



Retentionspotentialstudie am Inn

Endbericht für Teilprojekt D:

Identifizierung, Wirkungsanalyse und Priorisierung potentieller Rückhalte-
räume, Wellenbeeinflussung und Steuerungsoptimierung

München, im Oktober 2021

Technische Universität München
Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Stefan Giehl M. Sc.
Prof. Dr.sc.tech. Peter Rutschmann
Arcisstraße 21
80333 München

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung.....	6
2. Grundlagenarbeiten, Datenaufbereitung.....	6
2.1. Datenbeschaffung	6
2.2. Lage- und Höhen-Bezugssystem für die Bearbeitung.....	8
2.3. Querprofildaten.....	10
3. Modellierung des Referenzzustands.....	10
3.1. Projektgebiet und Modellkonzeption	11
3.2. Erstellung der Geländemodelle	14
3.3. Randbedingungen im Modell und Steuerung der Wehre im Hochwasserfall	18
3.4. Kalibrierung und Validierung.....	20
3.5. Unsicherheiten in den 2D-HD-Modellen.....	24
3.6. Übersicht 2D-HD-Modelle.....	32
4. Modellierung eines historischen Zustands.....	32
4.1. Anthropogene Eingriffe an den Fließgewässern Inn und Salzach	33
4.2. Grundsätzliches Vorgehen bei der historischen Modellierung.....	37
4.3. Abschätzung der Sohlage um 1800	39
4.4. Materialbelegung und Rauheitsbeiwerte im historischen Modell	43
4.5. Simulation abgelaufener Hochwasser im Zustand 1800 zur Identifizierung potentiell reaktivierbarer Rückhalteräume	45
5. Vergleich der Hochwasserabläufe im historischen und im Referenzzustand	48
5.1. Verwendete Hochwasserwellen für den Vergleich	48
5.2. Auswertung der Simulationen.....	48
5.3. Wirkung eines historischen Zustands auf die Hochwasserwellen und Scheitelveränderung an den maßgeblichen Pegeln	49
5.4. Einfluss seitlicher Zubringer auf den Hochwasserablauf im Zustand 1800.....	56
5.5. Schlussfolgerungen aus der Modellierung des Zustand 1800.....	58
6. Standortsuche und grundsätzliche Machbarkeit von Rückhalteräumen und Erstpriorisierung potentieller Flutpolderstandorte	60
6.1. Methodik der Standortsuche.....	64
6.2. Methode für eine erste Grobbewertung der gefundenen Standorte	72
6.3. Kriterienkatalog für „Planungsherausforderungen“ oder „Widerstände“	80
6.4. Ergebnis der quantitativ und qualitativ bewertbaren Kriterien für die RHR Varianten A (Flutpolder)	83
6.5. Erarbeitung und Bewertung von möglichen Varianten B zu Varianten A der definierten potentiellen Rückhalteräume.....	95
6.6. Einführung eines Abschneidekriteriums „Bebauung“	105
6.7. Erstpriorisierung potentieller Standorte.....	106

6.8. Sensitivitätsanalysen zur Priorisierung	106
6.9. Fazit zur Standortsuche und zur Erstpriorisierung	109
6.10. Überblick über detaillierter zu untersuchende potentielle Standorte aus der Erstpriorisierung	111
7. Einzelwirkungsanalyse von Flutpoldern.....	113
7.1. Verwendete Hochwasserwellen für die Wirkungsanalyse und Simulation des Referenzzustands im 2D-HD-Modell	113
7.2. Auswertungen der Wirkungsanalysen	131
7.3. Erstes Hochwasserereignis Größenordnung HQ ₁₀₀ je Abschnitt	131
7.4. Konzeption der (gesteuerten) Flutpolder.....	131
7.5. Steuerung der Flutpolder für die Einzelwirkungsanalyse	133
7.6. Anpassung der Berechnungsnetze für die Wirkungsanalyse	137
7.7. Wirkung der detaillierter untersuchten Flutpolderstandorte auf die Hochwasserwellen und potentielle Scheitelreduktion an den maßgeblichen Pegeln.....	138
7.8. Wirkung der detaillierter untersuchten Flutpolderstandorte im Längsschnitt von Inn und Salzach	159
7.9. Zusammenfassung und Fazit der Einzelwirkungsanalysen für die detaillierter untersuchten Flutpolderstandorte	177
8. Wirkungsanalyse von Deichrückverlegungen	185
8.1. DRV a_13_D	185
8.2. DRV d_04_D	186
8.3. DRV c_12_D	187
8.4. Wirkungen der DRV an den Pegeln WABG, BGHA und PING.....	188
8.5. Wirkungen der DRV im Längsschnitt am Inn	203
9. Möglichkeiten und Auswirkungen von Alternativen zur lokal optimierten Steuerung hinsichtlich Wellenbeeinflussung	206
9.1. Beeinflussung der Wellengeschwindigkeit	206
9.2. Lokal optimierter und überregionaler Einsatz mit robuster Steuerung der Flutpolder 207	207
9.3. Wirkung einer Steuerung auf Zeitgewinn	214
9.4. Wirkung ungesteuerter Rückhalteräume auf den Wellenablauf	218
9.5. Szenarien und Wirkungsanalyse mit verschiedenen Sohlagen	220
10. Längsschnitt der potentiellen Schäden und betroffenen Einwohner.....	220
10.1. Methodik für die Ermittlung potentieller Schäden.....	221
10.2. Reduktion der potentiellen Hochwasserschäden entlang Inn und Salzach durch Flutpolder	226
10.3. Einschränkungen der Methodik zur Schadenermittlung.....	228
10.4. Erstellung eines Längsschnitts der betroffenen Einwohner entlang des Inns....	230
11. Integrale Betrachtung und Maßnahmenpriorisierung	231

11.1. Priorisierung der potentiellen Standorte für gesteuerten Rückhalt an Inn und Salzach	232
11.2. Bewertung der potentiellen Standorte für natürlichen Rückhalt an Inn und Salzach	243
11.3. Ergänzende Volumenbetrachtungen	243
12. Kombinationswirkungsanalysen	244
13. Zusammenfassung, Schlussfolgerung und Ausblick.....	256
14. Literatur.....	261

Abkürzungsverzeichnis

Abk.	Bedeutung
TP D	Teilprojekt D
WABG	Pegel Wasserburg (maßgebender Pegel im TP D)
BGHA	Pegel Burghausen (maßgebender Pegel im TP D)
PING	Pegel Passau-Ingling (maßgebender Pegel im TP D)
OAUD	Pegel Oberaudorf
ROIN	Pegel Rosenheim oberhalb der Mangfall
KRAI	Pegel Kraiburg
MUDF	Pegel Mühldorf
ESBQ	Pegel Eschelbach
BRAU	Pegel Braunau
SCAQ	Pegel Schärding
SABG	Pegel Salzburg
SIEZ	Pegel Siezenheim
LAUF	Pegel Laufen
RHR	Rückhalteraum
FP	Flutpolder
DRV	Deichrückverlegung
HWSA	Hochwasserschutzanlage
Fkm	Flusskilometer
2D-HD	zweidimensionales, hydrodynamisches Strömungsmodell

1. Einführung

Im Teilprojekt (TP) D¹ werden in einem ersten Schritt größere potentielle Rückhalteräume an Inn und Salzach mit Hilfe einer nachvollziehbaren und ergebnisoffenen Methode gesucht und in ihrer grundsätzlichen Machbarkeit beurteilt. Anschließend erfolgt eine Auswahl von vielversprechenden Standorten, welche in einem umfangreichen Schema bewertet werden. Die in einer ersten vorläufigen Bewertung am besten gereihten potentiellen Standorte werden hinsichtlich ihrer hydrologisch-hydraulischen Eignung detailliert untersucht und in eine abschließende Priorisierung überführt. Neben dieser Priorisierung mit den umfangreichen dazu gehörenden Einzelwirkungsanalysen werden Untersuchungen zum Hochwasserwellenablauf im heutigen Zustand wie auch in einem anthropogen unveränderten Zustand der Fließgewässer im Projektgebiet, zur Wirkung verschiedener Steuerungsansätze der Rückhalteräume und auch der Wirkung von Kombinationen potentieller Standorte durchgeführt. Daraus können Vorschläge für künftige Hochwasserschutzkonzepte und das weitere Vorgehen abgeleitet werden.

2. Grundlagenarbeiten, Datenaufbereitung

Die Grundlagenarbeiten zu Beginn des Projekts (Datenbeschaffung und Datenaufbereitung) erfolgten zusammen mit dem TP E. Nachfolgend werden die für das TP D wesentlichen Daten und deren Quellen genannt. Weitere zur Bearbeitung der Studie herangezogene Daten werden, soweit nötig, nachfolgend im Bericht an entsprechender Stelle genannt.

2.1. Datenbeschaffung

Die Datenbeschaffung wurde im Allgemeinen im August 2016, von Seiten VERBUND (Staufstufendaten) und Lahmeyer HPI (Modellierungsergebnisse Inn) im September 2016 abgeschlossen. Dies stellt also im Wesentlichen den Datenstand für die 2D-HD-Modelle dar. Ausnahmen werden in den entsprechenden Kapiteln beschrieben. Informationen zu den verwendeten Daten können Tabelle 1 entnommen werden.

¹ Diese und weitere Abkürzungen finden sich auch im Abkürzungsverzeichnis.

Tabelle 1: für die Bearbeitung der Studie vorliegende Daten

Nr.	Datenthema	Datenquelle
1 Vermessungsdaten, numerische Modelle		
1.1	Digitale Geländemodelle/ Laserscandaten, i.d.R. Raster 1 m x 1 m	LfU Bayern, Land Tirol, Land Salzburg, Land Oberösterreich, VERBUND
1.2	Flussquerprofile	LfU Bayern, VERBUND
1.3	Verlauf von Dämmen und Deichen	LfU Bayern
1.4	Höhenlage von Dämmen und Deichen	aus Querprofilen
1.4	Vorhandene numerische Modelle	LfU Bayern (HWGK), WWA RO, aquasoli
1.5	Stationierung Gewässer	selbst erstellt
2 GIS-Daten		
2.1	ATKIS-Daten/ CORINE	LfU Bayern, Umweltbundesamt Österreich
2.2	Boden, Geologie, Hydrogeologie	LfU Bayern, Länder Österreich
3 Meteorologische Daten		
3.1	Niederschlagsdaten	LfU Bayern, BMLFUW (Österreich)
3.2	Neuschnee	LfU Bayern, BMLFUW
3.3	Lufttemperaturdaten	LfU Bayern, BMLFUW
3.4	Pegeldaten	LfU Bayern, BMLFUW
4 Hydrologische Daten		
4.1	Abflüsse an den Pegeln im EZG Donau und Inn	LfU Bayern, BMLFUW, LUBW (Ba-Wü), VERBUND
4.2	Wasserstände an den Pegeln entlang Inn und Salzach	LfU Bayern, BMLFUW, VERBUND
4.3	Pegeldaten (Lage, PNP, ...)	LfU Bayern, BMLFUW, LUBW
4.4	Hochwasserfixierungen abgelaufener Ereignisse	LfU Bayern, WWA RO, VERBUND
4.5	Ermittelte und festgesetzte Überschwemmungsgebiete, Gefahrenzonen	LfU Bayern, Land Tirol, Land Salzburg, Land Oberösterreich
5 Querbauwerke		
5.1	Lage der Bauwerke	LfU Bayern, LUBW, Land Salzburg, Land Oberösterreich
6 Staustufen-/ Kraftwerke		
6.1	Betriebliche Unterlagen (Betriebsschema u.ä.) / Anlagen-details, Bauwerkspläne	VERBUND
6.2	Betriebs-/ Absenkvorschriften, Tatsächliche Steuerung während abgelaufener Hochwasserereignisse	VERBUND
7 Speicher (Talsperren, HRB, Wasserfassungen, Überleitungen, ...)		
7.1	Lage der Bauwerke	LfU Bayern
7.2	Betriebsvorschriften, Speicher-Abflussbeziehungen	z.T. LfU Bayern, Land Oberösterreich
8 Flussmorphologie		
8.1	Geschiebe- und Schwebstoffganglinien der Messstellen	LfU Bayern, BMLFUW, Lahmeyer HPI
8.2	Erkenntnisse über verschiedene Sohlagen	vereinzelt Studien im Auftrag der Wasserwirtschaftsverwaltungen (z. B. Salzach, Saalach), VERBUND, Lahmeyer HPI, aquasoli
8.3	Zusammensetzung der Feststoffe (Kornverteilung, ...)	aus Studien, sowie WWA RO, VERBUND, Lahmeyer HPI, aquasoli
8.4	Studien zur Morphologie	im Auftrag von oder durchgeführt von: WWA RO, WWA TS, VERBUND, Lahmeyer HPI, aquasoli, Uni Stuttgart
9 Historischer Zustand (hier: vor etwa 1950)		
9.1	Daten historischer Ereignisse (Ü-Gebiete, evtl. WSP-Fixierung)	LfU Bayern, Land Oberösterreich, VERBUND
9.2	Urpositionsblätter	LfU Bayern, Land Oberösterreich, Land Salzburg
9.3	Weiteres historisches Material	Archivrecherche bisher in: (Haupt-) Staatsarchiv München, Landesarchiv Salzburg, WWA RO
10 Informationen/Daten zu (sonstigen) ...		
10.1	... bestehenden und geplanten Hochwasserschutzmaßnahmen oder flussbaulichen Maßnahmen	nur WWA RO

2.2. Lage- und Höhen-Bezugssystem für die Bearbeitung

Die Rohdaten, wie zum Beispiel XYZ-Geländedaten aus luftgestütztem Laserscanning (ALS) sowie XYZ-Fluss-Querprofilaufnahmen, aus Deutschland und Österreich, für die Erstellung des digitalen Flussmodells wurden mit der Software ArcGIS 10.3 und QGIS 2.14.3 in ein gemeinsames Lage-Koordinatensystem transformiert (Abbildung 1). Es wurde entschieden, die Modelle des TP D und E im GK4 (EPSG-Code: 31468) aufzubauen. Hauptgrund für die Wahl dieses Höhensystems war, dass der Großteil der Laserscan-Daten bereits in diesem System geliefert wurde und dadurch sowohl der Zeitaufwand als auch die Fehleranfälligkeit einer geodätischen Projektion reduziert wurde.

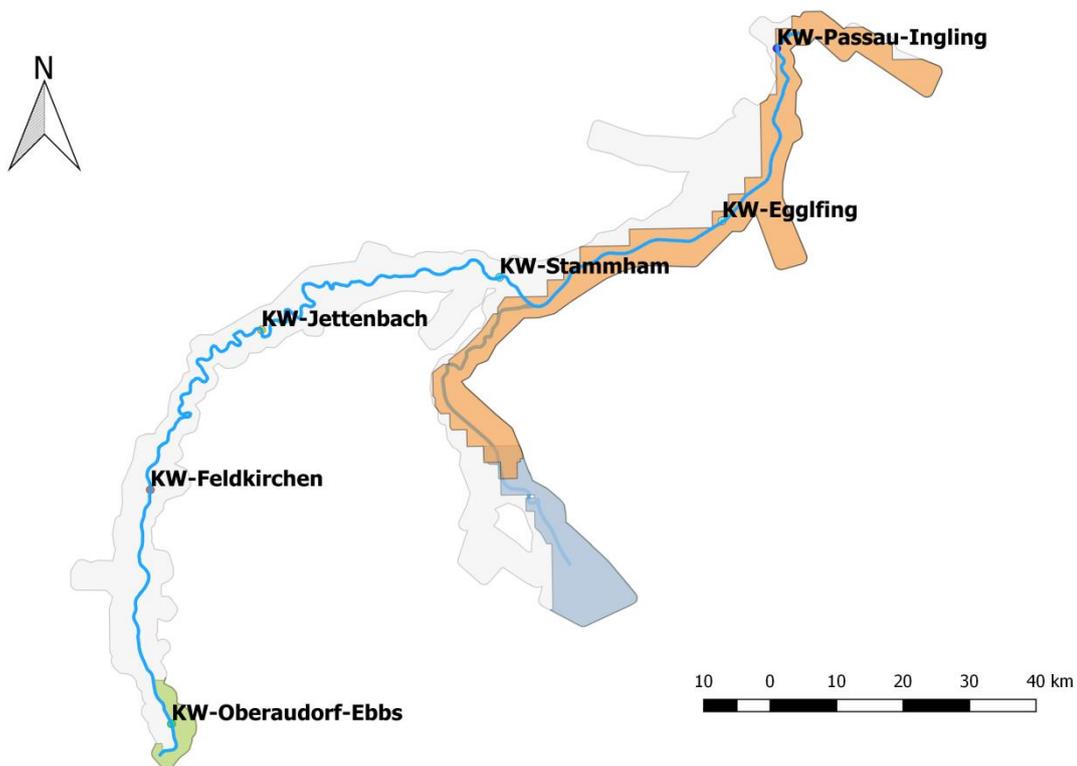


Abbildung 1: Unterschiedliche Quellen der Geländedaten: Orange: Oberösterreich, EPSG 31255, blau: Salzburg EPSG 31258, grün: Tirol EPSG 31255, hellgrau: Bayern EPSG 31468

Die Höhensysteme der Geodaten unterscheiden sich je nach Herkunft der Daten. Daher mussten die Höheninformationen ebenfalls in ein gemeinsames Höhensystem überführt werden. Die Geländedaten der Vermessungsverwaltungen aus Deutschland liegen im DHHN92 Höhensystem vor, die aus Österreich im System „österreichische Gebrauchshöhen, GHA“ (Bezug: Pegel Triest). Aufgrund der unterschiedlichen Definitionen der Höhensysteme (Normalhöhen, schwerebasiert oder normal-orthometrische Höhen, normalschwere- also modellbasierend) ist keine simple Umrechnung möglich.

An neun Stellen an der Landesgrenze, verteilt entlang des Inns und der Salzach im Untersuchungsgebiet lagen in einer Tabelle des Bundesamts für Eich- und Vermessungswesen (BEV) Differenzen zwischen den Höhensystemen der beiden Länder vor (Differenzen von etwa 25 bis 33 cm, s. Abbildung 2). Da die Geländedaten zur besseren Handhabbarkeit in knapp 100 kleine Ausschnitte zerlegt werden mussten (s. Abbildung 3), wurde für jeden dieser Ausschnitte ein Höhenkorrekturwert entsprechend der Differenzen in diesem Bereich festgelegt. Die Korrekturwerte für Ausschnitte zwischen den bekannten Differenzen wurden entsprechend interpoliert.

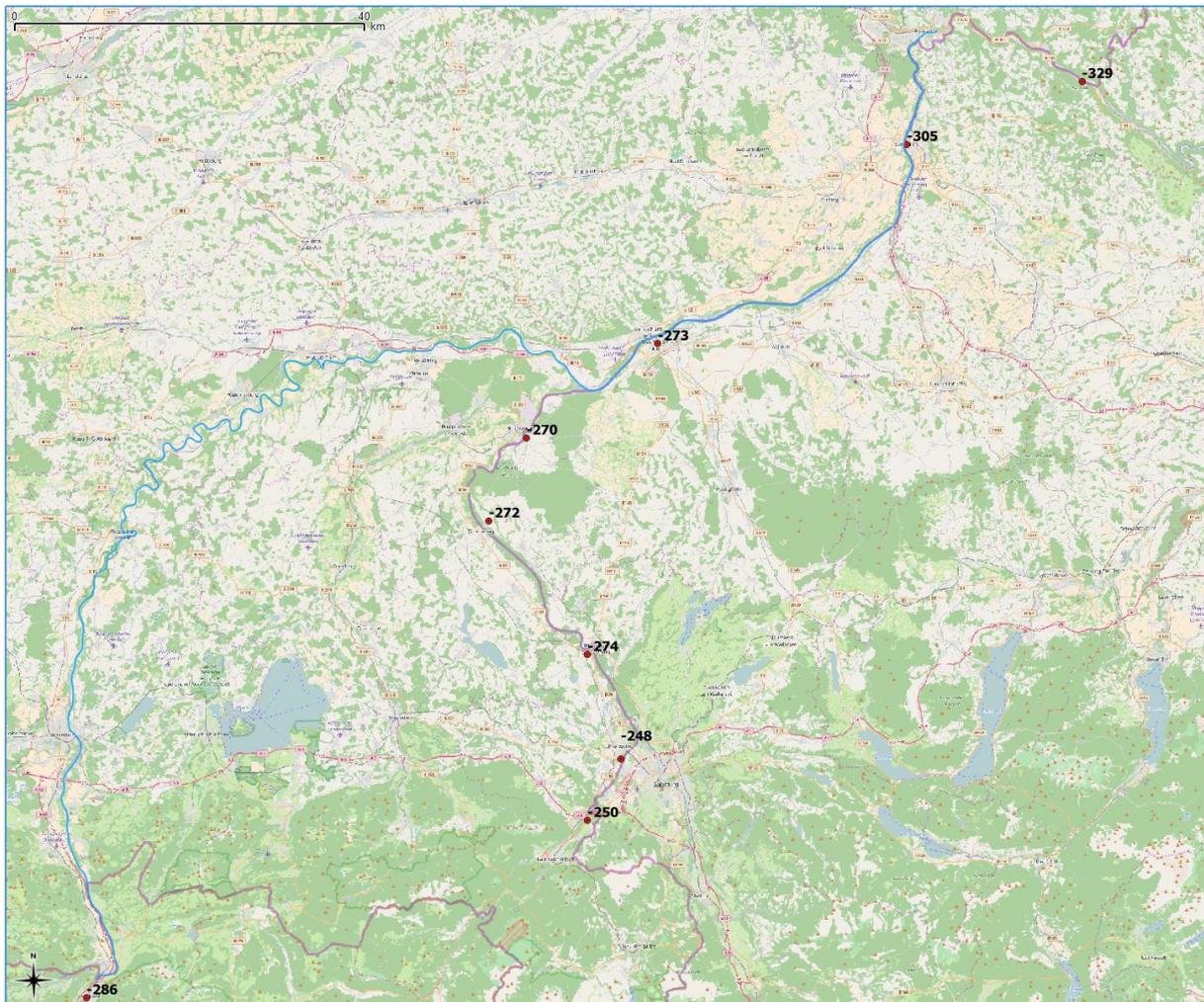


Abbildung 2: Höhendifferenzen in [mm] zwischen deutschem und österreichischem Höhensystem

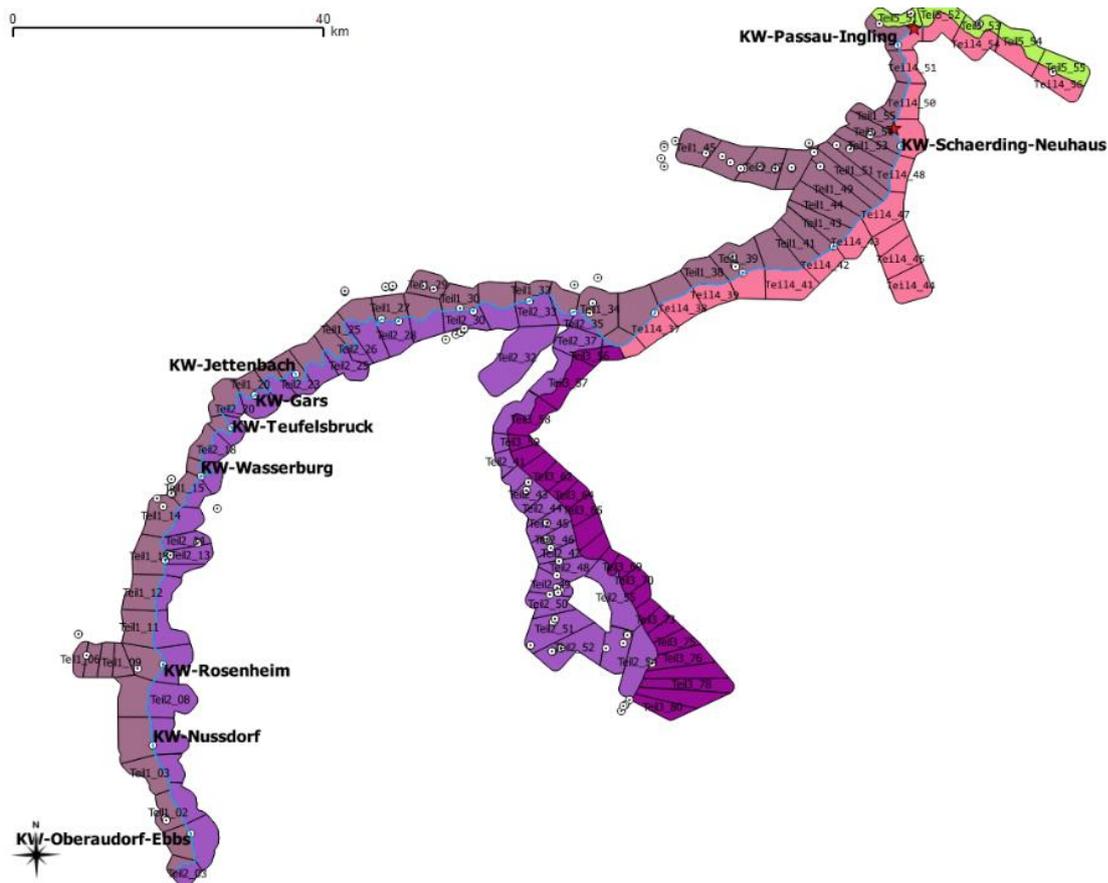


Abbildung 3: Unterteilung des Projektgebiets in handhabbare Ausschnitte

2.3. Querprofilaten

Die Höhen der Querprofilaten des VERBUND lagen meist im „vorläufigen bayerischen Höhensystem“ vor. Von der VERBUND Grenzkraftwerke GmbH liegen Differenzen zur Umrechnung dieser Daten in das Höhensystem DHHN12 / NN10 vor, welches früher in Deutschland gebräuchlich war. Diese mussten dann wiederum in das heutige DHHN92 umgerechnet werden. Anhand von 18 Höhenfestpunkten entlang des Inns im Untersuchungsgebiet wurde festgestellt, dass die maximalen Höhendifferenzen zwischen DHHN12 und DHHN92 weniger als 5 cm betragen. Anhand der Differenzen der nächstgelegenen Höhenfestpunkte wurde für jeden Stauraum ein konstanter Korrekturwert (im Bereich von 1 – 5 cm) ermittelt und die Querprofilaten damit ebenfalls in das DHHN92 -System überführt. Alle weiteren Daten mit Höhenbezug (bspw. gemessene Wasserstände) wurden ebenso behandelt.

3. Modellierung des Referenzzustands

Die Untersuchungen im Rahmen des TP D wurden auf Basis 2D-hydrodynamischer Modelle durchgeführt. Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich am Inn über rd. 210 km zwischen Oberaudorf und der Mündung in die Donau sowie an der Salzach über rd. 60 km zwischen der

Mündung der Saalach in die Salzach bei Salzburg und der Mündung in den Inn bei Inn-km 68,5. Dieses großräumige Untersuchungsgebiet muss daher entsprechend „grob“ aufgelöst werden, um eine Vielzahl an Szenarien berechnen und auswerten zu können. Dafür ist eine entsprechende Ausdünnung der Rohdaten unter Beibehaltung der maßgebenden hydraulisch wichtigen Strukturen notwendig. Im Rahmen der Kalibrierung und Validierung wird die Netzgeometrie mit entsprechenden Rauheitsbeiwerten belegt. Das folgende Kapitel beschreibt das Vorgehen zur Erstellung des Ist-Zustands der Fließgewässer (Referenzzustand).

3.1. Projektgebiet und Modellkonzeption

Der Inn und die Salzach im Projektgebiet werden im TP D durchgehend mithilfe 2D-hydronumerischer Modelle abgebildet. Für die Reinwasserberechnungen kommt die Software HYDRO_AS-2D v4 und v5 zum Einsatz. Das Projektgebiet (Abbildung 4) kann grundsätzlich in die drei Hauptbereiche *oberer Inn Oberaudorf bis Salzachmündung* (rund 135 km Fließstrecke), *unterer Inn ab Salzachmündung* (rund 70 km Fließstrecke) und *Salzach ab Saalachmündung* (rund 60 km Fließstrecke) unterteilt werden. Zur besseren Handhabbarkeit werden allerdings insgesamt vier Teilmodelle definiert und modelliert (Abbildung 5). Der Abschnitt des oberen Inns wird aufgrund der Länge am Pegel Wasserburg (WABG) dazu in 2 Teilmodelle getrennt. Die beiden anderen Hauptpegel im Rahmen dieser Studie sind der Pegel Burghausen (BGHA) an der Salzach und der Pegel Passau-Ingling (PING) am Inn kurz vor der Mündung in die Donau.

Entlang des bayerischen Inns bestehen die speziellen Randbedingungen, dass die Bemessungsabflüsse der Stauhaltungsdämme entlang des Inns und der Hochwasserschutzanlagen (HWSA) an Inn und Salzach entlang der Gewässerstrecke unterschiedlich hoch sind. Für den Abschnitt des Inns zwischen Oberaudorf und Wasserburg sind bis auf wenige Ausnahmen aufgrund der Staustufenkette (siehe graue Felder in Abbildung 5) und der begleitenden Stauhaltungsdämme die Bemessungsabflüsse so hoch, dass Abflüsse bis $HQ_{1.000}$ problemlos abgeführt werden können. In Wasserburg beginnt der Überlastfall über HQ_{100} , die Staustufenkette liegt unterstrom allerdings teils in Schluchtlage und ist unterbrochen durch die Ausleitung in den Werkkanal zum Kraftwerk Töging a.I. In der Restwasserstrecke sind die HWSA beispielsweise in Mühldorf oder Kraiburg auf HQ_{100} bemessen. Unterhalb der Restwasserstrecke und bis zur Staustufe Schärding bei Fkm 18,8 stellt sich eine ähnliche Situation wie oberhalb von Wasserburg dar, wobei die HWSA in Rückstaubereichen im Unterwasser der Staustufen geringere Schutzgrade aufweisen können. Unterstrom der Staustufe Schärding bis zum Eintritt des Inns in die Vornbacher Enge (Schluchtstrecke) schließt sich eine größere Retentionsfläche an. Dort wurden linksseitig zwar Absiedlungsmaßnahmen durchgeführt, dennoch liegt – teils hochwasserangepasste – Bebauung im Überschwemmungsgebiet. Der Überlastfall der wenigen HWSA im Bereich Schärding beginnt bei etwa HQ_{30} . Der letzte Schadensschwerpunkt am

Inn ist die Stadt Passau, die nur für wenige Teilflächen HWSA mit sehr unterschiedlichen Schutzgraden hat. Erste Überflutungen im Bereich der Donaulände/Höllgasse beginnen bereits bei Hochwasserereignissen unter HQ₁.

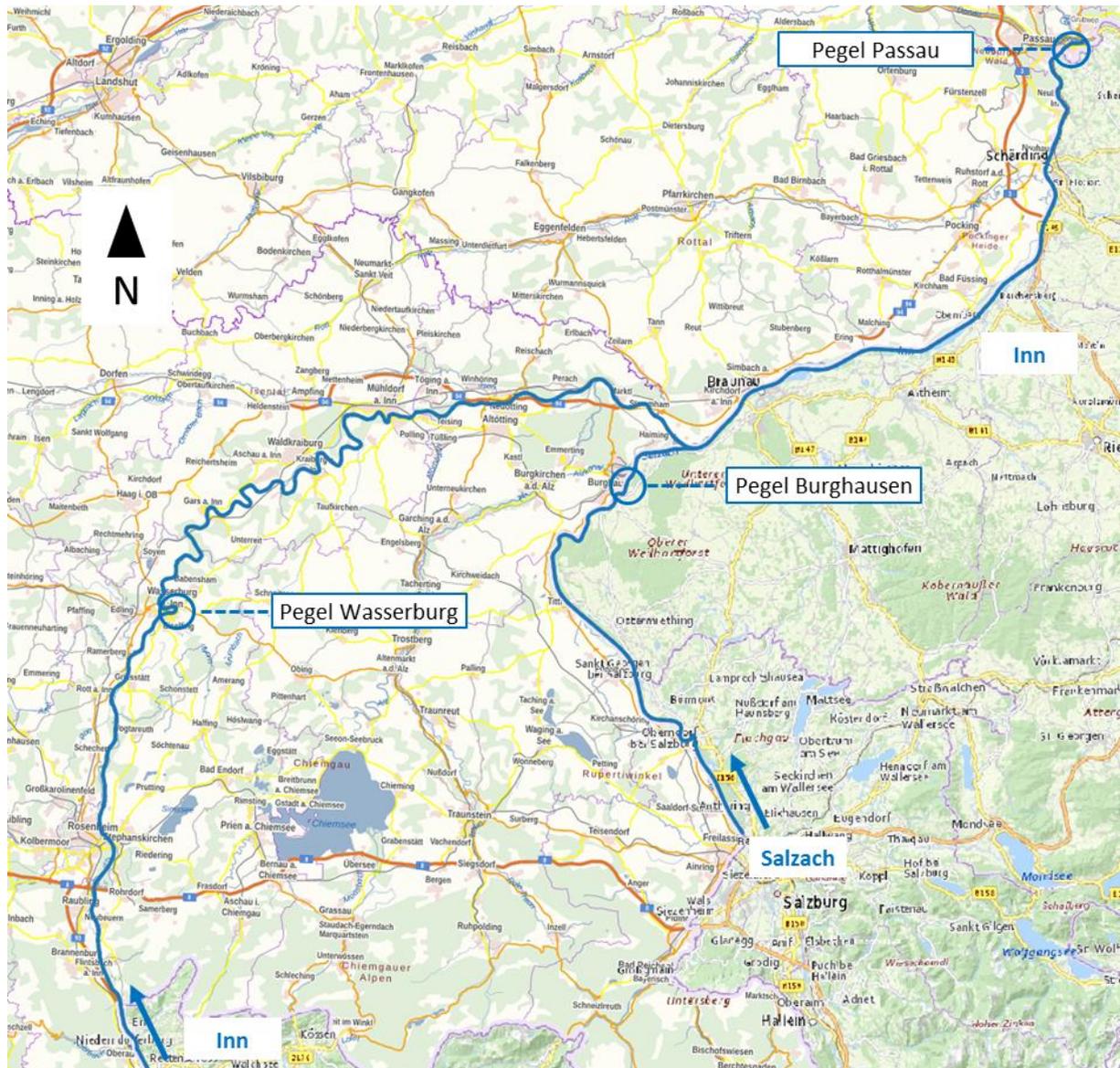


Abbildung 4: Übersicht über das Projektgebiet am Inn vom Pegel Oberaudorf (am südlichen Bildrand) bis Pegel Passau (am nördlichen Bildrand) und an der Salzach ab der Saalachmündung (Beginn Linie u. Pfeil). Abschnitt a: Inn bis Wasserburg, Abschnitt b: Inn bis zur Salzachmündung, Abschnitt c: Inn bis Passau, Abschnitt d: Salzach ab der Saalachmündung.

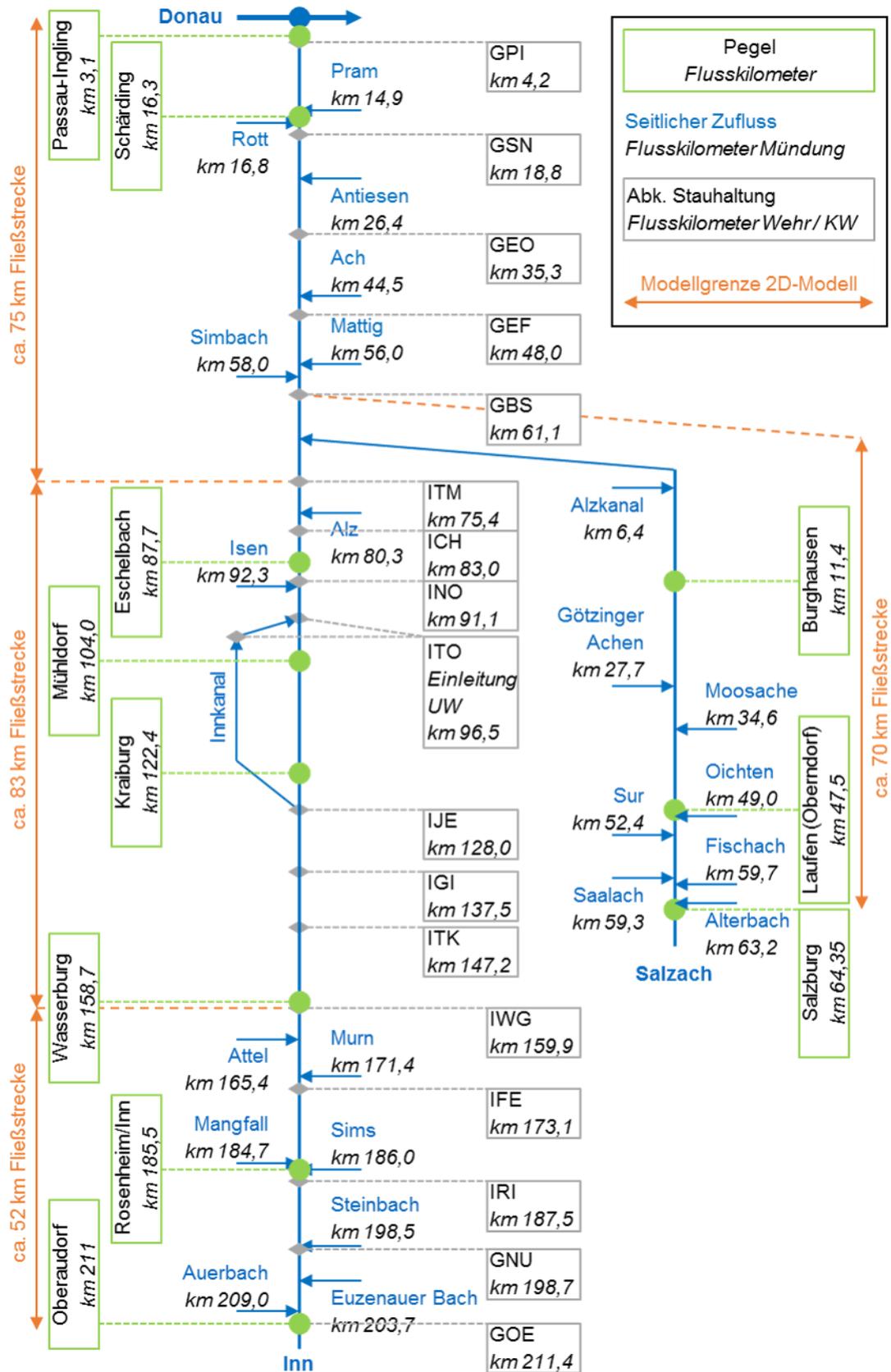


Abbildung 5: Modelllayout der 2D-Modelle im TP D für Inn und Salzach mit der Lage der Pegel, den für die Kalibrierung und Validierung verwendeten seitlichen Zuflüsse sowie den Staufstufen am Inn; Abkürzung der Stauhaltungen siehe Tabelle 2n

3.2. Erstellung der Geländemodelle

Um eine effektive Untersuchung zu ermöglichen, muss diese lange Fließstrecke von Inn und Salzach entsprechend grob aufgelöst werden, bei gleichzeitig korrekter Abbildung der Abflussganglinien. Dafür ist eine entsprechende Behandlung der Rohdaten notwendig, die teils vom allgemein üblichen Vorgehen bei der Erstellung numerischer Detailmodelle kurzer Flussabschnitte abweicht.

Flussschlauch

Die Sohlage des Inns befindet sich in einem so genannten dynamischen Gleichgewicht. Bei Hochwasserereignissen werden die abgelagerten Feinsedimente in den Stauräumen remobilisiert und teils mehrere Meter ausgeräumt. Die (mittlere) Sohle liegt daher entsprechend tiefer als vor dem Ereignis, nähert sich aber relativ bald nach Scheiteldurchgang – im Zeitraum weniger Monate nach dem Ereignis – wieder der Ausgangslage. In den verwendeten Reinwassermodellen ist die Sohlgeometrie während der Simulation im Gegensatz zu Feststofftransportmodellen nicht veränderlich und wird durch sogenannte „Gleichgewichtssohlen“ abgebildet (Giehl et al. 2018, nach Kohane 2014). Von Letzterem wurde für jeden Stauraum am Inn das Jahr ermittelt, dessen Sohlage repräsentativ für eine Gleichgewichtssohle steht (Tabelle 2). Die Vermessung dieser Jahre wurde für die 2D-HD-Modelle verwendet. Somit wird also z. B. das Hochwasserereignis 2005 nicht in allen Stauräumen mit dazu zeitlich passenden Sohlvermessungen (bspw. aus 2003 bis 2005) modelliert, sondern mit den höhenmäßig im langjährigen Vergleich charakteristischen.

Die Wahl der Sohlagen ist allerdings auch von den Aufnahmezeitpunkten der Vermessung abhängig, welche am Inn zwar sehr regelmäßig, aber doch in einem mindestens zweijährlichen Turnus je Stauraum durchgeführt werden. Zusätzlich werden soweit möglich unmittelbar im Anschluss an größere Hochwasserereignisse zusätzliche Peilungen vorgenommen. Diese zeigen zwar tendenziell etwas tiefere mittlere Sohlagen, stellen aber ebenfalls nicht den realen und für die Hochwassermodellierung maßgebenden Zustand der Flusssohle dar. Außerdem können vor allem die älteren verfügbaren Vermessungen noch durch die Errichtung weiterer Staustufen (zuletzt Nußdorf 1982 und Oberaudorf 1992) beeinflusst sein und repräsentieren keinen endverlandeten Zustand oder Gleichgewichtszustand. Dadurch entstehen aus der Annahme der Gleichgewichtssohle für den Inn einige Unsicherheiten und Einschränkungen, welche sich im Rahmen der Kalibrierung und Validierung der Modelle (vergleiche Kapitel 3.5) zeigten und für die Wirkungsanalysen teils angepasst wurden (Kapitel 0).

Die Flusssohle der Salzach, welche im Untersuchungsgebiet nicht mit Staustufen ausgebaut ist, weist keine extremen kurzfristigen Höhenschwankungen der Sohle auf, wie sie am Inn durch die in Stauräumen abgelagerten und bei Hochwasser wieder remobilisierten Schwebstoffe zu beobachten ist. Die Sohldynamik der Salzach zeigt sich in wandernden alternierenden Bänken, wengleich auch deren Sohlage sich aufgrund spezieller Rahmenbedingungen – vergleiche Sohldurchschlag beim Hochwasser 2002 – schlagartig verändern kann. Da sich aber die Sohländerungen i.d.R. in einem weitaus längeren Zeitraum abspielen, wurde für das Teilmodell der Salzach die zuletzt verfügbaren Messungen (Sohlvermessungen aus den Jahren 2010 und 2015) verwendet.

Das Flussschlauch-Netz wurde überwiegend aus Rechteckselementen aufgebaut, wie es für Modellierungen mit HYDRO_AS-2D Standard ist. Die Kantenlängen der Elemente im Flussschlauch beträgt zwischen 25 und 50 m, die Breite wurde daran angepasst entsprechend einem anzustrebenden Seitenverhältnis von 3:1 gewählt. Auf dieses Flussschlauchmodell wurden die Höhenlagen aus den Gleichgewichtssohllagen interpoliert. Die Sohlinformationen stammen dabei sowohl von Querprofilaufnahmen als auch von Fächerecholotpeilungen. Da die Peilungen flächige Informationen liefern, können sie einfacher und direkt auf ein zuvor erstelltes Rechenraster interpoliert werden. Für die Querprofile wurde der Flussschlauchgenerator von Nujic/Hydrotec verwendet.

Tabelle 2: Übersicht über die im Projektgebiet befindlichen Stauhaltungen und der für die 2D-HD-Modellierung verwendeten Gleichgewichtssohlen

Name Staustufe/ Stauhaltung	Abk.	Betreiber	Jahr Inbetrieb- nahme	Fluss- km	Jahr Gleichge- wichtssohle	Gefälle aus GG-Sohle [‰]
Oberaudorf-Ebbs	GOE	GKW	1992	211	-	-
Nußdorf	GNU	GKW	1982	198.7	2011	0.19
Rosenheim	IRI	IKW	1960	187.5	2003	0.34
Feldkirchen	IFE	IKW	1970	173.1	2009	0.17
Wasserburg	IWG	IKW	1938	159.9	2009	0.02
Teufelsbruck	ITK	IKW	1938	147.2	2009	0.50
Gars	IGI	IKW	1938	137.5	2001	0.28
Jettenbach	IJE	IKW	2004 oder 1924	127.96	2010	0.10
Neuötting	INO	IKW	1951	91.1	2009	0.21
Perach	ICH	IKW	1977	83	2001	0.27
Stammham	ITM	IKW	1955	75.4	2001	0.33
Braunau-Simbach	GBS	GKW	1954	61	2009	0.17
Ering-Frauenstein	GEF	GKW	1943	48	2010	0.00
Egglfing-Obernberg	GEO	GKW	1944	35.3	2010	0.26
Schärding-Neuhaus	GSN	GKW	1966	18.8	2009	0.18
Passau-Ingling	GPI	GKW	1966	4.2	2009	0.37
bis zur Mündung	-	-	-	0	2009	0.49
Restwasserstrecke	-	-		km 99,8 - 127,86	2007	1.14

GKW: VERBUND Grenzkraftwerke
IKW: VERBUND Innkraftwerke

Ausdünnung der Geländedaten und Erstellung der Netze

Die Geländedaten liegen aus ALS im 1 m x 1 m Raster vor, sodass weder eine direkte Vernetzung noch die Handhabung eines Modells mit solchen Datenmengen möglich ist. Deshalb wurde ein bereits in vorherigen Studien der TUM (Asenkerschbaumer et al. 2012) erprobtes Vorgehen angewendet, wobei die Datenmenge bei gleichzeitig bestmöglicher Beibehaltung der Geländeinformationen reduziert wird:

- Berechnung von Höhenisolines im Abstand 1 m (Abbildung 6) in QGIS. Die Wahl von 1 m ist ein Kompromiss zwischen Datenmengenreduktion und Genauigkeit bei gegebener oder gewünschter Gesamt-Modellgröße. In Bereichen geringer Höhenänderung haben die Linien großen Abstand und sorgen so für eine deutliche Reduktion der Knotenanzahl. In Bereichen mit starker Höhenänderung bleiben durch die engeren Linien die Informationen erhalten.
- Erzeugen von Punkten alle 30 m entlang der Isolinien (Abbildung 7).
- Entfernen aller Punkte, die höher als Höhe der Uferlinie zuzüglich einem Schwellenwert liegen. Dieser Schwellenwert wurde großzügig abgeschätzt anhand der vermuteten max. Wassertiefe im Vorland und andererseits einer ausreichenden Abbildung des Geländes außerhalb des erwarteten Überflutungsbereichs (z. B. aus HWGK).
- Entfernen von Punkten, die sich näher als 15 m zueinander befinden.
- Vernetzung der übriggebliebenen Punkte zum Vorlandnetz im Programm SMS v12 von aquaveo. Anschließend standardmäßige Prüfung und Verbesserung der Netzqualität z. B. durch Entfernen zu kleiner und spitzwinkliger Elemente, Umorientierung von Bruchkanten, ...

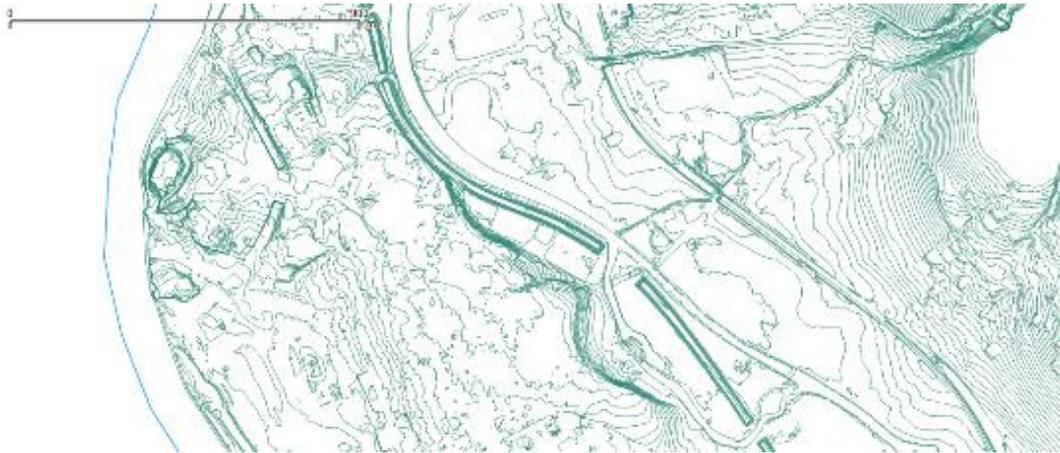


Abbildung 6: Höhenisolinien im Abstand 1 m



Abbildung 7: Punkte alle 30m entlang der Isolinen

Bei der Ausdünnung der Vorlanddaten gehen die Informationen zu Bruchkanten verloren. Die hydraulisch wichtigen Bruchkanten im Gelände (Dämme z. B. bei Straßen, Gräben) werden daher zum einen aus den Original-Laserscandaten gewonnen und in das Netz eingearbeitet. Zum anderen wird bei der Bearbeitung auf bestehende Modelle, im Wesentlichen aus der Ermittlung der Hochwassergefahrenflächen (HWGK Bayern) zurückgegriffen. Für die meisten Inn- und Salzach-Zuflüsse liegen dabei 2D-HD-Modelle vor, für den Inn sind diese nur teilweise vorhanden und weitgehend nur für bayerisches Gebiet (Ausnahmen für Stauräume Ering und Eggfing). Oft handelte es sich um stationäre Berechnungen. Aus diesen Bestandmodellen werden beispielsweise Informationen zu Durchlässen und Brückenbauwerken sowie die erwähnten Dammhöhen und Grabenstrukturen entnommen und in das ausgedünnte Netz übernommen.

Nach Kombination von Flussschlauch- und Geländemodell entstanden vier Teilmodelle. Zusätzlich wurde unterstrom des Pegels PING ein Teil der Donau bis zum Kraftwerk Jochenstein

angefügt. Dieses Modell wurde bereits in einem früheren Forschungsprojekt des Lehrstuhls im Auftrag des Bayerischen Landesamts für Umwelt erstellt (Asenkerschbaumer et al. 2012) und unverändert mit dem Sachstand von 2010 übernommen. Abschließend wurde den Elementen die entsprechende Landnutzung aus den ATKIS- und CORINE-Datensätzen zugewiesen.

3.3. Randbedingungen im Modell und Steuerung der Wehre im Hochwasserfall

Bei einigen Staustufen sind Absenkvorschriften vorgesehen, welche im Hochwasserfall einzuhalten sind (Tabelle 3). Zumeist handelt es sich dabei um Absenkungen zur Einhaltung von ausreichend Freibord auch bei großen Abflüssen oder zur Ermöglichung des Sedimenttransports im und aus dem Stauraum.

In den 2D-Reinwassermodellen werden diese detaillierten Absenkvorschriften vereinfacht berücksichtigt. Entsprechend einer Studie zur Hochwasserretention an der bayerischen Donau (Asenkerschbaumer et al. 2012) wird während der gesamten Simulationsdauer dauerhaft das Absenkziel gehalten. In der Donau-Studie zeigte sich, dass mit dieser Annahme der Bereich des Wellenscheitels dennoch gut durch die Modelle abgebildet werden kann. Nach Voruntersuchungen für die Inn-Staustufen wurde auch aus numerischen Stabilitätsgründen auf eine Implementierung des tatsächlichen Absenkvorgangs verzichtet.

Untersuchungen zur Wirkung eines gezielten Stauraummanagements zum Hochwasserrückhalt und zur Wechselwirkung von Staustufen- und Flutpoldersteuerung werden im Teilprojekt C untersucht.

Tabelle 3: Übersicht Absenkvorschriften der Inn-Staustufen (Quelle: VERBUND)

Name Staustufe/ Stauhaltung	Abk.	Stauziel [m AS]*	Absenk- vorschrift	Absenkziel (Kurzbeschreibung)
Passau-Ingling	GPI	303,00	ja	bis Überschreiten $Q = 2000 \text{ m}^3/\text{s}$ muss auf 300 m AS abgesenkt sein; vorgezogene Sicherheitsabsenkung zum Schutz der Stadt Passau möglich
Schärding-Neuhaus	GSN	314,90	nein	
Eggfing-Obernberg	GEO	325,90	nein	Absenkung zur HW-Retention auf Weisung Behörde; real konstantes Stauziel
Ering-Frauenstein	GEF	336,20	nein	Absenkung zur HW-Retention auf Weisung Behörde; real konstantes Stauziel
Braunau-Simbach	GBS	349,00	ja	bei Prognose $900 < Q < 1150 \text{ m}^3/\text{s}$: lineare Absenkung auf 348,5 m AS, dann Halten des abgesenkten Stauziels
Stammham	ITM	355,10	nein	
Perach	ICH	361,60	ja	ökologische Flutung der Aue, daher ab $Q = 1400 \text{ m}^3/\text{s}$ Absenkung um 0,6 m, ab $Q > 2000 \text{ m}^3/\text{s}$: 361,00 m AS
Neuötting	INO	368,80	nein	Absenkung zur HW-Retention auf Weisung Behörde, in der Regel konstantes Stauziel
Jettenbach (II)	IJE	403,35	ja	bei $Q = 1400 \text{ m}^3/\text{s}$: 403,15 m AS; bei $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{s}$: 403,00 m AS; $2000 < Q < 2200 \text{ m}^3/\text{s}$: 402,80 m AS; $2600 < Q < 2850 \text{ m}^3/\text{s}$: 402,60 m AS
Gars	IGI	412,50	nein	
Teufelsbruck	ITK	420,50	nein	
Wasserburg	IWG	430,75	ja	ab $Q > 1200 \text{ m}^3/\text{s}$: 430,50 m AS
Feldkirchen	IFE	441,00	ja	ab $Q > 1200 \text{ m}^3/\text{s}$: 440,50 m AS
Rosenheim	IRI	451,30	nein	Absenkung zur HW-Retention auf Weisung Behörde
Nußdorf	GNU	464,00	ja	Absenkung ab $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $Q = 700 \text{ m}^3/\text{s}$: 463,50 m AS, bis $Q = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$ lineare Absenkung auf 462,20 m AS
Oberaudorf-Ebbs	GOE	477,00	ja	Absenkung zur Einhaltung Pegel Autobahngrenzbrücke Inn km 216,2; bis $Q = 550 \text{ m}^3/\text{s}$ Halten des Vollstaus, dann bis $Q = 700 \text{ m}^3/\text{s}$ lineare Absenkung auf 476,4 m AS und Halten des Absenkziels

* AS: Anlagensystem

Eine Ausnahme stellt dabei die Wehrsteuerung an der Stufe Passau-Ingling (GPI) dar. Bei hohen Abflüssen in der Donau und verstärkt durch hohe Abflüsse des Inns kann der Unterwasserstand weit über das Absenkziel ansteigen. Der Rückstauereffekt ist dann bis Schärding erkennbar. Daher wurde der Unterwasserstand mit dem Oberwasserstand im Modell gekoppelt.

3.4. Kalibrierung und Validierung

Vorgehen

Das Hauptziel der Untersuchung ist eine korrekte Abbildung der Abflussganglinien. Eine gleichzeitige sehr gute Abbildung der Wasserspiegellagen bei 2D-Reinwassermodellen mit fester Sohle und der für das Projekt notwendigen räumlichen Auflösung ist für die Stauräume am Inn nur schwer zu vereinbaren (Giehl et al. 2018). Wesentliches Problem bei der instationären Kalibrierung stellten zum einen die Abflussmessungen und daraus der Vergleich zwischen simulierten und gemessenen Ganglinien dar, wie das folgende Kapitel 3.5 erläutert. Zum anderen führen besonders die bereits bei anlaufender Hochwasserwelle beweglichen Sohlen in den Stauräumen (siehe oben und Tabelle 2) mit einer Ausräumung von teils mehreren Metern Mächtigkeit zu Herausforderungen. Da die gemessenen Abflüsse an den Wehren zu stark und unsystematisch untereinander abwichen, musste auch vom ursprünglichen Vorgehen der separaten Kalibrierung jedes Stauraums Abstand genommen werden. Um zufriedenstellende Ergebnisse zu erzielen, wurde jeweils ein „Verbund“ mehrerer Stauräume gemeinsam kalibriert und dabei v.a. auf die – teils allerdings ebenfalls staubeeinflussten – Messungen der amtlichen Pegel zurückgegriffen. Die Kalibrierung und Validierung stellte sich daher als sehr zeitaufwendig heraus.

Hydrologie

In das Modell werden alle pegelbeobachteten Zubringer zugegeben. Die gemessenen Abflussganglinien werden um eine abgeschätzte Fließzeit vom Pegel bis zur Mündung verschoben dem Modell an der Mündung in den Inn oder die Salzach zugegeben. Die Abschätzung wurde auf Basis der Gewässercharakteristik und mit Hilfe der Angaben zur Wellenlaufzeit des HND Bayern² getroffen. Die Abflussganglinien wurden dabei nicht skaliert und der Einfluss von unbeobachteten Zwischeneinzugsgebieten vernachlässigt. Es ergibt sich daher zwangsläufig ein Volumenfehler in der Abbildung der Abflussganglinien, der angesichts der Gesamtauflösung der Modelle akzeptiert wird. Bei der Verwendung der Hochwasserereignisse für die Wirkungsanalyse (Kapitel 7 und folgende) aus der „stochastischen Niederschlag-Abfluss-Modellierung zur Ermittlung des räumlichen Zusammenwirkens der Zubringerwellen“ (TP A) werden diese Zwischeneinzugsgebiete berücksichtigt. Die Zuflüsse in die Modelle und berücksichtigte Pegel mit Abflussmessungen zeigt Tabelle 4 für die Inn-Teilmodelle und Tabelle 5 für das Teilmodell Salzach. Die Hochwasserstatistik für ausgewählte wichtige Pegel im Projektgebiet zeigt Tabelle 6.

² www.hnd.bayern.de

Tabelle 4: Übersicht der Pegel des Inns (grau) und der Zuflüsse im Projektgebiet (blau: Inn, schwarz: seitliche Zuflüsse) von oberstrom nach unterstrom

Gewässer	Pegelname	Abk.	Land	Pegel-ID	Fluss-km
Inn	Oberaudorf	OAUD	D	18000403	211
Auerbach	Bad Trissl		D	18193001	2.6
Euzenauer Bach	Mühlhausen		D	18194503	0.7
Steinbach	Nußdorf		D	18196000	3.9
Sims	Stephanskirchen		D	18199008	4
Inn	Rosenheim o.d.M.	ROIN	D	18001508	185.5
Mangfall	Rosenheim		D	18209000	1.9
Hammerbach	Rosenheim		D	18312009	16.2
Murn	Weichselbaum		D	18322002	9.3
Attel	Anger		D	18346000	2.2
Inn	Wasserburg	WABG	D	18003004	158.7
Inn	Kraiburg	KRAI	D	18004007	122.4
Inn	Mühdorf	MUDF	D	18004506	104
Isen	Engfurt		D	18384509	7.8
Inn	Eschelbach	ESBQ	D	18005000	87.7
Alz	Burgkirchen		D	18408200	15.4
Simbach	Simbach		D	18719006	0.9
Mattig	Jahrsdorf		A	204677	1.9
Ach	Mamling		A	204719	1.9
Antiesen	Haging		A	204750	17.8
Osternach	Osternach		A	204768	3.2
Rott	Ruhstorf		D	18808004	11.2
Inn	Schärding	SCAQ	A	206201	16.3
Pram	Pramerdorf		A	204867	5.3
Inn	Passau-Ingling	PING	D	18008008	3.1
Donau	Passau		D	10091008	2226.7
Donau	Achleiten		D	n.b.	2223.05

Tabelle 5: Übersicht der Pegel der Salzach (grau) und der Zuflüsse im Projektgebiet (blau: Salzach, schwarz: seitliche Zuflüsse) von oberstrom nach unterstrom

Gewässer	Pegelname	Abk.	Land	Pegel-ID	Fluss-km
Salzach	Salzburg	SABG	A	203398	64.4
Alterbach	Itzling		A	203430	0.7
Fischach	Lengfelden		A	203455	3.4
Saalach	Siezenheim	SIEZ	A	203570	5.5
Sur	Brodhausen		D	18666001	10
Oichtenbach	Nußdorf		A	203844	8.2
Salzach	Oberndorf		A	203539	47.1
Salzach	Laufen	LAUF	D	18602009	47.5
Moosache	Au-St. Georgen		A	203547	4.3
Götzinger Achen	Unverzug		D	18683000	26
Salzach	Burghausen	BGHA	D	18606000	11.4
Alz-Kanal	Guffelham		D	18409508	14.25

Tabelle 6: Hochwasserstatistik für Pegel an Inn und Salzach im Projektgebiet Salzach (Quelle: LfU Bayern, HD OÖ)

Pegel	HQ ₁	HQ ₂	HQ ₅	HQ ₁₀	HQ ₂₀	HQ ₃₀	HQ ₅₀	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀₀	HQ ₁₀₀₀
OAUD	1220	1360	1500	1700	1850	-	2100	2250	-	2800
ROIN	1250	1400	1540	1750	1900	2050	2150	2300	2700	2900
WABG	1300	1500	1750	2000	2200	2400	2600	2850	3200	3500
KRAI	-	1150	1500	1750	1950	-	2300	2600	-	3300
MUDF	-	1150	1500	1750	1950	2100	2300	2600	2900	3300
ESBQ	1320	-	1800	2100	2300	-	2700	2950	-	-
SCAQ	-	-	3700	4300	-	5300	-	6700	7700	8700
PING	-	-	3700	4300	4900	5400	6000	6800	7700	8800
SABG	820	-	1300	1540	-	1900	-	2300	2660	-
SIEZ	300	-	550	650	-	850	-	1050	1250	-
BGHA	1200	1450	1800	2150	2500	2700	3000	3300	3800	4400

Für Kalibrierung und Validierung wurden je nach Gebiet die Hochwasserereignisse von 1985, 2002, 2005 und 2013 ausgewählt und simuliert. Im Rahmen der Kalibrierung wurde die Rauheit der Gewässersohle variiert. Die Stricklerwerte blieben während einer Simulation konstant, sind also nicht abfluss-, fließtiefen- oder zeitabhängig. Allerdings variieren sie räumlich. Je nach Länge der Stauräume wurden bis zu sechs unterschiedliche Bereiche definiert. Im Teilmodell Salzach wurde mit insgesamt 13 Bereichen für die Sohle gearbeitet.

Plausibilisierung der Sohlrauheit auf Basis der Datenlage

Auf Basis von vorhandenen Untersuchungen des aufgelandeten Sediments und der Sohlformen wurden erste Abschätzungen der Stricklerwerte getroffen und damit die Kalibrierung begonnen. Die in der Kalibrierung ermittelten Werte wurden anhand der Literatur plausibilisiert.

Die Kornverteilung des Sohlmaterials ist nicht nur relevant für die Feststofftransportmodellierung, sondern auch in Form der Sohlrauheit für die Reinwassermodellierung. Daten zum Sohlmaterial können auch dem Bericht zum TP E entnommen werden. Im Allgemeinen kann zumindest für die Stauräume des oberen Inns ein d_{50} von etwa 0,3 mm bestimmt werden. Auf Basis der empirischen Formel von Meyer-Peter und Müller und der Nikuradse-Sandrauheit kann die Manning-Strickler-Rauheit abgeschätzt werden mit:

$$k_{st} = \frac{20...26}{k_s^{1/6}} \quad (1)$$

Die Sandrauheit k_s wird in der Literatur mit unterschiedlichen Ansätzen aus den Kornfraktionen bestimmt. Vereinfachend wird hier $k_s = 2 \cdot d_{50}$ (Kamphius 1974) angenommen. Für ein d_{50} von 0,3 mm ergeben sich demnach rechnerisch/theoretisch Stricklerwerte k_{st} von etwa 68 bis 90 $m^{1/3}/s$.

In Abhängigkeit der vorhandenen Sohlformen (Dünen, Riffel, ...) verändern sich die Sohlrauheiten in einem Fluss. Abbildung 8 zeigt beispielhaft die in der Fächerecholotpeilung gut zu erkennenden Sohlformen in einem Inn-Stauraum. Diese Sohlformen wurden aber nicht im Voraus abgeschätzt, sondern im 2D-HD-Modell im Rahmen der Kalibrierung berücksichtigt. Unklar ist, ob und in welchem Maße die Sohlformen bei zunehmendem Abfluss abgetragen und geglättet werden (Kohane 2012). Zudem sind die Sedimente in Bewegung und die Transportkörper wandern mit der Strömung. Insgesamt können also die Sohlformen auch für eine während der Hochwasserwelle veränderliche Rauheit sorgen, die in einer Reinwassermodellierung mit abflussabhängigen Rauheitsbeiwerten, also $k_{st} = f(Q)$, berücksichtigt werden könnten. HYDRO_AS-2D erlaubt allerdings nur die Definition von fließtiefenabhängigen Stricklerwerten.

Im Rahmen der Kalibrierung wurden die Kornfraktionen und potentiellen Sohlformen nicht explizit berücksichtigt, sondern die in der Kalibrierung erhaltenen Stricklerwerte enthalten diese Verhältnisse im Reinwassermodell indirekt. Vereinzelt wurden Stricklerwerte bis 70 $m^{1/3}/s$ ermittelt, zumeist aber in den Stauräumen im Bereich 50 bis 65 $m^{1/3}/s$, was sich alles in allem mit den obigen Angaben aus der Literatur deckt.

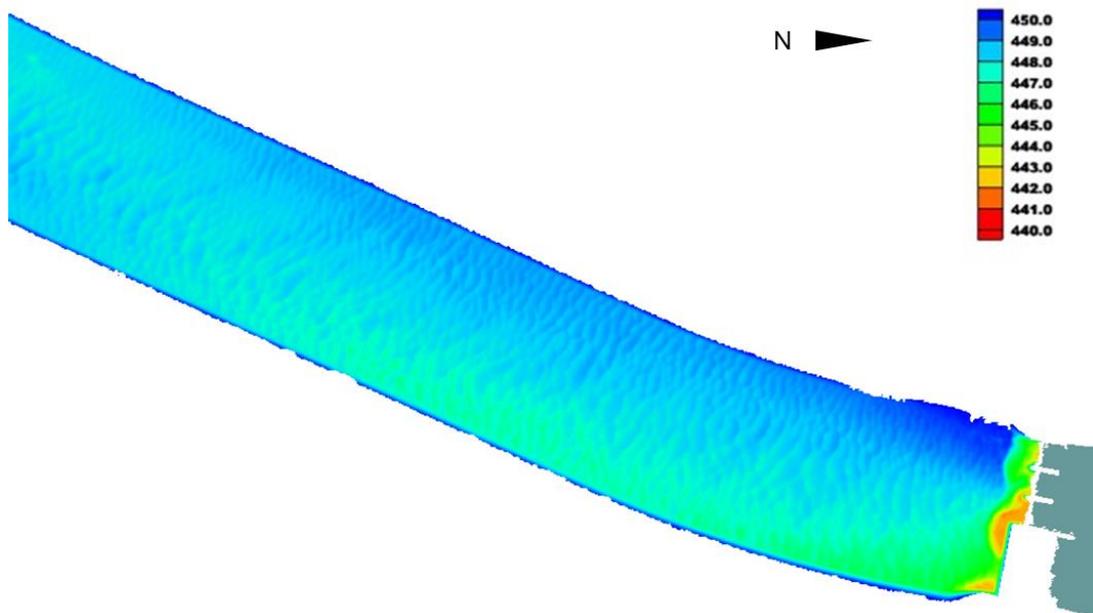


Abbildung 8: Fächerecholotpeilung Stauraum IRI (Wehr rechts im Bild)

3.5. Unsicherheiten in den 2D-HD-Modellen

Nachfolgend werden die Unsicherheiten im 2D-HD-Modell beziehungsweise in den vier Modellen qualitativ herausgearbeitet.

Unsicherheiten der Wasserstände und Abflüsse an Pegeln

Im Lauf der Bearbeitung stellte sich heraus, dass ein Teil der Abflussganglinien an Pegeln (Betreiber der Pegel: bayerische Wasserwirtschaftsverwaltung und österreichische Länder) und über die Wehre (Betreiber: VERBUND) mit größeren Unsicherheiten behaftet sind. Die Abflüsse an den Kraftwerken/Wehren werden aus gemessenen Wasserständen im Ober- und Unterwasser sowie den Wehrstellungen mit bekannter Überfall-/Ausflusscharakteristik ermittelt. Diese Messwerte sind naturgemäß mit größeren Unsicherheiten behaftet. Zudem weisen auch Pegel der Wasserwirtschaftsverwaltung teils unsichere oder fehlerhafte Abflüsse auf. Unterschieden werden sollte dabei in ereignisspezifische Störungen und Ausfälle der Pegel (z. B. Verklausungen) und „systematische“ Fehler (z. B. Rückstau, unsichere Abflusskurven, bewegliche Sohlen), welche in den übergebenen Messdaten an Pegeln im Projektgebiet vorhanden sind. Neben den Abflussganglinien wurden zusätzlich auch Wasserstandsganglinien der Pegel, Ober- und Unterwasser und je nach Stauraum an mehreren Stauraumpegeln herangezogen. Zudem lagen Hochwasserspiegelfixierungen in unterschiedlichen Abständen in den Stauräumen vor (alle 200 m bis mehrere km).

Zur Verdeutlichung soll Abbildung 9 dienen. Zwischen den Pegeln Kirchbichl (Österreich) und dem Pegel Oberaudorf (unsichere W-Q-Beziehung lt. Aussage LfU Bayern) oder Wehr

Oberaudorf-Ebbs liegen drei pegelbeobachtete Zubringer. Die gemessenen Spitzenabflüsse betragen beim Ereignis 2013: Kieferbach 132 m³/s, Weissache 110 m³/s, Jennbach 140 m³/s, also insgesamt max. 382 m³/s. Die Abflussdifferenz zwischen den Pegelmessungen Kirchbichl und Oberaudorf beträgt dagegen maximal etwa 520 m³/s, was auch unter Berücksichtigung potentieller Zuflüsse aus dem Zwischeneinzugsgebiet eine große Diskrepanz darstellt. Im nächsten unterstromigen Stauraum Nußdorf münden nur die beiden seitlichen Zuflüsse Auerbach und Euzenauerbach mit Scheitelabflüssen von 66 und 11 m³/s. Die Abflussganglinien zwischen Oberaudorf und Nußdorf unterscheiden sich dagegen maximal um 410 m³/s, was ebenfalls schlecht mit den gemessenen Zuflüssen zu erklären ist. Abbildung 9 zeigt auch höhere gemessene Abflüsse am Kraftwerk Rosenheim (IRI) gegenüber dem Kraftwerk Nußdorf (GNU), wobei in diesem Stauraum lediglich der Steinbach als seitlicher Zufluss aufgezeichnet wird. Zusätzlich muss beachtet werden, dass diese Phänomene bereits bei einem Abfluss in der Größenordnung HQ₁₀ auftreten (wie es das HW2013 in diesem Abschnitt war). Erfahrungsgemäß ist anzunehmen, dass die Abweichungen bei großen zu simulierenden – für die Wirkungsanalyse von Rückhalteräumen maßgebenden – Hochwasserabflüssen zunehmen. Im Bereich der Extremhochwasser weisen die Modelle also auch aus den Zuflussganglinien in die Simulation eine größere Unsicherheit auf.

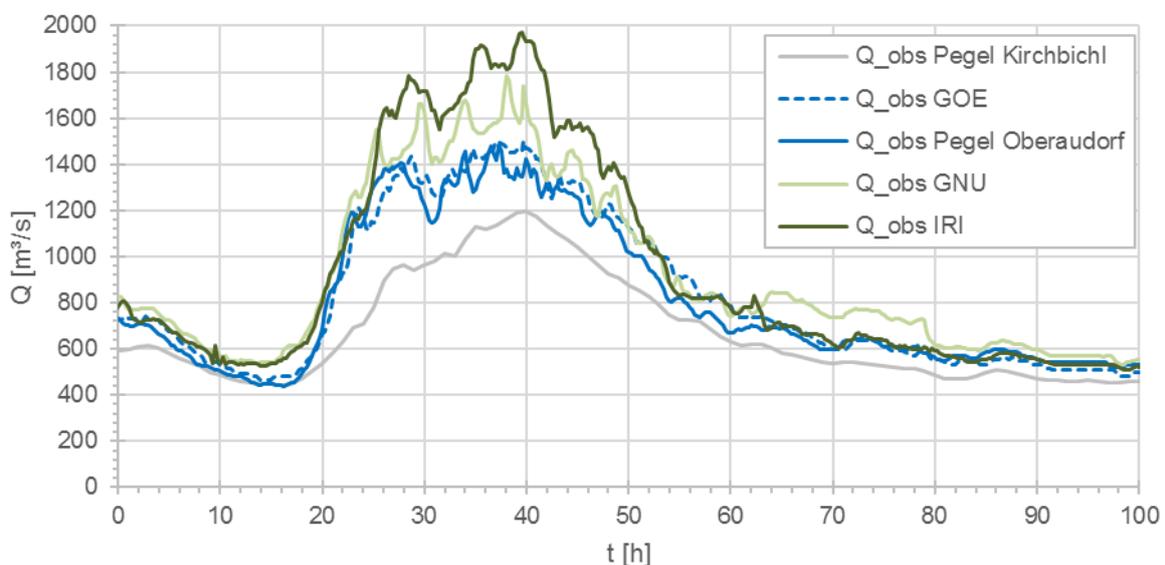


Abbildung 9: Ausgewählte Pegelmessungen für das Hochwasser 2013 am oberen Inn. GOE: Staustufe Oberaudorf-Ebbs, GNU: Staustufe Nußdorf, IRI: Staustufe Rosenheim

Abbildung 11 zeigt gemessene Abflussganglinien für den unteren Inn beim Hochwasser 2013. Die Abfolge der Pegel, Staustufen und Zuflüsse am unteren Inn sind in Abbildung 10 skizziert. Gut zu erkennen ist anhand der Abflussganglinien der Ausfall des Pegels am Wehr Stammham (ITM) durch Rückstau des Kraftwerks Braunau-Simbach (GBS). Dieser Fehler ist hinsichtlich einer Kalibrierung der Modelle insofern problematisch, da unterhalb von Stammham die

Salzach in den Inn mündet und die letzte Pegelmessung der Salzach am Pegel Burghausen beim HW 2013 ebenfalls stark abweichende Messungen lieferte (siehe unten und Abbildung 13). Der letzte „gute“ Pegel oberstrom ist Mühldorf (MUDF), allerdings bereits knapp 29 km entfernt. Eine Kalibrierung des Stauraums GBS ist daher relativ schwierig. Auch im weiteren Verlauf schwanken die Messungen an den Kraftwerken Ering-Frauenstein (GEF), Eggfing-Obernberg (GEO) und Schärding-Neuhaus (GSN). Auch der Pegel Passau-Ingling (PING), der unterhalb des Kraftwerks Passau-Ingling (GPI) liegt, ist hier wohl nur bedingt verwendbar, da er bei hohen Wasserständen in der Donau eingestaut wird. Dies zeigt sich in der breiten Ganglinie in Abbildung 11, da die Hochwasserwelle der Donau der des Inns nachläuft.



