₁₀₀₀ von 2.600 m³/s deutlich überschritten. Insgesamt überschreitet das Ereignis E265 am Pegel Ingolstadt das HQ₁₀₀ über eine Zeitdauer von 137 Stunden.

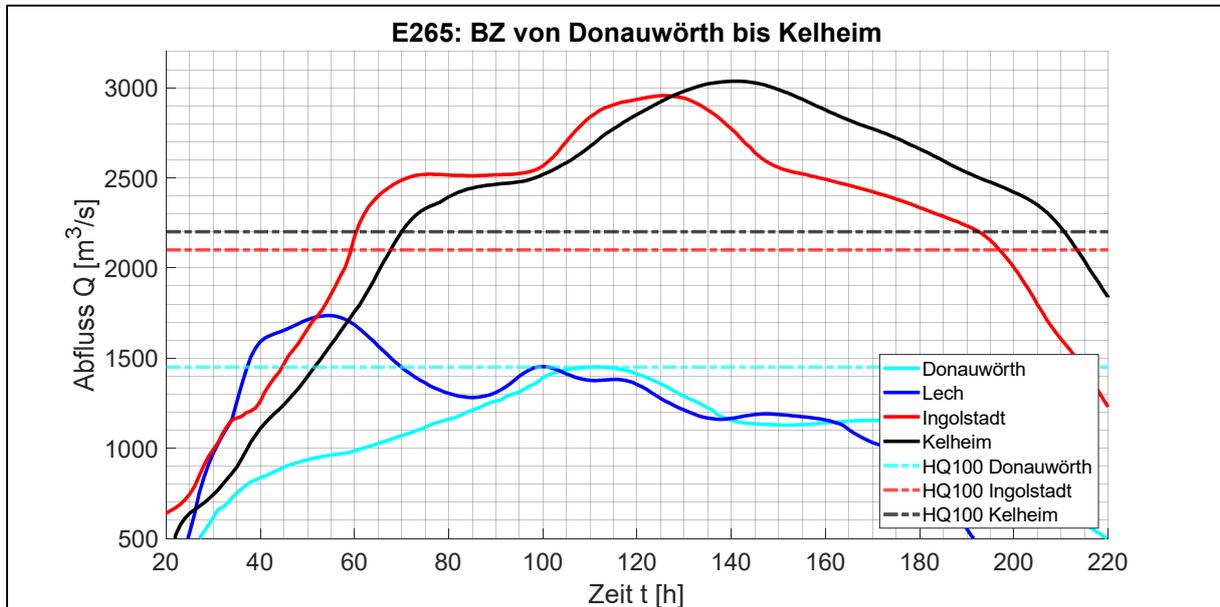


Abbildung 49: Ganglinien des Ereignisses E265 am Pegel Donauwörth, Pegel Ingolstadt und Pegel Kelheim im BZ mit dem jeweiligen HQ₁₀₀ und der Zulaufganglinie des Lechs

Am Pegel Kelheim erhöht sich der Abflussscheitel weiter auf 3.036 m³/s. Damit wird auch hier das HQ₁₀₀₀ von 2.800 m³/s deutlich übertroffen. Das Ereignis E265 überschreitet am Pegel Kelheim das HQ₁₀₀ für 141 Stunden.

Durch die deutlichen Überschreitungen des HQ₁₀₀₀ an den Pegeln unterstrom der Lechmündung sind Deichbrüche beim Ereignis E265 im Donauabschnitt II sehr wahrscheinlich. Bei einem oder mehreren Deichbrüchen in diesem Donauabschnitt würde zwar der Abflussscheitel deutlich reduziert werden, gleichzeitig würden diese Deichbrüche jedoch auch katastrophale Folgen und große finanzielle Schäden nach sich ziehen.

Abbildung 50 zeigt den BZ des Ereignis E265 an den Pegeln Schwabelweis, Straubing, Degendorf und Hofkirchen; hier ist das Hochwasserereignis E265 nicht ganz so extrem wie im Donauabschnitt II. Die Abflussscheitel von Altmühl (255 m³/s), Naab (484 m³/s) und Regen (418 m³/s) erzeugen am Pegel Schwabelweis einen Abflussscheitel von 3.840 m³/s, was einem HQ₂₀₀₋₃₀₀ entspricht; das HQ₁₀₀ wird für 99 Stunden überschritten.

Aufgrund der sehr großen Volumenfülle des Ereignisses E265 kann die unkontrollierte Flutung der Oberauer Schleife im Bezugszustand keine Reduktion des Abflussscheitels am Pegel Straubing bewirken; der Abflussscheitel erhöht sich auf 3.924 m³/s. Insgesamt wird das HQ₁₀₀ für 108 Stunden überschritten.

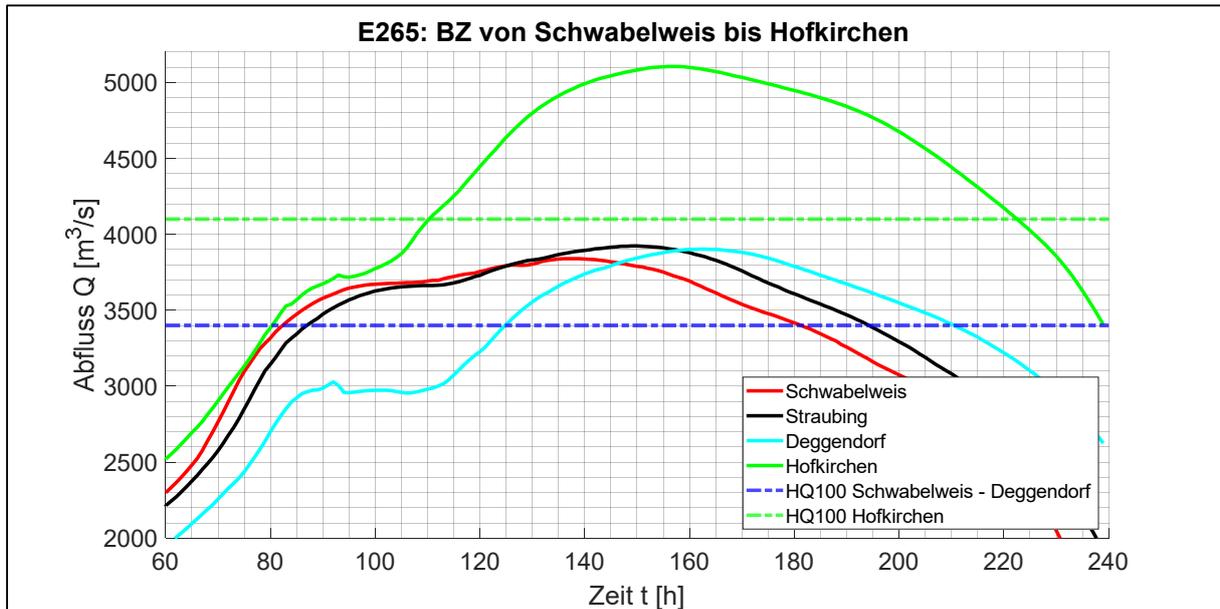


Abbildung 50: Ganglinien des Ereignisses E265 am Pegel Schwabelweis, Pegel Straubing, Pegel Deggendorf und Pegel Hofkirchen im BZ mit dem jeweiligen HQ₁₀₀

Auch die geplanten Rückhalteräume zwischen Straubing und Deggendorf können den Scheitel der Hochwasserwelle kaum beeinflussen. Zwar wird im ansteigenden Ast der Hochwasserwelle eine deutliche Abflusssenke erzeugt und damit ein Zeitgewinn geschaffen, der absolute Abflussscheitel bleibt jedoch bei 3.901 m³/s, was einem HQ₃₀₀ entspricht. Insgesamt wird das HQ₁₀₀ für 86 Stunden überschritten.

Die Isar führt einen Abflussscheitel von 1.340 m³/s. Damit steigt der Abflussscheitel am Pegel Hofkirchen auf 5.066 m³/s und damit über HQ₅₀₀; das HQ₁₀₀ wird für 110 Stunden überschritten.

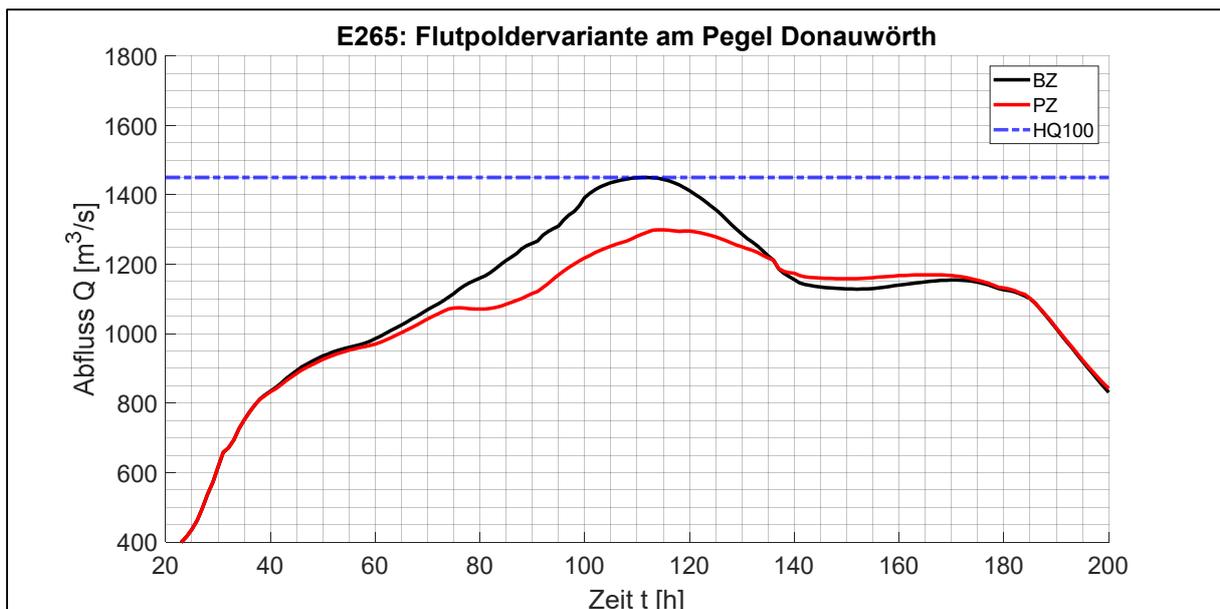


Abbildung 51: Ganglinien des PZ und des BZ am Pegel Donauwörth für das Ereignis E265

Aufgrund der extrem hohen Abflüsse im Donauabschnitt II unterstrom der Lechmündung wird beim Ereignis E265 eine besondere Steuerung der Flutpolder im Donauabschnitt I angesetzt. Obwohl an den Flutpoldern Leipheim und Helmeringen kein Überlastfall im BZ auftritt, wird dennoch angesichts des unterhalb drohenden Katastrophenhochwassers eine lokale Steuerung an den beiden Flutpoldern geschaltet, um eine zusätzliche Entlastung für den Donauabschnitt II zu schaffen. Durch die Kombination der Flutpolder Leipheim, Helmeringen, Neugeschüttwörth und den Rückhalteräumen Tapfheim und Donauwörth wird am Pegel Donauwörth der Abflussscheitel um $151 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $10,4 \%$ auf $1.299 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert (siehe Abbildung 51).

Im Donauabschnitt II und III werden wiederum beide PZ-Varianten – PZ 7 FP und PZ 10 FP – simuliert. Abbildung 52 zeigt die Wirkung der beiden Flutpoldervarianten am Pegel Ingolstadt. Bei der Variante PZ 7 FP wird bis zum Pegel Ingolstadt nur der Flutpolder Riedensheim zusätzlich zu den Flutpoldern im Donauabschnitt I aktiviert. Dadurch wird am Pegel Ingolstadt der Abflussscheitel um $254 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $8,6 \%$ auf $2.702 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert. Damit wird jedoch weiterhin das HQ_{1000} überschritten. Mit der Variante PZ 10 FP wird der Abflussscheitel um $379 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $12,8 \%$ auf $2.577 \text{ m}^3/\text{s}$ gesenkt. Dadurch wird das HQ_{1000} am Pegel Ingolstadt verhindert. Bei beiden Flutpoldervarianten wird weiterhin das HQ_{100} für jeweils 137 Stunden überschritten. Auch wenn der Abflussscheitel bei beiden Varianten deutlich gesenkt und die Gefahr von Deichbrüchen im Bereich Ingolstadt reduziert wird, sind bei diesen hohen Abflüssen Deichversagen unterhalb weiterhin nicht auszuschließen.

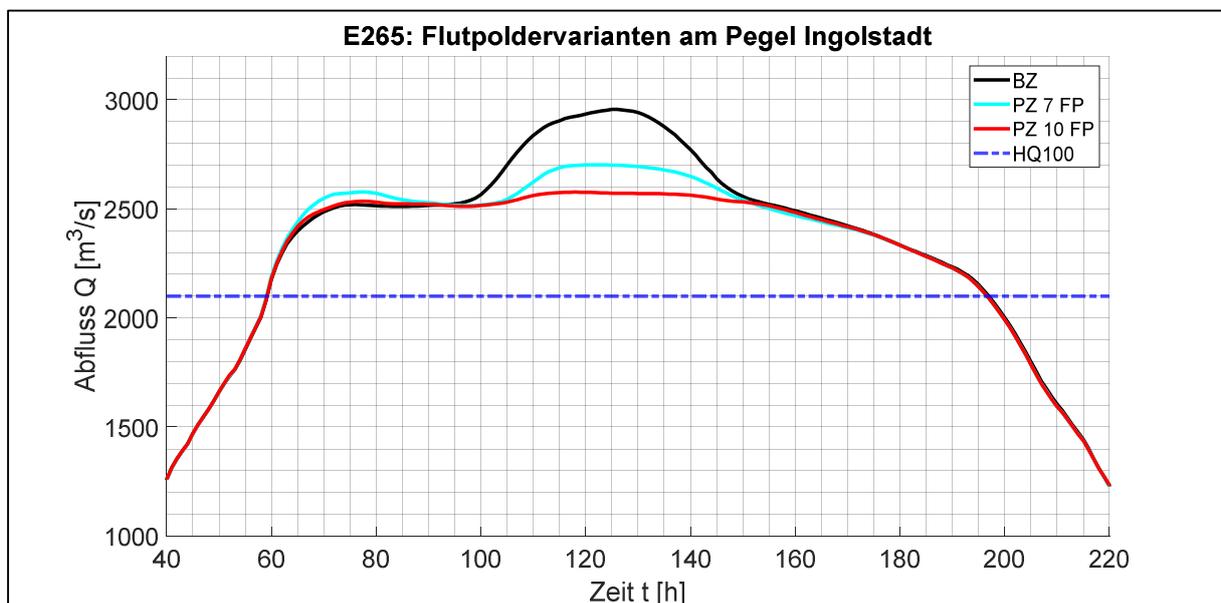


Abbildung 52: Ganglinien des PZ 10 FP, PZ 7 FP und des BZ am Pegel Ingolstadt für das Ereignis E265

Auch bei dem Ereignis E265 wäre somit eine Steuerung der Flutpolder Bertoldsheim und Riedensheim auf Zeitgewinn eine Alternative im Hochwasserschutz, falls das Risiko eines Deichversagens bei lokaler Steuerung der Flutpolder (Einsatzziel Scheitelreduzierung) als zu groß eingeschätzt würde. Bei einer alleinigen Steuerung des Flutpolders Riedensheim auf Zeitgewinn (PZ 7 FP) kann z. B. das HQ_{100} beim Ereignis E265 ca. 8 Stunden gehalten werden, bis

Abschlussbericht Weitergehende Untersuchungen, Februar 2021

der Flutpolder vollständig gefüllt ist. Bei einer zusätzlichen Steuerung des Flutpolders Bertoldsheim auf Zeitgewinn (PZ 10 FP) kann das HQ_{100} ca. 18 Stunden gehalten werden.

Am Pegel Kelheim wird durch die Flutpoldervariante PZ 7 FP der Abflussscheitel um $318 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. 10,5 % auf $2.718 \text{ m}^3/\text{s}$ verringert (siehe Abbildung 53). Durch die Flutpoldervariante PZ 10 FP wird der Abflussscheitel am Pegel Kelheim um $381 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. 12,5 % auf $2.655 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert. Damit wird mit beiden Flutpoldervarianten das Überschreiten des HQ_{1000} am Pegel Kelheim verhindert, die Abflüsse liegen aber noch über einem HQ_{500} .

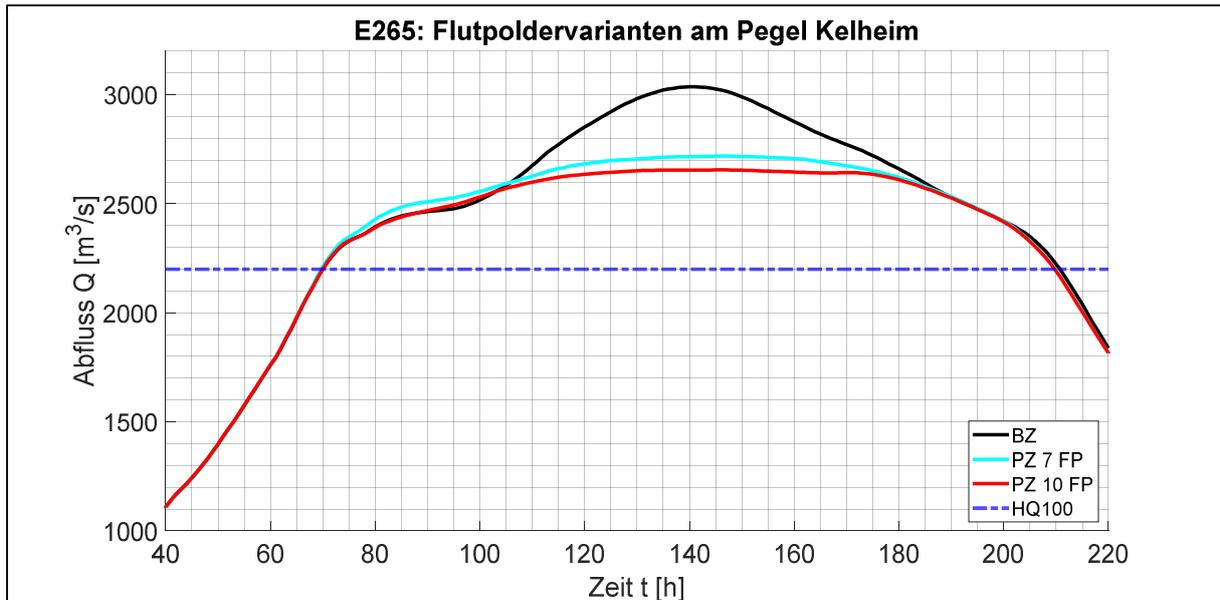


Abbildung 53: Ganglinien des PZ 10 FP, PZ 7 FP und des BZ am Pegel Kelheim für das Ereignis E265

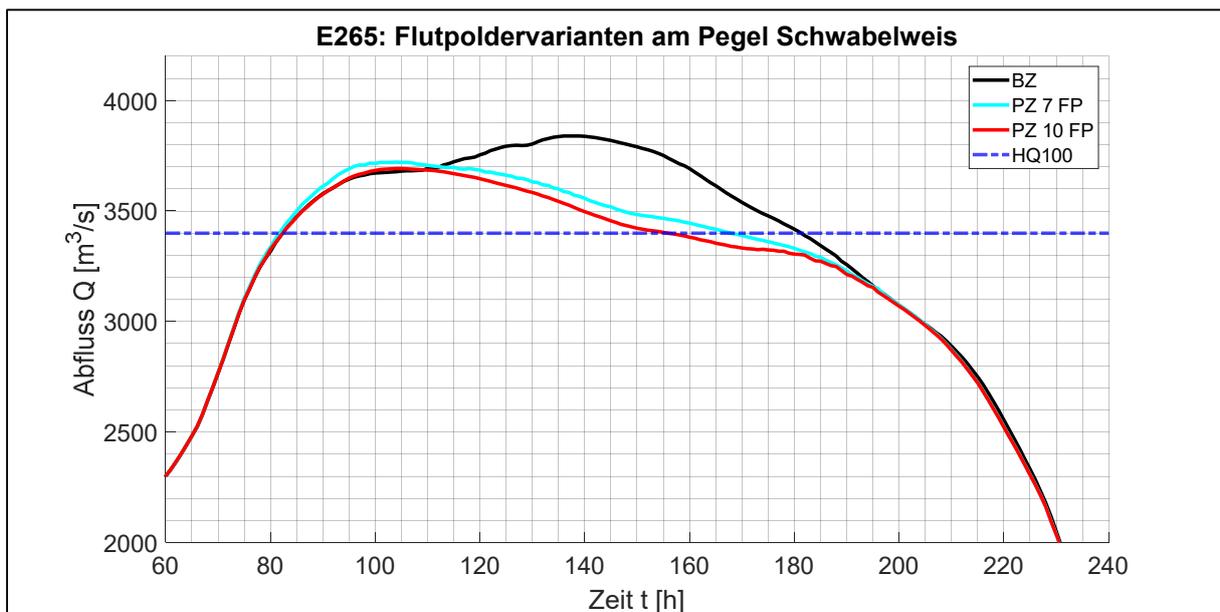


Abbildung 54: Ganglinien des PZ 10 FP, PZ 7 FP und des BZ am Pegel Schwabelweis für das Ereignis E265

Im BZ ist der Abflussscheitel am Pegel Schwabelweis noch donaugeprägt, das heißt, dass der absolute Abflussscheitel am Pegel nicht von einem seitlichen Zufluss direkt verursacht wird. Da im PZ der Donauscheitel im Donauabschnitt II deutlich reduziert wird, ist der Abflussscheitel am Pegel Schwabelweis nun von den Zuflüssen von Naab und Regen geprägt (siehe Abbildung 54). Dies zeigt sich dadurch, dass die oberhalb eingesetzten Flutpolder ihre Wirkung im hinteren Teil des Scheitels zeigen und der neue niedrigere Scheitel der Ganglinienkurve nun zeitlich früher liegt. Auch wenn damit keine optimale Scheitelkappung vorliegt, führen die bisherigen Rückhaltungen zu einer deutlichen Verringerung der Scheitelfülle.

Mit der Flutpoldervariante PZ 7 FP wird der Abflussscheitel um $119 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $3,1 \%$ auf $3.721 \text{ m}^3/\text{s}$ gesenkt. Mit der Flutpoldervariante PZ 10 FP wird der Abflussscheitel am Pegel Schwabelweis um $148 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $3,9 \%$ auf $3.692 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert. Bei beiden Varianten wird etwa ein HQ_{200} am Pegel Schwabelweis erreicht; das HQ_{100} wird nur noch für 86 Stunden (PZ 7 FP) bzw. 73 Stunden (PZ 10 FP) überschritten.

Zwischen dem Pegel Schwabelweis und dem Pegel Straubing wirkt im PZ 7 FP nur der Flutpolder Öberauer Schleife. Dadurch wird der Abflussscheitel am Pegel Straubing um $213 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $5,4 \%$ auf $3.711 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert (siehe Abbildung 55); damit wird das HQ_{200} weiterhin knapp überschritten. Durch eine zusätzliche Aktivierung der Flutpolder Eltheim und Wörthhof im PZ 10 FP reduziert sich der Abflussscheitel am Pegel Straubing insgesamt um $391 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $10,0 \%$ auf $3.533 \text{ m}^3/\text{s}$. Damit wird das HQ_{200} in der Variante PZ 10 FP deutlich verhindert. Aufgrund der sehr breiten Hochwasserwelle des Ereignisses E265 kann jedoch auch die Variante PZ 10 FP nicht verhindern, dass das HQ_{100} am Pegel Straubing noch für 94 Stunden überschritten wird.

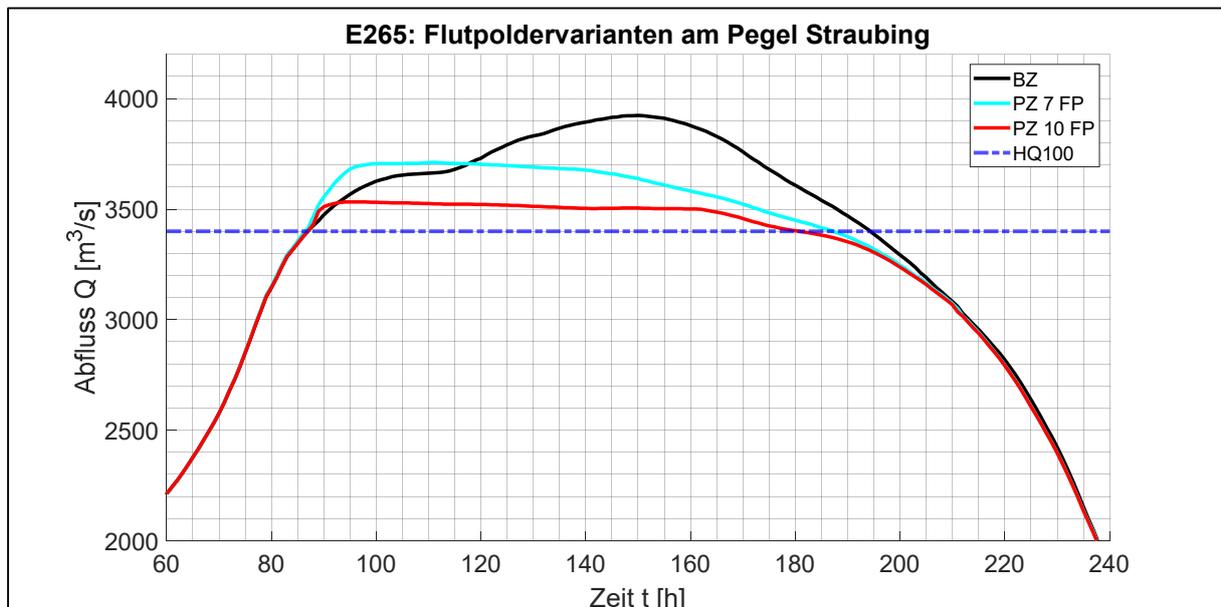


Abbildung 55: Ganglinien des PZ 10 FP, PZ 7 FP und des BZ am Pegel Straubing für das Ereignis E265

Unterstrom des Pegels Straubing wird lediglich die Variante PZ 10 FP weitersimuliert. Am Pegel Deggendorf wird durch den PZ 10 FP der Abflussscheitel um $367 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $9,4 \%$ auf

3.534 m³/s reduziert (siehe Abbildung 56). Dadurch wird auch am Pegel Deggendorf das HQ₂₀₀ verhindert und die Zeitdauer der Überschreitung des HQ₁₀₀ auf 66 Stunden verkürzt.

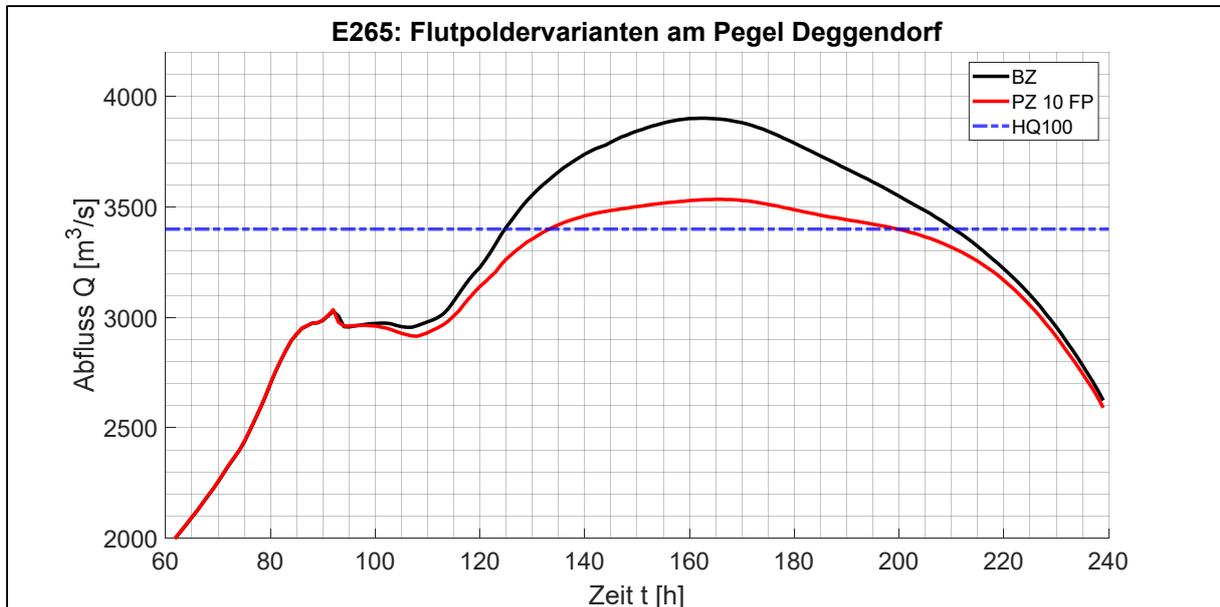


Abbildung 56: Ganglinien des PZ 10 FP und des BZ am Pegel Deggendorf für das Ereignis E265

Nach dem hohen Zufluss der Isar zeigt die Flutpoldervariante am Pegel Hofkirchen im PZ 10 FP immer noch eine deutliche Wirkung (siehe Abbildung 57), der Abflussscheitel wird um 323 m³/s bzw. 6,4 % auf 4.743 m³/s vermindert. Dies liegt zwar deutlich unter HQ₅₀₀, stellt aber immer noch einen größeren Überlastfall dar.