Abbildung 10: Skizze des unteren Inn mit Abfolge der Pegel und Staustufen (siehe auch Abbildung 5)

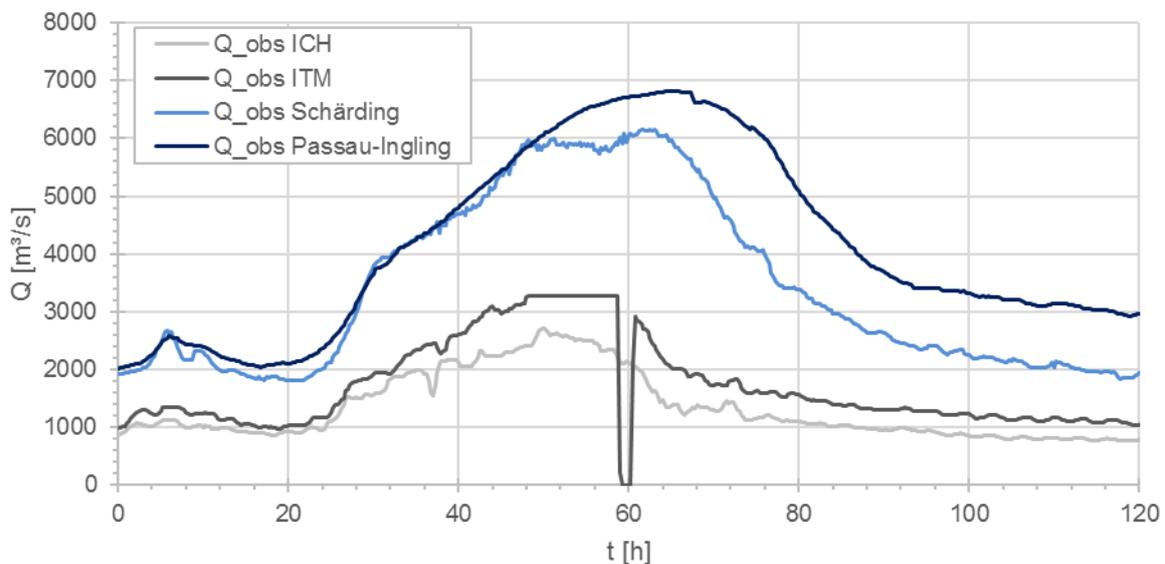


Abbildung 11: Ausgewählte Pegelmessungen für das Hochwasser 2013 am unteren Inn. ICH: Staustufe Perach, ITM: Staustufe Stammham

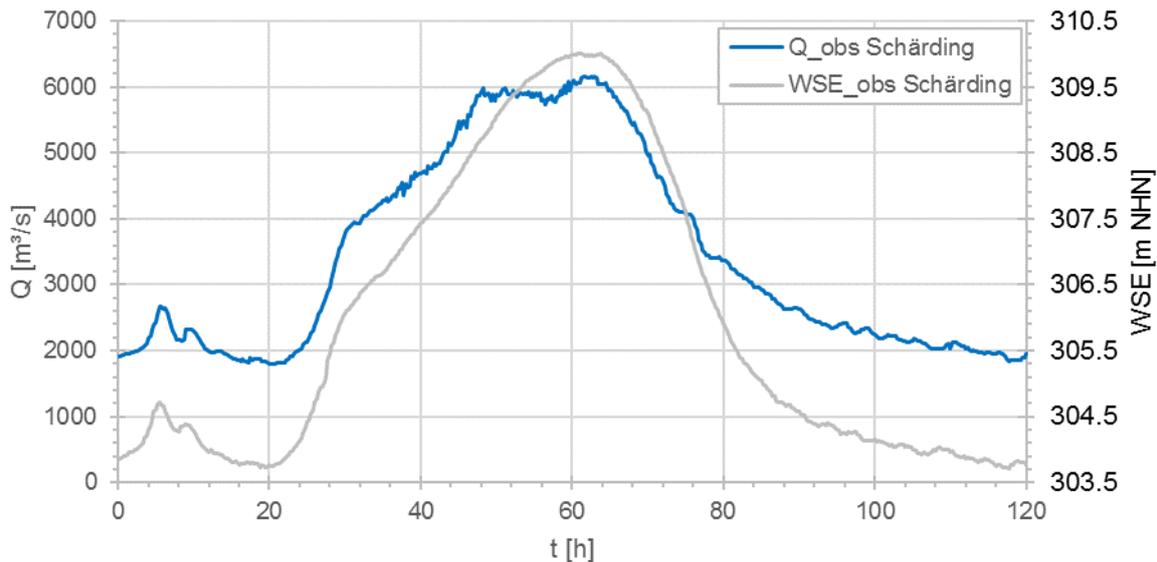


Abbildung 12: Gegenüberstellung der Ganglinien von Abfluss und Wasserstand am Pegel Schärading

Bei der Auswertung der Ganglinien von Abfluss und Wasserstand am Pegel Schärading zeigte sich eine starke Abweichung in der Form der Hochwasserwelle (Abbildung 12). Da normalerweise der Abfluss mit Hilfe einer Abflusskurve aus den Wasserständen ermittelt wird, lässt sich der flache Scheitel in der Abflussganglinie kaum aus den gemessenen Wasserständen ableiten.

Problematisch sind die unsicheren Abflüsse insbesondere bei der Kalibrierung der einzelnen Stauräume, da die Qualität der Zuflussganglinie am oberen Modellrand einen maßgebenden Einfluss auf die Auslaufwelle am unteren Modellende hat. Bei zusammenhängenden Modellen (Ketten von Stauräumen) können fehlerhafte Messungen teils „übergangen“ werden und die Simulation nur am letzten Pegel (Auslauf) mit den Messungen ausgewertet werden könnte. Allerdings kann dabei ein falsches Teilmodell durch die nachfolgenden Abschnitte während der Kalibrierung kompensiert werden. Bei kritischen Abschnitten wurden daher die Simulationsergebnisse statt mit den Abflussganglinien verstärkt mit den gemessenen Wasserständen verglichen.

Für den Pegel Burghausen/Salzach (Abbildung 13) wurde nach Diskussion der Zwischenergebnisse gegen Ende der Kalibrierung/Validierung eine von der gemessenen Abflussganglinie abweichende simulierte Ganglinie des Hochwassers 2013 vom LfU Bayern zur Verfügung gestellt. Bis dahin wurden für die Kalibrierung der Salzach und auch der unterhalb der Salzachmündung liegenden Inn-Stauräume die Original-Messdaten verwendet. Man erkennt, dass die Rohdaten der Abflussermittlung aus den Wasserstand-Messungen den Scheitel um mindestens 400 m³/s überschätzt.

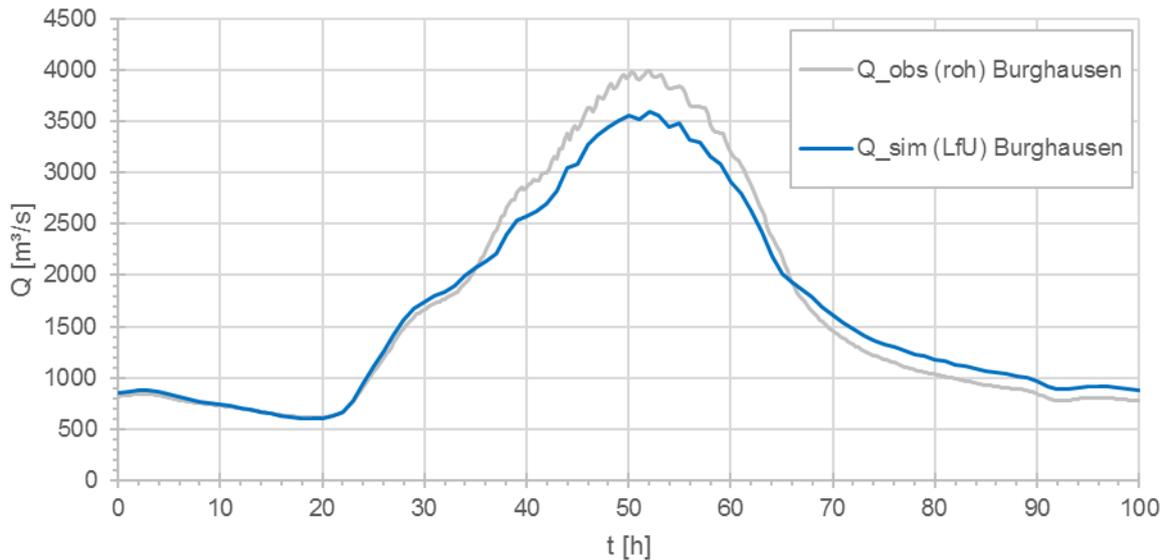


Abbildung 13: Gegenüberstellung der Abflussganglinien am Pegel Burghausen/Salzach aus Messdaten und Simulationsergebnissen mit einem Modell des LfU Bayern

Aufgrund der oben genannten Beobachtungen veranlasste Untersuchungen mit einem Detailmodell für die Pegel Ach und Burghausen³ zeigen bspw. Unterschiede im Pegelstand zwischen linkem und rechtem Ufer von mehreren Dezimetern. Es ist möglich, dass die Wasserstand-Abfluss-Beziehung zudem von der nahegelegenen Brücke sowie Rückstau einfluss oder veränderlichen Sohlagen beeinflusst wird. Das Quergefälle mit Einfluss auf die gemessenen Abflüsse könnte ebenfalls an den oberstrom in einer starken Flusskrümmung liegenden Pegelstationen Laufen (BY) und Oberndorf (OÖ) auftreten, welche zur Kalibrierung und Validierung verwendet werden.

Bei Betrachtung von Abbildung 13 fallen die beiden charakteristischen Knickpunkte in der Ganglinie auf. Der Beginn der Vorlandüberflutung im Tittmoninger Becken (nach etwa 27 h) und die Überströmung des Ettenauer Damms (nach etwa 37 h) prägen die Form der Welle nach dem Becken, also auch am Pegel Burghausen. Für die Retentionsraumuntersuchung Untere Salzach (Dehnz et al. 2014) wurden von SKI ebenfalls 2D-HD-Simulationen mit einem Detailmodell durchgeführt. Die Wellen weisen beide Knickpunkte bei ähnlich hohen Abflüssen auf, etwa bei 1.000 - 1.300 m³/s und 2.300 – 2500 m³/s (vergleiche Abbildung 14). Die Wellenlaufzeit des TUM-Modells ist zwar tendenziell zu kurz durch das Tittmoninger Becken zwischen den Pegeln Laufen und Burghausen, man kann aber im Vergleich mit dem detaillierteren 2D-Modell von SKI folgern, dass das Gelände korrekt abgebildet wird. Auch die Retentionswirkung durch das Tittmoninger Becken wird in beiden Modellen vergleichbar abgebildet; der Scheitelabfluss

³ https://media.hnd.bayern.de/docs/Burghausen_Kommentar.pdf , <https://www.hnd.bayern.de/pegel/inn/burghausen-18606000>

verringert sich um etwa 180 m³/s (SKI) oder etwa 140 m³/s (TUM). 2D-TUM-Simulationen wurden für zwei Sohlagen (2010 und 2015) durchgeführt, weisen aber wenig Abweichungen auf. Die Hochwasserwelle aus der Simulation des LfU zeigt dagegen eine Erhöhung des Wellenscheitels um etwa 60 m³/s vom Pegel Laufen bis Pegel Burghausen und zudem ein deutlich größeres Wellenvolumen, was wahrscheinlich nicht allein durch den Einfluss des (im 2D-TUM-Modell unterschätzten) Zwischeneinzugsgebiets erklärt werden kann. Die Vermutung liegt nahe, dass die 2D-Modelle (SKI und TUM) die komplexen Strömungssituationen in den beiden Becken besser abbilden und im Gegensatz dazu in eindimensionalen und hydrologischen Modellen die Retentionswirkung stark unterschätzt wird.

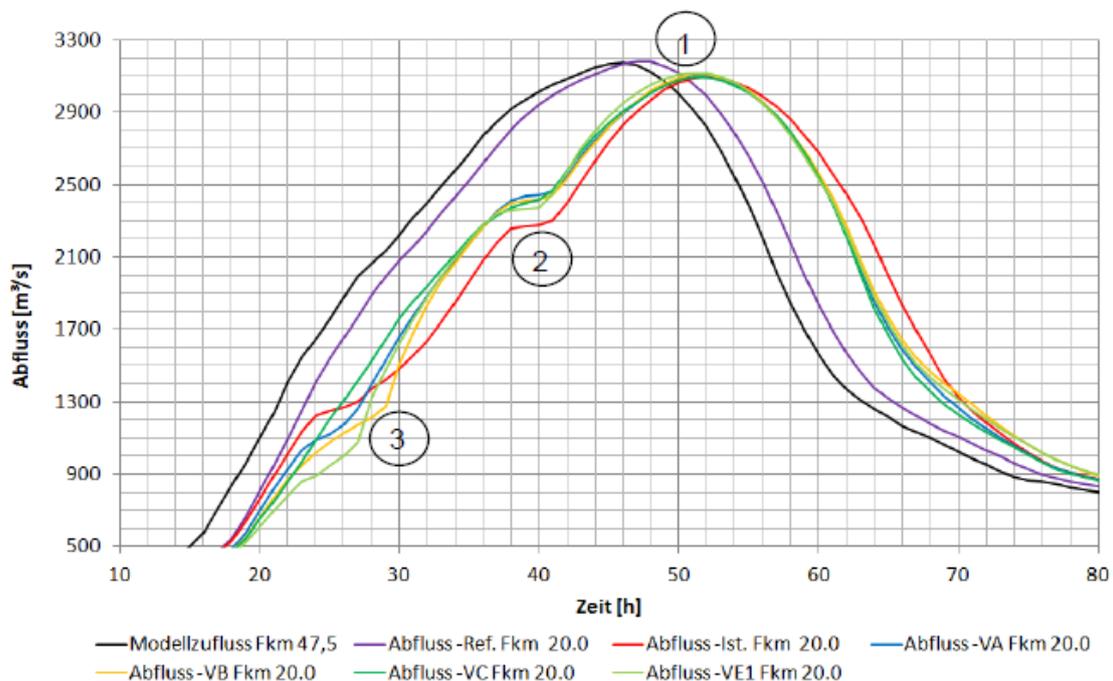


Abbildung 14: Abflussganglinien bei Fkm 20 bei den Varianten im Tittmoninger Becken aus den Berechnungen für die Retentionsraumuntersuchung Untere Salzach (Dehnz et al. 2014)

Bewegliche Sohlen

Obwohl ein Großteil der Stauhaltungen weitgehend endverlandet sind (bspw. Abbildung 15) und sich im Lauf der Jahre immer wiederkehrende Gleichgewichtssohlen einstellen, sind die Sohlen während der Hochwasserereignisse je nach Stauraum mehr oder weniger dynamisch. Das heißt, dass im ansteigenden Ast der Welle eine Ausräumung der Sedimente beginnt und sich die Sohle besonders in Wehrnähe eintieft (sog. „Hochwassersohle“). Trotz der teils niedrigeren Stauziele (durch Absenkung) erhöhen sich dadurch beim Scheiteldurchgang die Fließquerschnitte, was zu niedrigeren Fließgeschwindigkeiten führt (Fiedler, 2008). Im absteigenden Ast der Welle lagern sich die aus dem oberstrom liegenden Stauraum mobilisierten und

transportierten Sedimente ab (Abbildung 16, vergleiche hellgrüne Linie: Messung vor dem Ereignis 2005 und dunkelgrüne Linie: nach dem Ereignis). Bereits kurze Zeit nach einem Hochwasserereignis stellt sich in endverlandeten Stauräumen wieder eine langfristige Gleichgewichtssole ein (z. B. orange Linie in Abbildung 16). Eine korrekte Bilanzierung der Ein- und Austräge während eines Hochwasserereignisses ist derzeit nicht möglich. Eine Massenermittlung allein aus den Sohlpeilungen vor und nach einem Ereignis ergibt nur das Nettovolumen.

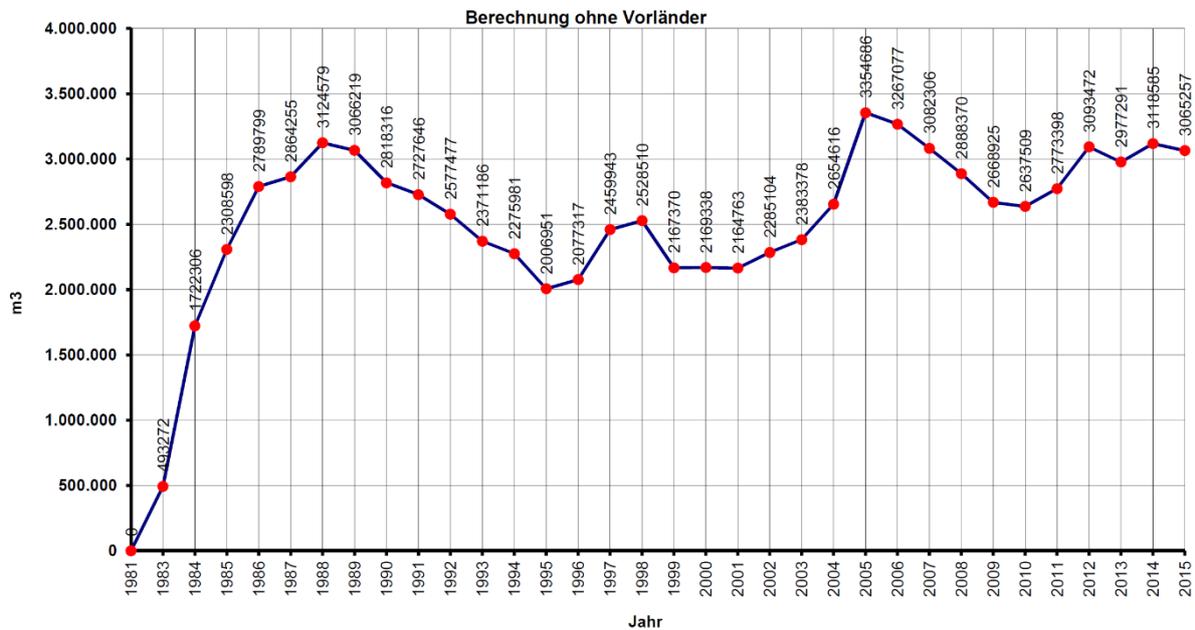


Abbildung 15: Verlandungssummenlinie GNU 2015, km 207,8 – 198,8 (Quelle: Verbund VHP-GK)

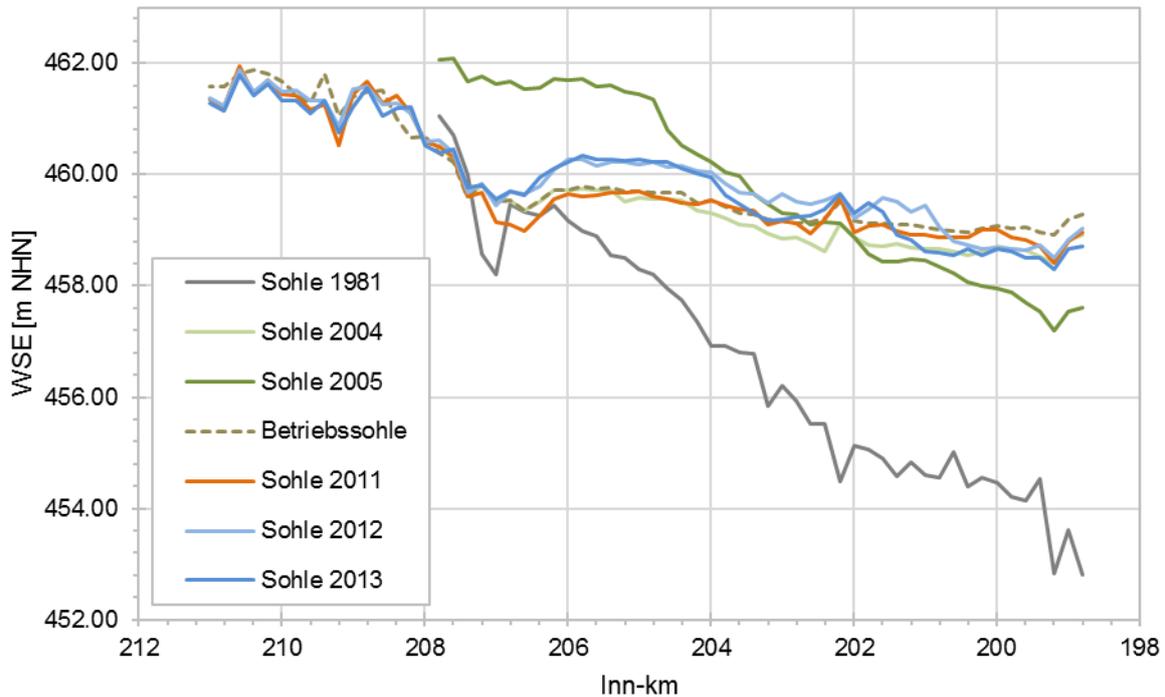


Abbildung 16: Mittlere Sohlen im Stauraum GNU zur Verdeutlichung der Sohländerung vor (helle Linien) und nach (dunkle Linien) den Hochwasserereignissen 2005 und 2013. Zusätzlich gezeigt wird die gewählte Gleichgewichtssohle 2011 und die sogenannte Betriebssohle

Diese Sohlveränderungen haben bezogen auf eine 2D-HD-Reinwassermodellierung unter anderem Einfluss auf die Wellenlaufzeit und die Wasserspiegellagen. Da im Reinwassermodell die Sohle fixiert ist und die in den Modellen abgebildeten Gleichgewichtssohlen (Kapitel 3.2, Tabelle 2) in der Regel über den Hochwassersohlen liegen, würden die simulierten Wasserspiegellagen die realen im Einflussbereich der Sohlausräumung überschätzen; auch in Verbindung mit den abflussunabhängigen Rauheitswerten. Zu beachten ist dabei zusätzlich, dass die fixierten Wasserspiegellagen in den Stauräumen nicht zwangsläufig den Zeitpunkt des Hochwasserscheiteldurchgangs abbilden, sondern möglicherweise eher eine Wasserspiegellage zum Zeitpunkt niedrigerer Abflüsse durch Einfluss von Absenk-/Ausräumungsvorgängen (Giehl et al. 2018). Diese tendenziell zu hohen Wasserstände haben bei größeren als den für die Kalibrierung und Validierung verwendeten aufgetretenen Hochwasserereignisse einen Einfluss auf den Freibord. Im Rahmen der Simulationen mit stochastisch erzeugten Wellen (für die Wirkungsanalyse) in der Größenordnung bis $HQ_{1.000}$ musste daher eine abgesenkte „Hochwassersohle“ in den Netzen verwendet werden, da ansonsten die Gefahr von real nicht auftretenden Überströmungen der Stauhaltungsdämme bestünde.

Die im Rahmen des TP E zwischenzeitlich erzielten Ergebnisse unterstützen die vorherigen Ausführungen. Es wurden dort Simulationen mit einem Feststofftransportmodell durchgeführt und bei Vergleich der gemessenen mit den simulierten Wasserspiegellagen bei veränderlicher

Netzgeometrie (Modellierung der Sohlausräumung) eine wesentlich bessere Übereinstimmung bei sonst weitgehend vergleichbaren Randbedingungen (Wehrsteuerung, Rauheiten) festgestellt. Es wird dazu allerdings an dieser Stelle auf den noch nicht vorliegenden Schlussbericht des TP E verwiesen.

3.6. Übersicht 2D-HD-Modelle

Zur eindeutigen und prägnanten Identifizierung der vier Teilmodelle wurden die Buchstaben a, b, c und d vergeben. Tabelle 7 gibt Anhaltspunkte für die Netzgrößen. Die 2D-Modelle reichen bis in die Hangkante, hoch genug, um das gesamte potentielle Überschwemmungsgebiet auch bei HQ_{1000} abbilden zu können.

Tabelle 7: Eckdaten der Modelle für die 2D-HD-Simulationen

		Fließstrecke Hauptgewässer	Elemente	Knoten	Fläche
a	Inn, Oberaudorf bis Wasserburg	52 km	~ 347.000	~ 184.000	~ 147 km ²
b	Inn, Wasserburg bis Stammham	83 km	~ 455.000	~ 245.000	~ 166 km ²
c	Inn, Stammham bis Passau, <i>mit Salzach ab Burghausen und Donau bis Jochenstein</i>	70 km	~ 518.000	~ 288.000	~ 277 km ²
d	Salzach, Salzburg bis Burghausen, <i>mit Saalach ab Siezenheim und inkl. Mündung in den Inn</i>	59 km	~ 253.000	~ 134.000	~ 88 km ²

Der oberstromige Modellrand des Teilmodells der Salzach liegt dabei zur korrekten Abbildung des Überschwemmungsgebiets nicht direkt an der Mündung der Saalach, sondern umfasst einige weitere Kilometer der Saalach und der Salzach. Alle Auswertungen beginnen ab der Mündung.

4. Modellierung eines historischen Zustands

Ziel der Modellierung und Analyse des historischen Zustands ist der Erkenntnisgewinn hinsichtlich der Hochwasserabläufe im Flusssystem und vor allem eine Methode zur Ermittlung potentieller (zu reaktivierender) Rückhalteräume. Unter „historischer Zustand“ wird in diesem Kontext in Anlehnung an Studien an der Donau (Asenkerschbaumer et al. 2012, Skublics 2014) der anthropogen weitgehend unbeeinflusste, natürliche, unbegradigte Flussverlauf bezeichnet. Dies entspricht an Inn und Salzach etwa der Zeit vor 1820. Die Modellierung des vereinfachend genannten „Zustands 1800“ diente in einem ersten Schritt vor allem der Identifizierung potentiell reaktivierbarer Rückhalteräume. Dafür wurden die Überflutungsflächen im

heutigen Zustand und Zustand 1800 miteinander verglichen. Heute nicht mehr überflutete Flächen ließen sich bei entsprechender Landnutzung, also z. B. ohne größere Siedlungen, reaktivieren und für (steuerbaren) Hochwasserrückhalt einsetzen.

In diesem Kapitel folgt ein allgemeiner Abriss über die Geschichte des gesamten Flusssystems in früherer Zeit anhand Archivrecherche⁴, bei der die Sichtung des historischen Materials vor Bau der Staustufen im Vordergrund stand. Hauptaugenmerk lag darauf, Erkenntnisse über die ursprüngliche Sohlage und die Lage der Gerinne zu gewinnen. Die Informationen flossen in die Modellierung des historischen Zustands mithilfe 2D-hydroneumerischer Modelle ein. Basis für die historischen Modelle sind die Modelle des heutigen Zustands. Es folgt die Vorstellung der Methodik, der Modellierung und ein Vergleich der Überschwemmungsflächen heute und 1800. Ein guter Teil der Modellierung des historischen Zustands wurde durch studentische Arbeiten vorbereitet, unterstützt und teils auch durchgeführt⁵. Ein detaillierter Vergleich der Hochwasserabläufe im historischen und heutigen Zustand erfolgt in Kapitel 5 anhand der stochastisch generierten Hochwasserwellen.

4.1. Anthropogene Eingriffe an den Fließgewässern Inn und Salzach

Zunächst werden die relevanten Informationen für die nachfolgenden Kapitel in einem kurzen Abriss zusammengefasst.

Inn

Im Allgemeinen ist eine gute Dokumentation der Flussveränderungen durch Karten vorhanden, allerdings stammen diese aus unterschiedlichen Dekaden: Landesgrenze und Reischenhart von 1818, Nußdorf bis Jettenbach vom Ende des 19. Jahrhunderts (Urpositionsblätter ab etwa 1860), unterer Inn ebenfalls vom Ende des 19. Jahrhunderts (etwa 1870). Im ursprünglichen Zustand war der Inn in Bereichen außerhalb der Schluchtstrecken in zahlreiche kleine Arme gegliedert. Eine Ablagerung hoher Geschiebefrachten sorgte für eine stetige, natürliche Sohlerhöhung mit weitergehender Verbreiterung und Verästelung des Flusses. Durch die Sommerhochwasser kam es zu einer ständigen Verlagerung des Fließquerschnitts, was dazu führte, dass je nach Topographie in etwa zwischen 500 bis 2.500 Metern um die heutige Flussachse herum die Gewinnung von Landwirtschafts- oder Siedlungsflächen für den Menschen nicht möglich war. Erste Versuche, den Inn zu regulieren, waren von der lokalen Bevölkerung finanzierte, gebaute und meist schlecht unterhaltene Flussbaumaßnahmen. Man versuchte, mit dem Bau von Korrektionsbauten/Leitwerken (sog. „Archen“) den Inn möglichst von sich

⁴ Z. B.: Staatsbibliothek München, Hauptstaatsarchiv München, Landesarchiv Salzburg, Wasserwirtschaftsamt Rosenheim

⁵ Bauer 2016, Gröll 2016, Horwath 2017, Pieper 2018, Kretschmer 2018, Leber 2018, Baldauf 2019

weg und hin zum jenseitigen Nachbarn umzuleiten. Die immer wiederkehrende Zerstörung durch die jeweils gegenüberliegenden Anrainer gipfelte in den sogenannten „Archenkriegen“, belegte Streitigkeiten in den Vierzigerjahren des 18. Jahrhunderts (z. B. 1742). Dies und die wiederkehrende Zerstörung auch durch Hochwasser wurde unter anderem durch den kurfürstlich bayerischen Ingenieur-Hauptmann und Wasserbaumeister Castulus Riedl (1749) dokumentiert. „Zwangspunkte“ für den Fluss entstanden an den wenigen vorhandenen Brückenübergängen.

Da die ständige Verlagerung des Hauptarmes des Inns auch den Grenzverlauf zwischen Bayern und Tirol mit wandern ließ, wurde 1780 ein Vertrag zwischen Bayern und Tirol zur Regulierung der gemeinsamen Grenzstrecke am Inn geschlossen. Erste planmäßige Korrektionsmaßnahmen des Inns folgten aber erst 1806 und 1807 zwischen Fischbach und Flintsbach durch Carl Friedrich von Wiebeking, welche zunächst eher „punktuelle Noteingriffe“ blieben (Straßen- und Flussbauamt Rosenheim 1931, von Wiebeking 1811). 1821 treffen sich Wasserbauexperten aus Bayern und Tirol in Kufstein und vereinbaren bindende Maßnahmen bezüglich der Regulierung und Erhaltung der Bauten durch beide Fürstentümer (Ratifizierung 1826 von Österreich, ab 1849 vor allem von Bayern forciert). In den Karten von 1879 sind Begradigungen von Kufstein bis Reisach und von Windshausen bis Gmain deutlich erkennbar. Auf dem Abschnitt dazwischen wurde der Inn bereits massiv begradigt und kanalisiert, während er ab Gmain flussabwärts zu diesem Zeitpunkt noch frei fließend ist. Dementsprechend entstanden die Korrektionsmaßnahmen und Hochwasserdeiche auf der Strecke ab Kufstein bis Rosenheim v.a. zwischen 1821 und 1855 und 1863 bis 1896. Bei Hochwasser stand eine sich in Fließrichtung aufweitende Normbreite von 200 bis 300 Metern zur Verfügung.

Wie geplant tiefte sich die Sohle in Folge der Maßnahmen ein, wie dies an den Pegelaufzeichnungen erkennbar ist. Beispielsweise am Pegel Reisach um rund 2 m zwischen 1870 und 1930 und ebenso am Pegel Sonnhart mit einer starken Sohlabsenkung zwischen 1878 und 1882, wahrscheinlich aufgrund der Innkorrekturen flussabwärts von Sonnhart in diesem Zeitraum. Allerdings gab es auch immer wieder Auflandungen wie beispielsweise am Neubeurer Pegel, da der Transport des Sohlmaterials von oberstrom mit zeitlicher Verzögerung durch das noch nicht regulierte Flussstück bei Neubeuern erfolgte. Insgesamt ist es daher schwierig, aus den vorhandenen jährlichen Mittelwasserständen die Sohlveränderungen nachzuvollziehen.

Salzach

Vor allem im 16. Jahrhundert hatte die Schifffahrt auf der Salzach zwischen Hallein und Laufen große Bedeutung, was zahlreiche Regulierungsmaßnahmen zur Erhaltung der Mindestwas-

sertiefen zur Folge hatte. Teils sind diese Verbauungen auch in älteren Karten als den „Urpositionsblättern“ aus Bayern (1839 – 1869) verzeichnet (bspw. aus den Karten im Hauptstaatsarchiv München (1817), auch Franziszeische Landesaufnahme, Abbildung 17). Aufgrund der alles in allem kleinräumigen Ufereingriffe bildete die Salzach bis Anfang des 19. Jahrhunderts ein ausgedehntes Furkationssystem mit zahlreichen Nebenarmen und Auengewässern unterhalb der Saalachmündung bis zur Mündung in den Inn (Abbildung 18). Die vorgenommenen Maßnahmen hatten wahrscheinlich keinen Einfluss auf das Hochwassergeschehen bei größeren Ereignissen. Bis zum Jahr 1820 gab es kein geregeltes Flussbett. Mit dem „Münchener Staatsvertrag“ vom 14.04.1816 und der „Rektifikation der Saale und der Salzach“ vom 24.12.1820 beschlossen Österreich und Bayern, die gemeinsame Landesgrenze und die Schifffahrt zu sichern und die Hochwassersituation zu verbessern (Scheurmann et al. 1980). Die geplante Flusstrasse wurde bereits in den bayrischen Positionsblättern von 1817 dargestellt (u.a. Wiesbauer 1999). Anschließend begannen systematische Regulierungsmaßnahmen mit Bühnenbauweise und Normalbreite für Salzach und Saalach bis in die 1840er-Jahre, die allerdings nicht den gewünschten Erfolg brachten. Erst eine Regulierung des Flusses mit Leitwerken und in der „Additional Convention vom 09.02.1873“ beschlossenen weiteren Einengung auf 60 Wiener Klafter (etwa 114 m) (Wiesbauer 1999) wurde eine größere Sohleintiefung erreicht. Der Lageplan für die schmälere Verbauung lag bereits 1867 vor. Bayern musste an vielen Stellen die alte Salzachtrasse aufgeben. Die Regulierung nach der „Additional Convention“ begann in den 1860er-Jahren zwischen Saalachmündung und Laufen und wurde im Jahre 1909 fertiggestellt (Scheurmann et al. 1980). Extreme Laufverkürzungen und damit einhergehende Gefällevergrößerungen war die (zunächst gewünschte) Folge. Im 20. Jahrhundert erfolgten nur mehr vereinzelte Maßnahmen, wie z. B. 1909 bis 1927 die Begradigung zwischen Nonnreit und Burghausen (Schaipp 2003); eine Teilregulierung in der Nähe der Innmündung ab 1896, Abschluss 1927; die Teilkorrekturen zur Sicherung der Siedlungen in Unterhadermark von 1898 bis 1907 oder bei Reitenhaslach von 1903 bis 1909 (Scheurmann et al. 1980). Eine Anbindung untereinander erfolgte ab 1909. Seit Ende der Korrekturarbeiten erfolgten flussbauliche Tätigkeiten meist nur in Form der Instandhaltung des Korrekturzustandes. Die ersten Folgen der Begradigung (Sohleintiefung) zeigten sich bereits 1880, so zum Beispiel zwischen 1870 und 1960 um etwa 5,2 m beim Pegel Salzburg-Staatsbrücke. Seit dem Hochwasser von 1954 wurde eine bedrohliche Erosion erkannt und seit 1970 erfolgte eine verstärkte Beschäftigung mit Problemen der Sohleintiefung und den Uferböschungen. Sehr detailliert werden diese Vorgänge von Scheurmann et al. (1980) und Mangelsdorf et al. (2000) beschrieben.

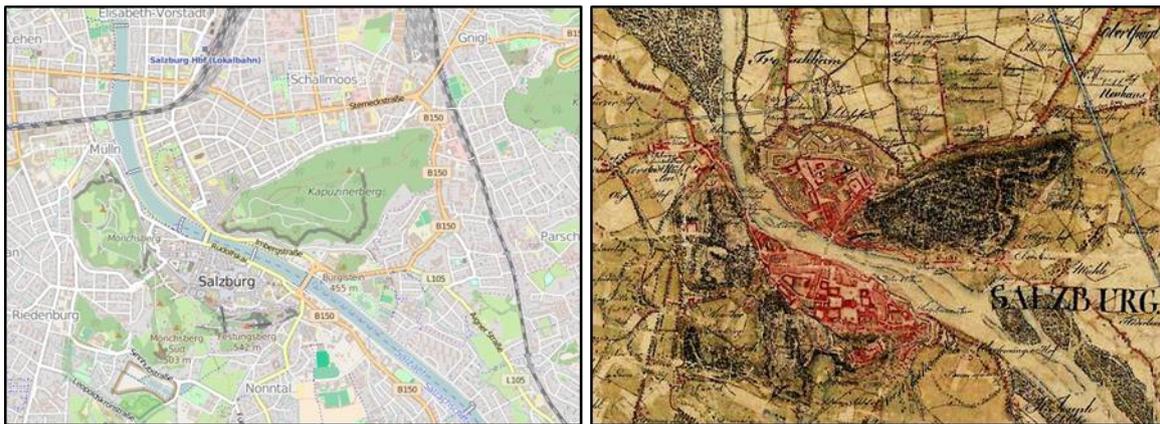


Abbildung 17: Aktuelle Karte der Stadt Salzburg im Vergleich mit der Franziszeischen Landesaufnahme 1807 - 1808 (MAPIRE, 2016)

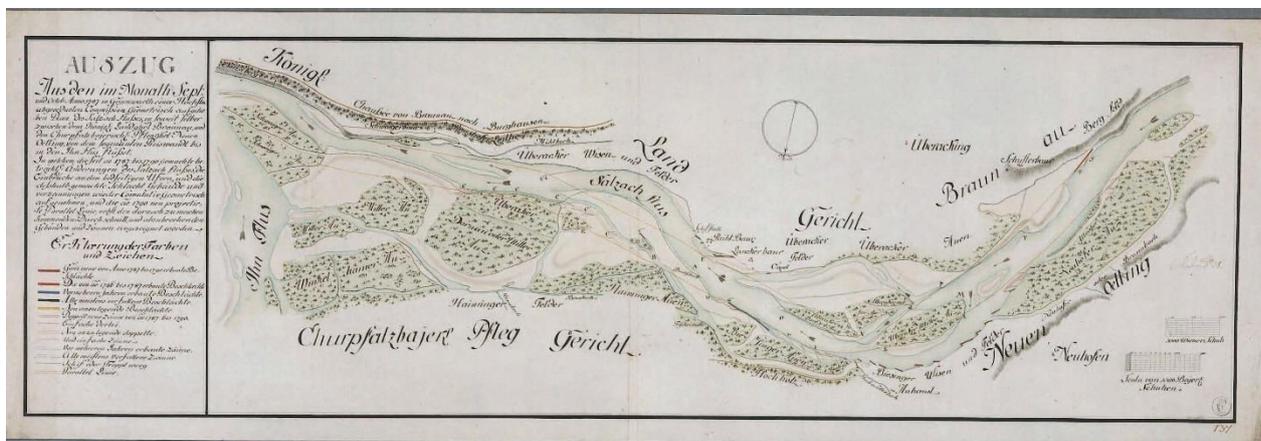


Abbildung 18: „Geometrischer Plan“ von 1787/90 im Gebiet der Salzachmündung in den Inn (Wiesbauer, 1999)

4.2. Grundsätzliches Vorgehen bei der historischen Modellierung

Die Methodik folgt der erfolgreich von Skublics (2014) angewandten Methodik für die Untersuchungen der Hochwasserretention an der bayerischen Donau. Eine allgemeine Analyse mit Archivrecherche und Sichtung des historischen Materials vor Bau der Staustufen für das gesamte Flusssystem in früherer Zeit lieferte auch für Inn und Salzach die Grundlage. Für eine detailliertere Modellierung müssen aber einige Randbedingungen, für die nur unzureichende Informationen zu finden waren, abgeschätzt werden.

Der historische Verlauf des Inns wurde aus topographischen Karten von Anfang des 19. Jahrhunderts (s.o.) rekonstruiert. Diese geben den unbeeinflussten Verlauf und ergänzend teils den soweit geplanten begradigten Verlauf wieder. Die Karten wurden meist bereits von den Vermessungsämtern georeferenziert und stimmen trotz der naturgemäß unpräziseren Vermessungsmethoden der damaligen Zeit sehr gut zu den heute noch sichtbaren Strukturen der Landschaft.

Auf bayerischer Seite wurden großteils die sogenannten Urpositionsblätter (Beispiel Abbildung 19) verwendet. In Teilbereichen konnten frühere Kartenwerke⁶ aufgefunden und für die Modellierung herangezogen werden. Sofern diese nicht genau genug georeferenziert werden konnten, wurden die etwas jüngeren Karten und der daraus erstellte Flussschlauch damit zumindest plausibilisiert. Auf österreichischer Seite stammten die verwendeten Karten v.a. aus der zweiten (Franziseischen) Landesaufnahme von 1801/1805 und 1816/1821 und wurden anhand von Klöstern, Kirchen und markanten Geländestrukturen georeferenziert.

⁶ Die hervorragenden und auch von Skublics (2014) verwendeten Karten des Adrian von Riedl (bspw. 1796), der sich zum Ziel gesetzt hatte, das gesamte bayerische Flusssystem zu kartieren, konnte nur für einen Teil des Inns genutzt werden, da der Autor vor Fertigstellung verstarb.



Abbildung 19: Ausschnitt der historischen Karten auf deutscher Seite von 1818 (Quelle: Vermessungsverwaltung, o.D.), aus (Pieper 2018)



Abbildung 20: Ausschnitt der historischen Karten auf Tiroler Seite von 1801/1821 (Quelle: tiris, 2018), aus (Pieper 2018)

Die Topographie (also das Gelände ohne Flussschlauch) wurde grundsätzlich aus dem heutigen Zustand übernommen. Allerdings wurden sämtliche anthropogene Strukturen (Bruchkanten) „eingeebnet“, z. B. die Infrastruktur wie Autobahn, Straße, Bahn, aber auch Deiche und Stauhaltungsdämme. Auch Entwässerungsgräben und Nebengewässer, soweit diese in den historischen Karten nicht ersichtlich waren, wurden „zugeschüttet“. Die Sohlen dieser Strukturen sind i.d.R. zur heutigen Sohlage des Hauptgewässers eingetieft. Auch das heutige Gerinne von Inn und Salzach mussten eingeebnet werden, da der heutige begradigte Lauf in aller Regel nicht mit den ursprünglichen Mäandern übereinstimmte. Besondere Probleme bereitete dabei die Tatsache, dass sowohl Inn als auch Salzach heute oftmals über dem Gelände liegen. Beim Inn betrifft dies die Vorländer außerhalb des Hauptgerinnes sowie die ausgedehnten Stillwasserflächen am unteren Inn, in welchen das transportierte Feinmaterial über den Lauf der Jahrzehnte sedimentierte. An der Salzach bereiteten die teils massiven Uferrehnen Probleme, welche großräumig einzuebnen waren. Die erforderliche händische Nacharbeit war äußerst zeitaufwändig und aufgrund der erforderlichen „Expertenschätzung“ zum ursprünglichen Flussschlauch auch in gewisser Weise subjektiv. Die korrekte Abbildung der Sohlage des historischen Flussschlauchs war einer der kritischsten Punkte bei der Modellierung. Dies wird im folgenden Kapitel 4.3 ausgeführt.

4.3. Abschätzung der Sohlage um 1800

Die korrekte Abbildung der Sohlage des historischen Flussschlauchs war einer der kritischsten Punkte bei der Modellierung und stellt aufgrund der wenigen verfügbaren Daten eine große Unsicherheitsquelle dar. Die Sohlage änderte sich im Lauf der Jahrhunderte deutlich, was auf Veränderungen des Sediment-/Geschiebeeintrags und der erfolgten Rektifikation (Begradigung) ab etwa 1820 sowie später auch der Errichtung der Stauwehre zurückzuführen ist. Die Abschätzung der Eintiefungen der Sohle bis zur späteren Wiederauflandung in den Stauräumen konnte nur punktuell für Stützstellen ermittelt werden (z. B. langjährige Pegel). Da für den historischen Zustand des Inns keine Querprofile in regelmäßigen Abständen zur Verfügung standen, teils überhaupt keine zeitlich passenden Querschnitte, konnte der Flussschlauch nicht durch Uferlinien und Querprofile erzeugt werden. Die ältesten Querprofile waren i.d.R. die „Urpeilungen“ beim Bau der Staustufen am Inn.

Daher wurde ein Trapezprofil für das historische Flussbett des Inns und der Salzach angesetzt, wobei die Sohle als nicht variabel über die Breite angenommen wurde. In Flusskrümmungen bedeutet dies z. B. eine zu hohe Sohlage am Prallhang und eine zu niedrige auf der Innen-

seite. Die Höhenlage der Sohle wurde anhand von längs der Fließrichtung erstellten Stützstellen ermittelt⁷. Die Stützstellen lagen dabei z. B. bei früheren und heutigen Pegelmessstellen (siehe oben) oder topographischen Zwangspunkten (bspw. Einschnürungen wie Vornbacher Enge, Nonnreiter Enge, bei Neuötting, Mündung von Alz, Laufen). Sofern keinerlei Informationen rekonstruierbar waren, wurde die Sohle je nach Breite des Flusses an der Stelle auf 2 bis 3,5 m unterhalb der heutigen beziehungsweise rekonstruierten Geländehöhe gesetzt.

Für das Modell wurden dann alle Uferlinien und Inseln in den historischen Karten nachgezeichnet. Diese Uferlinien erhielten meist die Höhenlage des umgebenden Geländes. Die Knoten der Flusssohlen wurden dann entsprechend der ermittelten Sohlhöhen an den Stützstellen flächig angepasst. Punktuelle und händische Nachbearbeitung erforderten z. B. seitliche Zuflüsse, Inseln und stark gekrümmte Abschnitte.

Aufgrund der ständigen Veränderung sowohl der Lage als auch der Höhe der Fließrinnen konnte es nicht Ziel sein, „die genaue historische Gewässersohle zu erarbeiten, sondern sich nachvollziehbar an die historischen Verhältnisse anzunähern und ein mögliches Szenario zu erhalten“ (Pieper 2018). Eine mögliche Topographie im Vergleich zeigt Abbildung 23.

⁷ Dazu wurden die in verschiedenen studentischen Arbeiten ermittelten Werte vereinheitlicht: Bauer 2016, Gröll 2016, Horwath 2017, Pieper 2018, Kretschmer 2018, Leber 2018, Baldauf 2019.

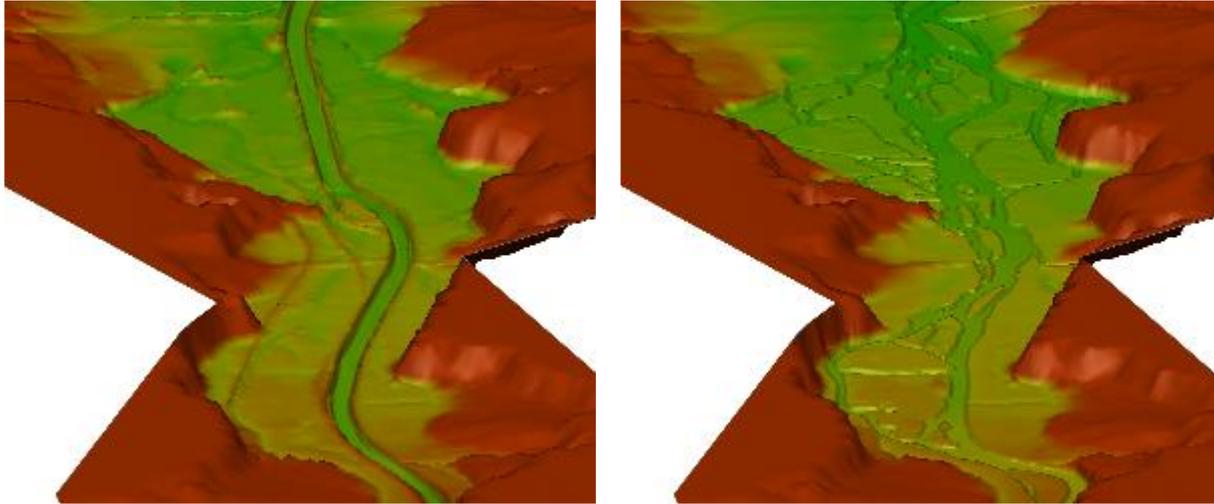


Abbildung 23: Inn im heutigem Zustand (links) und um das Jahr 1800 (rechts) im Bereich Stauraum Nußdorf

Zusammenfassend ist in Tabelle 8 die Fließstrecke (entlang der Hauptgerinneachse) und das Gefälle gegeben. Die Fließstrecken haben sich im Vergleich zum unbeeinflussten Zustand am Inn um 8 % (Modell a), 1 % (Modell b) und 6 % (Modell c) verkürzt und an der Salzach um etwa 8 %. Man sieht, dass die Gefälle über die gesamten Teilabschnitte hinweg sich zwischen historischem und heutigem Zustand nicht stark verändert haben. Die Auswertung ist allerdings von den Bezugshöhen zu Beginn und Ende der Modelle beeinflusst: Beispielsweise wurde der erste Stützpunkt im Unterwasser der Staustufe Oberaudorf, d.h. im heute deutlich eingetieften Zustand gesetzt. Die Höhendifferenz zur Oberwassersohle des Wehrs Oberaudorf ist etwa 11 m, die historische Sohlage liegt in etwa 3 m über der heutigen Sohle im Unterwasser. Berücksichtigt man die Unstetigkeiten an den Staustufen, ist das Gefälle im heutigem Zustand in den Stauräumen aufgrund der aufgelandeten Sohle deutlich geringer, teils null. Insgesamt ist das Gefälle auch im historischen Zustand natürlicherweise variabel über den Längsschnitt, da die Sohlagen an bestimmten Fixpunkten (Pegel, Mündungen von größeren Zuflüssen und Engstellen) „aufgehängt“ wurden.

Tabelle 8: Fließlängen und Sohlgefälle in den 2D-HD-Modellen im Referenzzustand und Zustand 1800

	Fließstrecke Referenz [km]	Fließstrecke 1800 [km]	Gefälle Referenz [‰]	Gefälle Referenz * [‰]	Gefälle 1800 [‰]
a Inn, Oberaudorf bis Wasserburg	52	55	0.80	0.18	0.82
b Inn, Wasserburg bis Stammham	83	85	0.82	0.18 1.14 **	0.83
c Inn, Stammham bis zur Mündung in die Donau	70	80	0.81	0.24	0.77
d Salzach, ab der Saalach-Mündung inkl. Mündung in den Inn	59	64	0.90	1.00 ***	0.96 ***

* Berücksichtigung der Sprünge an den Staustufen

** Restwasserstrecke

*** nur bis BGHA, da unterstrom Stauraum GBS

4.4. Materialbelegung und Rauheitsbeiwerte im historischen Modell

Für den historischen Zustand des Inns liegen keine flächig verwertbaren Abflussganglinien oder Fixierungen vor. Von Schiller (1977) werden zwar rekonstruierte Abflussganglinien dargestellt, allerdings betreffen auch diese Hochwasserereignisse (z. B. 1899) nach Beginn der planmäßigen Regulierungsmaßnahmen. Eine „klassische“ Kalibrierung mithilfe einer Variation der Sohlrauhigkeit konnte daher nicht durchgeführt werden. Vielmehr wurde die Sohlrauhigkeit anhand von Angaben aus der Literatur abgeschätzt. Die Bandbreite wurde zum Beispiel anhand der Sedimentuntersuchungen im Stauraum Nußdorf eingegrenzt (ohne Transportkörper aus Feinsedimenten; Untergrund: Sand 15 – 47 %, Kies 50 – 70 %, Steine bis 13 %, Korndurchmesser d_{90} der Kiesfraktion etwa 40 mm). Sensitivitätsanalysen wurden für verschiedene Stricklerwerte durchgeführt (25 – 35 $m^{1/3}/s$).

Im Ist-Modell wurde die Landnutzung komplett von ATKIS und CORINE übernommen. Für die Landnutzung im historischen Modell wurden aus den ATKIS und CORINE Daten nur die Waldflächen übernommen (Annahme: dort wo heute Wald ist, war auch um 1800 Wald). Die Waldflächen, die zusätzlich auf den historischen Karten zu erkennen sind, wurden ergänzt. Als weitere Landnutzungen wurden Siedlungsbereiche und Grünflächen definiert und aus den historischen Karten übernommen. Eine Unterscheidung zwischen Acker- und Grünflächen anhand der historischen Karten war ohne sehr eingehender und damit aufwändiger Untersuchungen praktisch kaum zu treffen, da sich die Schraffuren innerhalb einer Karte kaum unterschieden und wohl zwischen den verschiedenen Zeichnern kein „Konsens“ herrschte. Diese Flächen wurden daher meist zusammengefasst. Im historischen Modell wurden keine Straßen abgebildet, da diese um 1800 nur eine untergeordnete Rolle auf den Hochwasserabfluss haben sollten (nicht asphaltiert, i.d.R. nicht in signifikanter Dammlage oder Einschnitt).

Die im historische Modell berücksichtigten Landnutzungen sind also: Sohle, Böschung, Kiesbank, Grünland, Siedlung und Wald. Abbildung 24 und Abbildung 25 zeigt den Unterschied zwischen heute und etwa dem Jahr 1800.

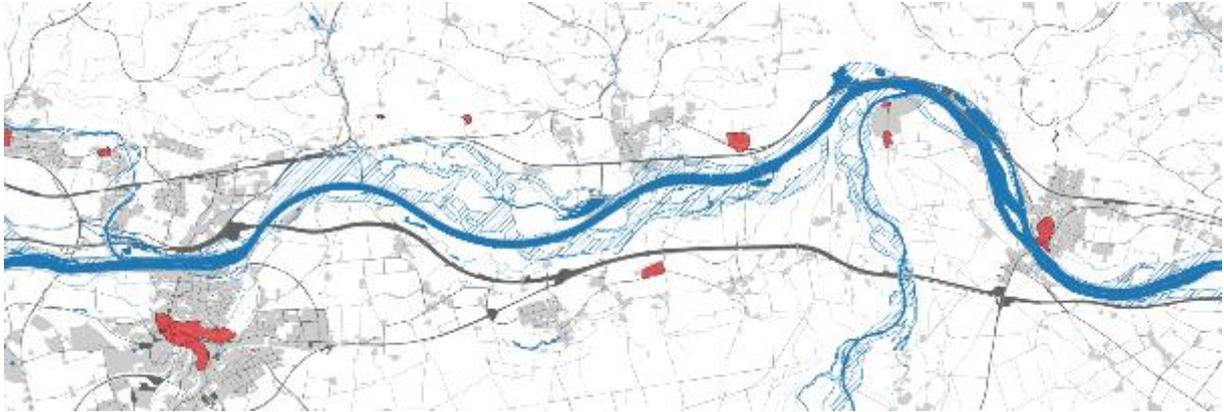


Abbildung 24: Inn zwischen Neuötting und Stammham. Grau: Infrastruktur und Siedlungsfläche heute, rot: Siedlungen um das Jahr 1800; blau: Inn und sonstige Gewässer heute, blau schraffiert: Inn um das Jahr 1800

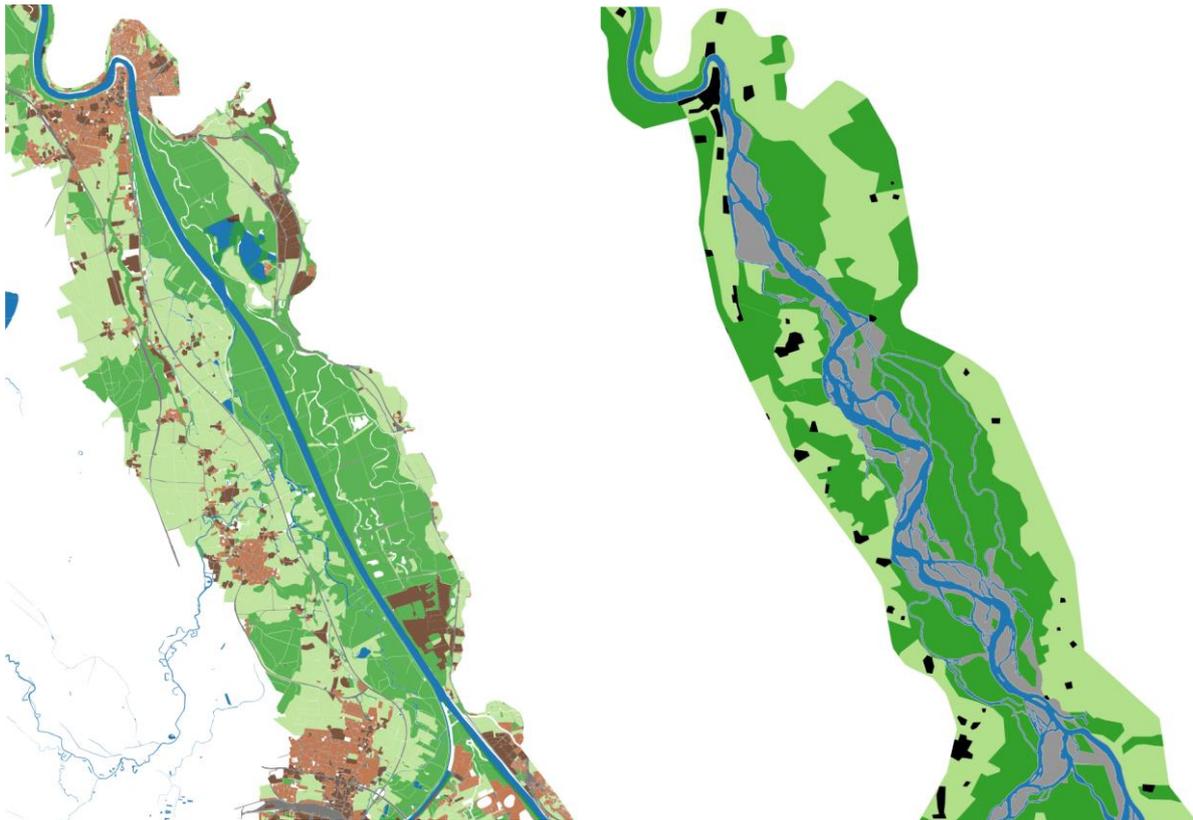
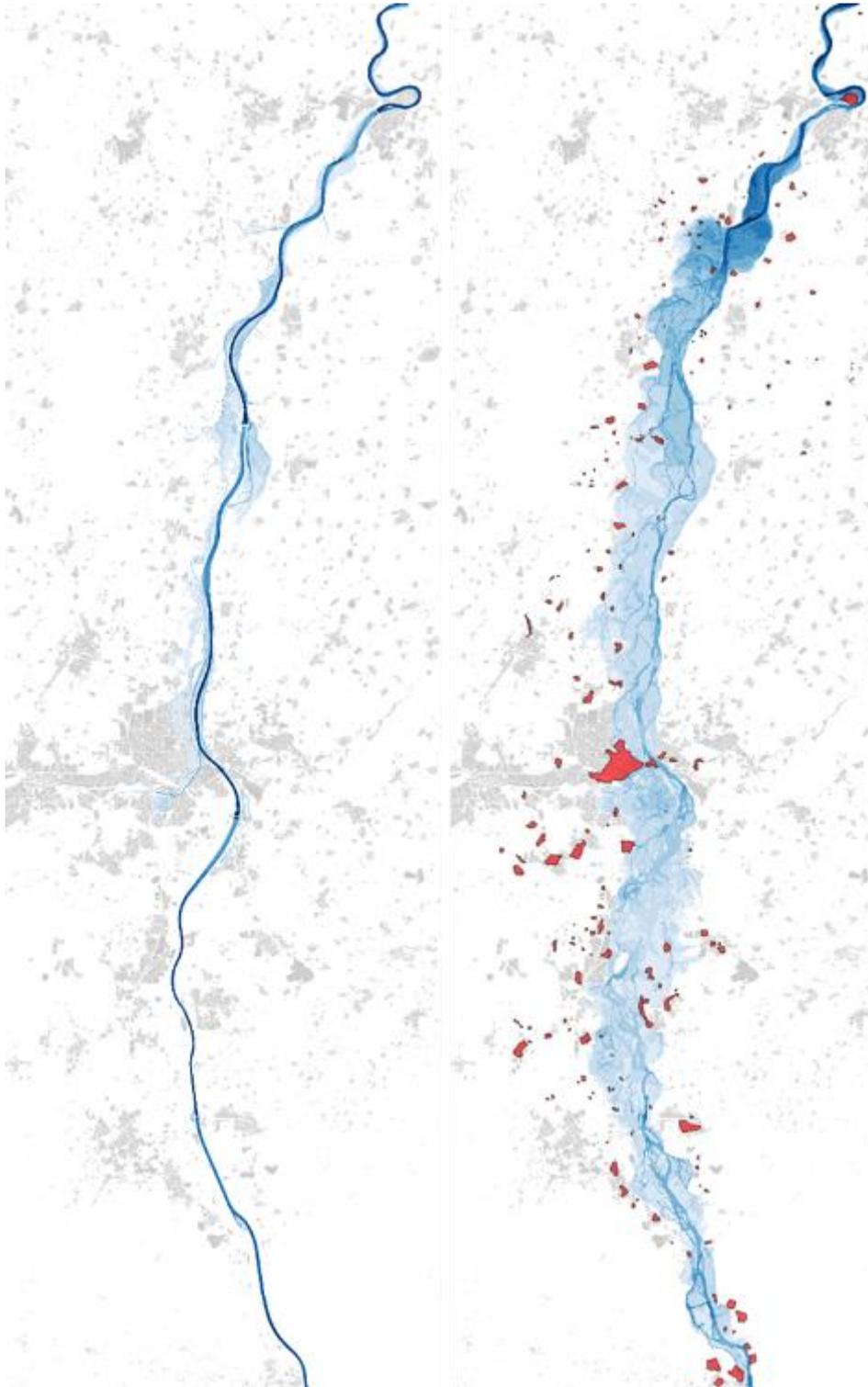


Abbildung 25: Landnutzung im Freilassinger Becken und Verlauf der Salzach heute (links) und 1800 (rechts). Blau: Gewässer, braun/schwarz: Bebauung (und Industrieflächen), hellgrün: landwirtschaftliche Flächen, dunkelgrün: Wald

4.5. Simulation abgelaufener Hochwasser im Zustand 1800 zur Identifizierung potentiell reaktivierbarer Rückhalteräume

Die in diesem Kapitel geschilderte Modellierung des Zustand 1800 diente in einem ersten Schritt vor allem der Identifizierung potentiell reaktivierbarer Rückhalteräume (nach Methode in Kapitel 6.1). Dafür werden die Überschwemmungsgebiete im heutigen Zustand und Zustand 1800 miteinander verglichen. Da zum Zeitpunkt der Standortsuche für Kapitel 6 die Simulationen der stochastischen Wellen noch nicht vorlagen, wurde für den Vergleich auf die zwei abgelaufene Hochwasserereignisse in der Größenordnung etwa HQ_{100} (2005 am oberen Inn und 2013 an der Salzach und am unteren Inn) zurückgegriffen. Nachfolgend wird auszugsweise für einige Abschnitte ein Vergleich der Überflutungsflächen gezeigt. Weitergehende Auswertungen mit diesen Hochwasserwellen wurden nicht durchgeführt. Diese Analysen zur Veränderung der Abflussscheitel und Laufzeiten der Hochwasserwellen erfolgen mit der größeren Bandbreite der stochastisch generierten Wellen in Kapitel 5. Die Zuflüsse sind jeweils identisch in beiden Modellzuständen, um die Ergebnisse direkt vergleichen zu können.



**Abbildung 26: Inn heute und früher zwischen Oberaudorf und Wasserburg, Hochwasserereignis 2005.
Links: Topographie und Inn heute, rechts: um 1800, grau: Siedlungsfläche heute, rot: Siedlungsfläche um
1800 (nur Modellgebiet)**

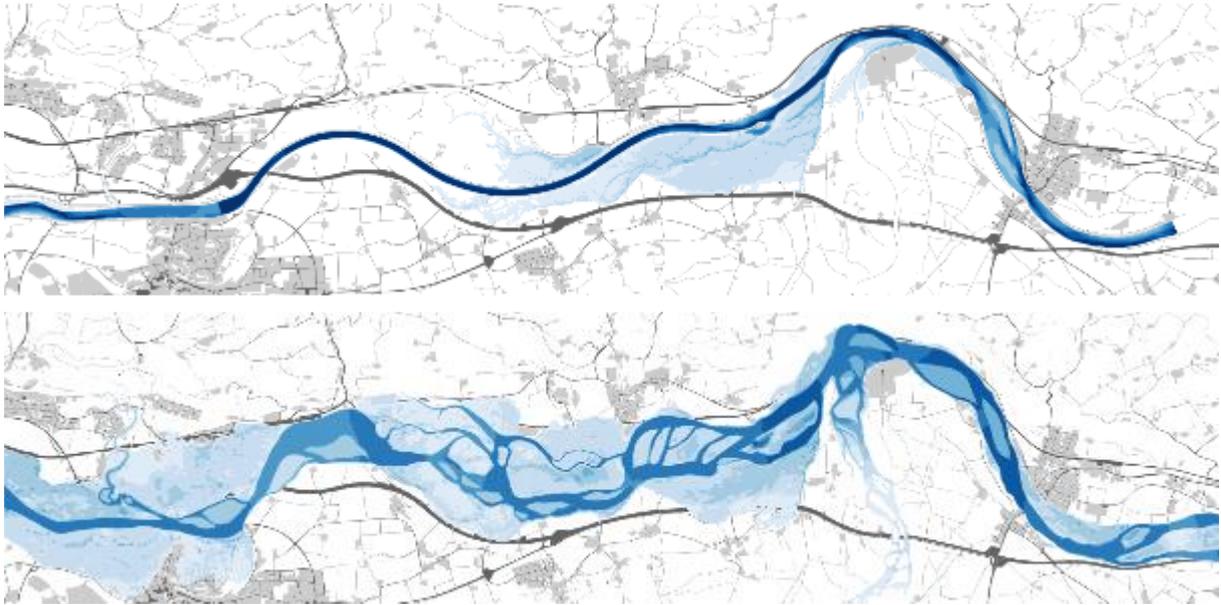


Abbildung 27: Inn heute und früher zwischen Neuötting und Stammham, Topographie und Inn heute, Hochwasserereignis 2005. Oben: Topographie und Inn heute, unten: um 1800, grau: Siedlungsfläche heute

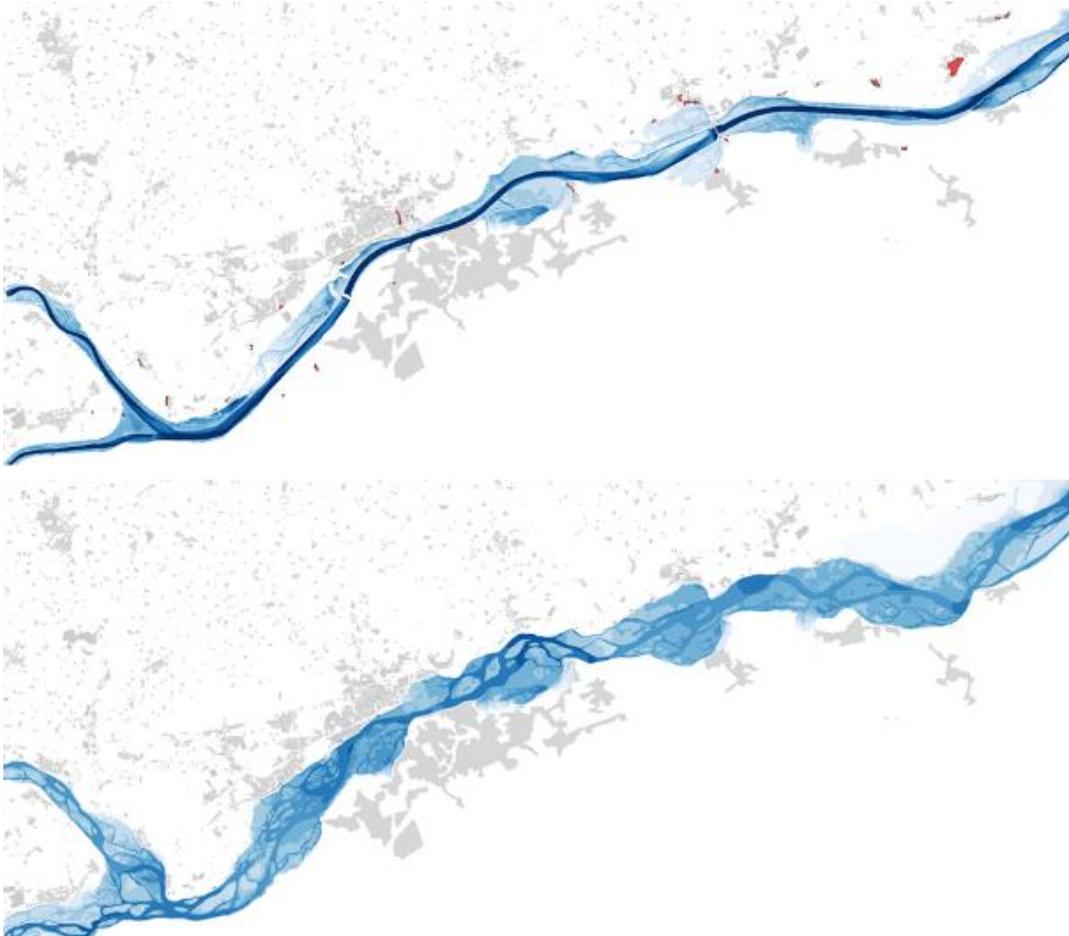


Abbildung 28: Inn heute und früher zwischen der Salzachmündung und Eggfling, Simulation mit Hochwasserereignis 2013. Oben: Topographie und Inn heute, unten: um 1800, grau: Siedlungsfläche heute, rot: Siedlungsfläche um 1800 (nur Modellgebiet)

5. Vergleich der Hochwasserabläufe im historischen und im Referenzzustand

5.1. Verwendete Hochwasserwellen für den Vergleich

Es wurden die stochastisch generierten Wellen des TP A verwendet, welche in Kapitel 7.1 genauer vorgestellt werden. Für alle Simulationen wurden die Zuflüsse aus dem Referenzzustand unverändert übernommen.

5.2. Auswertung der Simulationen

Die Auswertung der Simulationen erfolgt vergleichbar zur Wirkungsanalyse vor allem nach Differenz der Abflussscheitel und Laufzeiten der Hochwasserwellen. Der Großteil der Auswertungen bezieht sich auf die drei Pegel WABG (oberer Inn), BGHA (Salzach) und PING (unterer Inn), welche zur Übersicht in Abbildung 29 zu finden sind.