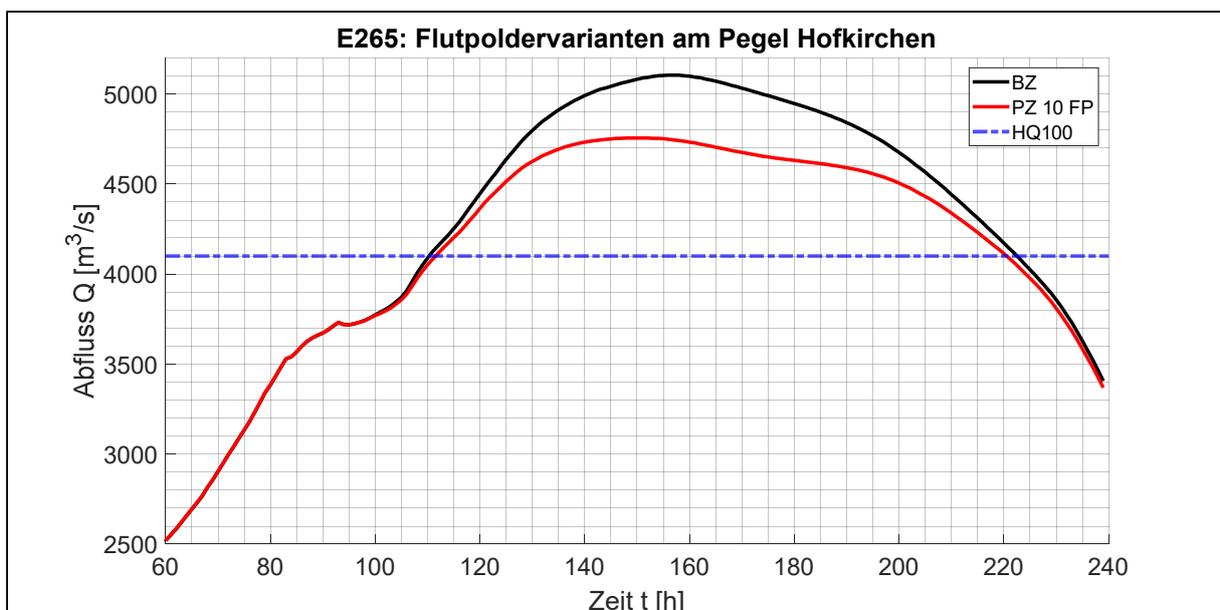


Abbildung 57: Ganglinien des PZ 10 FP und des BZ am Pegel Hofkirchen für das Ereignis E265

Tabelle 12 fasst die Ergebnisse der Flutpolderwirkungen für das Ereignis E265 zusammen.

Abschlussbericht Weitergehende Untersuchungen, Februar 2021

Tabelle 12: Abflussscheitel, Überschreitungsdauer des HQ_{100} , HQ_{200} , HQ_{500} und HQ_{1000} , absolute und relative Abflussscheitelreduktion sowie Reduktion des maximalen Wasserstandes an den Pegeln entlang der Donau für das Ereignis E265.

	Q max. [m ³ /s]	T>HQ ₁₀₀ [h]	T>HQ ₂₀₀ [h]	T>HQ ₅₀₀ [h]	T>HQ ₁₀₀₀ [h]	dQ abs. [m ³ /s]	dQ rel. [%]	dW [cm]
Donauwörth BZ	1.450	1	0	0	0	-	-	-
Donauwörth PZ	1.299	0	0	0	0	151	10,4	20-25
Neuburg BZ	2.913	143	130	102	43	-	-	-
Neuburg PZ 7 FP	2.717	142	129	99	45	196	6,7	-
Neuburg PZ 10 FP	2.590	142	129	101	0	323	11,1	-
Ingolstadt BZ	2.956	137	127	99	45	-	-	-
Ingolstadt PZ 7 FP	2.702	137	128	98	36	254	8,6	40-45
Ingolstadt PZ 10 FP	2.577	137	127	98	0	379	12,8	65-70
Kelheim BZ	3.036	141	128	83	52	-	-	-
Kelheim PZ 7 FP	2.718	140	125	76	0	318	10,5	20-25
Kelheim PZ 10 FP	2.655	140	123	71	0	381	12,5	30-35
Kelheimwinzer BZ	3.235	142	128	83	52	-	-	-
Kelheimwinzer PZ 7 FP	2.925	142	128	85	0	310	9,6	-
Kelheimwinzer PZ 10 FP	2.869	141	127	80	0	366	11,3	-
Schwabelweis BZ	3.840	99	47	0	0	-	-	-
Schwabelweis PZ 7 FP	3.721	86	17	0	0	119	3,1	10-15
Schwabelweis PZ 10 FP	3.692	73	0	0	0	148	3,9	10-15
Straubing BZ	3.924	108	56	0	0	-	-	-
Straubing PZ 7 FP	3.711	101	26	0	0	213	5,4	-
Straubing PZ 10 FP	3.533	94	0	0	0	391	10,0	-

	Q max. [m ³ /s]	T>HQ ₁₀₀ [h]	T>HQ ₂₀₀ [h]	T>HQ ₅₀₀ [h]	T>HQ ₁₀₀₀ [h]	dQ abs. [m ³ /s]	dQ rel. [%]	dW [cm]
Pfelling* BZ	3.660	78	0	0	0	-	-	-
Pfelling* PZ 10 FP	3.361	0	0	0	0	299	8,2	30-35
Deggendorf BZ	3.901	86	50	0	0	-	-	-
Deggendorf PZ 10 FP	3.534	66	0	0	0	367	9,4	-
Niederalteich BZ	5.105	112	86	33	0	-	-	-
Niederalteich PZ 10 FP	4.756	109	76	0	0	349	6,8	-
Hofkirchen BZ	5.066	110	87	29	0	-	-	-
Hofkirchen PZ 10 FP	4.743	107	76	0	0	323	6,4	25-30
Vilshofen BZ	5.036	112	86	21	0	-	-	-
Vilshofen PZ 10 FP	4.702	108	73	0	0	333	6,6	-

*Der Pegel Pfelling erfasst nur einen Teilabfluss, da der Pegel bei großen Hochwasserereignissen umläufig ist.

3.2.5 E271

Das Ereignis E271 hat am Modellzulauf am Kraftwerk Oberelchingen einen Abflussscheitel von 900 m³/s und ist damit nur knapp über dem HQ₁₀. Im Donauabschnitt I sorgen jedoch die Abflussscheitel von Günz (145 m³/s), Mindel (99 m³/s), Egau (196 m³/s), Kessel (157 m³/s) und vor allem Wörnitz (934 m³/s) für einen starken Anstieg des Abflusses der Donau. Da die Wörnitz erst unterstrom des Riedstroms und direkt oberhalb des Pegels Donauwörth in die Donau mündet, ist das Hochwasser am Pegel Donauwörth von der Wörnitz geprägt (siehe Abbildung 58). Damit erreicht die Donau in Donauwörth einen Abflussscheitel von 1.926 m³/s und überschreitet das HQ₁₀₀₀. Insgesamt wird das HQ₁₀₀ für 63 Stunden überschritten.

Da der Lech im Abflussscheitel lediglich 561 m³/s führt, nimmt der Überlastfall am Pegel Ingolstadt ab. Mit einem Abflussscheitel von 2.480 m³/s entspricht er etwa einem HQ₅₀₀. Das HQ₁₀₀ wird noch für 50 Stunden überschritten.

Durch die Abflussscheitel von der Paar (196 m³/s) und der Abens (377 m³/s) steigt der Abflussscheitel am Pegel Kelheim auf 2.655 m³/s und übersteigt weiterhin das HQ₅₀₀. Das HQ₁₀₀ wird für 70 Stunden überschritten.

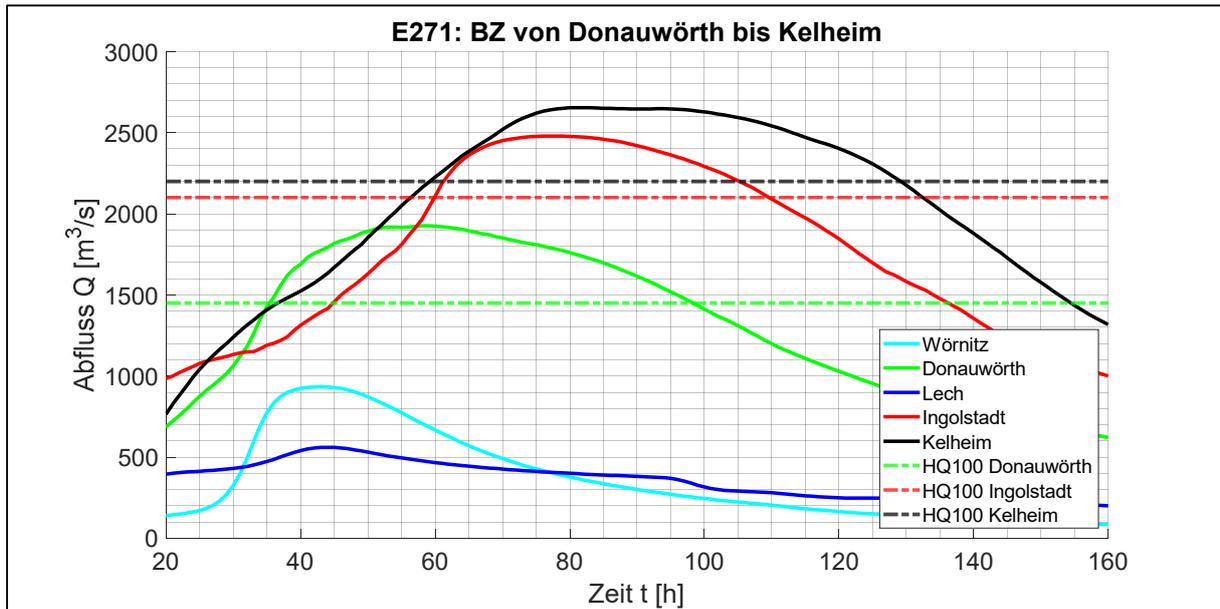


Abbildung 58: Ganglinien des Ereignisses E271 am Pegel Donauwörth, Pegel Ingolstadt und Pegel Kelheim im BZ mit dem jeweiligen HQ_{100} und den Zulaufganglinien der Wörnitz und des Lechs

Abbildung 59 zeigt die Ganglinien an den Pegeln Schwabelweis und Straubing für den BZ des Ereignis E271. Die Altmühl (595 m³/s), die Naab (1.024 m³/s) und der Regen (449 m³/s) haben sehr hohe Abflussscheitel, die auf die schon stark erhöhte Donau treffen. Dadurch entsteht am Pegel Schwabelweis ein Abflussscheitel von 4.575 m³/s und das HQ_{1000} wird erreicht. Das HQ_{100} wird insgesamt für 77 Stunden überschritten.

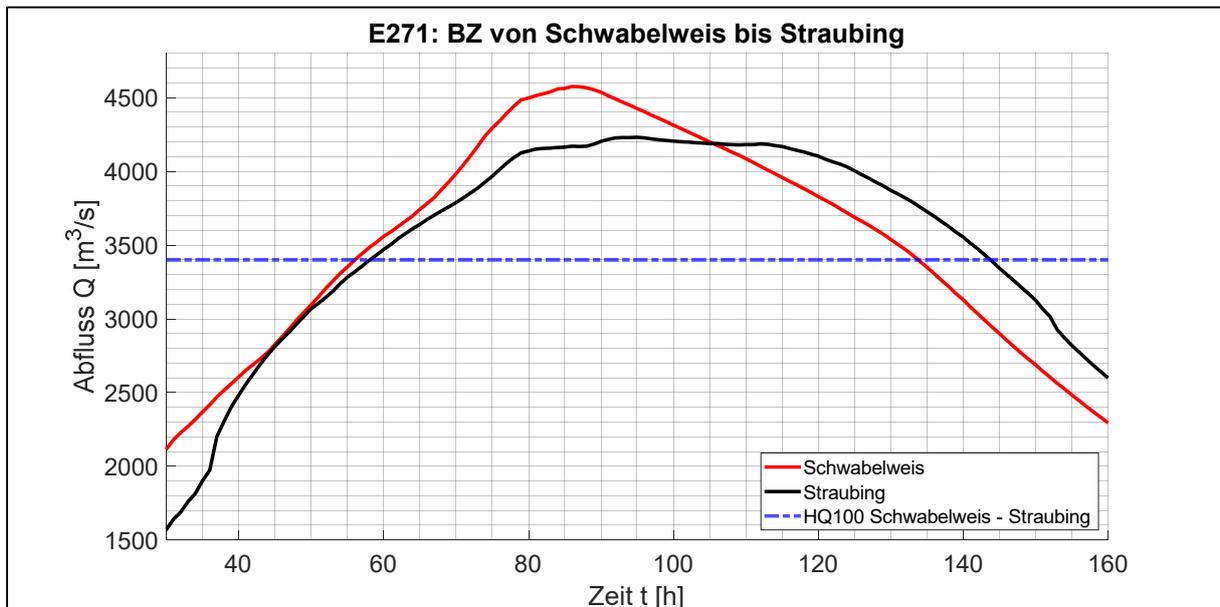


Abbildung 59: Ganglinien des Ereignisses E271 am Pegel Schwabelweis und Pegel Straubing mit dem HQ_{100} im BZ

Zwischen dem Pegel Schwabelweis und dem Pegel Straubing kommt es bei diesem extremen Überlastfall zu großflächigen Überströmungen der Hochwasserschutzdeiche. Zunächst werden ab $t = 78$ h kurz unterstrom der Mündung der Wiesent die Deiche auf beiden Seiten der Donau überströmt. Durch diese Überströmungen ist das gesamte Gebiet zwischen der Mündung der Wiesent und der Mündung der Kößnach überflutet. Von $t = 90$ h bis $t = 94$ h fließt dann Wasser aus dem Hinterland über die Deiche der Kößnach zurück in die Donau. Die Öberauer Schleife wird im BZ ab ca. $t = 55$ h durch Überströmen der Deiche unkontrolliert geflutet.

Diese Überströmungen sind am Pegel Straubing – wie beim Ereignis E115 (siehe Kapitel 3.2.3) – zum Teil deutlich im Ganglinienverlauf zu erkennen (siehe Abbildung 59). Zu Beginn der Überströmungen der Deiche im Bereich der Wiesentmündung bei $t = 78$ h bildet sich für einen Zeitraum von ca. 10 Stunden ein Plateau am Pegel Straubing. Als dann der Abfluss weiter ansteigt, kommt es zur großflächigen Überströmung des Rückstaudeichs der Kößnach und die Ganglinie am Pegel Straubing erreicht ein zweites, ausgedehntes Plateau. Die Überströmungen der Deiche zwischen Schwabelweis und Straubing bewirken also beim Ereignis E271 auch wieder eine Scheitelkappung ähnlich der bei einem Flutpoldereinsatz, da sich am Pegel Straubing ein nahezu horizontaler Hochwasserscheitel bildet. Die Folgen solch großflächiger Deichüberströmungen wurden beim Ereignis E115 in Kapitel 3.2.3 bereits beschrieben. Wegen der eher theoretischen Ganglinie im BZ wird das Ereignis E271 mit den Modellen ab Straubing auch nicht weiter simuliert.

Durch die Überströmungen der Deiche wird am Pegel Straubing das HQ_{1000} unterschritten, da nur noch ein Abflussscheitel von $4.230 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht wird. Das HQ_{100} wird für 85 Stunden überschritten.

Das Ereignis E271 ist im Donauabschnitt I an den Flutpoldern Leipheim und Helmeringen noch zu niedrig, als dass ein lokaler Einsatz notwendig wäre. Da jedoch die Wörnitz einen großen Überlastfall am Pegel Donauwörth prägt, wird der Flutpolder Helmeringen mit einer regionalen Steuerung auf die Wörnitz vorgeschaltet. Zusammen mit der Wirkung des ungesteuerten Flutpolders Neugeschüttwörth und der bereits ab HQ_{80} aktivierten RHR Tapfheim und Donauwörth wird der Abflussscheitel am Pegel Donauwörth im PZ um $67 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. 3,5 % auf $1.858 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert. Da der Hochwasserscheitel in Donauwörth stark von der Wörnitz, die erst bei Donauwörth in die Donau mündet, geprägt ist, ist die Flutpolderwirkung im Abflussscheitel am Pegel Donauwörth verglichen mit anderen Ereignissen gering. In der Breite wird der Hochwasserwelle aber dennoch ein großes Wasservolumen entzogen (siehe Abbildung 60).

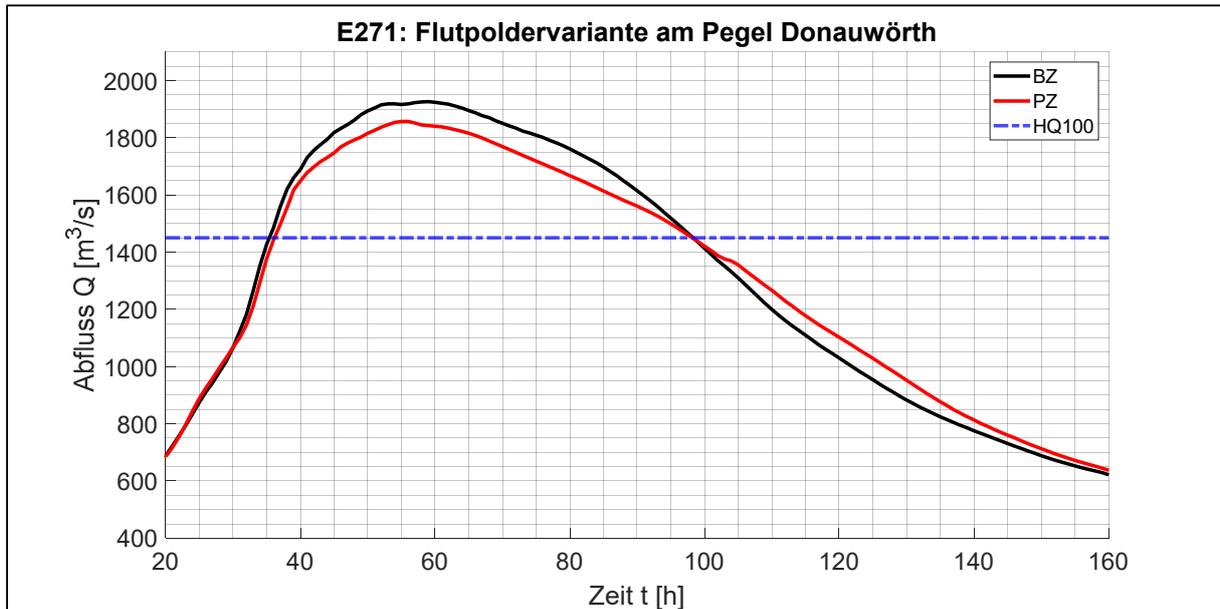


Abbildung 60: Ganglinien des PZ und des BZ am Pegel Donauwörth für das Ereignis E271

Im PZ 7 FP wird der Abflussscheitel am Pegel Ingolstadt um $126 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $5,1 \%$ auf $2.354 \text{ m}^3/\text{s}$ gesenkt. Damit wird das HQ_{500} unterschritten. Mit der zusätzlichen Aktivierung des Flutpolders Bertoldsheim im PZ 10 FP wird der Abflussscheitel um $248 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $10,0 \%$ auf $2.232 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert. Dadurch wird auch das HQ_{200} verhindert; das HQ_{100} wird für 42 Stunden überschritten.

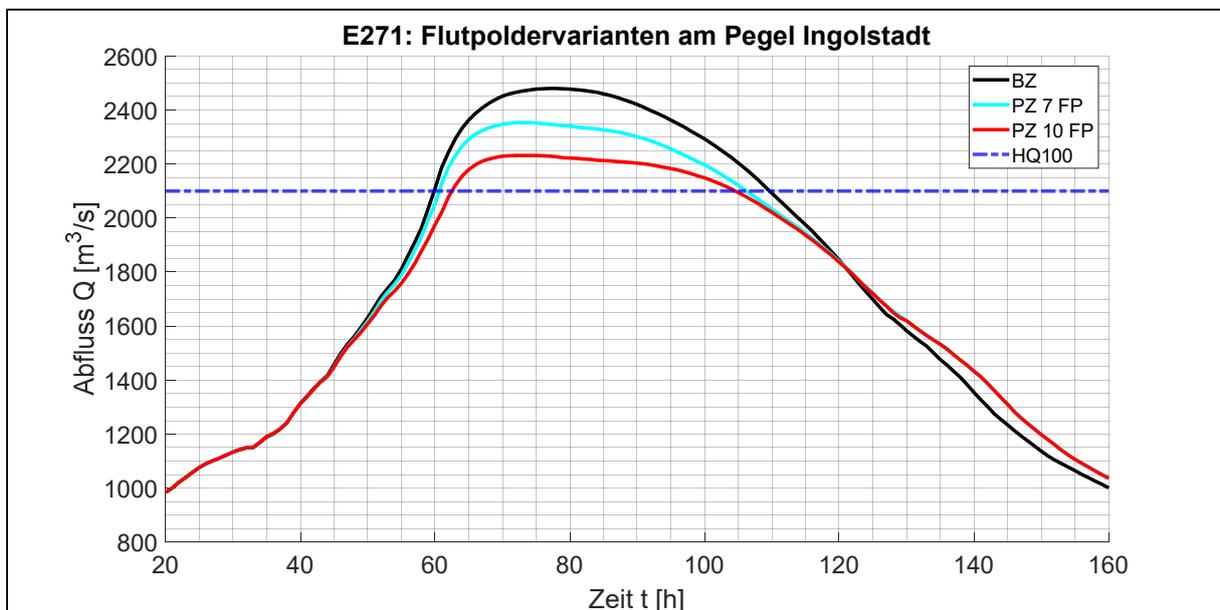


Abbildung 61: Ganglinien des PZ 7 FP, PZ 10 FP und des BZ am Pegel Ingolstadt für das Ereignis E271

Am Pegel Kelheim erzielt die Flutpoldervariante PZ 7 FP eine Abflussscheitelreduktion um $173 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $6,5 \%$ auf $2.482 \text{ m}^3/\text{s}$. Hiermit wird wiederum das HQ_{500} verhindert. Im PZ 10 FP wird der Abflussscheitel um $241 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $9,1 \%$ auf $2.414 \text{ m}^3/\text{s}$ (etwa HQ_{200}) verringert.

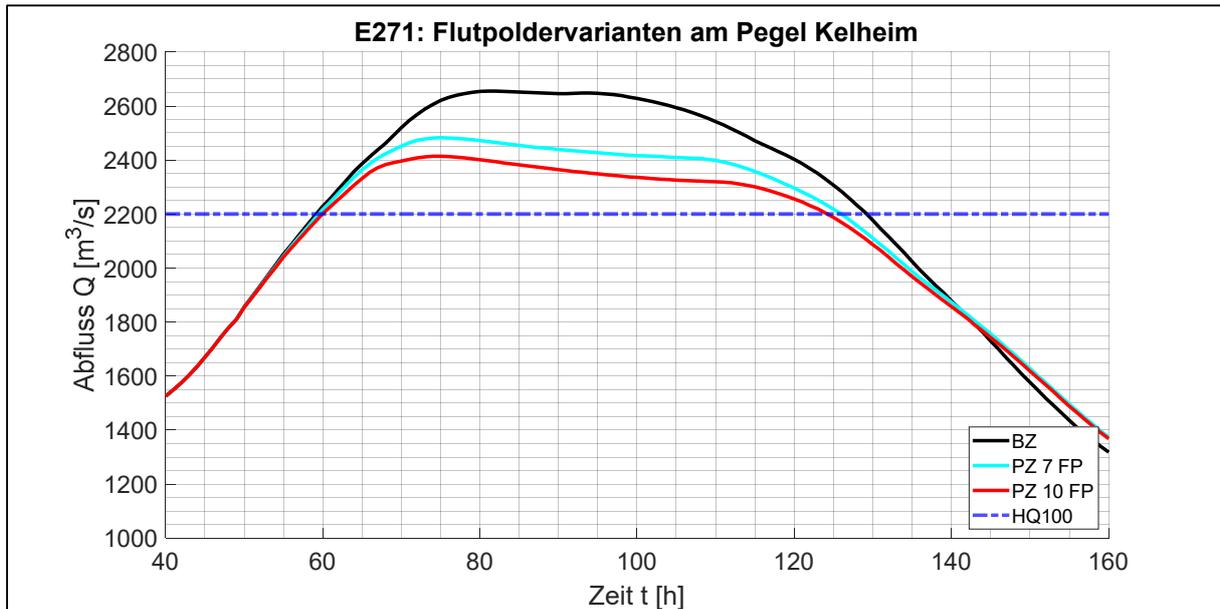


Abbildung 62: Ganglinien des PZ 7 FP, PZ 10 FP und des BZ am Pegel Kelheim für das Ereignis E271

Am Pegel Schwabelweis sinkt die Flutpolderwirkung durch den zeitlichen Vorlauf der hohen Abflussscheitel von Naab und Regen, die einen neuen früheren Abflussscheitel prägen (siehe Abbildung 63). Die oberhalb eingesetzten Flutpolder zeigen ihre Wirkung im ablaufenden Ast des Scheitels und tragen damit zur Verringerung der Scheitelfülle bei. Im PZ 7 FP reduziert sich der Abflussscheitel um $125 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $2,7 \%$ auf $4.450 \text{ m}^3/\text{s}$. Im PZ 10 FP wird der Abflussscheitel um $176 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $3,8 \%$ auf $4.399 \text{ m}^3/\text{s}$ verringert. Damit wird bei beiden Flutpoldervarianten das Überschreiten des HQ_{1000} verhindert.

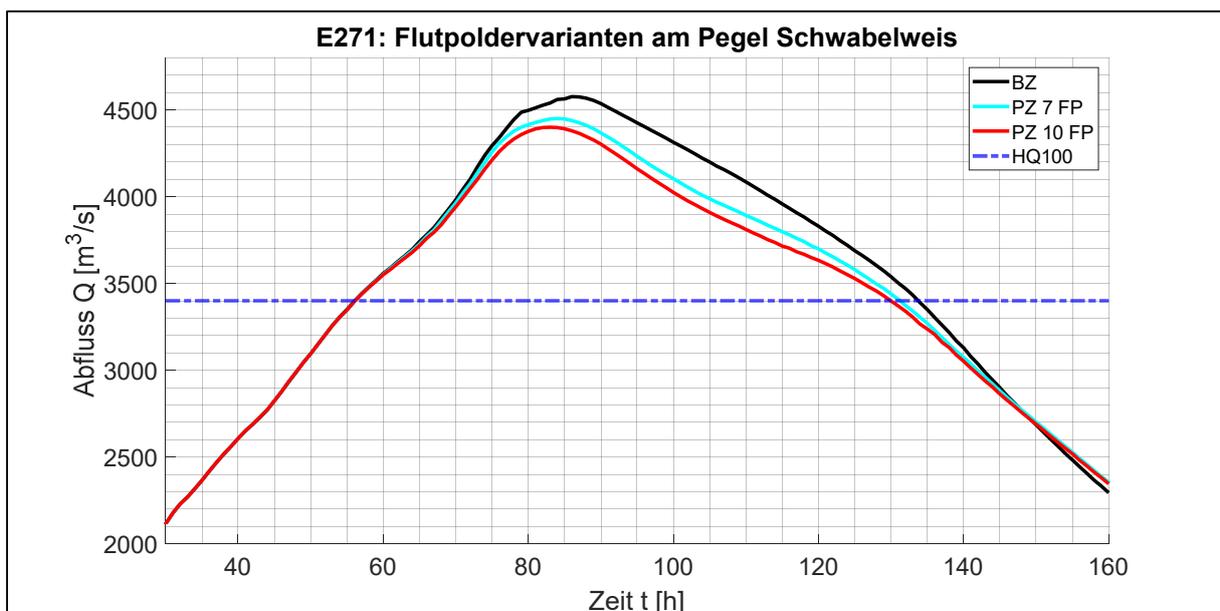


Abbildung 63: Ganglinien des PZ 7 FP, PZ 10 FP und des BZ am Pegel Schwabelweis für das Ereignis E271

Abschlussbericht Weitergehende Untersuchungen, Februar 2021

Da im PZ 7 FP die Flutpolder Eltheim und Wörthhof nicht zur Verfügung stehen, wird die großflächige Deichüberströmung im Bereich der Wiesentmündung nicht verhindert. Ein Versagen der Deiche ist in diesem Bereich also weiterhin sehr wahrscheinlich und das massive Überfluten des Hinterlandes der Donau kann nicht verhindert werden. Am Pegel Straubing wird im PZ 7 FP der Abflussscheitel um 43 m³/s bzw. 1,0 % auf 4.187 m³/s reduziert (siehe Abbildung 64).