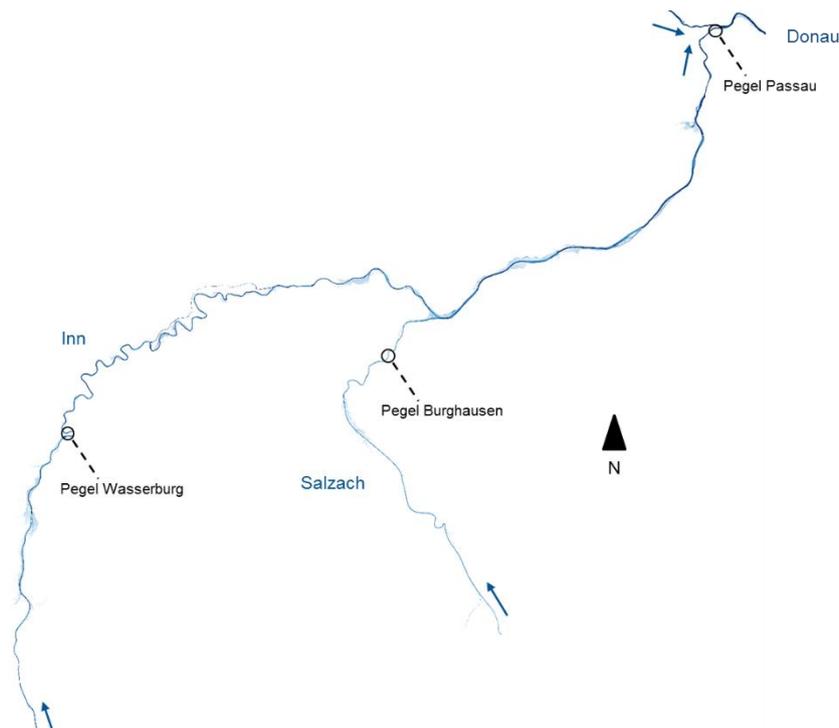


Abbildung 29: Übersicht über die Lage der drei maßgebenden Pegel im Untersuchungsgebiet: Wasserburg am Inn (WABG), Burghausen an der Salzach (BGHA) und Passau-Ingling am Inn (PING)

Die absolute Scheitelreduktion ist dabei definiert als die Differenz zwischen Abflussscheitel im Referenzzustand und Abflussscheitel im Zustand 1800 (Gl. 2). Die relative Scheitelreduktion ist die absolute Scheitelreduktion bezogen auf den Referenzzustand (Gl. 3). Die Veränderung der Laufzeiten der Hochwasserwellen ergibt sich aus der Differenz der Zeitpunkte des jeweiligen Abflussscheitels (Gl. 4).

$$dQ_{abs} = Q_{max,1800} - Q_{max,Ref} \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (2)$$

$$dQ_{rel} = \frac{dQ_{abs}}{Q_{max,Ref}} [\%] \quad (3)$$

$$dt = t(Q_{max,1800}) - t(Q_{max,Ref}) [h] \quad (4)$$

5.3. Wirkung eines historischen Zustands auf die Hochwasserwellen und Scheitelveränderung an den maßgeblichen Pegeln

Nachfolgend werden für die wichtigen Pegel im Untersuchungsgebiet die Hochwasserwellen im Referenzzustand und Zustand 1800 (Abbildung 30, Abbildung 31 und Abbildung 32) sowie die daraus resultierenden Scheitelveränderungen (dQ und dt) dargestellt (Tabelle 9 und Abbildung 33). Da die Hochwasserwellen zwischen den Teilmodellen a, b, c und d übergeben wurden, bedeutet dies, dass in den Teilabschnitten b und c auch die Retentionswirkung der oberstromigen Teilabschnitte (a oder a, b und d) „enthalten“ ist. Nicht enthalten sind die Wirkungen aller Fließstrecken außerhalb des Projektgebiets, vor allem also des Inns oberstrom der Landesgrenze zu Bayern, der Saalach oberstrom des Pegels Siezenheim, der Salzach oberstrom von Salzburg sowie aller sonstigen Zuflüsse wie bspw. Mangfall, Isen, Alz, Ach, Antiesen, Osternach, Rott und Pram. Somit ergeben sich bei Ereignissen, in denen die Inn-Welle durch diese seitlichen Zuflüsse geprägt wird, größere Unschärfen aufgrund der potentiell veränderlichen Wellenüberlagerungen.

Abbildung 30 zeigt die Abflussganglinien für alle stochastischen Ereignisse für den oberen Inn an den Pegeln ROIN, WABG und MUDF⁸. Zu beachten ist, dass der Pegel MUDF in der Restwasserstrecke liegt und daher im Referenzzustand nicht den Abflussanteil im Werkkanal enthält. Dies ist bei der Betrachtung der Scheiteldifferenzen entsprechend zu berücksichtigen. Der Zeitpunkt des Wellenscheitels ist davon nicht beeinflusst, da der Werkkanal im Modell mit konstantem Zufluss beaufschlagt wird. Man erkennt die starke Laufzeitveränderung an allen drei Pegeln, eine Dämpfung der Hochwasserscheitel ist aus den Ganglinien nur schwach zu erkennen. Ergänzend wurden für den Pegel WABG die relativen Differenzen der Abflussscheitel in Abbildung 33 über den Scheitelabfluss im Referenzzustand aufgetragen. Daraus lässt sich sehen, dass mit zunehmenden Abflüssen die Reduktionen vom Zustand 1800 geringer werden; beim größten Ereignis E4852 ist der Abflussscheitel im heutigen Referenzzustand sogar geringer als im Zustand 1800. Die größte Reduktion stellt sich beim E0955 (im Referenzzustand etwa $HQ_{20} - HQ_{30}$) ein und beträgt -15,3 %. Für größere Ereignisse als HQ_{30} scheinen sich die Differenzen unter -5 % zu bewegen. Zusätzlich wurden für den oberen Inn

⁸ Diese und weitere Abkürzungen finden sich auch im Abkürzungsverzeichnis.

die Wellenlaufzeiten ausgewertet (Abbildung 34). Die maximale Differenz betrug dabei 25 h, bei diesem Ereignis trifft der Wellenscheitel im Referenzzustand schon nach etwa 10 h am Auswertequerschnitt auf Höhe der (heutigen) Staustufe Stammham (ITM, kein offizieller Pegel) oberstrom der Salzachmündung ein und damit nur nach etwa einem Drittel der Zeit.

Abbildung 31 zeigt die Abflussganglinien für alle stochastischen Ereignisse für den unteren Inn an den Pegeln und Querschnitten ITM, BRAU und PING. Ergänzend wurde Pegel BGHA für die Wellenüberlagerung dargestellt. Die größten (absoluten) Differenzen der Scheitelabflüsse für den Querschnitt unterstrom der Salzachmündung (Pegel BRAU) ergaben sich bei den Ereignissen E0955 (am Pegel PING im heutigen Zustand etwa $HQ_{50} - HQ_{100}$), E3420 (etwa HQ_{50}) und E4664 (etwa $HQ_{10} - HQ_{20}$), welche inng geprägt sind oder bei denen sich die Wellenscheitel von Inn und Salzach im Referenzzustand fast überlagern. Da die Hochwasserwelle des Inn deutlich stärker als die der Salzach (siehe folgender Absatz) verzögert und verformt wurde, entzerren sich in diesen Fällen also die Wellenscheitel und führen damit zu großen Differenzen zwischen Referenzzustand und Zustand 1800. Im weiteren Verlauf verändert sich die Scheiteldämpfung zwischen Braunau und Passau meist nicht mehr stark, nur die Wellenlaufzeit (Tabelle 9 und Abbildung 35) steigt weiter an. Dies ist vermutlich zum einen auf die unterschiedlichen Überlagerungen mit den Zuflüssen Rott und Pram sowie auf den Rückstau der Vornbacher Enge zurückzuführen. Bei extremen Ereignissen führt im heutigen Zustand die Verengung des Fließquerschnitts nach Schärding zu einem Aufstau in das noch vorhandene Überschwemmungsgebiet linksseitig des Inns vor Neuhaus. Diese Situation war im historischen Zustand identisch, so dass hier keine zusätzliche Retention im Vergleich mit dem heutigen Zustand herrschte.

Abbildung 32 und Abbildung 33 zeigt, dass die Scheitelreduktionen von einem Zustand 1800 zu einem heutigen Referenzzustand an der Salzach am Pegel BGHA nur etwa zwischen 1 und 5 % betragen (ausgenommen 2 Ereignisse $< HQ_5$). Auch die Differenzen der Scheitellaufzeiten (Abbildung 36) zwischen Modell-Zulauf und BGHA unterscheiden sich v.a. bei sehr großen Ereignissen nicht sehr stark. Dies ist auf den bereits im heutigen Zustand ab etwa HQ_{30} (z. B. Ettenau) stark beanspruchten Retentionsraum zurückzuführen, wodurch im historischen Zustand keine wesentlichen zusätzlichen Retentionsräume aktiviert wurden. Zudem gibt es auch hier Rückstauereffekte durch die Laufener Enge und die Schluchtstrecke unterhalb des Tittmoringers Beckens, welche in beiden Zuständen auftreten. Im Vergleich der Differenzen der Scheitelabflüsse dQ und Scheitelzeitpunkte dt an den beiden Pegeln Laufen und Burghausen in Tabelle 9 ist zu erkennen, dass zumeist der Hauptanteil der Verminderung und Verzögerung (1800 zu heute) schon im Freilassingener Becken auftritt.

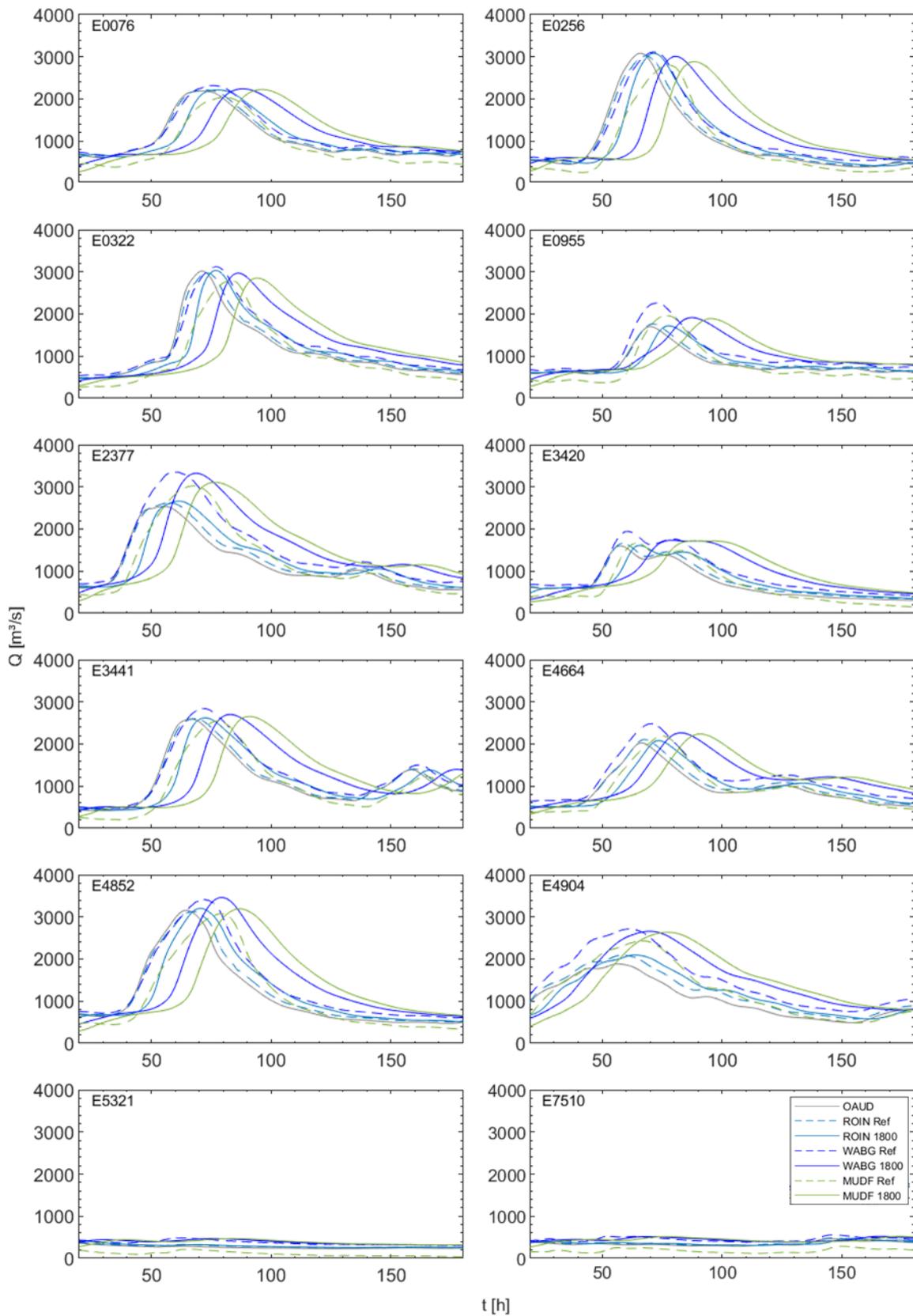


Abbildung 30: Vergleich der Hochwasserwellen im Referenzzustand und Zustand 1800 am oberen Inn an den Pegeln Rosenheim o.d.M (ROIN), Wasserburg (WABG) und Mühldorf (MUDF). Die verwendeten Hochwasserwellen (Ereignis E...) werden in Kapitel 7.1 beschrieben

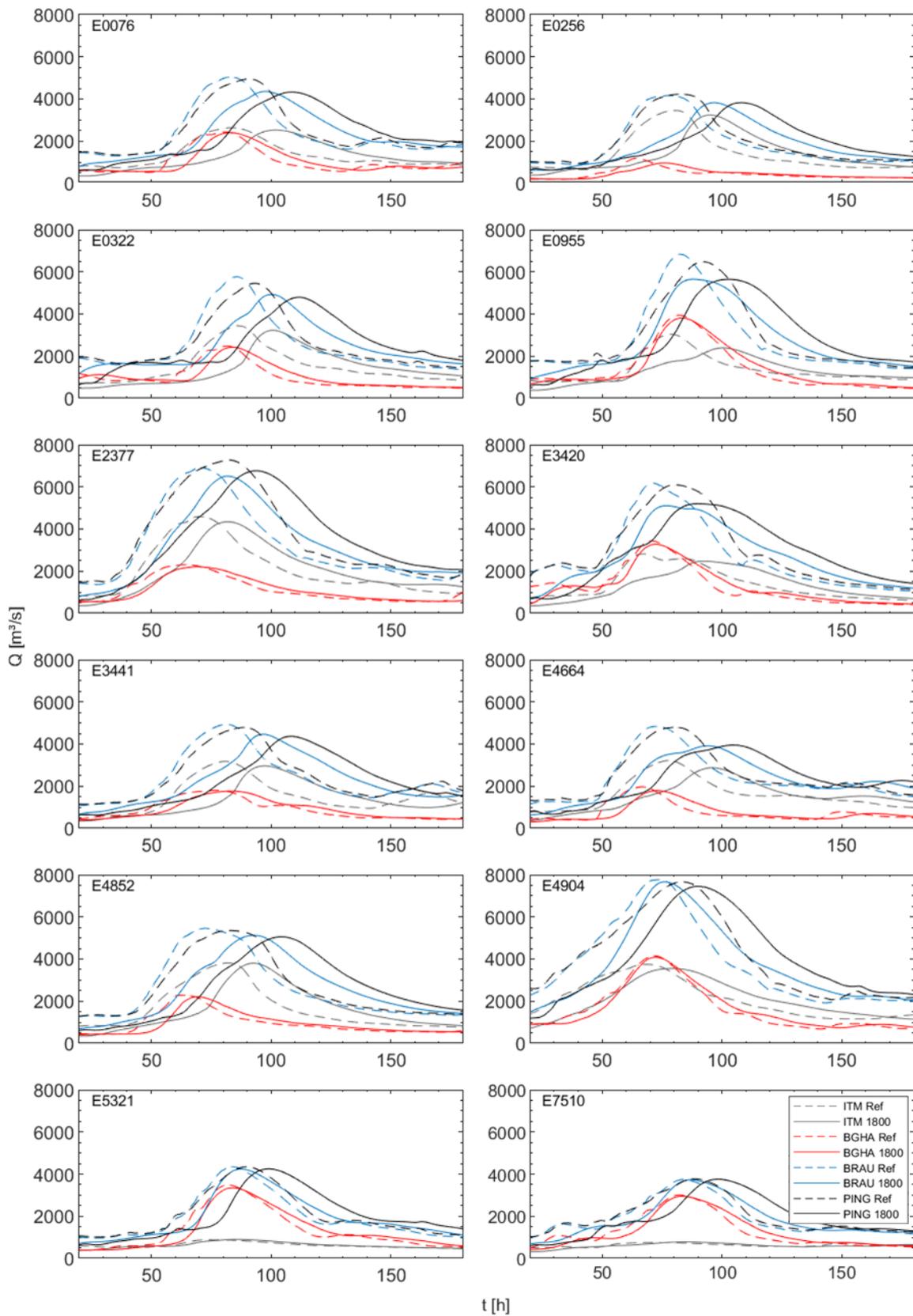


Abbildung 31: Vergleich der Hochwasserwellen im Referenzzustand und Zustand 1800 am unteren Inn am Querschnitt Stammham (ITM) und an den Pegeln Burghausen (BGHA), Braunau (BRAU) und Passau-Ingling (PING). Die verwendeten Hochwasserwellen (Ereignis E...) werden in Kapitel 7.1 beschrieben

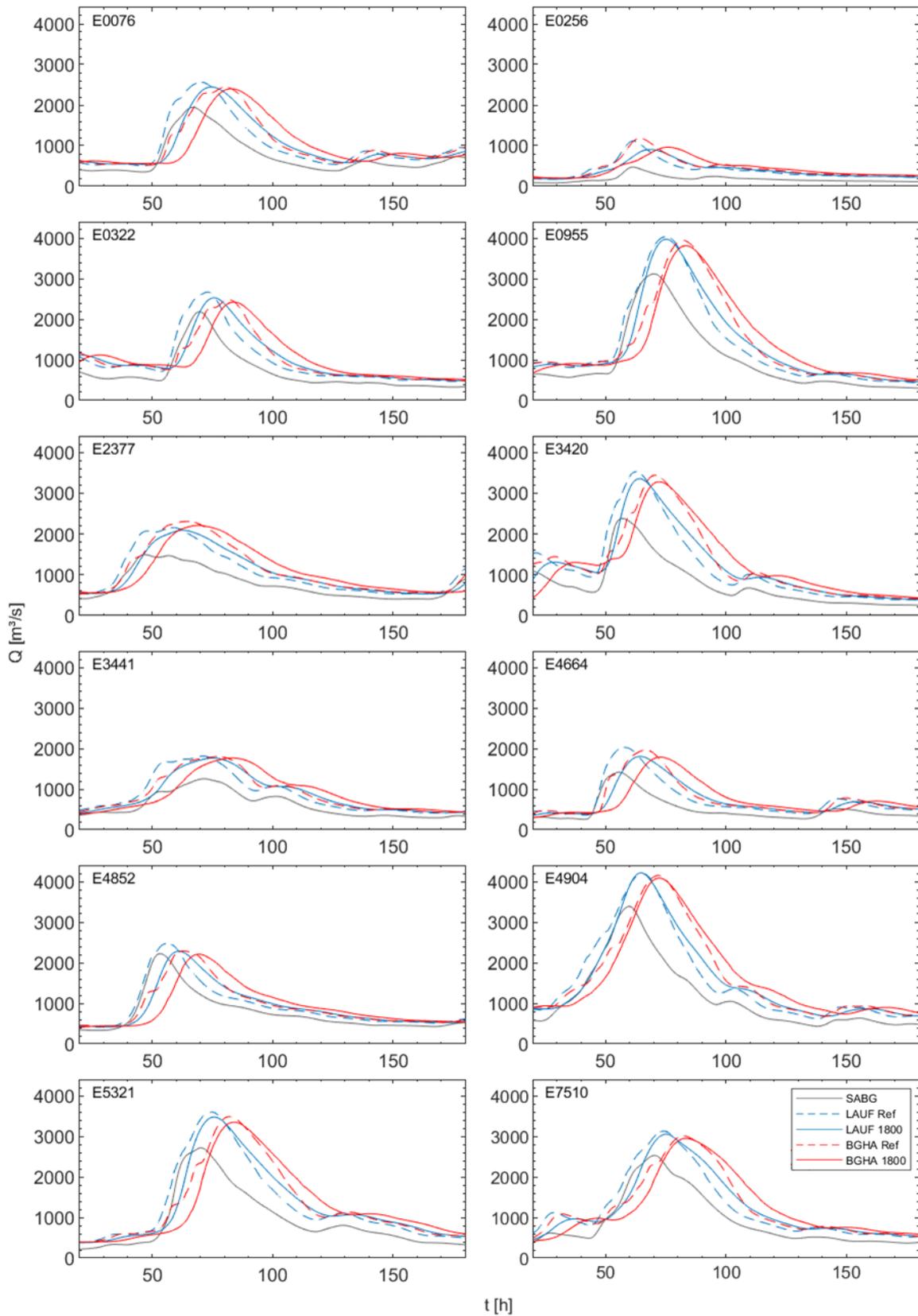


Abbildung 32: Vergleich der Hochwasserwellen im Referenzzustand und Zustand 1800 an der Salzach an den Pegeln Laufen (LAUF) und Burghausen (BGHA). Die verwendeten Hochwasserwellen (Ereignis E...) werden in Kapitel 7.1 beschrieben

Tabelle 9: Vergleich zwischen Referenzzustand und Zustand 1800 für verschiedene Pegel und Auswertquerschnitte entlang Inn und Salzach. Die verwendeten Hochwasserwellen (Ereignis E...) werden in Kapitel 7.1 beschrieben

		ROIN Rosenheim o.d.M.	WABG Wasserburg	MUDF Mühldorf *	ITM Schnitt Staufufe	BRAU Braunau	PING Passau	LAUF Laufen/ Oberndorf	BGHA Burghausen
E0076	dQ _{abs} [m ³ /s]	1	-77	-86	-112	-684	-626	-118	-39
	dQ _{rel} [%]	0.0	-3.3	-3.7	-4.2	-13.6	-12.6	-4.6	-1.6
	dt [h]	5	13	16	19	14	18	5	3
E0256	dQ _{abs} [m ³ /s]	61	-109	-185	-218	-339	-401	-212	-225
	dQ _{rel} [%]	2.0	-3.5	-6.0	-6.3	-8.1	-9.5	-19.0	-19.0
	dt [h]	3	9	10	16	19	26	7	12
E0322	dQ _{abs} [m ³ /s]	60	-153	-220	-217	-843	-663	-143	-57
	dQ _{rel} [%]	2.0	-4.9	-7.2	-6.3	-14.6	-12.1	-5.4	-2.3
	dt [h]	4	10	11	15	15	19	3	2
E0955	dQ _{abs} [m ³ /s]	-45	-347	-336	-644	-1187	-831	-66	-130
	dQ _{rel} [%]	-2.5	-15.3	-15.1	-21.2	-17.4	-12.8	-1.6	-3.3
	dt [h]	6	15	19	22	6	11	0	1
E2377	dQ _{abs} [m ³ /s]	36	-34	-183	-250	-399	-514	-64	-98
	dQ _{rel} [%]	1.4	-1.0	-5.6	-5.4	-5.8	-7.1	-3.0	-4.2
	dt [h]	4	10	8	11	11	12	4	5
E3420	dQ _{abs} [m ³ /s]	-51	-211	-212	-347	-1084	-895	-176	-160
	dQ _{rel} [%]	-3.1	-10.9	-11.0	-12.3	-17.5	-14.7	-5.0	-4.7
	dt [h]	7	18	24	25	6	9	2	2
E3441	dQ _{abs} [m ³ /s]	16	-141	-161	-212	-470	-420	-48	-33
	dQ _{rel} [%]	0.6	-5.0	-5.7	-6.7	-9.5	-8.8	-2.6	-1.8
	dt [h]	4	11	13	17	16	20	4	6
E4664	dQ _{abs} [m ³ /s]	-26	-220	-222	-343	-920	-844	-224	-178
	dQ _{rel} [%]	-1.2	-8.8	-9.0	-10.7	-19.0	-17.6	-11.0	-9.0
	dt [h]	6	12	16	18	22	24	7	6
E4852	dQ _{abs} [m ³ /s]	74	48	-152	-13	-331	-299	-192	-77
	dQ _{rel} [%]	2.4	1.4	-4.5	-0.3	-6.1	-5.6	-7.8	-3.4
	dt [h]	3	7	8	11	21	22	5	7
E4904	dQ _{abs} [m ³ /s]	3	-54	-65	-196	-94	-209	15	-66
	dQ _{rel} [%]	0.1	-2.0	-2.4	-5.2	-1.2	-2.7	0.4	-1.6
	dt [h]	6	9	10	10	3	8	-1	0
E5321 **	dQ _{abs} [m ³ /s]	44	-17	-19	18	-107	-96	-131	-137
	dQ _{rel} [%]	12.4	-3.5	-3.9	2.0	-2.5	-2.2	-3.6	-3.9
	dt [h]	0	13	17	11	4	10	1	2
E7510 **	dQ _{abs} [m ³ /s]	-11	-35	-38	28	-12	-17	-75	-61
	dQ _{rel} [%]	-2.3	-6.3	-6.8	3.7	-0.3	-0.5	-2.4	-2.0
	dt [h]	9	21	24	14	3	10	1	1

* im Referenzzustand mit Werkkanal Töging

** keine Welle am oberen Inn

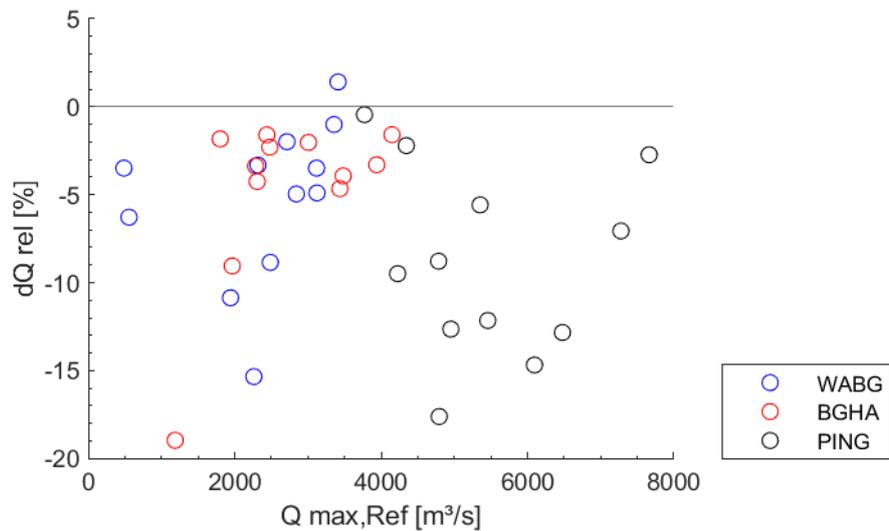


Abbildung 33: Relative Scheitelreduktion von Referenzzustand und Zustand 1800 an den drei maßgebenden Pegeln Wasserburg (WABG), Burghausen (BGHA) und Passau-Ingling (PING)

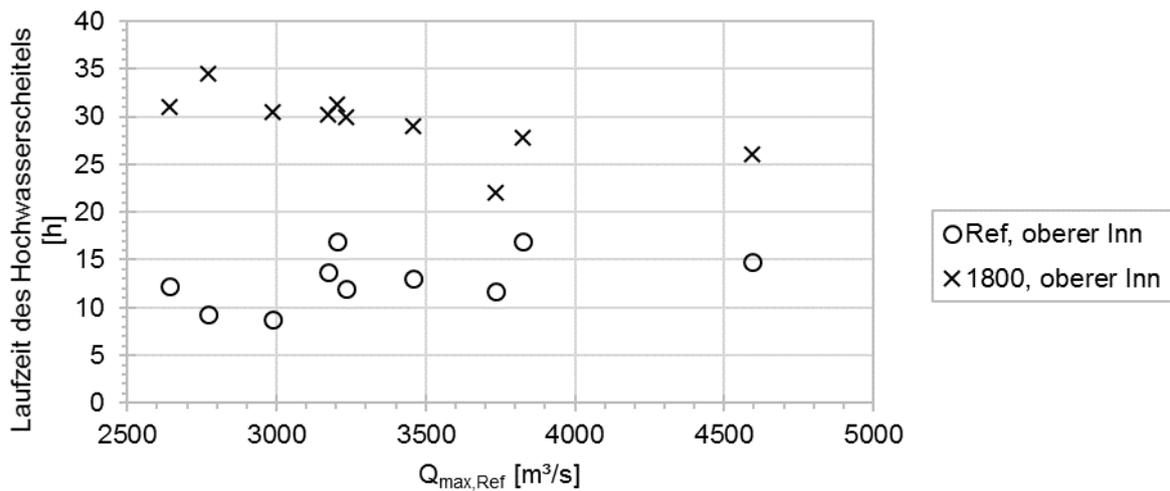


Abbildung 34: Gegenüberstellung der Fließzeiten von Referenzzustand und Zustand 1800 für den oberen Inn zwischen Oberaudorf (OAUD) und dem Auswertequerschnitt auf Höhe der heutigen Staustufe Stammham (ITM)

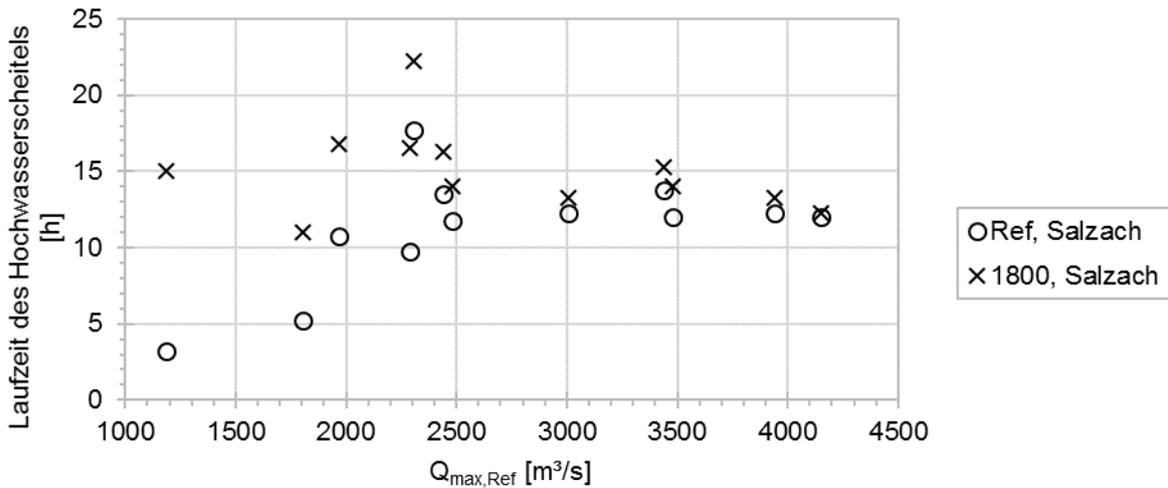


Abbildung 35: Gegenüberstellung der Fließzeiten von Referenzzustand und Zustand 1800 für die Salzach zwischen Salzburg (SABG) und Burghausen (BGHA)

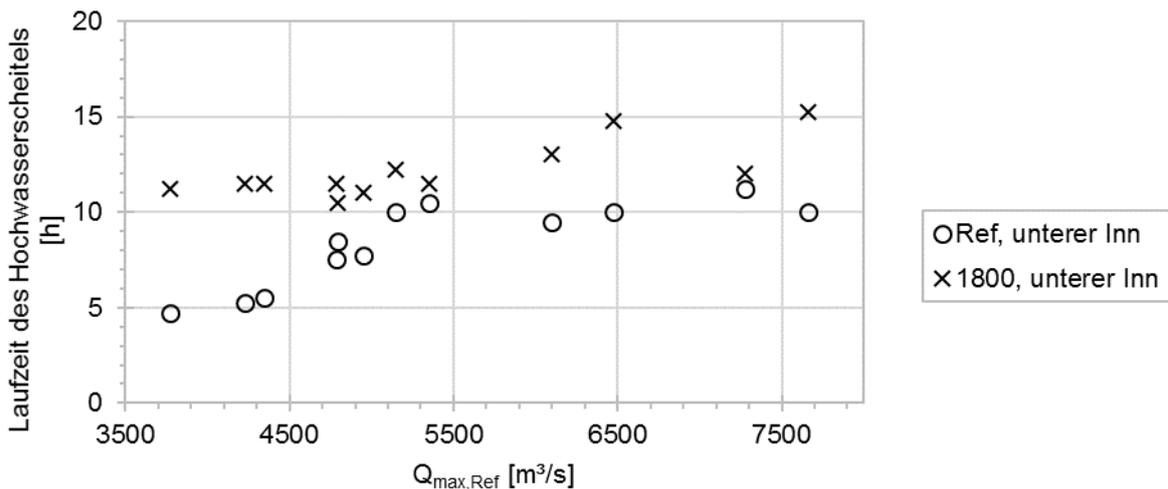


Abbildung 36: Gegenüberstellung der Fließzeiten von Referenzzustand und Zustand 1800 für den unteren Inn zwischen Braunau (BRAU) und Passau-Ingling (PING)

5.4. Einfluss seitlicher Zubringer auf den Hochwasserablauf im Zustand 1800

In einer kleinen Untersuchung (Giehl und Rutschmann 2019) wurde zusätzlich der Einfluss seitlicher Zubringer auf die Hochwasserretention bestimmt. Dazu wurden vier Hochwasserwellen auf Basis der HW 2005 und 2013 für den Abschnitt bis Wasserburg ausgewertet. Auch hier ist zu erkennen (Abbildung 37), dass die Hochwasserwellen im Referenzzustand (heute) zwar beschleunigt, aber nicht unbedingt mit größeren Spitzenabflüssen als im historischen Zustand ablaufen (Tabelle 10).

Die Differenzen zwischen Zu- (OAU) und Auslauf (WABG) für Ereignis 1,2 und 3 sind auf den seitlichen Zufluss der Mangfall zurückzuführen, welcher sich mit der Welle des Inns teilweise überlagert. Im Ereignis 1 erreicht die Hochwasserwelle des Inns die Mündung der Mangfall vor deren Scheitel. Der absteigende Ast des Inns überlagert sich im Referenzzustand daher mit dem aufsteigenden der Mangfall. Im Zustand 1800 hingegen verlängert sich die Fließzeit durch die größere verfügbare Retentionsfläche und verlängerte Fließstrecke bereits zwischen Modellzufluss und dem Mündungsbereich der Mangfall, wodurch beide Scheitel aufeinandertreffen. Die Mangfall selbst wurde ab dem Pegel Rosenheim/Mangfall (2 km bis zur Mündung) ebenfalls in einem historischen Zustand modelliert. Etwaige Veränderungen des Fließgewässers oberstrom sowie daraus folgende Retentionseffekte wurden damit nicht berücksichtigt. Insbesondere die anthropogenen Veränderungen im Bereich Bruckmühl, Bad Aibling und Kolbermoor könnten einen Einfluss auf die Wellenlaufzeit der Mangfall haben. Auf der anderen Seite sind auch Veränderungen des Tiroler Inns nicht berücksichtigt. Somit kann nicht beurteilt werden, ob die in Ereignis 1 im heutigen Zustand beobachtete vorteilhafte Überlagerung der Hochwasserwellen von Inn und Mangfall allgemein gültig ist.

In den anderen untersuchten Ereignissen 2 und 3 spielte die Mangfall eine untergeordnete Rolle auf das Hochwassergeschehen. Dennoch ist auch hier der Effekt der vergrößerten Retentionsflächen im Zustand 1800 auf die Inn-Welle nicht eindeutig zu beurteilen, da eine gewisse Beeinflussung durch die Mangfall besteht. Um diesen Effekt weiter zu untersuchen, wurde das Ereignis 2 ohne Zufluss der Mangfall wiederholt (Abbildung 37, 2b). Daraus ist zu erkennen, dass die Inn-Welle im Zustand 1800 eine größere Dämpfung und Verzögerung erfährt. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass in den Retentionsräumen aufgrund des geringeren Gesamtabflusses noch eine höhere Retentionskapazität vorhanden ist.

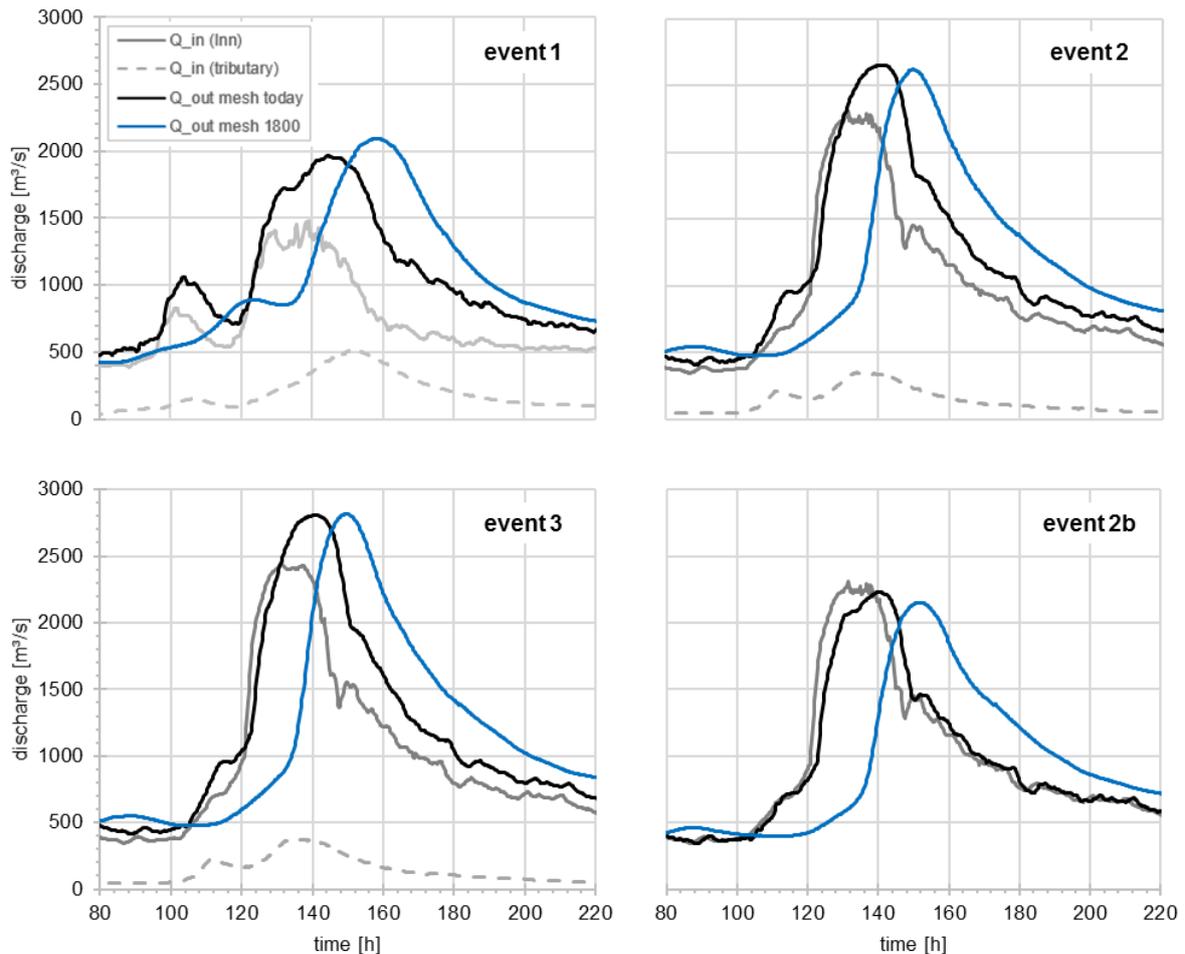


Abbildung 37: Abflussganglinien für vier Ereignisse im Referenzzustand und Zustand 1800 (Giehl und Rutschmann 2019). Grau: Zufluss des Inns in Oberaudorf (OAUD), grau gestrichelt: Mangfall, schwarz: Abflussganglinie in Wasserburg (WABG) im Referenzzustand, blau: Abflussganglinie in Wasserburg (WABG) im Zustand 1800

Tabelle 10: Vergleich der Scheitelveränderung und – verzögerung von Referenzzustand und Zustand 1800 für ausgewählte zusätzliche Ereignisse (nach Giehl und Rutschmann (2019))

	Ereignis 1	Ereignis 2	Ereignis 3	Ereignis 2b
$Q_{max,Ref}$ [m³/s]	≈ 1970	≈ 2660	≈ 2810	≈ 2230
dQ_{abs} [m³/s]	130	- 35	10	- 80
Q_{rel} [%]	6,6	- 1,3	0,4	- 3,6
dt [h]	14	9	9	12

5.5. Schlussfolgerungen aus der Modellierung des Zustand 1800

Skublics (2014) zeigte für die bayerische Donau, dass bei sehr großen Hochwasserereignissen ein natürlicher Zustand des Flusses nicht unbedingt eine Verbesserung des Hochwasserwellenablaufs hinsichtlich der Scheitelreduktion, sondern vor allem eine Veränderung der Laufzeit der Hochwasserwellen durch die untersuchten Flussabschnitte bedeutet. Generell steigt

im Referenzzustand die Scheiteldämpfung mit zunehmenden Jährlichkeiten, im historischen Zustand bleibt diese relativ konstant. Am Inn zeigt sich, zumindest für die Betrachtung anhand des Pegels PING, dass bei den betrachteten Hochwasserereignissen die Scheitelreduktion im historischen Zustand zwar ebenfalls mit zunehmenden Scheitelabflüssen tendenziell sinkt, aber im Gegensatz zur Donau nicht ins Gegenteil verkehrt (Scheitel im Zustand 1800 höher als heute). Betrachtet man den Inn auf der gesamten untersuchten Strecke (Oberaudorf bis Passau), werden im Bereich von Hochwasserereignissen $> HQ_{30}$ die Scheitelabflüsse am Pegel PING um etwa 3 bis 15 % verringert, die Scheitelverzögerung beträgt etwa 8 bis 12 h (vergleiche Tabelle 11). Dies bedeutet, dass bei einer (hypothetischen) hundertprozentigen „Renaturierung“ des Inns (und der Salzach) im gesamten Untersuchungsgebiet, welche dem „Zustand 1800“ entspräche, eine Scheitelreduktion von max. 15 % erreichbar wäre. Zudem können die Verzögerungen der Inn-Wellen um mindestens 8 Stunden – für die fünf Ereignisse $> HQ_{30}$ – problematisch hinsichtlich einer Überlagerung mit der in der Regel nachlaufenden Donau-Welle sein. Derartige Verzögerungen der Hochwasserwellen können allerdings einen wichtigen Zeitgewinn zur Hochwasserverteidigung bedeuten. Natürlicher Rückhalt in dieser Größenordnung bleibt am Inn aufgrund der heutigen Landnutzung nur theoretisch umsetzbar, würde aber nach Auswertung der historischen Modelle bei sehr großen Ereignissen (zwei untersuchte Ereignisse $> HQ_{100}$) maximal etwa 7 % Scheitelreduktion erreichen. Für einen effektiven Hochwasserschutz entlang des Inns und v.a. auch für Passau ist ein natürlicher Rückhalt am Inn angesichts des Flächenbedarfs und der potentiell negativen Effekte (Wellenüberlagerung mit der Donau) nicht zielführend. An der Salzach sind die Differenzen zwischen heutigem und historischem Zustand nicht so ausgeprägt wie am Inn, was allerdings auch an der deutlich kürzeren untersuchten Fließstrecke liegen kann. An der Mündung der Salzach in den Inn können sich durch die Scheitelverzögerungen sowohl positiv als auch negativ auswirkende Überlagerungen der Hochwasserscheitel einstellen.

Tabelle 11: Vergleich zwischen Referenzzustand und Zustand 1800 für den Pegel PING für Ereignisse $> HQ_{30}$ (5.400 m³/s). Die verwendeten Hochwasserwellen werden in Kapitel 7.1 beschrieben

	$Q_{\max,Ref}$ [m ³ /s]	$Q_{\max,1800}$ [m ³ /s]	dQ_{rel} [%]	dt [h]
E0322	5458	4795	-12.1	19
E3420	6096	5201	-14.7	9
E0955	6478	5647	-12.8	11
E2377	7277	6763	-7.1	12
E4904	7662	7453	-2.7	8

Abschließend sollte nochmals auf die Unsicherheiten der „historischen Modellierung“ hingewiesen werden. Diese umfassen die sich im Jahresverlauf verändernde Lage des Flussbetts, welche in den historischen Kartenwerken nur als Momentaufnahme dargestellt werden konnte,

und vor allem die Sohlhöhe der anthropogen unbeeinflussten Gewässer. Auch die in unbekanntem Ausmaß verformten und zeitlich verlagerten Hochwasserwellen der Zuflüsse (Inn und Salzach von oberhalb des Untersuchungsgebiets sowie Nebengewässer) haben einen Einfluss. Die daraus resultierenden Unsicherheiten auf die Retention im Untersuchungsgebiet sowie der Wechselwirkung mit Wellenüberlagerungen seitlicher Zuflüsse können nicht quantifiziert werden. Sensitivitätsanalysen zeigten aber hinsichtlich der Abflussscheitel eine geringe Sensitivität auf eine Variation der Sohlage. Nicht untersucht wurde der begradigte Zustand des Inns ohne Staustufen.

6. Standortsuche und grundsätzliche Machbarkeit von Rückhalteräumen und Erstpriorisierung potentieller Flutpolderstandorte

In Abstimmung mit dem Lenkungsgremium wird für die Standortsuche, die Bewertung der grundsätzlichen Machbarkeit, die Wirkungsanalyse und die Priorisierung der Rückhalteräume (RHR) folgendes Vorgehen gewählt:

- Standortfindung und anschließende Grobbewertung der gefundenen potentiellen Rückhaltflächen hinsichtlich Machbarkeit und Volumen als Flutpolder (FP) sowie hinsichtlich Machbarkeit und Flächengröße als Deichrückverlegung (DRV).
 - Standortfindung potentieller Rückhalteräume durch „Methode historische Flächen“ und „Methode Wasserspiegellängsschnitt“ (Kapitel 6.1).
 - Grobbewertung aller gefundenen Flächen (Kapitel 6.2), d.h. Einschätzung der grundsätzlichen (technischen) Machbarkeit und der verfügbaren Volumina sowie Größe der Flächen auf einer der Potentialstudie angemessenen Bearbeitungsebene („grob“). Betrachtet werden im Rahmen dieser Studie ungesteuerter Rückhalt (hier: Deichrückverlegung, teils über Einlaufschwelen) und gesteuerter Rückhalt (hier: Flutpolder).
 - Auswahl der in der Grobbewertung mit „mittel“ und „gut“ machbar bewerteten Standorte und Zusammenfassung von Einzelflächen zu Gesamt- und Maximalumgriffen (Varianten A für Flutpolder und Varianten D für Deichrückverlegungen). Keine weitere Betrachtung der als „schlecht“ machbar eingeschätzten Standorte in dieser Studie.

- Erstpriorisierung dieser ausgewählten potentiellen Flutpolderstandorte mit einem Kriterienkatalog zu „Planungsherausforderungen“ und der Wirkung auf ein ausgewähltes Hochwasserereignis zur Auswahl der jeweils drei bestplatzierten Standorte je Abschnitt von Inn und Salzach.
 - Beurteilung der Standortauswahl anhand eines Kriterienkatalogs (Kapitel 6.3) für die „Planungsherausforderungen“ durch TUM und Wasserwirtschaftsverwaltungen aus Bayern und Österreich in den Themenfeldern „Bautechnik“, „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“, „Land- und Forstwirtschaft“ und „Ökologie“.
 - Ermittlung der hydraulischen Wirkung dieser potentiellen RHR anhand eines hydrologischen Szenarios der Größenordnung HQ_{100} im Abschnitt des RHR (Kapitel 7.3).
 - Bewertung der potentiellen Flutpolderstandorte (Varianten A) auf Basis der hydraulischen Wirkung und der qualitativ-quantitativen Beurteilung in den Themenfeldern „Bautechnik“ und „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“ (Kapitel 6.4, Abbildung 38 zeigt das Schema).
 - Durchführung von „Workshops“ von TUM und Wasserwirtschaftsverwaltungen zur Abstimmung der Annahmen zur Machbarkeit sowie Begründung der Erstbewertungen sowie Alternativumgriffe für einzelne Flutpolderstandorte (Varianten B) (Kapitel 6.5).
 - Nachführung der Ermittlung der hydraulischen Wirkung und der qualitativ-quantitativen Beurteilung in den Themenfeldern „Bautechnik“ und „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“ mit den Varianten B. Weiterbetrachtung der Flutpoldervarianten unter Berücksichtigung eines Abschneidekriteriums „Bebauung“ (Kapitel 6.6).
 - Bewertung der Varianten und Aktualisierung der Erstpriorisierung, die als Grundlage für die Auswahl der im Rahmen der vorliegenden Studie detaillierter zu untersuchenden Standorte dient.
- Abschließende Priorisierung der nach der Erstpriorisierung detaillierter betrachteten Flutpolderstandorte anhand einer umfangreichen Wirkungsanalyse mit einer Bandbreite an hydrologischen Szenarien und zusätzlichen Kriterien.

- Durchführung einer naturschutzfachlichen Übersichtsbewertung der Flutpolderstandorte auf Rang 1 bis 6 je Abschnitt von Inn und Salzach in der Erstpriorisierung.
- Ermittlung der hydraulischen Wirkung der am besten gereihten Flutpolderstandorte (Rang 1 bis 3 je Abschnitt) und einzelner Deichrückverlegungsvarianten mit den zwölf im Teilprojekt A stochastisch generierten Hochwasserereignissen (Kapitel 7).
- Erstellung einer abschließenden Priorisierung (Kapitel 11).

Die Standorte von potentiellen RHR werden nachfolgend zur Unterscheidung nach Varianten benannt:

- A: die Variante eines Standorts mit maximalem Umgriff als Flutpolder (FP)
- B: alternative Variante eines Standorts zu Variante A als Flutpolder (FP)
- D: Variante eines Standorts als Deichrückverlegung (DRV)

Somit bezeichnet bspw. a_13_A den Standort mit der ID 13 im ersten Abschnitt a als gesteuerter RHR (FP) im maximalen Umgriff; a_13_B ist eine gesteuerte Variante von a_13_A. Ein mit a_13_D bezeichneter Standort wäre dann eine DRV. Mehr als zwei Varianten eines Standorts werden im Rahmen der Potentialstudie nicht betrachtet.

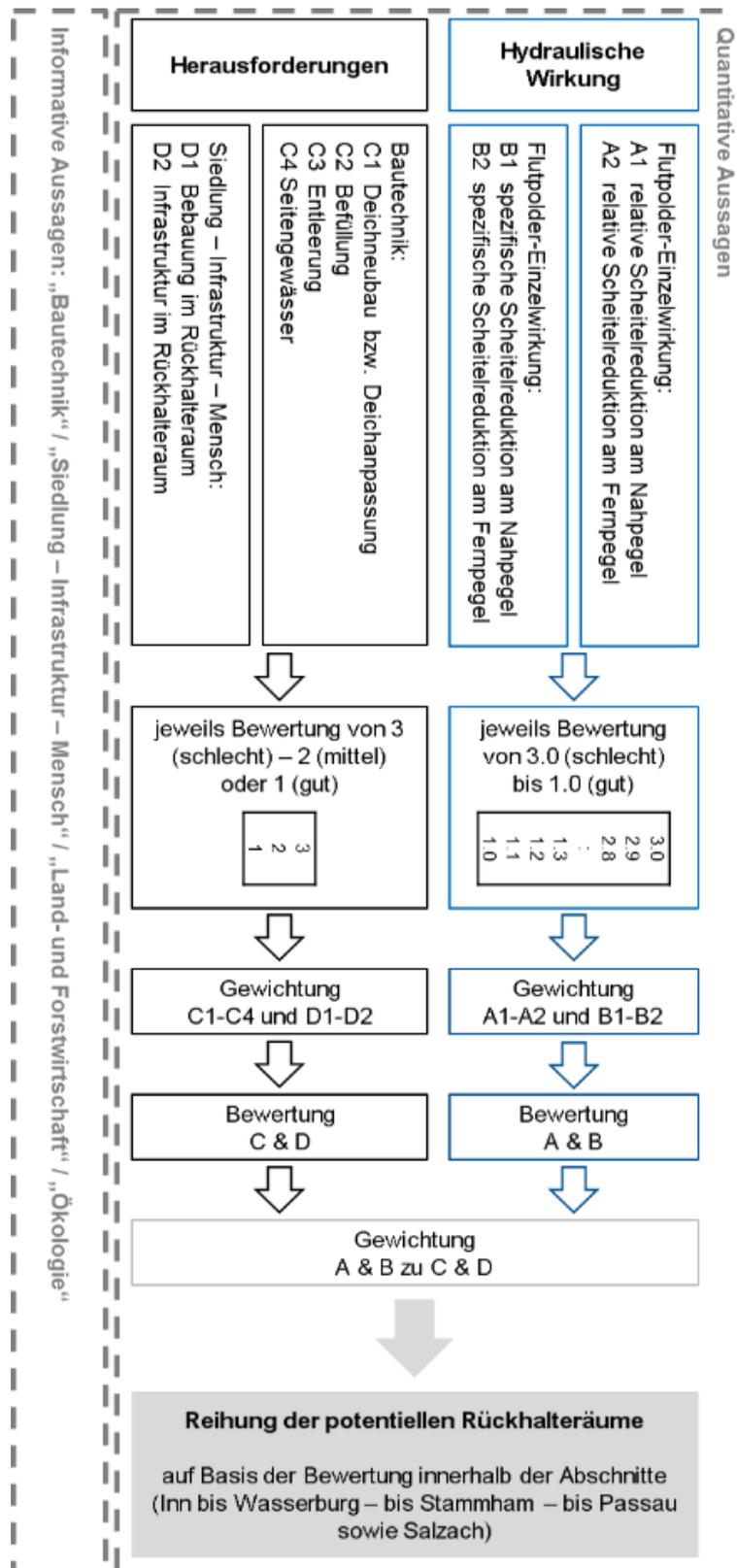


Abbildung 38: Schema der Bewertung und Reihung der potentiellen Flutpolderstandorte nach verschiedenen Kriterien in der Erstpriorisierung

6.1. Methodik der Standortsuche

Nachfolgend wird die Methodik zur Standortsuche potentieller Rückhalteräume dargestellt. Ziel war eine ergebnisoffene Suche zunächst nur auf Basis des hydraulischen Potentials. Daher bestand die Standortfindung im Wesentlichen aus zwei verschiedenen Methoden, die nachfolgend „Methode historische Flächen“ und „Methode Wasserspiegellängsschnitt“ genannt werden sollen. Für Teilbereiche des Inns und der Salzach lagen bereits Studien zu potentiellen RHR in verschiedener Bearbeitungstiefe vor (Armstark, 2013; Dehnz und Spannring, 2014; VERBUND & SKI (Jahr unbek.); WWA RO, 2015). Die Ergebnisse der TUM wurden mit diesen Studien abgeglichen.

„Methode historische Flächen“

Hierfür wurden die simulierten Überflutungsflächen aus den 2D-Modellen im Ist- (Kapitel 3) und im historischen Zustand (Kapitel 4 und v.a. 4.5) bei Hochwasserereignissen in der Größenordnung HQ_{100} verglichen. Verwendet wurden dafür Berechnungen aus der Kalibrierung: Hochwasser 2005 für den Abschnitt Oberaudorf bis Salzachmündung und Hochwasser 2013 für Salzach und Inn unterhalb Salzachmündung. Anschließend wurden die resultierenden Überflutungsflächen mit Landnutzungsdaten (ATKIS, CORINE⁹) verschnitten. Ausgeschlossen wurden die Typen „Bebauung“, „Gewerbegebiet“, „Sonstige Siedlungsfläche (z. B. Freizeit- und Sportflächen)“ und Infrastruktur „Platz“, „Bahnverkehr“, „Straße“, „Weg“. Der Workflow ist durch Abbildung 39 abgebildet. Durch die „Methodik historische Flächen“ wurden zunächst 94 Flächen, auch relativ kleine, entlang Inn und Salzach identifiziert.

⁹ CORINE Landcover auf österreichischer Seite sind deutlich gröber aufgelöst und dementsprechend fallen die Polderumgriffe „unschärfer“ beziehungsweise gröber abgegrenzt aus.

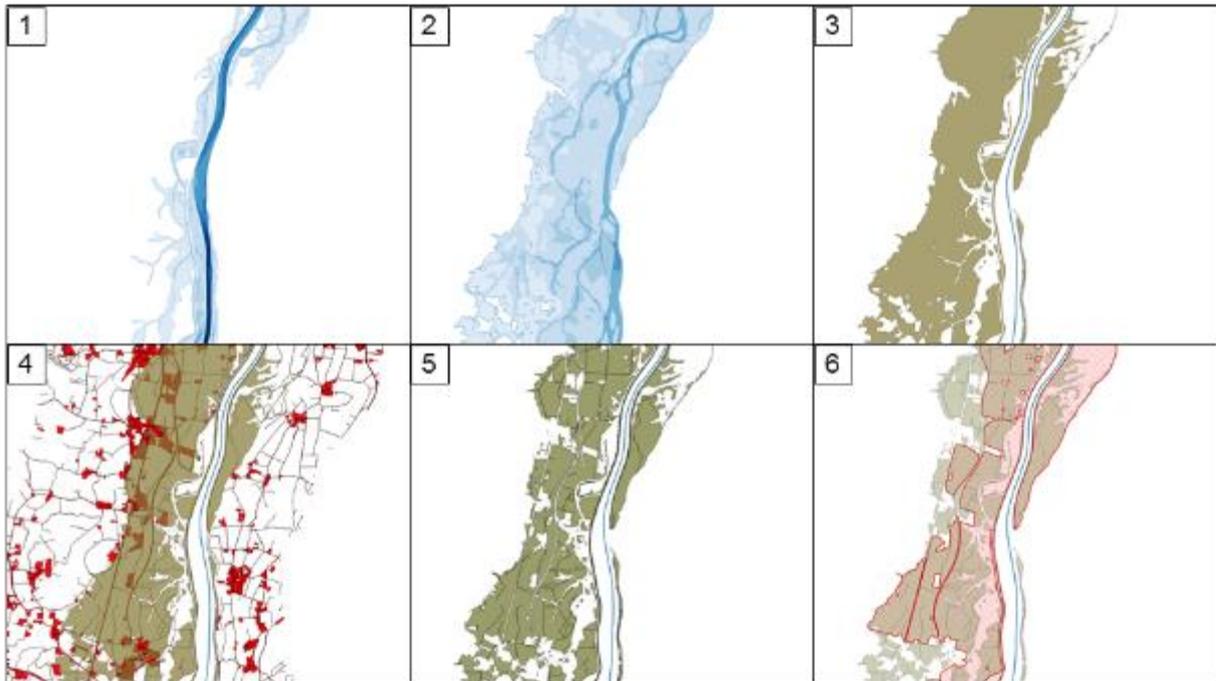


Abbildung 39: Workflow der Flächenverschneidung zur Ermittlung potentieller Standorte. 1: überflutete Fläche im Ist-Zustand; 2: überflutete Fläche im historischen Zustand; 3: gesamte potentiell reaktivierbare Flächen aus der Verschneidung beider überfluteten Flächen von 1 und 2; 4: Überlagerung mit ausgewählter Landnutzung; 5: potentiell reaktivierbare Flächen aus der Verschneidung von Schritt 4; 6: Zusammenfassung der Flächen zu potentiellen Umgriffen

„Methode Wasserspiegellängsschnitt“

Im heutigen Zustand liegt der Wasserstand des Inns über weite Strecken höher als das umgebende Gelände außerhalb der Stauhaltungsdämme. Um etwaige resultierende Potentiale aus diesen Höhenunterschieden zu identifizieren, wurden Längsschnitte der Wasserspiegellagen des Flussschlauchs des Inns (Abbildung 40, Abbildung 41, Abbildung 42, Abbildung 43 und Abbildung 44) mit parallel dazu gelegenen Längsschnitten der Geländehöhen aus dem 2D-Modell verglichen und daraus die Potentiale orographisch links (orange) und orographisch rechts (rot) ermittelt. Dazu wurden Stützstellen alle 200 m in Abständen von etwa 200 m (oberer Inn) und etwa 500 m (unterer Inn) von der Flussachse erstellt, die händisch entsprechend der tatsächlichen topographischen Gegebenheiten angepasst und damit außerhalb des Flussschlauchs gelegt wurden. Die korrigierten Stützstellen lagen in kurzer Distanz zum landseitigen Böschungsfuß der Stauhaltungsdämme oder Hochwasserschutzdeiche. Für die abgebildeten Längsschnitte wurden die Geländehöhen rechts und links aus Gründen der Übersichtlichkeit gemittelt. Stellt man die Erkenntnisse aus den Längsschnitten den bereits identifizierten Flächen gegenüber, könnten weitere potentielle Standorte erkannt werden. Die aus den Längsschnitten erkennbaren zusätzlichen Flächen lagen dabei häufig in Siedlungen (beispielhaft Abbildung 45). Beim Vergleich mit den bereits gefundenen Standorten konnten wenige zusätzliche Flächen als weitere potentielle Standorte identifiziert werden oder teils mit der „Methode historische Flächen“ gefundene Standorte erweitert werden.

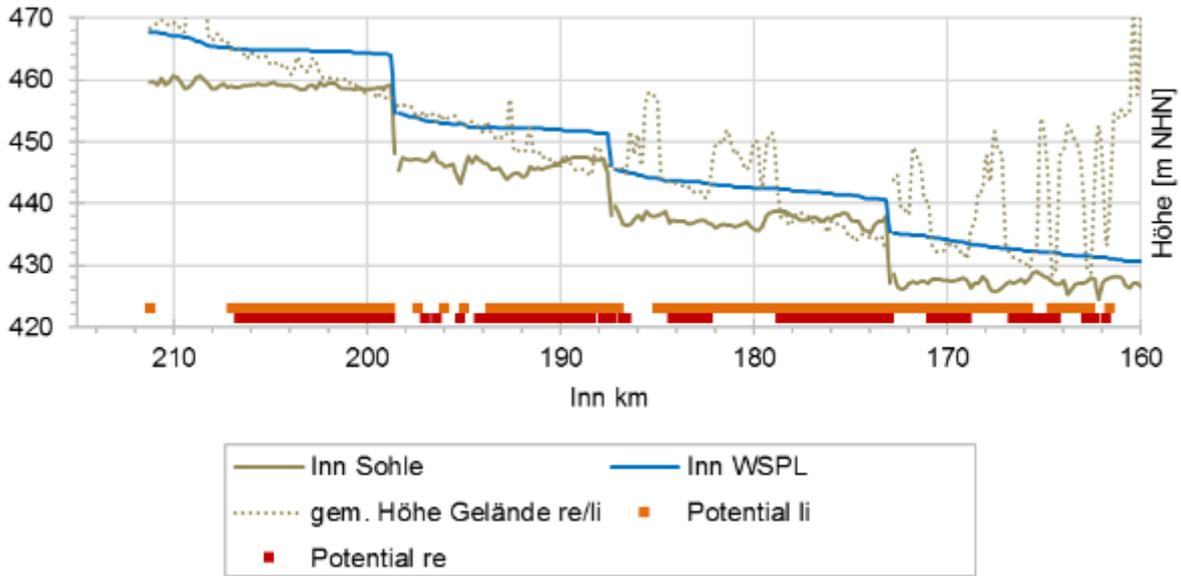


Abbildung 40: Längsschnitt entlang beziehungsweise parallel zur Flussachse des Inns im Teilmodell a mit gemittelter Geländehöhe außerhalb des Flussschlauchs sowie Potentiale zur Aktivierung von Rückhalteräumen

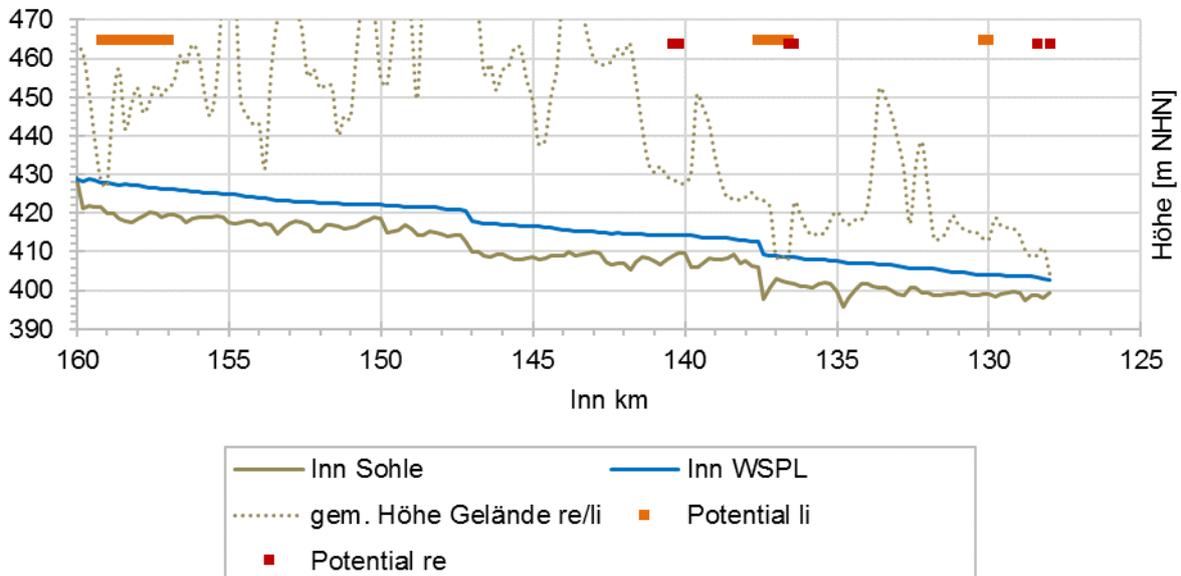


Abbildung 41: Längsschnitt entlang beziehungsweise parallel zur Flussachse des Inns im Teilmodell b bis Gars mit gemittelter Geländehöhe außerhalb des Flussschlauchs sowie Potentiale zur Aktivierung von Rückhalteräumen

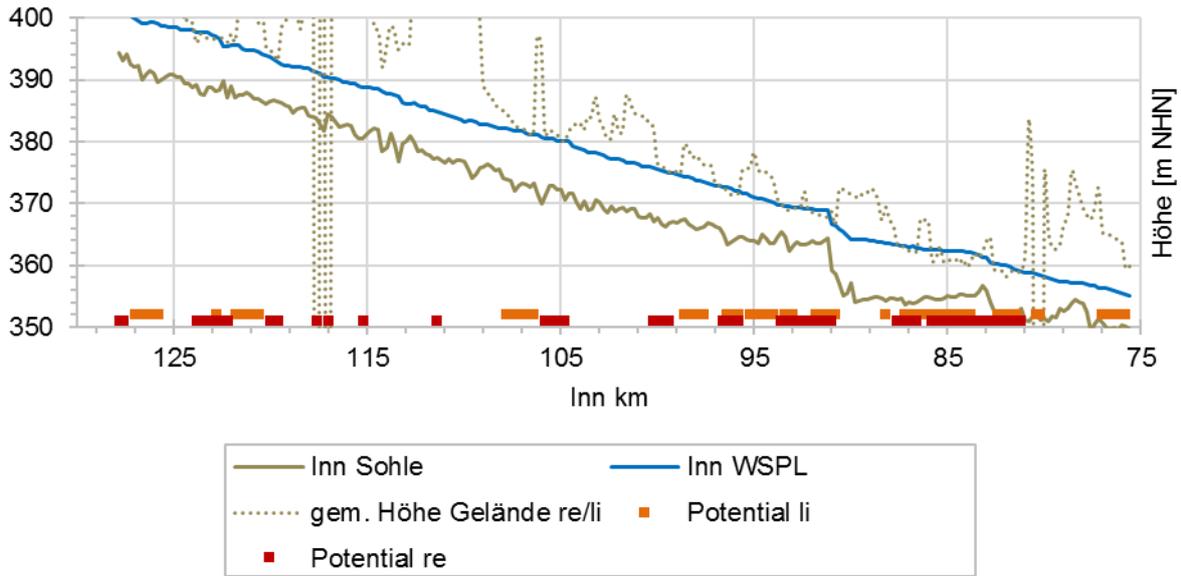


Abbildung 42: Längsschnitt entlang beziehungsweise parallel zur Flussachse des Inns im Teilmodell b ab Gars mit gemittelter Geländehöhe außerhalb des Flussschlauchs sowie Potentiale zur Aktivierung von Rückhalteräumen

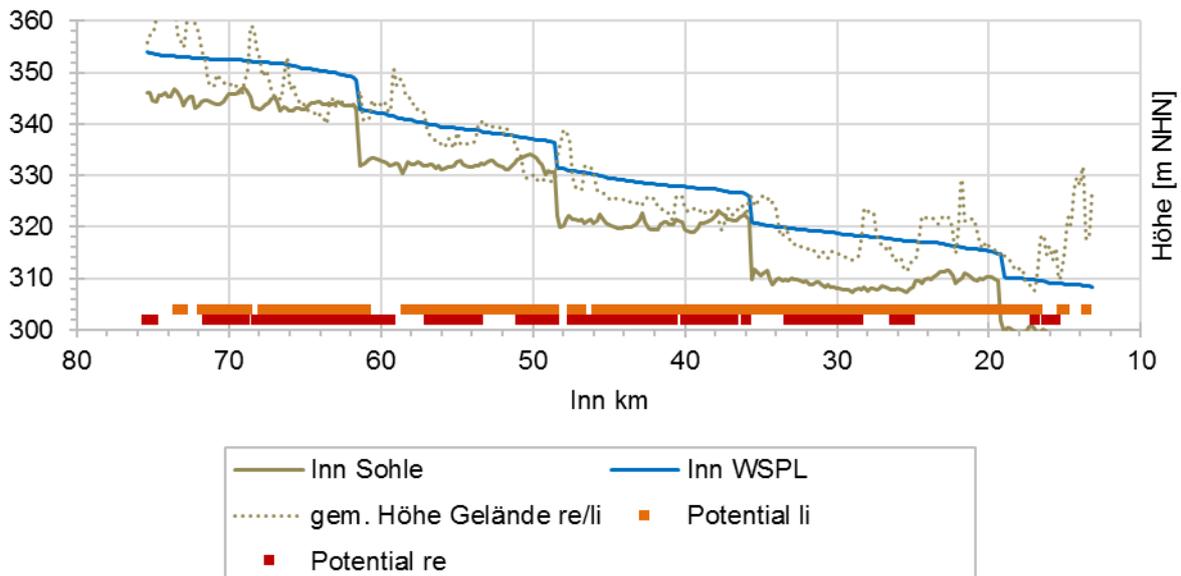


Abbildung 43: Längsschnitt entlang beziehungsweise parallel zur Flussachse des Inns im Teilmodell c bis Schärding (unterhalb Schluchtstrecke ohne Potential) mit gemittelter Geländehöhe außerhalb des Flussschlauchs sowie Potentiale zur Aktivierung von Rückhalteräumen

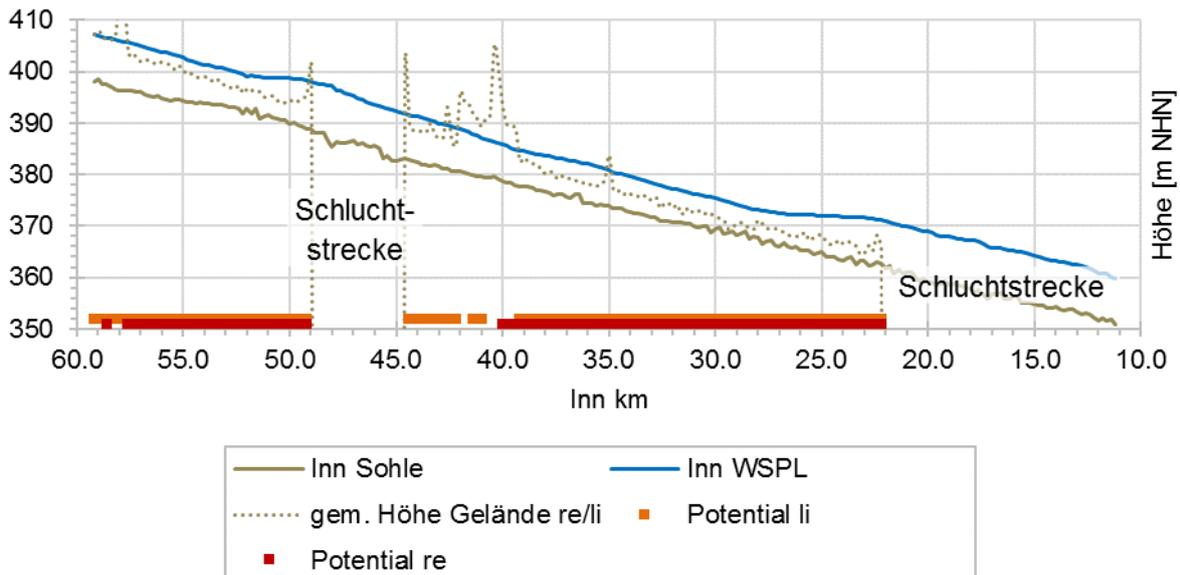


Abbildung 44: Längsschnitt entlang beziehungsweise parallel zur Flussachse der Salzach im Teilmodell d mit gemittelter Geländehöhe außerhalb des Flussschlauchs sowie Potentiale zur Aktivierung von Rückhalteräumen

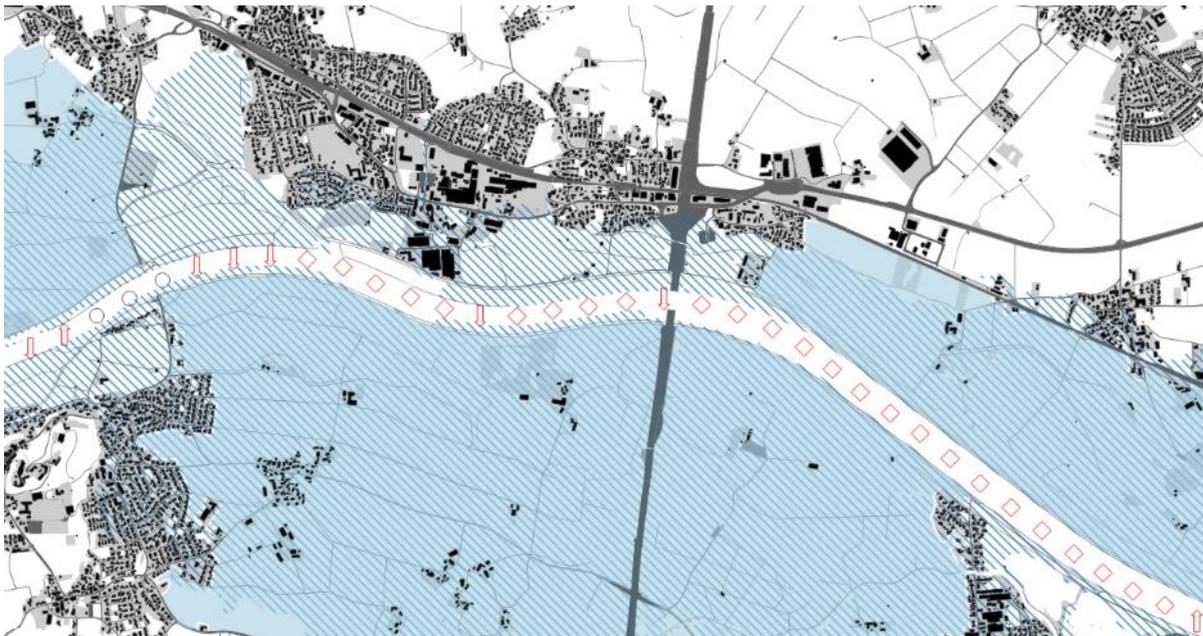


Abbildung 45: Vergleich des Wasserspiegellängsschnitts mit den Differenzen Wasserspiegel-Gelände und den aus der historischen Modellierung gefundenen Standorten. Rote Pfeile entlang der Flussachse: Wasserspiegel Inn höher als umgebendes Gelände (rechts oder links), das rote Quadrat zeigt Potential auf beiden Seiten an; schwarze Kreise: WSP niedriger als Gelände an der Stützstelle

Die Liste der mit diesen beiden Methoden gefundenen Standorte (insg. 104 Flächen) wurde abschließend mit den bereits identifizierten Standorten aus den erwähnten Studien abgeglichen. Es wurden keine zusätzlichen Standorte gefunden, allerdings wurden die durch die beiden oben angewendeten Methoden bestimmten Flächen teils präzisiert und/oder erweitert. Die

Flächen wurden anschließend zu sinnvollen Standorten zusammengenommen und in einem weiteren Schritt einer ersten Grobbewertung unterzogen.

Tabelle 12: Gesamtliste der gefundenen potentiellen Flächen im Teilmodell a. Gefunden mit *hist*: Methode „historisch“, *Schnitt*: Methode „Potential aus Längsschnitt“, *SKI*: Studie VERBUND / SKI

Nr.	Name TUM	Land	wie gefunden?
1	Rechenauer See	BY	hist
2	Kirnsteiner Au 1	BY	hist
3	Kirnsteiner Au 2	BY	hist
4	Nußdorf	BY	hist
5	Flintsbach 1	BY	hist
6	Flintsbach 2	BY	hist
7	Gmain-Reischenhart	BY	hist
8	Seilenau	BY	hist
9	Neubeuern 1	BY	hist
10	Neubeuern 2	BY	hist
11	Neubeuern 3	BY	hist
12	Kirchdorf	BY	hist
13	Wöhr	BY	hist
14	Redenfelden	BY	hist
15	Erlenau-Thansau	BY	hist
16	Erlenau-Happing	BY	hist
17	Thansau See	BY	hist
18	Rosenheim 1	BY	hist
19	Rosenheim 2	BY	hist
20	Rosenheim 3	BY	hist
21	Langenpfunzen	BY	hist
22	Hammerbach 1	BY	hist
23	Pfaffenhofen Au	BY	hist
24	Pfaffenhofen-Wieden	BY	hist
25	Pfaffenhofen-Moos	BY	hist
26	Schechen	BY	hist
27	Feldkirchen-Vogtareuth	BY	hist / Schnitt / SKI
28	Feldkirchen-Wöhrn 1	BY	hist
29	Hammerbach 2	BY	hist
30	Feldkirchen-Murner Au	BY	Schnitt
31	Feldkirchen-Wöhrn 2	BY	hist
32	Rott 1	BY	hist
33	Rott 2	BY	hist
34	Rott 3	BY	hist
35	Rott-Lochnerfeld	BY	hist
36	Ramerberg-Sendling	BY	hist
37	Attel 1	BY	hist
38	Attel 2	BY	hist
39	Altenhohenau	BY	hist
40	Klosterau	BY	hist

Tabelle 13: Gesamtliste der gefundenen potentiellen Flächen im Teilmodell b. Gefunden mit *hist*: Methode „historisch“, *Schnitt*: Methode „Potential aus Längsschnitt“, *SKI*: Studie VERBUND / SKI

Nr.	Name TUM	Land	wie gefunden?
1	Fraham 1	BY	hist
2	Fraham 2	BY	hist
3	Jettenbach	BY	hist
4	Kraiburg 1	BY	hist
5	Kraiburg 2	BY	hist
6	Kraiburg-Kanal	BY	hist
7	Aufeld	BY	hist
8	Ebing-Erlwiesen	BY	hist
9	Ecksberg	BY	hist
10	Mühldorf 1	BY	hist
11	Mühldorf 2	BY	hist
12	Mühldorf 3	BY	hist
13	Mühldorf-Innzipfel	BY	hist
14	Weiding	BY	hist
15	Töginger Au	BY	hist
16	Töging 2 Au	BY	hist
17	Töging 1	BY	hist
18	Oberholzhausen	BY	hist
19	Winhöring 1	BY	hist
20	Winhöring 2	BY	hist
21	Winhöring 3	BY	hist
22	Winhöring 4	BY	hist
23	Neuötting 1	BY	hist
24	Neuötting 2	BY	hist
25	Neuötting-Eisenfelder Au	BY	hist
26	Perach-Mitterau	BY	hist
27	Perach 1	BY	hist
28	Perach 2	BY	hist
29	Perach 3	BY	hist
30	Perach rechts	BY	Schnitt / SKI
31	Markt-Dachlwand	BY	hist
32	Alzspitze	BY	hist
33	Markt See	BY	hist
34	Markt Au	BY	hist

Tabelle 14: Gesamtliste der gefundenen potentiellen Flächen im Teilmodell c. Gefunden mit *hist*: Methode „historisch“, *Schnitt*: Methode „Potential aus Längsschnitt“, *SKI*: Studie VERBUND / SKI

Nr.	Name TUM	Land	wie gefunden?
1	Seibersdorf	BY	hist
2	Haiming	BY	hist
3	Rothenbuch	OÖ	hist
4	Kirchdorf 1 Au	BY	Schnitt
5	Kirchdorf 2	BY	hist
6	Braunau	OÖ	hist
7	Simbach	BY	hist
8	Reikersdorf-Höft	OÖ	hist
9	Reikersdorf	OÖ	hist
10	Ering	BY	hist
11	Mining	OÖ	hist
12	Aufhausen-Aigen	BY	hist
3	Mühlheim	OÖ	hist
14	Eggfing-Würding	BY	hist
15	Inzing	BY	hist
16	Redinger Au	BY	Schnitt

Tabelle 15: Gesamtliste der gefundenen potentiellen Flächen im Teilmodell d. Gefunden mit *hist*: Methode „historisch“, *Schnitt*: Methode „Potential aus Längsschnitt“, *SKI*: Studie VERBUND / SKI

Nr.	Name TUM	Land	wie gefunden?
1	Freilassing 1	BY	Schnitt
2	Freilassing 2	BY	Schnitt
3	Siggerwiesen 1	SB	hist
4	Anthering 1	SB	hist / SKI
5	Anthering 2	SB	hist
6	Pabing	SB	hist
7	Triebenbach	BY	hist / SKI
8	Au	BY	hist / SKI
9	Fridolfing 1	BY	hist / SKI
10	Fridolfing 2	BY	Schnitt
11	Ostermiething	OÖ	Schnitt
12	Ettenau	OÖ	Schnitt
13	Tittmoning Süd	BY	Schnitt
14	Mühltal	OÖ	hist

6.2. Methode für eine erste Grobbewertung der gefundenen Standorte

Da eine Vielzahl an potentiellen Rückhalteräumen gefunden wurde (Kapitel 6.1), musste für eine Auswahl der grundsätzlich geeigneten Standorte eine erste Grobbewertung vorgenommen werden. Ziel war es, eine erste Einschätzung der (technischen) Machbarkeit der insgesamt 105 Flächen zu erhalten. Dazu wurden Punkte wie z. B. Volumen, Steuerung/Staubeeinflussung, Bebauung im Polder, erforderliche Bauwerkshöhe am Auslauf, Bautechnik oder Entleerung betrachtet, getrennt nach der Variante Flutpolder und Deichrückverlegung. Standorte, die nach dieser groben Eingruppierung als „schlecht“ machbar erschienen, werden nicht weiterverfolgt. Nur die „mittel“ und „gut“ machbaren Standorte wurden anschließend für die Wirkungsanalyse und Priorisierung weiterverfolgt.

Bestimmung der Flächen

Die Fläche in [ha] der Standorte für die Grobbewertung ergab sich zunächst direkt aus dem in Kapitel 6.1 ermittelten Umgriff (beispielhaft Abbildung 39, Bild 6). Diese Flächen wurden vor Beginn der Wirkungsanalysen nachgeschärft.

Bestimmung der Lage des Einlaufs und der Stauwasserspiegel

Für die Variante Flutpolder (FP) wurde zunächst eine mögliche Lage des Poldereinlaufs bestimmt. Dieser sollte soweit möglich am oberstromigen Ende der Polderfläche liegen. Für die Variante DRV wird zwar, wenn möglich, der Deich auf gesamter Deichlänge geöffnet, allerdings wird zur Beschreibung der Lage der DRV ebenfalls ein Flusskilometer angegeben, der in der oberstromigen Hälfte der DRV-Fläche liegt. Für die Variante DRV werden keine Volumina angegeben, da Deichrückverlegungen nicht zur Scheitelkappung herangezogen werden können und daher das Volumen nicht ausschlaggebend für die Wirkung ist. Für die Variante FP werden mögliche Stauwasserspiegel anhand der Wasserspiegelfixierungen im Inn beim HW 2005 (Oberer Inn) und HW 2013 (Unterer Inn und Salzach), welche etwa die Größenordnungen HQ_{50} - HQ_{100} hatten, ermittelt. Dazu wird der Inn-Wasserstand bei diesen Ereignissen auf Höhe des Einlaufbauwerkes des Polders ermittelt. Abzüglich von 0,5 m, die sich pauschal abgeschätzt aus hydraulischen Verlusten am Einlaufbauwerk und einer Berücksichtigung der instationären HW-Welle (niedrigere WSP am Ende des Füllvorgangs als bei Scheiteldurchgang) zusammensetzen, ergibt dieser Wert den Stauwasserspiegel für den Rückhalteraum.

Bestimmung der Volumina

Das potentielle Rückhaltevolumen ergibt sich aus der Differenz zwischen Stauwasserspiegel und Geländehöhen im Polder. Für den Flutpolder werden horizontale, also ausgespiegelte,

Wasserflächen angenommen (Zustand nach Beendigung der Füllung). Dieser pauschale Ansatz stellt eher ein maximales Volumen dar. Für die Variante als Flutpolder sollte dieser Wert ein wesentliches Kriterium für die Auswahl der weiter zu verfolgenden Standorte sein. Je nach Länge oder Ausdehnung des Polders entlang der Fließrichtung können große Wasserspiegeldifferenzen zwischen Fluss und unterstromigen Ende des Polders resultieren.

Erste Grobbewertung der Standorte

Zur Abwahl eindeutig ungeeigneter Flächen und zur Eingrenzung des Arbeitsaufwands (v.a. für die 2D-HD-Simulationen) wurde eine erste Einschätzung der technischen Machbarkeit der insgesamt 105 Flächen vorgenommen. Dazu wurden aus wasserwirtschaftlich-fachlicher Sicht ausgewählte Aspekte herangezogen und in ein einfaches dreistufiges Bewertungsschema eingeordnet. Grob gegliedert werden können diese Aspekte in die Themen Hydraulik und Bautechnik, wie z. B. Steuerung/Staubeeinflussung, erforderliche Bauwerkshöhe am Auslauf, Bautechnik oder Entleerung, getrennt nach der Variante Flutpolder und Deichrückverlegung. Auch das wichtige Thema Bebauung im Polder wurde schon während dieser Bearbeitungsstufe mit aufgenommen. Die Aspekte für die potentielle Variante Flutpolder (FP) sind in Tabelle 16 aufgeführt, für Deichrückverlegungen (DRV) in Tabelle 17. Des Weiteren gehen bei der Variante FP das Volumen und bei der Variante DRV die Fläche in die Bewertung ein. Die Klassifizierung zeigt Tabelle 18. Die Gewichtung von (technischer) Machbarkeit zum Volumen oder Fläche erfolgte im Verhältnis 1:2. Dadurch wurden aufgrund des potentiellen Rückhaltevolumens vielversprechende Standorte nicht von vornherein ausgeschlossen. Die technische Machbarkeit wurde in einem nächsten Schritt umfangreicher bewertet (Kapitel 6.3 und 6.4) und damit auch eingehender berücksichtigt.

Tabelle 16: Grobbewertung der (technischen) Machbarkeit potentieller Flächen für die Variante Flutpolder (FP)

Merkmal	Note 1	Note 2	Note 3
Bebauung am/im Polder	keine	Einzelanwesen oder am Rand	viel
Steuerung/Staubeeinflussung	beeinflusst	Absenkung am Wehr	keine
Bautechnik: Entleerung	leicht	mittel	schwer
Bautechnik: Aufwand Einlaufbauwerk	leicht	mittel	schwer
Bautechnik: erforderliche Bauwerks-/Deichhöhen	gering	mittel	hoch
Bautechnik: zus. erforderl. Deiche	wenig	mittel	viel
Seitengewässer?	keine	kleine	große

Tabelle 17: Grobbewertung der (technischen) Machbarkeit potentieller Flächen für die Variante Deichrückverlegung (DRV)

Merkmal	Note 1	Note 2	Note 3
Bebauung am/im Polder	keine	Einzelanwesen oder am Rand	viel
Staubeeinflussung (Einfluss Befüllung/Entleerung)	keine	-	beeinflusst
Bautechnik: zus. erforderl. Deiche Seitengewässer?	wenig keine	mittel kleine	viel große

Tabelle 18: Klassifizierung des Volumens und der Fläche für die Variante FP und DRV

Klassifizierung	Note 1	Note 2	Note 3
Volumen (nur FP)	> 5 Mio. m ³	2 - 5 Mio. m ³	< 2 Mio. m ³ (mind. 1 Mio. m ³)
Fläche (nur DRV)	> 200 ha	100 - 200 ha	< 100 ha (mind. 10 ha)

Standorte, die nach dieser groben Eingruppierung nach der technischen Machbarkeit und bezüglich des Volumens eine „schlechte“ Gesamtbewertung (Note 3) erhielten, wurden nicht weiterverfolgt. Nur die „mittleren“ und „guten“ Standorte (Gesamtbewertung Note 2 oder 1) wurden anschließend für die Wirkungsanalyse und Priorisierung weiter berücksichtigt. Anhand dieser Grobbewertung wurde auch über die weitere Betrachtung als Variante FP oder DRV in der Wirkungsanalyse entschieden. Die Variante mit der besseren Gesamtbewertung wurde weiterverfolgt, bei gleicher Note die Variante FP und bei einzelnen Standorten beide Varianten, wenn dies aus fachlicher Sicht vielversprechend schien.

Um einige äußerst kleine Flächen auszuschließen und dadurch den Aufwand u.a. für die 2D-HD-Modellierung der Wirkungsanalysen zu begrenzen, wurden zwei Mindestgrößen festgelegt. Bei der Variante Flutpolder betraf dies potentielle Standorte mit Volumen < 1 Mio. m³ und bei der Variante Deichrückverlegung potentielle Flächen < 10 Hektar (benetzte Fläche).

In Tabelle 19, Tabelle 20, Tabelle 21 und Tabelle 22 werden die verbleibenden potentiellen Flächen mit Note 1 und 2 nach der Grobbewertung dargestellt. Flächen gleicher ID wurden zu insgesamt 35 größeren Standorten zusammengefasst. Um hierbei sinnvolle Umgriffe zu erreichen, mussten auch kleine Einzelflächen mit einer „schlechten“ Gesamtbewertung (in diesen Tabellen: Note 3*) hinzugenommen werden. Dies betrifft beispielsweise die Teilflächen „Hammerbach“ oder „Langenpfunzen“, welche bei separater Betrachtung zwar eine Note 3 erhielten, aber zwischen der Hauptfläche von a_07 und dem Inn liegen und daher zwingend zu berücksichtigen sind. Lagepläne mit den Standorten sind in Abbildung 46, Abbildung 47 und Abbildung 48 zu finden.

Aufgrund des hohen Untersuchungsaufwandes war es unmöglich, für alle 35 Standorte eine detaillierte Wirkungsanalyse mit allen zwölf in TP A generierten Ereignissen durchzuführen.

Daher wurde mit Hilfe eines Kriterienkatalogs (Kapitel 6.3) eine Erstpriorisierung dieser Standorte erarbeitet (Kapitel 0). In diese Erstpriorisierung floss auch eine erste Wirkungsanalyse des Rückhaltepotentials bei einer möglichen Hochwasserwelle der Größenordnung HQ₁₀₀ mit ein.

Tabelle 19: Für erste Wirkungsanalyse ausgewählte potentielle Standorte und deren Grobbewertung der Machbarkeit im Teilgebiet a

ID	Name TUM	was	Lage etwa	Fläche [ha]	Vol. etwa [Mio. m ³]	Variante FP Grobbewertung (1-3)			Variante DRV Grobbewertung (1-3)		
						Machbarkeit	Volumen	Gesamt	Machbarkeit	Fläche	Gesamt
a_01	Nußdorf	FP	203.0	265	10.5	2.1	1.0	1	2.8	1.0	2
a_02	Flintsbach 1	FP	202.0	102	4.6	2.0	2.0	2	2.5	2.0	2
	Flintsbach 2	FP	202.0	98	3.6	2.6	2.0	2	2.8	3.0	3
a_03	Gmain-Reischenhart	FP	199.0	481	44.1	2.7	1.0	2	3.0	1.0	2
a_05	Wöhr	FP	194.0	461	13.2	2.4	1.0	1	3.0	1.0	2
	Erlenau-Thansau	FP	191.2	268	11.4	2.3	1.0	1	3.0	1.0	2
a_06	Erlenau-Happing	FP	190.8	210	10.5	2.0	1.0	1	2.8	1.0	2
a_07	Langenpfunzen	FP	182.4	39	0.8	2.1	3.0	3	2.8	3.0	3
	Hammerbach 1	FP	181.4	13	0.3	1.7	3.0	3	2.3	3.0	3
	Pfaffenhofen Au	FP	181.4	458	17.8	2.6	1.0	2	2.8	1.0	2
	Pfaffenhofen-Wieden	FP	181.0	90	2.3	2.7	2.0	2	3.0	3.0	3
a_08	Feldkirchen-Vogtareuth	FP	176.0	336	17.4	1.6	1.0	1	2.0	1.0	1
a_09	Feldkirchen-Wöhrn 1	FP	176.0	464	25.9	2.6	1.0	2	3.0	1.0	2
	Hammerbach 2	FP	174.8	14	0.3	1.4	3.0	2	2.0	3.0	3
	Feldkirchen-Murner Au	FP	172.4	33	2.3	2.0	2.0	2	1.5	3.0	3
a_10	Feldkirchen-Wöhrn 2	FP	171.2	202	2.1	2.6	2.0	2	2.5	2.0	2
a_12	Ramerberg-Sendling	FP	167.6	210	2.7	2.9	2.0	2	3.0	2.0	3
a_13	Altenhohenau	FP u. DRV	166.4	162	4.9	1.9	2.0	2	2.3	2.0	2
a_14	Klosterau	FP	164.6	68	2.4	2.0	2.0	2	2.5	3.0	3

Tabelle 20: Für erste Wirkungsanalyse ausgewählte potentielle Standorte und deren Grobbewertung der Machbarkeit im Teilgebiet b

ID	Name TUM	was	Lage etwa	Fläche [ha]	Vol. etwa [Mio. m ³]	Variante FP Grobbewertung (1-3)			Variante DRV Grobbewertung (1-3)		
						Machbarkeit	Volumen	Gesamt	Machbarkeit	Fläche	Gesamt
b_02	Perach rechts	FP	85.0	253	5.2	1.1	1.0	1	1.8	1.0	1

Tabelle 21: Für erste Wirkungsanalyse ausgewählte potentielle Standorte und deren Grobbewertung der Machbarkeit im Teilgebiet c. *: c_02 entspricht d_10

ID	Name TUM	was	Lage etwa	Fläche [ha]	Vol. etwa [Mio. m³]	Variante FP Grobbewertung (1-3)			Variante DRV Grobbewertung (1-3)		
						Machbarkeit	Volumen	Gesamt	Machbarkeit	Fläche	Gesamt
c_01	Seibersdorf	FP	72.0	232	10.7	2.3	1.0	1	2.8	1.0	2
c_02	Haiming (c) *	FP	70.4	251	7.3	2.3	1.0	1	2.8	1.0	2
c_03	Rothenbuch	FP	66.0	160	12.6	2.3	1.0	1	2.5	2.0	2
c_04	Kirchdorf 1 Au	FP	65.0	298	27.3	1.6	1.0	1	2.3	1.0	1
	Kirchdorf 2	FP	62.4	44	4.0	2.3	2.0	2	2.8	3.0	3
c_05	Braunau	FP	60.4	109	2.7	2.6	2.0	2	2.3	3.0	3
c_06	Simbach	FP	57.4	105	3.6	2.6	2.0	2	2.3	3.0	3
c_07	Reikersdorf	FP	55.6	89	2.5	2.7	2.0	2	2.3	3.0	3
c_08	Ering	FP	51.0	230	14.2	1.9	1.0	1	2.5	1.0	2
c_09	Mining	FP	50.0	155	10.7	1.4	1.0	1	1.8	2.0	2
c_10	Aufhausen-Aigen	FP	45.2	637	42.9	2.1	1.0	1	3.0	1.0	2
c_11	Mühlheim	FP	44.2	297	16.1	1.7	1.0	1	2.0	1.0	2
c_12	Egglfing-Würding	FP u. DRV	35.0	419	17.4	2.6	1.0	2	2.3	1.0	1
c_13	Inzing	FP	29.0	985	65.7	2.6	1.0	2	3.0	1.0	2
c_14	Redinger Au	FP	21.0	399	31.3	2.0	1.0	1	2.8	1.0	2

Tabelle 22: Für erste Wirkungsanalyse ausgewählte potentielle Standorte und deren Grobbewertung der Machbarkeit im Teilgebiet d

ID	Name TUM	was	Lage etwa	Fläche [ha]	Vol. etwa [Mio. m³]	Variante FP Grobbewertung (1-3)			Variante DRV Grobbewertung (1-3)		
						Machbarkeit	Volumen	Gesamt	Machbarkeit	Fläche	Gesamt
d_01	Freilassing 2	FP	58.0	216	2.3	1.9	2.0	2	2.0	2.0	2
d_02	Anthering 1	FP	57.4	328	9.8	2.0	1.0	1	1.5	1.0	1
d_03	Triebenbach	FP	54.0	109	2.8	2.1	2.0	2	2.3	2.0	2
d_04	Fridolfing 1	FP u. DRV	38.0	313	9.4	2.0	1.0	1	1.8	1.0	1
d_05	Fridolfing 2	FP u. DRV	33.0	364	15.4	2.3	1.0	1	2.3	1.0	1
d_07	Ettenau	FP	29.2	365	17.5	2.1	1.0	1	2.0	1.0	1
d_08	Tittmoning Süd	FP	28.0	95	2.2	2.1	2.0	2	2.0	3.0	3
d_09	Mühltal	FP	6.4	207	6.2	2.1	1.0	1	2.5	1.0	2
d_10	Haiming (d)	FP	5.6	251	10.5	2.3	1.0	1	2.8	3.0	3

Der Standort Haiming wird zweimal geführt (c_02 und d_10), da er linksseitig der Salzach im Mündungsgebiet in den Inn liegt und potentiell von zwei Seiten (Salzach und Inn) gefüllt werden könnte. Der Standort c_12 erhielt als DRV eine bessere Note als die Variante FP und wird daher nur als DRV weiter berücksichtigt. Lücken in der Nummerierung der Standorte sind darauf zurückzuführen, dass die Nummern (z. B. a_04) vor Finalisierung vergeben wurden und bei der Grobbewertung mit Note 3 oder aufgrund des Mindestkriteriums Volumen oder Fläche wieder aus dem Prozess herausgefallen sind.

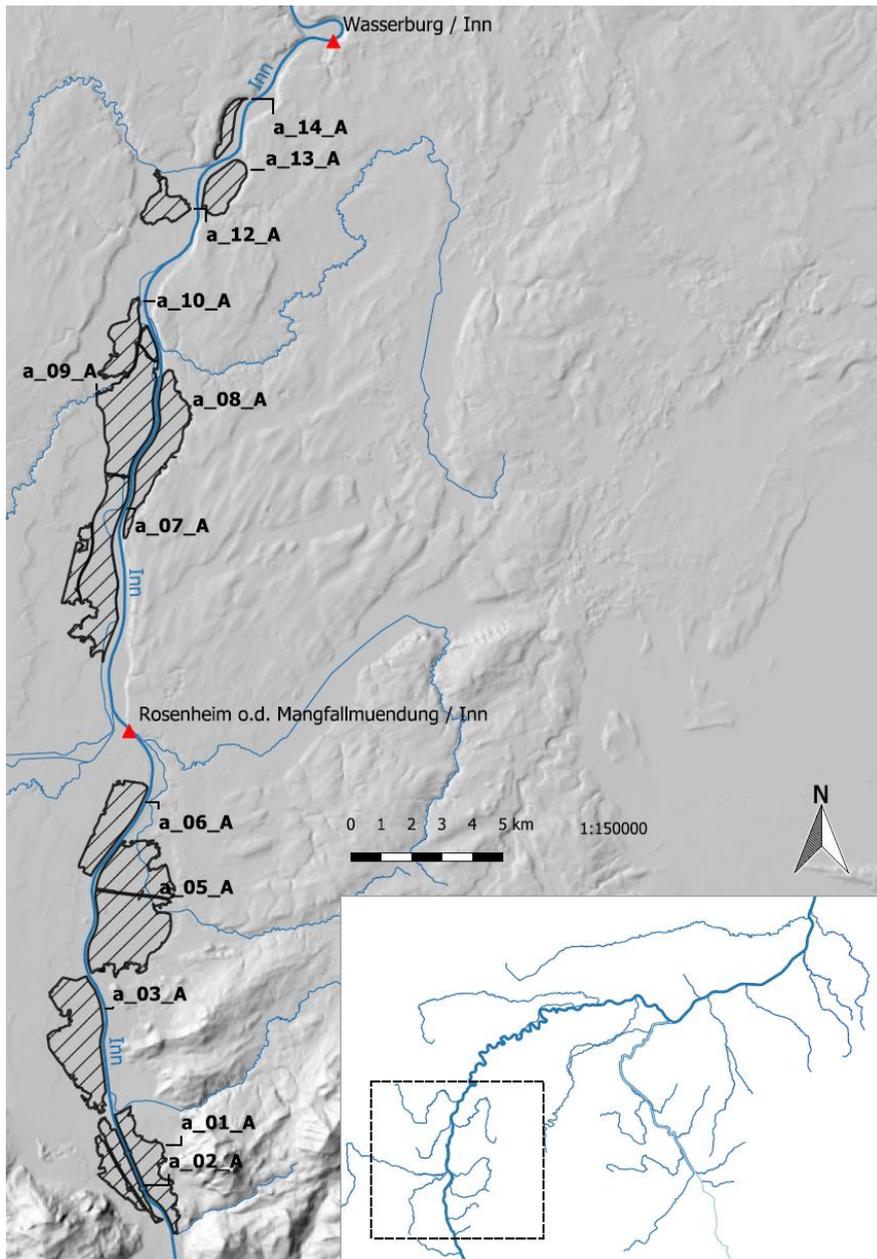


Abbildung 46: Potentielle Standorte für RHR am oberen Inn bis Wasserburg für die erste Wirkungsanalyse

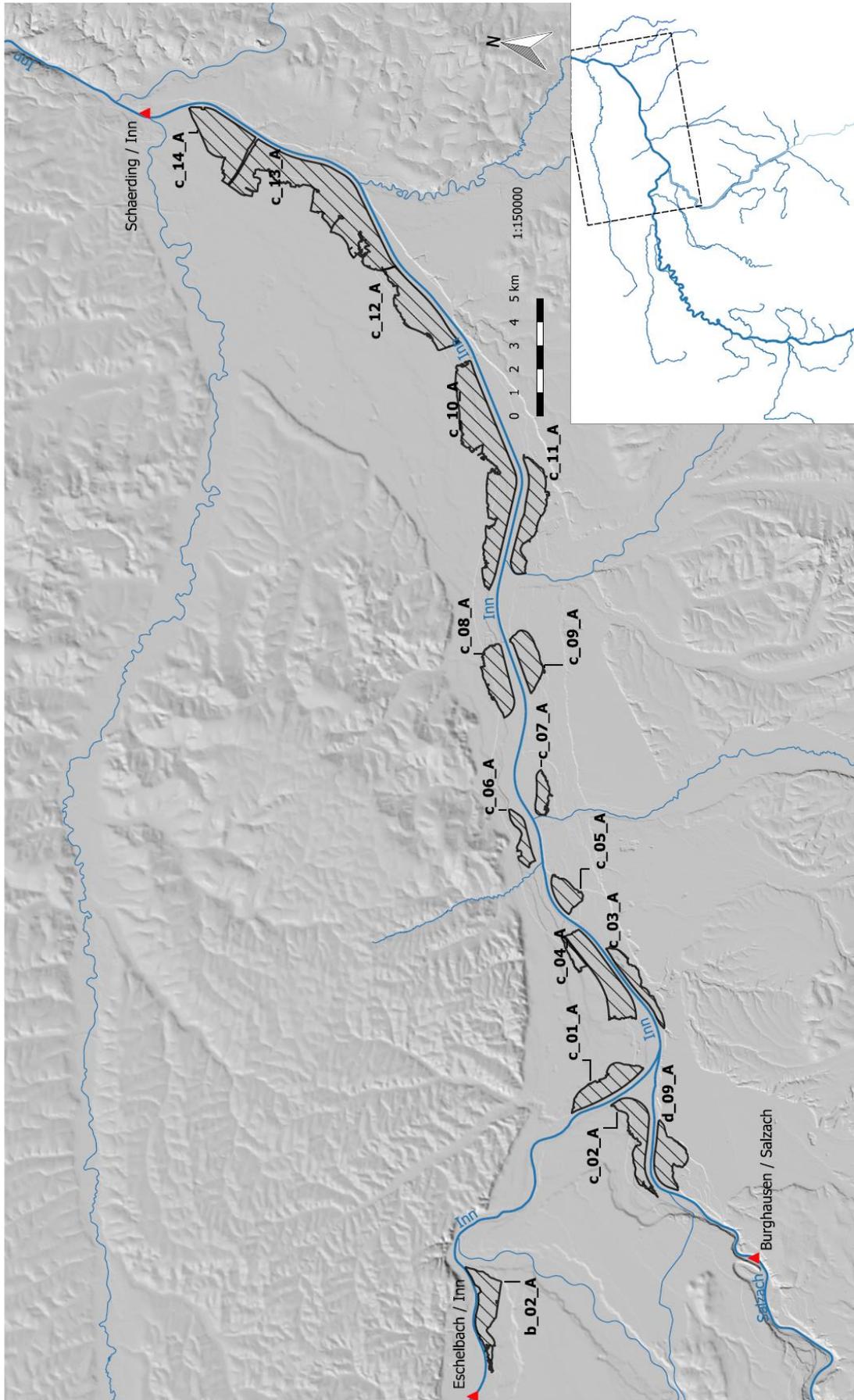


Abbildung 47: Potentielle Standorte für RHR am Inn ab Eschelbach bis Passau für die erste Wirkungsanalyse. Umgriff des Standorts Haiming als c_02_A und d_10_A identisch

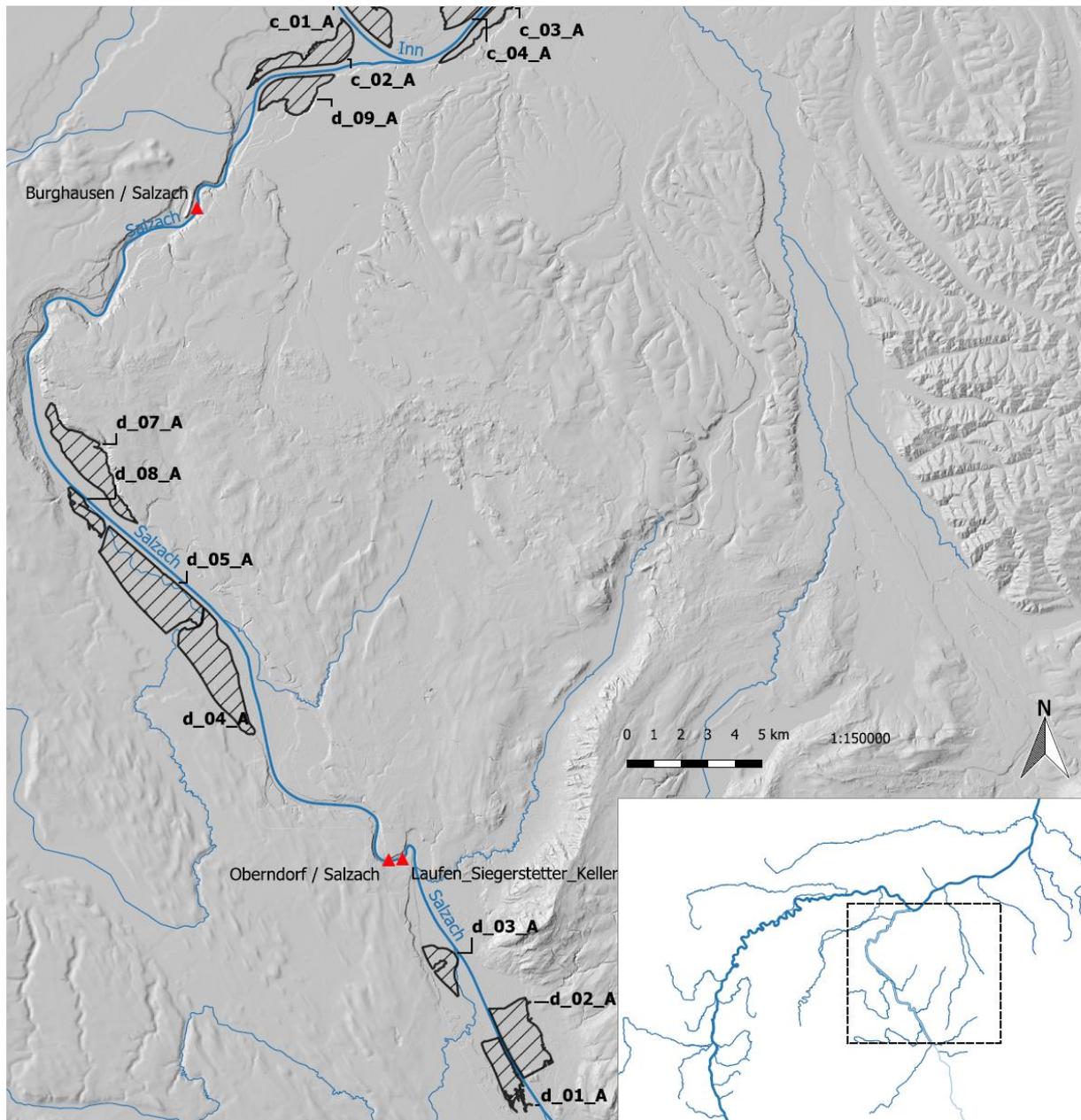


Abbildung 48: Potentielle Standorte für RHR an der Salzach für die erste Wirkungsanalyse. Umgriff des Standorts Haiming als c_02_A und d_10_A identisch

6.3. Kriterienkatalog für „Planungsherausforderungen“ oder „Widerstände“

Für die Erstpriorisierung der immer noch zahlreichen potentiellen Standorte war es notwendig, vertiefte Bewertungskriterien neben der hydrologisch-hydraulischen Wirkung zu definieren. Dieser Kriterienkatalog für die „Planungsherausforderungen“ oder „Widerstände“ wurde von der TUM erarbeitet und in nachfolgenden Treffen mit den Auftraggebern abgestimmt.

Themenfelder des Kriterienkatalogs

Gegliedert werden die Kriterien in die vier Themenfelder „Bautechnik“, „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“, „Land- und Forstwirtschaft“ und „Ökologie“. Unterschieden wird in sogenannte qualitativ und quantitativ bewertbare Kriterien und informative Kriterien. Qualitativ und quantitativ bewertbare Kriterien können nur für die Themenfelder „Bautechnik“ (Tabelle 23) und „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“ (Tabelle 25) ermittelt werden. Als Endbewertung steht für diese Themenfelder dann eine Notenvergabe von 1: gut – 2: mittel – 3: schlecht. Weitere Kriterien, die zum jetzigen Zeitpunkt nicht oder nicht in der erforderlichen Tiefe ermittelt und/oder bewertet werden können, werden als „Informationen“ mitgeführt, wie weitere Beispiele aus der „Bautechnik“ (Tabelle 24), „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“ (Tabelle 26) und alle Kriterien aus den Themenfeldern „Forst- und Landwirtschaft“ und „Ökologie“ (Tabelle 27 und Tabelle 28). Das Themenfeld „Ökologie“ wurde für ausgewählte Standorte (Kapitel 6.10) vertieft in einem separaten Projekt vom Büro REVITAL bearbeitet. Diese Ergebnisse gehen dann in die abschließende Priorisierung ein (Kapitel 11).

Tabelle 23: Quantitativ und qualitativ bewertbare Kriterien im Themenfeld „Bautechnik“ (Kriterien C)

Kriterium <i>Ermittlung durch...</i>	Note		
	1	2	3
C1 Deichneubau oder Deichanpassung * <i>TUM</i>	Quotient aus Aufstellfläche/Retentionsvolumen „klein“	Quotient aus Aufstellfläche/Retentionsvolumen „mittel“	Quotient aus Aufstellfläche/Retentionsvolumen „groß“
C2 Befüllung <i>TUM</i>	Unkompliziert möglich	Mit einigen baulichen Anpassungen möglich	Befüllung nur mit Überbrückung eines anderen Gewässers (oder Düker) möglich
C3 Entleerung <i>TUM</i>	Freier Auslauf, großer Querschnitt	Entleerung mit baulichen Anpassungen möglich, bspw. Flutmulde	Schöpfwerk nötig, (Rest-) Entleerung aufwändig
C4 Seitengewässer <i>Verwaltung</i>	Keine größeren Seitengewässer im Polder	Verlegung (oder Anpassung Deiche) von Seitengewässern in kleinerem Umfang nötig; Polder teils bei HW Seitengewässer beansprucht	Aufwändige Verlegung von Seitengewässern oder Schöpfwerk nötig; Fläche bereits Retentionsraum für Seitengewässer

* Klassengrenzen erst festzulegen nach Zusammenschau aller Flächen (Kapitel 6.4)

Tabelle 24: Informative Kriterien im Themenfeld „ Bautechnik“

Kriterium <i>Ermittlung durch...</i>	Information
Georisiko <i>Verwaltung</i>	Rutschhänge ja oder nein?

Tabelle 25: Quantitativ und qualitativ bewertbare Kriterien im Themenfeld „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“ (Kriterien D)

Kriterium <i>Ermittlung durch...</i>	Note		
	1	2	3
D1 Siedlungen im Rückhalteraum <i>TUM</i>	Keine Bebauung im Rückhalteraum	Mehrere Gebäude im Rückhalteraum *	Viele Gebäude im Rückhalteraum *
D2 Infrastruktur <i>Verwaltung</i>	Keine Infrastruktur im Polder (Verkehr, Energie o.ä.)	Einzelne Straßen im Polder (Forst-/ Landwirtschaftswege vernachlässigen), Stromtrasse	Autobahn, Bundesstraße, Bahn, Starkstromtrasse im Polder

* Klassengrenzen erst festzulegen nach Zusammenschau aller Flächen (Kapitel 6.4)

Tabelle 26: Informative Kriterien im Themenfeld „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“

Kriterium <i>Ermittlung durch...</i>	Information
Trinkwasser <i>Verwaltung</i>	TW-Schutzgebiet im Rückhalteraum?
Grundwasserstand <i>Verwaltung</i>	Sind Probleme aufgrund (zeitweise) hoher GW-Stände für Bebauung oder sonstige Objekte im Umkreis von 500 m bekannt? Allgemeine Aussagen zum GW-Flurabstand im Einflussbereich des Rückhalteraums?
Synergien <i>Verwaltung</i>	Grundschatz bis HQx vorhanden, im Zuge eines Polderbaus könnten evtl. Verbesserung umgesetzt werden
Beeinflussung Landschaftsbild <i>TUM</i>	Neu zu erstellende Deiche (km-Angabe) in Relation zum Gesamtumfang
Beeinflussung Naherholung <i>Verwaltung</i>	Rückhalteraum aktuell zur Naherholung genutzt?
Sonstige Nutzungen <i>Verwaltung</i>	Z. B. Kiesabbau, Kläranlagen, Fischerei, ... im Rückhalteraum?

Tabelle 27: Informative Kriterien im Themenfeld „Land- und Forstwirtschaft“

Kriterium <i>Ermittlung durch...</i>	Information
Flächennutzung <i>TUM</i>	Anteil an der Fläche des potentiellen Rückhalteraums [%]: Forst/Wald, Landwirtschaft, Gewässer (Altarm, Teich, ...)
Erforderliche neue Deichaufstandsfläche <i>TUM</i>	<i>Übernehmen aus Themenfeld „Bautechnik“</i>

Tabelle 28: Informative Kriterien im Themenfeld „Ökologie“

Kriterium	Information
<i>Ermittlung durch...</i>	
Schutzgebiete und geschützte Flächen <i>Verwaltung</i>	Anteil an der Polderfläche [%] (Natura 2000-Gebiete [FFH- und Vogelschutz-Gebiete], NSG, LSG, sonst. Schutzgebiete, geschützte Biotope (nach § 30 BNatschG), Vorkommen von saP- und RL-Arten, Landschaftsbild und Erholung (Eignung und Funktion)
Beurteilung WRRL Seitengewässer <i>Verwaltung</i>	Gegebenfalls vorliegende Beurteilung von Seitengewässern nach WRRL

Vor Bearbeitung des Kriterienkatalogs wurden die potentiellen Flächen nochmals umrissen: Verschneidung Wasserspiegel und Gelände aus dem DGM1, scharfe Grenze zur Infrastruktur und Bebauung, zu bestehenden Dämmen/Deichen/.... Anschließend wurden die Kennwerte ermittelt: Fläche und Volumina, aus der Differenz zwischen Wasserspiegel bei Stauziel und der Geländehöhe (aus DGM1), zugeschnitten auf die verfügbare Fläche.

Vorgehen bei der Ermittlung der Werte zur Ausfüllung des Kriterienkatalogs

Die qualitativen (C2, C3, C4, D2 für die Bewertung) und informativen Kriterien wurden entsprechend einer „Ausfüllanleitung“ von den Wasserwirtschaftsverwaltungen und der TUM ausgefüllt. Die verbleibenden quantitativen Kriterien wie hydraulische Wirkung A und B sowie C1 und D1 wurden von der TUM ermittelt. Für A und B wurden die Simulationen der Wirkungsanalyse (siehe Kapitel 7.3) durchgeführt, für C1 und D1 Analysen im GIS, die nachfolgend beschrieben werden.

Zur Ermittlung von C1 wurde je potentielltem Standort folgendermaßen vorgegangen:

- Ermittlung der Länge des Umgriffs und der Anteile der Grenzen zu bestehenden Dämmen und Deichen (eher nur Anpassungen notwendig) und zur Bebauung, Infrastruktur, sowie sonstiger zu erstellender Deichstrecken (alle neu zu errichten oder bestehende Strukturen anpassen). Bebauung wurde vorher mit 10 m Puffer versehen. Da diese Prozesse nicht vollständig automatisierbar waren, wurden bspw. die Grenzen mit Stauhaltungsdämmen separat per Hand bestimmt.
- Ermittlung der Geländehöhen entlang der neu zu erstellenden oder anzupassenden Deiche, Entlang der Linien wurden regelmäßig Punkte im Abstand von 5 m verteilt, für welche dann die Geländehöhen errechnet wurden.
- Berechnung einer mittleren, maximalen und minimalen Geländehöhe dieser Punkte.

- Mittels der Annahme eines einfachen Deichkörpers mit Kronenbreite 3,5 m, Neigung 1:3 und Freibord 1,5 m konnte somit die mittlere Breite des Deiches ermittelt werden, welche noch mit der Länge der zugeordneten Grenzen (= neue Deiche) multipliziert wurde, um die Deichaufstandsfläche zu erhalten.
- Ermittlung der mittleren Deichaufstandsfläche bezogen auf das verfügbare Rückhaltevolumen.

Zur Ermittlung von D1 wurde je potentiellm Standort folgendermaßen vorgegangen:

- Verwendung der GIS-Datensätze DFK („Digitale Flurkarte Bayern“) und die DKM („Digitale Katastralmappe Österreich“, Grundstücke und Nutzungsflächen)
- Aufteilung in Hauptgebäude und Nebengebäude oder Gebäudenebenfläche. Hier zeigte sich bereits bei Stichproben, dass nicht eindeutig nur kleine Nebengebäude oder Scheunen, sondern teils auch „große“ Gebäude oder Teile eines Hofes o.ä. ausgeschlossen werden würden, sollte sich die Auswertung auf Hauptgebäude beschränken. Aufgrund der großen Anzahl an Standorten und Gebäude konnte auch keine Ortsbegehung durchgeführt werden.
- Ermittlung der Anzahl Gebäude, die im RHR liegen. Gebäude am Rand wurden bereits bei der Flächenfestlegung z. B. aufgrund des 10 m Puffers von der Zählung ausgeschlossen.

6.4. Ergebnis der quantitativ und qualitativ bewertbaren Kriterien für die RHR Varianten A (Flutpolder)

Nachfolgend wird zunächst dargestellt, wie die quantitativ ermittelbaren Kriterien in eine Bewertung überführt werden. Anschließend werden tabellarisch die Bewertungen der einzelnen RHR vorgestellt.

Die Bewertung der hydraulischen Wirkung, ermittelt über die Parameter A und B, erfolgt entsprechend Tabelle 29 für die relative Scheitelreduktion am Nahpegel (A1) und Fernpegel (A2) oder die spezifische Scheitelreduktion am Nahpegel (B1) und Fernpegel (B2). Die relative Scheitelreduktion [%] wird ermittelt aus der absoluten Scheitelreduktion [m^3/s] zwischen Zustand ohne (Referenz) und mit Einsatz des RHR bezogen auf den Scheitelabfluss des Referenzzustands. Die spezifische Scheitelreduktion bestimmt sich aus der relativen Scheitelreduktion bezogen auf das eingesetzte Rückhaltevolumen [% / Mio. m^3]. Unterschieden wird in Nah- und Fernpegel (Tabelle 30), welche in der Regel großen Schadens Schwerpunkten unterstrom eines Rückhalteraums entsprechen.

Tabelle 29: Matrix zur Bewertung der relativen und spezifischen Scheitelreduktion am Nahpegel (A1, B1) und Fernpegel (A2, B2)

A1			A2			B1			B2		
dQ _{rel} [%]		Note	dQ _{rel} [%]		Note	dQ _{rel} / V [% / Mio. m ³]		Note	dQ _{rel} / V [% / Mio. m ³]		Note
von	bis		von	bis		von	bis		von	bis	
0.00	0.71	3.0	0.00	0.48	3.0	0.00	0.05	3.0	0.00	0.04	3.0
0.72	1.43	2.9	0.48	0.95	2.9	0.05	0.10	2.9	0.04	0.08	2.9
1.43	2.14	2.8	0.95	1.43	2.8	0.10	0.14	2.8	0.08	0.11	2.8
2.14	2.86	2.7	1.43	1.91	2.7	0.14	0.19	2.7	0.12	0.15	2.7
2.86	3.57	2.6	1.91	2.38	2.6	0.19	0.24	2.6	0.15	0.19	2.6
3.57	4.29	2.5	2.38	2.86	2.5	0.24	0.29	2.5	0.19	0.23	2.5
4.29	5.00	2.4	2.86	3.33	2.4	0.29	0.33	2.4	0.23	0.27	2.4
5.00	5.71	2.3	3.33	3.81	2.3	0.33	0.38	2.3	0.27	0.31	2.3
5.72	6.43	2.2	3.81	4.29	2.2	0.38	0.43	2.2	0.31	0.34	2.2
6.43	7.14	2.1	4.29	4.76	2.1	0.43	0.48	2.1	0.34	0.38	2.1
7.14	7.86	2.0	4.76	5.24	2.0	0.48	0.52	2.0	0.38	0.42	2.0
7.86	8.57	1.9	5.24	5.71	1.9	0.53	0.57	1.9	0.42	0.46	1.9
8.57	9.29	1.8	5.72	6.19	1.8	0.57	0.62	1.8	0.46	0.50	1.8
9.29	10.00	1.7	6.19	6.67	1.7	0.62	0.67	1.7	0.50	0.53	1.7
10.00	10.71	1.6	6.67	7.14	1.6	0.67	0.71	1.6	0.53	0.57	1.6
10.72	11.43	1.5	7.14	7.62	1.5	0.72	0.76	1.5	0.57	0.61	1.5
11.43	12.14	1.4	7.62	8.10	1.4	0.76	0.81	1.4	0.61	0.65	1.4
12.14	12.86	1.3	8.10	8.57	1.3	0.81	0.86	1.3	0.65	0.69	1.3
12.86	13.57	1.2	8.57	9.05	1.2	0.86	0.91	1.2	0.69	0.72	1.2
13.57	14.29	1.1	9.05	9.52	1.1	0.91	0.95	1.1	0.73	0.76	1.1
14.29	15.00	1.0	9.53	10.00	1.0	0.95	1.00	1.0	0.76	0.80	1.0

Tabelle 30: Übersicht über Nah- und Fernpegel je nach Abschnitt

Abschnitt	Nahpegel	Fernpegel
Oberaudorf bis Wasserburg	WABG (Wasserburg)	PING (Passau)
Wasserburg bis Stammham	ITM (Stammham)	PING (Passau)
Stammham bis Passau	PING (Passau)	PING (Passau)
Salzach oberstrom Pegel Burghausen	BGHA (Burghausen)	PING (Passau)
Salzach unterstrom Pegel Burghausen	BRAU (Braunau)	PING (Passau)

Wie im Kriterienkatalog in 6.3 gezeigt wurde, werden die Klassengrenzen für die Kriterien C1 (Deichneubau oder Deichanpassung in „Bautechnik“, Tabelle 23) und D1 (Siedlungen im Rückhalteraum in „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“, Tabelle 25) erst nach Ermittlung der Werte für alle Standorte festgelegt. Abbildung 49 zeigt ein Histogramm der ermittelten Werte für C1. Die Klassengrenzen (Tabelle 31) wurden anhand der Quantile 1/3 und 2/3 gewählt, damit die Bewertungen 1, 2 und 3 einigermaßen gleichmäßig verteilt sind.

Die ermittelten Werte für D1 wurden ebenso ausgewertet. Wie aus Abbildung 50 zu erkennen ist, gibt es sehr viele Standorte, bei denen 30 oder mehr Gebäude in der Fläche liegen. Dies ist v.a. der Methodik geschuldet, die möglichst ohne Ausschlusskriterien vorgehen sollte. Standorte, bei denen bis zu 5 Gebäude ermittelt wurden, wurden anhand Orthophotos geprüft, damit nicht Fehler im Datensatz eine Bewertung mit 1 (kein Gebäude im RHR) verhindern

würden. Dies betraf 2 Standorte (a_08 und d_01). Ansonsten wurde die Klassengrenze (Tabelle 31) zwischen 2 und 3 auf 23 Gebäude gesetzt, was dem 33 % - Quantil entspricht.

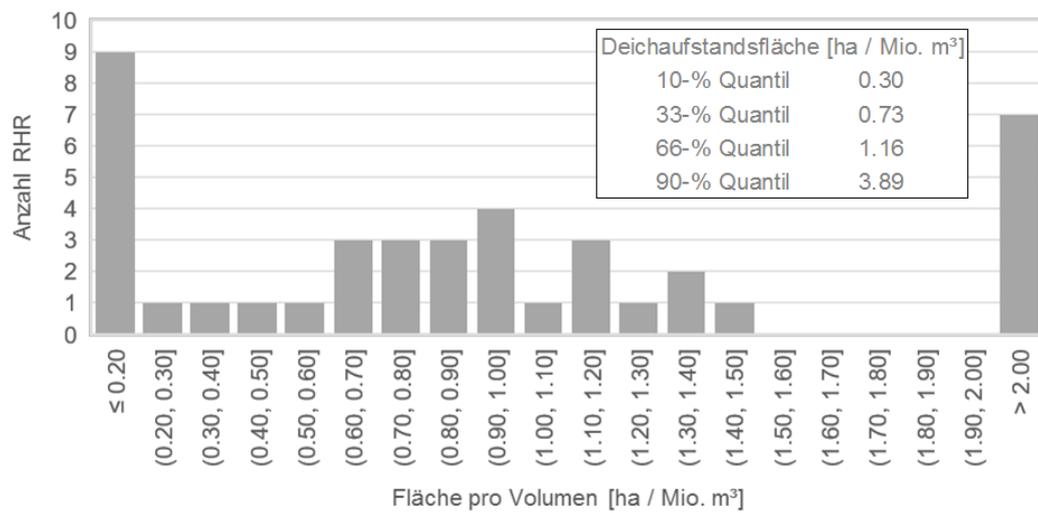


Abbildung 49: Auswertung für das Kriterium C1, Deichaufstandsfläche pro Rückhaltevolumen

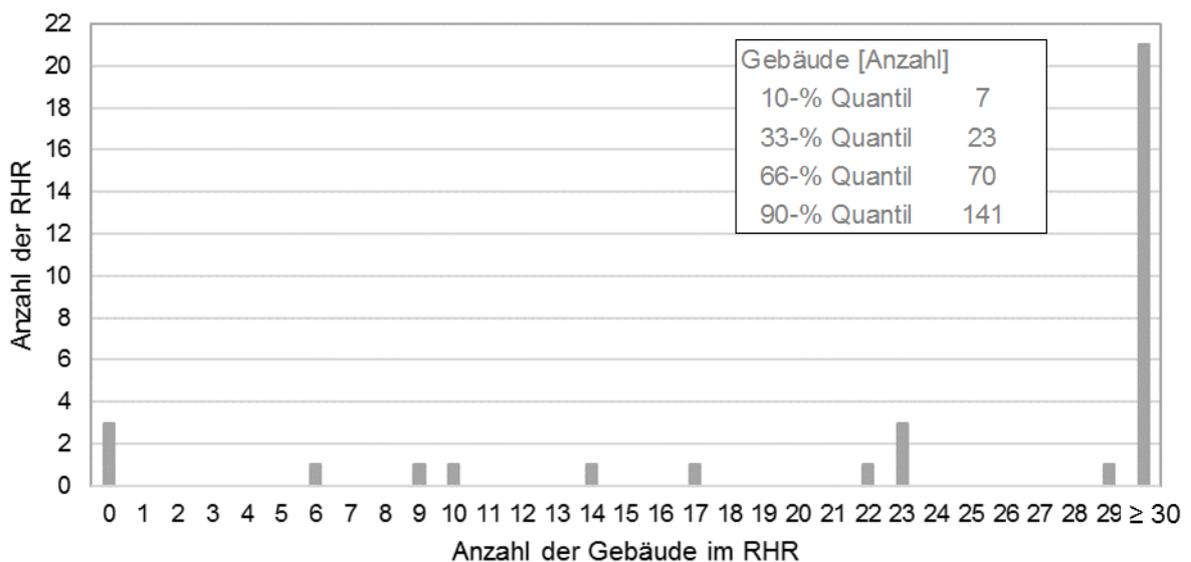


Abbildung 50: Auswertung für das Kriterium D1, Anzahl der Gebäude im RHR in den Varianten A

Tabelle 31: Matrix zur Bewertung der Kriterien C1 und D1

C1		D1	
Deichaufstandsfläche [ha / Mio. m³]	Note	Gebäude [Anzahl]	Note
0 - 0.7299	1	0	1
0.73 - 1.1599	2	1 - 22	2
≥ 1.16	3	≥ 23	3

Nach Ermittlung aller Kennwerte der RHR konnten die Bewertungen entsprechend des Kriterienkatalogs und der in diesem Kapitel gezeigten Klasseneinteilungen für quantitativ bewertbare Kriterien erstellt werden. Die nachfolgenden Tabellen fassen die Ergebnisse für alle Varianten A der RHR (FP, Flutpolder) zusammen. In Abschnitt a wurden 12 Standorte als Variante A bewertet (Tabelle 32). In Abschnitt b wurde nur ein Standort als Variante A bewertet (b_02, Tabelle 33). In Abschnitt c wurden 13 Standorte als Variante A bewertet (Tabelle 34). Entlang der Salzach (Tabelle 35) wurden neun Standorte bewertet, wobei hier Standort d_10 (Haiming) identisch ist mit Standort c_02, da er sowohl vom Inn als auch von der Salzach befüllbar wäre.

Tabelle 32: Kenndaten und Bewertungen für alle potentiellen RHR der Variante A in Abschnitt a

ID	a_01_A	a_02_A	a_03_A	a_05_A	a_06_A	a_07_A	a_08_A	a_09_A	a_10_A	a_12_A	a_13_A	a_14_A
Name	Nussdorf	Flintsbach	Gmain-Reischenhart	Wöhr-Erlenau-Thansau	Erlenau-Happing	Pfaffenhofen Au	Feldkirchen-Vogtareuth	Feldkirchen-Murner Au	Feldkirchen-Wöhrm 2	Ramerberg-Sending	Altenhohenau	Klosterau
Amtsbezirk	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO
Lage Einlauf [Fkm]	203.0	202.0	199.0	194.0	190.8	181.4	176.0	176.0	171.2	167.6	166.4	164.6
Fläche [ha]	264	212	529	862	279	619	348	537	175	123	160	65
FP Stauziel (potentiell) [mNHN]	463.8	463.7	463.5	453.2	451.9	443.5	441.1	441.1	435.1	433.3	433.1	432.3
Volumen (Erstprior.) [Mio. m³]	10.5	8.2	44.1	24.6	10.5	20.9	17.4	28.2	2.1	2.7	4.9	2.4
A: "relative Flutpolderwirkung"												
dQ_max [%]	8.5	7.0	23.7	16.0	8.5	12.4	12.6	17.8	2.6	3.1	5.3	2.9
Note A1 [-]	1.9	2.1	1.0	1.0	1.9	1.3	1.3	1.0	2.7	2.6	2.3	2.6
dQ_max [%]	2.4	1.9	9.3	5.5	2.4	4.0	3.8	6.3	0.6	0.7	1.2	0.7
Note A2 [-]	2.5	2.7	1.1	1.9	2.6	2.2	2.3	1.7	2.9	2.9	2.8	2.9
B: "spezifische Flutpolderwirkung"												
dQ / V [% / Mio. m³]	0.806	0.858	0.538	0.650	0.807	0.595	0.725	0.632	1.244	1.158	1.081	1.220
Note B1 [-]	1.4	1.2	1.9	1.7	1.4	1.8	1.5	1.7	1.0	1.0	1.0	1.0
dQ / V [% / Mio. m³]	0.227	0.226	0.211	0.223	0.225	0.191	0.216	0.225	0.298	0.279	0.247	0.280
Note B2 [-]	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.3	2.3	2.4	2.3
C: „Bautechnik“												
Deichaufstandsfläche [ha / Mio. m³]	0.82	3.67	0.61	1.28	1.28	2.69	0.03	0.76	1.19	4.04	0.33	0.43
Note C1 [-]	2	3	1	3	3	3	1	2	3	3	1	1
Note C2 [-]	1	1	3	1	1	3	1	3	3	3	1	1
Note C3 [-]	2	2	3	3	1	2	1	3	3	3	2	3
Note C4 [-]	2	2	3	3	2	3	1	3	2	2	1	1
D: „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“												
Anzahl Gebäude [-]	35	29	175	314	66	63	0	141	72	23	22	23
Note D1 [-]	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	2	3
Note D2 [-]	2	2	2	3	2	3	3	1	3	2	1	1

Tabelle 33: Kenndaten und Bewertungen für alle potentiellen RHR der Variante A in Abschnitt b

ID	b_02_A	
Name		Perach rechts
Amtsbezirk		TS
Lage Einlauf	[Fkm]	85.0
Fläche	[ha]	258
FP Stauziel (potentiell)	[mNHN]	361.7
Volumen (Erstprio.)	[Mio. m³]	5.2
A: "relative Flutpolderwirkung"		
dQ_max	[%]	3.2
Note A1	[-]	2.6
dQ_max	[%]	1.3
Note A2	[-]	2.8
B: "spezifische Flutpolderwirkung"		
dQ / V	[% / Mio. m³]	0.615
Note B1	[-]	1.8
dQ / V	[% / Mio. m³]	0.247
Note B2	[-]	2.4
C: „Bautechnik“		
Deichaufstandsfläche	[ha / Mio. m³]	1.36
Note C1	[-]	3
Note C2	[-]	1
Note C3	[-]	1
Note C4	[-]	2
D: „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“		
Anzahl Gebäude	[-]	3
Note D1	[-]	2
Note D2	[-]	2

Tabelle 34: Kenndaten und Bewertungen für alle potentiellen RHR der Variante A in Abschnitt c

ID	c_01_A	c_02_A	c_03_A	c_04_A	c_05_A	c_06_A	c_07_A	c_08_A	c_09_A	c_10_A	c_11_A	c_13_A	c_14_A
Name	Seibersdorf	Haiming	Rothenbuch	Kirchdorf	Braunau	Simbach	Reikersdorf	Ering	Mining	Aufhausen- Aigen	Mühlheim	Inzing	Redinger Au
Amtsbezirk	DEG	TS	OÖ	DEG	OÖ	DEG	OÖ	DEG	OÖ	DEG	OÖ	DEG	DEG
Lage Einlauf [Fkm]	72.0	70.4	66.0	65.0	60.4	57.4	55.6	51.0	50.0	45.2	44.2	29.0	21.0
Fläche [ha]	244	254	154	394	123	102	84	254	190	933	320	1134	422
FP Stauziel (potentiell) [mNHN]	352.3	352.0	351.0	350.4	342.0	340.1	338.8	336.5	336.7	329.5	329.5	317.9	315.2
Volumen (Erstprio.) [Mio. m³]	10.7	7.3	12.6	31.3	2.7	3.6	2.5	14.2	10.7	42.9	16.1	45.9	31.3
A: "relative Flutpolderwirkung"													
dQ_max [%]	2.1	1.6	3.3	7.1	0.8	1.1	0.1	4.1	2.9	10.7	4.8	8.7	7.5
Note A1 [-]	2.8	2.8	2.6	2.1	2.9	2.9	3.0	2.5	2.6	1.6	2.4	1.8	2.0
dQ_max [%]	2.1	1.6	3.3	7.1	0.8	1.1	0.1	4.1	2.9	10.7	4.8	8.7	7.5
Note A2 [-]	2.6	2.7	2.4	1.6	2.9	2.8	3.0	2.2	2.4	1.0	2.0	1.2	1.5
B: "spezifische Flutpolderwirkung"													
dQ / V [% / Mio. m³]	0.193	0.216	0.260	0.226	0.303	0.313	0.037	0.289	0.274	0.249	0.298	0.189	0.240
Note B1 [-]	2.6	2.6	2.5	2.6	2.4	2.4	3.0	2.4	2.5	2.5	2.4	2.7	2.5
dQ / V [% / Mio. m³]	0.193	0.216	0.260	0.226	0.303	0.313	0.037	0.289	0.274	0.249	0.298	0.189	0.240
Note B2 [-]	2.5	2.5	2.4	2.5	2.3	2.2	3.0	2.3	2.3	2.4	2.3	2.6	2.4
C: „Bautechnik“													
Deichaufstandsfläche [ha / Mio. m³]	0.42	0.61	0.04	1.17	1.03	0.94	0.70	0.61	0.01	1.13	0.04	0.87	1.11
Note C1 [-]	1	1	1	3	2	2	1	1	1	2	1	2	2
Note C2 [-]	1	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1
Note C3 [-]	3	3	3	2	3	3	3	1	2	2	3	2	1
Note C4 [-]	3	2	1	3	1	3	1	3	1	3	2	3	3
D: „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“													
Anzahl Gebäude [-]	70	55	9	47	88	14	23	54	17	111	10	140	57
Note D1 [-]	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	2	3	3
Note D2 [-]	3	2	2	3	2	3	2	1	2	3	2	3	3

Tabelle 35: Kenndaten und Bewertungen für alle potentiellen RHR der Variante A in Abschnitt d

ID	d_01_A	d_02_A	d_03_A	d_04_A	d_05_A	d_07_A	d_08_A	d_09_A	d_10_A
Name	Freilassing 2	Anthering 1	Triebenbach	Fridolfing 1	Fridolfing 2	Eitenuau	Tittmoning Süd	Mühlthal	Hainring
Amtsbezirk	TS	S	TS	TS	TS	OÖ	TS	OÖ	TS
Lage Einlauf [Fkm]	58.0	57.4	54.0	38.0	33.0	29.2	28.0	6.4	5.6
Fläche [ha]	161	345	119	498	607	355	80	229	254
FP Stauziel (potentiell) [mNHN]	405.7	405.1	400.4	382.5	378.0	374.2	372.9	353.9	352.6
Volumen (Erstprior.) [Mio. m³]	1.2	7.5	2.4	6.0	10.0	16.0	2.2	4.5	8.5
A: "relative Flutpolderwirkung"									
dQ_max [%]	0.5	3.8	0.7	4.8	6.9	9.5	2.3	3.9	6.1
Note A1 [-]	3.0	2.5	3.0	2.4	2.1	1.7	2.7	2.5	2.2
dQ_max [%]	0.4	2.8	0.7	3.3	4.8	6.4	1.6	3.5	5.6
Note A2 [-]	3.0	2.5	2.9	2.4	2.0	1.7	2.7	2.3	1.9
B: "spezifische Flutpolderwirkung"									
dQ / V [% / Mio. m³]	0.422	0.505	0.293	0.793	0.694	0.593	1.072	0.870	0.715
Note B1 [-]	2.2	2.0	2.4	1.4	1.6	1.8	1.0	1.2	1.5
dQ / V [% / Mio. m³]	0.321	0.370	0.283	0.548	0.484	0.403	0.743	0.787	0.661
Note B2 [-]	2.2	2.1	2.3	1.6	1.8	2.0	1.1	1.0	1.3
C: „Bautechnik“									
Deichaufstandsfläche [ha / Mio. m³]	3.65	0.82	3.97	0.98	0.96	0.91	3.81	0.75	0.61
Note C1 [-]	3	2	3	2	2	2	3	2	1
Note C2 [-]	2	2	2	1	1	1	2	1	1
Note C3 [-]	1	1	1	2	1	2	1	3	3
Note C4 [-]	2	3	3	2	2	2	3	1	2
D: „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“									
Anzahl Gebäude [-]	0	0	32	103	162	122	6	112	55
Note D1 [-]	1	1	3	3	3	3	2	3	3
Note D2 [-]	1	2	2	1	2	2	2	2	2

Wie in Abbildung 38 dargestellt wurde, mussten die verschiedenen Kriterien in eine Gesamtbewertung zusammengeführt werden und die RHR in ihrem Abschnitt gereiht werden. Zur Zusammenführung der verschiedenen Kriterien – quantitativ und qualitativ – ist eine Gewichtung erforderlich. Die Gesamtbewertung wurde auf Basis einer Variation von Gewichtungen durchgeführt, um die Entscheidung möglichst zu objektivieren. Es wurden 20 verschiedene Kombinationen an Gewichtungen der Kriterien A, B, C und D und der Unterpunkte (A1, A2, ...D1, D2) definiert, die in sinnvollen Bandbreiten variieren, aber auch starke Überbetonungen eines Kriteriums beinhalten (Tabelle 36 und Tabelle 37). Die Wirkung am Fernpegel wird in den meisten Kombinationen deutlich schwächer gegenüber der Wirkung am Nahpegel gewichtet. Die Gewichtung von A&B zu C&D erfolgte immer 50 % zu 50 %. Aus dem Median der Bewertungen aus diesen Kombinationen wurde die Gesamtbewertung berechnet (Abbildung 51, Abbildung 52 und Abbildung 53) und daraus erfolgte die Reihung der Standorte innerhalb des jeweiligen Abschnitts. Die Ergebnisse der Gesamtbewertung werden für alle potentiellen Standorte gezeigt, die Reihung erfolgt allerdings unter Berücksichtigung eines Abschneidekriteriums „Bebauung“ (s. Kapitel 6.6).

Anm.: Für den Abschnitt b fehlen diese Abbildungen, da dort nur ein Standort übrigblieb.

Mit Abschluss der Wirkungsanalysen wurde das Bewertungsschema aktualisiert und an zusätzliche Kriterien angepasst (Kapitel 11.1).

Tabelle 36: Kombinationsmatrix der Gewichtungen im Kriterium A und B

	Gewichtung A zu B		Gewichtung A1 zu A2		Gewichtung B1 zu B2	
	A	B	A1	A2	B1	B2
Kombination 1	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0
Kombination 2	0.6	0.4	1.0	0.0	1.0	0.0
Kombination 3	0.2	0.8	1.0	0.0	1.0	0.0
Kombination 4	1.0	0.0	0.8	0.2	0.8	0.2
Kombination 5	0.6	0.4	0.8	0.2	0.8	0.2
Kombination 6	0.2	0.8	0.8	0.2	0.8	0.2
Kombination 7	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0
Kombination 8	0.6	0.4	1.0	0.0	1.0	0.0
Kombination 9	0.2	0.8	1.0	0.0	1.0	0.0
Kombination 10	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0
Kombination 11	0.6	0.4	1.0	0.0	1.0	0.0
Kombination 12	0.2	0.8	1.0	0.0	1.0	0.0
Kombination 13	1.0	0.0	0.8	0.2	0.8	0.2
Kombination 14	0.6	0.4	0.8	0.2	0.8	0.2
Kombination 15	0.2	0.8	0.8	0.2	0.8	0.2
Kombination 16	1.0	0.0	0.8	0.2	0.8	0.2
Kombination 17	0.6	0.4	0.8	0.2	0.8	0.2
Kombination 18	0.2	0.8	0.8	0.2	0.8	0.2
Kombination 19	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0
Kombination 20	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0

Tabelle 37: Kombinationsmatrix der Gewichtungen im Kriterium C und D

	Gewichtung C zu D		Gewichtung C1 zu C2 zu C3 zu C4				Gewichtung D1 zu D2	
	C	D	C1	C2	C3	C4	D1	D2
Kombination 1	0.67	0.33	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
Kombination 2	0.67	0.33	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
Kombination 3	0.67	0.33	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
Kombination 4	0.67	0.33	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
Kombination 5	0.67	0.33	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
Kombination 6	0.67	0.33	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
Kombination 7	0.83	0.17	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
Kombination 8	0.83	0.17	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
Kombination 9	0.83	0.17	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
Kombination 10	0.33	0.67	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
Kombination 11	0.33	0.67	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
Kombination 12	0.33	0.67	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
Kombination 13	0.83	0.17	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
Kombination 14	0.83	0.17	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
Kombination 15	0.83	0.17	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
Kombination 16	0.33	0.67	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
Kombination 17	0.33	0.67	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
Kombination 18	0.33	0.67	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
Kombination 19	0.10	0.90	0.25	0.25	0.25	0.25	0.80	0.20
Kombination 20	0.10	0.90	0.25	0.25	0.25	0.25	0.80	0.20

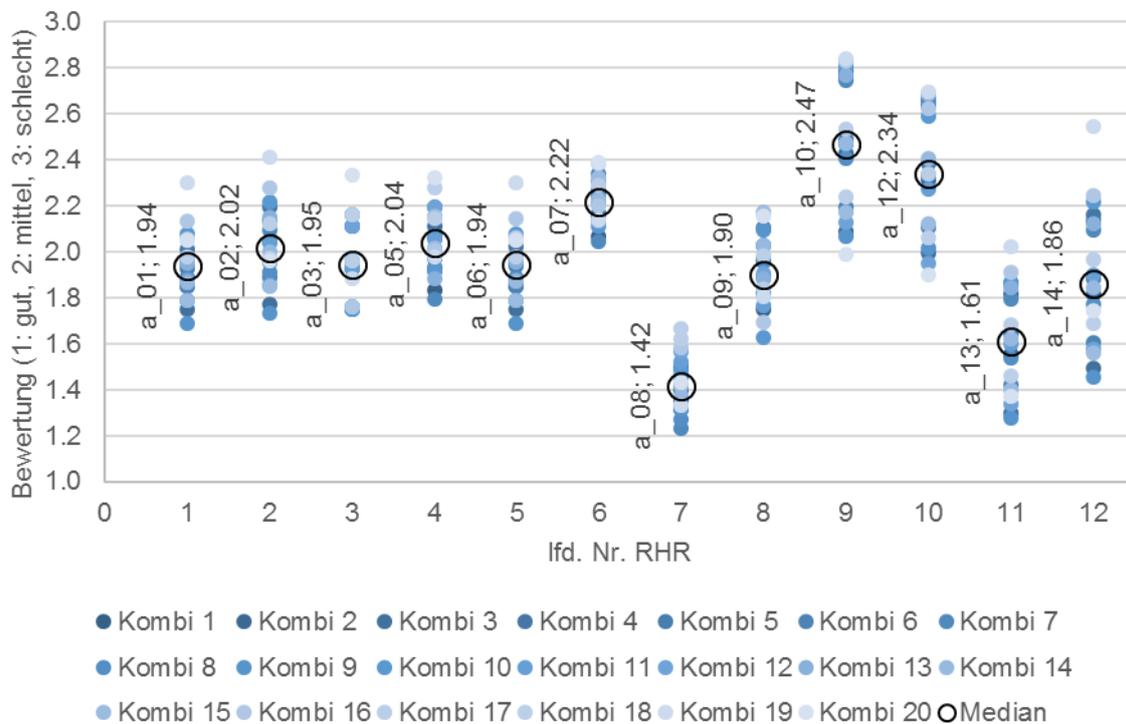


Abbildung 51: Bewertung der RHR Variante A im Abschnitt a. Blaue Punkte: Bewertung in einzelnen Kombinationen; schwarzer Kreis: Median der Bewertung aller Kombinationen

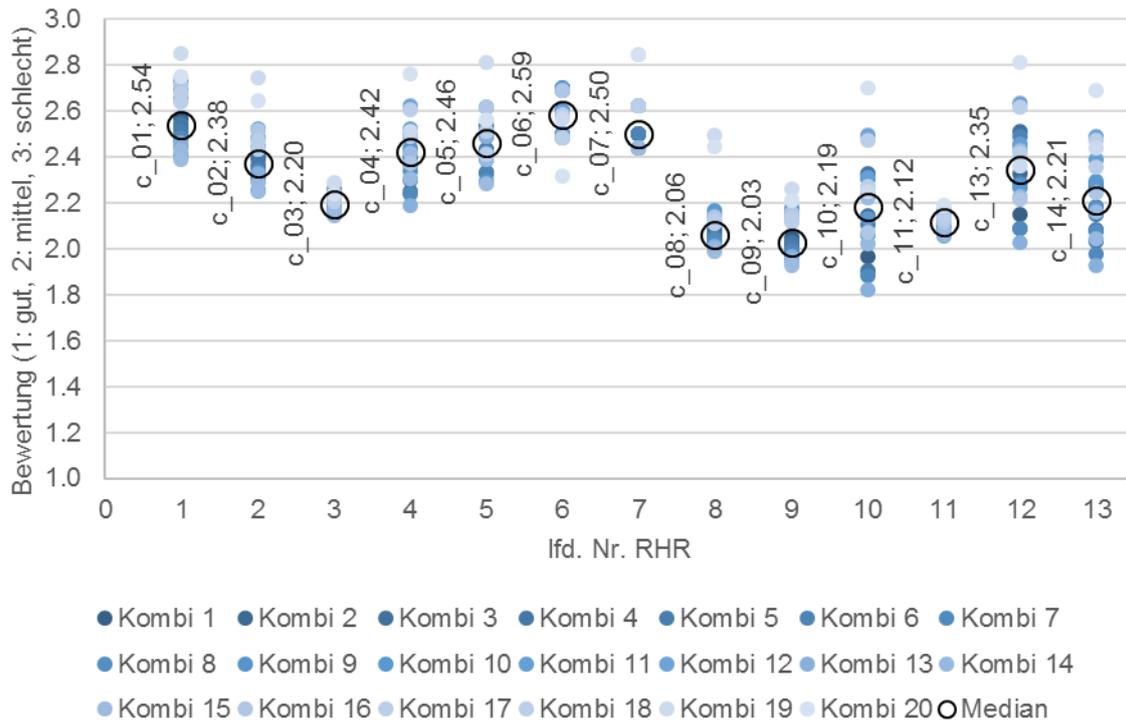


Abbildung 52: Bewertung der RHR Variante A im Abschnitt c. Blaue Punkte: Bewertung in einzelnen Kombinationen; schwarzer Kreis: Median der Bewertung aller Kombinationen

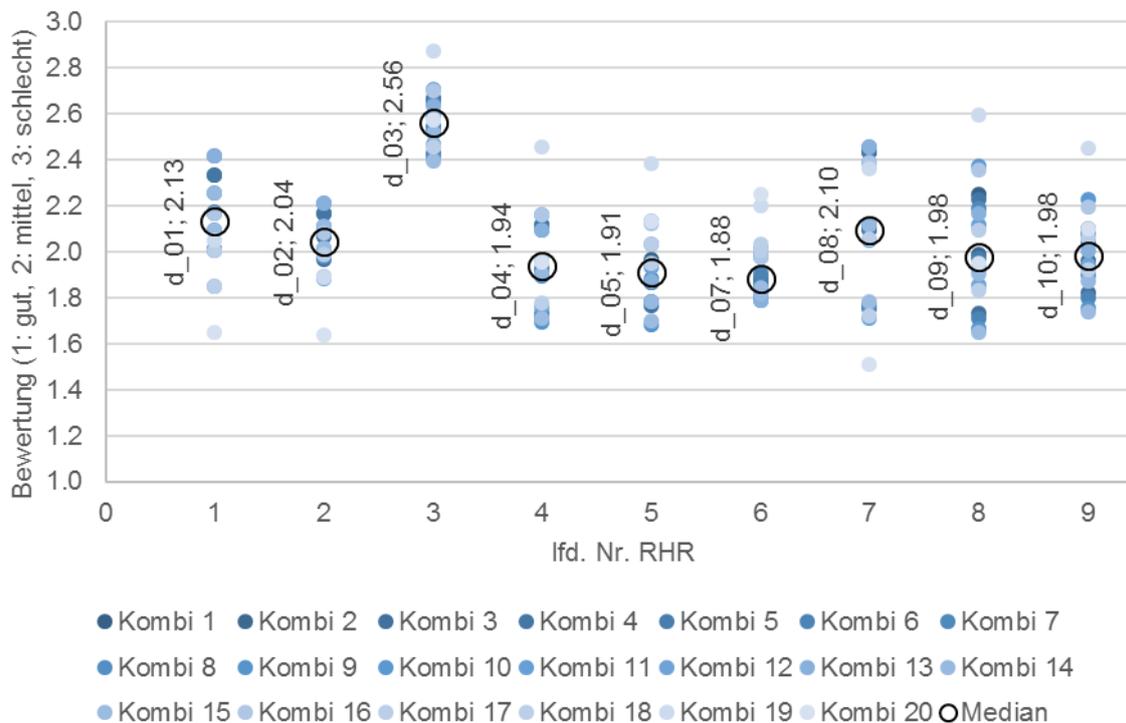


Abbildung 53: Bewertung der RHR Variante A im Abschnitt d. Blaue Punkte: Bewertung in einzelnen Kombinationen; schwarzer Kreis: Median der Bewertung aller Kombinationen

Die Bewertungen für die Varianten A (FP) im Abschnitt a (Abbildung 51) streuen über fast das gesamte Spektrum von 1,2 bis 2,8, wobei die Mediane mehrheitlich zwischen 1,6 und 2,2 liegen. Klar am besten schneidet RHR a_08_A (Feldkirchen) ab, welcher neben dem RHR a_07_A auch die geringste Varianz aus den Kombinationen von Gewichtungen zeigt. Es ist nicht zu erkennen, dass Standorte oberhalb der Mangfall grundsätzlich schlechter abschneiden als Standorte unterstrom der Mündung.