Im PZ 10 FP wird die Überströmung der Deiche im Donauabschnitt III durch den Einsatz der Flutpolder Eltheim und Wörthhof verhindert. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit eines Deichversagens in diesem Abschnitt deutlich reduziert und das Abwenden von Hochwasserschäden in Siedlungsbereichen wahrscheinlicher. Am Pegel Straubing wird der Abflussscheitel um 173 m³/s bzw. 4,1 % auf 4.057 m³/s gesenkt. Das Verhindern der Deichüberströmungen hat zur Folge, dass die Abflussreduktion am Pegel Straubing im Vergleich zum BZ und zum PZ 7 FP gering ausfällt, da hier im BZ wie auch im PZ 7 FP bereits eine deutliche Scheitelreduzierung durch die Deichüberströmungen auftritt. Wie beim Ereignis E115 ist auch hier eine Betrachtung der Abflussreduktion alleine nicht ausreichend, da bei allen drei Varianten eine beachtliche Scheitelkappung im Vergleich zur jeweiligen Ganglinie am Pegel Schwabelweis stattfindet. Die tatsächliche Wirkung der Flutpolder Eltheim und Wörthhof im Donauabschnitt III beim Ereignis E271 zeigt sich somit vor allem in der Vermeidung großflächiger Deichüberströmungen.

Da auch für den PZ 10 FP im Donauabschnitt III noch Abflüsse auftreten, die ein HQ₅₀₀ überschreiten, und daher mit Deichversagen zu rechnen ist, werden wiederum die Auswirkungen einer alternativen Steuerung der Flutpolder Eltheim und Wörthhof auf Zeitgewinn abgeschätzt. Für das Ereignis E271 könnten die Flutpolder Eltheim und Wörthhof zusammen z. B. das HQ₁₀₀ für ca. 20 Stunden halten und so Zeit für Evakuierungen ermöglichen.

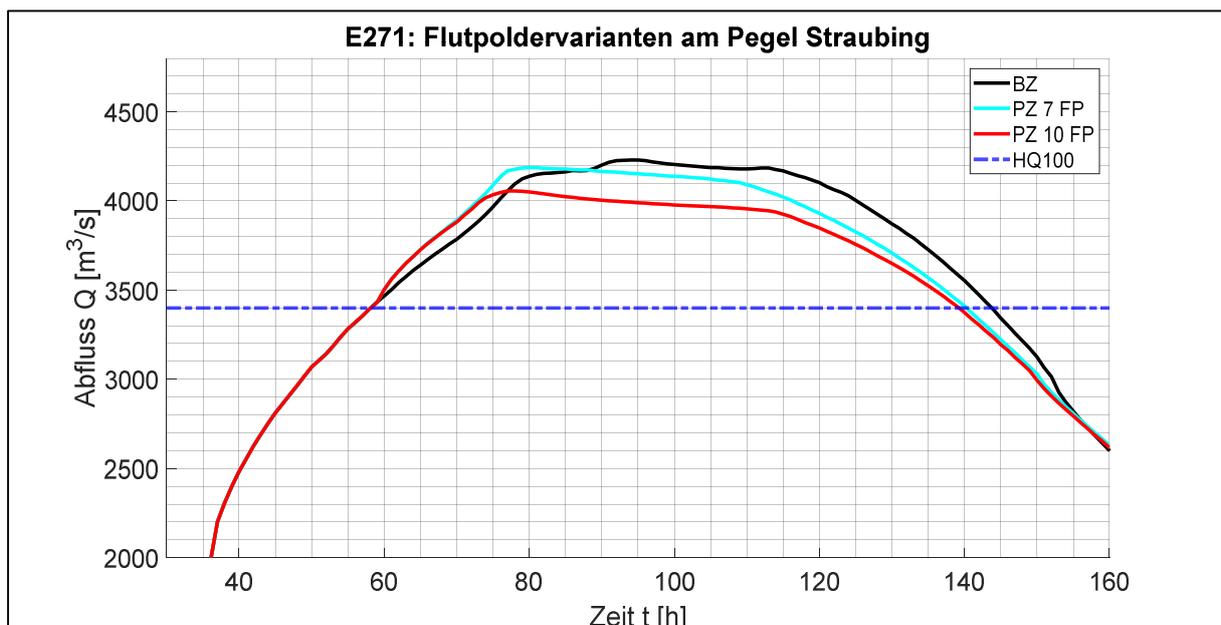


Abbildung 64: Ganglinien des PZ 7 FP, PZ 10 FP und des BZ am Pegel Straubing für das Ereignis E271

Tabelle 13 fasst die Ergebnisse des Ereignisses E271 zusammen.

Tabelle 13: Abflussscheitel, Überschreitungsdauer des HQ_{100} , HQ_{200} , HQ_{500} und HQ_{1000} , absolute und relative Abflussscheitelreduktion sowie Reduktion des maximalen Wasserstandes an den Pegeln entlang der Donau für das Ereignis E271.

	Q max. [m ³ /s]	T>HQ ₁₀₀ [h]	T>HQ ₂₀₀ [h]	T>HQ ₅₀₀ [h]	T>HQ ₁₀₀₀ [h]	dQ abs. [m ³ /s]	dQ rel. [%]	dW [cm]
Donauwörth BZ	1.926	63	57	44	32	-	-	-
Donauwörth PZ	1.858	62	54	34	18	68	3,5	5-10
Neuburg BZ	2.497	54	43	21	0	-	-	-
Neuburg PZ 7 FP	2.377	49	36	0	0	120	4,8	-
Neuburg PZ 10 FP	2.251	47	2	0	0	246	9,9	-
Ingolstadt BZ	2.480	50	40	17	0	-	-	-
Ingolstadt PZ 7 FP	2.354	46	32	0	0	126	5,1	20-25
Ingolstadt PZ 10 FP	2.232	42	0	0	0	248	10,0	45-50
Kelheim BZ	2.655	70	57	31	0	-	-	-
Kelheim PZ 7 FP	2.482	66	47	0	0	173	6,5	15-20
Kelheim PZ 10 FP	2.414	65	18	0	0	241	9,1	25-30
Kelheimwinzer BZ	3.194	91	80	66	50	-	-	-
Kelheimwinzer PZ 7 FP	3.031	90	79	62	15	163	5,1	-
Kelheimwinzer PZ 10 FP	2.964	90	78	59	0	230	7,2	-
Schwabelweis BZ	4.575	77	60	38	11	-	-	-
Schwabelweis PZ 7 FP	4.450	75	55	28	0	125	2,7	10-15
Schwabelweis PZ 10 FP	4.399	73	52	25	0	176	3,8	15-20
Straubing BZ	4.230*	85	69	42	0	-	-	-
Straubing PZ 7 FP	4.187*	82	66	34	0	43*	1,0*	-

	Q max. [m ³ /s]	T>HQ ₁₀₀ [h]	T>HQ ₂₀₀ [h]	T>HQ ₅₀₀ [h]	T>HQ ₁₀₀₀ [h]	dQ abs. [m ³ /s]	dQ rel. [%]	dW [cm]
Straubing PZ 10 FP	4.057*	81	63	0	0	173*	4,1*	-

*Sowohl im BZ als auch im PZ 7 FP treten zwischen dem Pegel Schwabelweis und dem Pegel Straubing großflächige Deichüberströmungen auf. Die tatsächliche Wirkung der Flutpolder im PZ 10 FP zeigt sich vor allem in der Vermeidung großflächiger Deichüberströmungen, eine alleinige Betrachtung der Abflussreduktion am Pegel Straubing ist hier nicht ausreichend.

3.2.6 E288

Das Ereignis E288 hat am Modellzulauf Oberelchingen einen Abflussscheitel von 920 m³/s und ist damit niedriger als ein HQ₂₀. Durch die Abflussscheitel von Roth (88 m³/s), Günz (136 m³/s), Mindel (132 m³/s), Wörnitz (269 m³/s) und Zusam (78 m³/s) erreicht die Donau am Pegel Donauwörth einen Abflussscheitel von 1.538 m³/s (siehe Abbildung 65).

Der Abflussscheitel des Lechs mit 863 m³/s kann keinen neuen Scheitel prägen. Der Lech führt aber auch in seinem ablaufenden Hochwasserast noch einen erhöhten Abfluss, sodass auch am Pegel Ingolstadt das HQ₁₀₀ mit 2.228 m³/s überschritten wird. Insgesamt wird das HQ₁₀₀ am Pegel Ingolstadt für 34 Stunden überschritten.

Die Abflussscheitel von Paar (143 m³/s) und Abens (274 m³/s) verschärfen den Überlastfall am Pegel Kelheim. So wird dort ein Abflussscheitel von 2.454 m³/s erreicht, womit das HQ₂₀₀ überschritten wird. Das HQ₁₀₀ wird für 59 Stunden überschritten.

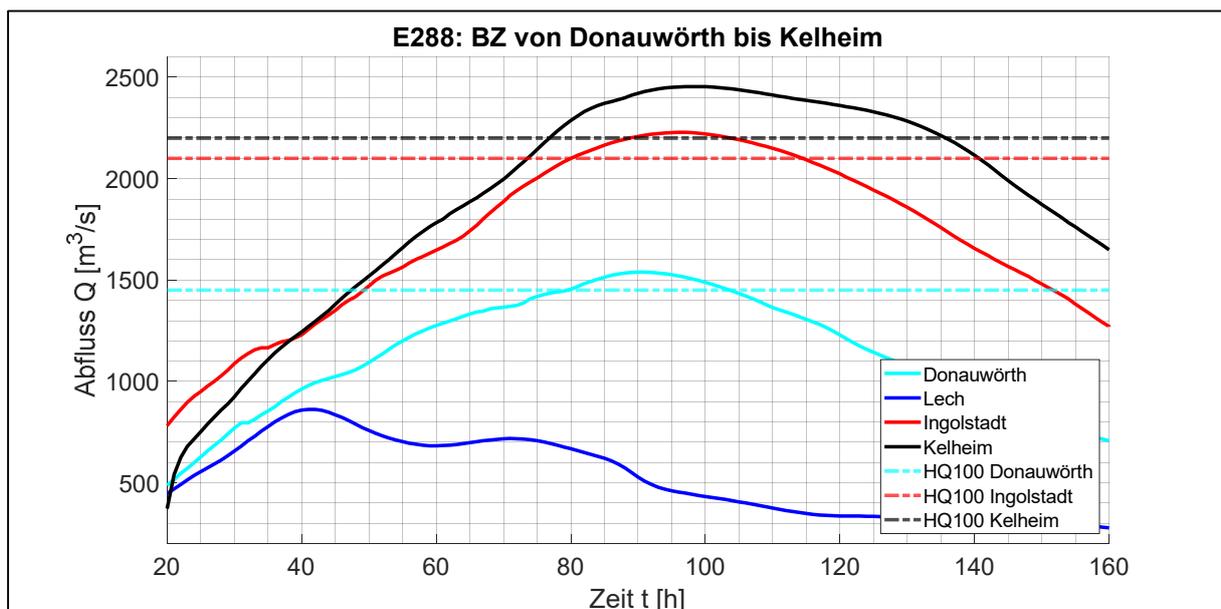


Abbildung 65: Ganglinien des Ereignisses E288 am Pegel Donauwörth, Pegel Ingolstadt und Pegel Kelheim im BZ mit dem jeweiligen HQ₁₀₀ und der Zulaufganglinie des Lechs

Die Abflussscheitel von Altmühl (461 m³/s), Naab (735 m³/s) und Regen (692 m³/s) sorgen dafür, dass am Pegel Schwabelweis der Abflussscheitel bis auf 4.293 m³/s steigt und über einem HQ₅₀₀ liegt (siehe Abbildung 66). Insgesamt wird das HQ₁₀₀ für 62 Stunden überschritten.

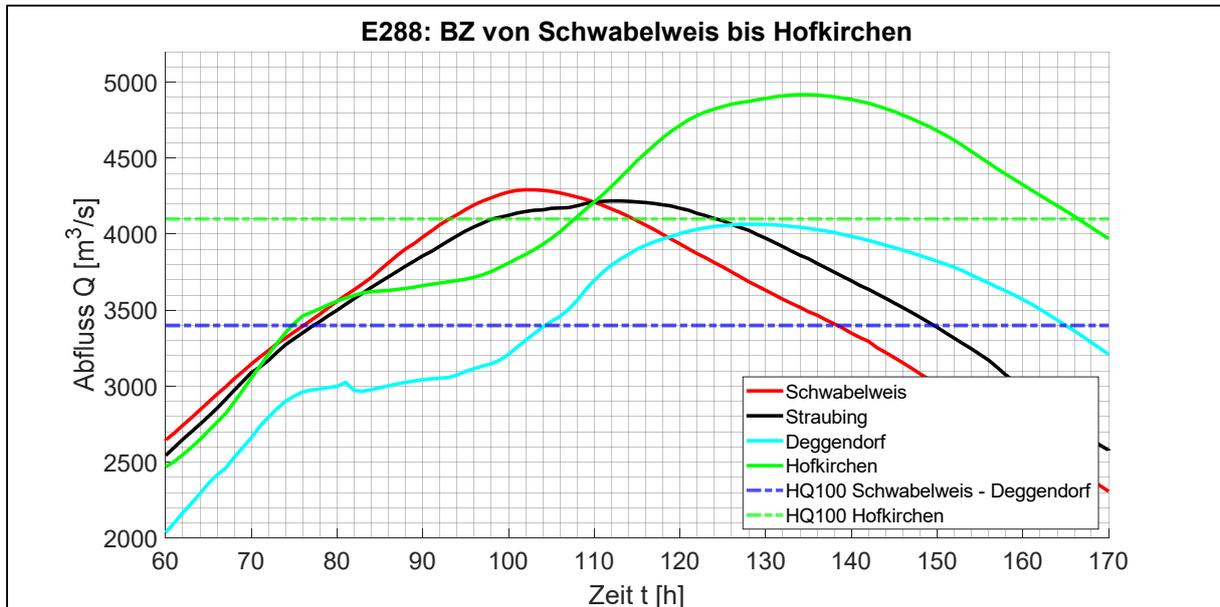


Abbildung 66: Ganglinien des Ereignisses E288 am Pegel Schwabelweis, Pegel Straubing, Pegel Deggendorf und Pegel Hofkirchen im BZ mit dem jeweiligen HQ₁₀₀

Die unkontrollierte Flutung der Öberauer Schleife kann im BZ den Abflussscheitel am Pegel Straubing nur geringfügig auf 4.220 m³/s senken. Sie sorgt jedoch dafür, dass der Hochwasserwellenscheitel verbreitert wird und das HQ₁₀₀ jetzt für 72 Stunden übersteigt.

Durch die geplanten Rückhalteräume zwischen Straubing und Deggendorf kann der Abflussscheitel am Pegel Deggendorf auf 4.066 m³/s bzw. unter HQ₅₀₀ reduziert werden. Das HQ₁₀₀ wird noch für 61 Stunden überschritten.

Die Isar hat einen Abflussscheitel von 1.001 m³/s und sorgt damit auch am Pegel Hofkirchen für einen starken Überlastfall. Mit einem Abflussscheitel von 4.919 m³/s (knapp HQ₅₀₀) wird das HQ₁₀₀ insgesamt für 59 Stunden überschritten.

Am Pegel Passau Donau wird ein Abflussscheitel von 4.899 m³/s erreicht und somit das HQ₂₀₀ überschritten. Insgesamt wird das HQ₁₀₀ für 67 Stunden überstiegen. Da der Inn mit einem Abflussscheitel von 4.086 m³/s (zwischen HQ₅ und HQ₁₀) zeitlich ein paar Tage vor dem Donauscheitel läuft, bilden sich am Pegel Passau Ilzstadt drei lokale Abflussscheitel (siehe Abbildung 67). Der erste Abflussscheitel von 6.470 m³/s (<HQ₂₀) bei t = 51 h ist direkt vom Hochwasserscheitel des Inns geprägt und hat damit einen sehr spitzen Scheitel. Der zweite Scheitel von 6.857 m³/s (>HQ₂₀) bei t = 92 h ist bereits etwas breiter und von der ansteigenden Hochwasserwelle der Donau geprägt. Der dritte und höchste Abflussscheitel mit 7.065 m³/s ist direkt vom Donauscheitel vor der Innmündung geprägt und bildet ein etwa eintägiges Plateau.

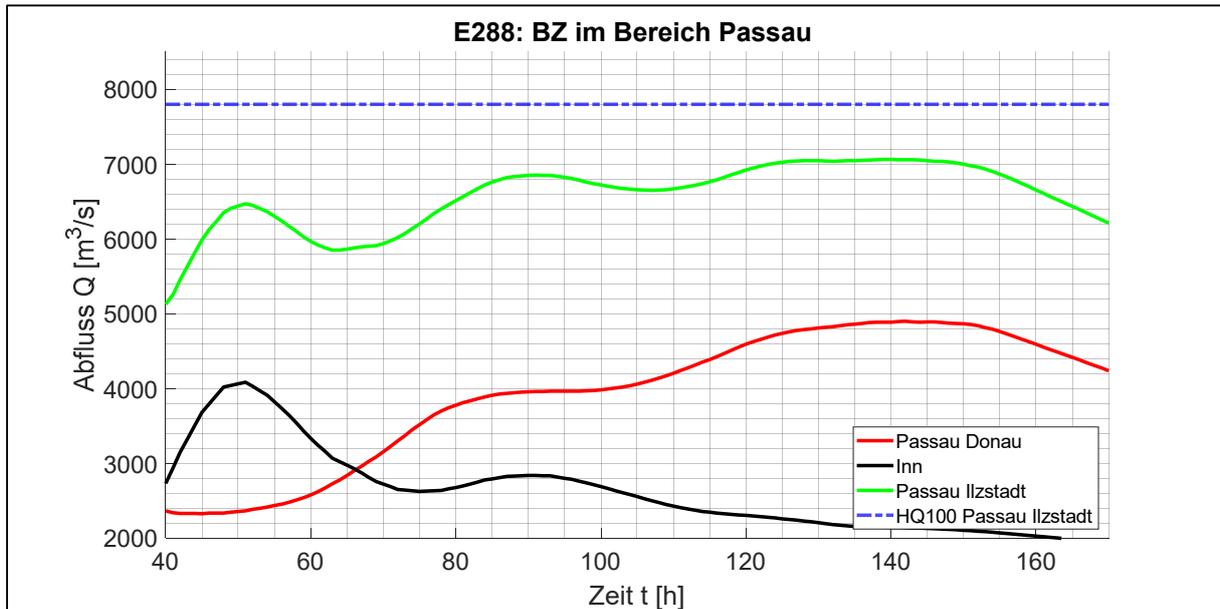


Abbildung 67: Ganglinien des Ereignisses E288 am Pegel Passau Donau und Pegel Passau Ilzstadt mit der Ganglinie des Inns und dem HQ_{100} am Pegel Passau Ilzstadt

Da im Donauabschnitt I an den Flutpoldern Leipheim und Helmeringen kein lokaler Überlastfall im BZ auftritt, werden diese Flutpolder im PZ nicht aktiviert. Der ungesteuerte Flutpolder Neugeschüttwörth wirkt wiederum automatisch durch die Abflussdrossel. Der Rückhalteraum Tapfheim wird bei etwa HQ_{80} aktiviert, der Rückhalteraum Donauwörth ist durch das Hochwasser der Kessel bereits gefüllt. Dadurch wird der Abflussscheitel am Pegel Donauwörth um $119 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. 7,7 % auf $1.419 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert (siehe Abbildung 68). Das HQ_{100} wird im PZ am Pegel Donauwörth nicht mehr erreicht.

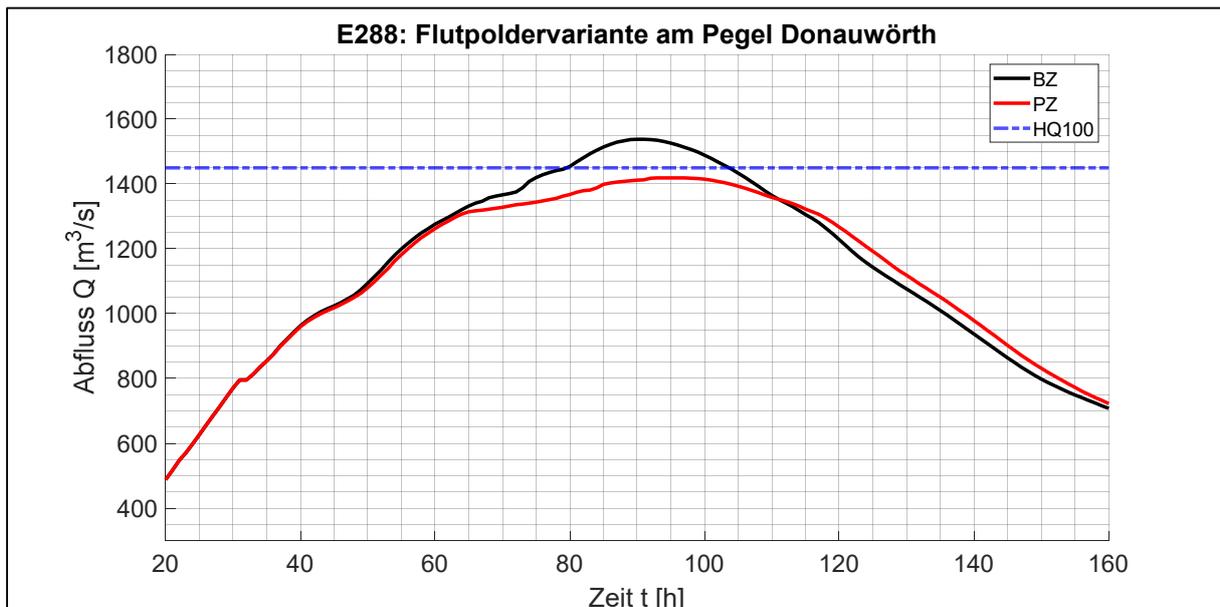


Abbildung 68: Ganglinien des PZ und des BZ am Pegel Donauwörth für das Ereignis E288

Im Donauabschnitt II werden beide Flutpoldervarianten – PZ 7 FP und PZ 10 FP – simuliert. Mit der Variante PZ 7 FP wird der Abflussscheitel am Pegel Ingolstadt um $149 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $6,7 \%$ auf $2.079 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert, sodass das HQ_{100} knapp unterschritten werden kann (siehe Abbildung 69). 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 mit einem Flutpolder schon verhindert werden kann, werden trotzdem beide Flutpolder aktiviert, da ab dem Pegel Kelheim wieder ein größerer Überlastfall droht.

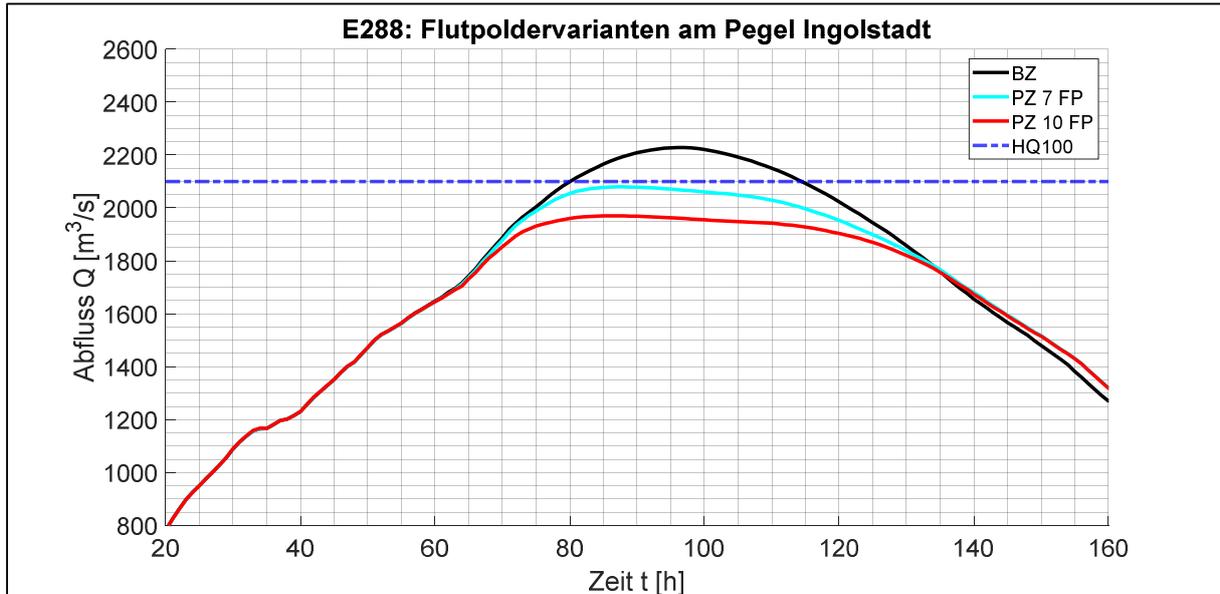


Abbildung 69: Ganglinien des PZ 7 FP, PZ 10 FP und des BZ am Pegel Ingolstadt für das Ereignis E288

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 (siehe Abbildung 70).

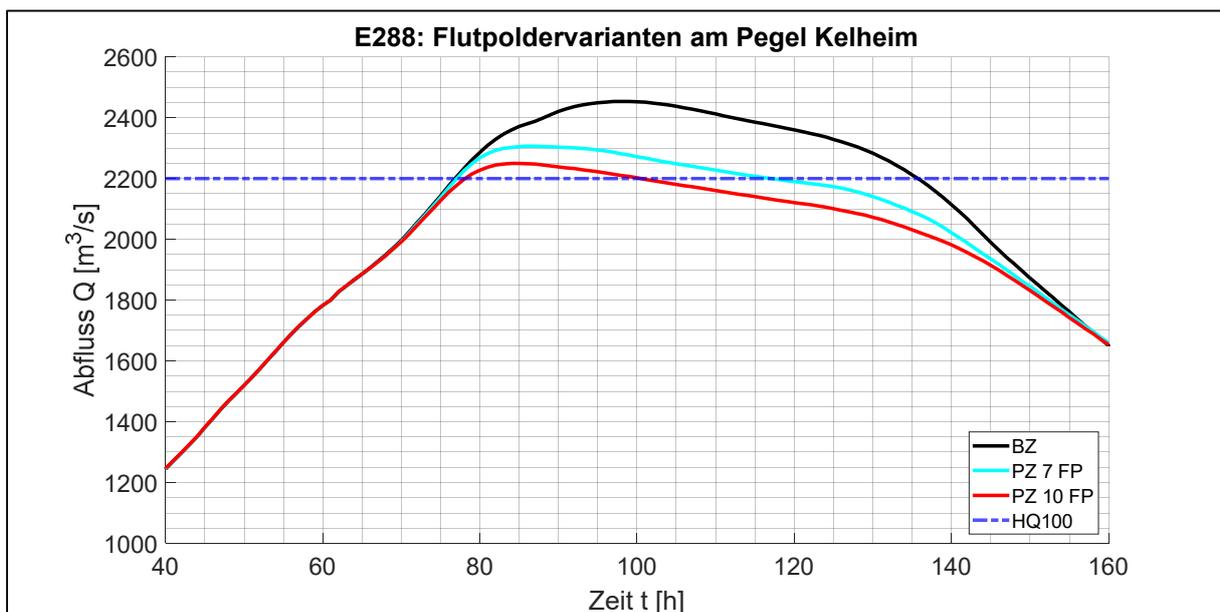


Abbildung 70: Ganglinien des PZ 7 FP, PZ 10 FP und des BZ am Pegel Kelheim für das Ereignis E288

Damit kann das HQ_{200} verhindert werden, das HQ_{100} wird aber noch für 40 Stunden überschritten. 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. Dadurch wird das HQ_{100} nur noch leicht und für 22 Stunden überschritten.

Am Pegel Schwabelweis nimmt die Scheitelreduktion durch die Zuflüsse der Altmühl, der Naab und des Regens ab. Die oberhalb eingesetzten Flutpolder zeigen ihre Wirkung im ablaufenden Ast des Scheitels und tragen damit zur Verringerung der Scheitelfülle bei. Durch die Variante PZ 7 FP wird der Abflussscheitel um $149 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $3,5 \%$ auf $4.144 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert (siehe Abbildung 71). Damit wird jedoch weiterhin das HQ_{500} überschritten. 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} verhindert und die Zeitdauer des Überschreitens des HQ_{100} auf 53 Stunden reduziert.