Im Abschnitt c ergibt sich ein etwas unklareres Bild an Bewertungen (Abbildung 52). Die Bewertungen eines Großteils der RHR streuen sehr breit über die Kombinationen (z. B. c_10_A zwischen 1,8 und 2,7), wobei allerdings die Mediane nur zwischen 2,0 und 2,6 verteilt sind. Zumindest die zwei am besten bewerteten Standorte (c_08_A und c_09_A) haben einen (kleinen) Abstand zu den nächstfolgenden und vor allem ist deren Varianz aus den Gewichtungskombinationen im Vergleich gering. Dies deutet darauf hin, dass sie auch bei stärkerer Betonung einer bestimmten Gewichtung oder auch Veränderung der Klassengrenzen eines Parameters auf den vorderen Rängen landen würden.

Die Ergebnisse der Bewertung für die Varianten A im Abschnitt d (Abbildung 53) sind am schwersten einzuordnen, da hier die Bewertungen der Standorte sehr nahe zusammen liegen und nur ein Standort eindeutig „herausfällt“. Mit Ausnahme des am schlechtesten bewerteten Standorts d_03_A ist auch die Bandbreite der Streuung sehr ähnlich bei allen potentiellen Varianten A. Eine etwas klarere Abtrennung ergibt sich nach Einarbeitung der Varianten B aus den Workshops (s. folgendes Kapitel).

Zuletzt sollte erwähnt werden, dass die Zusammensetzung und die Wahl dieser 20 Kombinationen von Gewichtungen subjektiv beeinflusst ist und die Varianz der Gewichtungen nicht alle denkbaren Fälle abdeckt. Setzt man dies allerdings in Relation zur allgemeinen Herangehensweise bei dieser Erstbewertung, die Bearbeitungstiefe und die Datengrundlage betreffend, würde eine umfangreichere Kombinierung der Gewichtungen oder auch Einführung weiterer Kriterien nur eine scheinbare Genauigkeit der Ergebnisse vorgeben, welche für eine solche vorliegende Potentialstudie nicht erforderlich und nicht angebracht ist. Dennoch kristallisieren sich aussagekräftige Bewertungen und Reihungen heraus, die auch dem Untersuchungsziel (Auswahl der „vielversprechendsten“ Standorte) entsprechen. Beispielsweise sind die nach Expertenmeinung bei bloßer Ansicht einer topographischen Karte ungeeigneten Standorte auch am Ende der Reihung zu finden. Zwar gibt es meist keine eindeutig am besten bewerteten Standorte, sondern die vorderen Ränge liegen nahe zusammen, allerdings sollte dies auch die reale Situation widerspiegeln, in der kein Standort nur Vorteile aufweist.

6.5. Erarbeitung und Bewertung von möglichen Varianten B zu Varianten A der definierten potentiellen Rückhalteräume

Im Rahmen von Workshops mit TUM und den Wasserwirtschaftsverwaltungen aus Bayern und Österreich konnten für mehrere Standorte Alternativen erarbeitet werden. Ziel war dabei, die Bewertungen eines der Kriterien in den Themenfeldern C und D zu verbessern, meist die Anzahl der Gebäude im RHR. Beispielsweise wurden sinnvolle alternative Deichtrassen (beispielhaft Abbildung 54) oder niedrigere Stauziele ermittelt, um die Betroffenheit von Bebauungen zu verringern. Diese Varianten B wurden anschließend durch die TUM entsprechend der Varianten A untersucht (Nachführung Kriterienkatalog, Ermittlung Volumen und Deichlängen/-aufstandsflächen/...) und bewertet. Tabelle 38 und Tabelle 39 zeigt eine Gegenüberstellung der Bewertung von Varianten A und B je Standort im Abschnitt a, Tabelle 40 und Tabelle 41 im Abschnitt c und Tabelle 42 und Tabelle 43 im Abschnitt d. Die farbigen Bewertungen zeigen Veränderungen von A zu B an (grün: besser, rot: schlechter). Wie zu erwarten ist, verbessern die alternativen Deichtrassen das Kriterium D1, verschlechtern aber teils deutlich die Bewertung für Kriterium C1 sowie durch das kleinere Rückhaltevolumina auch die hydraulischen Parameter A1, A2, B1 und B2. Zu erkennen ist, dass die Varianten B meist auch insgesamt besser bewertet werden als die Varianten A. Auf Basis der neuen Bewertung wurde dann die Reihung im Abschnitt aktualisiert (Kapitel 0).

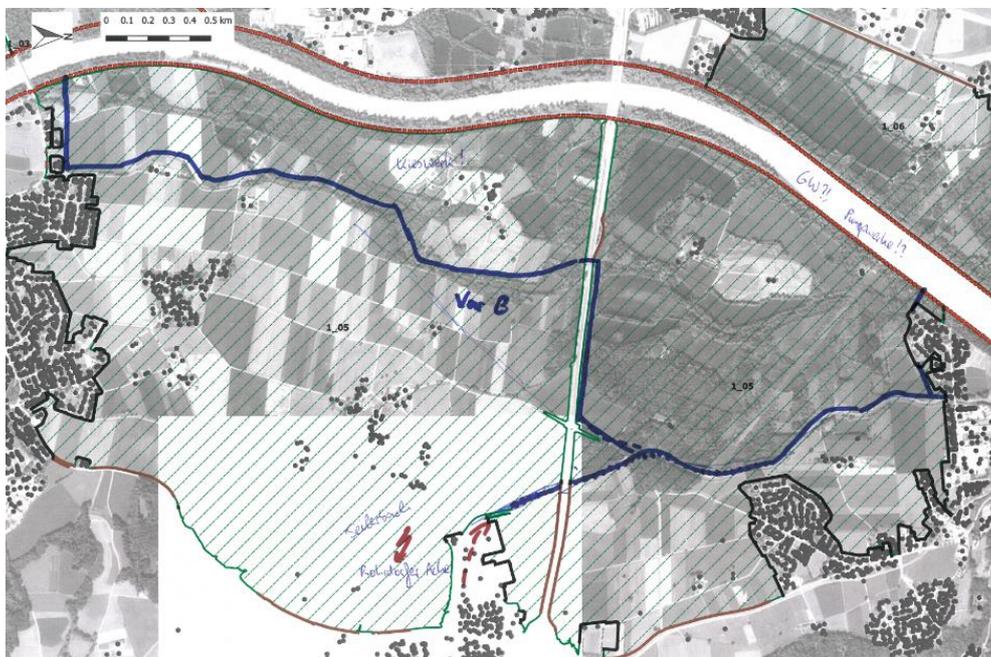


Abbildung 54: Karte des Standorts a_05 aus dem Workshop als Beispiel für alternative Deichtrassen mit dem Ziel, mehr Gebäude aus dem RHR auszuschließen. Graue Punkte: Gebäude, rot gepunktet: bestehende HWSA, schwarze Linie: neu zu erstellende Deiche, braune Linie: neu oder anzupassende Deiche entlang Infrastruktur, grüne Linie: natürliche Grenze des Wasserspiegels bei Stauziel zum Gelände

Tabelle 38: Gegenüberstellung der Bewertung von Varianten A und B im Abschnitt a, Teil 1. Rote oder grüne Bewertung bei Variante B zeigt eine Verschlechterung oder Verbesserung gegenüber der Variante A

ID	a_01_A	a_01_B	a_03_A	a_03_B	a_05_A	a_05_B	a_06_A	a_06_B
Name	Nussdorf		Gmain-Reischenhart	Wöhr-Erlenuu-Thansau	Erlenuu-Happing			
Änderung zur Var A	alternative Deichtrasse		niedrigeres Stauziel (Füllung von UW)	alternative Deichtrasse	alternative Deichtrasse			
Lage Einlauf [Fkm]	203.0	202.6	199.0	197.0	194.0	194.0	190.8	190.8
Fläche [ha]	264	182	529	353	862	321	279	163
FP Stauziel (potentiell) [mNHN]	463.8	463.8	463.5	455.2	453.2	453.2	451.9	451.9
Volumen (Erstprio.) [Mio. m³]	10.5	8.1	44.1	5.6	24.6	14.4	10.5	8.2
A: "relative Flutpolderwirkung"								
dQ_max [%]	8.5	7.0	23.7	5.0	16.0	10.9	8.5	7.0
Note A1 [-]	1.9	2.1	1.0	2.3	1.0	1.5	1.9	2.1
dQ_max [%]	2.4	1.9	9.3	1.3	5.5	3.2	2.4	1.9
Note A2 [-]	2.5	2.7	1.1	2.8	1.9	2.4	2.6	2.7
B: "spezifische Flutpolderwirkung"								
dQ / V [% / Mio. m³]	0.806	0.853	0.538	0.902	0.650	0.759	0.807	0.849
Note B1 [-]	1.4	1.3	1.9	1.2	1.7	1.5	1.4	1.3
dQ / V [% / Mio. m³]	0.227	0.228	0.211	0.237	0.223	0.220	0.225	0.228
Note B2 [-]	2.5	2.5	2.5	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5
C: „Bautechnik“								
Deichaufstandsfläche [ha / Mio. m³]	0.82	1.45	0.61	1.28	1.28	1.50	1.28	2.16
Note C1 [-]	2	3	1	3	3	3	3	3
Note C2 [-]	1	1	3	2	1	1	1	1
Note C3 [-]	2	2	3	3	3	3	1	1
Note C4 [-]	2	2	3	3	3	3	2	1
D: „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“								
Anzahl Gebäude [-]	35	7	175	120	314	31	66	14
Note D1 [-]	3	2	3	3	3	3	3	2
Note D2 [-]	2	2	2	2	3	2	2	2

Tabelle 39: Gegenüberstellung der Bewertung von Varianten A und B im Abschnitt a, Teil 2. Rote oder grüne Bewertung bei Variante B zeigt eine Verschlechterung oder Verbesserung gegenüber der Variante A

ID	a_07_A	a_07_B	a_09_A	a_09_B	a_13_A	a_13_B	a_14_A	a_14_B
Name	Pfaffenhofen Au	Feldkirchen-Murner Au	Alten-hohenau	Klosterau				
Änderung zur Var A	alternative Deichtrasse, etwas niedrigeres Stauziel	alternative Deichtrasse, verändertes Stauziel durch zwangsläufige Verlegung Einlauf	Ausdeichnungen, führt kaum zu Volumenverlust	Ausdeichnungen, führt kaum zu Volumenverlust				
Lage Einlauf	181.4	181.4	176.0	174.6	166.4	166.4	164.6	164.6
Fläche	619	464	537	210	160	155	65	61
FP Stauziel (potentiell)	443.5	443.0	441.1	441.1	433.1	433.1	432.3	432.3
Volumen (Erstprio.)	20.9	15.3	28.2	14.3	4.9	4.6	2.4	2.2
A: "relative Flutpolderwirkung"								
dQ_max	12.4	11.5	17.8	11.4	5.3	5.1	2.9	2.7
Note A1	1.3	1.4	1.0	1.5	2.3	2.3	2.6	2.7
dQ_max	4.0	3.4	6.3	3.1	1.2	1.2	0.7	0.7
Note A2	2.2	2.3	1.7	2.4	2.8	2.8	2.9	2.9
B: "spezifische Flutpolderwirkung"								
dQ / V	0.595	0.747	0.632	0.793	1.081	1.108	1.220	1.228
Note B1	1.8	1.5	1.7	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0
dQ / V	0.191	0.219	0.225	0.220	0.247	0.267	0.280	0.297
Note B2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3
C: „Bautechnik“								
Deichaufstandsfläche	2.69	2.01	0.76	1.69	0.33	1.05	0.43	2.48
Note C1	3	3	2	3	1	2	1	3
Note C2	3	3	3	3	1	1	1	1
Note C3	2	2	3	3	2	2	3	3
Note C4	3	3	3	3	1	1	1	1
D: „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“								
Anzahl Gebäude	63	10	141	9	22	0	23	0
Note D1	3	2	3	2	2	1	3	1
Note D2	3	2	1	1	1	1	1	1

Tabelle 40: Gegenüberstellung der Bewertung von Varianten A und B im Abschnitt c, Teil 1. Rote oder grüne Bewertung bei Variante B zeigt eine Verschlechterung oder Verbesserung gegenüber der Variante A

ID	c_02_A	c_02_B	c_03_A	c_03_B	c_04_A	c_04_B	c_05_A	c_05_B	c_07_A	c_07_B
Name	Haiming		Rothenbuch		Kirchdorf		Braunau		Reikersdorf	
Änderung zur Var A	alternative Deichtrasse		alternative Deichtrasse, etwas niedrigeres Stauziel		alternative Deichtrasse, etwas niedrigeres Stauziel		alternative Deichtrasse		alternative Deichtrasse	
Lage Einlauf	70.4	70.4	66.0	66.0	65.0	65.0	60.4	60.4	55.6	55.6
Fläche [ha]	254	205	154	127	394	292	123	94	84	76
FP Stauziel (potentiell) [mNHN]	352.0	352.0	351.0	350.0	350.4	349.0	342.0	342.0	338.8	338.8
Volumen (Erstprio.) [Mio. m³]	7.3	6.4	12.6	9.1	31.3	22.8	2.7	2.5	2.5	2.2
A: "relative Flutpolderwirkung"										
dQ_max [%]	1.6	1.6	3.3	2.6	7.1	5.4	0.8	0.7	0.1	0.1
Note A1 [-]	2.8	2.8	2.6	2.7	2.1	2.3	2.9	2.9	3.0	3.0
dQ_max [%]	1.6	1.6	3.3	2.6	7.1	5.4	0.8	0.7	0.1	0.1
Note A2 [-]	2.7	2.7	2.4	2.5	1.6	1.9	2.9	2.9	3.0	3.0
B: "spezifische Flutpolderwirkung"										
dQ / V [% / Mio. m³]	0.216	0.247	0.260	0.281	0.226	0.236	0.303	0.290	0.037	0.042
Note B1 [-]	2.6	2.5	2.5	2.5	2.6	2.6	2.4	2.4	3.0	3.0
dQ / V [% / Mio. m³]	0.216	0.247	0.260	0.281	0.226	0.236	0.303	0.290	0.037	0.042
Note B2 [-]	2.5	2.4	2.4	2.3	2.5	2.4	2.3	2.3	3.0	2.9
C: „Bautechnik“										
Deichaufstandsfläche [ha / Mio. m³]	0.61	2.14	0.04	1.73	1.17	1.11	1.03	3.43	0.70	2.18
Note C1 [-]	1	3	1	3	3	2	2	3	1	3
Note C2 [-]	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2
Note C3 [-]	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3
Note C4 [-]	2	2	1	1	3	3	1	1	1	1
D: „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“										
Anzahl Gebäude	55	0	9	0	47	6	88	0	23	0
Note D1 [-]	3	1	2	1	3	2	3	1	3	1
Note D2 [-]	2	2	2	1	3	3	2	2	2	2

Tabelle 41: Gegenüberstellung der Bewertung von Varianten A und B im Abschnitt c, Teil 2. Rote oder grüne Bewertung bei Variante B zeigt eine Verschlechterung oder Verbesserung gegenüber der Variante A

ID	c_08_A	c_08_B	c_09_A	c_09_B	c_10_A	c_10_B	c_11_A	c_11_B	c_13_A	c_13_B
Name		Ering	Mining	Aufhausen-Aigen	Mühlheim	Inzing				
Änderung zur Var A		alternative Deichtrasse	alternative Deichtrasse	2 Teilflächen m. versch. Stauzielen, orientiert an Damm-OK (329m u. 326m)	alternative Deichtrasse, etwas niedrigeres Stauziel	a_13 + a_14 u. alternative Deichtrasse; neues Zs				
Lage Einlauf	[Fkm]	51.0	50.0	45.2	44.2	29.0				
Fläche	[ha]	254	190	933	320	1134				
FP Stauziel (potentiell)	[mNHN]	336.5	336.5	329.5	329.0	317.9				
Volumen (Erstprio.)	[Mio. m³]	14.2	11.1	42.9	16.1	45.9				
A: "relative Flutpolderwirkung"										
dQ_max	[%]	4.1	3.1	10.7	4.8	8.7				
Note A1	[-]	2.5	2.6	1.6	2.4	1.8				
dQ_max	[%]	4.1	3.1	10.7	4.8	8.7				
Note A2	[-]	2.2	2.4	1.0	2.0	1.2				
B: "spezifische Flutpolderwirkung"										
dQ / V	[% / Mio. m³]	0.289	0.275	0.249	0.298	0.189				
Note B1	[-]	2.4	2.5	2.5	2.4	2.7				
dQ / V	[% / Mio. m³]	0.289	0.275	0.249	0.298	0.189				
Note B2	[-]	2.3	2.3	2.4	2.3	2.6				
C: „Bautechnik“										
Deichaufstandsfläche	[ha / Mio. m³]	0.61	0.64	1.13	0.04	0.87				
Note C1	[-]	1	1	2	1	2				
Note C2	[-]	1	1	1	1	2				
Note C3	[-]	1	2	2	3	2				
Note C4	[-]	3	1	3	2	3				
D: „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“										
Anzahl Gebäude	[-]	54	0	111	10	140				
Note D1	[-]	3	1	3	2	3				
Note D2	[-]	1	1	3	2	3				

Tabelle 42: Gegenüberstellung der Bewertung von Varianten A und B im Abschnitt d, Teil 1. Rote oder grüne Bewertung bei Variante B zeigt eine Verschlechterung oder Verbesserung gegenüber der Variante A

ID		d_04_A	d_04_B	d_05_A	d_05_B	d_07_A	d_07_B
Name		Fridolfing 1		Fridolfing 2		Ettenau	
Änderung zur Var A		alternative Deichtrasse, etwas niedrigeres Stauziel		alternative Deichtrasse, etwas niedrigeres Stauziel		niedrigeres Stauziel	
Lage Einlauf	[Fkm]	38.0	37.7	33.0	33.0	29.2	29.2
Fläche	[ha]	498	228	607	255	355	313
FP Stauziel (potentiell)	[mNHN]	382.5	382.0	378.0	377.0	374.2	371.0
Volumen (Erstprio.)	[Mio. m ³]	6.0	4.7	10.0	8.7	16.0	6.1
A: "relative Flutpolderwirkung"							
dQ_max	[%]	4.8	3.8	6.9	6.5	9.5	3.9
Note A1	[-]	2.4	2.5	2.1	2.1	1.7	2.5
dQ_max	[%]	3.3	2.6	4.8	4.4	6.4	2.2
Note A2	[-]	2.4	2.5	2.0	2.1	1.7	2.6
B: "spezifische Flutpolderwirkung"							
dQ / V	[% / Mio. m ³]	0.793	0.814	0.694	0.746	0.593	0.636
Note B1	[-]	1.4	1.3	1.6	1.5	1.8	1.7
dQ / V	[% / Mio. m ³]	0.548	0.562	0.484	0.501	0.403	0.364
Note B2	[-]	1.6	1.6	1.8	1.7	2.0	2.1
C: „Bautechnik“							
Deichaufstandsfläche	[ha / Mio. m ³]	0.98	2.94	0.96	2.21	0.91	0.68
Note C1	[-]	2	3	2	3	2	1
Note C2	[-]	1	1	1	1	1	1
Note C3	[-]	2	1	1	1	2	2
Note C4	[-]	2	2	2	2	2	2
D: „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“							
Anzahl Gebäude	[-]	103	0	162	0	122	79
Note D1	[-]	3	1	3	1	3	3
Note D2	[-]	1	1	2	1	2	2

Tabelle 43: Gegenüberstellung der Bewertung von Varianten A und B im Abschnitt d, Teil 2. Rote oder grüne Bewertung bei Variante B zeigt eine Verschlechterung oder Verbesserung gegenüber der Variante A

ID		d_08_A	d_08_B	d_09_A	d_09_B	d_10_A	d_10_B
Name		Tittmoning Süd		Mühltal		Haiming	
Änderung zur Var A		alternative Deichtrasse		alternative Deichtrasse, etwas niedrigeres Stauziel		alternative Deichtrasse, etwas niedrigeres Stauziel	
Lage Einlauf	[Fkm]	28.0	28.0	6.4	6.4	5.6	5.0
Fläche	[ha]	80	65	229	170	254	205
FP Stauziel (potentiell)	[mNHN]	372.9	372.9	353.9	352.0	352.6	352.0
Volumen (Erstprio.)	[Mio. m ³]	2.2	1.8	4.5	2.2	8.5	6.4
A: "relative Flutpolderwirkung"							
dQ_max	[%]	2.3	1.9	3.9	2.4	6.1	5.1
Note A1	[-]	2.7	2.8	2.5	2.7	2.2	2.3
dQ_max	[%]	1.6	1.3	3.5	2.0	5.6	4.6
Note A2	[-]	2.7	2.8	2.3	2.6	1.9	2.1
B: "spezifische Flutpolderwirkung"							
dQ / V	[% / Mio. m ³]	1.072	1.047	0.870	1.064	0.715	0.800
Note B1	[-]	1.0	1.0	1.2	1.0	1.5	1.4
dQ / V	[% / Mio. m ³]	0.743	0.733	0.787	0.917	0.661	0.720
Note B2	[-]	1.1	1.1	1.0	1.0	1.3	1.2
C: „Bautechnik“							
Deichaufstandsfläche	[ha / Mio. m ³]	3.81	3.92	0.75	2.39	0.61	2.14
Note C1	[-]	3	3	2	3	1	3
Note C2	[-]	2	2	1	1	1	1
Note C3	[-]	1	1	3	3	3	3
Note C4	[-]	3	3	1	1	2	2
D: „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“							
Anzahl Gebäude	[-]	6	0	112	44	55	0
Note D1	[-]	2	1	3	3	3	1
Note D2	[-]	2	1	2	2	2	2

Die Auswahl der weiter zu untersuchenden potentiellen Standorte ergibt sich zunächst aus der Zusammenschau der Bewertungen der Varianten A und B je Abschnitt. Dazu wurden zunächst je Standort die Variante A und Variante B, sofern vorhanden, verglichen und die besser abschneidende Variante weiterverwendet: für Abschnitt a siehe Abbildung 55, für Abschnitt c siehe Abbildung 56 und für Abschnitt d siehe Abbildung 57. Im Abschnitt b entfällt diese Reihung, da nur ein Standort übrigblieb. Der Standort c_03 und c_07 hat eine identische Note in Variante A und B, es wird Variante B weitergeführt. Der Standort c_14_A wurde im Rahmen der Variantenfindung in die Variante c_13_B integriert, da er direkt unterstrom zu c_13_A anschließt. Daher wird c_14_A in der folgenden Bearbeitung nicht mehr zeitgleich mit c_13_B gezeigt.

Anschließend erfolgte unter Berücksichtigung des Abschneidekriteriums (Kapitel 6.6) eine Reihung der potentiellen Standorte je Abschnitt (Kapitel 0). Übersichtskarten der Standorte werden in Kapitel 6.10 gezeigt.

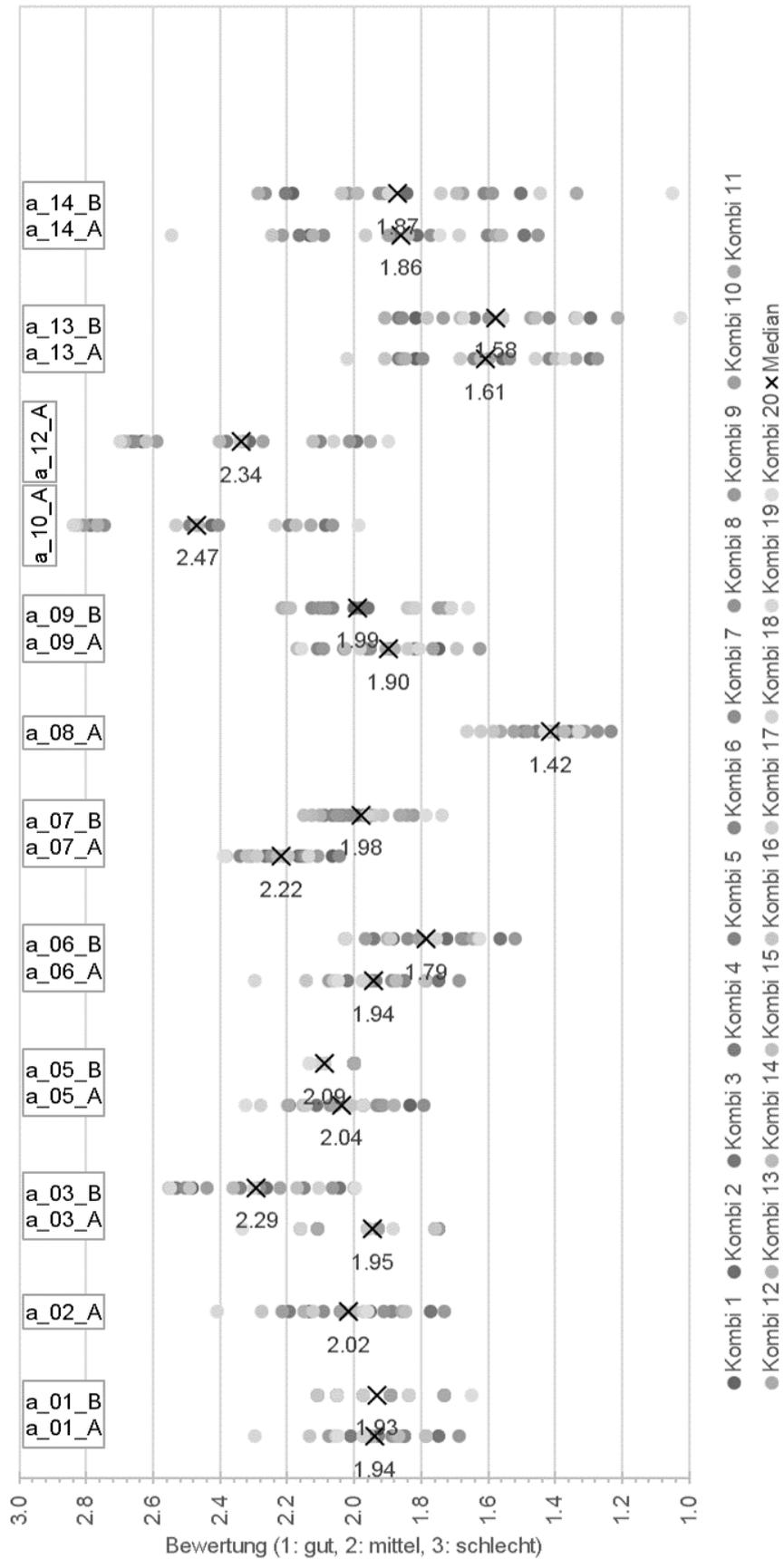


Abbildung 55: Bewertung der RHR Variante A und Variante B im Abschnitt a. Graue Punkte: Bewertung in einzelnen Kombinationen; schwarzes Kreuz: Median der Bewertung aller Kombinationen

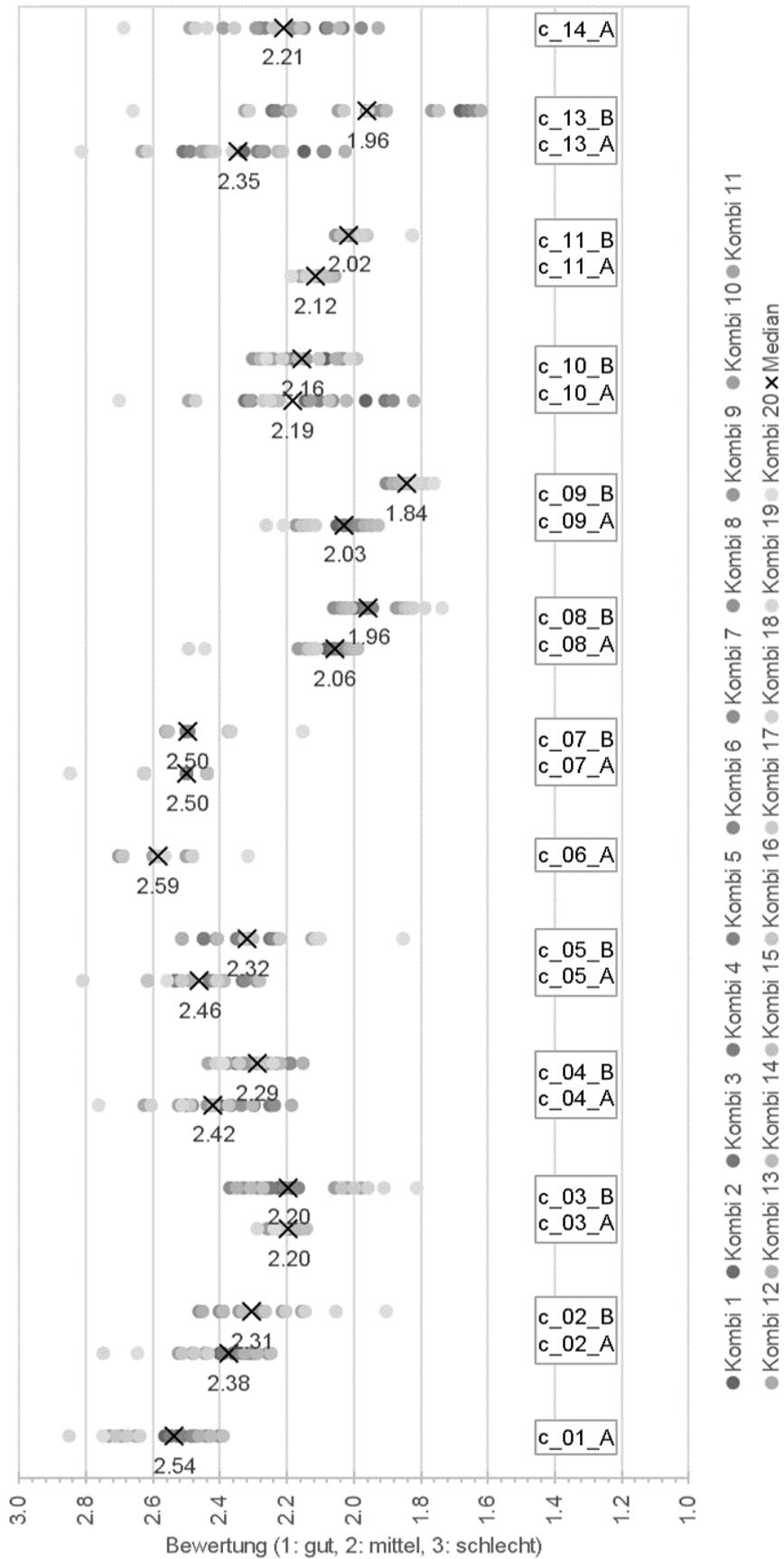


Abbildung 56: Bewertung der RHR Variante A und Variante B im Abschnitt c. Graue Punkte: Bewertung in einzelnen Kombinationen; schwarzes Kreuz: Median der Bewertung aller Kombinationen

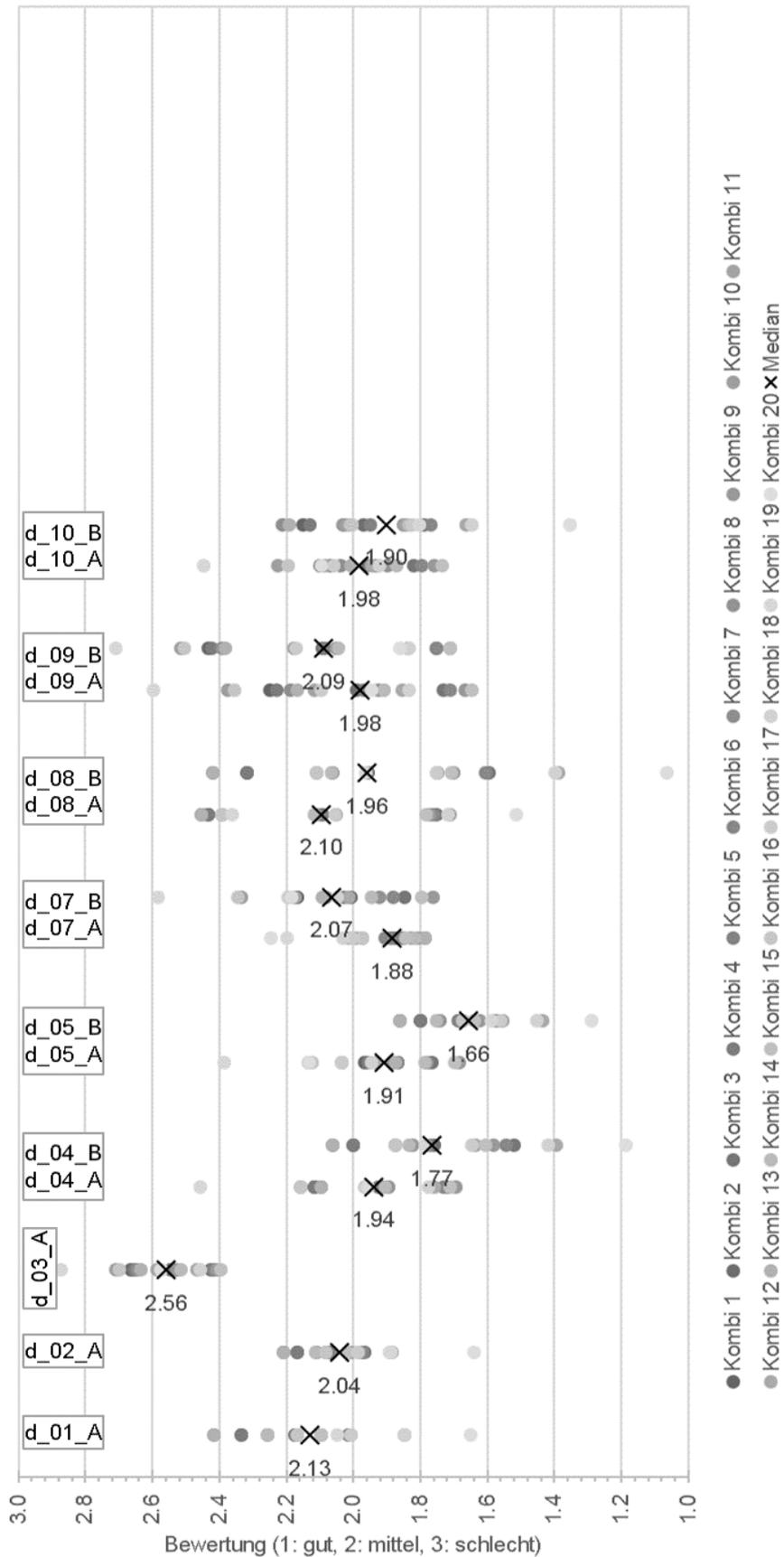


Abbildung 57: Bewertung der RHR Variante A und Variante B im Abschnitt d. Graue Punkte: Bewertung in einzelnen Kombinationen; schwarzes Kreuz: Median der Bewertung aller Kombinationen

6.6. Einführung eines Abschneidekriteriums „Bebauung“

Neben dem bereits in der Grobbewertung notwendigen Mindestkriterium für Volumen oder Fläche wurde zusätzlich für die Priorisierung ein Abschneidekriterium „Bebauung“ auf Basis der Anzahl der Gebäude im Rückhalteraum eingeführt. Potentielle Standorte werden von der Reihung ausgeschlossen, deren Anzahl von Einzelgebäuden (Daten aus DFK) eine gewisse Schwelle übersteigt und bei denen somit implizit durch die hohen Betroffenheiten eine Umsetzbarkeit unwahrscheinlich scheint. Dieses Abschneidekriterium wurde anhand der in Abbildung 58 gezeigten Verteilung der Gebäude in den RHR getroffen, d.h. Standorte mit mehr als 75 Gebäuden im RHR werden von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Dieser Wert wurde vom Lenkungsgremium beschlossen und ist subjektiv, es wurden aber Sensitivitätsuntersuchungen mit verschiedenen Schwellwerten durchgeführt. Dabei führte auch ein Abschneidekriterium von 50 oder 100 Gebäuden im Rückhalteraum zu keinen Änderungen bei den Standorten, welche die ersten fünf Ränge in den jeweiligen Abschnitten einnehmen.

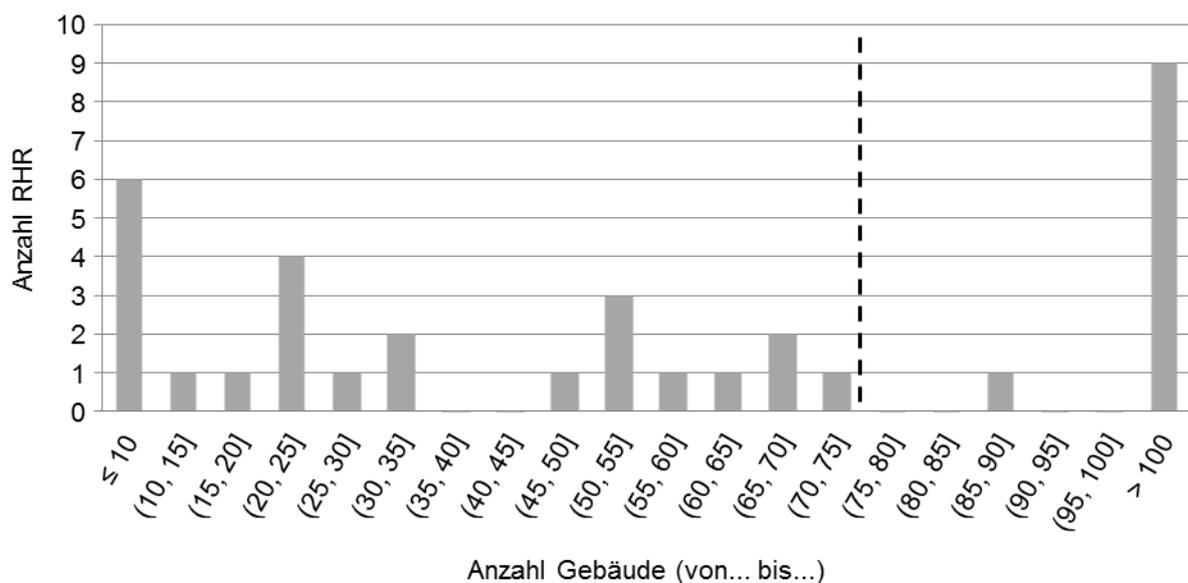


Abbildung 58: Histogramm der Gebäudeanzahl zur Auswahl eines Abschneidekriteriums

Die zwei Standorte a_03 und d_07 entfallen aufgrund des Abschneidekriteriums komplett, da sowohl in der Variante A als auch in der Variante B die Anzahl der Gebäude im RHR größer als 75 ist. Außerdem werden folgende weitere Standorte im Rahmen dieser Untersuchung nicht weiter betrachtet: a_05_A, a_09_A, c_05_A, c_10_A, c_13_A, d_04_A, d_05_A und d_09_A.

Tabelle 45: Variation der Klassengrenzen Kriterium C1, D1 und A1/B1

Kriterium		Note			Kommentar
		1	2	3	
C1: Deichneubau oder Deichanpassung	Basis	< 0,73	...	>= 1,16	Deichaufstandsfläche [ha / Mio. m ³]
	Variation 1	< 2	...	>= 5	
	Variation 2	< 0,2	...	>= 1	
D1: Siedlungen im Rückhalteraum	Basis	0	1 - 22	>= 23	[Anzahl Gebäude]
	Variation 1	0	1 - 9	>= 10	
	Variation 2	0	-	>=1	
A1 und B1: Hydraulische Wirkung	Basis	Verteilung: A1: 0 - 15 [%], B1: 0 - 1.0 [%/Mio.m ³]			
	Variation 1	Verteilung: A1: 0 - 22 [%], B1: 0 - 1.2 [%/Mio.m ³]			
	Variation 2	Verteilung: A1: 0 - 10 [%], B1: 0 - 0.8 [%/Mio.m ³]			

Tabelle 46: Variation der Gewichtungen Kriterium C1 und D1

Kriterium		Gewichtung
A&B zu C&D	Basis	50/50
	Variation 1	70/30
	Variation 2	30/70
Nah- zu Fernpegel (A1 zu A2)	Basis	80/20
	Variation 1	50/50
	Variation 2	20/80
D1: Siedlungen im Rückhalteraum	Basis	nach Anzahl gesamt und Note 3 >= 20
	Variation 3	nach Anzahl Hauptgebäude und Note 3 >= 20
	Variation 4	nach Anzahl Hauptgebäude und Note 3 >= 10
D1: Siedlungen im Rückhalteraum	Basis	D1 zu D2: meist 50/50 in allen Kombinationen
	Variation 5	D1 zu D2 80/20
	Variation 6	D1 zu D2 80/20 und C zu D 20/80

Wie aus Tabelle 47, Tabelle 48 und Tabelle 49 zu erkennen ist, ist das Bewertungsschema und die darauf basierende Reihung recht robust, auch gegen stärkere Änderungen der Gewichtungen und Klassengrenzen. In allen Abschnitten bleiben die potentiellen RHR auf Rang 1 bis 3 weitgehend unverändert, auch die Ränge 4 bis 6 sind bis auf wenige Ausnahmen konstant. Wie bereits dem vorangegangenen Kapitel 6.4 (und 0) zu entnehmen ist, liegen die RHR vor allem im Abschnitt c in ihrer Bewertung teils recht nahe zusammen. Daher ergeben sich bei dieser Sensitivitätsuntersuchung etwas mehr Bewegungen in der Rangfolge. Zumindest allerdings bleiben die ersten 6 Ränge weitgehend unverändert und tauschen nur untereinander die Plätze. Erwartungsgemäß ergeben sich die stärksten Änderungen bei einer starken Variation der Gewichtung von Hydraulik zu sonstigen Kriterien, der Klassengrenzen der hydraulischen Parameter A1 und B1 sowie einer starken Übergewichtung von D1. Hier ist dann zu erkennen, dass RHR mit Note 1 (keine Gebäude im RHR) bei starker Betonung von D1 auch

weiter vorne landen, wobei z. B. die Wahl der Grenze zur Note 3 keine so starke Auswirkung hat. Praktisch keine Auswirkung hat eine Änderung der Klassengrenzen von C1.

Tabelle 47: Erreichte Rangfolgen auf Basis der Sensitivitätsanalyse im Abschnitt a

		a_01_B	a_02_A	a_05_B	a_06_B	a_07_B	a_08_A	a_09_B	a_10_A	a_12_A	a_13_B	a_14_A
A&B	Basis	5	8	9	3	6	1	7	11	10	2	4
	Var 1	7	9	6	5	4	1	3	11	10	2	8
Klass A1 zu A2	Var 2	5	6	9	4	7	1	8	11	10	2	3
	Var 1	5	7	9	3	6	1	8	11	10	2	4
Klass e A1, B1	Var 2	5	6	9	4	7	1	8	11	10	2	3
	Var 1	5	6	9	4	7	1	8	11	10	2	3
C1	Var 2	5	8	9	3	7	1	4	11	10	2	6
	Var 1	4	9	8	3	7	1	6	11	10	2	5
Siedlungen	Var 2	5	8	9	3	6	1	7	11	10	2	4
	Var 1	5	7	8	4	9	1	6	11	10	2	3
	Var 2	6	5	8	4	9	1	7	11	10	2	3
	Var 3	4	8	9	3	6	1	7	11	10	2	5
	Var 4	4	8	9	3	6	1	7	11	10	2	5
	Var 5	5	8	9	3	6	1	7	11	10	2	4
	Var 6	7	9	8	6	5	1	4	11	10	2	3

Tabelle 48: Erreichte Rangfolgen auf Basis der Sensitivitätsanalyse im Abschnitt c

		c_01_A	c_02_B	c_03_B	c_04_B	c_05_B	c_06_A	c_07_B	c_08_B	c_09_B	c_10_B	c_11_B	c_13_B
A&B	Basis	11	8	6	7	9	12	10	2	1	5	4	3
	Var 1	10	8	7	6	9	11	12	3	2	5	4	1
Klass A1 zu A2	Var 2	11	8	4	9	7	12	10	2	1	6	3	5
	Var 1	11	8	6	7	9	12	10	3	1	5	4	2
Klass e A1, B1	Var 2	10	8	6	7	9	12	11	2	1	5	4	3
	Var 1	11	8	5	7	9	12	10	2	1	6	3	4
C1	Var 2	10	8	6	7	9	12	11	2	1	5	4	3
	Var 1	12	9	5	7	8	11	10	3	1	6	4	2
Siedlungen	Var 2	12	7	6	9	8	11	10	2	1	5	4	3
	Var 1	11	8	5	7	9	12	10	2	1	6	4	3
	Var 2	11	7	5	9	8	12	10	2	1	6	4	3
	Var 3	10	8	7	6	9	12	11	3	2	5	4	1
	Var 4	11	8	7	6	9	12	10	3	2	5	4	1
	Var 5	11	9	6	7	8	12	10	2	1	5	3	4
	Var 6	12	5	4	10	6	11	9	1	2	7	3	8

Tabelle 49: Erreichte Rangfolgen auf Basis der Sensitivitätsanalyse im Abschnitt d

		d_01_A	d_02_A	d_03_A	d_04_B	d_05_B	d_08_B	d_09_B	d_10_B
A&B zu C&D	Basis	7	5	8	2	1	4	6	3
	Var 1	7	6	8	2	1	4	5	3
	Var 2	4	6	8	2	1	3	7	5
Klass A1 zu A2	Var 1	7	5	8	2	1	4	6	3
	Var 2	7	5	8	2	1	4	6	3
eA1, B1	Var 1	6	5	8	2	1	3	7	4
	Var 2	6	5	8	2	1	4	7	3
C1	Var 1	7	5	8	2	1	4	6	3
	Var 2	7	5	8	2	1	4	6	3
Siedlungen	Var 1	7	5	8	2	1	4	6	3
	Var 2	7	5	8	2	1	4	6	3
	Var 3	7	5	8	2	1	4	6	3
	Var 4	7	5	8	2	1	4	6	3
	Var 5	6	5	8	2	1	4	7	3
	Var 6	6	5	8	2	1	4	7	3

6.9. Fazit zur Standortsuche und zur Erstpriorisierung

Zusammenfassend kann man sagen, dass die potentiellen Standorte in der Erstpriorisierung vor allem Standorte sind, deren Struktur bereits heute im Wesentlichen von Dämmen und/oder Deichen bestimmt ist oder deren Grenzen an einer Hangkante auslaufen. Dennoch müssen i.d.R. Deiche erhöht, angepasst und in Teilabschnitten vollständig neu gebaut werden, insbesondere bei angrenzender Bebauung. Mit Ausnahme des Standorts Anthering (d_02_A) sind aber keine potentiellen Standorte enthalten, für die die gesamte Umgrenzung noch errichtet werden müsste. Im Fall des potentiellen RHR Anthering wäre eine heute vollständig natürlich überflutete Fläche in einen abgegrenzten, von Deichen umgebenen (Flut-)Polder umzuwandeln.

Da es sich um eine Potentialstudie handelt, wurde generell versucht, mit möglichst wenig Einschränkungen oder Ausschlusskriterien potentielle Standorte für Rückhalteräume als Flutpolder und Deichrückverlegungen herauszuarbeiten. Die erste Liste der potentiellen Flächen (Kapitel 6.1) enthält daher auch viele kleinere Flächen, die zum Teil vom Inn durch Infrastruktur wie z. B. Autobahnen oder Bahnlinien getrennt sind. Aufgrund der Verwendung des historischen Überschwemmungsgebiets tauchen auch Flächen weiter entfernt des heutigen Flusslaufs auf. Diese Flächen können für sich genommen nicht machbar erscheinen, könnten aber

in Ergänzung und in Kombination mit anderen Flächen einen größeren Nutzen erzielen. Polderflächen, die durch einfache Wirtschaftswege zerschnitten werden, wurden dagegen zu größeren Standorten zusammengefasst.

Grundsätzlich wird die Lage von (Einzel-)Gebäuden in potentiellen Poldern nicht als Ausschlusskriterium gesehen, sofern der Rückhalteraum aufgrund von Fläche, Volumen und Machbarkeit insgesamt vielversprechend für weitere Untersuchungen erscheint. Diese Polder mit Bebauung (unter Berücksichtigung des zusätzlichen Abschneidekriteriums bei 75 Gebäuden) wurden ebenfalls unvoreingenommen in ihrer Wirkung auf die Hochwasserretention analysiert. Eine etwaige Absiedlung, die Verlegung von Straßen o.ä. aus den Rückhalteräumen müsste dann im weiteren Verlauf detaillierter geprüft werden.

Mit dem erarbeiteten Bewertungsschema konnte nachvollziehbar und belastbar eine Auswahl von vielversprechenden Standorten getroffen werden. Zusammen mit den nachgeführten Varianten der Standorte steht damit eine Bandbreite an auch später grundsätzlich realisierbaren Rückhalteräumen zur Verfügung. Die Erstpriorisierung der Standorte erfolgte anhand der Bewertung auf Basis des Kriterienkatalogs für „Planungsherausforderungen“ und der hydraulischen Wirkung (Erstabschätzung auf Basis eines HQ_{100}). Sie diente als Grundlage für die Auswahl der Standorte, die anschließend mit hydraulischen Wirkungsanalysen und einer naturschutzfachlichen Übersichtsbewertung detaillierter untersucht wurden (siehe folgendes Kapitel 6.10). Anhand dieser Ergebnisse wurde dann eine abschließende Priorisierung erarbeitet.

Hinsichtlich der potentiellen Standorte im Freilassinger und Tittmoninger Becken wird auf derzeit laufende Untersuchungen zur Sanierung der Salzach und die „Studie Salzach 2100“ hingewiesen. Ein Konzept sieht dabei u.a. Uferaufweitungen auf bayerischer Seite vor, welche nicht mit den in der Retentionspotentialstudie untersuchten Rückhalteräumen (nach der Erstpriorisierung noch d_04_B und d_05_B) vereinbar wären. Die hier untersuchte Variante DRV d_04_D wäre eventuell integrierbar, aber möglicherweise anders zu konzeptionieren. Die in den Kapiteln 7 und 8 ermittelten Wirkungen sind daher unter Umständen nicht auf eine zukünftige Planung übertragbar.

6.10. Überblick über detaillierter zu untersuchende potentielle Standorte aus der Erstpriorisierung

Aus allen grundsätzlich gefundenen, potentiell reaktivierbaren Flächen entlang von Inn und Salzach konnten 32 RHR für gesteuerten Rückhalt identifiziert werden. Für diese wurde eine Reihenfolge erarbeitet. Die drei am besten bewerteten Standorte je Abschnitt (in Abschnitt b ist insgesamt nur ein Standort verblieben) werden nun in der Folge detaillierter hydraulisch untersucht und zunächst in diesem Kapitel noch einmal vorgestellt. Zudem werden diese sowie die weiteren auf den Rängen 4 bis 6 liegenden Standorte je Abschnitt einer naturschutzfachlichen Übersichtsbewertung unterzogen. Abbildung 59 zeigt die gereihten RHR auf Rang 1 bis 6 im Überblick. Tabelle 50 fasst nochmals die Eckdaten der zehn am besten bewerteten RHR zusammen und listet auch die weiteren Standorte für die naturschutzfachlichen Übersichtsbewertung auf. Diese Reihung wurde durch das Lenkungsgremium bestätigt. Für die Standorte auf Rang 1 bis 3 je Abschnitt wurden die Ergebnisse der Priorisierung sowie detailliertere Übersichtslagepläne in Steckbriefen zusammengefasst, welche diesem Bericht als Anlage beiliegen.

Tabelle 50: Auf Rang 1 bis 6 liegende potentielle Flutpolderstandorte nach der Erstpriorisierung mit den wesentlichen Eckdaten für die Wirkungsanalysen. *: nur naturschutzfachliche Übersichtsbewertung, keine Wirkungsanalyse

Polder ID	Rang nach Erstpriorisierung	Potentiell verfügbares Volumen [Mio. m ³]	Lage Einlaufbauwerk [Fkm]	Lage Auslaufbauwerk [Fkm]	Stauziel Polder [mNHN]	Entleerung [m ³ /s]
a_08_A	1	17,4	176,0	173,0	441,1	60
a_13_B	2	4,6	166,4	164,4	433,1	15
a_06_B	3	8,2	190,8	187,6	451,9	30
a_14_A	4	*				
a_01_B	5	*				
a_07_B	6	*				
b_02_A	1	5,2	85,0	82,0	361,7	30
c_09_B	1	10,7	50,0	48,0	336,5	45
c_08_B	2	13,5	51,0	48,0	336,5	45
c_13_B	3	62,8	29,0 & 27,2	18,2	315,0	120
c_11_B	4	*				
c_10_B	5	*				
c_03_B	6	*				
d_05_B	1	8,7	33,0	29,0	377,0	30
d_04_B	2	5,9	37,8	29,0	382,0	30
d_10_B	3	6,4	5,0	0	352,0	30
d_08_B	4	*				
d_02_A	5	*				
d_09_B	6	*				

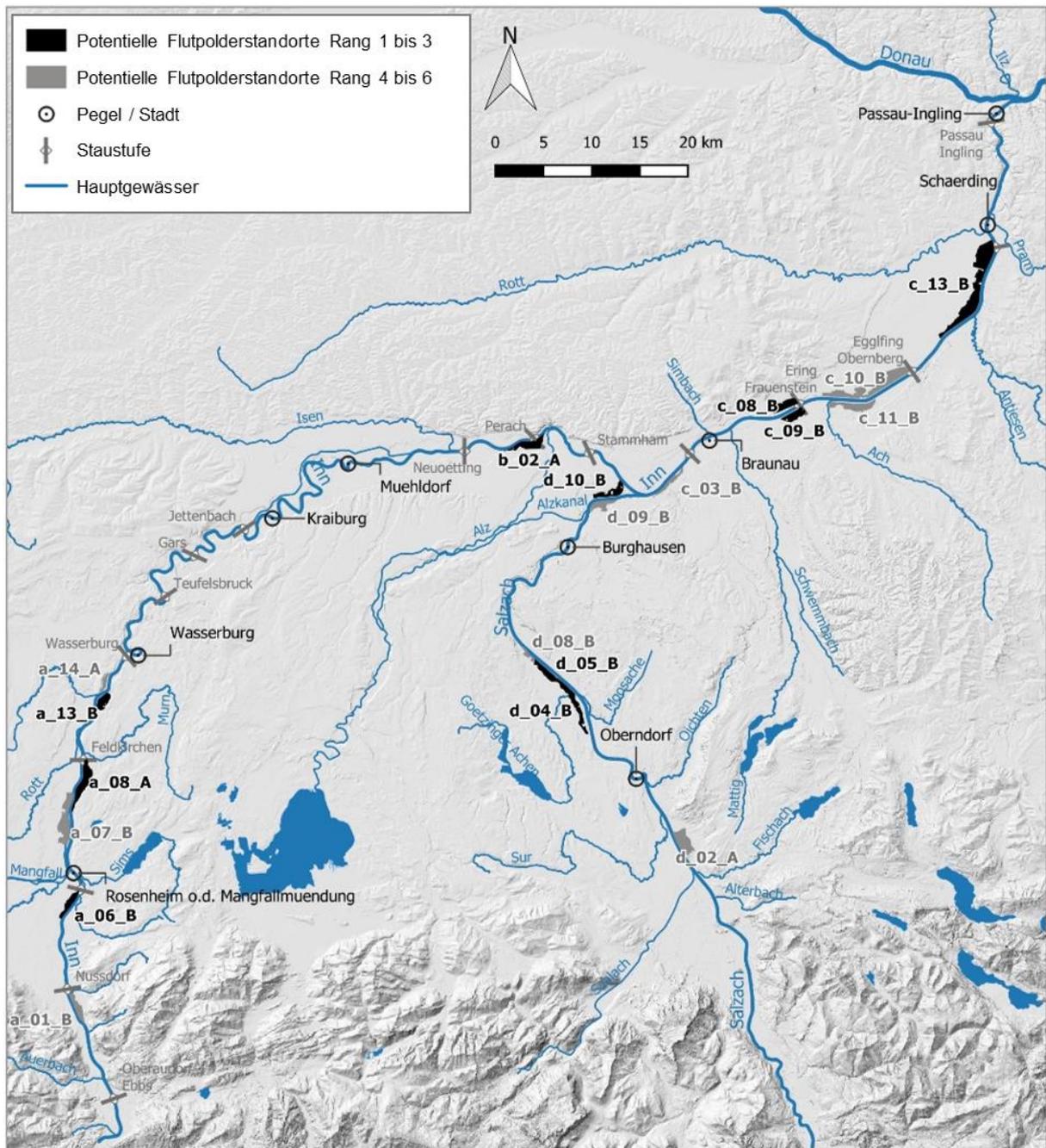


Abbildung 59: Potentielle RHR im Untersuchungsgebiet. Schwarz: potentielle RHR auf Rang 1 bis 3 in der Erstpriorisierung, grau: potentielle RHR auf Rang 4 bis 6 in der Erstpriorisierung

7. Einzelwirkungsanalyse von Flutpoldern

Für ausgewählte potentielle Rückhalteräume wird eine Wirkungsanalyse mit allen 12 von der TU Wien generierten stochastischen Hochwasserereignissen durchgeführt. Diese Wirkungsanalysen werden mit den Standorten mit Rang 1 bis 3 (siehe Kapitel 6.10) je Abschnitt durchgeführt. Im folgenden Kapitel werden zunächst die Simulationsergebnisse eines Hochwasserereignisses in der Größenordnung HQ₁₀₀ vorgestellt, welches der Erstpriorisierung der Standorte und damit der Identifizierung hydraulisch weniger wirksamer und hinsichtlich der Herausforderungen eher ungünstigeren Flutpolder diene (Kapitel 7.3). Diese wurden im Rahmen der vorliegenden Studie nicht weiterverfolgt. Anschließend (Kapitel 7.7) werden die Ergebnisse der Wirkungsanalysen mit allen 12 Ereignissen dargestellt, die in die abschließende Priorisierung einfließen.

7.1. Verwendete Hochwasserwellen für die Wirkungsanalyse und Simulation des Referenzzustands im 2D-HD-Modell

Die für die Wirkungsanalyse verwendeten instationären Hochwasserwellen wurden im TP A mit einem N-A-Modell stochastisch generiert. Details finden sich im entsprechenden Schlussbericht. Nachfolgend werden die für 2D-HD-Modellierung im TP D relevanten Aspekte beschrieben, zum Beispiel die Charakteristika wie Scheitelabflüsse, Wellenlaufzeiten und Wellenvolumina. Ziel des TP A und der begleitenden Studie des TP B war, für das Projektgebiet charakteristische Hochwasserereignisse zu beschreiben und entsprechende Zuflüsse mittels eines N-A-Modells für die Weiterverwendung in den anderen Teilprojekten (v.a. TP C und D) zu generieren. Dazu wurden im Einzugsgebiet Niederschlagszeitreihen von 10.000 Jahren generiert und mit dem N-A-Modell die Abflüsse an Knoten entlang von Inn und Salzach im Untersuchungsgebiet ausgegeben. Als Referenzpegel für die Beurteilung wurden die Pegel WABG (Wasserburg/Inn), BGHA (Burghausen/Salzach) und PING (Passau-Ingling/Inn) herangezogen. Für diese Pegel sollten aus der langjährigen Zeitreihe Hochwasserereignisse identifiziert werden, die gewisse Wahrscheinlichkeiten des Auftretens repräsentieren. Die Auswahl der Jährlichkeiten orientierte sich dabei an typischen wasserwirtschaftlichen Kennwerten sowie den Anforderungen an eine Wirkungsanalyse von Rückhalteräumen im Inn-Gebiet.

Es wurden je Pegel ein Hochwasserereignis in der Größenordnung HQ₃₀, HQ₁₀₀, HQ₃₀₀ und HQ_{1.000} ausgewählt¹⁰. Diese Ereignisse wurden jeweils für das gesamte Projektgebiet instationär simuliert, wodurch entlang der gesamten Fließstrecke von Inn und Salzach zwölf Hochwasserereignisse in einer Bandbreite von unter HQ₅ bis HQ_{1.000} zur Verfügung stehen. Damit

¹⁰ Gemeinsame Auswahl durch die Bearbeiter und den Auftraggeber und Beschluss durch das Lenkungsgremium

werden sowohl die Schutzgrade bestehender HWSA am Inn und der Salzach als auch deutliche Überlast- bis Extremereignisse abgedeckt. Bei den hydrodynamischen Simulationen werden die Jährlichkeiten nie exakt erreicht, was allerdings für die Ermittlung und Beurteilung der Wirksamkeit potentieller Rückhalteräume im Rahmen dieser Potentialstudie nicht erforderlich ist. Entlang des bayerischen Inns bestehen hierbei die speziellen Randbedingungen, dass die Bemessungsabflüsse der Stauhaltungsdämme entlang des Inns und der Hochwasserschutzanlagen (HWSA) an Inn und Salzach entlang der Gewässerstrecke unterschiedlich hoch sind. Weite Strecken am Inn weisen dabei aufgrund der Staustufenkette und deren Stauhaltungsdämme bis HQ₁₀₀₀ keine Gefährdung auf, insbesondere Passau hat aber bereits ab HQ₂₀ Probleme mit Überflutungen. Daher können auch mit den kleineren Ereignissen noch wertvolle Aussagen zu einer potentiellen Verbesserung des Hochwasserschutzes in diesen Siedlungsgebieten getroffen werden.

Nachfolgende Tabelle 51 zeigt die zwölf ausgewählten Ereignisse sowie eine kurze verbale Beschreibung der Wellencharakteristik hinsichtlich der Überlagerungen von Inn und Salzach (vergleiche auch Abbildung 69). Die Ereignisse sind durch Nummern identifizierbar, welche dem Jahr ihres Auftretens in der 10.000 Jahre langen stochastischen Zeitreihe entsprechen. Für die meisten folgenden Auswertungen (auch in den anderen Kapiteln) wird diese Reihenfolge und Benennung beibehalten. In den Abbildungen (subplots) werden die Ereignisse in der Reihenfolge ihres „Jahres“ von oben links nach unten rechts geplottet.

Tabelle 51: Ausgewählte Hochwasserwellen aus TP A für die Wirkungsanalyse mit den angestrebten Jährlichkeiten an den Referenzpegeln

	Jährlichkeit am Pegel...			Beschreibung Hochwasserereignis
	WABG	BGHA	PING	
E0076		HQ ₃₀		beide Scheitelabflüsse vergleichbar hoch – fast Überlagerung, Inn leicht früher
E0256	HQ ₃₀₀			Inn prägend – Salzach vor Inn, Salzach < HQ5
E0322			HQ ₃₀	Inn prägend – Salzach vor Inn
E0955		HQ ₁₀₀₀		Salzach leicht prägend – Inn leicht früher
E2377			HQ ₃₀₀	Inn prägend – fast Überlagerung, Salzach leicht früher
E3420			HQ ₁₀₀	beide Scheitelabflüsse vergleichbar hoch – fast Überlagerung, Inn leicht früher
E3441	HQ ₁₀₀			Inn prägend – Salzach leicht vor Inn, Salzach < HQ5
E4664	HQ ₃₀			Inn prägend – Salzach vor Inn
E4852	HQ ₁₀₀₀			Inn prägend – Salzach vor Inn
E4904			HQ ₁₀₀₀	Salzach prägend – fast Überlagerung, Inn leicht früher
E5321		HQ ₃₀₀		Salzach prägend – Inn ohne richtige Welle < HQ1
E7510		HQ ₁₀₀		Salzach prägend – Inn ohne richtige Welle < HQ1

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Simulationen des Referenzzustands im 2D-HD-Modell (HD) mit den Ergebnissen des hydrologischen Modells (HY) aus TP A an den Referenzpegeln verglichen (Abbildung 60, Abbildung 61, Abbildung 62). Tabelle 52 fasst die Ergebnisse zusammen und dient zur Einordnung der Scheitelabflüsse in die Jährlichkeiten an den Pegeln (HY: Scheitelwerte der mit dem hydrologischen Modell in TP A stochastisch generierten Hochwasserereignisse; HD: Scheitelwerte der 2D-HD-Simulation in TP D mit diesen Ereignissen; farbige Kennzeichnung: Erreichen oder Überschreiten der Jährlichkeit; schwarze Boxen: maßgebendes Ereignis für die jeweilige Jährlichkeit). Abbildung 63 stellt die Abflussscheitel aus HY- und HD-Simulation grafisch gegenüber.

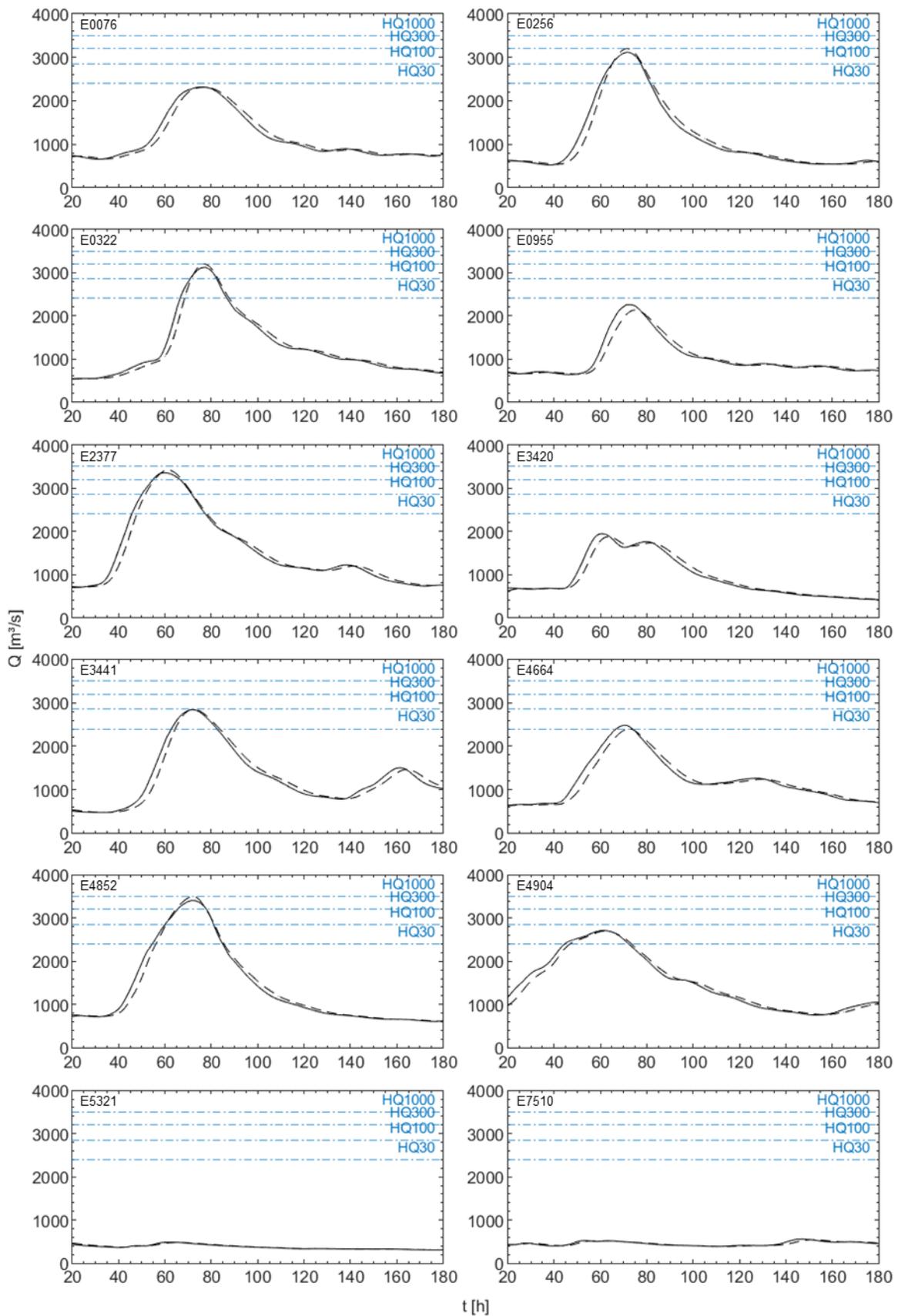


Abbildung 60: Abflussganglinien am Pegel WABG im HD-Modell im Vergleich mit den stochastisch generierten (HY-Modell). Gestrichelt: Ganglinie HY; durchgezogen: Referenzganglinie HD

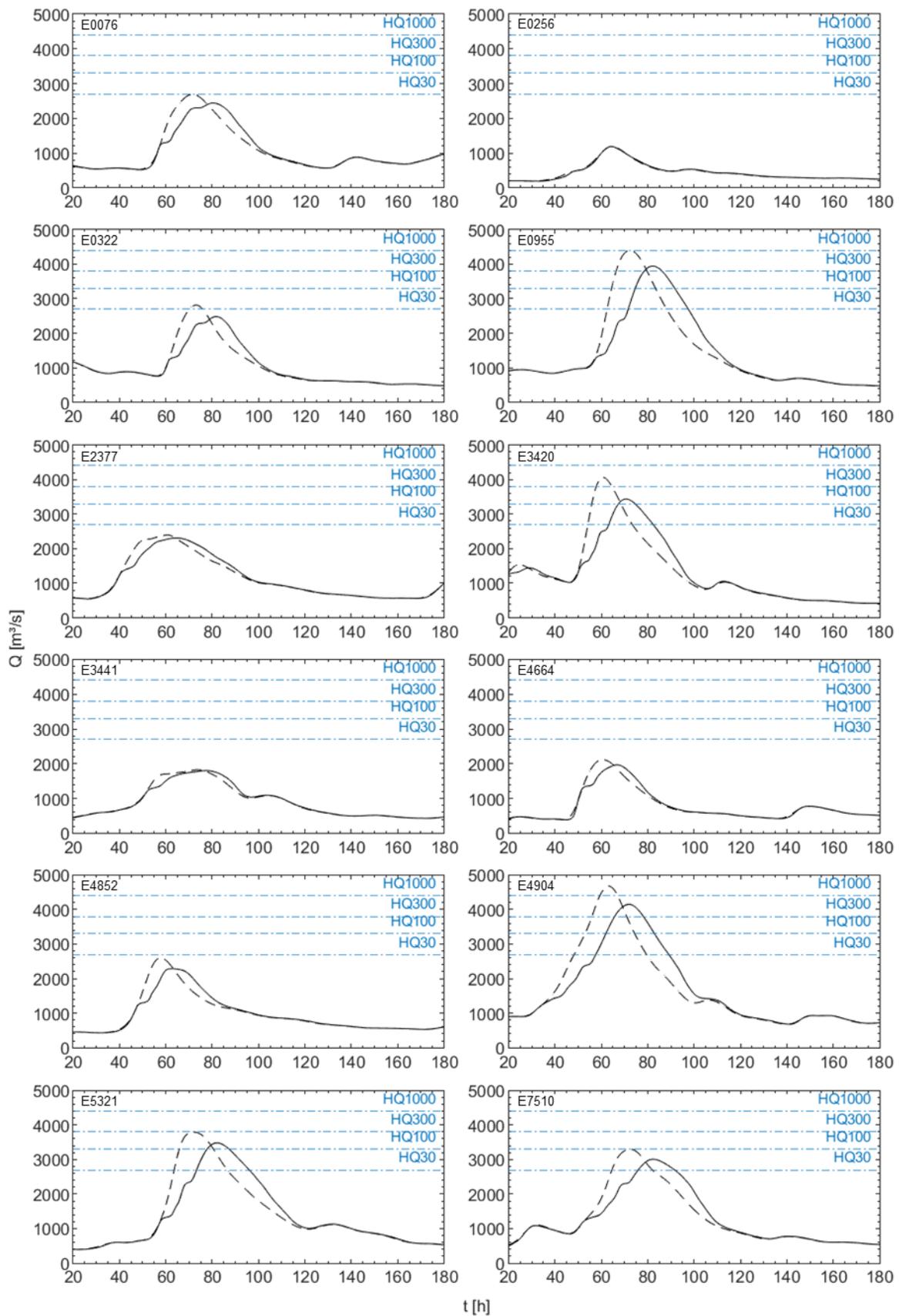


Abbildung 61: Abflussganglinien am Pegel BGHA im HD-Modell im Vergleich mit den stochastisch generierten (HY-Modell). Gestrichelt: Ganglinie HY; durchgezogen: Referenzganglinie HD

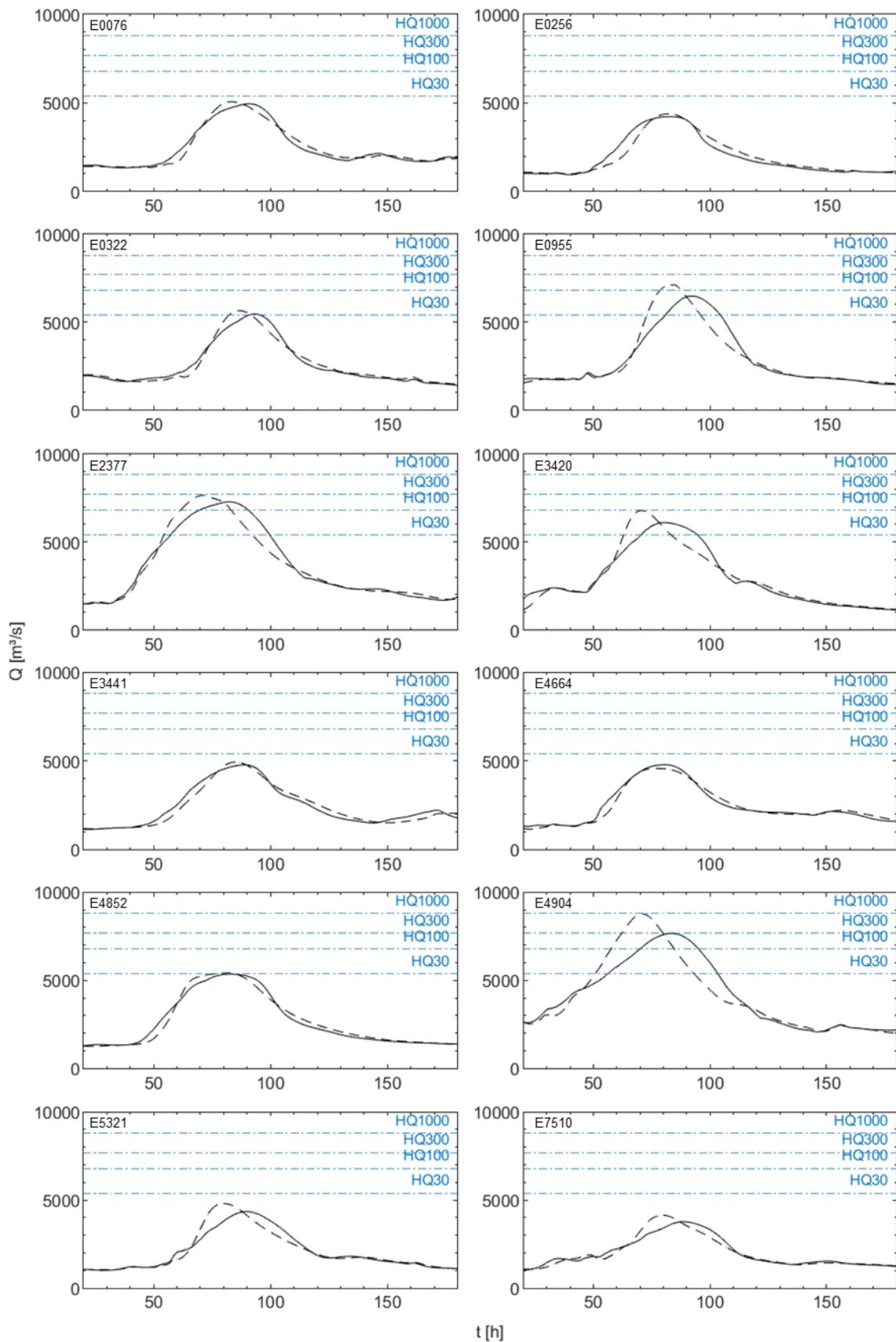


Abbildung 62: Abflussganglinien am Pegel PING im HD-Modell im Vergleich mit den stochastisch generierten (HY-Modell). Gestrichelt: Ganglinie HY; durchgezogen: Referenzganglinie HD

Tabelle 52: Abflussscheitel aus der hydrologischen (HY) und hydrodynamischen (HD) Modellierung sowie deren Abweichungen (relativ in [%]) und Kennzeichnung der Jährlichkeiten

Pegel	WABG	WABG	BGHA	BGHA	PING	PING	WABG	BGHA	PING
Ereignis	$Q_{max,HY}$ [m ³ /s]	$Q_{max,HD}$ [m ³ /s]	$Q_{max,HY}$ [m ³ /s]	$Q_{max,HD}$ [m ³ /s]	$Q_{max,HY}$ [m ³ /s]	$Q_{max,HD}$ [m ³ /s]	$dQ_{relativ}$ [%]	$dQ_{relativ}$ [%]	$dQ_{relativ}$ [%]
E0076	2310	2318	2695	2439	5075	4953	0.4	-9.5	-2.4
E0256	3199	3119	1192	1187	4394	4226	-2.5	-0.4	-3.8
E0322	3199	3124	2816	2480	5660	5458	-2.3	-11.9	-3.6
E0955	2135	2262	4395	3940	7124	6478	6.0	-10.4	-9.1
E2377	3416	3357	2397	2307	7695	7277	-1.7	-3.8	-5.4
E3420	1874	1943	4065	3437	6789	6096	3.7	-15.5	-10.2
E3441	2849	2843	1828	1802	4951	4786	-0.2	-1.4	-3.3
E4664	2399	2486	2118	1967	4593	4794	3.6	-7.1	4.4
E4852	3501	3412	2600	2286	5423	5354	-2.5	-12.1	-1.3
E4904	2703	2714	4681	4149	8794	7662	0.4	-11.4	-12.9
E5321	486	487	3794	3482	4814	4345	0.1	-8.2	-9.7
E7510	543	557	3297	3008	4148	3773	2.6	-8.8	-9.0

Pegel	HQ ₃₀	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀₀	HQ ₁₀₀₀
WABG	2400	2850	3200	3500
BGHA	2700	3300	3800	4400
PING	5400	6800	7700	8800

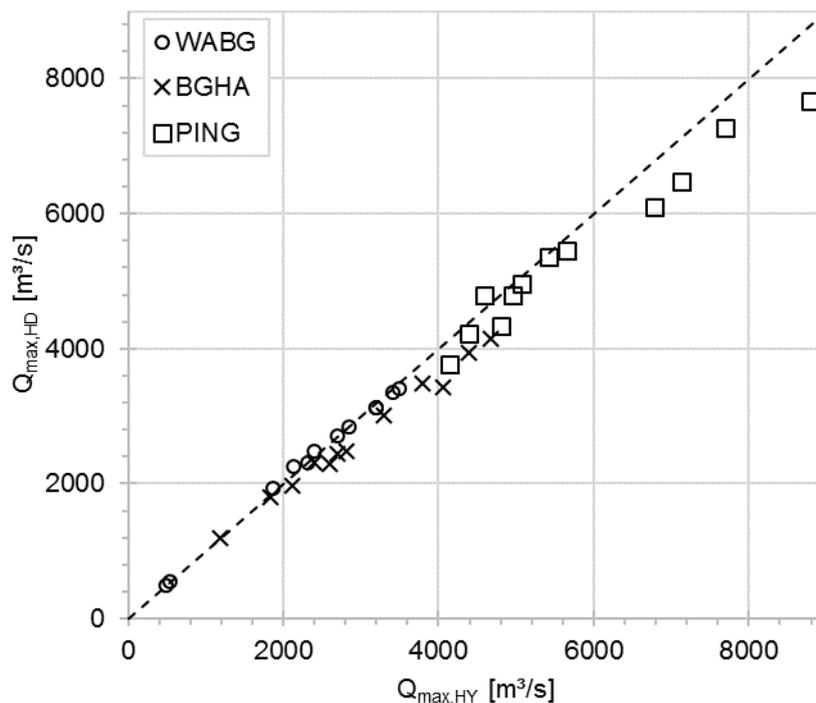


Abbildung 63: Gegenüberstellung der Q-Scheitelwerte aus HY- und HD-Modell für die drei maßgebenden Pegel WABG, BGHA und PING

Für den Teilabschnitt des Inns bis Wasserburg (WABG) stimmen bei allen Ereignissen die Abflussganglinien aus dem HD-Modell sehr gut mit denen aus dem HY-Modell in TP A überein.

Die Scheitelwerte des Abflusses weichen nur etwa $\pm 5\%$ ab (im Mittel über alle zwölf Ereignisse $0,6\%$). Die Wellengeschwindigkeit ist im HD-Modell leicht höher (schätzungsweise bis etwa HQ_{100}). Die Gründe dafür liegen in der Modellstruktur und der jeweiligen Kalibrierung. Für das 2D-HD-Modell mit dem Ziel der korrekten Abbildung der Abflussganglinien musste bei Anpassung der Sohlrauheiten aufgrund der festen Sohle ein Kompromiss eingegangen werden zwischen korrekter Abbildung der Wellenlaufzeiten und der Wasserspiegellagen. Im HY-Modell erfolgte die Kalibrierung anhand beobachteter Wellen über das gesamte Spektrum (im 2D-HD nur für große Ereignisse) mit sich daraus ergebenden Auswirkungen auf die Transportgeschwindigkeit im Gerinne bei geringeren Abflüssen. Evtl. sind auch die wenigen (verbliebenen) Retentionsflächen im hydrologischen Modell schlechter berücksichtigt. Der Flood-Routing-Ansatz im HY-Modell kann die räumlichen (zweidimensionalen) Retentionseffekte nur bedingt abbilden. Zusätzliche Abweichungen könnten sich in der Berücksichtigung der Zwischeneinzugsgebiete ergeben (Diskretisierung des Gebiets und Wellenlaufzeiten). Zu beachten ist, dass der Wellentransport in allen Modellen (HY, 2D-HD und 1D-HD in TP C) grundsätzlich unterschiedlich simuliert wird, modellbedingte Abweichungen sind daher gegeben.

Auf den Abschnitt des Inns zwischen WABG und Salzachmündung wird nicht gesondert eingegangen, die Ergebnisse sind aber vergleichbar mit denen des oberstromigen Abschnitts bis WABG, da die Wellen und damit die Differenzen zwischen beiden Modellen auch mehr oder weniger direkt weitergegeben werden.

Für die Salzach ergibt sich beim Vergleich der Ganglinien aus dem HD-Modell mit denen aus dem HY-Modell der TU Wien ein deutlich anderes Bild. Anhand der Abbildung 61 ist zu erkennen, dass die Q-Ganglinien von HY- und HD-Modell ab einem Abfluss von etwa 1.200 bis $1.400\text{ m}^3/\text{s}$ zunehmend stark abweichen. Bei diesem Abfluss beginnt in etwa die Ausströmung in die Retentionsräume – v.a. im Tittmoninger Becken –, welche im hydrologischen Modell nicht abgebildet wird. Auch der zweite Knick in der Ganglinie des 2D-HD-Modells bei etwa 2.200 bis $2.600\text{ m}^3/\text{s}$ (beginnende Überströmung in den Polder Ettenau) wird nicht abgebildet. Die Abflussscheitel weichen zwischen $-0,4$ und $-15,5\%$ (im Mittel $-8,4\%$) ab. In Kapitel 3.5 wurde bereits aufgezeigt, dass die gemessenen Ganglinien am Pegel Burghausen (BGHA) unplausibel bei extremen Ereignissen sind (z. B. HW2013). Dies zeigte der Vergleich der Simulationen in TP D (wie auch TP C) mit gemessenen Ganglinien. Die Vermutung liegt nahe, dass das HY-Modell aus TP A ähnliche Abweichungen aufweist. Zum Zeitpunkt der Durchführung der hydrologischen Teilprojekte und der Kalibrierung waren diese Unsicherheiten/Abweichungen den Projektbearbeitern so noch nicht bekannt. Der Hauptgrund für die starke Abweichung der Scheitelabflüsse im HD und HY-Modell sind wie oben bereits beschrieben wohl auf

die Retentionseffekte zurückzuführen, die naturgemäß in einem 2D-HD-Modell besser abgebildet werden als in einem hydrologischen Modell (welches auf einer Speicherkaskade basiert).

Für den Abschnitt unterstrom der Salzachmündung sind die Ergebnisse stark von den oben erwähnten Unterschieden v.a. aus dem Salzach-Modell geprägt. Insgesamt stimmen das HY- und das HD-Modell bei kleineren Ereignissen ($< HQ_{30}$ in dem Abschnitt) gut überein, bei größeren Ereignissen ergeben sich teils starke Abweichungen durch den Zufluss der Salzach. Insgesamt weichen die Abflussscheitel zwischen 4,4 und -12,9 % (im Mittel -5,5 %) ab.

Aus o.g. Gründen ergeben sich Abweichungen zwischen hydrologischem und hydrodynamischem Modell. Teils werden die angestrebten Jährlichkeiten HQ_{30} , HQ_{100} , HQ_{300} und $HQ_{1.000}$ an den Referenzpegeln WABG, BGHA und PING in den Simulationen des 2D-HD-Modells nicht erreicht. Am Pegel WABG rufen fünf der zwölf Ereignisse einen Scheitelabfluss größer oder gleich HQ_{100} hervor. Am Pegel BGHA sind es vier, am Pegel PING nur zwei. Am Pegel BGHA wird das HQ_{300} zweimal überschritten, das $HQ_{1.000}$ aber nicht erreicht. Am Pegel PING wird das HQ_{300} nur einmal (fast) erreicht. Diese Differenzen sind bei Verwendung zweier derart unterschiedlicher Modellsysteme nicht zu vermeiden und die Abweichungen im Grunde im Rahmen der Mess- und Modellierungsunsicherheit bei extremen Hochwasserereignissen. Diese Abweichungen spielen für die Beurteilung der Wirksamkeit der potentiellen Rückhalteräume in der Wirkungsanalyse keine Rolle, da in die 2D-HD-Simulationen nur die Zuflussganglinien des HY-Modells eingehen. Die Simulationsergebnisse (folgend: Referenzzustand) sind daher geeignet, um eine Wirkungsanalyse durchzuführen. Es war das Ziel der stochastischen Generierung von Hochwasserwellen, eine repräsentative hydrologische Grundlage für die Wirkungsanalyse zu schaffen, wobei Ereignisse verschiedener Genese und Jährlichkeit enthalten sein sollten. Dies trifft trotz der Abweichungen weiterhin zu. Es ist immer noch für alle Abschnitte eine Variation von Ereignissen verschiedener Jährlichkeiten vorhanden, welche ein großes Spektrum abdecken, wenn auch v.a. unterstrom der Salzachmündung nur mehr zwei Ereignisse verbleiben, mit denen die Einzelwirkung der potentiellen RHR für Abflüsse größer als HQ_{100} untersucht werden kann. Hinsichtlich der Definition eines Überlastfalls z. B. in Passau, welcher bereits bei vergleichbar „geringen“ Jährlichkeiten ab HQ_{20} beginnt, sind dennoch ausreichend aussagekräftige Ereignisse für die Wirkungsanalyse vorhanden.

Entlang des Längsschnitts der Scheitelabflüsse für die zwölf hydrologischen Ereignisse (Abbildung 64) ergeben sich markante Knicke – je nach hydrologischer Belastung – an den folgenden Stellen (etwa Angabe des Flusskilometers, Fkm): Mündung der Mangfall (Fkm 184,6), Zwischeneinzugsgebiet vor WABG (mehrere Zuflüsse zusammengefasst, Fkm 164 - 173), Restwasserstrecke zwischen Jettenbach und Töging (Fkm 128 - 97) mit konstantem Zufluss von $270 \text{ m}^3/\text{s}$ in den Werkkanal, Mündung der Alz (Fkm 80,4), Mündung der Salzach (Fkm 68),

Retentionswirkung der Überflutungsfläche zwischen Staustufe Schärding (GSN) und Pegel Schärding (SCAQ) (Fkm 16 - 19), Zwischeneinzugsgebiet bei SCAQ (mehrere Zuflüsse, u.a. Rott, zusammengefasst, Fkm 14 - 19). Der Sprung „in die Donau“ (Fkm 0) wurde für den Pegel Achleiten (ACH) mit einem Punkt dargestellt, da dieser zwar nicht zum Längsschnitt des Inns gehört, aber die Wirkung des Inns auf die Donau auch ein wichtiger Untersuchungspunkt ist.

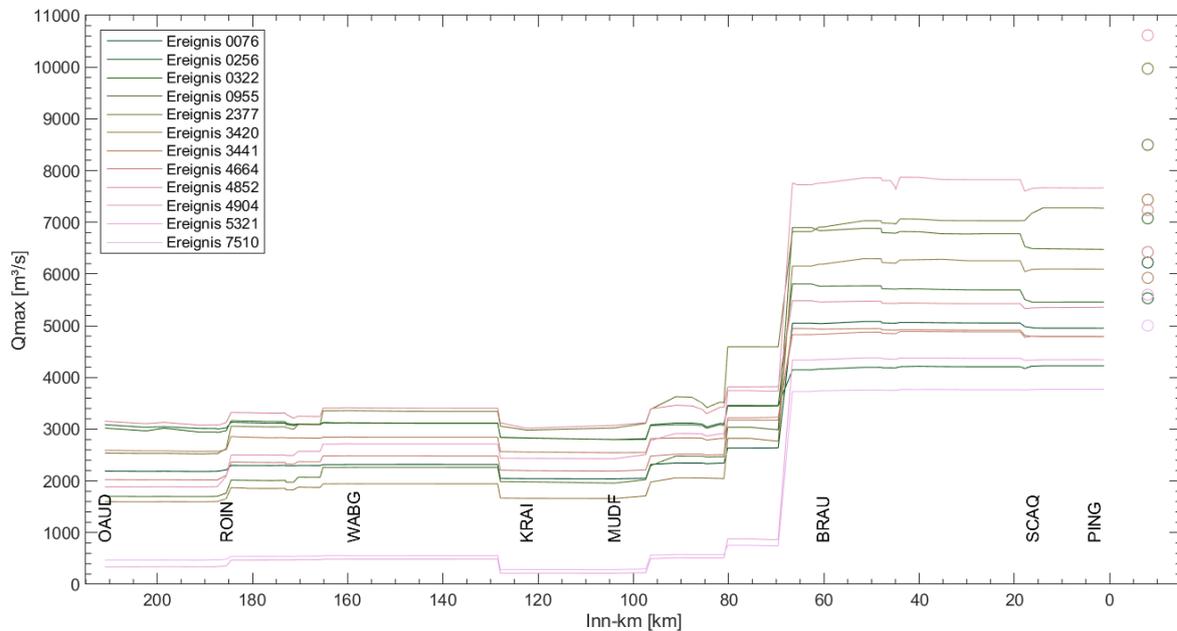


Abbildung 64: Längsschnitt der Scheitelabflüsse für die zwölf Ereignisse entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten/Donau (Punkte)

Anhand der folgenden Abbildungen werden die Volumina der Hochwasserwellen an den drei Pegeln WABG, BGHA und PING ausgewertet. In Abbildung 65 und Tabelle 53 sind die Abflussfüllen der Hochwasserwellen über Schwellenwerten des Abflusses am Pegel WABG aufgetragen. Daraus ist zum Beispiel zu erkennen, dass die beiden das HQ₃₀₀ überschreitenden Ereignisse E2377 und E4852 bei ähnlichem Abflussscheitel (Differenz etwa 2 %) zwar über dem Schwellenwert HQ₃₀ eine identische, aber über HQ₃₀₀ unterschiedliche Scheitelfülle haben. Relativ gesehen (Abbildung 65, unten) ist E2377 etwas volumenreicher. Die vom Scheitelabfluss identischen Ereignisse E0256 und E0322 (HQ₂₀₀ – HQ₃₀₀) weisen auch sehr ähnliche Volumina auf (bspw. identische Abflussfülle über HQ₁₀₀). Die Ereignisse E3441 und E4904, welche etwa in der Größenordnung HQ₁₀₀ liegen, sind dagegen deutlich unterschiedlich. Das bezogen auf den Scheitelabfluss etwas kleinere Ereignis E4904 ist insgesamt volumenreicher (s. Abbildung 65, unten), wobei die Abflussfülle über HQ₅ um ein Drittel größer (113 zu 85 Mio. m³) und das Volumen des Wellenscheitels über HQ₃₀ bei beiden Ereignissen fast gleich ist (19 zu 20 Mio. m³). Aus Abbildung 65 (unten) kann ebenfalls abgelesen werden, dass ein Rückhaltevolumen von z. B. 10 Mio. m³ unmittelbar am Pegel WABG (bei den zehn Ereignissen über HQ₅) zu theoretischen Scheitelreduktionen von etwa 8 bis 14 % führen kann, bei

20 Mio. m³ theoretisch zu etwa 12 bis 21 %. Insgesamt weisen alle Hochwasserereignisse relativ ähnliche Scheitelfüllen auf, da auch aus der langjährigen, stochastisch generierten Zeitreihe des TP A eher Ereignisse mittlerer Fülle ausgewählt wurden (siehe Schlussbericht TP A).

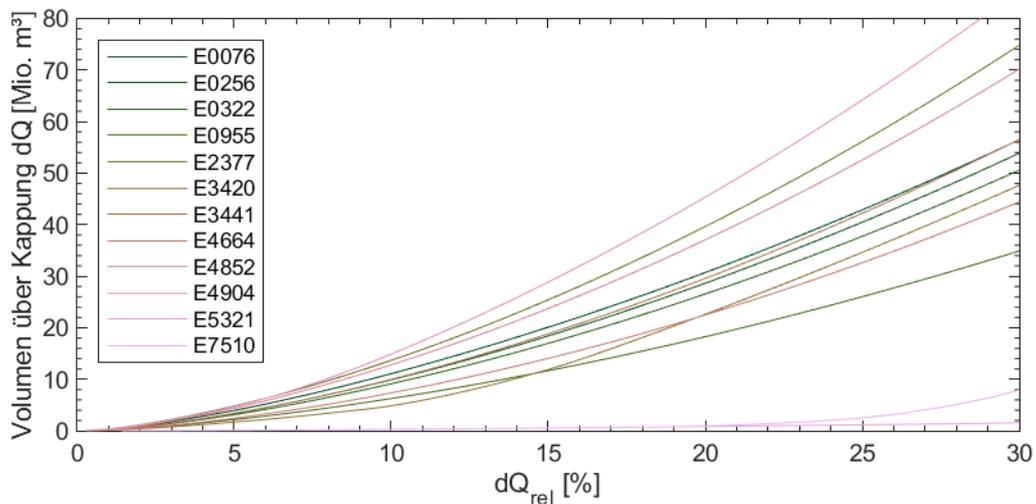
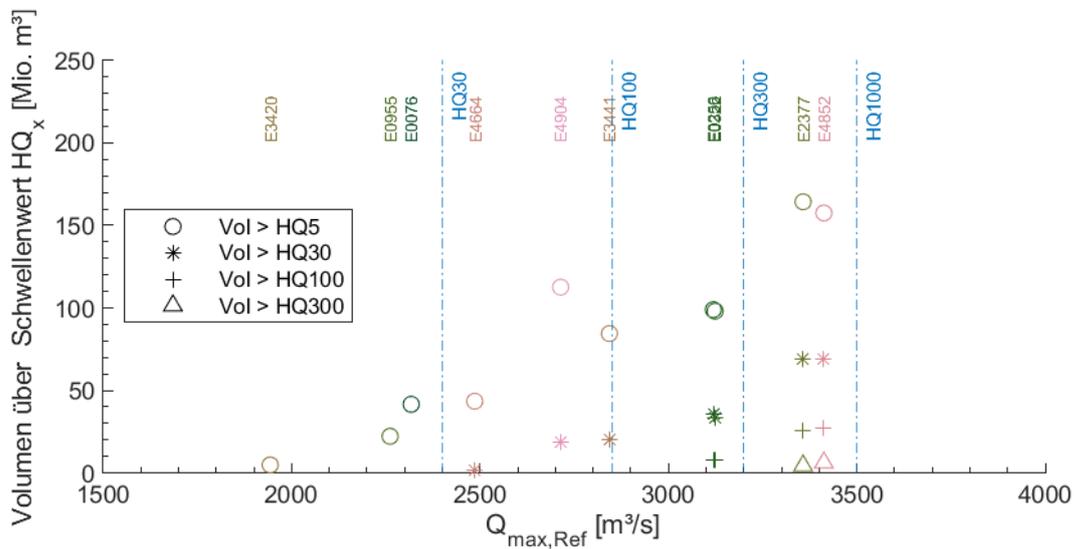


Abbildung 65: Volumina der Hochwasserwellen am Pegel WABG. Oben: Q-V-Beziehung als Volumen über Schwellenwert HQ_x aufgetragen über dem Scheitelabfluss. Unten: Hochwasserabflussfüllen über der relativen Scheitelreduktion dQ_{rel}

Tabelle 53: Volumina der Hochwasserwellen für ausgewählte HQ-Werte am Pegel WABG über Schwellenwert HQ_x

WABG	$Q_{\max,Ref}$ [m ³ /s]	Einordnung des Ereignisses	Volumen über HQ_x [Mio. m ³]			
			Vol > HQ_5	Vol > HQ_{30}	Vol > HQ_{100}	Vol > HQ_{300}
E0076	2318	$HQ_{20} - HQ_{30}$	41.6	-	-	-
E0256	3119	$HQ_{200} - HQ_{300}$	98.9	35.7	7.9	-
E0322	3124	$HQ_{200} - HQ_{300}$	98.1	33.5	7.5	-
E0955	2262	$HQ_{20} - HQ_{30}$	22.2	-	-	-
E2377	3357	$HQ_{300} - HQ_{1000}$	164.3	69.0	25.7	4.4
E3420	1943	~ HQ_{10}	4.8	-	-	-
E3441	2843	~ HQ_{100}	84.5	20.0	-	-
E4664	2486	$HQ_{30} - HQ_{50}$	43.5	1.4	-	-
E4852	3412	~ HQ_{1000}	157.6	69.0	27.5	6.2
E4904	2714	$HQ_{50} - HQ_{100}$	112.6	19.0	-	-
E5321	487	< HQ_1	-	-	-	-
E7510	557	< HQ_1	-	-	-	-

In Abbildung 66 und Tabelle 54 sind die Abflussfüllen der Hochwasserwellen über Schwellenwerten des Abflusses am Pegel BGHA aufgetragen. Zu erkennen ist, dass die beiden das HQ_{300} überschreitenden Ereignisse E0955 und E4904 unterschiedliche Wellenvolumina aufweisen. Dabei hat das Ereignis E4904 bei etwa 5 % höherem Abflussscheitel über dem Schwellenwert HQ_{100} eine um die Hälfte höhere Scheitelfülle, über dem Schwellenwert HQ_{300} eine fast dreimal so große Scheitelfülle und ist auch bei relativer Betrachtung (Abbildung 66, unten) volumenreicher. Die im Scheitelabfluss fast identischen Ereignisse E3420 und E5321 ($HQ_{100} - HQ_{300}$, Differenz etwa 1 %) weisen ebenfalls sehr unterschiedliche Volumina (bspw. Abflussfüllen über HQ_{30} und HQ_{100}) auf. So ist die Abflussfülle über HQ_{30} beim Ereignis E5321 um ein Viertel größer (40 zu 32 Mio. m³) und über HQ_{100} um fast 80 % (4,1 zu 2,3 Mio. m³). Insgesamt sind, bei Betrachtung aller zehn Ereignisse über HQ_5 , die Abflussfüllen der Salzachwellen am Pegel BGHA etwas geringer als die der Innwellen am Pegel WABG. Auch die Scheitelfüllen über HQ_{100} (an beiden Pegeln von je vier Ereignissen überschritten) sind bei den Salzachwellen etwas geringer. Aus der Abbildung 66 (unten) kann abgelesen werden, dass ein Rückhaltevolumen von z. B. 10 Mio. m³ unmittelbar am Pegel BGHA (bei den zehn Ereignissen über HQ_5) zu theoretischen Scheitelreduktionen von etwa 8 bis 15 % führen kann, bei 20 Mio. m³ theoretisch etwa 13 bis 23 %. Im Vergleich zum Pegel WABG sind aufgrund der etwas volumenärmeren Salzachwellen bei identischem Rückhaltevolumen theoretisch etwas größere Scheitelreduktionen möglich.

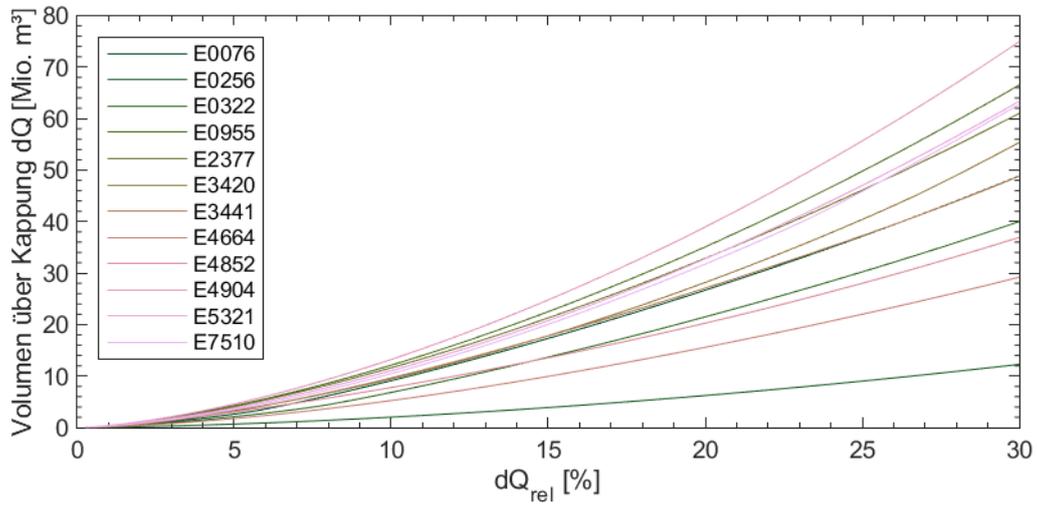
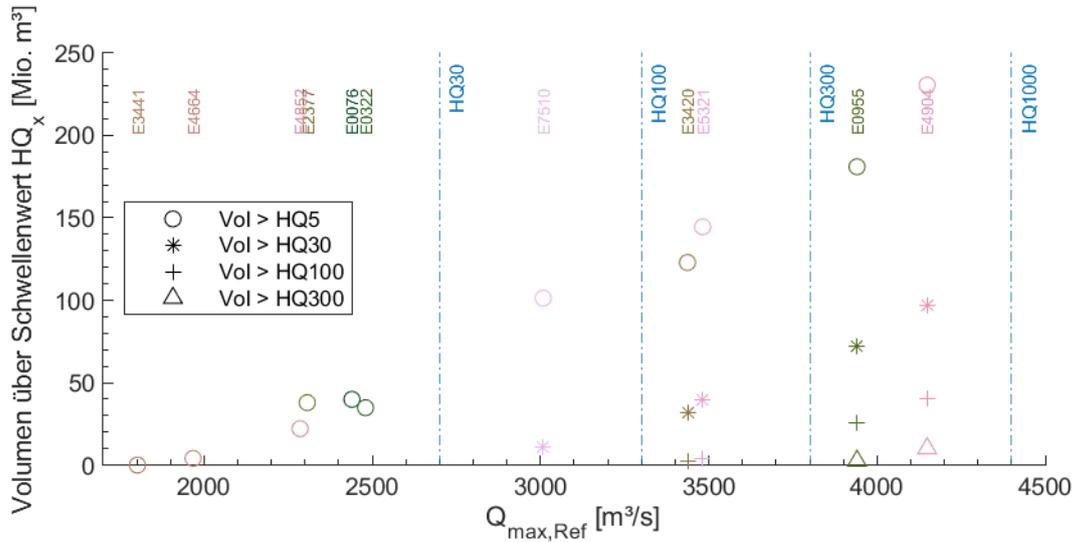


Abbildung 66: Volumina der Hochwasserwellen am Pegel BGHA. Oben: Q-V-Beziehung als Volumen über Schwellenwert HQ_x aufgetragen über dem Scheitelabfluss. Unten: Hochwasserabflussfüllen über der relativen Scheitelreduktion dQ_{rel}

Tabelle 54: Volumina der Hochwasserwellen für ausgewählte HQ-Werte am Pegel BGHA über Schwellenwert HQ_x

BGHA	$Q_{\max,Ref}$ [m ³ /s]	Einordnung des Ereignisses	Volumen über HQ_x [Mio. m ³]			
			Vol > HQ_5	Vol > HQ_{30}	Vol > HQ_{100}	Vol > HQ_{300}
E0076	2439	~ HQ_{20}	39.9	-	-	-
E0256	1187	< HQ_1	-	-	-	-
E0322	2480	$HQ_{30} - HQ_{50}$	34.8	-	-	-
E0955	3940	$HQ_{300} - HQ_{1000}$	181.0	71.9	25.5	2.6
E2377	2307	$HQ_{10} - HQ_{20}$	37.9	-	-	-
E3420	3437	$HQ_{100} - HQ_{300}$	122.9	31.5	2.3	-
E3441	1802	~ HQ_5	-	-	-	-
E4664	1967	$HQ_5 - HQ_{10}$	4.1	-	-	-
E4852	2286	$HQ_{10} - HQ_{20}$	22.1	-	-	-
E4904	4149	$HQ_{300} - HQ_{1000}$	230.6	96.7	40.4	10.1
E5321	3482	$HQ_{100} - HQ_{300}$	144.6	39.5	4.1	-
E7510	3008	~ HQ_{50}	101.3	10.9	-	-

In Abbildung 67 und Tabelle 55 sind die Abflussfüllen der Hochwasserwellen über dem Abfluss am Pegel PING aufgetragen. Die beiden das HQ_{100} überschreitenden Ereignisse E2377 und E4904 weisen dabei in der relativen Betrachtung (Abbildung 67, unten) ähnliche Wellenvolumina auf. Das Ereignis E4904 hat bei etwa 5 % größerem Abflussscheitel eine mehr als doppelt so hohe Scheitelfülle über dem Schwellenwert HQ_{100} und ist also, auch im Verhältnis zum Wellenvolumen über HQ_{30} , volumenreicher. Bei den beiden Ereignissen E0322 und E4852 in der Größenordnung HQ_{30} hat das bezogen auf den Abflussscheitel etwa 2 % größere Ereignis E0322 allerdings eine deutlich, um ein Viertel, geringere Abflussfülle über HQ_5 . Insgesamt weisen die Hochwasserwellen am Pegel PING naturgemäß größere Füllen als an den beiden anderen oberstrom gelegenen Pegeln auf. Aus der Abbildung 67 (unten) zeigt sich, dass ein Rückhaltevolumen von z. B. 10 Mio. m³ unmittelbar am Pegel PING (bei Betrachtung aller zwölf Ereignisse) nur mehr zu theoretischen Scheitelreduktionen von etwa 4 bis 7 % führen kann; bei 20 Mio. m³ wären theoretisch etwa 6 bis 11 % Scheitelreduktion erreichbar. Für beide Fälle entspricht dies etwa der Hälfte der theoretisch ermittelten Reduktionen an den Pegeln WABG und BGHA.

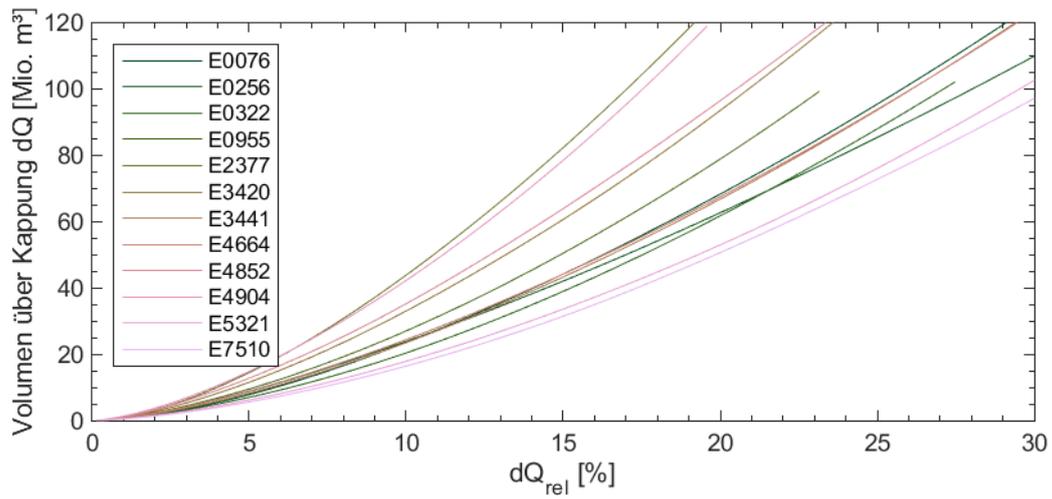
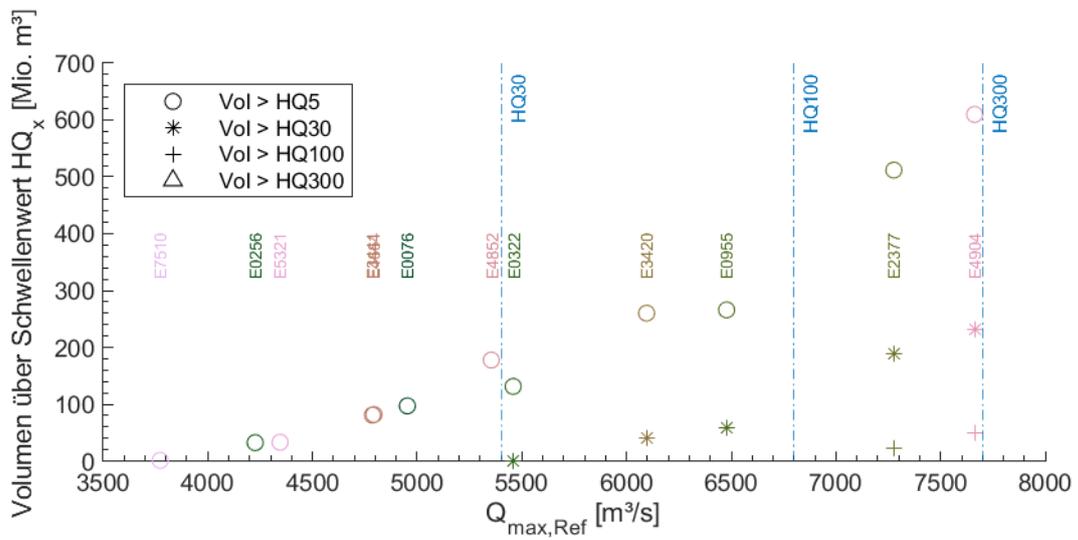


Abbildung 67: Volumina der Hochwasserwellen am Pegel PING. Oben: Q-V-Beziehung als Volumen über Schwellenwert HQ_x aufgetragen über dem Scheitelabfluss. Unten: Hochwasserabflussfüllen über der relativen Scheitelreduktion dQ_{rel}

Tabelle 55: Volumina der Hochwasserwellen für ausgewählte HQ-Werte am Pegel PING über Schwellenwert HQ_x

PING	$Q_{\max,Ref}$ [m ³ /s]	Einordnung des Ereignisses	Volumen über HQ_x [Mio. m ³]			
			Vol > HQ_5	Vol > HQ_{30}	Vol > HQ_{100}	Vol > HQ_{300}
E0076	4953	~ HQ_{20}	97.2	-	-	-
E0256	4226	~ HQ_{10}	32.5	-	-	-
E0322	5458	HQ_{20} - HQ_{30}	131.4	0.7	-	-
E0955	6478	HQ_{50} - HQ_{100}	266.0	59.3	-	-
E2377	7277	HQ_{100} - HQ_{300}	511.8	188.3	22.4	-
E3420	6096	~ HQ_{50}	260.1	40.4	-	-
E3441	4786	HQ_{10} - HQ_{20}	80.9	-	-	-
E4664	4794	HQ_{10} - HQ_{20}	82.0	-	-	-
E4852	5354	~ HQ_{30}	177.7	-	-	-
E4904	7662	~ HQ_{300}	609.8	231.5	50.6	-
E5321	4345	~ HQ_{10}	33.1	-	-	-
E7510	3773	~ HQ_5	1.3	-	-	-

Abbildung 68 stellt die Scheitelgeschwindigkeiten der Hochwasserwellen in den drei Teilabschnitten oberer Inn, unterer Inn und Salzach dar. Diese sind dabei auf den Hochwasserscheitel am unteren Ende (d.h. im Inn vor der Salzachmündung, im Inn am Pegel PING und in der Salzach am Pegel BGHA) bezogen. Zu erkennen ist, dass die Geschwindigkeiten am oberen Inn im Referenzzustand zwischen etwa 8 und 14 km/h liegen, mit einer schwachen Tendenz zu geringeren Geschwindigkeiten bei extremen Abflüssen (untersuchte HQ_{100} – $HQ_{1.000}$). Die zwei kleinsten Ereignisse am oberen Inn sind nicht dargestellt, da durch den geringen Abfluss im Inn die zu ganz unterschiedlichen Zeiten mündenden Hochwasserwellen der seitlichen Zuflüsse (Mangfall, Isen, Alz) jeweils neue Scheitel aufprägen. Am unteren Inn bewegen sich die Wellengeschwindigkeiten zwischen etwa 6 und 12 km/h. Die Werte nehmen mit zunehmenden Scheitelabflüssen in PING ab und stagnieren dann nach einem Knick bei etwa 5.000 m³/s (etwa HQ_{20} – HQ_{30}). Dies entspricht in etwa der beginnenden Ausuferung in das Überschwemmungsgebiet bei Neuhaus a. I. Die Geschwindigkeiten der Salzach bleiben weitgehend konstant bei etwa 4 km/h, nur für die beiden Ereignisse mit Jährlichkeiten < HQ_5 sind die Geschwindigkeiten höher (10 – 16 km/h). Diese Differenz ist darauf zurückzuführen, dass die Vorlandüberströmung erst ab einem Abfluss von etwa 1.300 m³/s beginnt und bis dahin der gesamte Abfluss im Hauptgerinne verbleibt.

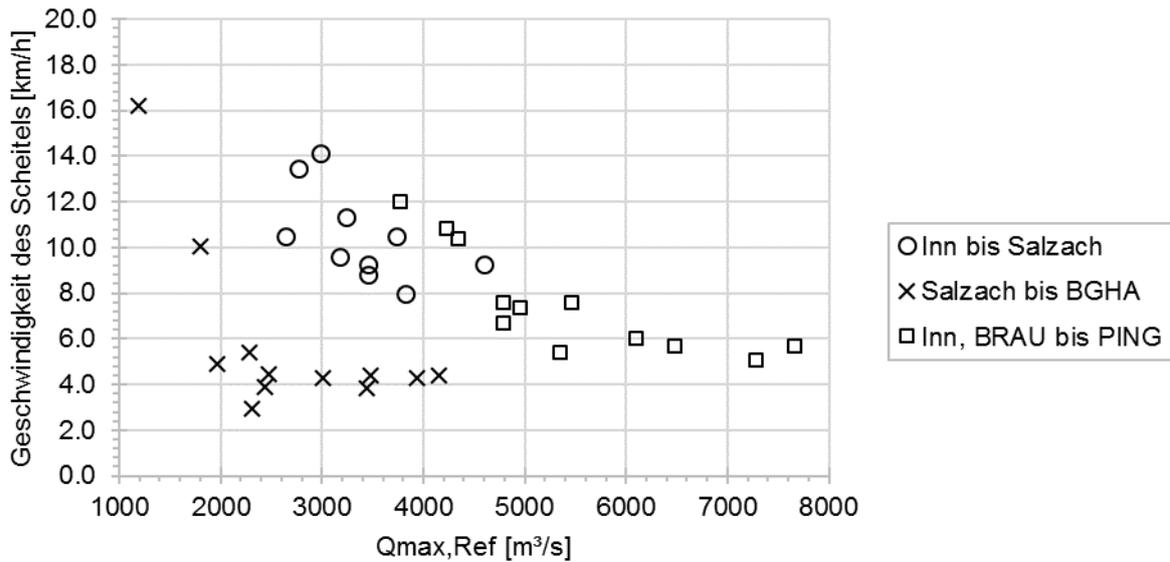


Abbildung 68: Geschwindigkeit des Hochwasserwellenscheitels in den drei Teilabschnitten oberer Inn, unterer Inn und Salzach bezogen auf den Hochwasserscheitelabfluss am unterstromigen Ende

Als Ergänzung zur Tabelle 51 zeigt Abbildung 69 das zeitliche Aufeinandertreffen von Salzach und Inn sowie Inn und Donau. ITM ist dabei der Schnitt bei der Inn-Staustufe Stammham (ITM) vor der Salzachmündung. Die Distanz zwischen ITM und der Mündung ist dabei etwas geringer als die Distanz zwischen Pegel Burghausen und der Salzachmündung. In den verwendeten stochastisch generierten Ereignissen sind sowohl inn- als auch salzachgeprägte Hochwasserwellen enthalten, bei denen meist die Salzach dem Inn vorausläuft, teils ist es auch umgekehrt (siehe Tabelle 51). Der Scheitel der Donau allerdings trifft in allen zwölf verwendeten Ereignissen nach dem des Inns in Passau ein.

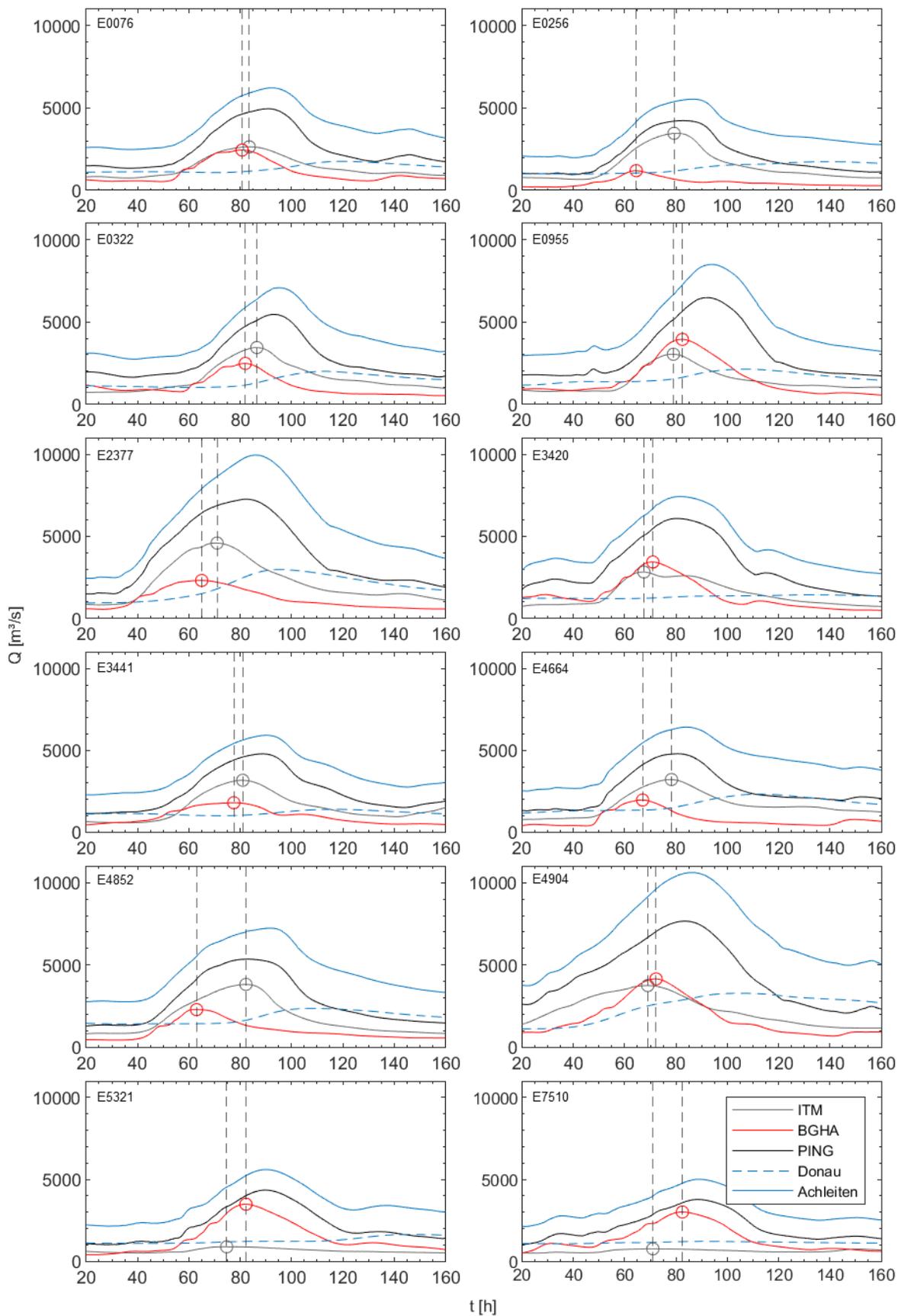


Abbildung 69: Wellenüberlagerung von Inn mit Salzach und mit Donau

7.2. Auswertungen der Wirkungsanalysen

Im Wesentlichen werden die Simulationen hinsichtlich der erreichten Scheitelreduktionen durch RHR (gesteuert und ungesteuert) ausgewertet. Dies erfolgt ähnlich zu den Auswertungen der Hochwasserwellen im historischen Zustand (Kapitel 5.2) nach Gl. 5 und 6. Die absolute Scheitelreduktion ist dabei definiert als die Differenz zwischen Abflussscheitel im Referenzzustand und Abflussscheitel mit Einsatz eines RHR (gesteuert und ungesteuert) (Gl. 5). Die relative Scheitelreduktion ist die absolute Scheitelreduktion bezogen auf den Abflussscheitel im Referenzzustand (Gl. 6). Bezogen auf das aktivierte Volumen des RHR erhält man aus der absoluten und relativen Scheitelreduktion die spezifische Scheitelreduktion (Gl. 7 und 8).

$$dQ_{abs,RHR} = Q_{max,RHR} - Q_{max,Ref} \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (5)$$

$$dQ_{rel,RHR} = \frac{dQ_{abs,RHR}}{Q_{max,Ref}} [\%] \quad (6)$$

$$dQ_{spez,abs} = \frac{dQ_{abs,RHR}}{V_{RHR,aktiviert}} \left[\frac{m^3/s}{Mio.m^3} \right] \quad (7)$$

$$dQ_{spez,rel} = \frac{dQ_{rel,RHR}}{V_{RHR,aktiviert}} \left[\frac{\%}{Mio.m^3} \right] \quad (8)$$

7.3. Erstes Hochwasserereignis Größenordnung HQ₁₀₀ je Abschnitt

Für alle nach der Grobbewertung gefundenen Standorte wurde zunächst eine Wirkungsanalyse mit einem Hochwasserereignis in der Größenordnung HQ₁₀₀ durchgeführt. Dies ging in die Erstabschätzung der hydraulischen Wirksamkeit für die Erstpriorisierung ein und diente damit der Identifizierung derjenigen Flutpolderstandorte, für die in Folge detailliertere Untersuchungen durchgeführt wurden. Je hydrologischem Abschnitt wurde ein repräsentatives aus den zwölf in TP A generierten Ereignissen ausgewählt. Dies sind die Ereignisse HQ₁₀₀, welche in Tabelle 51 dargestellt sind. Für die RHR am Inn oberhalb der Salzachmündung wurde das Ereignis 3441 gewählt, für die RHR am Inn unterhalb der Salzachmündung das Ereignis 3420 und für die RHR entlang der Salzach das Ereignis 7510. Unter Zusammenschau dieses Ersteindrucks der hydraulisch-hydrologischen Wirkung und der ermittelten „Planungsherausforderungen“ oder „Widerstände“ je Standort wurden dann bei der Erstpriorisierung die jeweils drei am besten bewerteten Standorte ausgewählt (siehe Kapitel 6.10). Nur deren Wirkung wurde für sämtliche hydrologischen Ereignisse berechnet.

7.4. Konzeption der (gesteuerten) Flutpolder

Die im Rahmen dieser Studie betrachteten Elemente des HWS umfassen natürlichen Rückhalt in Form von Deichrückverlegungen (DRV) sowie steuerbare Rückhalteräume, also Flutpolder

(FP). Deren Konzeption für die vorliegende Studie wird nachfolgend erläutert. Im Sinne der durchgeführten Potentialstudie für Retention an Inn und Salzach wurde das Schema der einzelnen in Kapitel 6 erarbeiteten Standorte nur relativ grob und eher konzeptionell festgelegt. Die wesentlichen Elemente und Randbedingungen der Flutpolder umfassen Ein- und Auslaufbauwerk, Umgriff, Rückhaltevolumen und Steuervorgaben. Diese werden nachfolgend erläutert sowie in Tabelle 50 in Kapitel 6.10 zusammengefasst.

Ein- und Auslaufbauwerk

Die Lage der Einläufe in die Flutpolder wurde i.d.R. für die Wirkungsanalyse gegenüber der ersten Grobanalyse (Kapitel 6.2) nicht verändert. Modelltechnisch erfolgte die Berücksichtigung von „Einlaufbauwerken“ über eine Auslaufrandbedingung (aus dem Inn/der Salzach) und Zulauftrandbedingung (in den Polder) (Abbildung 70). Die lokale Hydraulik wie Anströmung, Anzahl Wehrfelder, Art der Verschlüsse usw. wurden nicht detailliert betrachtet, es erfolgte dadurch z. B. auch keine Begrenzung des Maximalzuflusses.

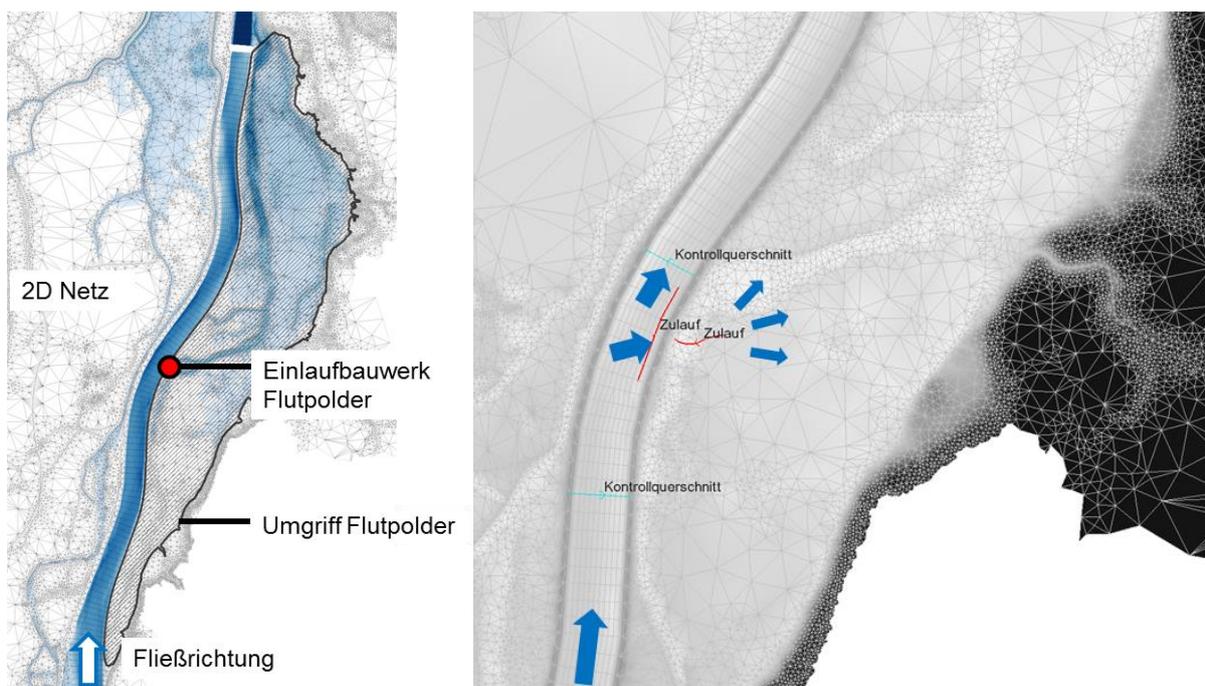


Abbildung 70: Schema zur Lage des Einlaufbauwerks und der modelltechnischen Umsetzung

Ähnliches gilt für die Ausläufe aus den Flutpoldern. Diese wurden meist am tiefsten Punkt des Polders angesetzt und wiederum über eine Aus- und Zulauftrandbedingung (zurück in das Gewässer) modelliert. I.d.R. erfolgte die Rückführung direkt im Hauptgerinne. Der Polder wurde damit nach Beendigung der Füllung wieder entleert. Eine Restentleerung wurde nicht näher betrachtet.

Umgriff und Rückhaltevolumen

Der Umgriff stimmt im Wesentlichen mit den Umgriffen aus Kapitel 6.10 überein. Dort wurden die Umgriffe scharf anhand des DGM1 abgegrenzt. Im 2D-HD-Modell können die Abgrenzungen (Trenndeiche zum Gewässer, Ausdeichnungen...) aufgrund der Netzauflösung mit Elementkantenlängen bis etwa 50 m nicht exakt damit übereinstimmen. Da aber die Füllung in den Polder netzunabhängig bestimmt und zugegeben wird, hat eine Abweichung der Poldergrenzen selbst um mehrere Meter keine Auswirkung auf die großräumige hydraulische Wirkung eines Flutpolders. Das Füllvolumen wird korrekt abgebildet, aber der tatsächlich erreichte Wasserstand kann vom angenommenen Stauziel leicht abweichen. Auch die Trocken-Nass-Grenze kann dadurch Unschärfen aufweisen.

Steuervorgaben

Für die RHR sind verschiedene Steuervorgaben vorstellbar. Diese sind ausführlicher in Kapitel 9 beschrieben. Die für die Einzelwirkungsanalyse von Flutpoldern umgesetzte Steuerung wird in Kapitel 7.5 beschrieben.

Im Rahmen von Planungen zu den Standorten müssen diese o.g. Aspekte dann detaillierter untersucht werden. Für die vorliegende Potentialuntersuchung war dies weder zielführend noch für alle potentiellen RHR durchführbar. Die wesentlichen Eckdaten der 10 umfangreicher untersuchten Standorte finden sich in Tabelle 50 in Kapitel 6.10.

7.5. Steuerung der Flutpolder für die Einzelwirkungsanalyse

Für alle gesteuerten Varianten der potentiellen RHR wurde eine lokal optimierte Steuerung angesetzt. Dies bedeutet, dass die Hochwasserwelle durch den Flutpolder möglichst horizontal gekappt werden soll. In der Praxis benötigt diese Art der Steuerung eine exakte Hochwasserprognose. Dabei soll unabhängig von der Jährlichkeit des Ereignisses immer eine maximale Scheitelreduktion unter voller Ausnutzung des verfügbaren Rückhaltevolumens erreicht werden. Die Einsatzschwelle wurde bewusst niedrig angesetzt, um auch Wirkungen auf unterstrom folgende Abschnitte ermitteln zu können, in denen ein Überlastfall mit Überschreiten der Bemessungsabflüsse der HWSA droht (bspw. in Passau und nach der Mündung in die Donau). Als Kriterium wurde das Überschreiten des HQ_5 am Hauptpegel des jeweiligen Abschnitts (WABG, BGHA oder PING) gewählt (Tabelle 56). Dadurch kann allerdings nicht für alle Standorte eine Vollfüllung des RHR gewährleistet werden, wenn die Wasserstände vor dem Einlaufbauwerk aufgrund der geringeren Abflüsse nicht ausreichen.

Beim derzeitigen Bearbeitungsstand im Rahmen der Potentialstudie ist noch unklar, ob die Wasserstände bei kleineren Ereignissen für eine Füllung des RHR ausreichen. Um dieser Unsicherheit gerecht zu werden, wurde ein Einsatz der Flutpolder ab HQ₅ angenommen. Möglicherweise ist aber auch bei geringeren Wasserständen im Inn ein Einsatz mit unter Umständen vermindertem Zufluss oder Füllgrad möglich, gerade bei Standorten, deren Einlaufbauwerke im staubeeinflussten Bereich liegen.

Tabelle 56: Als gesteuerte Flutpolder eingesetzte RHR in den Einzelwirkungsanalysen

	a_06	a_08	a_13	b_02	c_08	c_09	c_13	d_04	d_05	d_10
E0076	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
E0256	x	x	x	x	x	x	x	< HQ ₅	< HQ ₅	x
E0322	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
E0955	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
E2377	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
E3420	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
E3441	x	x	x	x	x	x	x	< HQ ₅	< HQ ₅	x
E4664	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
E4852	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
E4904	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
E5321	< HQ ₅	< HQ ₅	< HQ ₅	< HQ ₅	x	x	x	x	x	x
E7510	< HQ ₅	< HQ ₅	< HQ ₅	< HQ ₅	x	x	x	x	x	x

Abbildung 71 verdeutlicht die Steuerung beispielhaft anhand des RHR a_08 und dem Ereignis 3441. Ausgehend von der Abflussganglinie im Referenzzustand am Standort des Einlaufbauwerks (Kontrollquerschnitt unmittelbar unterstrom) wird unter Berücksichtigung des potentiell verfügbaren Rückhaltevolumens (rote Fläche) der „Kappungsabfluss“ ermittelt (horizontale graue gestrichelte Linie). Daraus resultiert die Zuflussganglinie in den RHR („Zulauf Soll“ grau-überdeckt von roter Linie „Zulauf (Ist)“). In Abbildung 71 ist auch zu erkennen, dass bis zum etwa 17 km unterstrom liegenden Pegel WABG diese lokal optimierte Kappung der Welle nahezu beibehalten werden konnte. Die Entleerung beginnt bei Unterschreiten des HQ₅ oder frühestens 5 Stunden nach Beendigung der Füllung. Die Entleerung erfolgte mit einem konstanten Auslaufabfluss, welcher entsprechend dem Rückhaltevolumen individuell für jeden RHR bestimmt wurde (siehe Kapitel 6.10). Der einer lokal optimierten Wirkung entsprechende Abfluss für die Kappung wurde für jedes Ereignis separat bestimmt.

Abbildung 72 zeigt als Beispiel die Steuerung an einem Standort (a_13), an dem der Wasserstand vor dem Einlauf aufgrund der geringen Jährlichkeit des Ereignisses nicht ausreicht, um den Flutpolder vollständig zu fluten. Die Wirkung bleibt daher suboptimal bezogen auf das potentiell vorhandene Volumen. Bei diesem Standort a_13 in der für die Studie gewählten Konzeption für den Einlauf können Vollfüllungen erst ab etwa HQ₃₀ erreicht werden. Vertiefte

Untersuchungen zur Verbesserungen der Situation wie z. B. Vorlandumgestaltung wurden nicht durchgeführt.

Für den Standort c_13, welcher über ein sehr großes Rückhaltevolumen verfügt, erscheint eine Aufteilung auf zwei Einlaufbauwerke (etwa $\frac{2}{3}$ zu $\frac{1}{3}$ des Volumens) sinnvoll. Dabei werden am oberen Einlaufbauwerk etwa $\frac{2}{3}$ des max. verfügbaren Rückhaltevolumens abgeleitet, die restlichen $\frac{1}{3}$ am zweiten Einlaufbauwerk. Bei kleineren Wellen wird so das zweite Bauwerk unter Umständen nicht beaufschlagt, sofern die Wasserstände zur Aktivierung nicht mehr ausreichen sollten. Ein Vorteil bei diesem großen Polder mit zwei Einläufen ist zudem, dass eine suboptimal gekappte Welle nach dem ersten Zulauf dann nochmal gekappt werden kann.

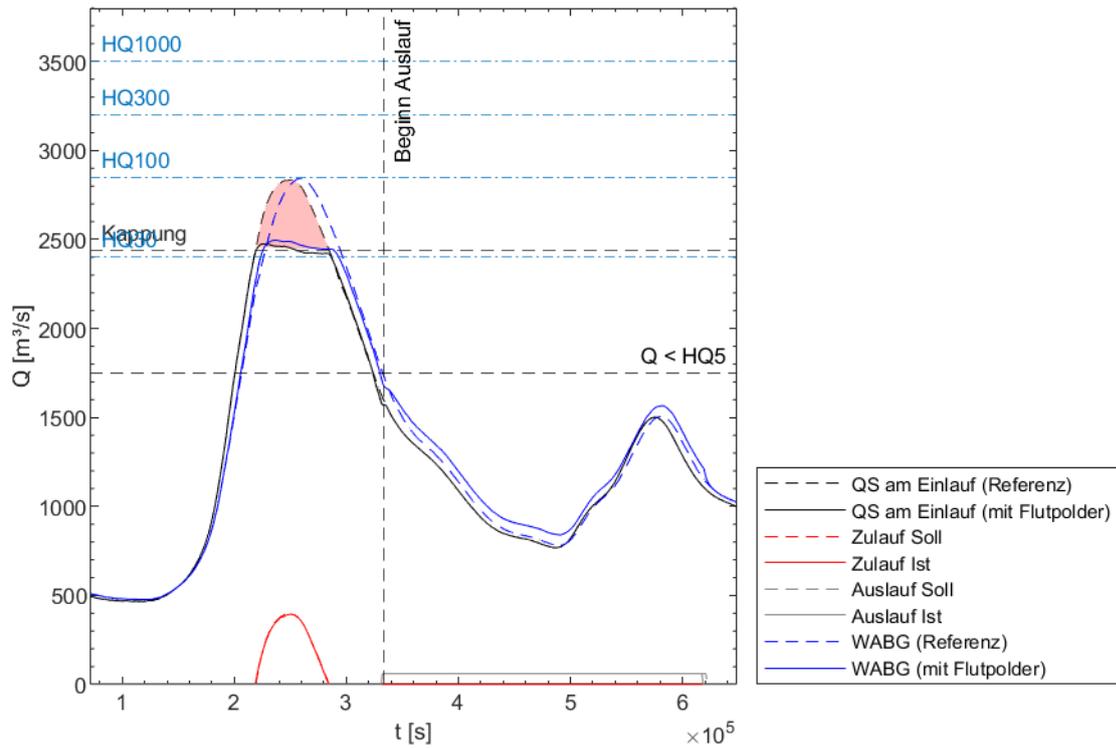


Abbildung 71: Lokal optimierte Steuerung des potentiellen RHR a_08 beim Ereignis 3441 (etwa HQ₁₀₀)

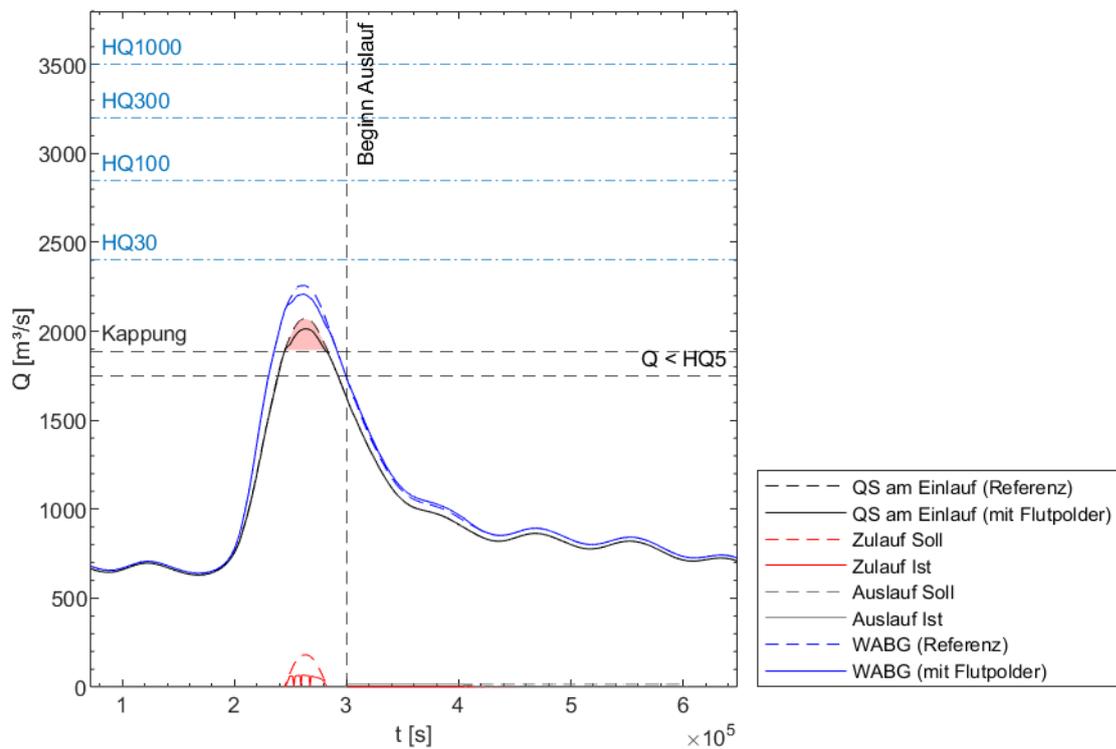


Abbildung 72: Unterschied zwischen Soll und Ist einer lokal optimierten Steuerung des potentiellen RHR a_13 beim Ereignis 0955 (etwa HQ₂₀ bis HQ₃₀)

7.6. Anpassung der Berechnungsnetze für die Wirkungsanalyse

Bei ersten Simulationen mit Hochwasserereignissen der Größenordnung HQ₃₀₀ und HQ_{1.000} wurde ersichtlich, dass der Ansatz der Gleichgewichtssohle als Sohlgeometrie im Reinwassermodell zu Problemen führen kann. Die für die tatsächlichen Verhältnisse wahrscheinlich – je nach Stauraum – teils deutlich zu hohe Sohlage im 2D-HD-Modell führt dazu, dass bei Ereignissen >> HQ₁₀₀ im Modell die Freiborde praktisch vollständig beansprucht sind. Der maximal errechnete Wasserstand im Modell mit fester Gleichgewichtssohle und ohne fließtiefen- oder abflussabhängiger Sohle kann aufgrund der so nicht berücksichtigten Ausräumung des Stauraums unrealistischerweise höher als die Dammkrone sein. Ein modelltechnisch einfach umsetzbares „Unüberströmbare-Setzen“ der Dammkrone ist nicht sinnvoll, da durch den beschriebenen Sedimenttransportprozess auch allgemein der Wellenablauf beeinflusst sein könnte, wenn Vorländer oder Retentionsflächen anders (i.d.R. weniger) beaufschlagt werden. Somit ist es sinnvoll, für extreme Ereignisse auch mit anderen, tieferen Sohlagen im 2D-Reinwassermodell zu simulieren. Ein erster Vergleich zeigte bei Ereignissen in der Größenordnung HQ₃₀₀ und HQ₁₀₀₀ eine Beschleunigung des Scheitels von etwa 15 min bis max. 1 h und eine leichte Erhöhung des Scheitelabflusses zwischen 0 und 0,9 % über die gesamte Fließstrecke. Angesichts der geringen Abweichungen der Abflussscheitel und Laufzeiten innerhalb der aus Erfahrungswerten anzunehmenden allgemeinen Modellunsicherheiten, aber im Gegenzug einer deutlich besseren Abbildung der Wasserspiegellagen ist es sinnvoll, die Simulationen der Wirkungsanalyse einheitlich mit einer tieferen Sohle durchzuführen. Daher wurde die tiefere Sohle entsprechend der Auswertung der Uni Kassel (Abbildung 73, grün markiert) im Modell implementiert. Um die Berechnungen zu vereinheitlichen und zu erleichtern, wurde in Folge für alle zwölf Ereignisse dasselbe Modell mit dieser „ausgeräumten“ Sohlage verwendet.