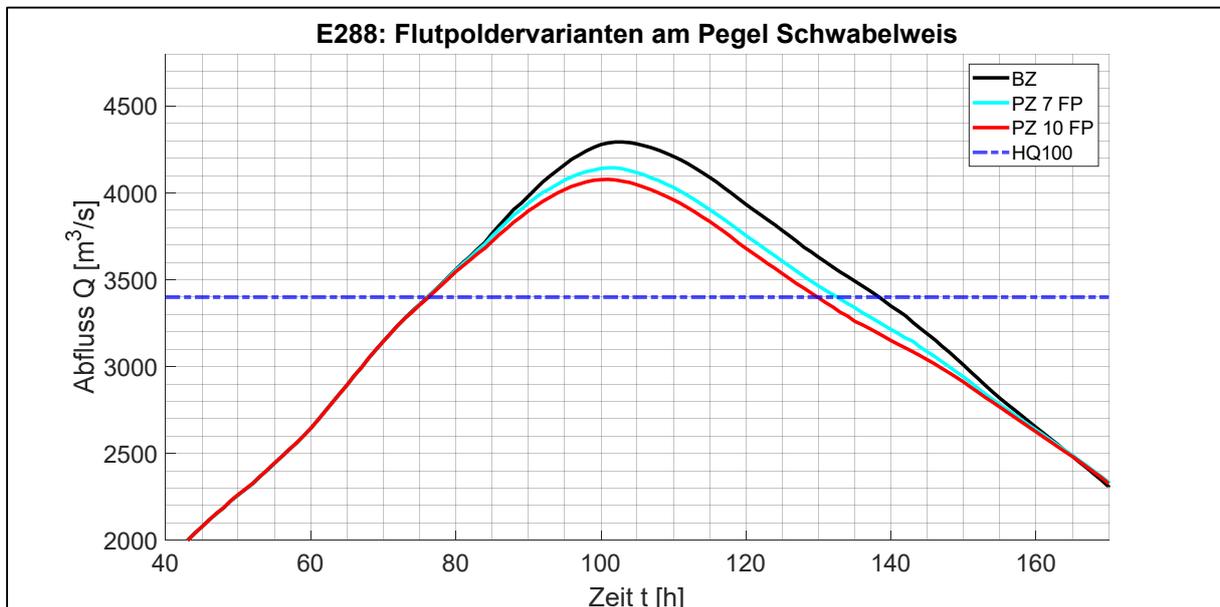


Abbildung 71: Ganglinien des PZ 7 FP, PZ 10 FP und des BZ am Pegel Schwabelweis für das Ereignis E288

Zwischen dem Pegel Schwabelweis und dem Pegel Straubing kann im PZ 7 FP lediglich der Flutpolder Oberauer Schleife aktiviert werden. Dadurch wird am Pegel Straubing der Abflussscheitel nur um $88 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $2,1 \%$ auf $4.132 \text{ m}^3/\text{s}$ vermindert (siehe Abbildung 72) und weiterhin ein HQ_{500} überschritten. Durch die zusätzliche Aktivierung der Flutpolder Eltheim und Wörthhof im PZ 10 FP wird der Abflussscheitel um $355 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $8,4 \%$ auf $3.865 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert. Dadurch wird knapp ein HQ_{300} erreicht und das HQ_{100} noch für 63 Stunden überschritten.

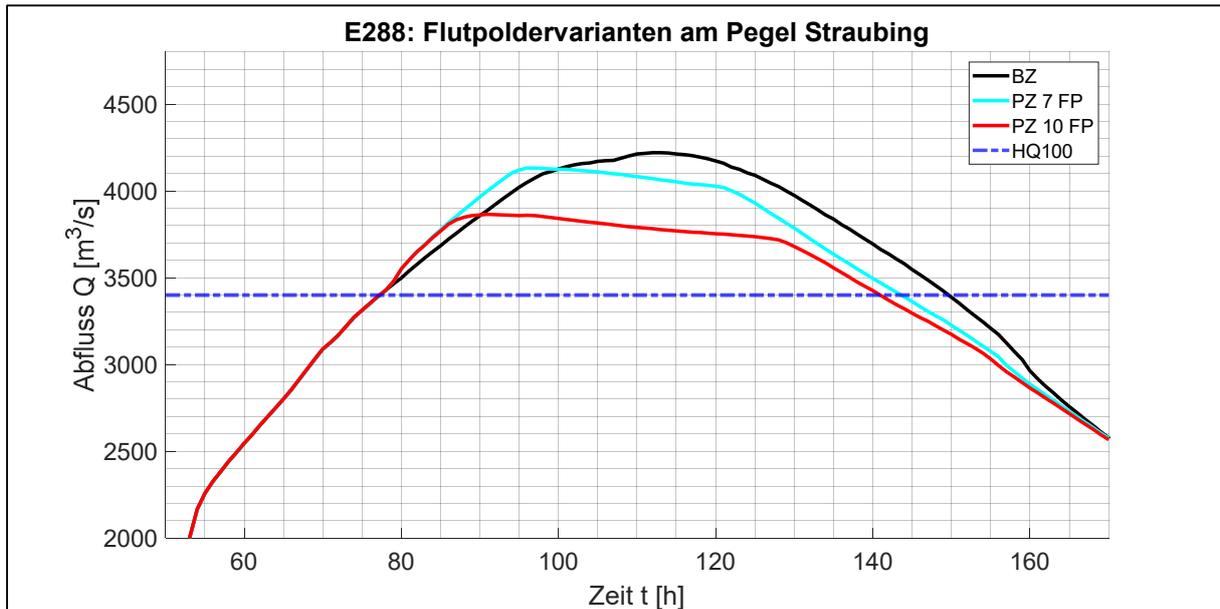


Abbildung 72: Ganglinien des PZ 7 FP, PZ 10 FP und des BZ am Pegel Straubing für das Ereignis E288

Ab dem Pegel Straubing wird nur noch die Variante PZ 10 FP weitersimuliert.

Am Pegel Deggendorf bewirken die Flutpolder eine Reduktion des Abflussscheitels um 319 m³/s bzw. 7,8 % auf 3.747 m³/s (siehe Abbildung 73). Hierdurch wird das HQ₁₀₀ noch für 52 Stunden überschritten. Alle geplanten Rückhalteräume zwischen Straubing und Deggendorf werden wie im BZ aktiviert.

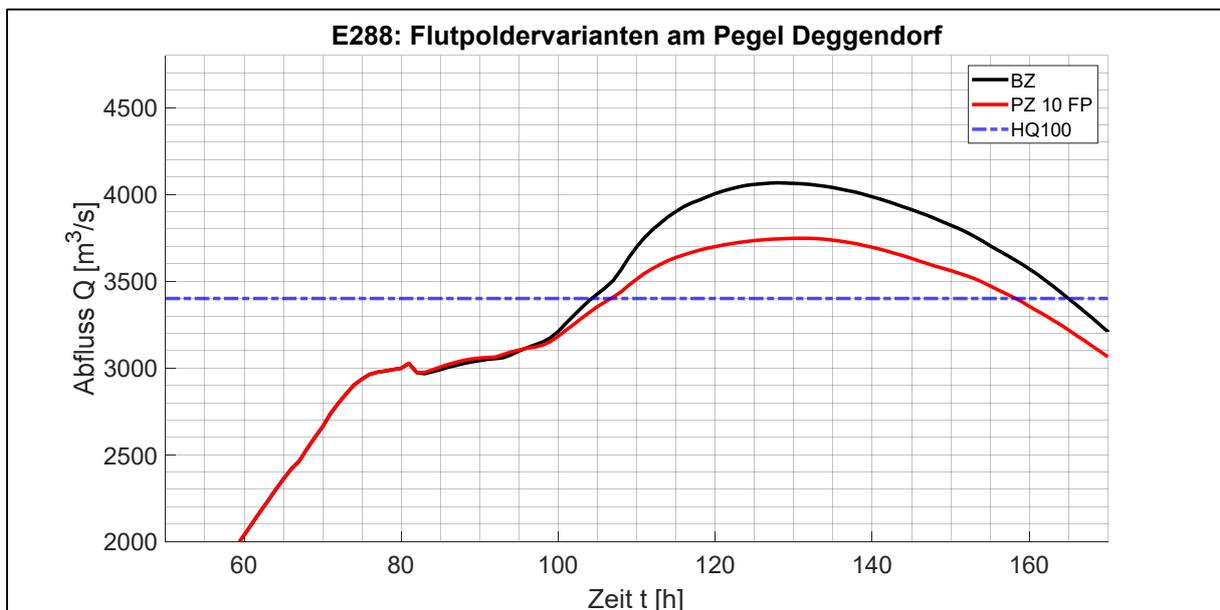


Abbildung 73: Ganglinien des PZ 10 FP und des BZ am Pegel Deggendorf für das Ereignis E288

Am Pegel Hofkirchen erreicht die Flutpoldervariante PZ 10 FP trotz des Zuflusses der Isar noch eine Abflussscheitelminderung von 294 m³/s bzw. 6,0 % auf 4.625 m³/s bzw. gut HQ₂₀₀ (siehe Abbildung 74).

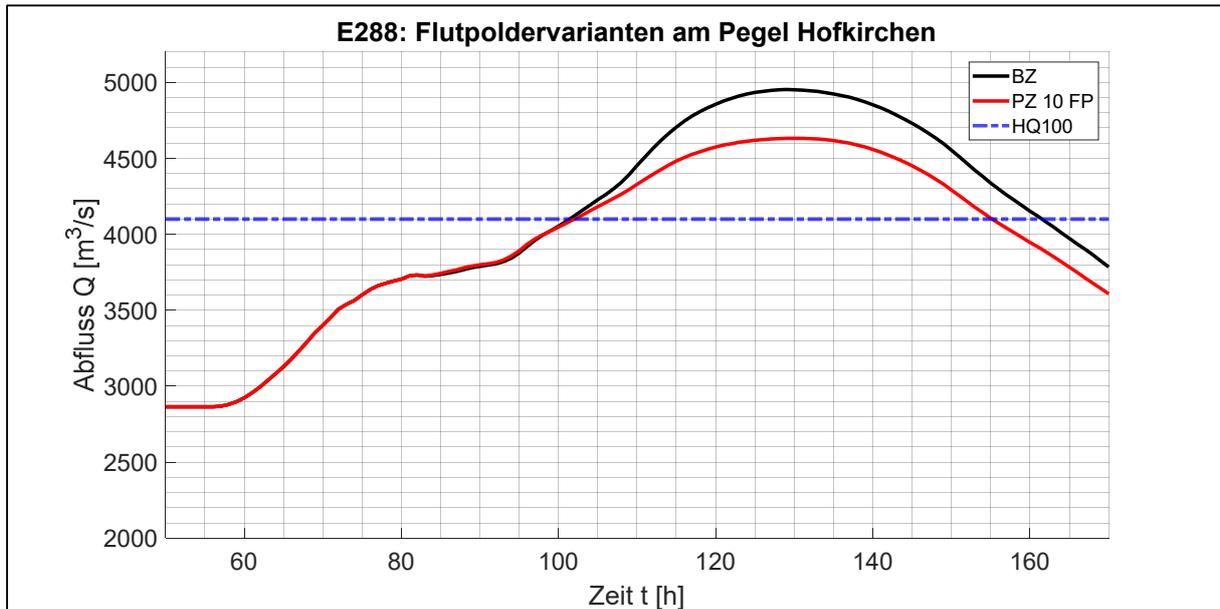


Abbildung 74: Ganglinien des PZ 10 FP und des BZ am Pegel Hofkirchen für das Ereignis E288

Abbildung 75 zeigt, dass im PZ 10 FP selbst unterstrom der Innmündung die Flutpoldervariante noch eine Abflussscheitelreduktion erzielt wird. Das aus dem Donauscheitel vor der Innmündung resultierende Plateau (siehe Abbildung 67) wird am Pegel Passau Ilzstadt um 235 m³/s auf 6.829 m³/s reduziert. Dadurch ist im PZ 10 FP der lokale Abflussscheitel bei t = 92 h nun der höchste Abflussscheitel mit 6.857 m³/s. Dadurch ergibt sich insgesamt eine Reduktion um 208 m³/s bzw. 2,9 %.

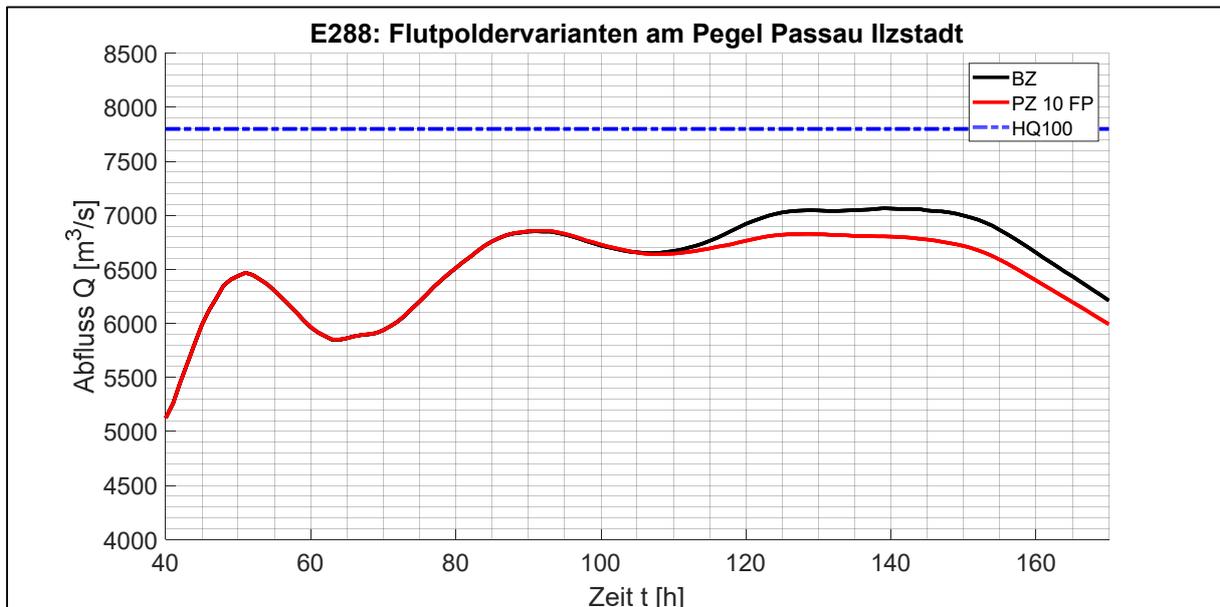


Abbildung 75: Ganglinien des PZ 10 FP und des BZ am Pegel Passau Ilzstadt für das Ereignis E288

Die Resultate der erzielten Wirkungen der Flutpoldervarianten für das Ereignis E288 sind in Tabelle 14 zusammengefasst.

Tabelle 14: Abflussscheitel, Überschreitungsdauer des HQ_{100} , HQ_{200} , HQ_{500} und HQ_{1000} , absolute und relative Abflussscheitelreduktion sowie Reduktion des maximalen Wasserstandes an den Pegeln entlang der Donau für das Ereignis E288.

	Q max. [m ³ /s]	T>HQ ₁₀₀ [h]	T>HQ ₂₀₀ [h]	T>HQ ₅₀₀ [h]	T>HQ ₁₀₀₀ [h]	dQ abs. [m ³ /s]	dQ rel. [%]	dW [cm]
Donauwörth BZ	1.538	24	0	0	0	-	-	-
Donauwörth PZ	1.419	0	0	0	0	119	7,7	15-20
Neuburg BZ	2.238	36	0	0	0	-	-	-
Neuburg PZ 7 FP	2.090	0	0	0	0	148	6,6	-
Neuburg PZ 10 FP	1.979	0	0	0	0	259	11,5	-
Ingolstadt BZ	2.228	34	0	0	0	-	-	-
Ingolstadt PZ 7 FP	2.079	0	0	0	0	149	6,7	25-30
Ingolstadt PZ 10 FP	1.970	0	0	0	0	258	11,6	50-55
Kelheim BZ	2.454	59	30	0	0	-	-	-
Kelheim PZ 7 FP	2.307	40	0	0	0	147	6,0	15-20
Kelheim PZ 10 FP	2.250	22	0	0	0	204	8,3	25-30
Kelheimwinzer BZ	2.864	76	61	25	0	-	-	-
Kelheimwinzer PZ 7 FP	2.742	72	45	0	0	122	4,3	-
Kelheimwinzer PZ 10 FP	2.688	69	34	0	0	176	6,1	-
Schwabelweis BZ	4.293	62	44	21	0	-	-	-
Schwabelweis PZ 7 FP	4.144	56	38	10	0	149	3,5	10-15
Schwabelweis PZ 10 FP	4.078	53	35	0	0	215	5,0	20-25
Straubing BZ	4.220	72	54	26	0	-	-	-
Straubing PZ 7 FP	4.132	66	49	13	0	88	2,1	-
Straubing PZ 10 FP	3.865	63	46	0	0	355	8,4	-

Abschlussbericht Weitergehende Untersuchungen, Februar 2021

	Q max. [m ³ /s]	T>HQ ₁₀₀ [h]	T>HQ ₂₀₀ [h]	T>HQ ₅₀₀ [h]	T>HQ ₁₀₀₀ [h]	dQ abs. [m ³ /s]	dQ rel. [%]	dW [cm]
Pfelling* BZ	3.851	58	35	0	0	-	-	-
Pfelling* PZ 10 FP	3.651	50	0	0	0	200	5,2	25-30
Deggendorf BZ	4.066	61	45	0	0	-	-	-
Deggendorf PZ 10 FP	3.747	52	19	0	0	319	7,8	-
Niederalteich BZ	4.951	60	40	0	0	-	-	-
Niederalteich PZ 10 FP	4.630	53	26	0	0	321	6,5	-
Hofkirchen BZ	4.919	59	40	0	0	-	-	-
Hofkirchen PZ 10 FP	4.625	52	26	0	0	294	6,0	20-25
Vilshofen BZ	4.794	61	40	0	0	-	-	-
Vilshofen PZ 10 FP	4.531	53	16	0	0	263	5,5	-
Passau Donau BZ	4.899	67	45	0	0	-	-	-
Passau Donau PZ 10 FP	4.633	60	31	0	0	266	5,4	-
Passau Ilzstadt BZ	7.065	0	0	0	0	-	-	-
Passau Ilzstadt PZ 10 FP	6.857	0	0	0	0	208	2,9	10-15
Achleiten BZ	7.064	0	0	0	0	-	-	-
Achleiten PZ 10 FP	6.857	0	0	0	0	207	2,9	-

*Der Pegel Pfelling erfasst nur einen Teilabfluss, da der Pegel bei großen Hochwasserereignissen umläufig ist.

Für das Ereignis E288 wird beispielhaft in Abbildung 76 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 gezeigt. 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. Außerdem sind die Standorte der Staustufen und der Flutpolder angezeigt.

Die potenziell erreichbare 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 (ca. Flusskilometer 2.410) stark zu, obwohl hier keine zusätzliche Abflussreduktion erfolgt (siehe Abbildung 76). 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 einer solchen Staustufe ist jedoch wieder eine Wasserstandsreduktion erkennbar.

Obwohl beim Ereignis E288 im PZ nur der ungesteuerte Flutpolder Neugeschüttwörth im Donauabschnitt I aktiviert wird, zeigen sich dort an der Donau im Bereich des Riedstroms Wasserstandsreduktionen bis max. 20 cm. An sämtlichen Staustufen kann im BZ das Stauziel gehalten werden, wodurch die Reduktion jeweils auf den Wert 0 zurückgeht. 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 ca. 15-20 cm). Mit Einsatz aller Flutpolder treten Reduktionen von bis zu rd. 60 cm auf, ohne Bertoldsheim bis zu rd. 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 aber auch dort 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 ca. 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 Wasserstandsenkung durch die Flutpolder Eltheim und Wörthhof. Direkt unterhalb der Staustufe Geisling ist die Wasserstandsreduktion im PZ 10 FP um bis zu ca. 45 cm größer (mit Eltheim und Wörthhof rd. 55 cm, ohne rd. 10 cm), vor der Oberauer Scheife sind es noch ca. 30 cm (mit Eltheim und Wörthhof rd. 40 cm, ohne rd. 10 cm; die lokale Abnahme der Wasserstandsreduktion ist wiederum auf den Einfluss der Staustufe Straubing zurückzuführen).

Abschlussbericht Weitergehende Untersuchungen, Februar 2021

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 großen Hochwasserereignis E288 kommt es zu besonderen Wechselwirkungen bei der Flutung und Entleerung der Rückhalteräume, sodass im PZ jeweils eine lokale Zunahme der Wasserstandsreduktion auftritt.

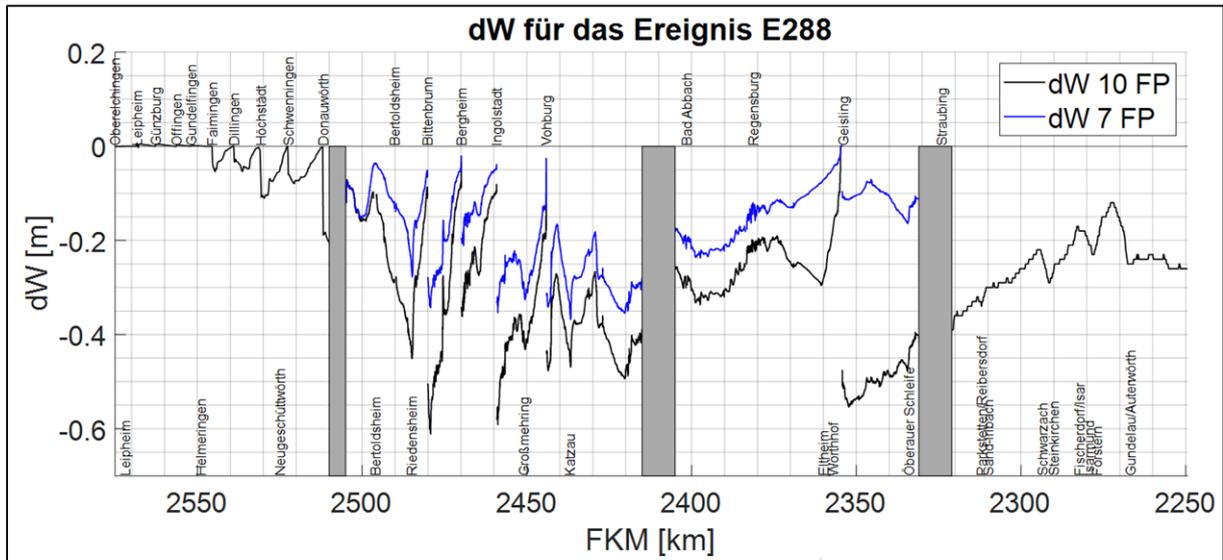


Abbildung 76: Differenz des maximalen Wasserstandes zwischen BZ und PZ im Längsschnitt der Donau für das Ereignis E288

3.3 Fortführende Untersuchungen zur Wirkung von Staustufen

3.3.1 Wirkung von geleerten Stauräumen im Donauabschnitt III

Als ergänzende Untersuchung zum Retentionspotenzial der Staustufen im Hochwasserfall wird eine weitere Variante – BZ mit Vorabsenkung – des in Kapitel 3.1.1 beschriebenen Ereignisses $HQ_{100}+15\%$ im Donauabschnitt III simuliert.

Bei der Variante BZ mit Vorabsenkung wird untersucht, inwiefern ein massives Absenken der Wasserstände an den Staustufen Geisling und Straubing einen Einfluss auf den Hochwasserlauf hat. Hierfür wird angenommen, dass die beiden Stauräume vor dem Hochwasserereignis komplett geleert sind, das heißt ab Beginn der Simulationen wird der Wasserstand im jeweiligen Stauraum nur durch die Überströmungshöhe am (festen) Wehrrücken der Staustufe und dem Unterwasserstand bestimmt. 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 Grenzbeobachtung mit der anlaufenden Hochwasserwelle verändern bzw. welche Retentionsvolumina im Scheitelpunkt großer Hochwasserereignisse überhaupt noch wirksam wären. Ein gesteuerter Aufstau findet nicht statt, die Stauräume werden mit steigendem Wasserstand vor allem durch Rückstauereffekte von unterstrom gefüllt. Die Sohltopographie der Stauräume wird nicht verändert.

An den Staustufen Geisling und Straubing wird der geleerte Stauraum jeweils so simuliert, dass das Stauziel 50 cm über der Kote der Wehrkrone eingestellt wird. Dies entspricht einer Vorabsenkung an der Staustufe Geisling von rund 8,30 m und an der Staustufe Straubing ebenfalls von rund 8,30 m.

Abbildung 77 zeigt neben dem Vergleich des Abflusses zwischen dem BZ und dem BZ mit Vorabsenkung zusätzlich auch den zeitlichen Wasserspiegelverlauf im Oberwasser und Unterwasser der Staustufe Geisling. 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 Drossel-effekt 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.

Das betriebliche Stauziel von 327,30 m wird bei der automatischen Füllung des Stauraums bei dieser Hochwasserwelle nicht wieder erreicht, die maximal erreichte Wasserspiegellage im Oberwasser liegt bei ca. 326,80 m (siehe Abbildung 77). 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 ca. 326,25 m. Beim HQ_{100} würden bei diesem Ereignis somit nur noch ca. 1 m Vorabsenkung für eine gezielte Scheitelkappung verbleiben, was einem zur Verfügung stehenden Retentionsvolumen von ca. 3-4 Mio. m^3 entspricht. Beim HQ_{200} würden an der Staustufe Geisling noch ca. 2-3 Mio. m^3 Retentionsvolumen zur Verfügung stehen. Dies ist jeweils jedoch nur ein Bruchteil des Volumens, das mit den Flutpoldern Eltheim und Wörthhof zur Verfügung stehen würde.

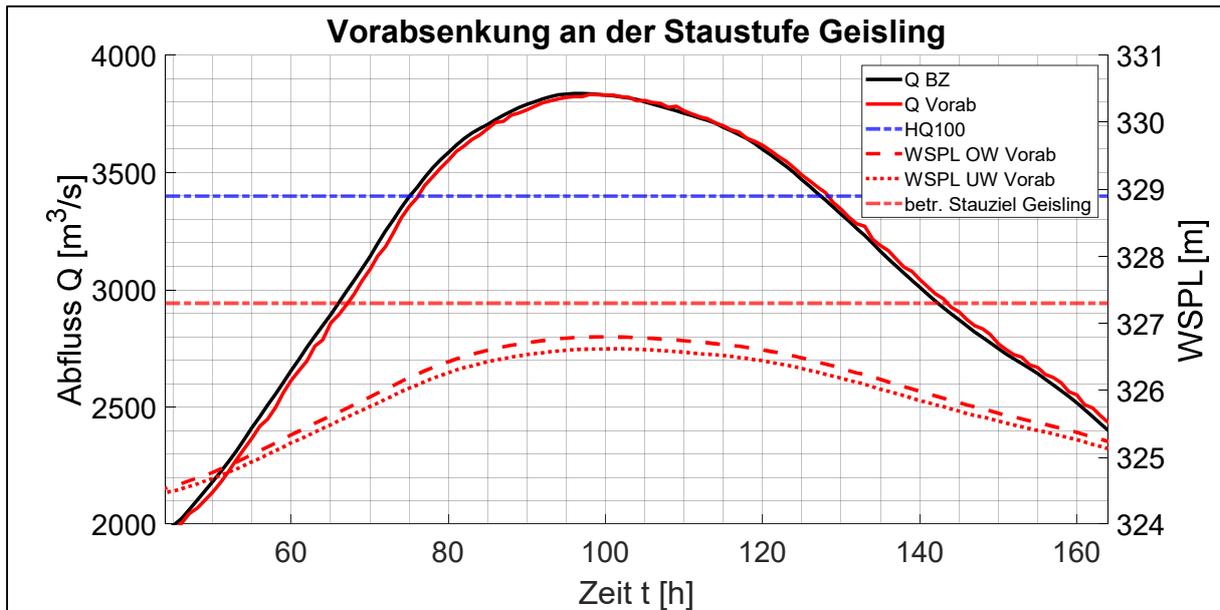


Abbildung 77: Ganglinien an der Staustufe Geisling im BZ und im BZ mit Vorabsenkung des Stauraumes Geisling für das $HQ_{100}+15\%$ im Donauabschnitt III. Zusätzlich sind die Wasserspiegellagen oberstrom, unterstrom und das betriebliche Stauziel der Staustufe Geisling angezeigt.