	1971	1974	1977	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1989	1991	1993	1994	1995	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
Oberer Inn	Nußdorf			10		3											2/9		1	2	2	1/11	9	10	10	9	11	10	11	8	9	11			
	Rosenheim	8	11	11	11			9		8		8			10				2	11			11				8				11				
	Feldkirchen	9	11	10	11			1		9		11			10				10				10				10					9			
	Wasserburg	9	11	10	11				1	10			3		10					3			10										1		
	Teufelsbruck	9	9	11	10				1	10		11			12						3			10		2		11					1		
	Gars	9	9	9	10				3	10		10			11					9				10		2		11						1	
	Jettenbach	9	9	9	10					5	10	10			11					9				10					4					2	
	Neuötting																																		
	km 91,2 - 99,8	9	10	9	9				9	11		10				3				1				11				12					8		
	km 100,0 - 127,8			9		3		4		11	3	4					7				5			6		11									
Unterer Inn	Perach	9	12	9	9			9		11	10				3				12				10					2			10				
	Stammham	9	10	9	9			9		11	9					2				12			10				3				8				
	Simbach-Braunau																			8				9			9				7				
	Ering-Frauenstein																			1	11								3			7	4		
	Eggling-Obernberg																		11	11	10	11			2	3		3			7	3			
	Schärding-Neuhaus																			8	8				9			10			7				
	Passau-Ingling																				10	10			10		10				7				
HW				7				8		8				6	7					8			7/8					6		6	6				

IBN
Peilung
HW
hoch
GG
tief

Abbildung 73: Zeitlicher Überblick Sohlvermessungen und HW-Ereignisse (Quelle: Uni Kassel, Präsentation im Lenkungs-gremium 30.09.19)

Neben der Anpassung der Sohle im Modell wurden weitere kleine Anpassungen am Modell vorgenommen, wie beispielsweise der Einbau der Randbedingungen an den Poldereinläufen

entsprechend der final aktualisierten Rückhalteflächen. Die Ausleitung in den Werkkanal zum Kraftwerk Töging a.I. beim Wehr Jettenbach wird mit konstantem Zufluss von 270 m³/s bei allen Ereignissen angesetzt. Der Wert wurde anhand gemessener Abflüsse bei Hochwasserereignissen abgeschätzt und mit der amtlichen Hochwasserstatistik mit und ohne Werkkanal für die Pegel Mühldorf und Kraiburg verglichen. Zwischen Beginn des Projekts (initiale Datenbeschaffung) und Durchführung der Wirkungsanalyse wurde vom WWA RO ein detailliertes 2D-Modell zur Verbesserung des HWS der Stadt Mühldorf aufgestellt, welches noch in das TUM-Modell eingearbeitet wurde.

7.7. Wirkung der detaillierter untersuchten Flutpolderstandorte auf die Hochwasserwellen und potentielle Scheitelreduktion an den maßgeblichen Pegeln

Folgende Abbildungen zeigen für jedes der zwölf Ereignisse die simulierten Abflussganglinien an den drei Pegeln im Referenzzustand sowie mit Einsatz der Flutpolder. Die Plots sind alle gleich aufgebaut: oben finden sich alle Ganglinien zusammen, um einen Überblick des Gesamt ereignisses zu bekommen. Unten links wird der Scheitelbereich der Inn-Welle am Pegel WABG gezeigt, in der Mitte der Scheitelbereich der Salzach-Welle am Pegel BGHA und unten rechts der Scheitelbereich der Inn-Welle am Pegel PING. Die Jährlichkeiten sowie Charakteristiken der Wellen wird im Kapitel 7.1 beschrieben. Gezeigt werden ausschließlich Einzelwirkungen der Flutpolder. Manche RHR wurden, wie in Kapitel 7.5 (zur Übersicht Tabelle 56) beschrieben, nicht bei allen Ereignissen eingesetzt, da die Jährlichkeiten am Standort dafür zu gering waren. Die folgenden Abbildungen dienen der erstmaligen Übersicht und Orientierung. Auf die Ergebnisse und die in den Simulationen erreichten Scheitelreduktionen wird im Anschluss an die Abbildungen und in den folgenden Kapiteln eingegangen.

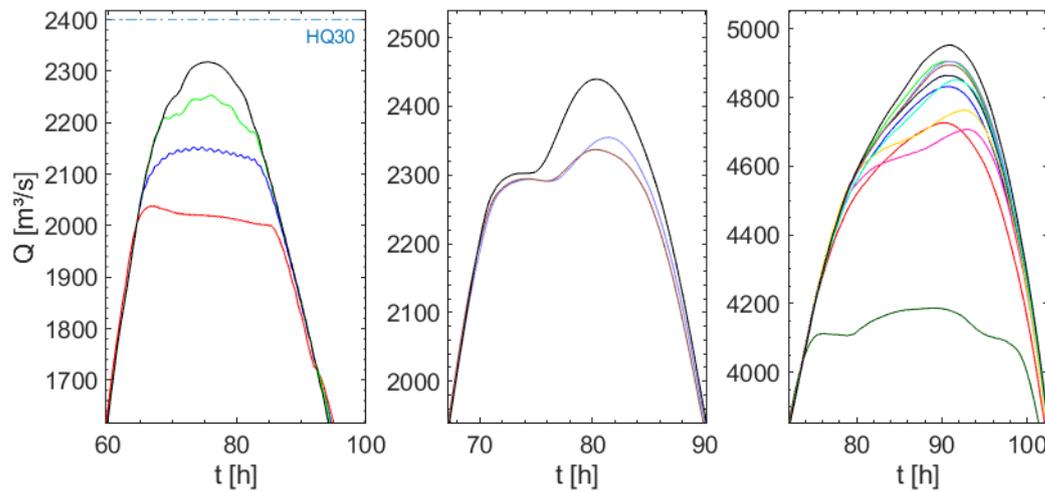
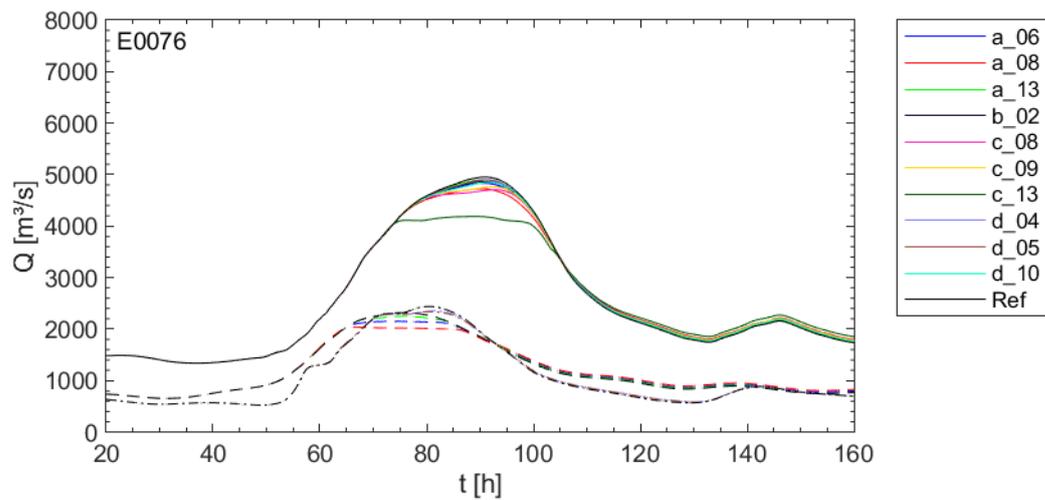


Abbildung 74: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 0076. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

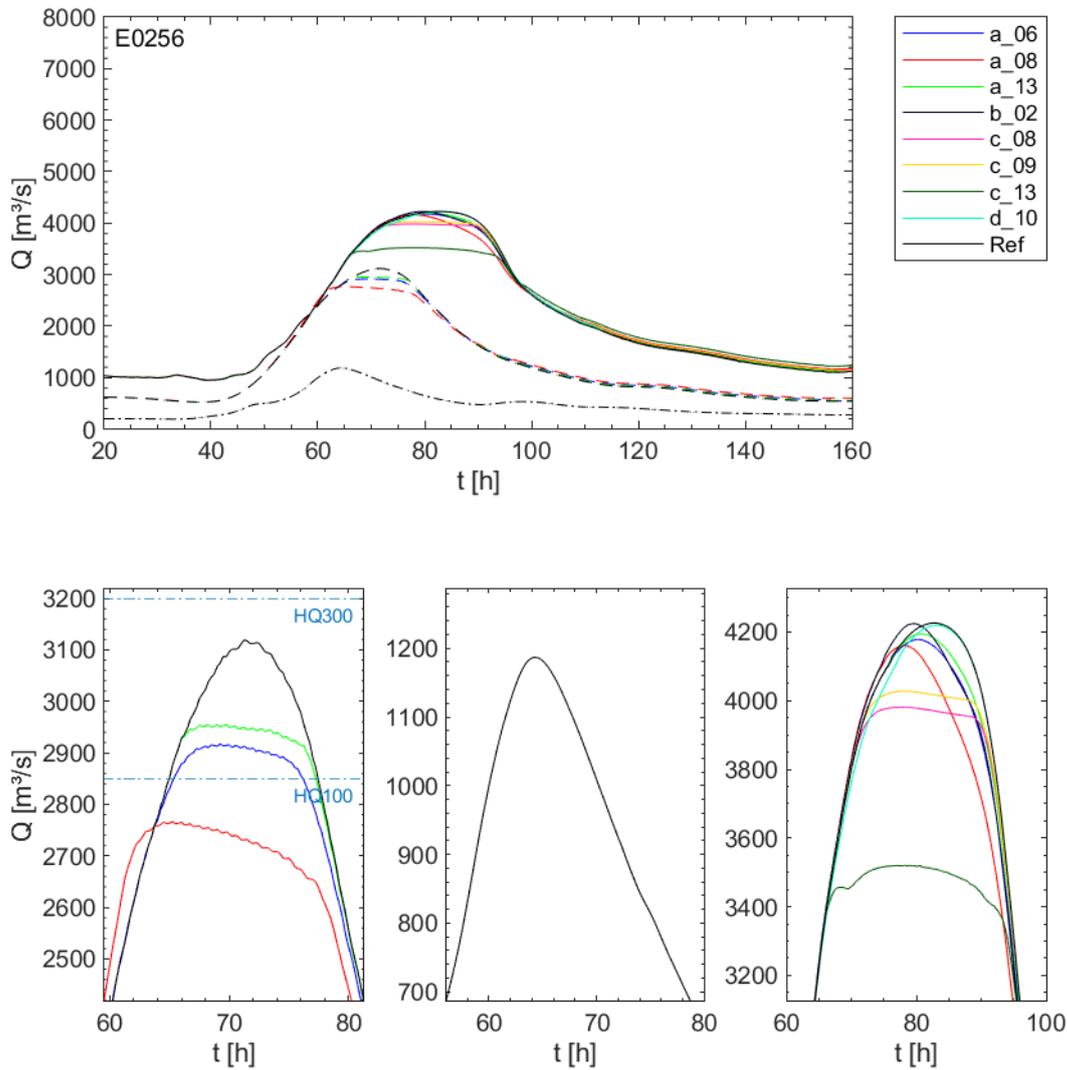


Abbildung 75: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 0256. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

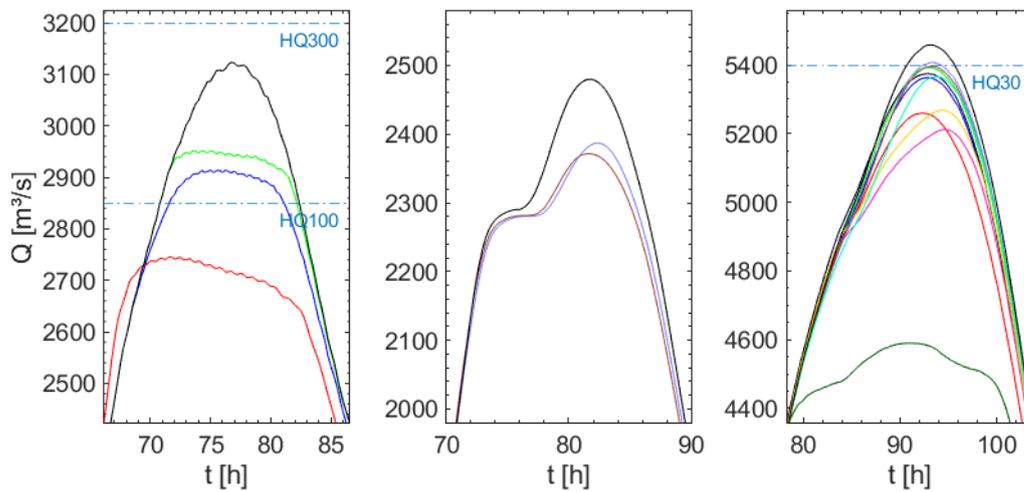
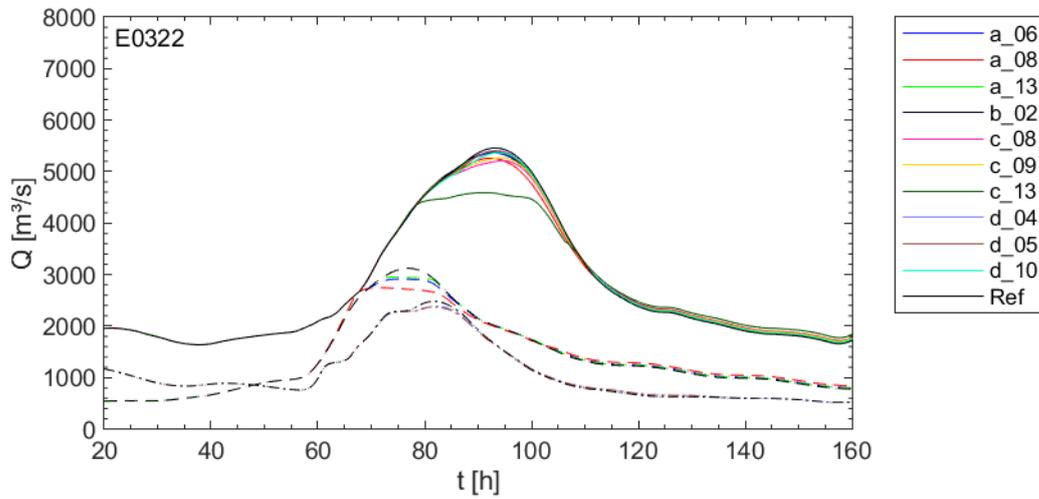


Abbildung 76: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 0322. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

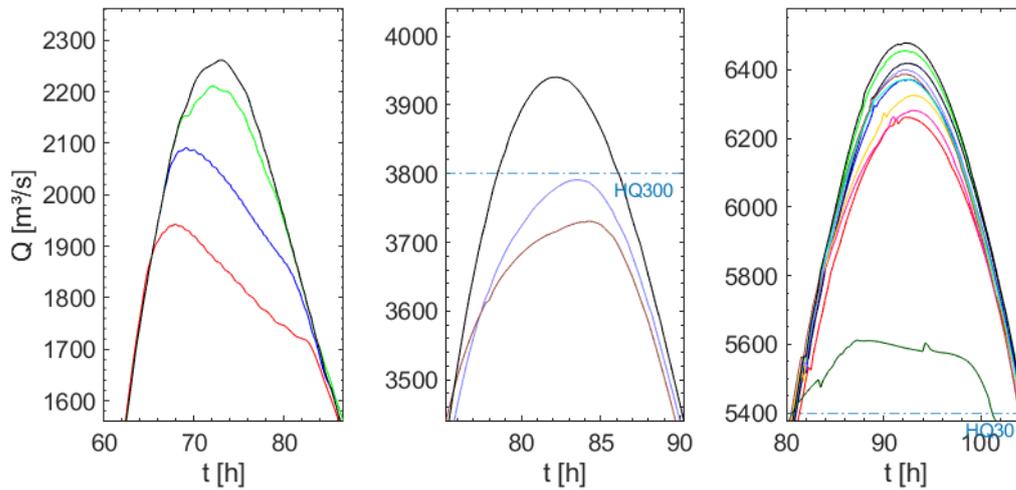
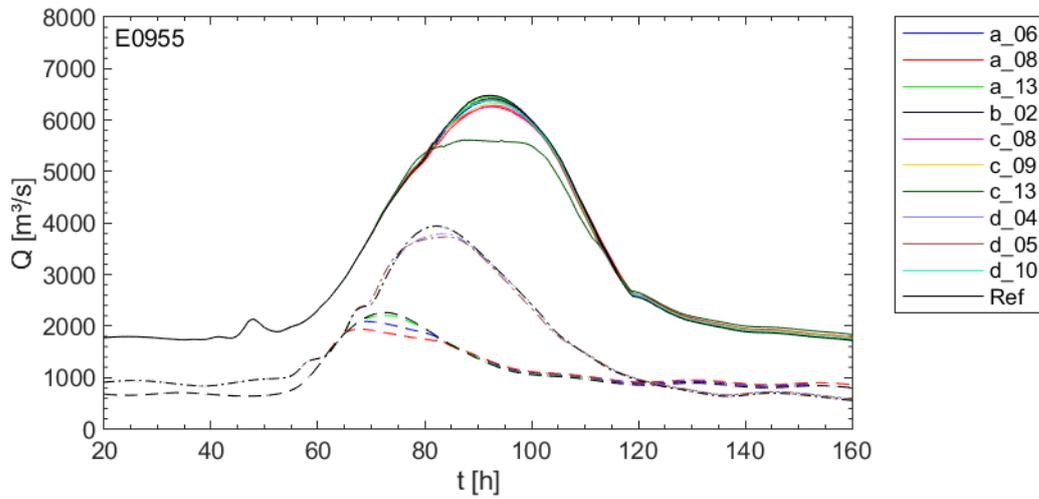


Abbildung 77: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 0955. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

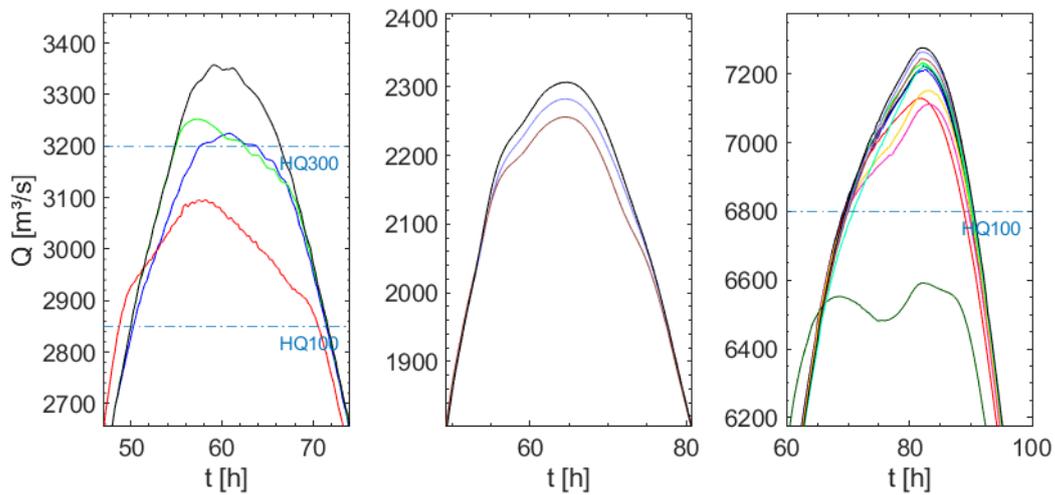
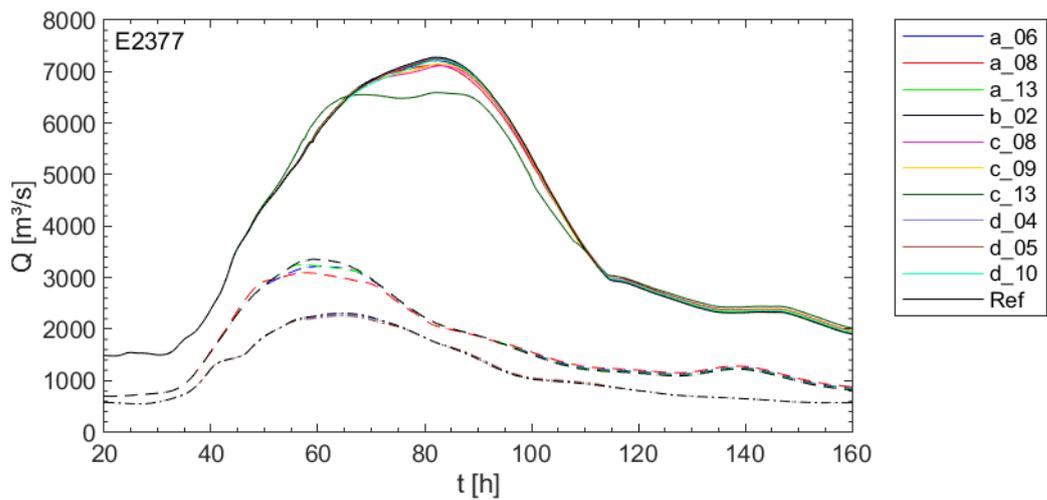


Abbildung 78: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 2377. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

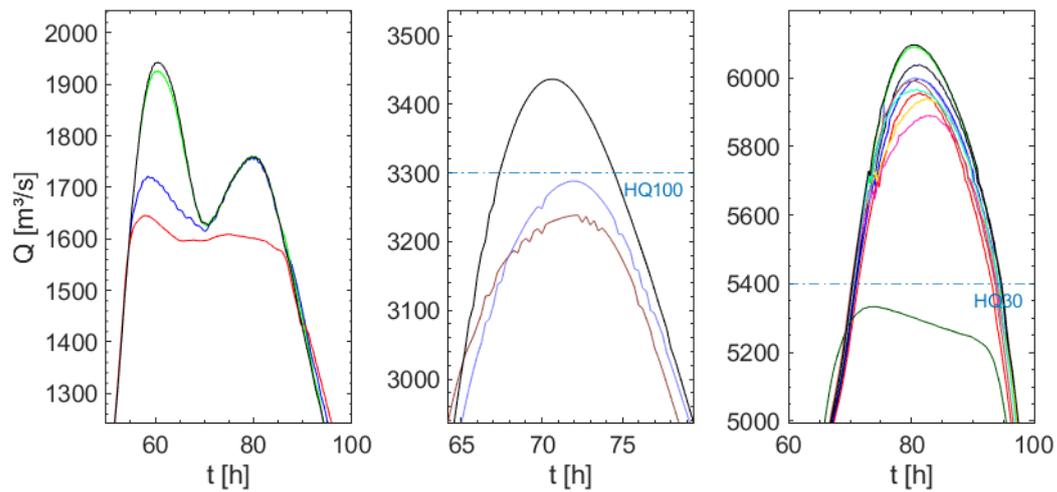
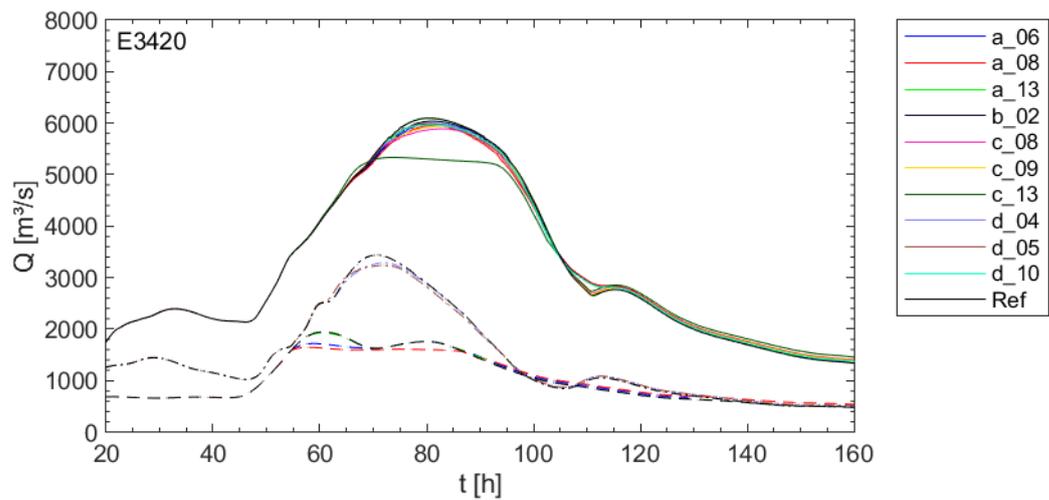


Abbildung 79: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 3420. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

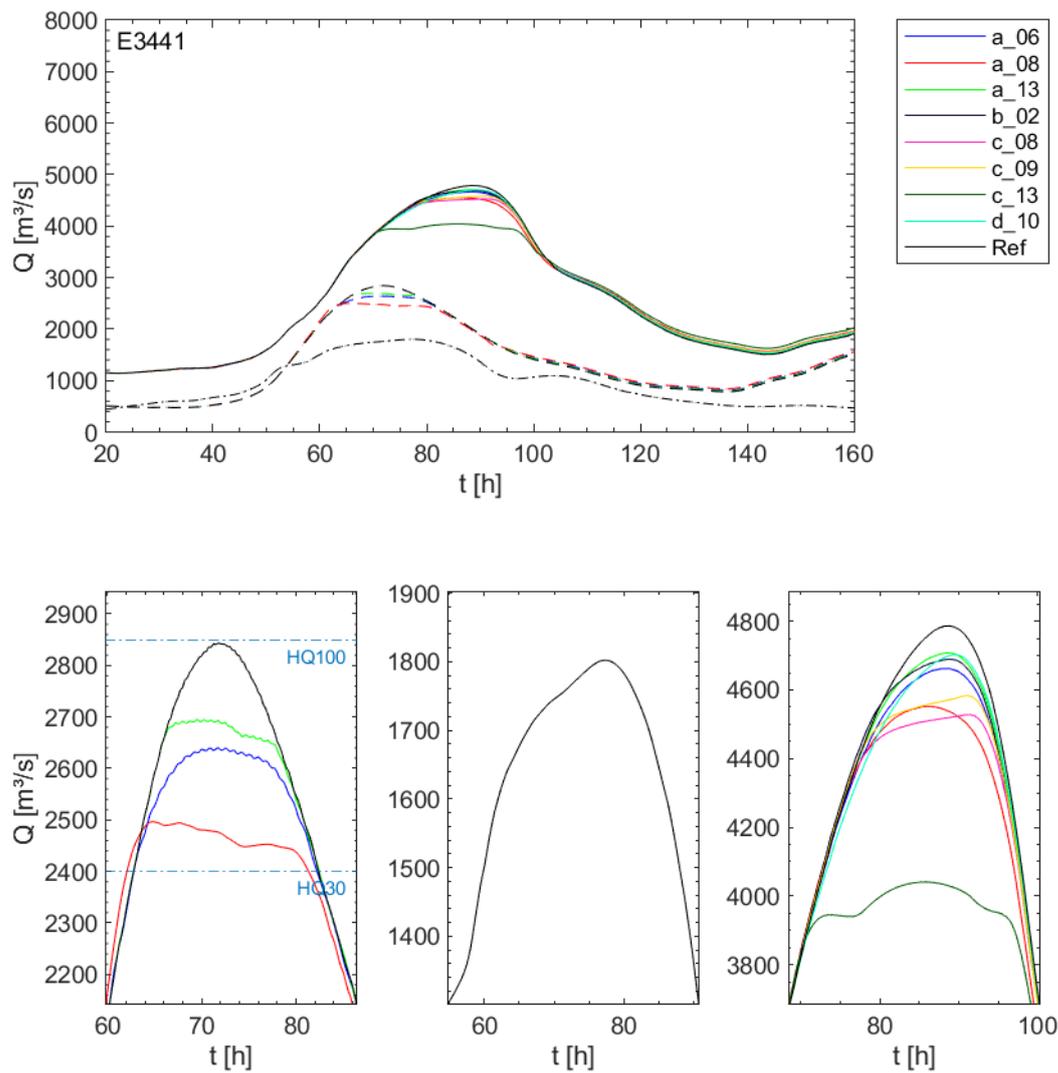


Abbildung 80: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 3441. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

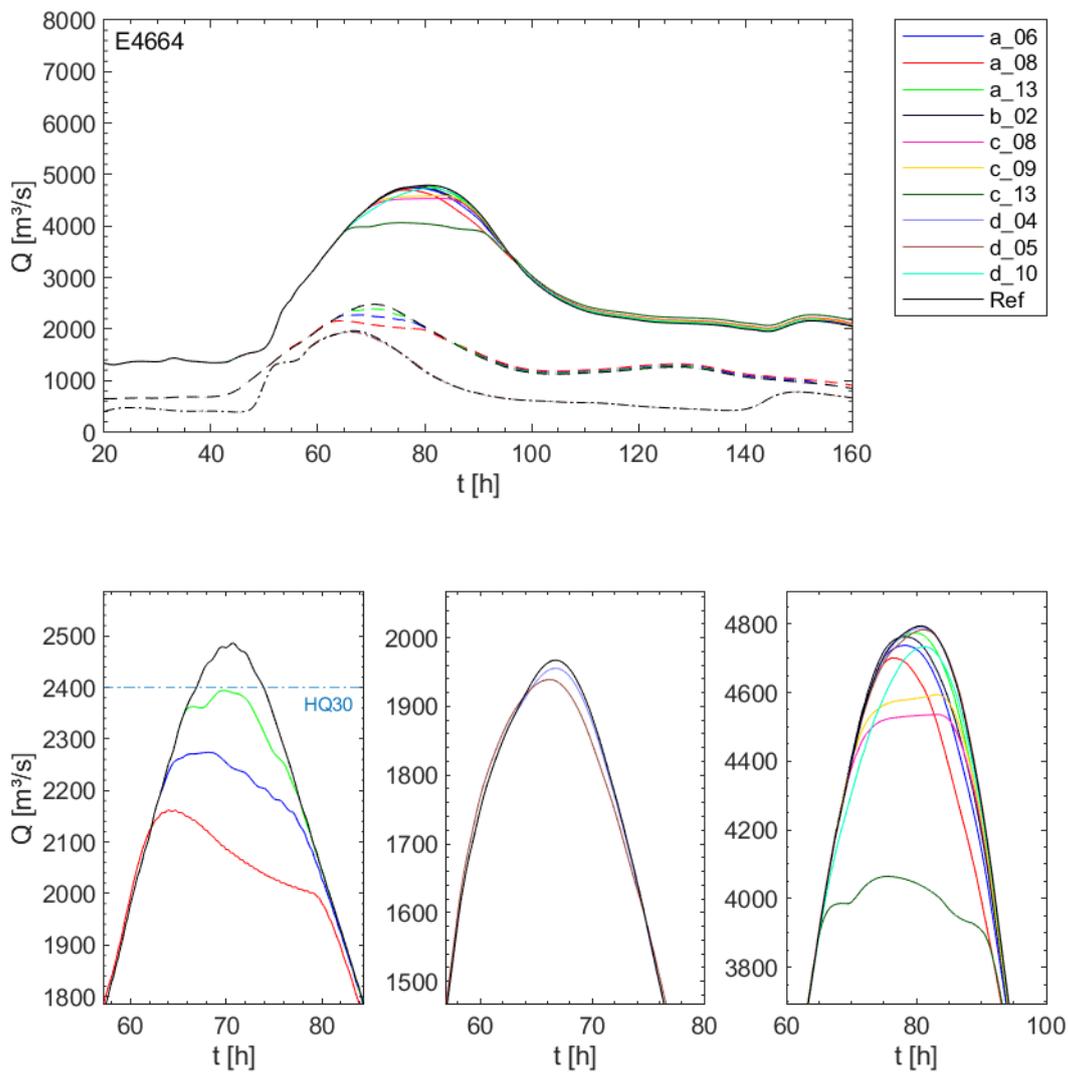


Abbildung 81: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 4664. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

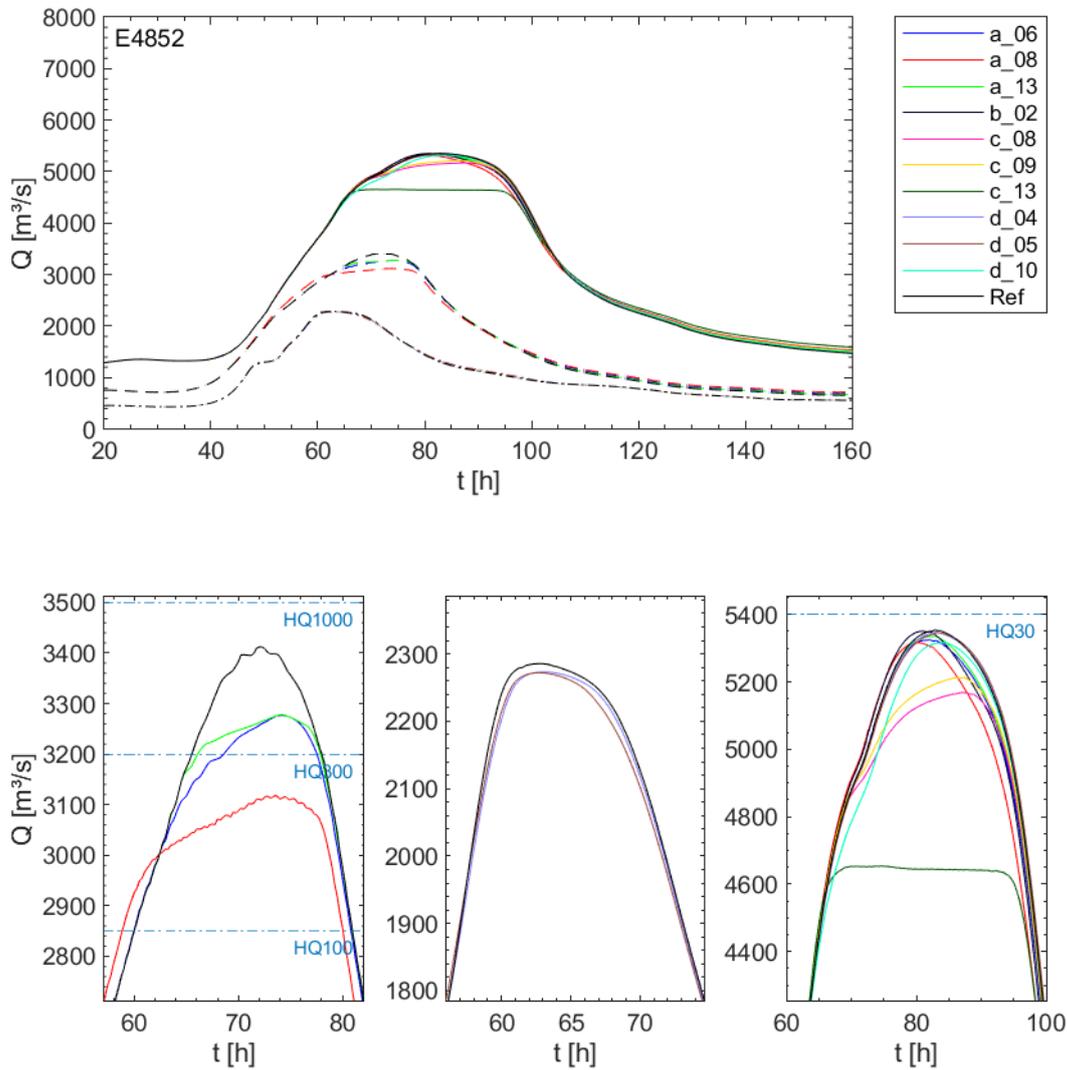


Abbildung 82: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 4852. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

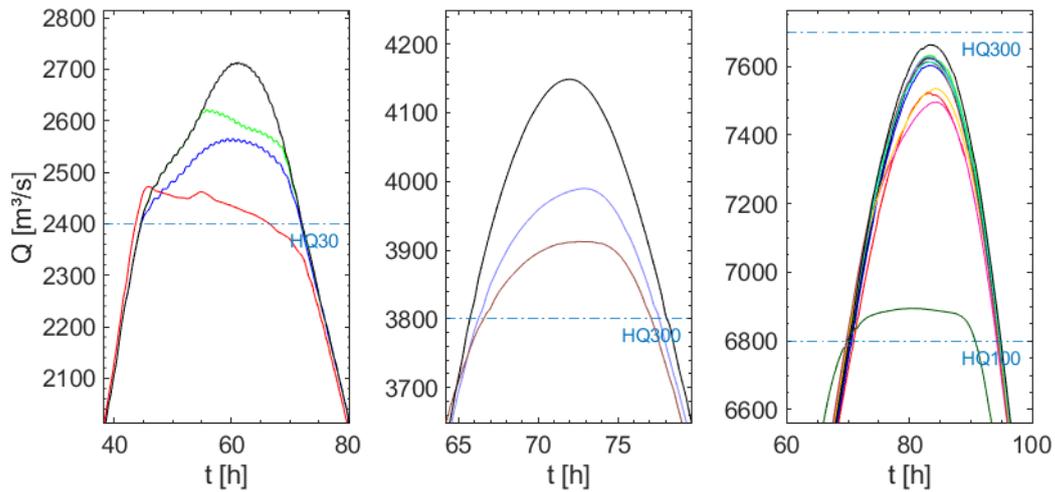
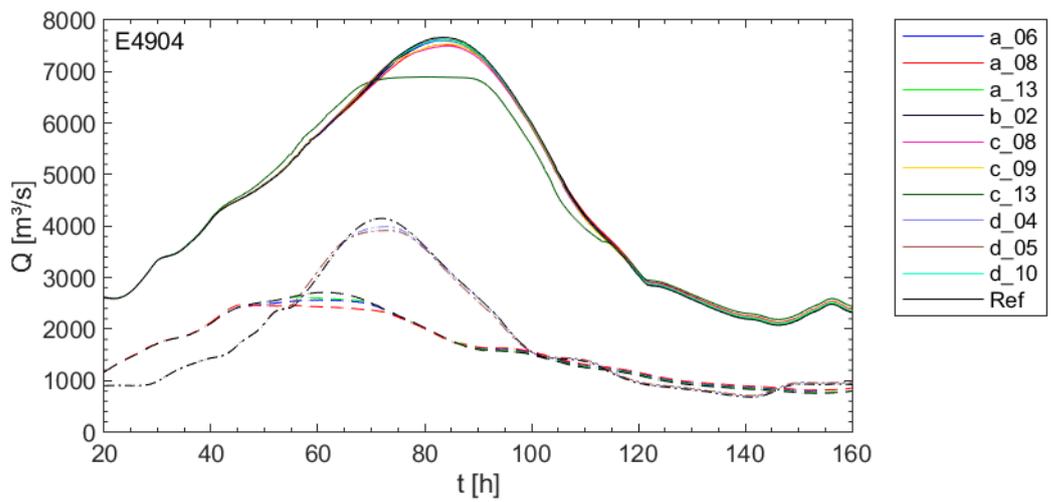


Abbildung 83: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 4904. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

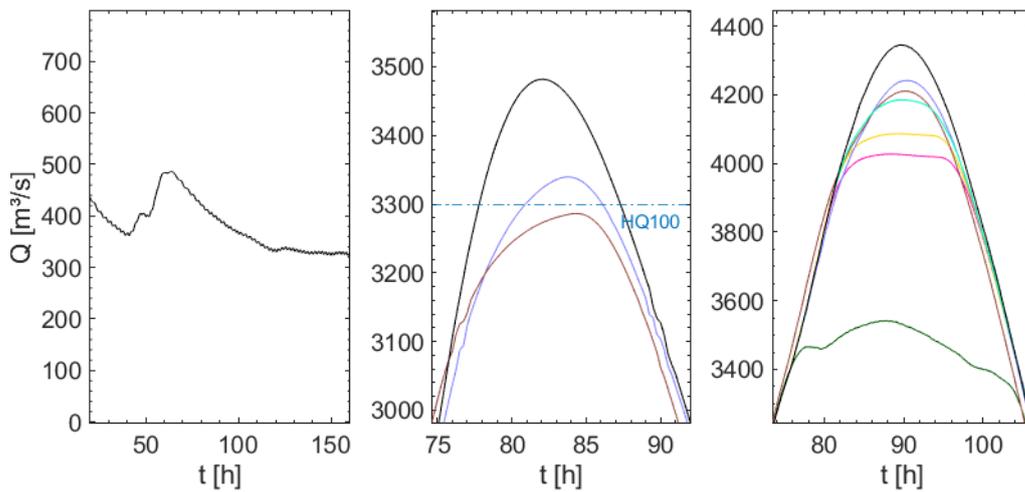
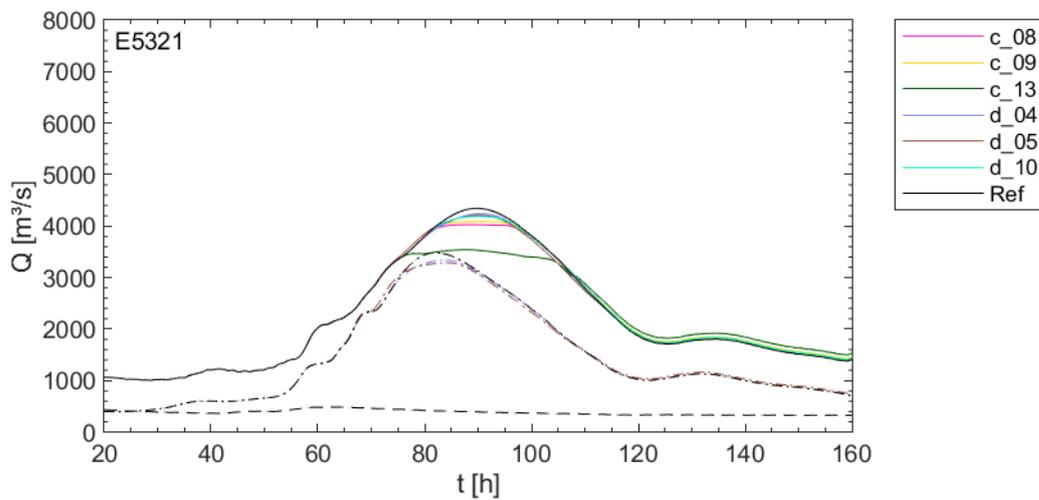


Abbildung 84: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 5321. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

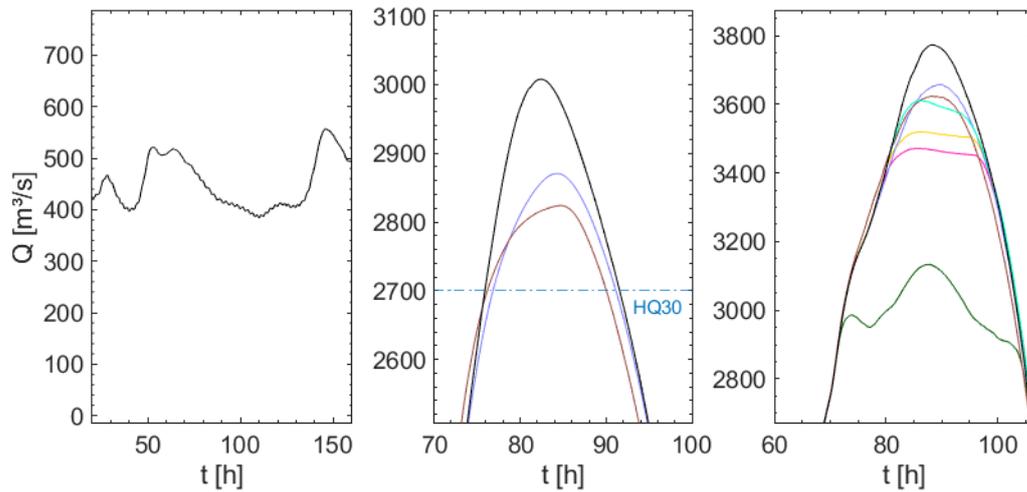
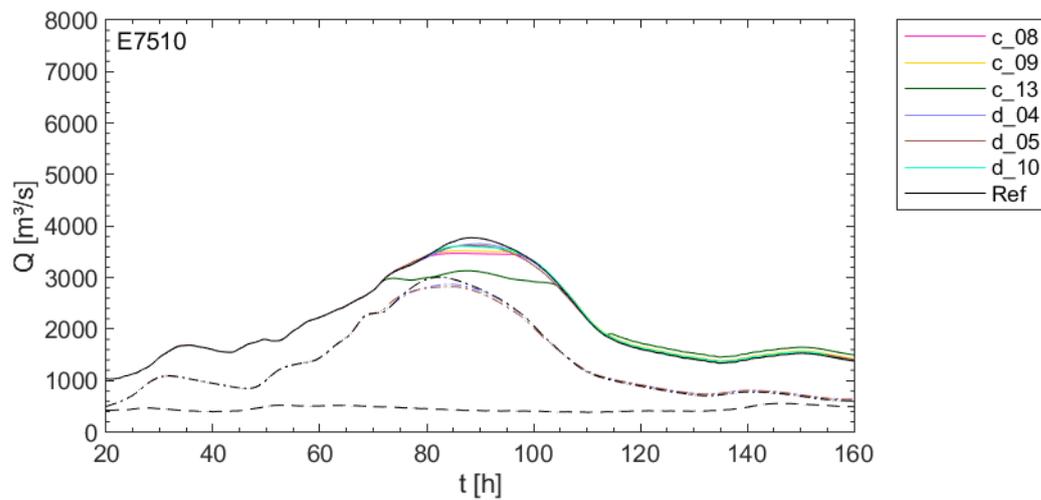


Abbildung 85: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 7510. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

Die ereignis- und polderübergreifende Auswertung der Scheitelreduktionen zeigen Abbildung 86, Abbildung 89 und Abbildung 90 für die drei Pegel WABG, BGHA und PING.

Am Pegel WABG (Abbildung 86) wurden die drei oberstrom liegenden potentiellen RHR a_06, a_08 und a_13 ausgewertet. Diese wurden bei zehn der zwölf Ereignisse eingesetzt. Zu erkennen ist, dass die absoluten Scheitelreduktionen für die Flutpolder a_06 (um etwa 170 m³/s) und a_08 (um etwa 320 m³/s) relativ konstant in einer Bandbreite über das Abflussspektrum verteilt sind. Für den Standort a_13 sind die Scheitelreduktionen bei kleineren Ereignissen geringer, da hier nicht das gesamte verfügbare Rückhaltevolumen ausgenutzt werden konnte (siehe Kapitel 7.9). Bei allen drei Standorten sinken – erwartungsgemäß – die relativen Scheitelreduktionen mit zunehmenden Scheitelabflüssen (bezogen auf den Referenzzustand ohne Flutpolder-Einsatz, siehe Gl. 5 und 6). Bei Ereignissen > HQ₁₀₀ können dennoch relative Scheitelreduktionen zwischen 3 und 12 % erreicht werden. Unterschiede in der absoluten Scheitelreduktion je RHR ergeben sich zum einen aufgrund der unterschiedlichen Genese und zum anderen durch die leicht unterschiedlichen Scheitelfüllen der Hochwasserereignisse (vergleiche Abbildung 65), wobei die verwendeten stochastischen Ereignisse im Allgemeinen eher eine mittlere Fülle im langjährigen Vergleich aufweisen (siehe Kapitel 7.1).

Bei RHR a_08_A wird die im Referenzzustand vorhandene natürliche Flutung vom Unterwasser der Staustufe Feldkirchen und damit die Retentionswirkung im Planzustand verhindert, weshalb die Hochwasserwellen (z. B. Abbildung 82) im Zustand mit Flutpolder leicht beschleunigt sind. Dasselbe Verhalten tritt auch bei den potentiellen RHR c_13_B und d_05_B auf.

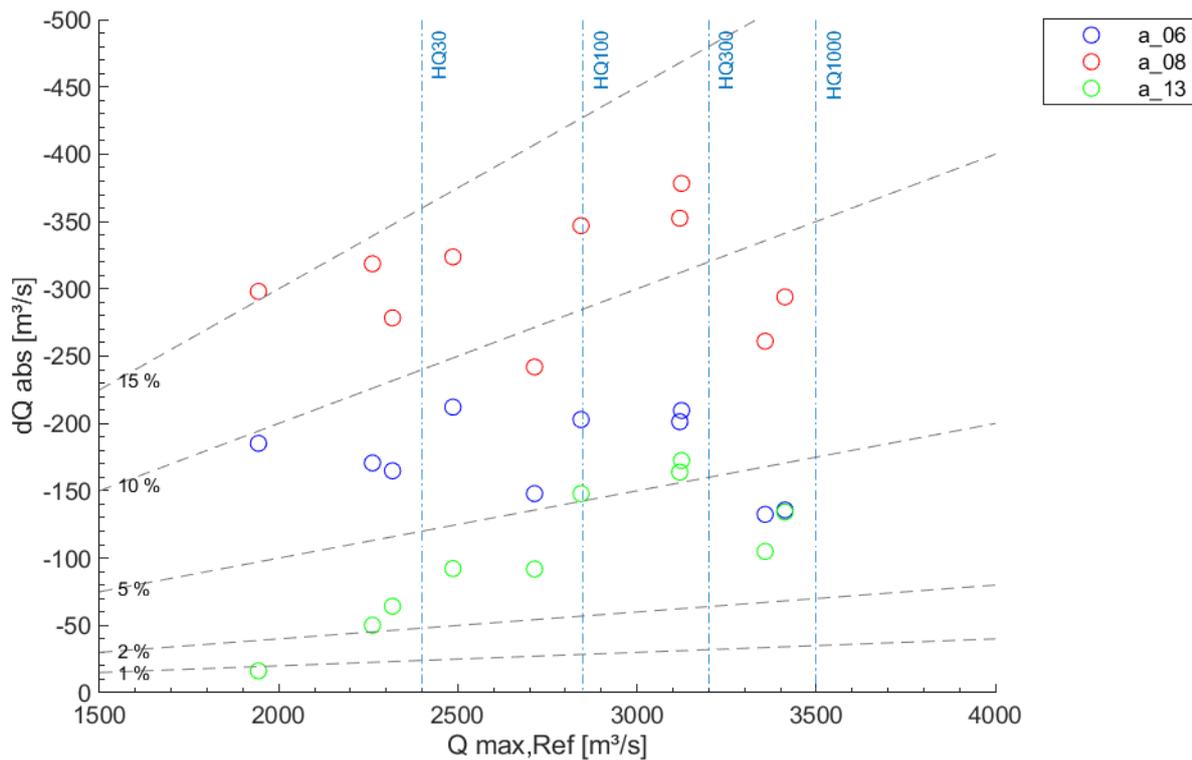


Abbildung 86: Potentielle Scheitelreduktionen am Pegel WABG durch lokal optimierte Steuerung der drei oberstrom liegenden RHR

Oberstrom des Pegels BGHA liegen zwei vertieft untersuchte potentielle Standorte an der Salzach (Abbildung 87), linksseitig im Tittmoninger Becken. Die absoluten Scheitelreduktionen der beiden Flutpolder d_{04} und d_{05} am Pegel BGHA steigen mit zunehmenden Scheitelabflüssen, die relativen Scheitelreduktionen bleiben hier für hohe Jährlichkeiten nahezu konstant. Dieses Verhalten lässt sich zum einen mit leicht geringeren Scheitelfüllungen der größeren Ereignisse (s. Kapitel 7.1), vor allem aber mit der Wechselwirkung mit dem orographisch rechts gelegenen Überschwemmungsgebiet erklären. Ein Teil des Retentionsvolumens wird dabei von den natürlichen Retentionsräumen in die Flutpolder (gezielt) verlagert. Die Retentionswirkung der natürlichen Flächen sinkt allerdings mit zunehmenden Abflüssen, weshalb die Scheitelreduktionen durch gesteuerte Flutpolder zunehmen. Zu nennen ist hier auch die ab etwa HQ_{20} bis HQ_{30} beginnende Überströmung des Ettenauer Deichs, welche zunächst eine Entlastung bewirkt, aber bei zunehmender Füllung des Polders weniger effektiv hinsichtlich einer ungesteuerten Scheitelreduktion ist. Die geringen Scheitelreduktionen bei Ereignissen unter HQ_{30} lassen sich mit der unvollständigen Ausnutzung des verfügbaren Rückhaltevolumens erklären.

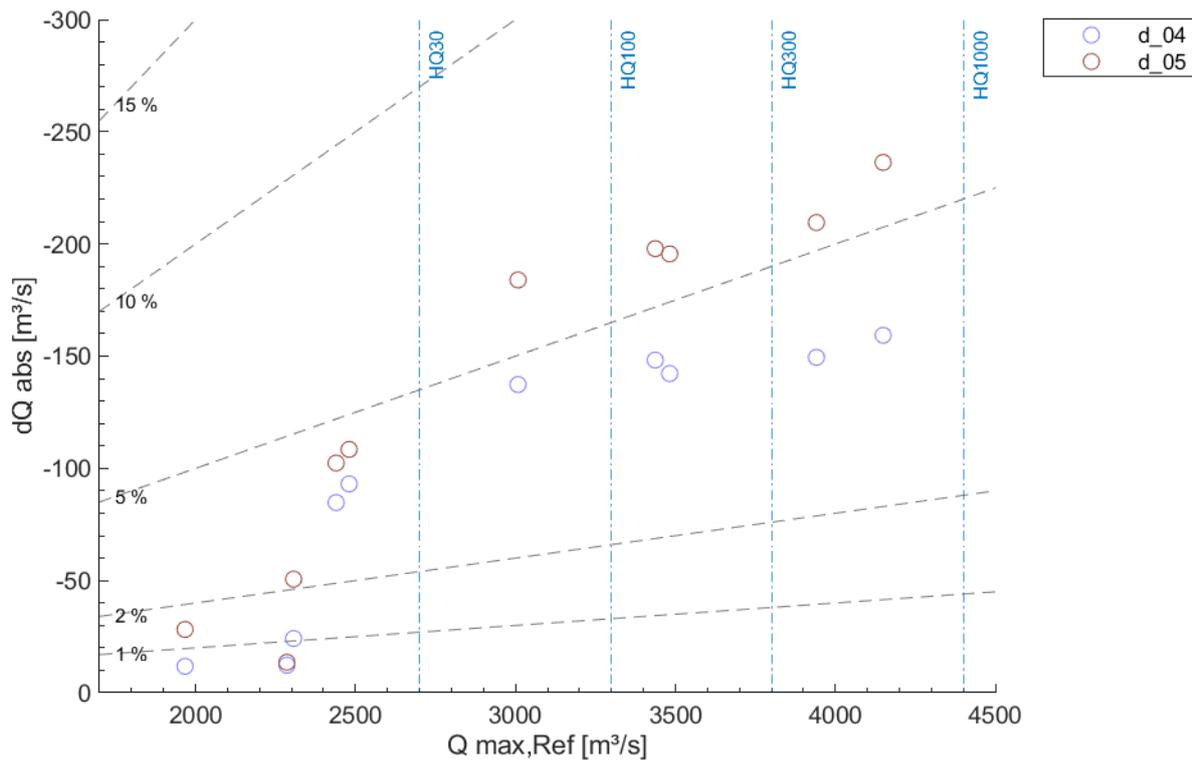


Abbildung 87: Potentielle Scheitelreduktionen am Pegel BGHA durch lokal optimierte Steuerung der zwei oberstrom liegenden RHR

Zuletzt wurde diese Auswertung auch für den Pegel PING vorgenommen. Zum einen zeigt Abbildung 88 die Ergebnisse aller 10 Flutpolder und zum anderen Abbildung 89 die Ergebnisse der 9 Flutpolder ohne den Standort c_13, welcher durch sein großes Rückhaltevolumen etwas „aus der Reihe“ fällt. Zu erkennen ist, dass die absoluten Scheitelreduktionen mit zunehmendem Scheitelabfluss für die meisten RHR abnehmen. Abgesehen von den Standorten unterhalb der Salzachmündung und dem Standort a_08 mit großem Volumen liegen die relativen Scheitelreduktionen bei Jährlichkeiten $> HQ_{100}$ bei unter einem Prozent. Gerade im Hinblick auf die Siedlungsschwerpunkte Neuhaus/Schärding und Passau mit geringem Schutzgrad der HWSA sind auch Scheitelreduktionen bei kleineren Ereignissen interessant. Bei Scheitelabflüssen um HQ_{30} werden hier mit dem Standort c_13 Scheitelreduktionen bis über 15 %, mit den anderen 9 Standorten bis zu knapp 5 % erreicht.

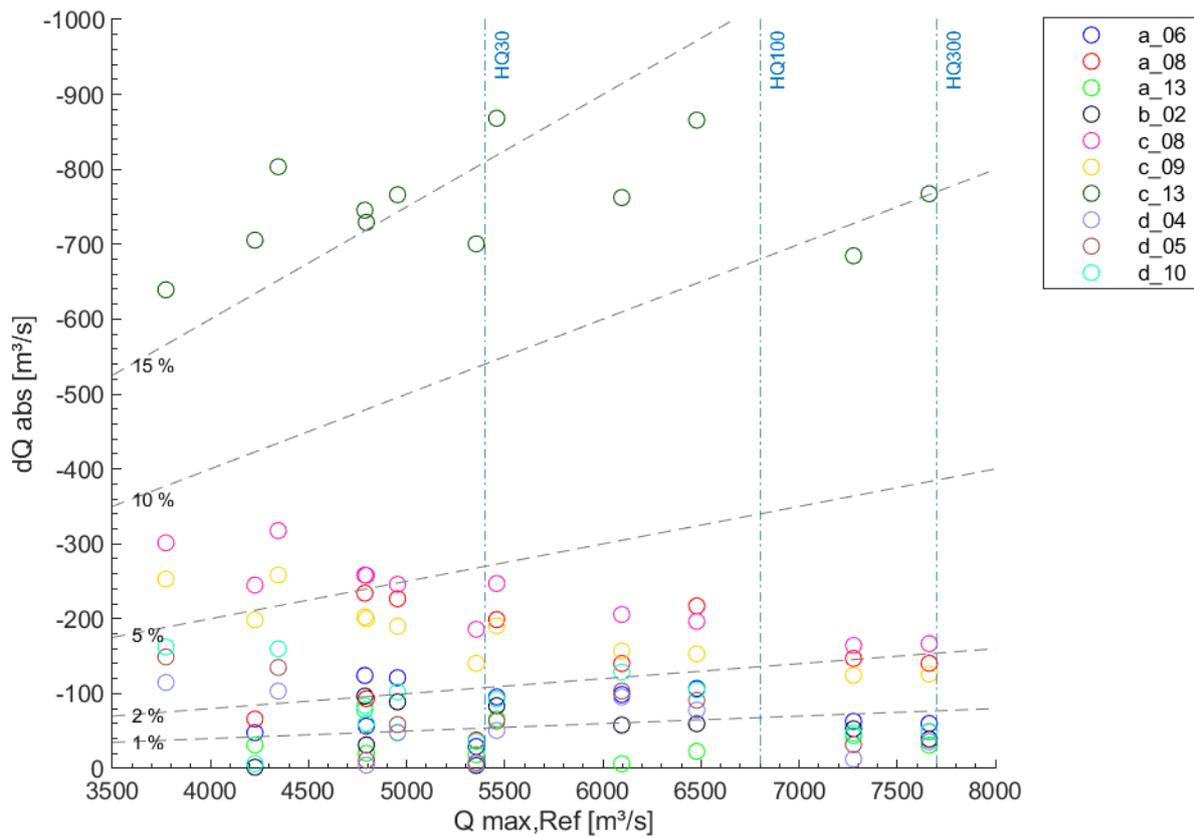


Abbildung 88: Potentielle Scheitelreduktionen am Pegel PING durch lokal optimierte Steuerung der zehn tiefer untersuchten RHR

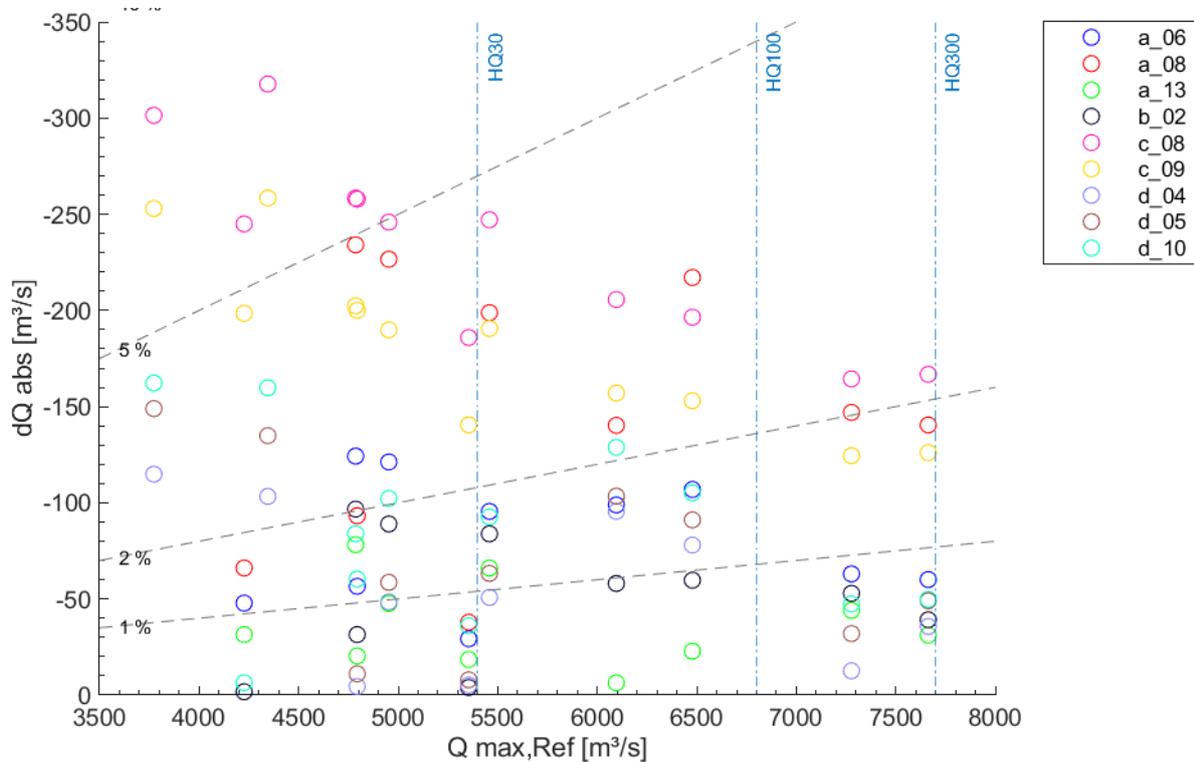


Abbildung 89: Potentielle Scheitelreduktionen am Pegel PING durch lokal optimierte Steuerung von neun tiefer untersuchten RHR (ohne c_13)

Die Auswertung der spezifischen Scheitelreduktionen (Abbildung 90) nach Gl. 7 und 8 bestätigt, dass größere Rückhaltevolumina zwar höhere absolute und relative, aber geringere spezifische Scheitelreduktionen bewirken. Mit zunehmenden Scheitelabflüssen der Hochwasserereignisse sinken die potentiellen spezifischen Scheitelreduktionen an den drei ausgewerteten Pegeln tendenziell ab. Einzelne vermeintlich sehr günstige spezifische Scheitelreduktionen der RHR a_13_B, d_04_B und d_05_B bei kleineren Hochwasserereignissen sind auf die nicht vollständige Ausnutzung der verfügbaren Rückhaltekapazität zurückzuführen. Die Entfernung zum Pegel beeinflusst nicht zwangsläufig die (spezifischen) Scheitelreduktionen (siehe auch Abbildung 89 für Pegel WABG, Abbildung 87 für Pegel BGHA und Abbildung 88 für Pegel PING), da die Staustufenkette des Inns dazu führt, dass über weite Strecken kaum Retentions-effekte die Flutpolderwirkung vermindern. Insbesondere in den Abschnitten zwischen RHR a_06 bis zum Pegel WABG und zwischen der und Staustufe Schärding ist dies aufgrund der weitgehenden Begrenzung des Abflussraums innerhalb der Stauhaltungsdämme zu erwarten.

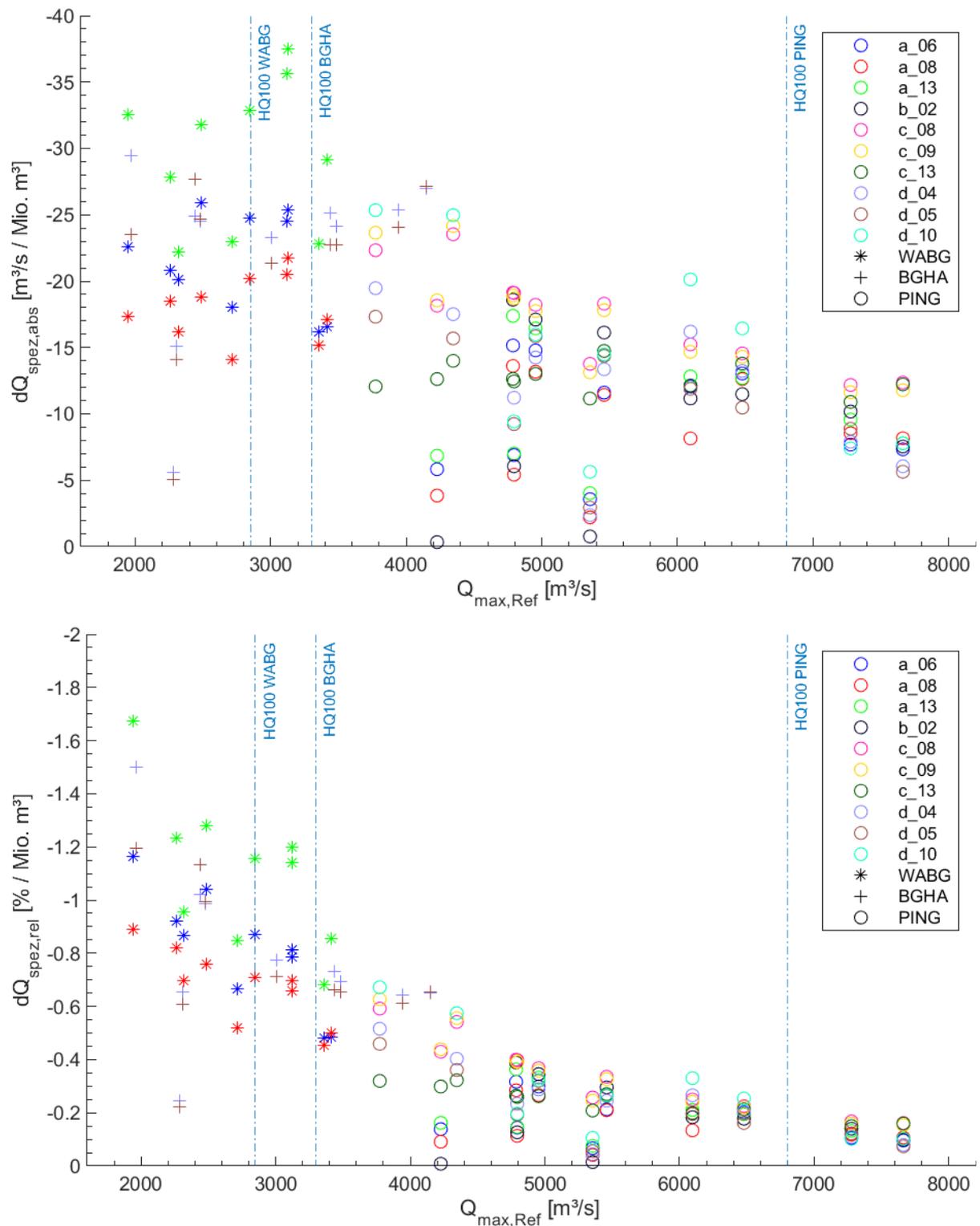


Abbildung 90: Potentielle spezifische Scheitelreduktionen an den drei Pegeln WABG, BGHA und PING durch lokal optimierte Steuerung der zehn tiefer untersuchten RHR. Oben: absolute spezifische Scheitelreduktion, unten: relative spezifische Scheitelreduktion

Ergänzend wurde noch eine Auswertung für den Pegel Achleiten an der Donau unterhalb der Mündung des Inns vorgenommen (Abbildung 91 und Abbildung 92). Da die Hochwasserwellen der Donau in den verwendeten stochastisch generierten Ereignissen eher geringere Abflüsse aufweisen (vergleiche Abbildung 69) und damit die Hochwasserscheitel in und unterhalb von Passau auch vom Inn geprägt sind, ist die scheidelreduzierende Wirkung der Flutpolder bis in die Donau nachweisbar. Die absoluten Scheitelreduktionen am Pegel Achleiten sind teils sogar höher und in den meisten Fällen nur geringfügig niedriger als am Pegel PING. Durch den höheren Gesamtabfluss nach der Mündung in die Donau ergeben sich allerdings geringere relative Scheitelreduktionen. Die horizontale Kappung durch Flutpolder in Abschnitt c ist auch in mehreren Abflussganglinien am Pegel Achleiten noch sichtbar. Teils sank die Scheitelreduktion auf null, negative Auswirkungen stellten sich aber nicht ein.

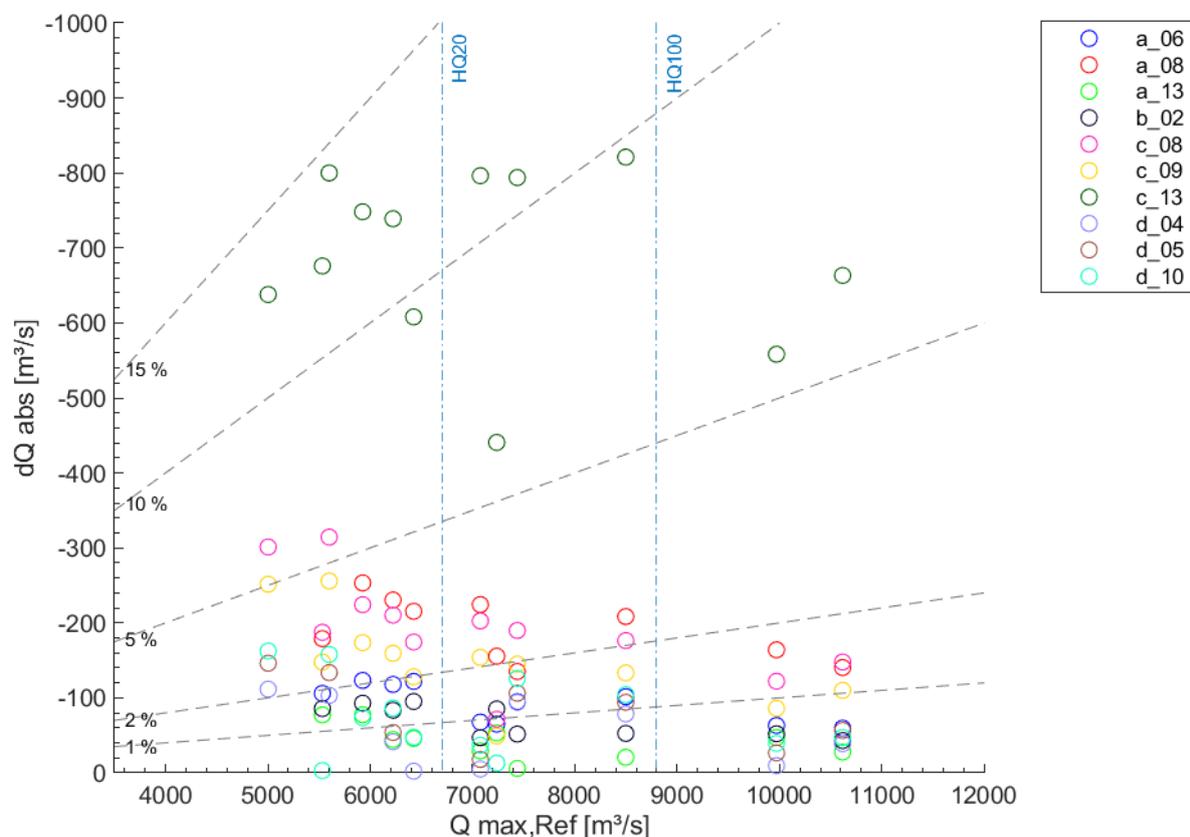


Abbildung 91: Potentielle Scheitelreduktionen am Pegel Achleiten/Donau durch lokal optimierte Steuerung der zehn tiefer untersuchten RHR an Inn und Salzach

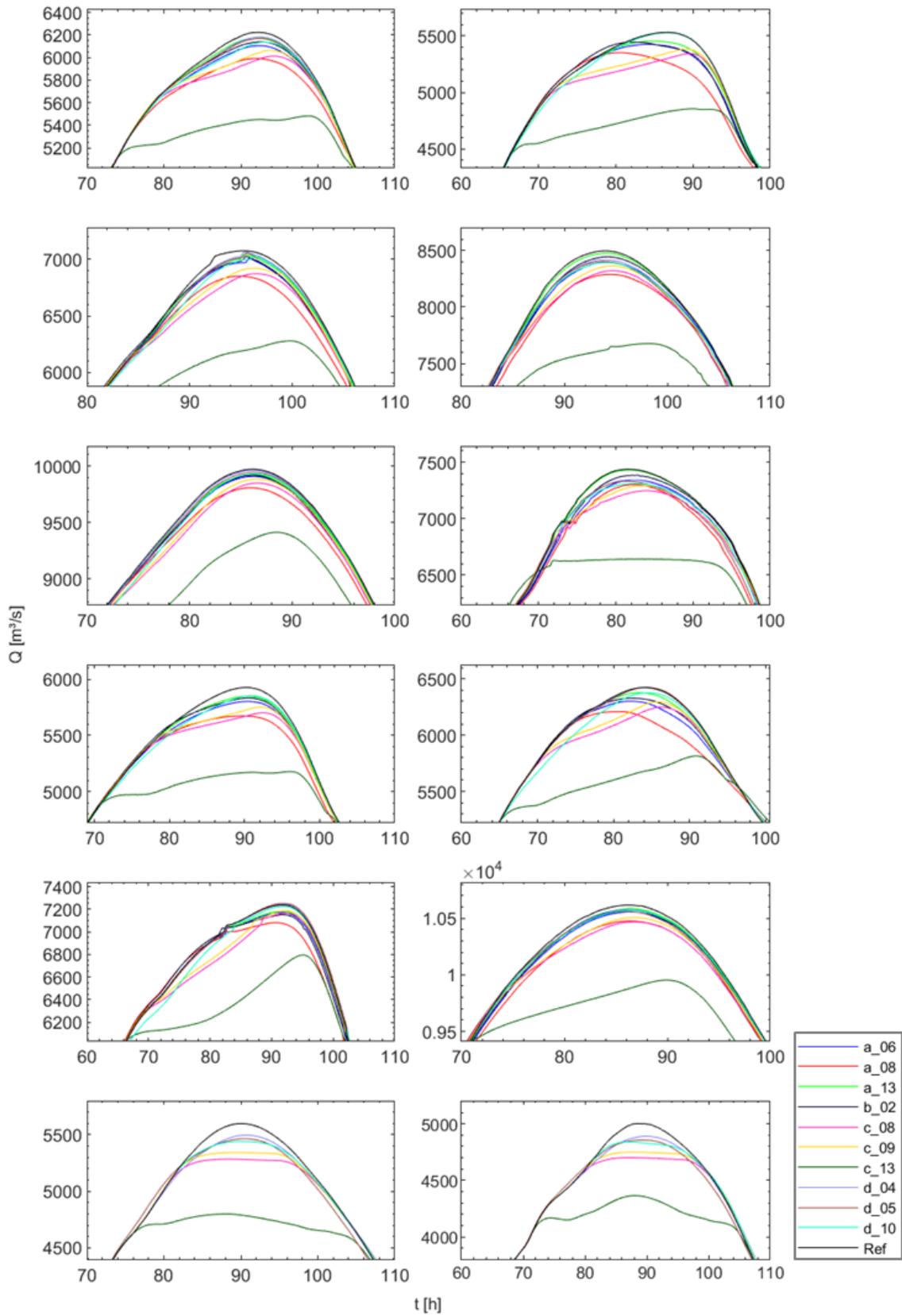


Abbildung 92: Abflussganglinien am Pegel Achleiten ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert)

7.8. Wirkung der detaillierter untersuchten Flutpolderstandorte im Längsschnitt von Inn und Salzach

Die folgenden Abbildungen zeigen für jedes der zwölf Ereignisse die Scheitelabflüsse im Längsschnitt des Inns und der Salzach im Referenzzustand sowie mit Einsatz der Flutpolder. Die Plots sind alle gleich aufgebaut: oben finden sich die Scheitelabflüsse und unten werden die relativen Scheitelreduktionen gezeigt. Die Punkte am rechten Rand der Inn-Längsschnitte zeigen ergänzend die Werte für den Pegel Achleiten in der Donau. Gezeigt werden ausschließlich Einzelwirkungen der Flutpolder.