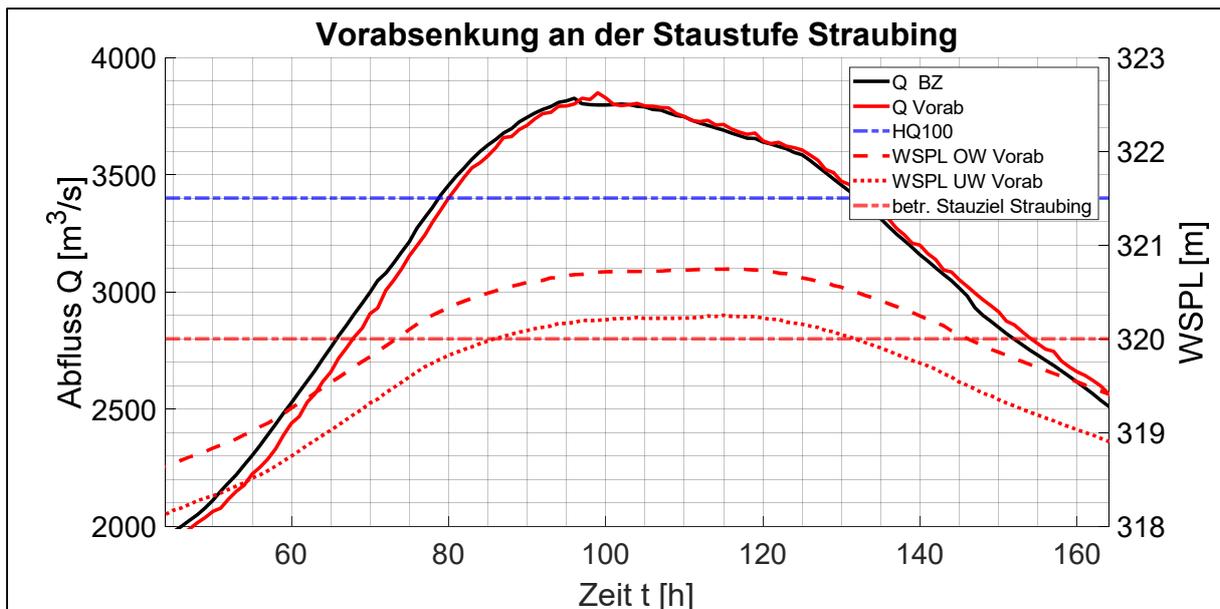


Abbildung 78: Ganglinien an der Staustufe Straubing im BZ und im BZ mit Vorabsenkung der Stauräume Geisling und Straubing für das $HQ_{100}+15\%$ im Donauabschnitt III. Zusätzlich sind die Wasserspiegellagen oberstrom, unterstrom und das betriebliche Stauziel der Staustufe Straubing angezeigt.

An der Staustufe Straubing wird das betriebliche Stauziel von 320,00 m bereits unterhalb des HQ_{100} wieder erreicht (siehe Abbildung 78). Der Stauraum ist dann wieder komplett gefüllt und es steht kein zusätzliches Retentionsvolumen mehr für eine gezielte Scheitelkappung zur Verfügung.

Abbildung 79 zeigt den Vergleich zwischen dem BZ und dem BZ mit Vorabsenkung am Pegel Straubing. Es zeigt sich, dass der ansteigende Ast der Hochwasserwelle bei Vorabsenkung der Staustufen Geisling und Straubing um ca. 2 Stunden verzögert wird. Je näher es zum Scheitel geht, desto geringer wird diese Verzögerung und im Hochwasserscheitel selbst ist keine signifikante Verzögerung mehr zu erkennen, da der Scheitel sehr flach verläuft. Die absolute Scheitelminderung liegt bei $5 \text{ m}^3/\text{s}$ und ist damit nicht relevant.

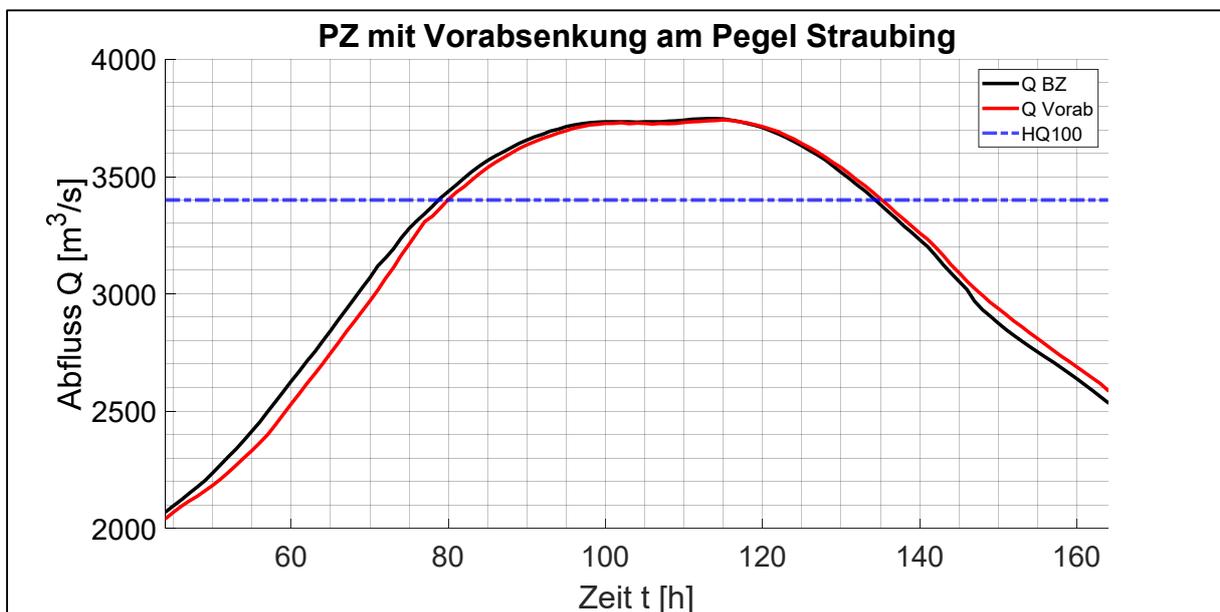


Abbildung 79: Ganglinien am Pegel Straubing im BZ und im BZ mit Vorabsenkung der Stauräume Geisling und Straubing für das $HQ_{100}+15\%$ im Donauabschnitt III

In Teil II des Abschlussberichts zu „Verzögerung und Abschätzung von Hochwasserwellen entlang der bayerischen Donau“ von Giehl et al. (2017) wurde die Kappungswirkung bei gezielter Absenkung und Aufstau bereits untersucht. Hier wurden bei einem etwas höheren $HQ_{100}+15\%$ -Szenario an der Staustufe Geisling mit angesetzter Vorabsenkung von 1 m (die bei HQ_{100} auch noch gehalten werden kann) und gezieltem Einsatz des Restvolumens im Scheitel eine Kappung von ca. $18 \text{ m}^3/\text{s}$ erzielt. Am Pegel Straubing lag eine Kappung von $20 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. 0,5 % vor.

3.3.2 Potenzial einer vorgeschalteten Staustufenkette in Donauabschnitt I auf lechgeprägtes Ereignis in Donauabschnitt II

In Giehl et al. (2017-b) wurden bereits Untersuchungen bezüglich des Potenzials einer gesteuerten Staustufenkette als Beitrag zum Hochwasserschutz bei einem Überlastfall im selben Donauabschnitt durchgeführt. Hier wurden die Staustufen so gesteuert, dass der Abflussscheitel möglichst horizontal – einer lokalen Flutpoldersteuerung entsprechend – gekappt wird. In dieser Weiterführung soll nun das Potenzial einer vorgeschalteten Staustufenkette – einer überregionalen Flutpoldersteuerung entsprechend – bei einem Überlastfall erst im nächsten Donauabschnitt untersucht werden. Da das Potenzial einer Staustufenbewirtschaftung umso größer ausfällt, je kleiner das Hochwasserereignis an der Staustufe ist, könnte ein vorgeschalteter Einsatz günstig sein.

Hierbei werden die Staustufen im Donauabschnitt I, von Neu-Ulm bis Donauwörth, bei einem dort geringeren Hochwasser so gesteuert, dass der Abflussscheitel im Donauabschnitt II unterhalb der Lechmündung möglichst gekappt wird. Eine Auswertung der Ergebnisse erfolgt unterstrom der Lechmündung an den Pegeln Ingolstadt und Kelheim.

3.3.2.1 Methodik

Ziel der vorgeschalteten Staustufenkette ist es, im ansteigenden Ast der Hochwasserwelle der Donau eine Abflusssenke zu erzeugen, welche dann im Bereich des maßgebenden Lechscheitels eine Abflussreduktion bewirken kann. Hierfür werden die Staustufen zunächst abgesenkt und im Anschluss bei anlaufender Hochwasserwelle so aufgestaut, dass die erzeugte Abflusssenke zeitlich auf den Lechscheitel abgestimmt ist. Eine beispielhafte Steuerung einer Staustufe ist in Abbildung 80 gegeben.

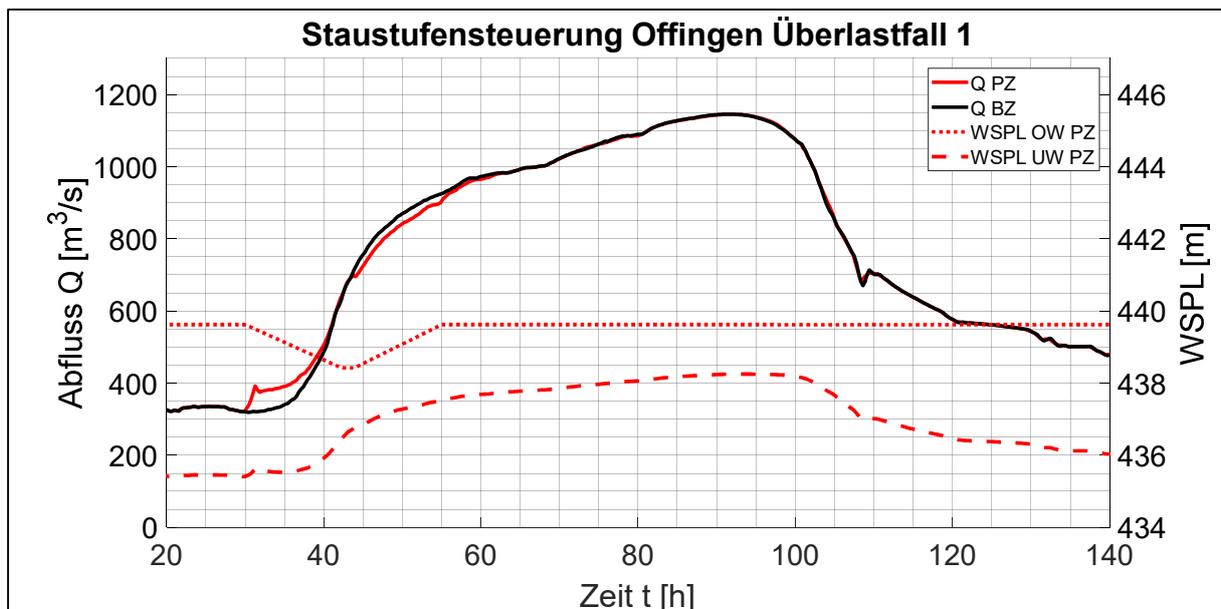


Abbildung 80: Beispielhafte Steuerung einer vorgeschalteten Staustufe

Prinzipiell gibt es bei dieser Steuerung drei verschiedene variable Stellschrauben:

- Das Absenkziel an der Staustufe selbst legt fest, welches Wasservolumen im Stauraum potenziell zurückgehalten werden kann.
- Der Beginn des gesteuerten Aufstaus bestimmt, ab welchem Zeitpunkt Wasser im Stauraum zurückgehalten wird.
- Die Dauer bzw. der Gradient des Aufstaus definieren, welche zeitliche Ausdehnung die durch die Staustufensteuerung erzeugte Abflusssenke hat.

Das Aufstauziel kann ebenfalls noch variabel gewählt werden, in dieser Untersuchung werden jedoch wie bei Giehl et al. (2017-b) die bescheidgemäßen maximalen Hochwasserstauziele angesetzt.

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.

Bei der lokalen Steuerung der Staustufen in Giehl et al. (2017-b) wurden bei den Absenkzielen der Staustufen Faktoren wie die Überdeckungshöhe der Turbinen an den Kraftwerken, die betrieblichen Randbedingungen der Schifffahrt und die Standsicherheit der Stauhaltungsdämme berücksichtigt. Bei der jetzigen Untersuchung werden diese Einschränkungen nicht beachtet, um das volle Potenzial einer vorgeschalteten Staustufenkette zu quantifizieren. Dies ermöglicht tiefere Absenkziele, die nun theoretisch nur noch durch den Unterwasserstand an den Staustufen beschränkt sind.

3.3.2.2 Hydrologie

Für die Untersuchung werden die beiden hydrologischen Szenarien untersucht, die bei Giehl et al. (2017-b) schon für den Überlastfall im Donauabschnitt II verwendet wurden. Beide Szenarien basieren jeweils auf dem lechgeprägten Hochwasser von 1999, wurden jedoch verschieden hochskaliert. Tabelle 15 zeigt die hydrologischen Kennwerte für den BZ der beiden Szenarien. Beide Szenarien weisen erst nach der Lechmündung einen Überlastfall auf.

Tabelle 15: Übersicht über die verwendeten hydrologischen Szenarien für die Untersuchung des Potenzials einer vorgeschalteten Staustufenkette. Der Abflussscheitel des Lechs wird mit dem HQ₁₀₀ am Pegel Augsburg verglichen.

	Überlastfall 1	Überlastfall 2	HQ ₁₀₀
Donauwörth [m ³ /s]	1.269	1.292	1.450
Lech [m ³ /s]	1.376	1.530	1.350
Ingolstadt [m ³ /s]	2.354	2.496	2.100
Kelheim [m ³ /s]	2.280	2.413	2.200

3.3.2.3 Überlastfall 1

Der Überlastfall 1 zeichnet sich am Pegel Donauwörth durch eine sehr langsam ansteigende Hochwasserwelle aus. So vergehen z. B. ca. 50 Stunden, bis die Donau von 1.000 m³/s aus ihren Abflussscheitel bei 1.269 m³/s erreicht (siehe Abbildung 81). Hinter der letzten Staustufe im Donauabschnitt I – der Staustufe Donauwörth – münden noch die Wörnitz, die Schmutter und die Zusam in die Donau und verändern die Wellenform und den Scheitel der Welle beachtlich. Aus diesem Grund und durch Umströmungen der Staustufen im Vorland weisen die Ganglinien an den vorgeschalteten Staustufen nicht diese gleiche Charakteristik auf und eine präzisere vorgeschaltete Steuerung der Staustufen auf den Lechscheitel wird erschwert.

Die einzelnen Parameter zur Absenkung und zum Aufstau an den Staustufen sind in Tabelle 16 aufgelistet. Die resultierenden Wasserspiegel und Abflüsse an den einzelnen Staustufen sind grafisch im Anhang 3 dargestellt.

Tabelle 16: Übersicht der eingestellten Parameter an den einzelnen Staustufen für den vorgeschalteten Einsatz beim Überlastfall 1

	Vorabsenkziel/ minimales Stauziel	Normalstau/ Stauziel gem. Bescheid	Höchststau/ Überstau gem. Bescheid	Absenkgeschw.	Aufstaugeschw.	Aufstaudauer
Staustufe	[m ü NN]	[m ü NN]	[m ü NN]	[cm/h]	[cm/h]	[h]
Oberelchingen	457,59	459,09	-	12	12	13
Leipheim	451,32	452,62	-	10	7	18
Günzburg	445,41	446,11	-	10	8	9
Offingen	438,42	439,62	-	10	11	11
Gundelfingen	433,62	434,62	-	8	10	10
Faimingen	428,61	429,61	430,31	10	17	10
Dillingen	421,80	423,00	423,50	10	15	11
Höchstädt	416,00	417,45	417,70	10	15	12
Schwenningen	408,50	410,00	-	10	13	12
Donauwörth	402,50	403,70	-	10	12	10

Abbildung 81 zeigt, dass sich trotz einer Aufstaudauer von 9-18 Stunden je Staustufe eine relativ breite Abflusssenke am Pegel Donauwörth ergibt. Eine Minderung des Abflusses am Pegel Donauwörth ist über einen Zeitraum von ungefähr 60 Stunden erkennbar, die größte Abnahme ist hierbei zwischen t = 50 h bis t = 70 h erkennbar.

Die Aufweitung 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 Abflusssenkungen gleichsam wie Abflussscheitel abgeflacht und zeitlich aufgeweitet.

Gleichzeitig zeigt Abbildung 81 auch den erhöhten Abfluss am Pegel Donauwörth zwischen $t = 30$ h und $t = 45$ h, welcher durch die Vorabsenkung der einzelnen Staustufen verursacht wird. Bei den in diesem Zeitraum niedrigen Abflüssen kommt es durch die Vorabsenkungen nicht zu einer früheren Aktivierung des Riedstroms.

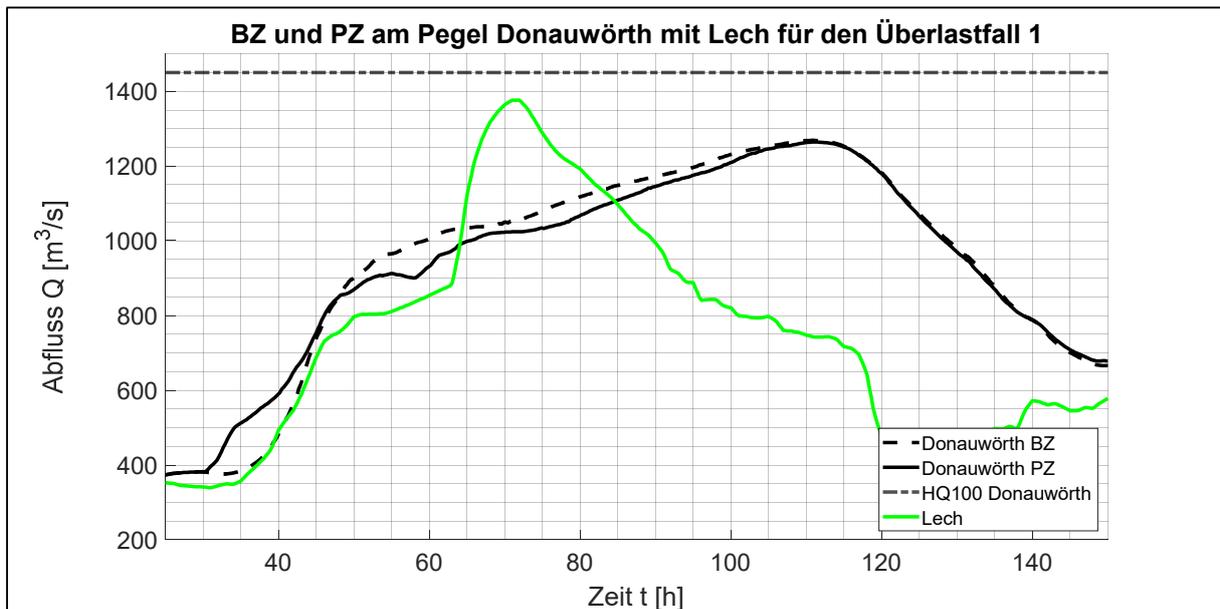


Abbildung 81: Die unbeeinflusste Ganglinie (BZ) und die Ganglinie mit den vorgeschalteten Staustufen (PZ) am Pegel Donauwörth für den Überlastfall 1. Des Weiteren ist die Ganglinie des Lechs sowie das HQ_{100} am Pegel Donauwörth dargestellt.

Abbildung 82 zeigt die Ganglinien an den unterhalb der Lechmündung liegenden Pegeln Ingolstadt und Kelheim. Am Pegel Ingolstadt beträgt der Abflussscheitel der unbeeinflussten Hochwasserwelle $2.356 \text{ m}^3/\text{s}$. Durch die vorgeschaltete Staustufenkette wird der Abflussscheitel am Pegel Ingolstadt auf $2.313 \text{ m}^3/\text{s}$ gesenkt. Dies entspricht einer absoluten Scheitelreduktion um $43 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. einer relativen Scheitelreduktion um $1,8 \%$. Abbildung 82 zeigt ebenfalls, dass der Donauscheitel am Pegel Ingolstadt von der Staustufensteuerung zeitlich gut getroffen wird. Zwar ist eine Kappung über einen Zeitraum von ca. 40 Stunden zu erkennen, die maximale Kappung ist jedoch deutlich im Scheitelbereich vorhanden.

Am Pegel Kelheim hat die unbeeinflusste Hochwasserwelle einen Scheitelabfluss von $2.283 \text{ m}^3/\text{s}$. Mithilfe der vorgeschalteten Staustufenkette wird der Scheitel um $29 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $1,3 \%$ auf $2.254 \text{ m}^3/\text{s}$ gesenkt. Auch der Scheitel am Pegel Kelheim ist zeitlich gut von der Staustufensteuerung getroffen.

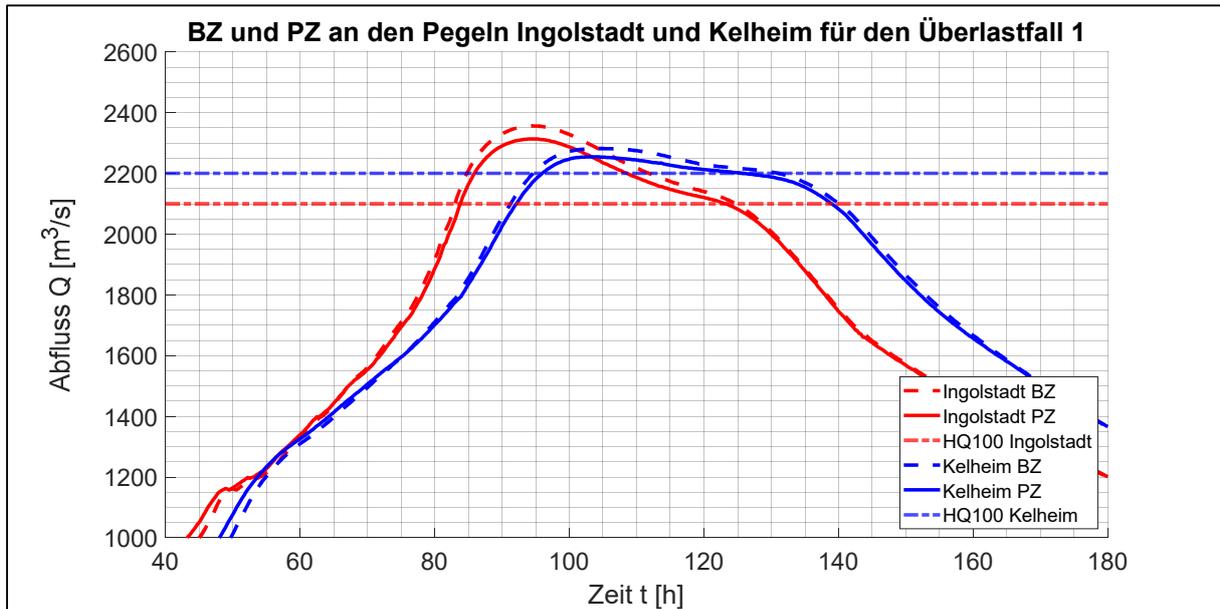


Abbildung 82: Die unbeeinflussten Ganglinien (BZ) und die Ganglinien mit den vorgeschalteten Staustufen (PZ) an den Pegeln Ingolstadt und Kelheim für den Überlastfall 1. Des Weiteren ist das HQ₁₀₀ an den Pegeln Ingolstadt und Kelheim dargestellt.

3.3.2.4 Überlastfall 2

Der Überlastfall 2 stellt eine schneller ansteigende Hochwasserwelle im Vergleich zum Überlastfall 1 in Donauwörth dar. So liegen zwischen dem Überschreiten eines Abflusses von 1.000 m³/s bis zum Erreichen des Scheitels von 1.292 m³/s ca. 35 Stunden (siehe Abbildung 83). Die ebenfalls vorhandene Prägung des Scheitels in Donauwörth durch die Zuflüsse der Wörnitz, Schmutter und Zusam sowie die seitlichen Umströmungen einzelner Staustufen erschweren erneut eine effektive Steuerung der Staustufen.

Tabelle 17 zeigt die eingestellten Parameter an den einzelnen Staustufen. An der Staustufe Gundelfingen ist durch einen hohen Unterwasserstand keine effektive Absenkung möglich. Die resultierenden Wasserspiegel und Abflüsse an den einzelnen Staustufen sind grafisch im Anhang 4 dargestellt.

Die aus der vorgeschalteten Staustufenkette resultierende Ganglinie in Donauwörth ist ebenfalls in Abbildung 83 dargestellt. Wiederum wird eine relativ breite Abflusssenke erzeugt, so dass der Lechscheitel auf jeden Fall getroffen wird. Der erhöhte Abfluss durch die Vorabsenkung an den Staustufen im Bereich $t = 76$ h bis $t = 90$ h fällt wiederum in den Bereich mit geringen Abflüssen, so dass noch keine Aktivierung des Riedstroms erfolgt.

Abschlussbericht Weitergehende Untersuchungen, Februar 2021

Tabelle 17: Übersicht der eingestellten Parameter an den einzelnen Staustufen für den vorgeschalteten Einsatz beim Überlastfall 2

	Vorabsenk- ziel/ minimales Stauziel	Normalstau/ Stauziel gem. Bescheid	Höchststau/ Überstau gem. Bescheid	Absenk- geschw.	Aufstau- geschw.	Aufstau- dauer
Staustufe	[m ü NN]	[m ü NN]	[m ü NN]	[cm/h]	[cm/h]	[h]
Oberelchingen	457,59	459,09	-	10	8	18
Leipheim	451,32	452,62	-	10	7	18
Günzburg	445,41	446,11	-	10	6	12
Offingen	438,42	439,62	-	10	7	17
Gundelfingen	434,62	434,62	-	-	-	-
Faimingen	428,61	429,61	430,31	10	12	14
Dillingen	422,00	423,00	423,50	10	10	15
Höchstädt	416,25	417,45	417,70	10	10	14
Schwenningen	409,00	410,00	-	10	8	13
Donauwörth	403,00	403,70	-	7	7	10

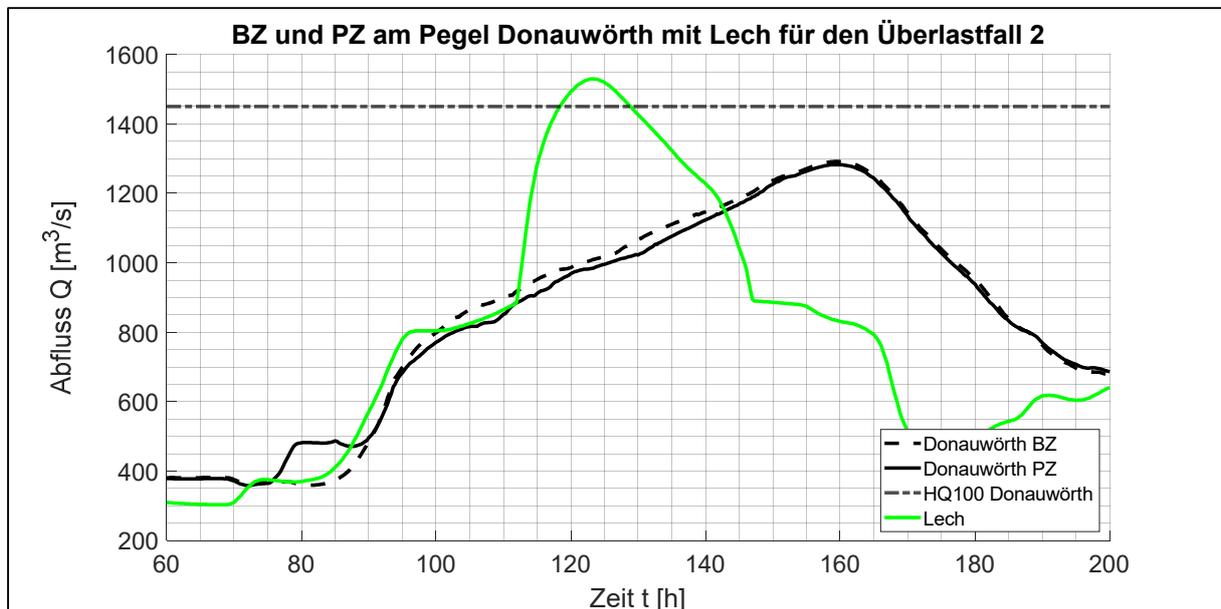


Abbildung 83: Die unbeeinflusste Ganglinie (BZ) und die Ganglinie mit den vorgeschalteten Staustufen (PZ) am Pegel Donauwörth für den Überlastfall 2. Des Weiteren ist die Ganglinie des Lechs sowie das HQ₁₀₀ am Pegel Donauwörth dargestellt.

Abschlussbericht Weitergehende Untersuchungen, Februar 2021

Abbildung 84 zeigt die Ganglinien an den Pegeln Ingolstadt und Kelheim. Am Pegel Ingolstadt wird der Scheitel von $2.496 \text{ m}^3/\text{s}$ aus dem BZ durch die Staustufensteuerung um $12 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $0,5 \%$ auf $2.484 \text{ m}^3/\text{s}$ gesenkt.

Am Pegel Kelheim erzielt die Staustufensteuerung eine Verringerung des Scheitels von $2.413 \text{ m}^3/\text{s}$ um $15 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $0,6 \%$ auf $2.398 \text{ m}^3/\text{s}$.

An beiden Pegeln ist zu erkennen, dass die Staustufensteuerung nach dem Scheitel eine größere Reduktion erzielt als an dem Scheitel selbst. Dies liegt an der Überflutung des rechtsseitigen Vorlandes zwischen der Lechmündung und der Staustufe Bertoldsheim bzw. deren rechtsseitige Umströmung. Hier wird im BZ 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.

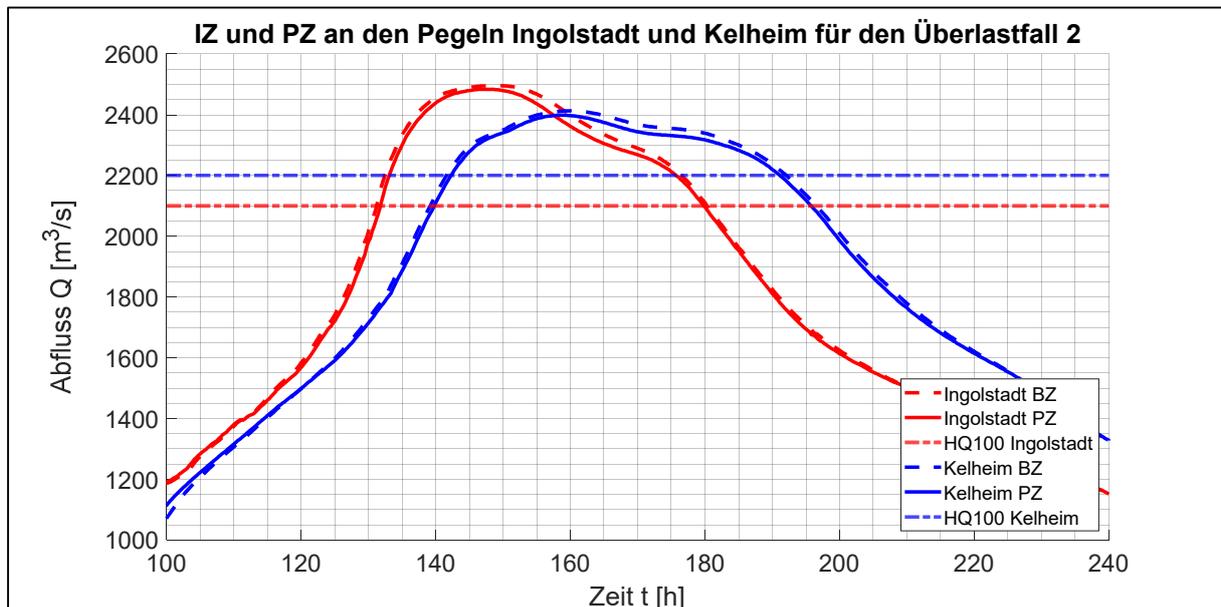


Abbildung 84: Die unbeeinflussten Ganglinien (BZ) und die Ganglinien mit den vorgeschalteten Staustufen (PZ) an den Pegeln Ingolstadt und Kelheim für den Überlastfall 2. Des Weiteren ist das HQ_{100} an den Pegeln Ingolstadt und Kelheim dargestellt.

3.3.2.5 Erkenntnisse aus der Untersuchung der vorgeschalteten Staustufensteuerung

Tabelle 18 zeigt eine Übersicht der erzielten Kappungen in den zwei Überlastfällen durch die Staustufensteuerung.

Tabelle 18: Übersicht der erzielten Reduktionen durch die Staustufensteuerung beim untersuchten Überlastfall 1 und Überlastfall 2.

	Überlastfall 1	Überlastfall 2
Scheitel Ingolstadt BZ [m ³ /s]	2.356	2.496
Scheitel Ingolstadt PZ [m ³ /s]	2.313	2.484
Abs. Kappung Ingolstadt [m ³ /s]	43	12
Rel. Kappung Ingolstadt [%]	1,8	0,5
Scheitel Kelheim BZ [m ³ /s]	2.283	2.413
Scheitel Kelheim PZ [m ³ /s]	2.254	2.398
Abs. Kappung Kelheim [m ³ /s]	29	15
Rel. Kappung Kelheim [%]	1,3	0,6

Die Staustufensteuerung im Überlastfall 1 wirkt mit 43 m³/s bzw. 1,8 % am Pegel Ingolstadt und 29 m³/s bzw. 1,3 % am Pegel Kelheim deutlich besser als im Überlastfall 2 (12 m³/s bzw. 0,5 % und 15 m³/s bzw. 0,6 %). Generell hat sich in der TUM-Studie von 2017 gezeigt, dass die Staustufen umso weniger Wirkung haben, je größer das Hochwasserereignis ist. In diesem Fall kommt noch als Hauptgrund die erwähnte Aktivierung von natürlicher Retention kurz hinter der Lechmündung beim Scheitelabfluss des Überlastfalls 2 hinzu.

Solche Wechselwirkungen mit natürlichen Überflutungsräumen können prinzipiell jede vorgeschaltete oder überregionale Steuerung erschweren und in ihrer Wirkung abschwächen, sowohl bei Staustufen als auch bei Flutpoldern. Durch die größeren Rückhaltevolumina an Flutpoldern ist die Wirkung der überregionalen Flutpoldersteuerung jedoch noch in deutlich größeren Abständen flussabwärts vorhanden als bei vorgeschalteten Staustufensteuerungen, welche der Hochwasserwelle zudem kein Volumen entziehen, sondern dieses nur innerhalb der Hochwasserwelle verlagern.

Weiterhin erschwerend bei einer vorgeschalteten Staustufensteuerung im Donauabschnitt I ist die wechselseitige Beeinflussung mit der Wirkung des Riedstroms. Da die vorgeschaltete Steuerung nicht im Scheitel der Hochwasserwelle, sondern noch im ansteigenden Ast wirkt, wird hier besonders in die Ausströmung in den Riedstrom eingegriffen. Dadurch, dass Wasser der ansteigenden Hochwasserwelle an den Staustufen zurückgehalten wird, verzögert sich die Wirkung des Riedstroms und kann sich dadurch verringern. Der Riedstrom und die vorgeschaltete Staustufensteuerung ergänzen und addieren ihre Retentionswirkung folglich nicht, sondern heben sich teilweise gegenseitig auf.

Des Weiteren beeinträchtigt der Riedstrom die präzise zeitliche Steuerung der Staustufen. Die Aktivierung eines größeren natürlichen Retentionsraumes (hier: des Riedstroms) verbreitert

und dämpft eine Abflusssenke in einem sehr großen und nur schwierig einschätzbaren Maße, da die Hochwasserwelle durch die Ausleitung und deren Retentionseffekte stark verformt wird. Dies erschwert eine entsprechende effektive und robuste Steuerung der Staustufen im Hochwasserfall.

Die Form der Hochwasserwelle wird im Donauabschnitt I jedoch nicht nur vom Riedstrom, sondern auch von den Zuflüssen zwischen der Staustufe Donauwörth und der Lechmündung stark beeinflusst. Beim Überlastfall 2 bringen diese Zuflüsse beispielsweise im Scheitel gemeinsam ca. $130 \text{ m}^3/\text{s}$. Dies erschwert eine Abschätzung der Geschwindigkeit der Hochwasserwelle. Bei einer sensitiven Vorschaltung durch Staustufen ist die Abschätzung der Wellengeschwindigkeit sehr wichtig, da die Dauer des gesteuerten Aufstaus an der Staustufe teilweise unter 10 Stunden lag. Wenn diese Dauer durch einen langsameren Aufstau verlängert wird, erhöht dies zwar die Wahrscheinlichkeit, dass der stromabwärts liegende Scheitel des seitlichen Zuflusses korrekt getroffen wird, die Wirkung wird jedoch durch das geringere zurückgehaltene Volumen pro Zeit verringert.

Ein Flutpolder hat hier im Gegensatz den Vorteil, dass er bei einer robusten Vorschaltung über einen längeren Zeitraum einen größeren Abfluss aufnehmen kann. Der geplante Flutpolder Helmeringen im Donauabschnitt I könnte beispielsweise über einen Zeitraum von 24 Stunden einen konstanten Abfluss von $80 \text{ m}^3/\text{s}$ aus der Donau abführen; der geplante Flutpolder Bertoldsheim kurz hinter der Lechmündung könnte über einen Zeitraum von 24 Stunden sogar einen konstanten Abfluss von ca. $200 \text{ m}^3/\text{s}$ entnehmen. Dies zeigt, dass einzelne Flutpolder bereits ein deutlich höheres Reduktionspotenzial aufweisen als die gesamte, hier untersuchte vorgeschaltete Staustufenkette.

4 Zusammenfassung

Die weitergehenden Untersuchungen haben die hydraulische Wirkung sowohl der an der Donau geplanten Flutpolder als auch einer optimierten Staustufenbewirtschaftung bei verschiedenen Hochwasserszenarien näher beleuchtet.

4.1 Untersuchungen zu Staustufen

Zu den Untersuchungen zu den Staustufen (Kapitel 3.3) ist zusammenfassend Folgendes festzuhalten:

Eine vollständige Vorabsenkung der Stauräume Geisling und Straubing um jeweils mehr als 8 m wurde als rein theoretische Analyse ungeachtet dessen, dass eine vollständige Entleerung des Oberwassers der Staustufen an der Bundeswasserstraße nicht umsetzbar wäre, untersucht. Es zeigte sich, dass die vorabgesenkten Stauräume bereits im ansteigenden Ast der Hochwasserwelle wieder fast vollständig gefüllt werden, sodass an der Staustufe Geisling bei einem Abfluss von 3.400 m³/s (HQ₁₀₀) nur noch gut 1 m bzw. rd. 3-4 Mio. m³ und bei 3.700 m³/s (HQ₂₀₀) nur noch knapp 0,7 m bzw. rd. 2-3 Mio. m³ für einen gezielten Einsatz im Bereich des Hochwasserscheitels übrigbleiben. An der Staustufe Straubing wird das Stauziel bereits unterhalb des HQ₁₀₀ wieder erreicht, wodurch bei höheren Abflüssen keine Scheitelkappung mehr möglich ist. Die massive Vorabsenkung bewirkt somit vor allem eine geringfügige zeitliche Verzögerung der Hochwasserwelle in der ansteigenden Welle. Im Scheitelbereich größerer Hochwasser kann folglich (wenn überhaupt) nur ein Bruchteil des Volumens gezielt für eine Scheitelkappung verwendet werden, welches mit den Flutpoldern Eltheim und Wörthhof zur Verfügung stehen würde.

Ein vorgeschafter Einsatz der Staustufenkette im Donauabschnitt I auf einen prägenden seitlichen Zufluss des Lechs hat 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 beiden überprüften 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.

4.2 Untersuchung der Flutpolderwirkungen

Die Untersuchungen in Kapitel 3.1 und Kapitel 3.2 unterstreichen die effektive Wirkung, insbesondere die Abflussreduktion, der geplanten Flutpolder an der Donau.

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. Dies ist nochmals in Abbildung 85 veranschaulicht. 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 ca. 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 erzielten Abflussscheitelreduktionen mit Bertoldsheim ca. 1,5 bis 2,5 %-Punkte höher als ohne Bertoldsheim.

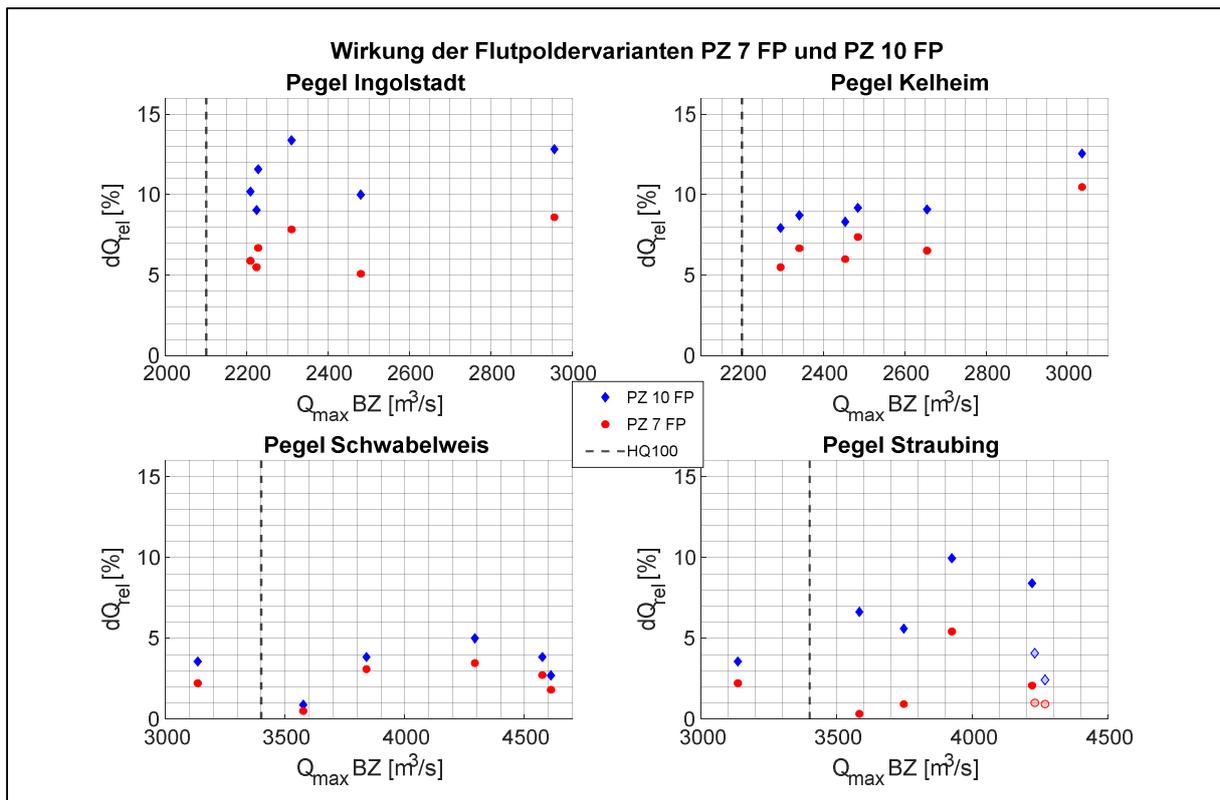


Abbildung 85: Erzielte Abflussreduktionen dQ_{rel} bei den Flutpoldervarianten PZ 7 FP und PZ 10 FP an den Pegeln Ingolstadt, Kelheim, Schwabelweis und Straubing für die Ereignisse aus Kapitel 3.1.1.1 und 3.2

Die Wirkung des Flutpolders Bertoldsheim zeigt sich aber auch noch im Donauabschnitt III mit rd. 0,5 bis 1,5 höheren %-Werten der Abflussscheitelreduktion am Pegel Schwabelweis (siehe Abbildung 85). Selbst am Pegel Straubing kann noch eine separate Wirkung des Flutpolders Bertoldsheim ausgemacht werden. Für das synthetische Ereignis E008, das unter HQ_{100} liegt, (entspricht in Abbildung 85 am Pegel Straubing dem linken Punktepaar) wurden keine Flutpolder im Donauabschnitt 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 85 an den übrigen Ereignissen am Pegel Straubing. Unterstrom von Regensburg können sich sehr große Hochwasserereignisse mit einem durch Naab und Regen überprägten Hochwasserscheitel 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 Scheitelkapungen bewirken. Im Lastfall $HQ_{100}+15\%$ 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_{\max} BZ von $3.747 \text{ m}^3/\text{s}$). Bei den großräumigen synthetischen Ereignissen ergeben sich bei der Variante ohne Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof am Pegel Straubing rd. 4,5 bis 6,5 %-Punkte geringere Scheitelreduktionen als bei der Variante mit allen geplanten Flutpoldern.

Bei den Ereignissen E115 und E271 (transparente Füllung der Markierungen in Abbildung 85) 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. Dies bedeutet jedoch nicht, dass der Flutpoldereinsatz hier nur eine geringe Wirkung erzielt. Die Flutpolder Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof verhindern hier eine großflächige Überströmung der Hochwasserschutzdeiche mit allen negativen Konsequenzen und senken dadurch die Wahrscheinlichkeit eines Deichversagens. Im PZ ohne die Flutpolder Bertoldsheim, Eltheim und Wörthhof können diese Deichüberströmungen bei den Ereignissen E115 und E271 nicht verhindert werden. Die tatsächliche Wirkung der drei Flutpolder bei diesen Ereignissen zeigt sich somit vor allem in der Vermeidung großflächiger Deichüberströmungen, eine Betrachtung der Abflussreduktion alleine ist hier nicht ausreichend.

Der weitere Wirkungsverlauf im Abschnitt Straubing-Vilshofen im Zusammenspiel mit den dort geplanten Rückhalteräumen wurde insgesamt an 9 Ereignissen überprüft (siehe Abbildung 86). 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 $294 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. 8,2 % in Straubing auf im Mittel $47 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. 1,3 % 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.

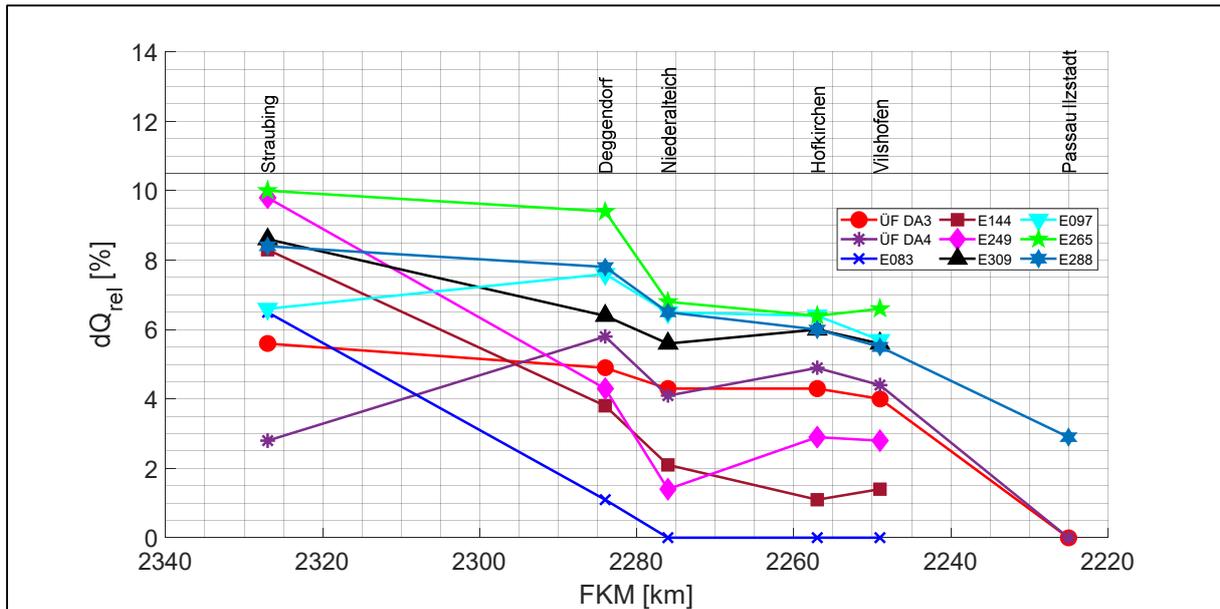


Abbildung 86: Verlauf der relativen Abflussscheitelreduzierung unterstrom des Pegels Straubing

Bei weiteren fünf Ereignissen (ÜF DA3, E097, E265, E288, E309) ist nur ein geringer Wirkungsabfall von im Mittel 303 m³/s bzw. 7,8 % am Pegel Straubing bis auf im Mittel 242 m³/s bzw. 5,5 % am Pegel Vilshofen erkennbar, auch unterstrom der Isarmündung (Pegel Niederalteich) liegt noch eine deutliche Abflussscheitelreduktion von 4 bis 7 % vor. Bei den Ereignissen E097, E265 und E288 ist die Scheitelreduktion unterstrom der Isarmündung sogar noch höher als 6 %. Allgemein betrachtet reduziert sich die prozentuale Wirkung der Flutpolder zwischen dem Pegel Deggendorf und dem Pegel Niederalteich allein schon durch den Einfluss der Isarmündung mit dem dann höheren Abflussniveau als Ausgangsbasis (eine Grafik mit dem Verlauf der absoluten Scheitelreduzierung an den Pegeln ist im Anhang 5 angefügt). Bis oberhalb der Mündung des Inns ist der weitere Wirkungsverlauf sehr stabil. 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 i.d.R. 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 (siehe Kapitel 3.1.1.2) ergab sich unterstrom des prägenden Zuflusses der Isar am Pegel Hofkirchen eine Scheitelreduktion von 4,9 % und damit die Verhinderung eines Überlastfalls. Die geringe Wirkung in Straubing ist darauf zurückzuführen, dass hier keine Scheitelkappung erfolgt, sondern eine Abflusssenke in die Ganglinie gefahren wird.

In jedem Donauabschnitt kann ein seitlicher Zufluss einen Überlastfall verschärfen oder neu prägen. Der Donauabschnitt I ist besonders durch die Iller und am Ende durch die Wörnitz

geprägt. Beim Donauabschnitt II ist zumeist der Lech der prägende seitliche Zufluss, jedoch können auch weitere Zuflüsse wie z. B. die Abens oder die Altmühl einen Überlastfall nochmals verschärfen. Im Donauabschnitt III können die Naab und der Regen einen neuen und sehr extremen Überlastfall verursachen und unterstrom von Deggendorf hat auch die Isar das Potenzial, einen neuen Donauscheitel zu prägen. Aufgrund dieser besonderen hydrologischen Umstände ist es sehr vorteilhaft, wenn in allen Donauabschnitten mehrere Flutpolder mit entsprechend großen Rückhaltevolumina verteilt entlang der Donau für eine Hochwasserentlastung auch noch im Überlastfall sorgen können.

In sämtlichen untersuchten Ereignissen konnten die geplanten 10 Flutpolder zusammen mit den weiteren Rückhalteräumen im Bereich Donauwörth und Deggendorf dazu beitragen, Überlastfälle deutlich abzuschwächen oder auch zu verhindern. Auch wenn bei den betrachteten sehr großen Ereignissen das HQ_{100} nicht immer unterschritten werden kann, bedeutet dies eine deutliche Spitzenkappung des Abflusses und damit eine spürbare Entlastung der Hochwasserschutzdeiche mit Reduzierung der Versagenswahrscheinlichkeiten oder bei extremen Fällen bei entsprechender Steuerung zumindest ein Zeitgewinn.

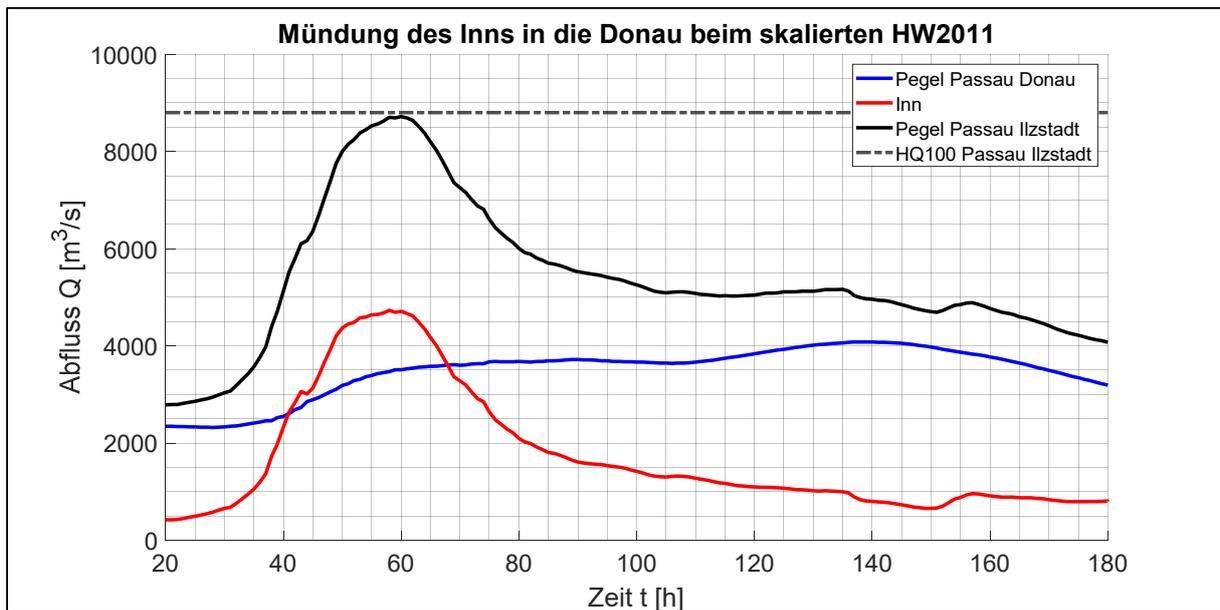
5 Literaturverzeichnis

- Asenkerschbaumer, M., Skublics, D. und Rutschmann, P. (2012): Verzögerung und Abschätzung von Hochwasserwellen entlang der bayerischen Donau. München: TUM.
- Giehl, S., Skublics, D., Schmid, M., Rutschmann, P. (2015): Wirkungsanalyse und Priorisierung von steuerbaren Flutpoldern entlang der bayerischen Donau. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 35.15.
- Giehl, S., Skublics, D., Scandroglio, R., Rutschmann, P. (2017-a): Vertiefte Wirkungsanalyse zu: „Verzögerung und Abschätzung von Hochwasserwellen entlang der bayerischen Donau“. Teil I. München: TUM.
- Giehl, S., Pörtge, D., Scandroglio, R., Rutschmann, P. (2017-b): Vertiefte Wirkungsanalyse zu: „Verzögerung und Abschätzung von Hochwasserwellen entlang der bayerischen Donau“. Teil II. München: TUM.
- Kastrup, J., Jordan, A., Schmid, N. (2018): Planfeststellung Bundeswasserstraße Donau. Ausbau der Wasserstraße und Verbesserung des Hochwasserschutzes Straubing-Vilshofen. Teilabschnitt 1: Deggendorf-Vilshofen. Hydrologie und hydrotechnische Berechnungen. Beilage 44. München: RMD Wasserstraßen GmbH.
- Skublics, D. und Rutschmann, P. (2014-a): Hochwasserrückhalt durch natürliche Hochwasserretention entlang der Bayerischen Donau. WasserWirtschaft, 4/2014, S. 20-27.
- Skublics, D. (2014-b): Großräumige Hochwassermodellierung im Einzugsgebiet der bayerischen Donau - Retention, Rückhalt, Ausbreitung. Dissertation am Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München.

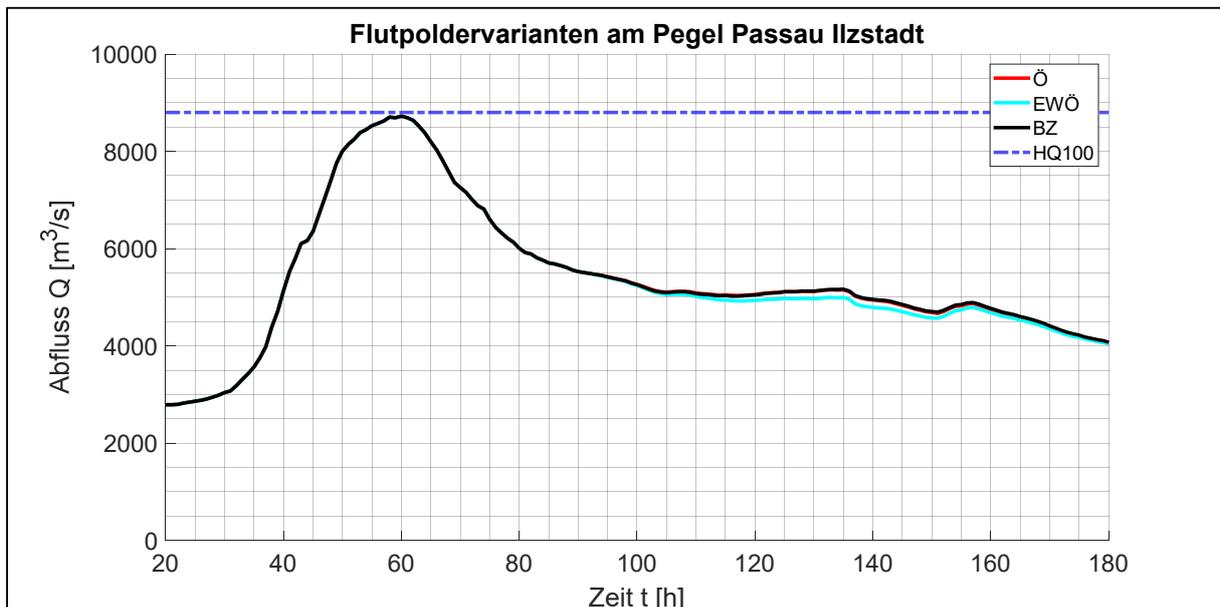
6 Anhang

Anhang 1 Einfluss des Inns beim HQ₁₀₀+15% im Donauabschnitt III (skalier-tes Hochwasser von 2011)

Der Inn hat beim skalierten Hochwasser von 2011 einen Abflussscheitel von 4.729 m³/s und läuft zeitlich dem Donauhochwasser voraus. Deswegen hat die Hochwasserwelle nach der Innmündung eine inggeprägte Form. Am Pegel Passau Ilzstadt wird das HQ₁₀₀ mit einem Abflussscheitel von 8.721 m³/s knapp unterschritten.

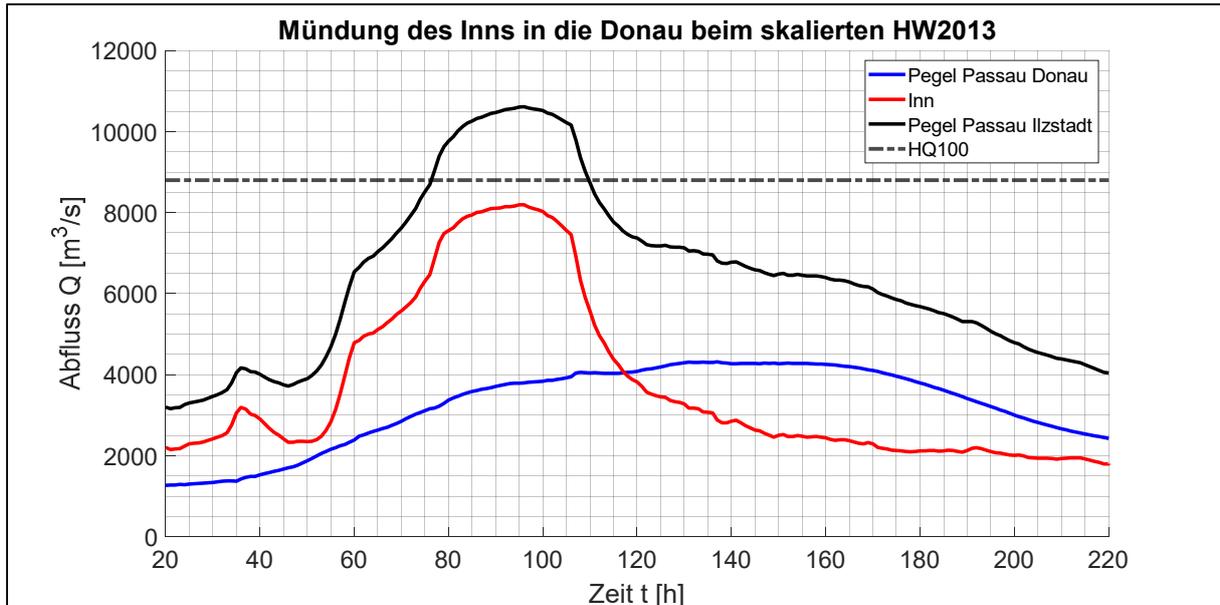


Da das skalierte Hochwasser von 2011 ab dem Pegel Ilzstadt inggeprägt ist, zeigt sich die Flutpolderwirkung hier nur im ablaufenden Ast der Hochwasserwelle.

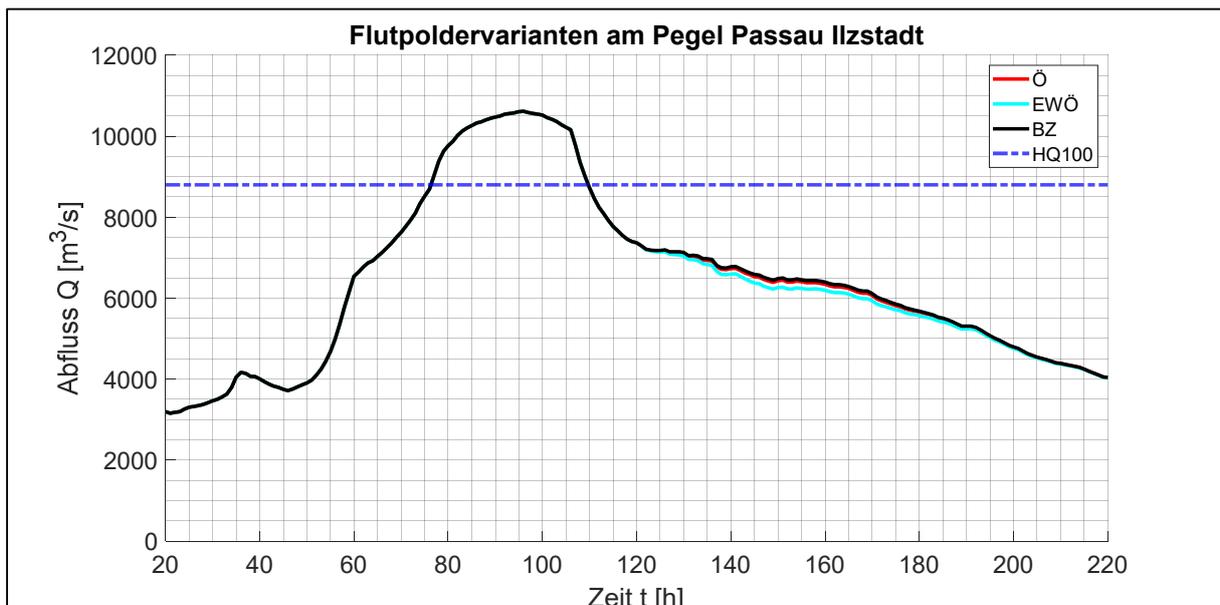


Anhang 2 Einfluss des Inns beim Überlastfall im Donauabschnitt IV (skalier-tes Hochwasser von 2013)

Der Inn hat beim skalierten Hochwasser von 2013 einen Abflussscheitel von 8.194 m³/s und läuft zeitlich dem Donauhochwasser voraus. Deswegen hat die Hochwasserwelle nach der Innmündung eine inggeprägte Form. Am Pegel Passau Ilzstadt wird das HQ₅₀₀ mit einem Abflussscheitel von 10.614 m³/s überschritten.

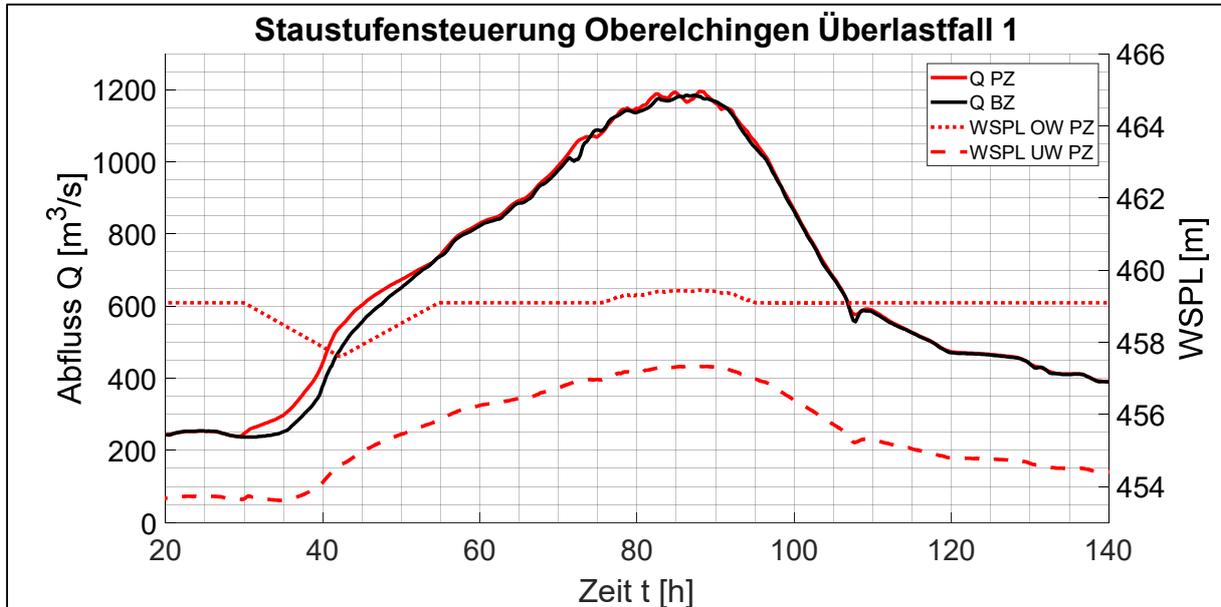


Da das skalierte Hochwasser von 2013 ab dem Pegel Ilzstadt inggeprägt ist, zeigt sich die Flutpolderwirkung hier nur im ablaufenden Ast der Hochwasserwelle.

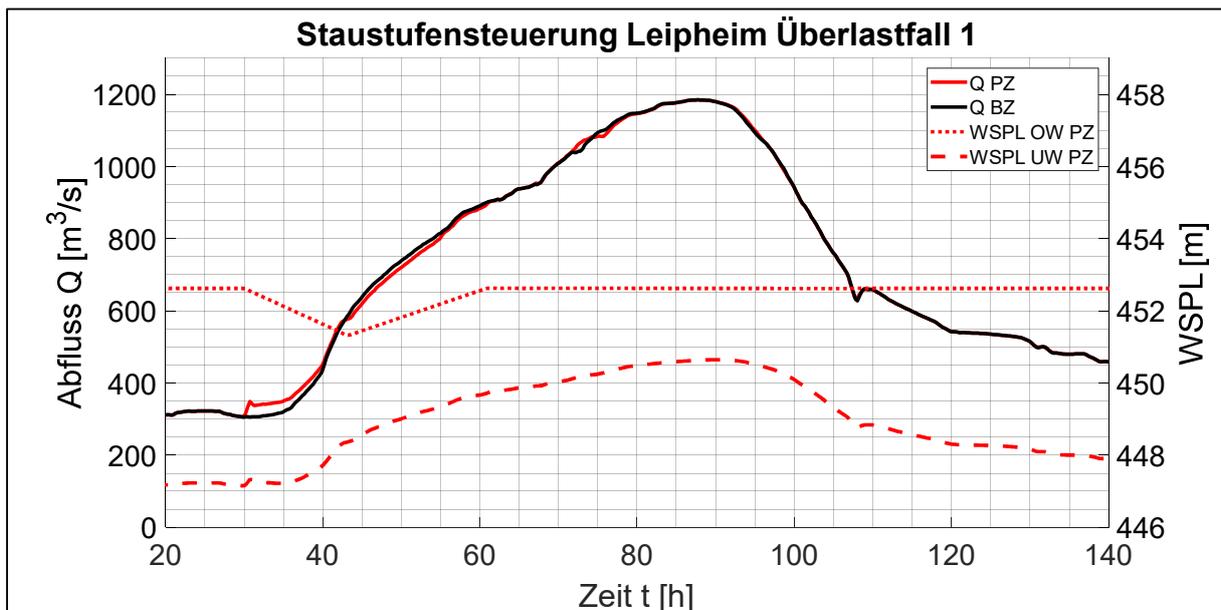


Anhang 3 Staustufensteuerungen an den einzelnen Staustufen im Donauabschnitt I für den Überlastfall 1

Staustufensteuerung an der Staustufe Oberelchingen, der ersten im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 1:

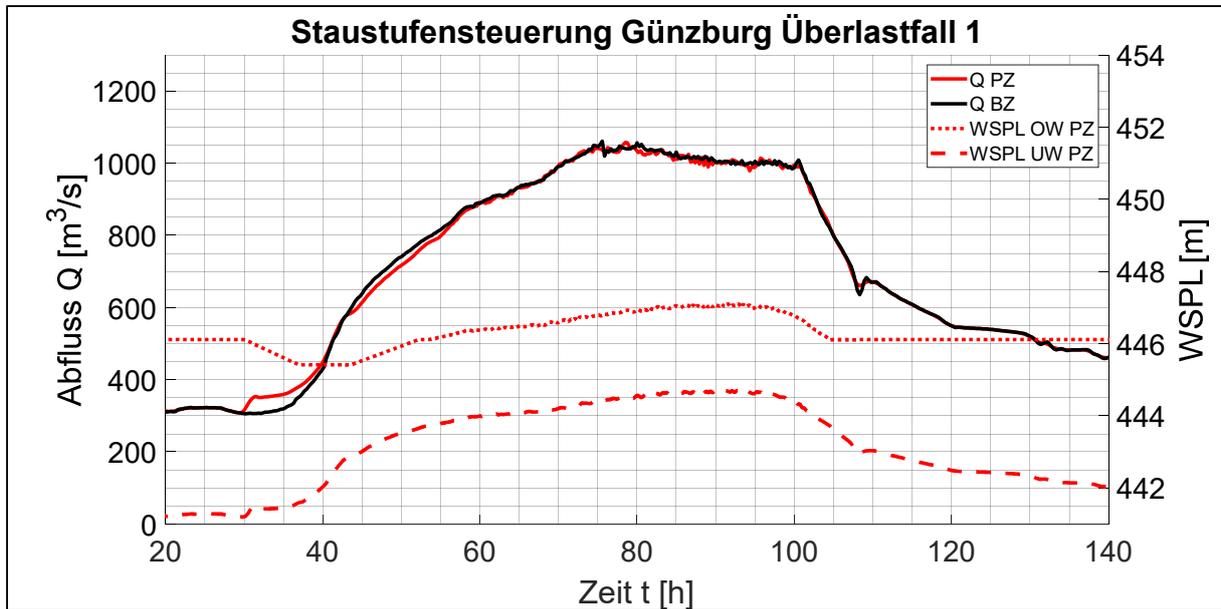


Staustufensteuerung an der Staustufe Leipheim, der zweiten im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 1:

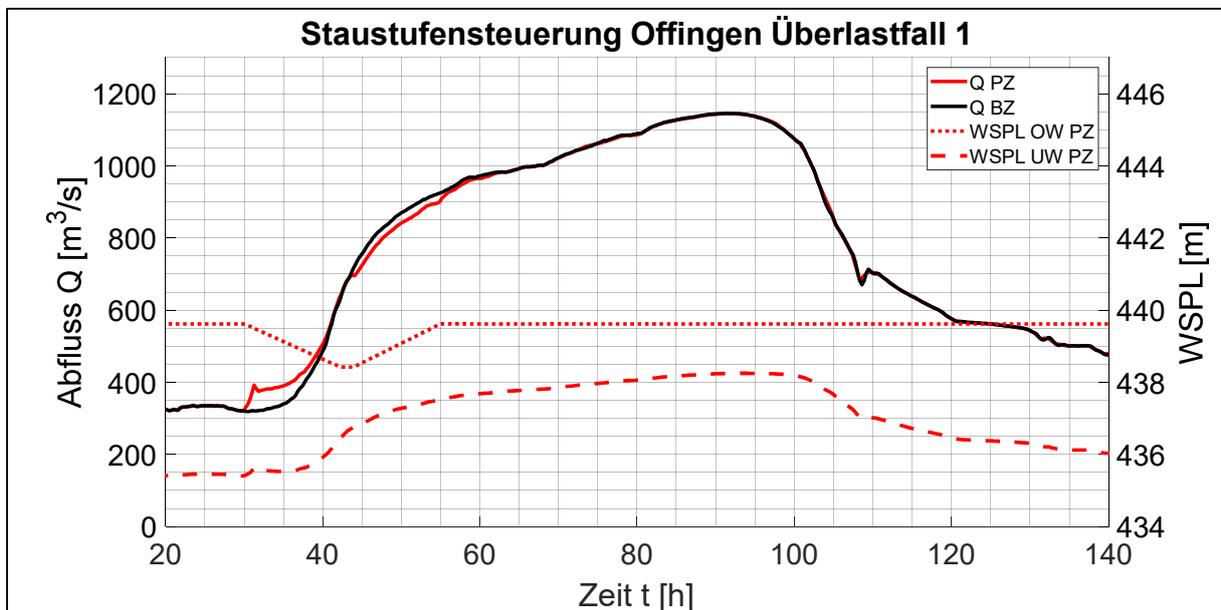


Abschlussbericht Weitergehende Untersuchungen, Februar 2021

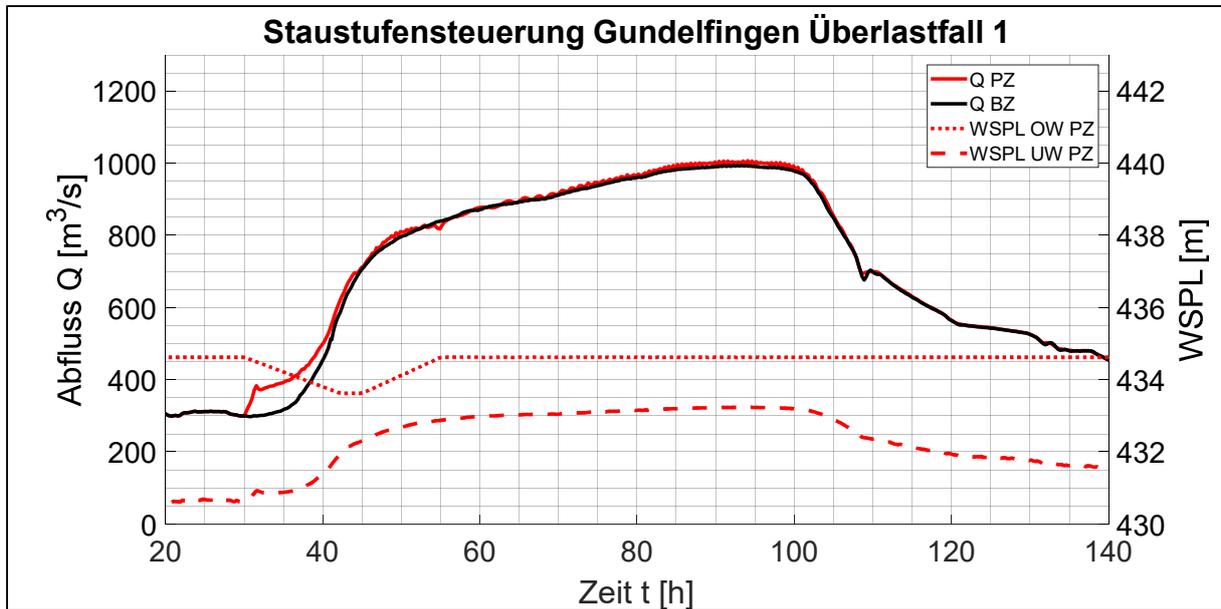
Staufufensteuerung an der Staustufe Günzburg, der dritten im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 1:



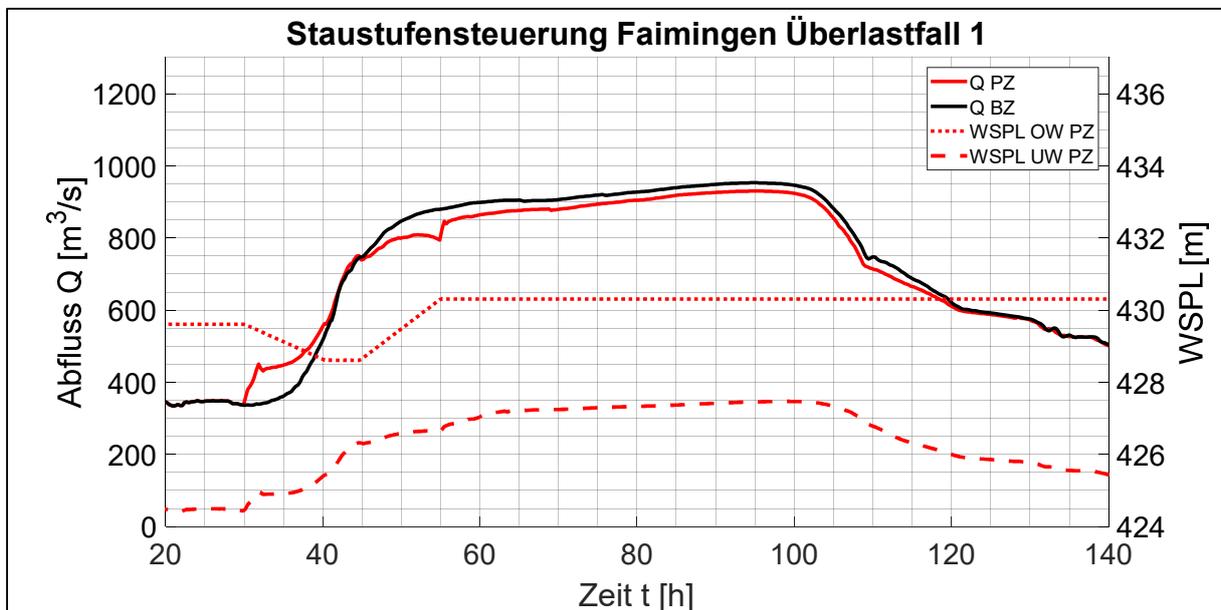
Staufufensteuerung an der Staustufe Offingen, der vierten im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 1:



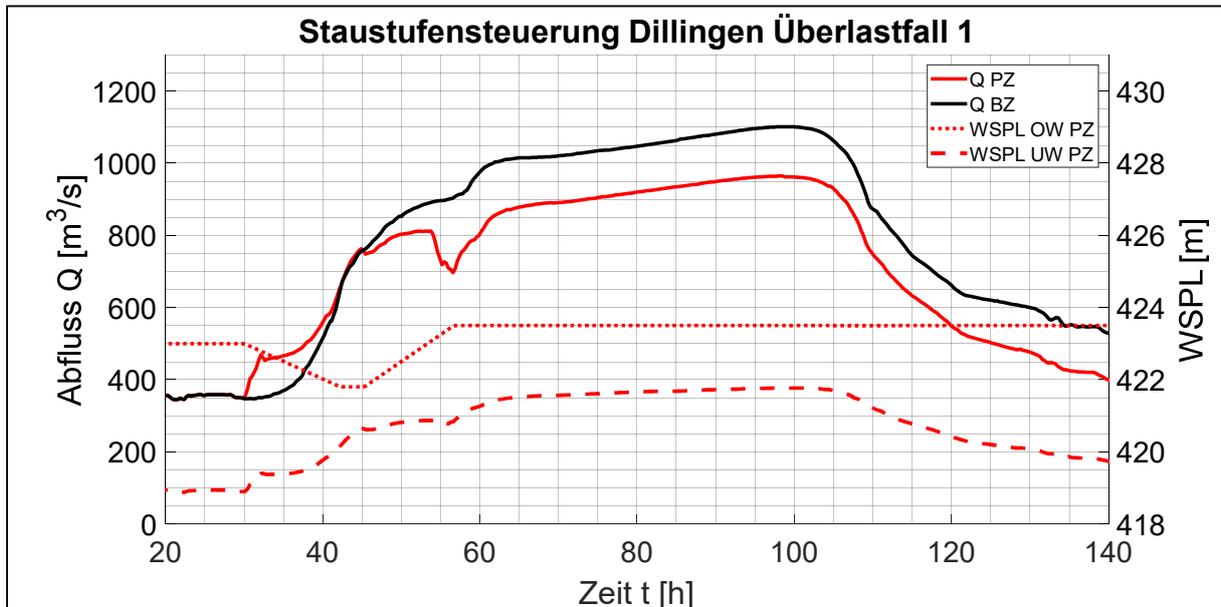
Staufufensteuerung an der Staustufe Gundelfingen, der fünften im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 1:



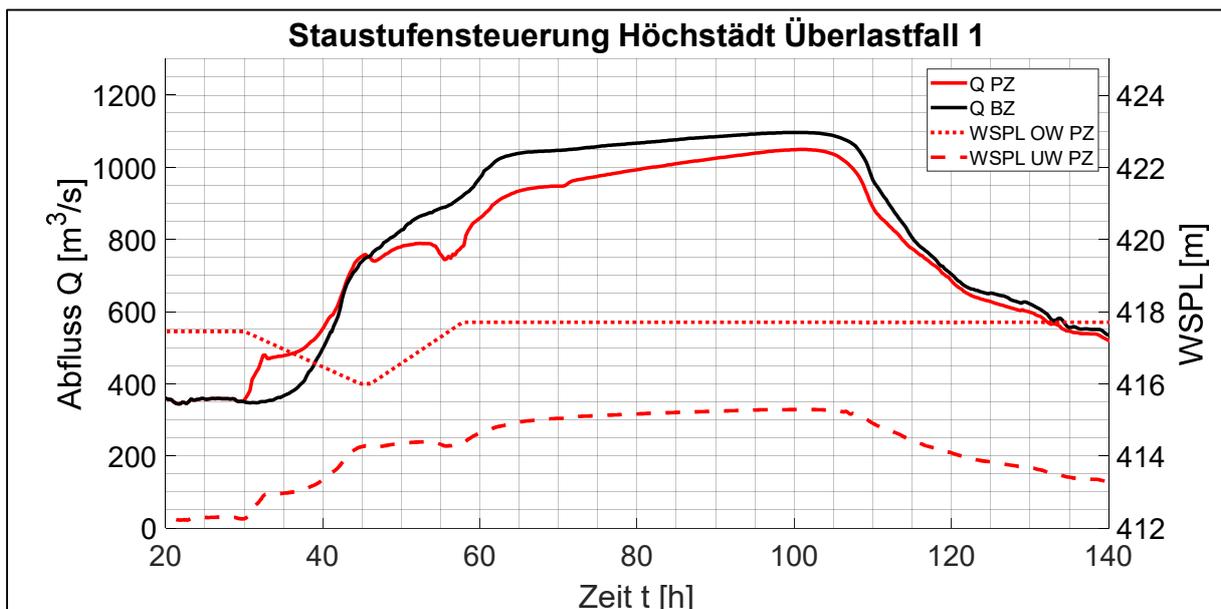
Staufufensteuerung an der Staustufe Faimingen, der sechsten im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 1:



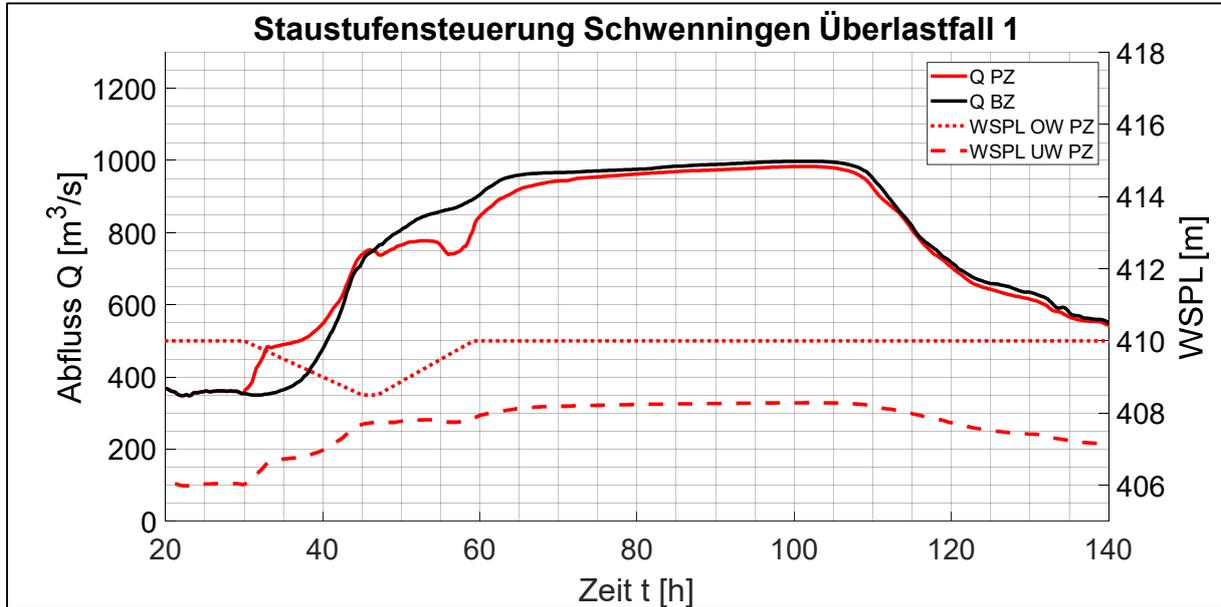
Staufufensteuerung an der Staustufe Dillingen, der siebten im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 1. Durch den gesteuerten Aufstau an der Staustufe Dillingen erhöht sich der Wasserstand im Oberwasser der Staustufe. Dadurch wird deutlich mehr Wasser in den Riedstrom geleitet und der Abfluss im Flussschlauch der Donau und über die Staustufe Dillingen selbst ist deutlich geringer als im BZ:



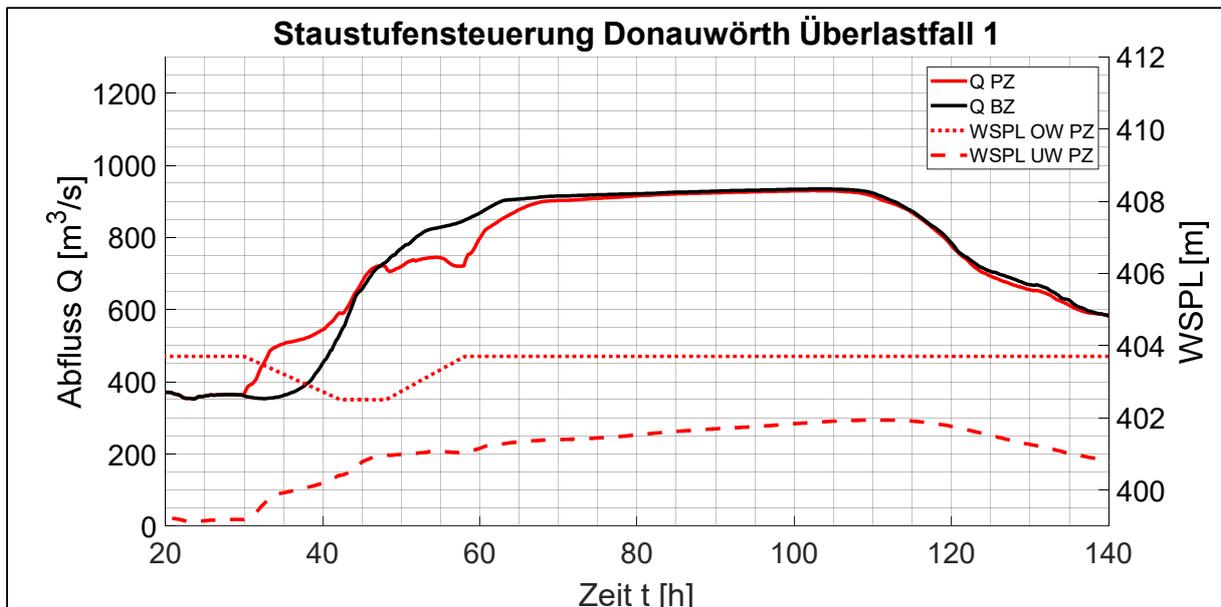
Staufufensteuerung an der Staustufe Höchstädt, der achten im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 1. Durch eine höhere Ausleitung in den Riedstrom vor der Staustufe Dillingen ist auch der Abfluss über die Staustufe Höchstädt deutlich reduziert:



Staufufensteuerung an der Staustufe Schwenningen, der neunten im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 1. Durch eine höhere Ausleitung in den Riedstrom vor der Staustufe Dillingen ist auch der Abfluss über die Staustufe Schwenningen noch leicht reduziert:

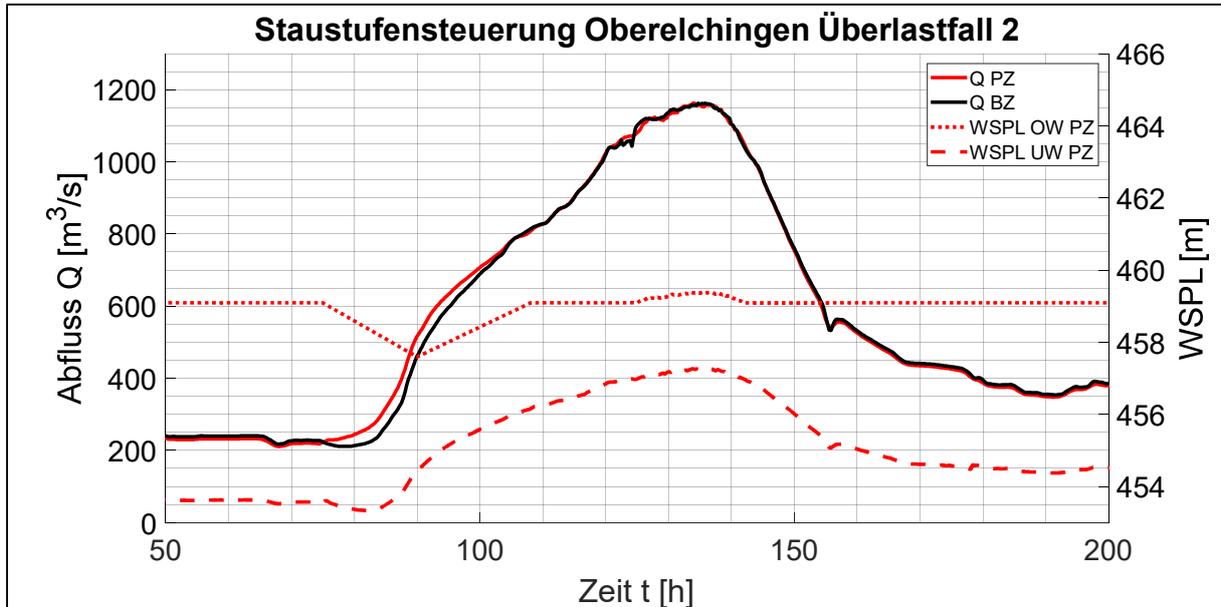


Staufufensteuerung an der Staustufe Donauwörth, der zehnten und letzten im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 1:

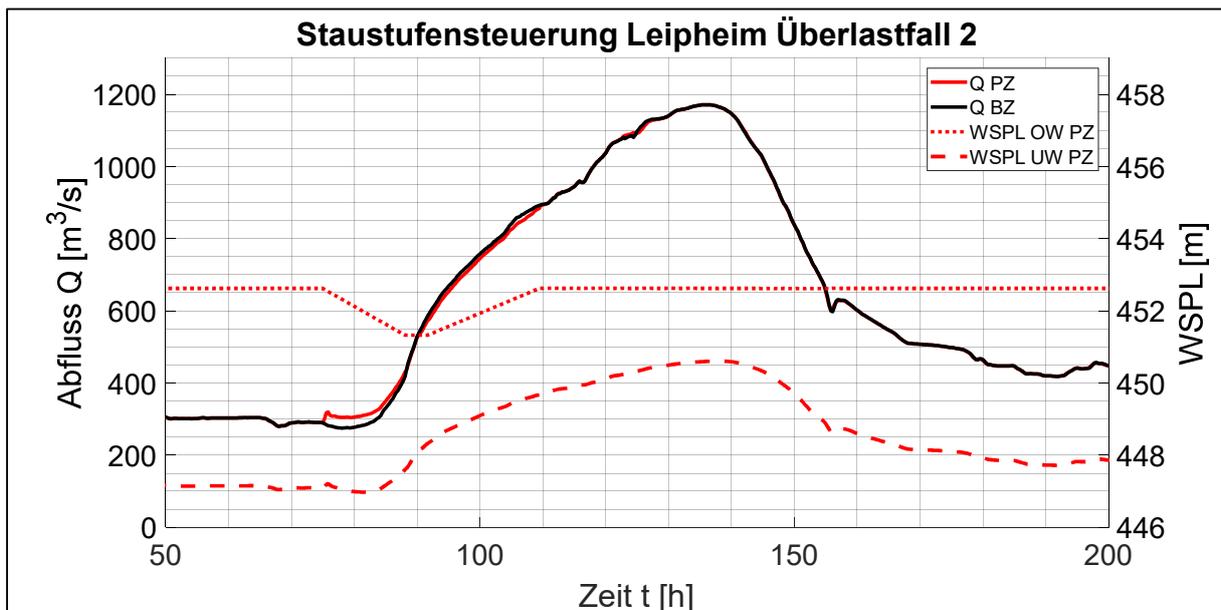


Anhang 4 Staustufensteuerungen an den einzelnen Staustufen im Donauabschnitt I für den Überlastfall 2

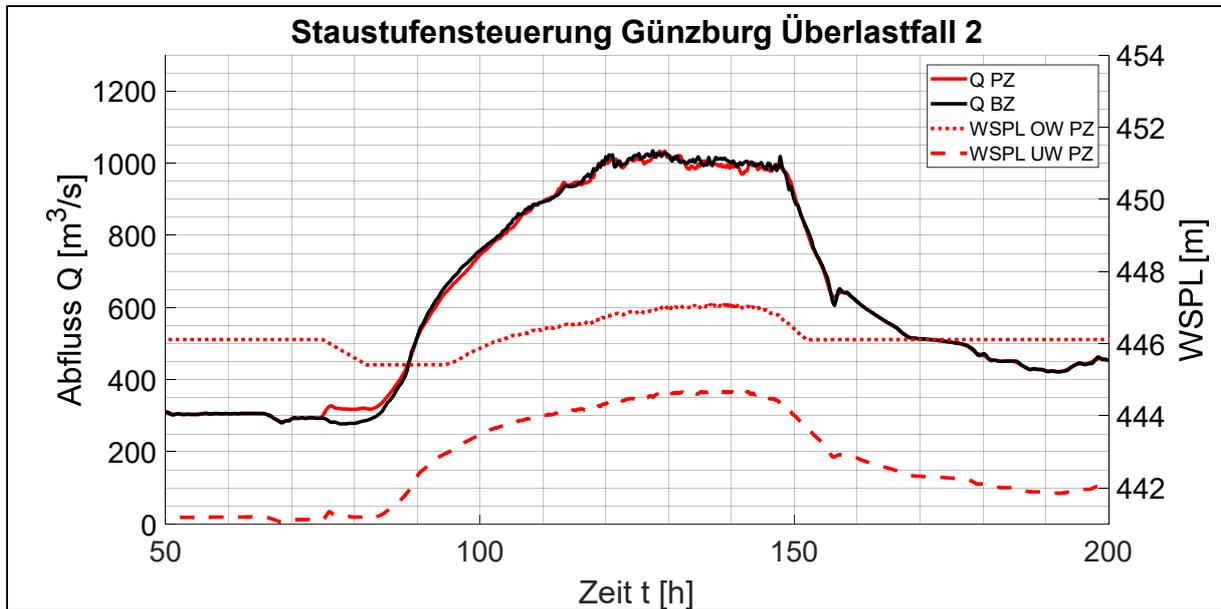
Staustufensteuerung an der Staustufe Oberelchingen, der ersten im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 2:



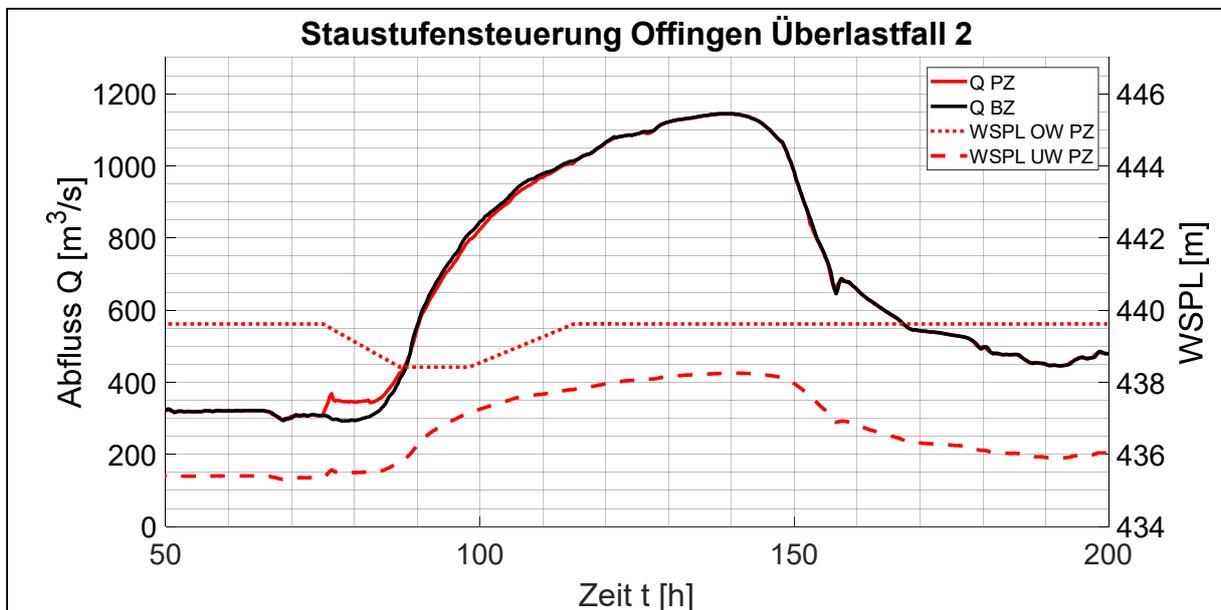
Staustufensteuerung an der Staustufe Leipheim, der zweiten im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 2:



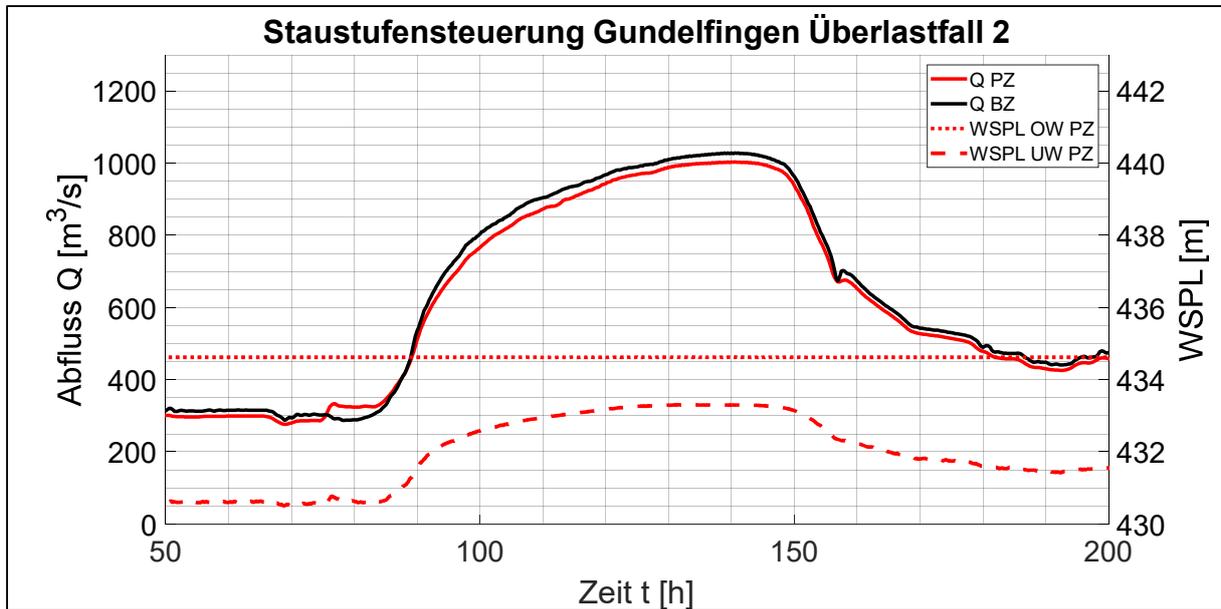
Staufufensteuerung an der Staustufe Günzburg, der dritten im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 2:



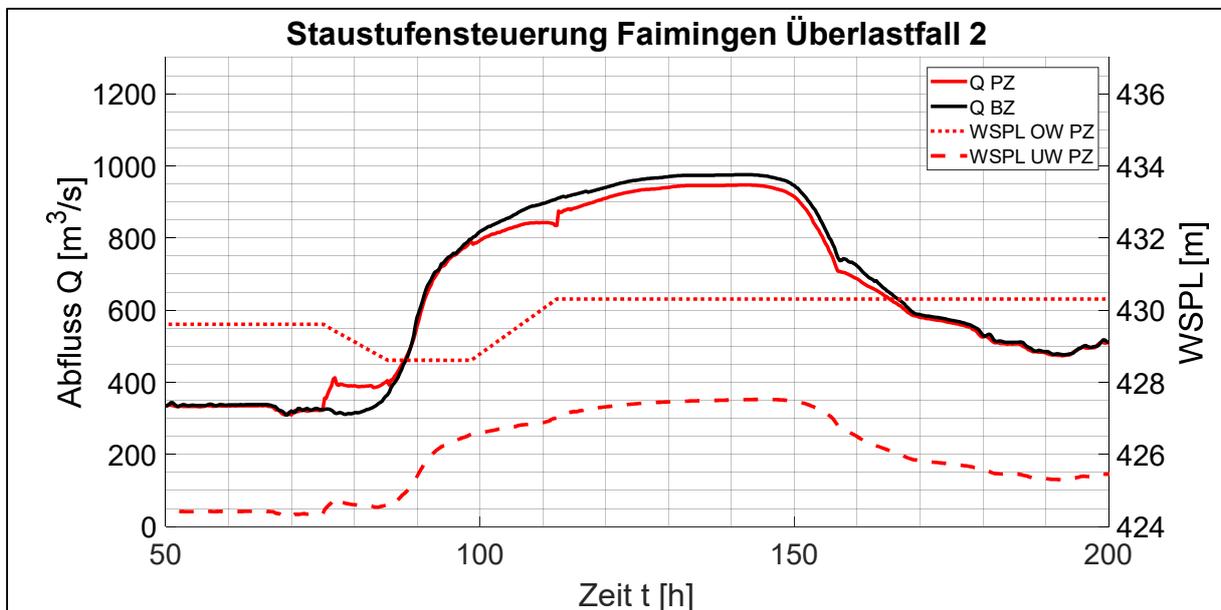
Staufufensteuerung an der Staustufe Offingen, der vierten im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 2:



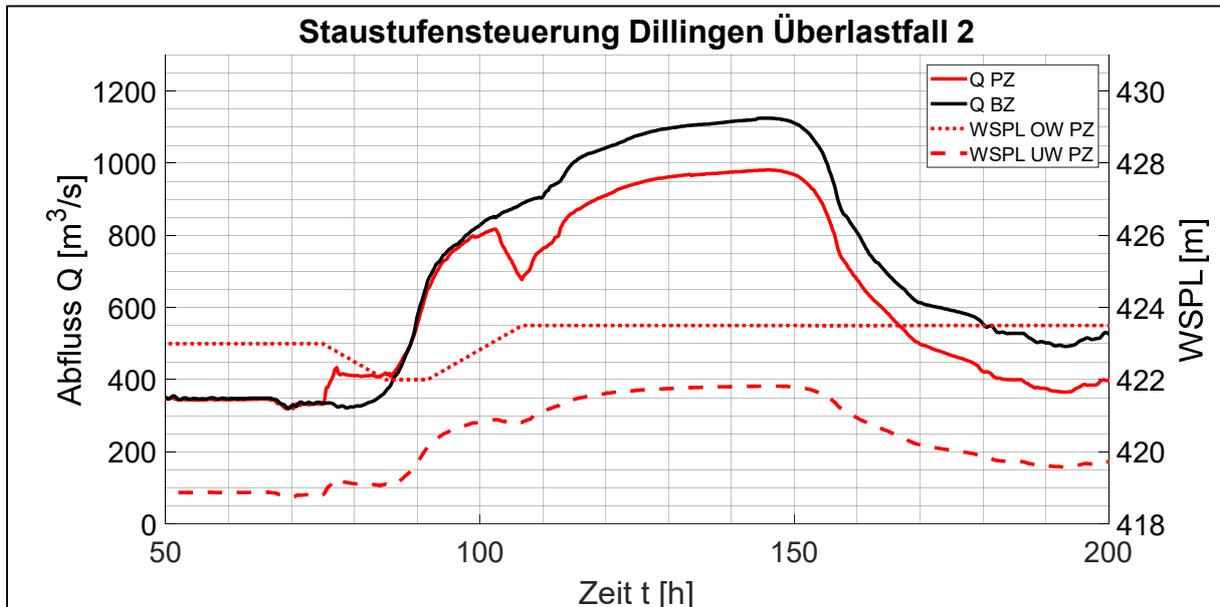
Staufufensteuerung an der Staustufe Gundelfingen, der fünften im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 2:



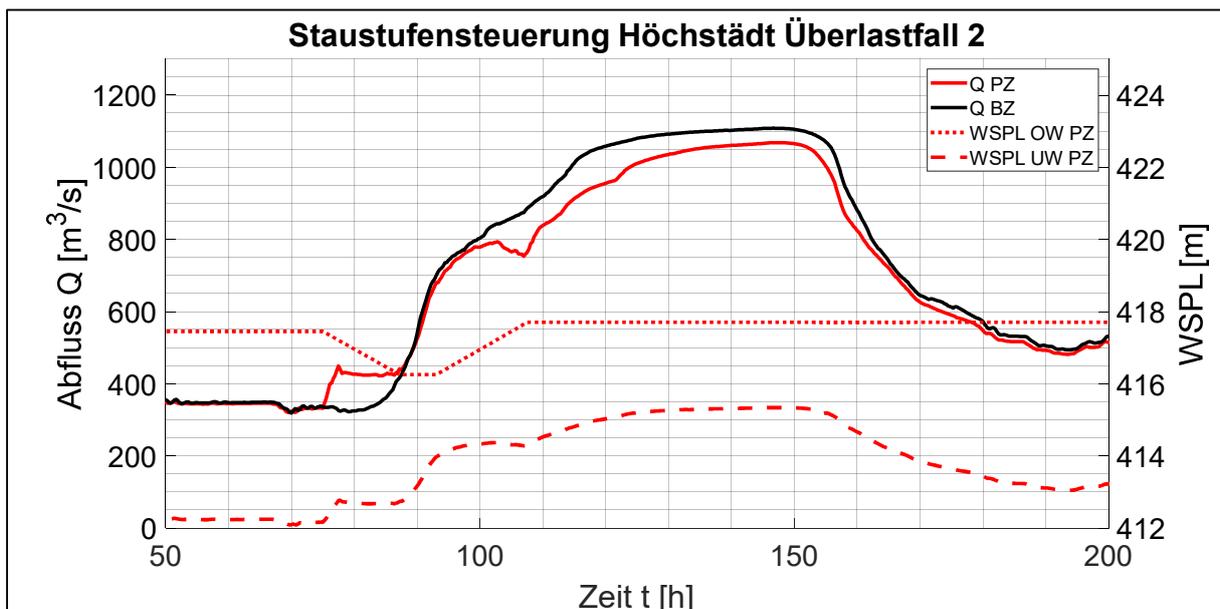
Staufufensteuerung an der Staustufe Faimingen, der sechsten im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 2:



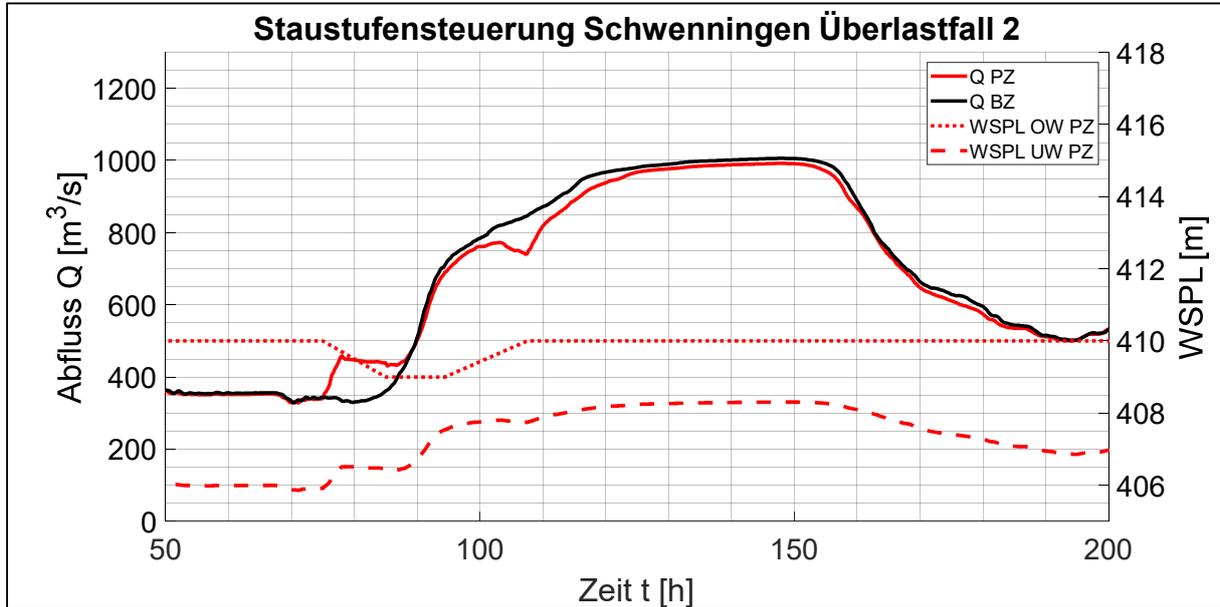
Staufufensteuerung an der Staustufe Dillingen, der siebten im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 2. Durch den gesteuerten Aufstau an der Staustufe Dillingen erhöht sich der Wasserstand im Oberwasser der Staustufe. Dadurch wird deutlich mehr Wasser in den Riedstrom geleitet und der Abfluss im Flussschlauch der Donau und über die Staustufe Dillingen selbst ist deutlich geringer als im BZ:



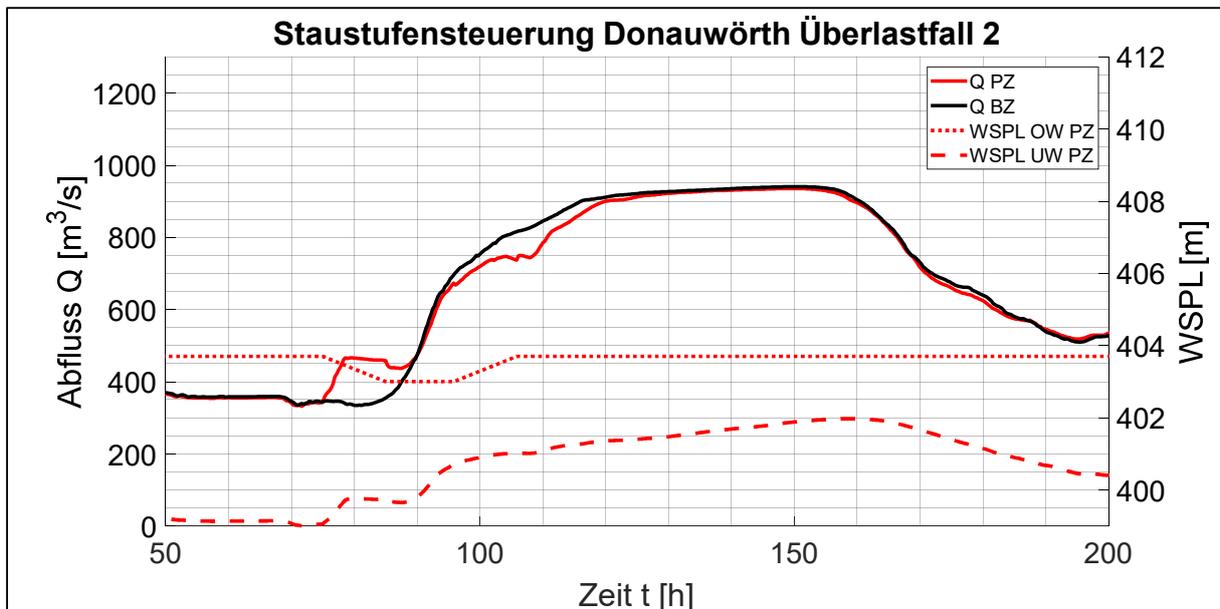
Staufufensteuerung an der Staustufe Höchstädt, der achten im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 2. Durch eine höhere Ausleitung in den Riedstrom vor der Staustufe Dillingen ist auch der Abfluss über die Staustufe Höchstädt deutlich reduziert:



Staufufensteuerung an der Staustufe Schwenningen, der neunten im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 2. Durch eine höhere Ausleitung in den Riedstrom vor der Staustufe Dillingen ist auch der Abfluss über die Staustufe Schwenningen noch leicht reduziert:



Staufufensteuerung an der Staustufe Donauwörth, der zehnten und letzten im Donauabschnitt I, für den Überlastfall 2:



Anhang 5 Verlauf der absoluten Abflussscheitelreduktionen im Bereich Straubing bis Passau

Die folgende Grafik zeigt den Verlauf der absoluten Abflussscheitelreduktion zwischen Straubing und Passau Ilzstadt bei 9 untersuchten Ereignissen durch den Einfluss der Flutpolder.