Grundsätzlich lassen sich für alle Ereignisse markante Sprünge im Abflusslängsschnitt erkennen, welche je nach hydrologischer Belastung in der Ausprägung variieren. Diese wurden bereits anhand Abbildung 64 beschrieben. Insbesondere sinken die relativen Scheitelreduktionen der Flutpolder am oberen Inn unterstrom der Mündung der Salzach teils durch deren Überprägung und teils nur durch die Erhöhung des Gesamtabflusses je nach Ereignis unterschiedlich stark ab. Ein zweiter markanter Knick in der relativen Wirkung ergibt sich am Ende des ausgeprägten Überschwemmungsgebiets vor Neuhaus/Schärding und der beginnenden Schluchtstrecke (Vornbacher Enge) nach Schärding. Bei großen Ereignissen kommt es hierbei zu Rückstauwirkungen vor allem durch die Querschnittsverengung, auch in Verbindung mit Brückenstau in Schärding, aber auch mit den Zuflüssen von Rott und Pram. Diese Effekte vermindern die Wirkung der Flutpolder. Beim Standort c_13 mit Lage im heutigen Überschwemmungsgebiet kommt zudem hinzu, dass durch die Errichtung des Trenndeichs die Retentionswirkung zusätzlich verringert ist.

Insgesamt zu beachten ist, dass die Fließstrecken beziehungsweise der untersuchte Flussabschnitt mit maximal etwa 190 km zwischen potentiell Flutpolderstandort und Pegel PING sehr groß sind. Trotz der verschiedensten Beeinflussungen und Wechselwirkungen wie Restwasserstrecke, größeren Überschwemmungsflächen, seitlichen Zuflüssen und ausgedehnten Stauräumen am unteren Inn erhalten sich die Wirkungen der Flutpolder über weite Strecken ohne wesentliche Reduzierung.

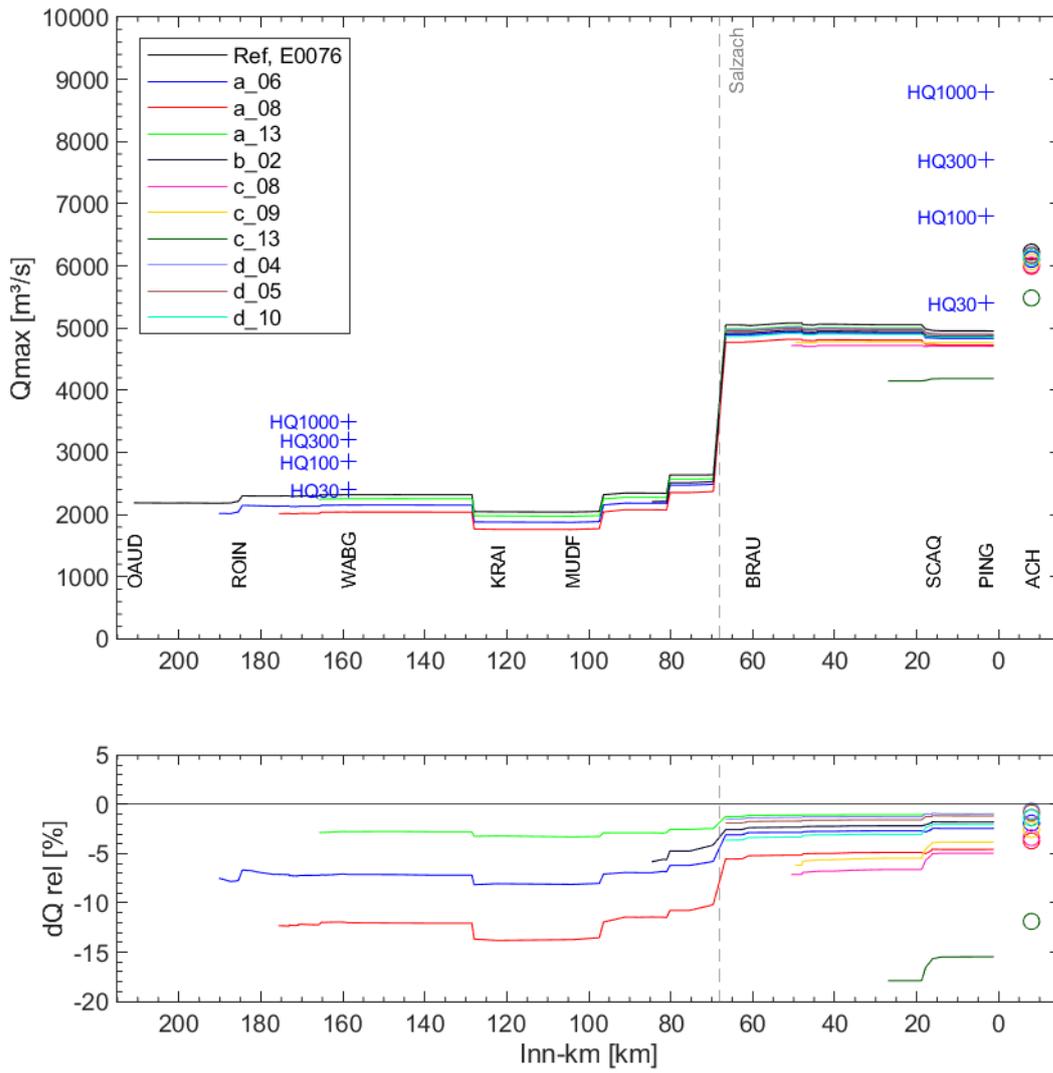


Abbildung 93: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 0076

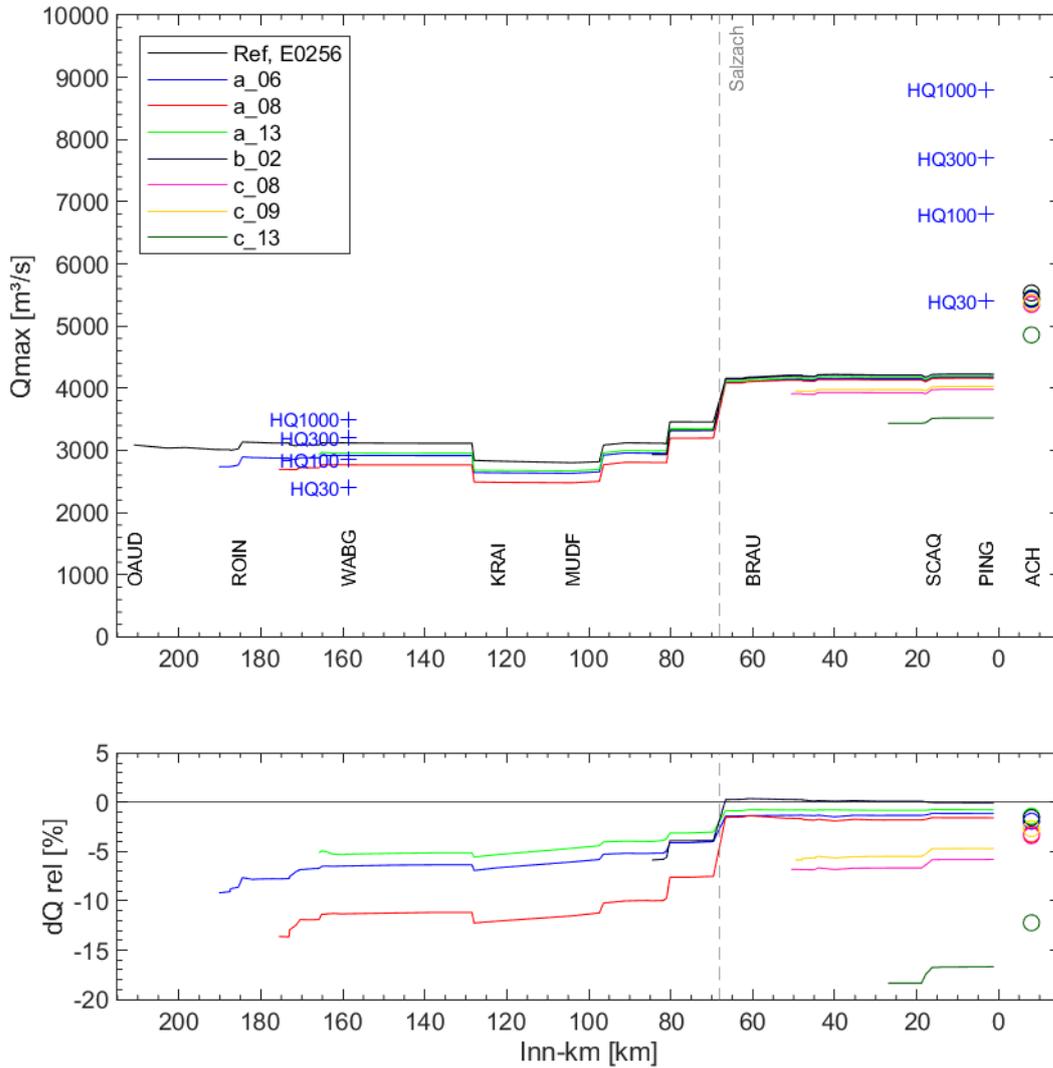


Abbildung 94: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 0256. Abflüsse der Salzach geringer als gewählte Schwelle für Aktivierung der Standorte an der Salzach (Tittmoninger Becken)

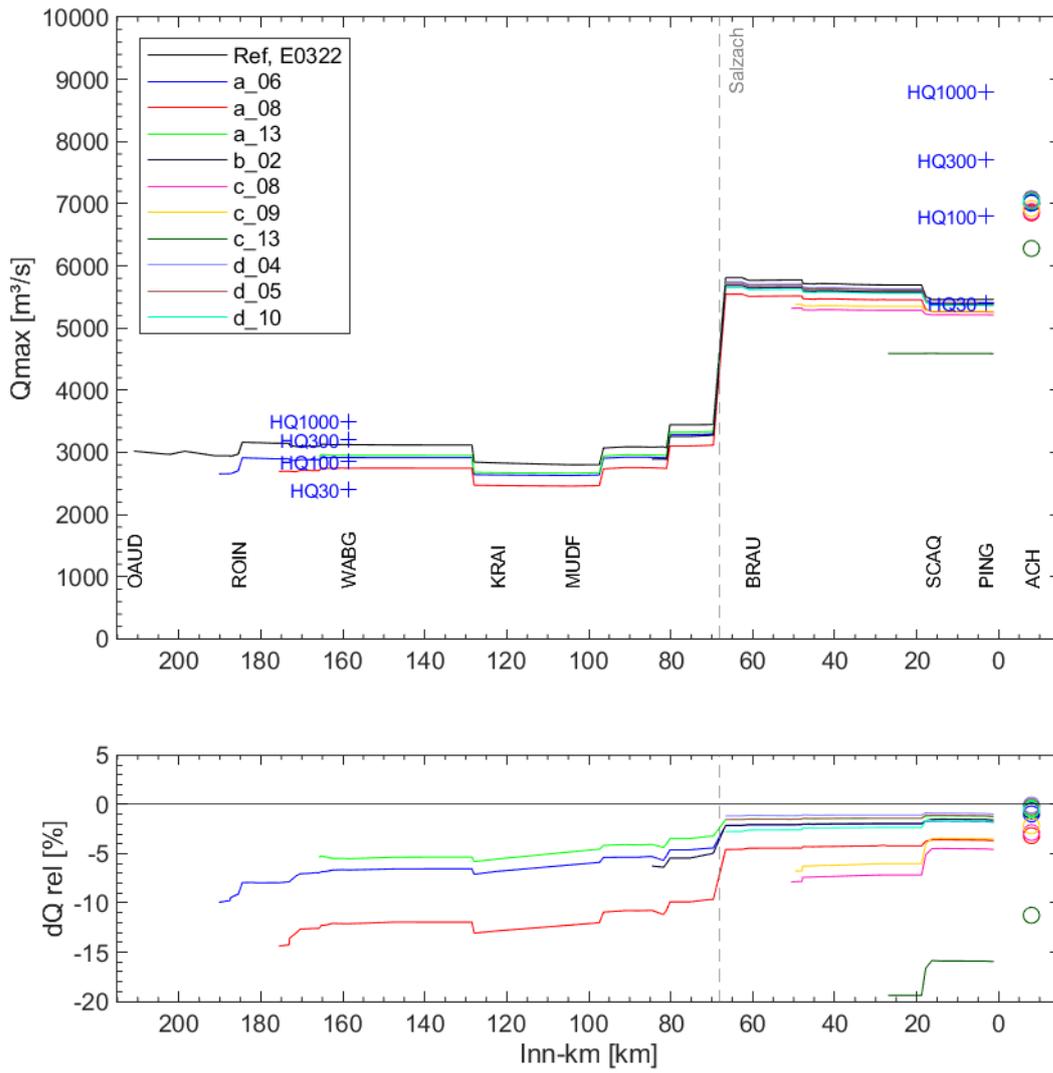


Abbildung 95: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 0322

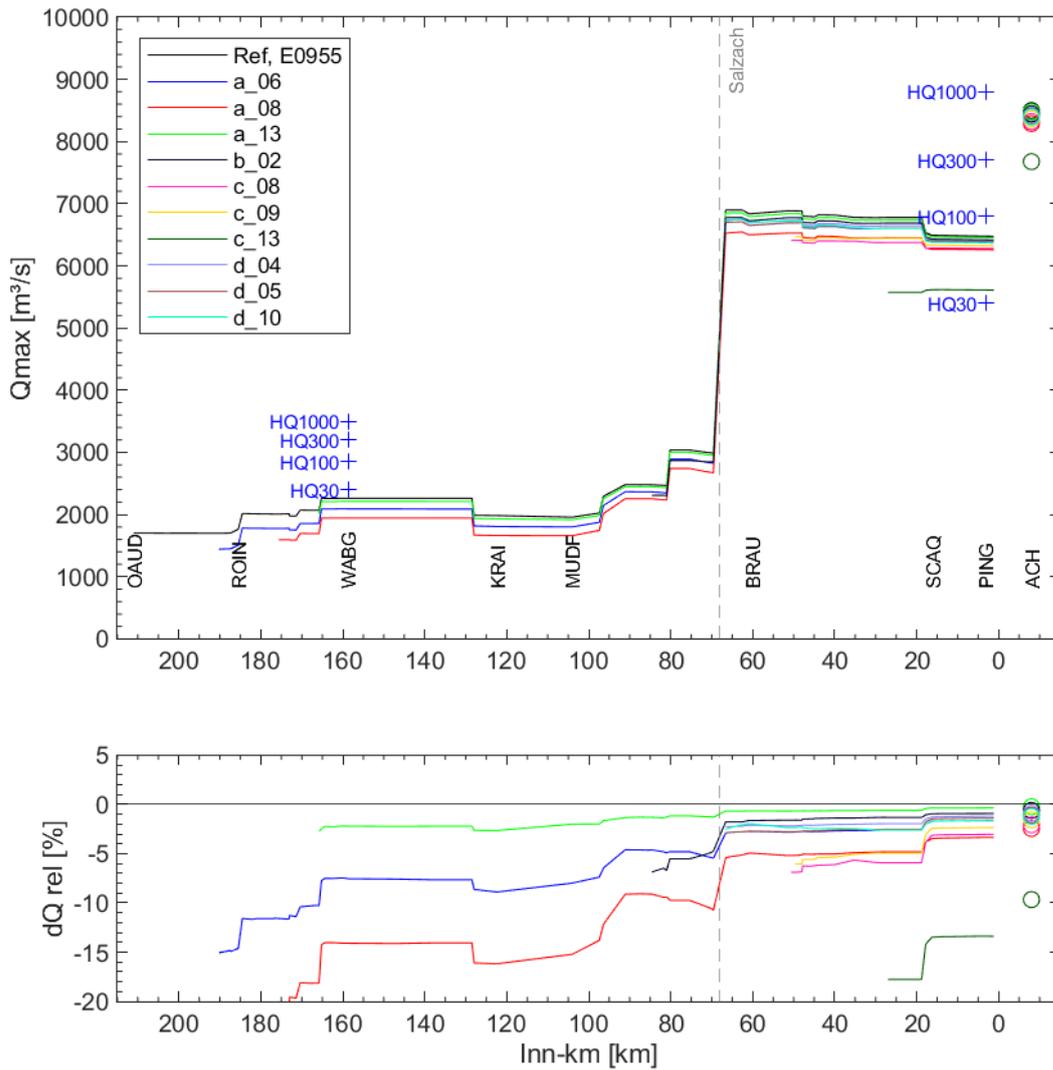


Abbildung 96: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 0955

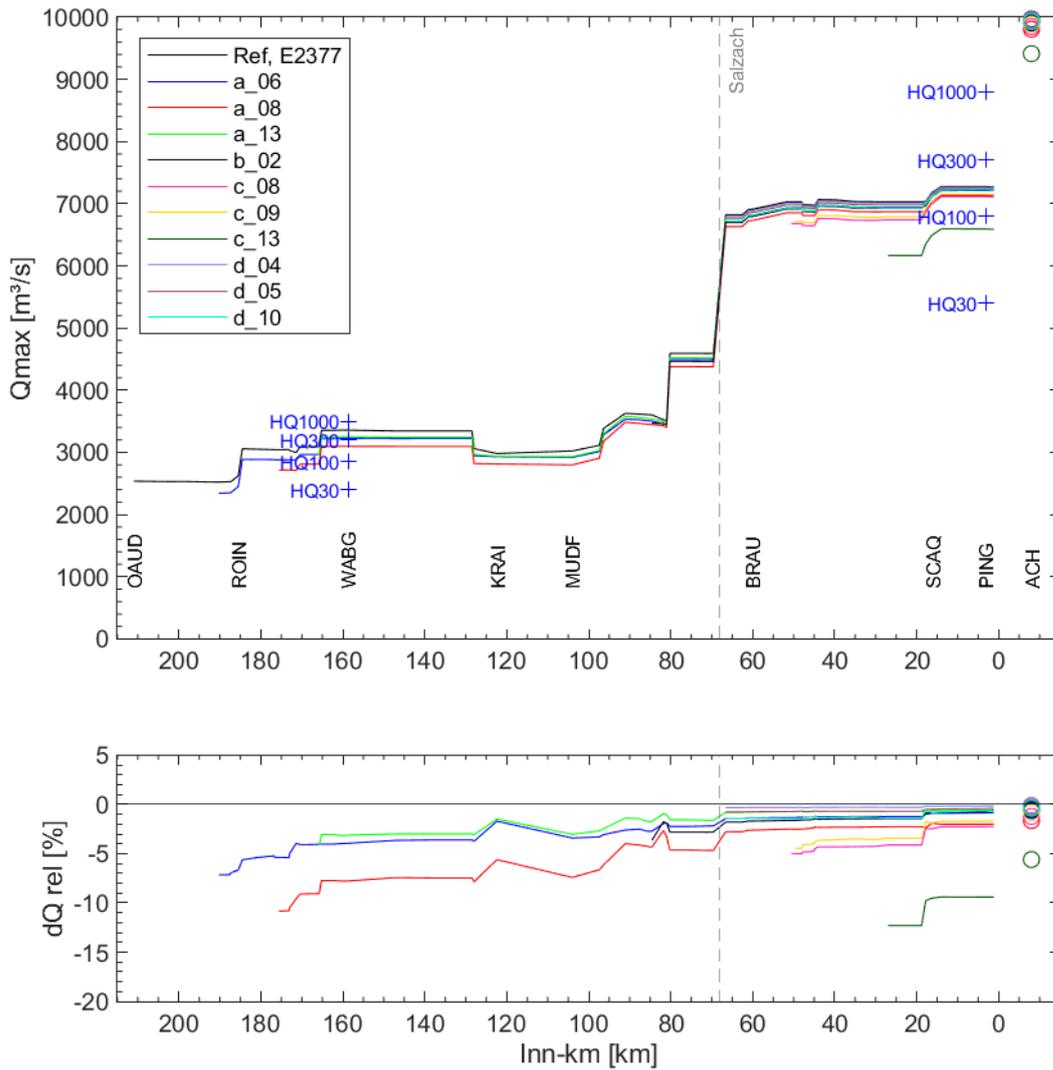


Abbildung 97: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 2377

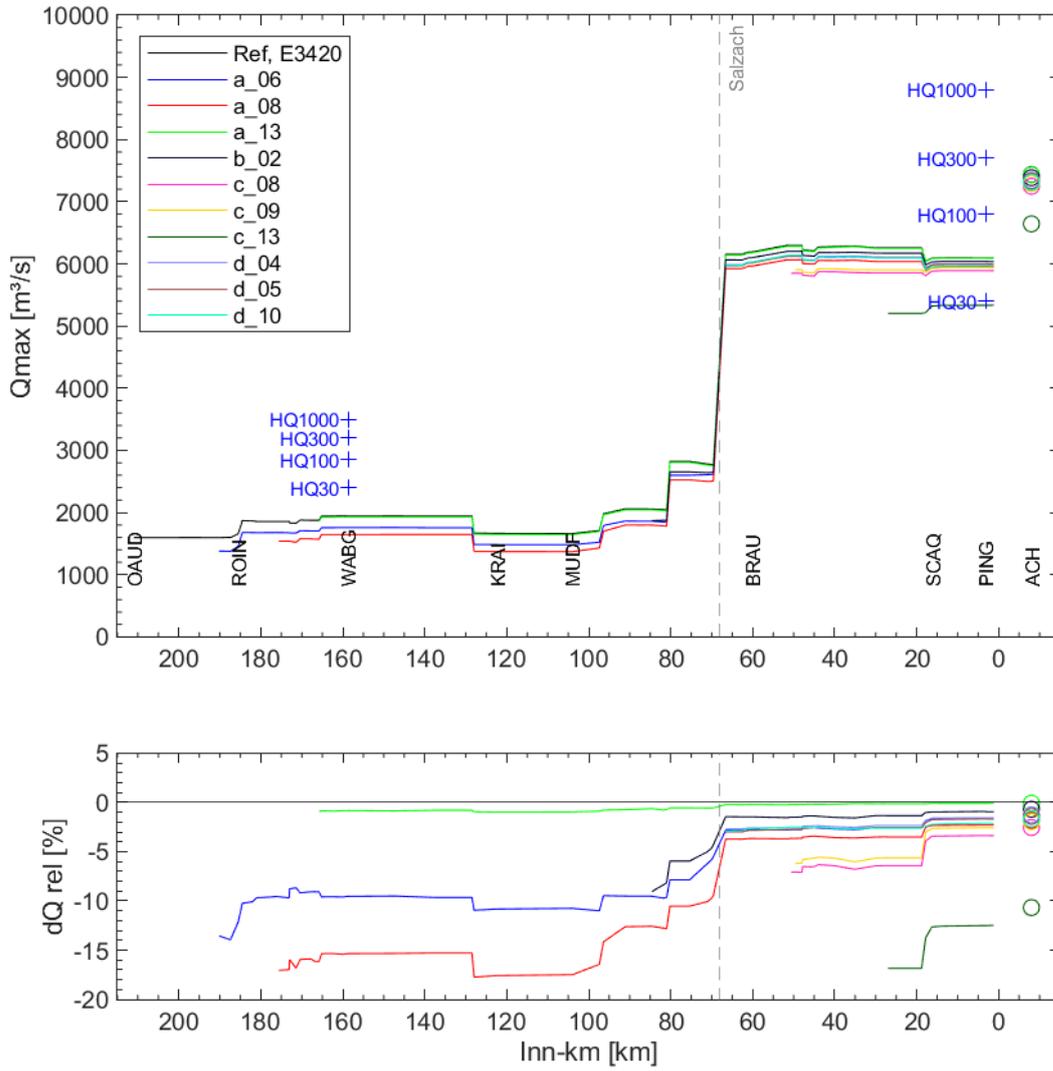


Abbildung 98: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 3420

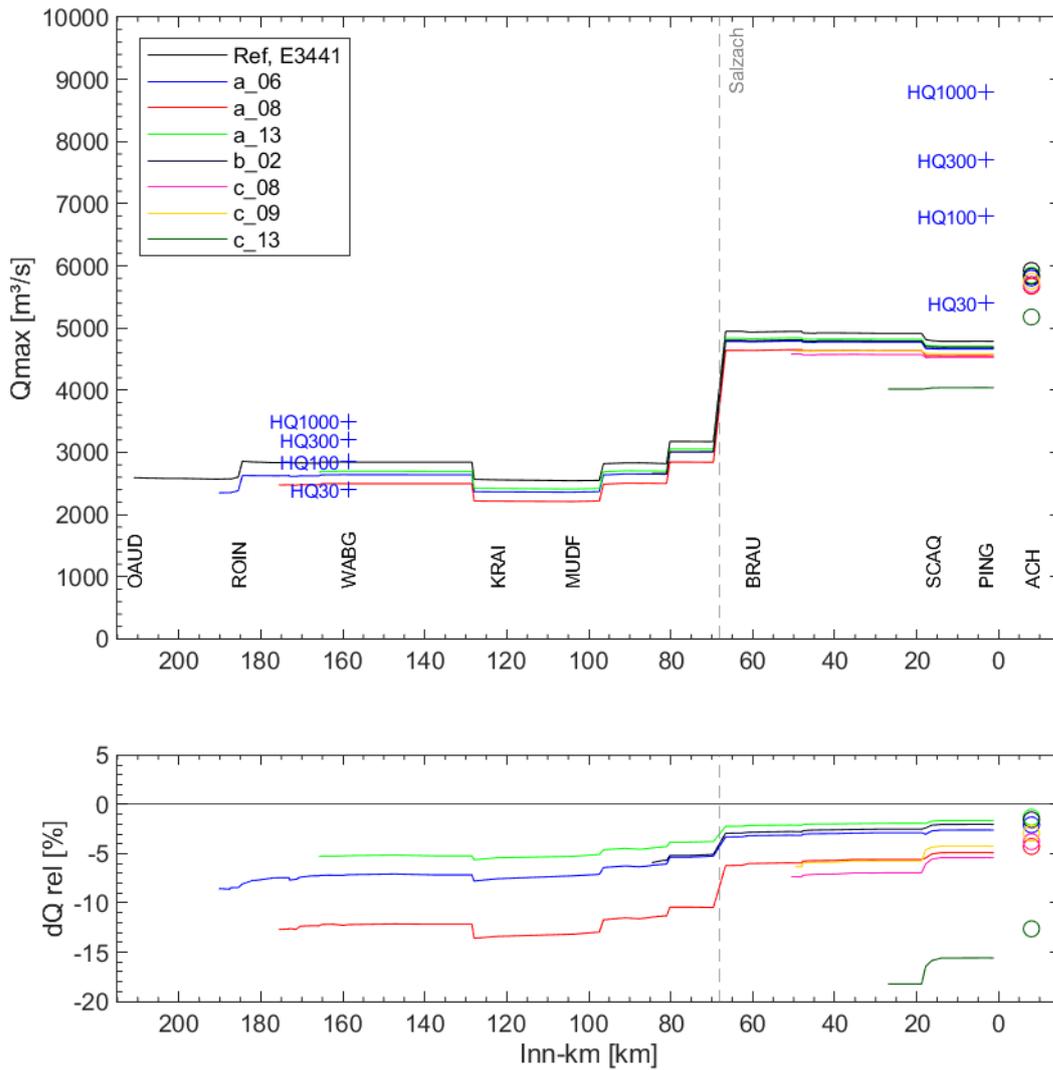


Abbildung 99: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 3441. Abflüsse der Salzach geringer als gewählte Schwelle für Aktivierung der Standorte an der Salzach (Tittmoninger Becken)

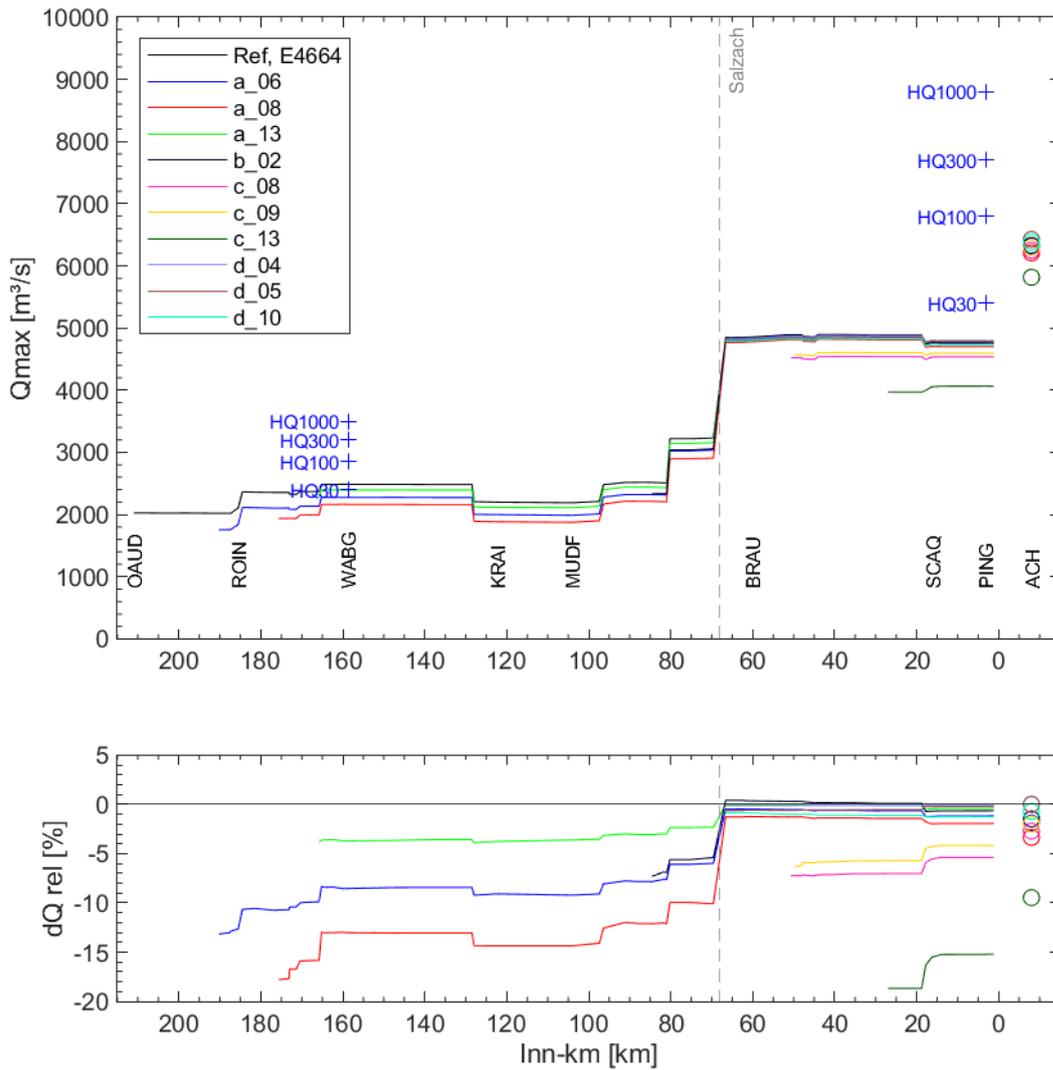


Abbildung 100: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 4664

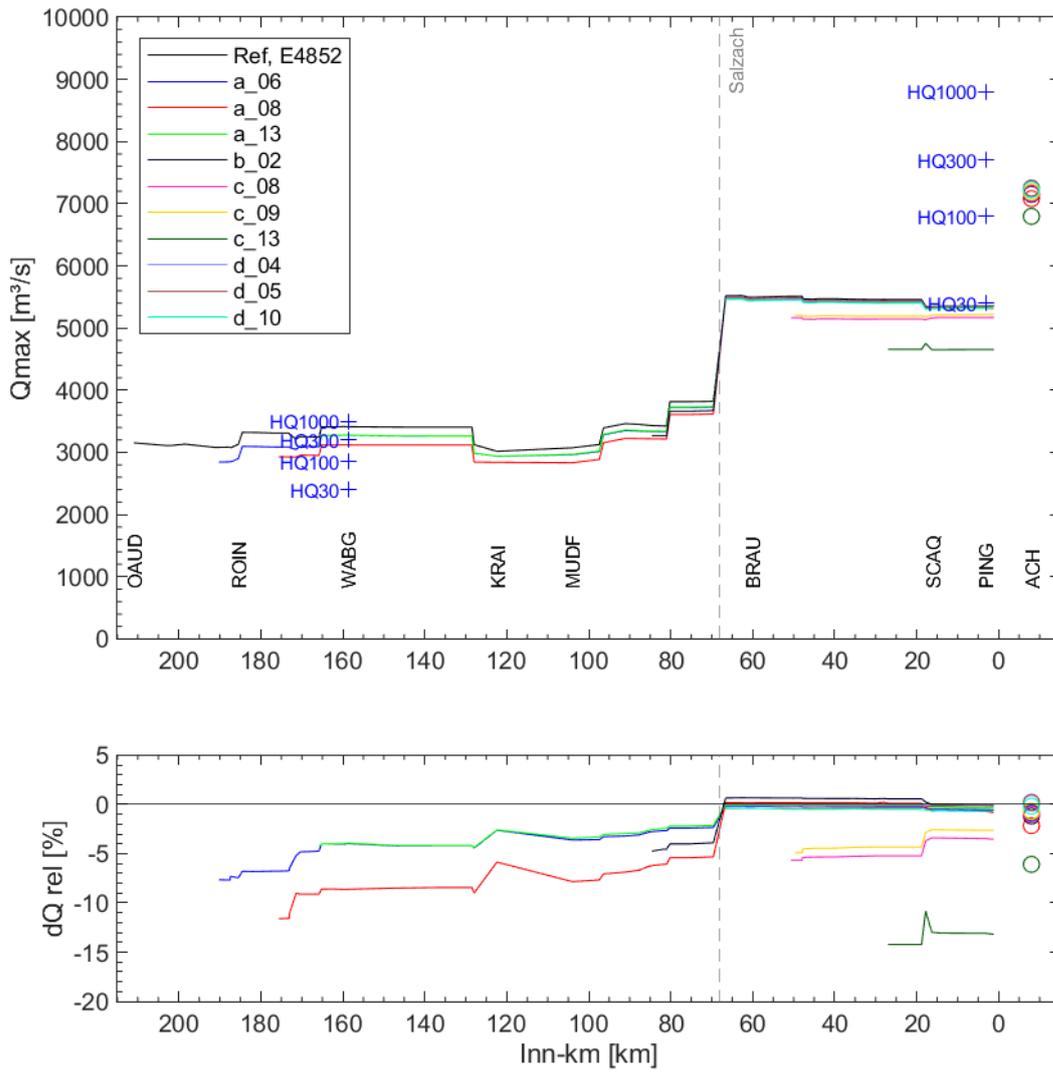


Abbildung 101: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 4852

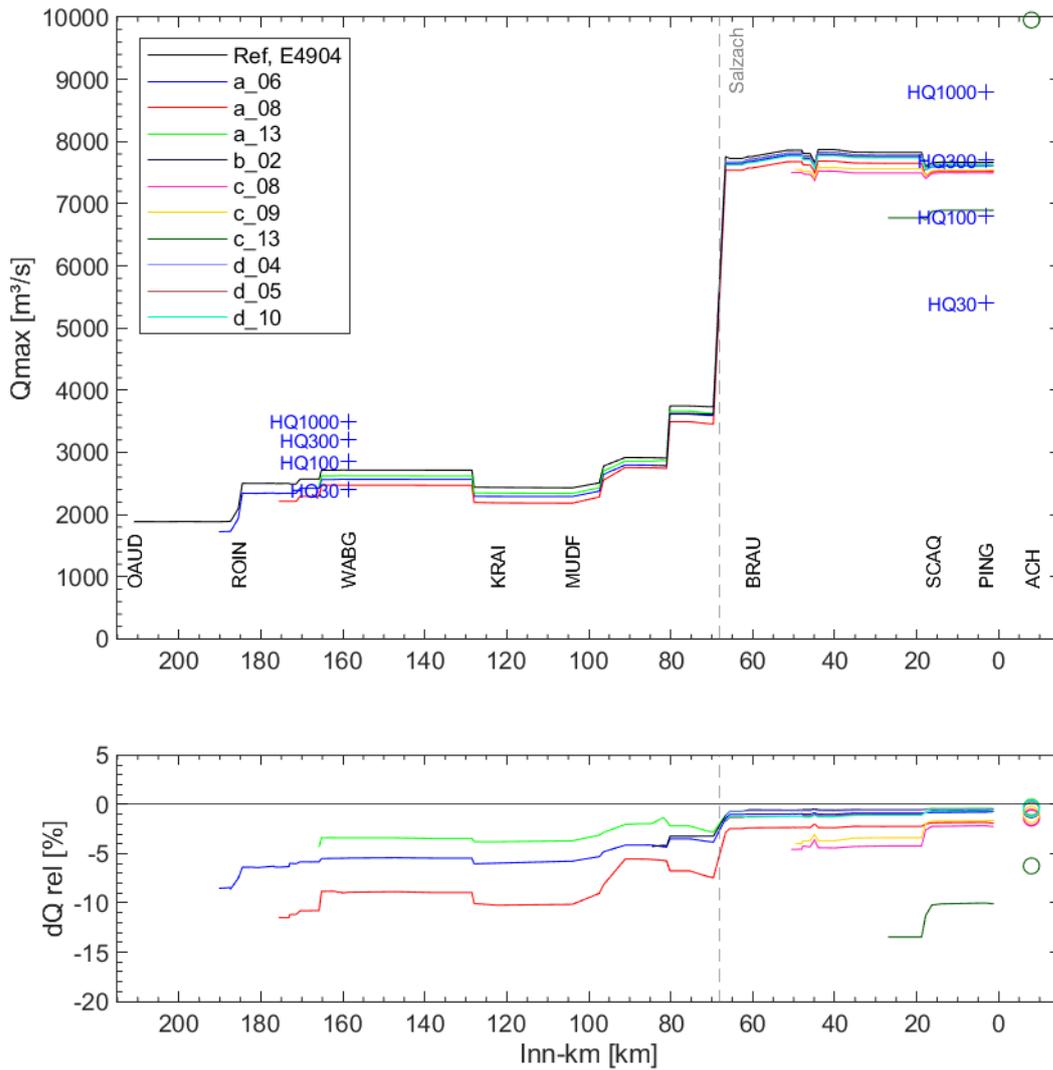


Abbildung 102: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 4904

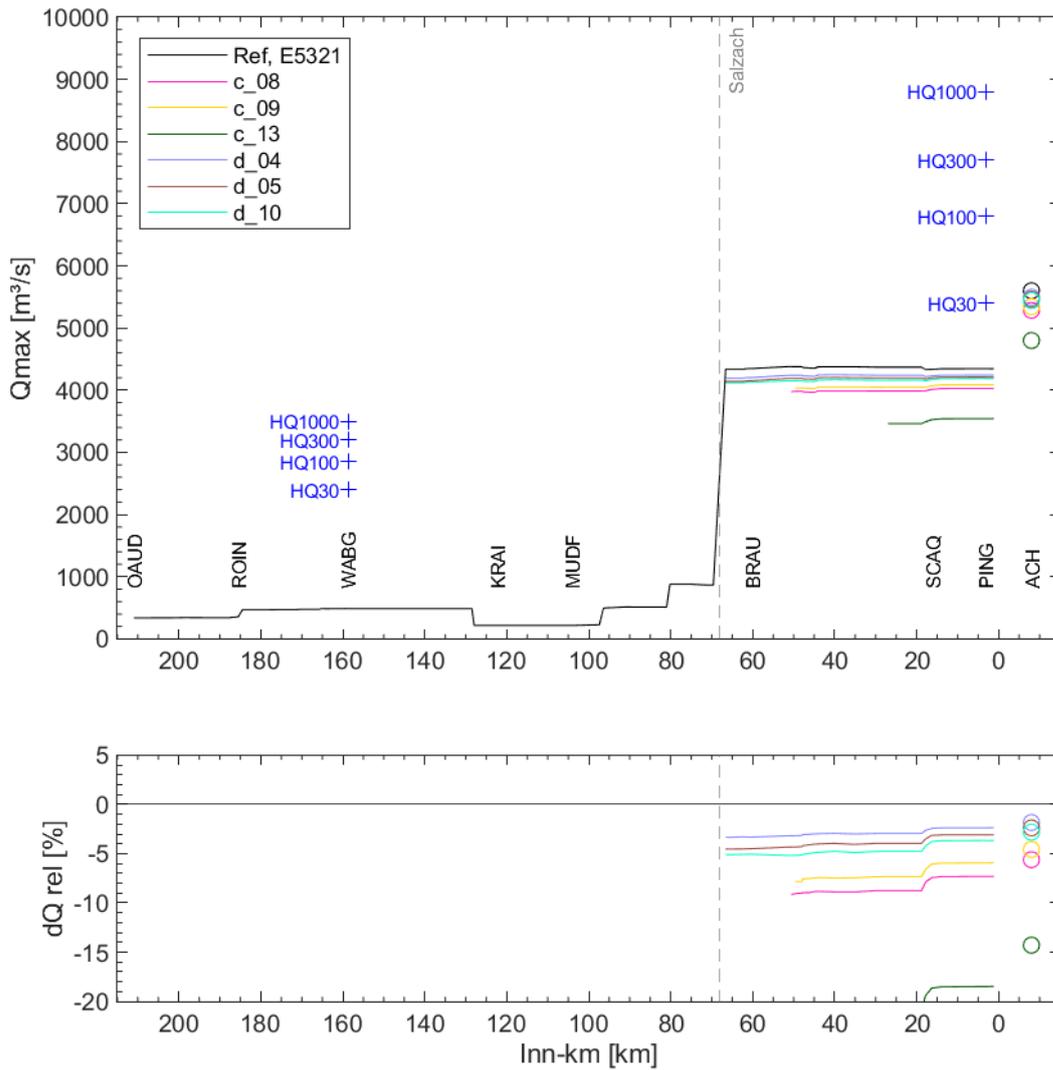


Abbildung 103: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 5321. Abflüsse des Inns geringer als gewählte Schwelle für Aktivierung der Standorte oberstrom der Salzschmündung

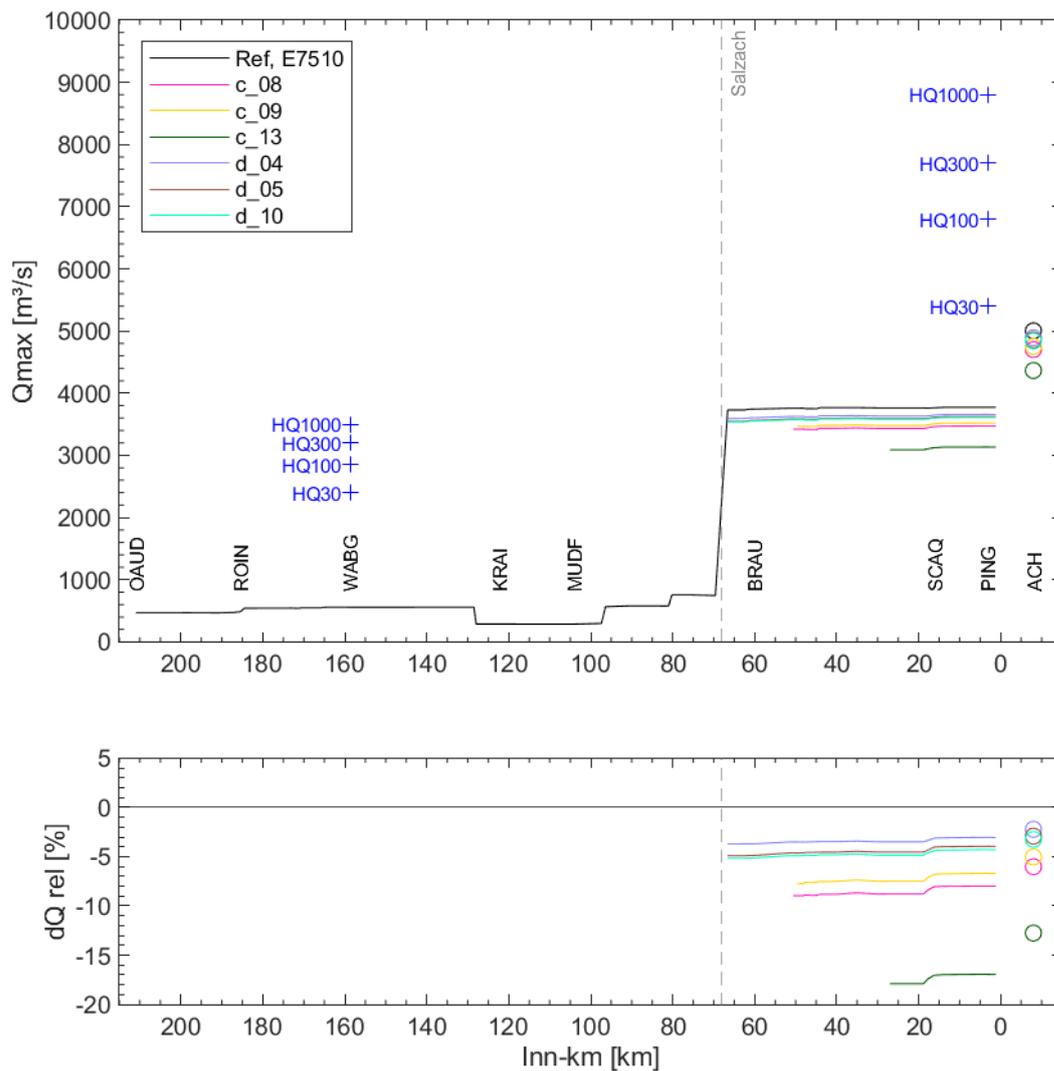


Abbildung 104: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Acheiten (Punkte) für das Ereignis 7510. Abflüsse des Inns geringer als gewählte Schwelle für Aktivierung der Standorte oberstrom der Salzachmündung

In den Längsschnitten mit den Scheitelabflüssen und potentiellen Scheitelreduktionen der Flutpolder an der Salzach (folgende Abbildungen) gibt es aufgrund der kleineren Zuflüsse keine vergleichbaren markanten Sprünge wie in denen des Inns. Einzig auffallend bei Ereignissen mit Jährlichkeiten $> HQ_{30}$ ist das Absinken und Wiederansteigen der Scheitelabflüsse im Tittmoninger Becken etwa zwischen Fkm 30 und 24. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Kontrollquerschnitte zur Ermittlung der Abflüsse nicht den über den Deich in die Ettenau fließenden Anteil am Gesamtdurchfluss erfassen. Auch an der Salzach wurden die potentiellen RHR bei zwei Ereignissen (E0256 und E3441) nicht eingesetzt, da der gewählte Schwellenabfluss für die Aktivierung der Steuerung nicht erreicht wurde.

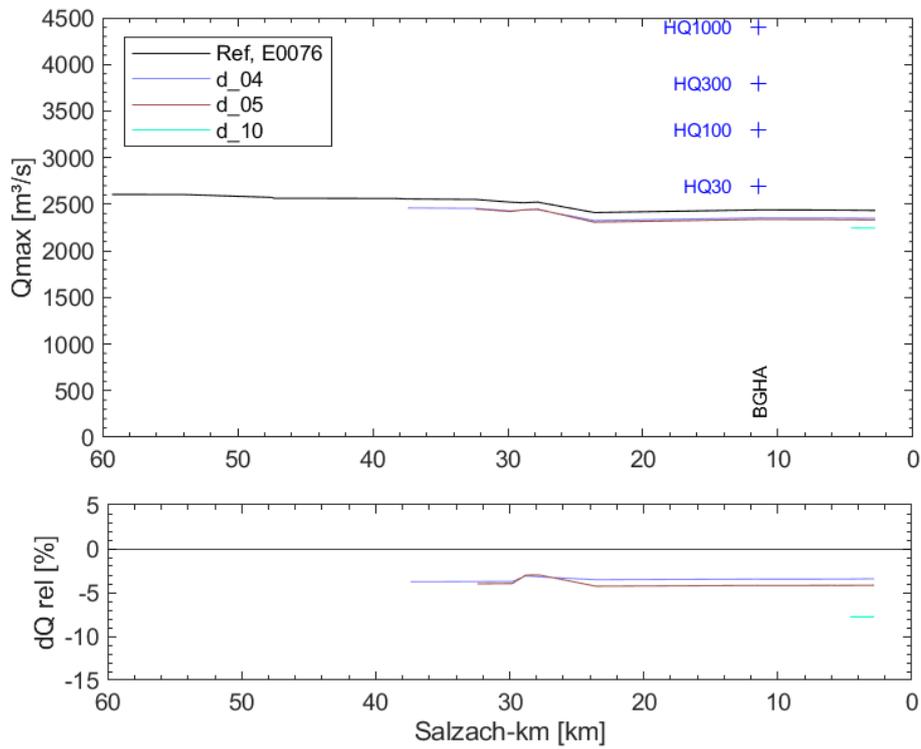


Abbildung 105: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 0076

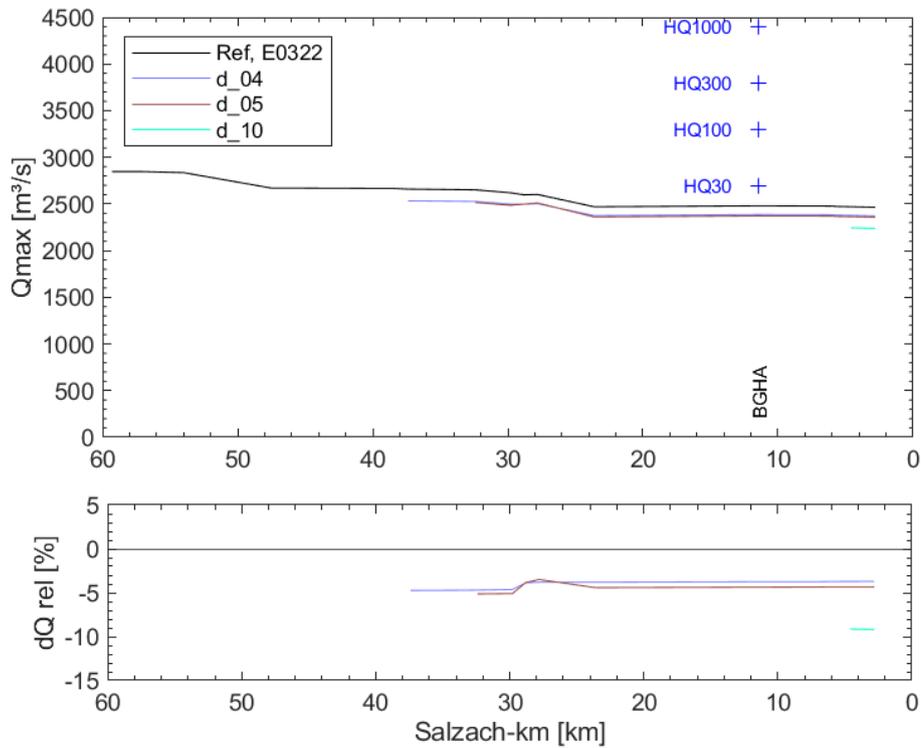


Abbildung 106: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 0322

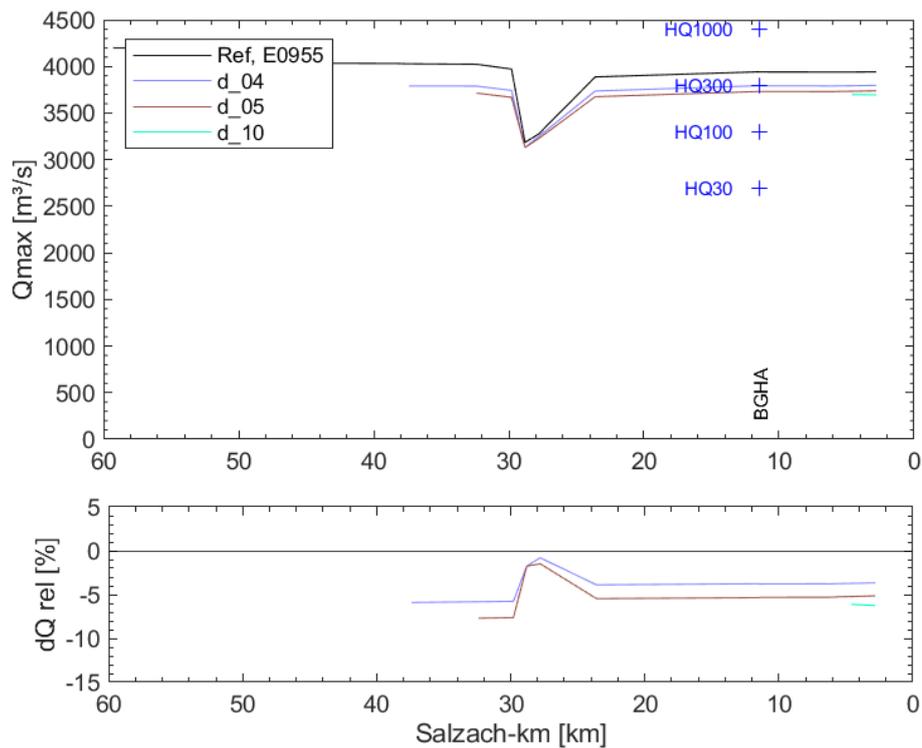


Abbildung 107: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 0955

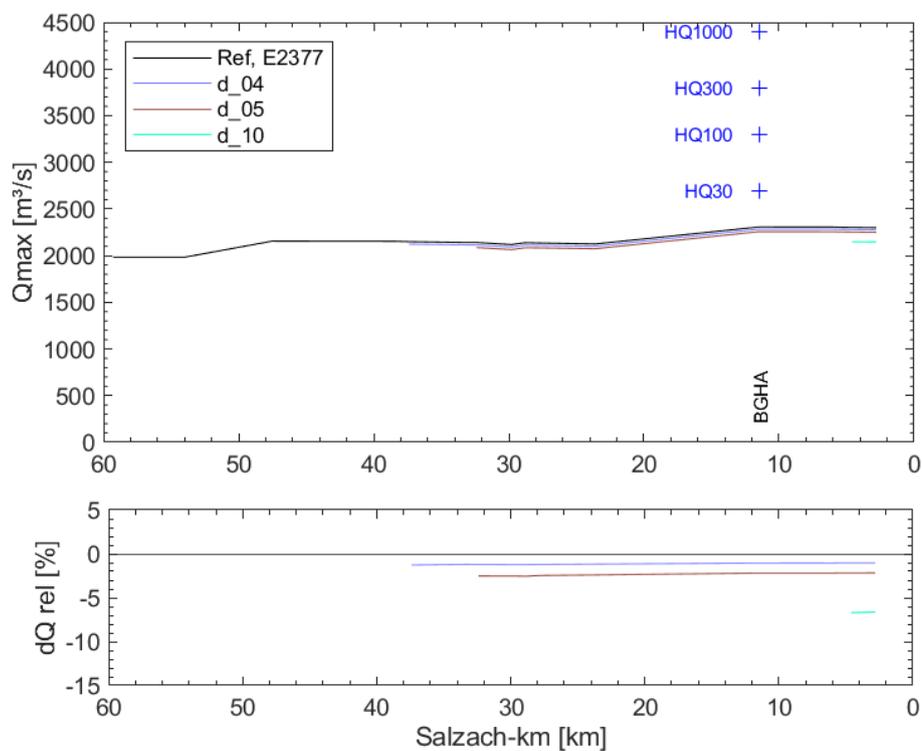


Abbildung 108: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 2377

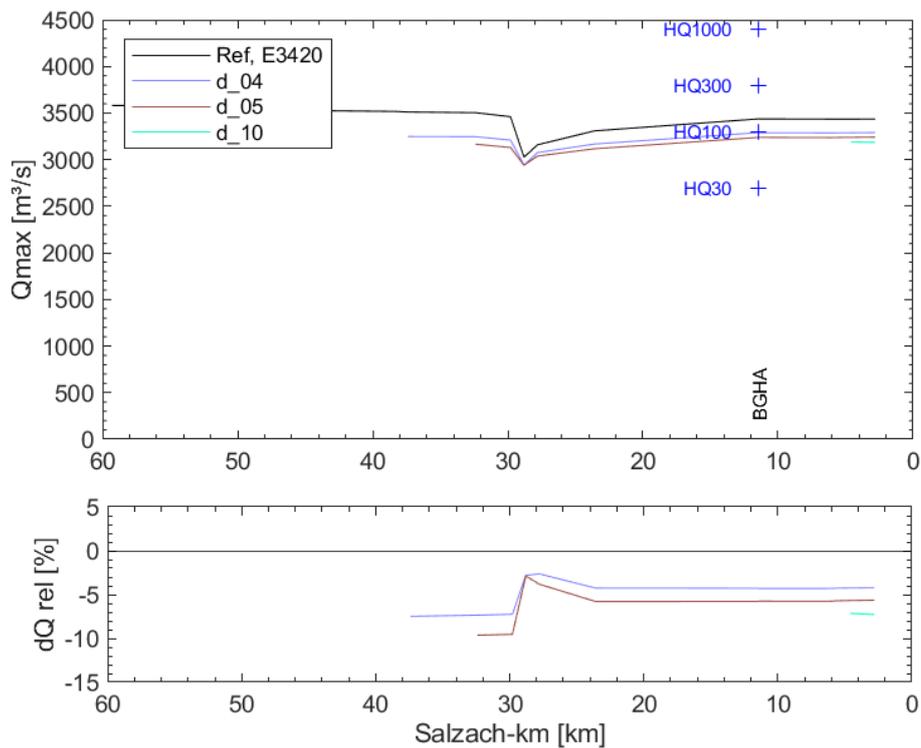


Abbildung 109: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 3420

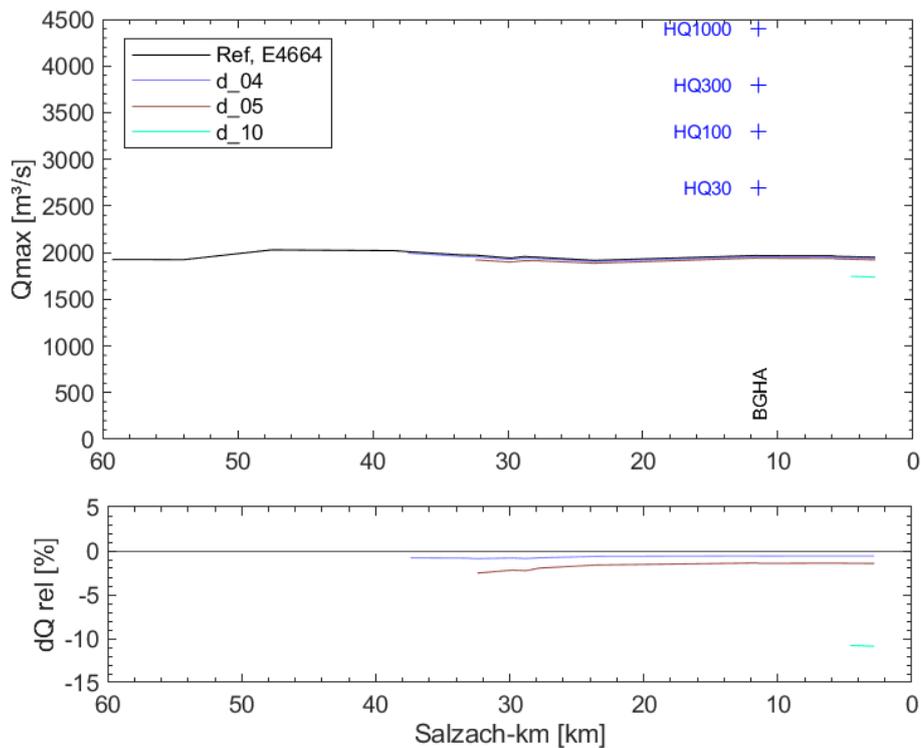


Abbildung 110: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 4664

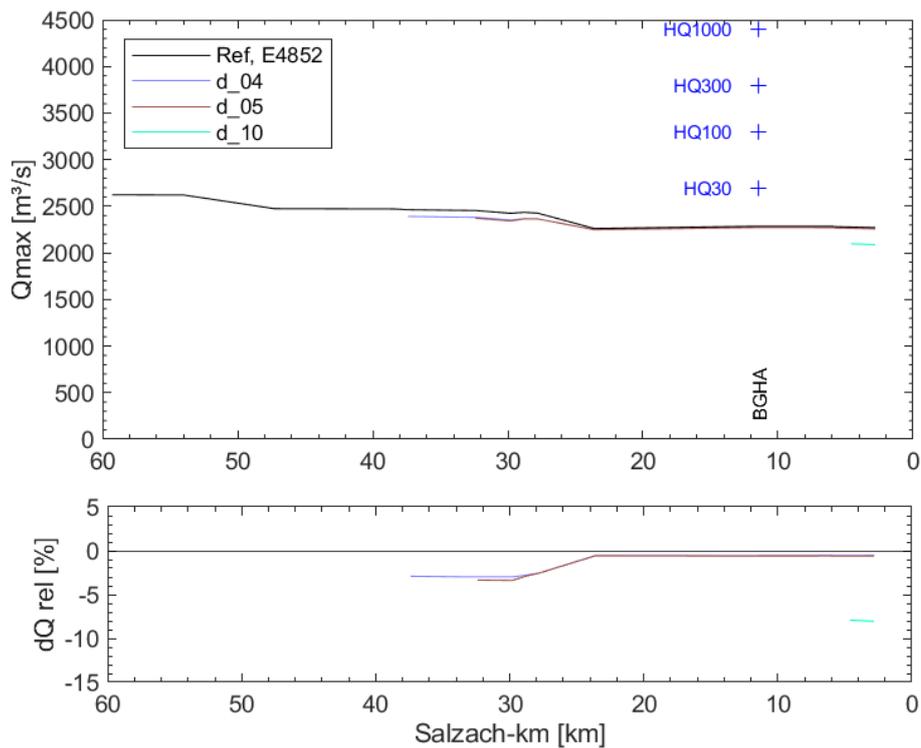


Abbildung 111: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 4852

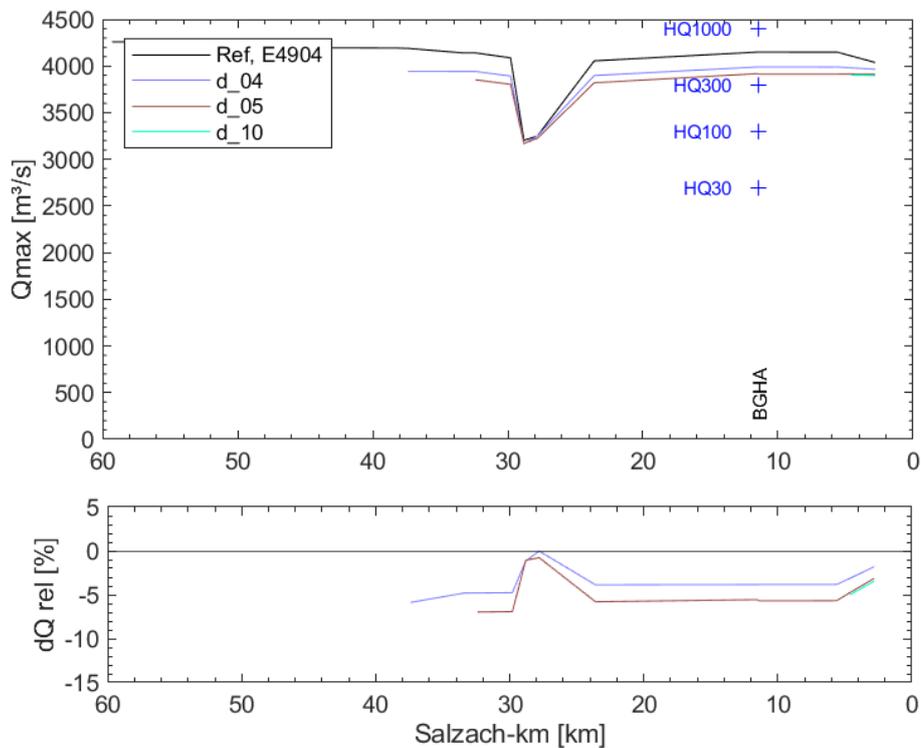


Abbildung 112: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 4904

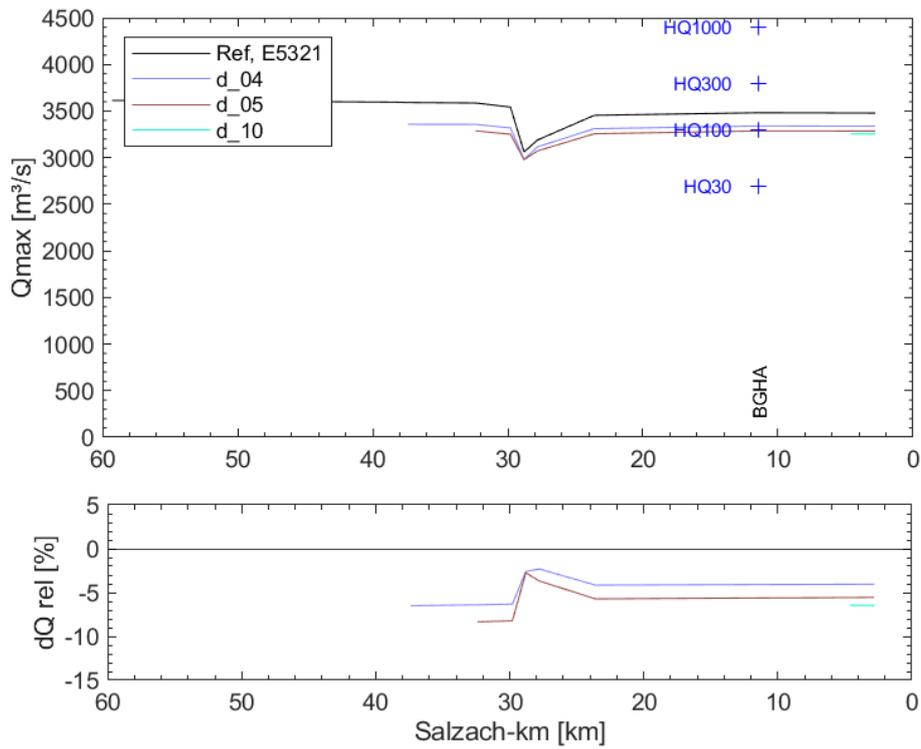


Abbildung 113: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 5321

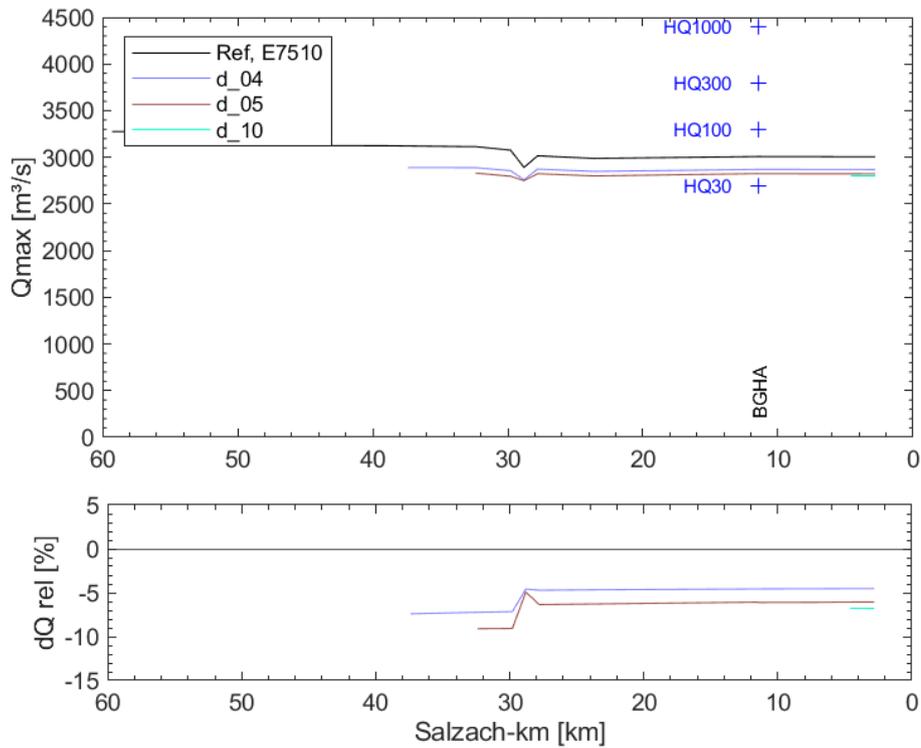


Abbildung 114: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 7510

7.9. Zusammenfassung und Fazit der Einzelwirkungsanalysen für die detaillierter untersuchten Flutpolderstandorte

Nachfolgend erfolgt für jeden der detaillierter untersuchten Flutpolderstandorte eine kurze verbale Beschreibung aus hydrologisch-hydraulischer Sicht, welche die Erläuterungen zu den Ereignissen und Pegeln in den vorherigen Kapiteln ergänzt. Es werden die Einzelwirkungen lokal (unmittelbar unterstrom des Einlaufs) und am nächstgelegenen Pegel angegeben. Zudem können den Tabellen die tatsächlich je Ereignis aktivierten Rückhaltevolumina entnommen werden.

Die erreichten Scheitelreduktionen durch den potentiellen RHR a_06_B können Tabelle 57 entnommen werden. Bei allen 10 Ereignissen, welche die gewählte Aktivierungsschwelle von HQ_5 überschritten, konnte das gesamte verfügbare Rückhaltevolumen genutzt werden. Die absolute Scheitelreduktion kann oft auch über die Mangfallmündung hinaus bis Wasserburg (und weiter) erhalten werden. Im Mittel über alle 10 Ereignisse verringert sich die absolute Scheitelreduktion von 227 auf 176 m^3/s . Beispielsweise ist der Zufluss der Mangfall im Ereignis 3441 (etwa HQ_{100}) nicht überprägend (Abbildung 116), sodass die Scheitelreduktion bei etwa 200 m^3/s bleibt. Wie bei Ereignis 2377 erkennbar ist (Abbildung 115), sinkt bei manchen Ereignissen allerdings sowohl die absolute als auch die relative Scheitelreduktion deutlich, wenn sich die Hochwasserwellen von Mangfall und Inn überlagern. Für eine optimalere Wirkung wäre hier möglicherweise eine Steuerung auf die Mangfall-Welle sinnvoll.

Tabelle 57: RHR a_06_B als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen

	lokal			WABG			Aktiviertes Volumen [Mio. m^3]
	$Q_{max,Ref}$	dQ_{abs}	dQ_{rel}	$Q_{max,Ref}$	dQ_{abs}	dQ_{rel}	
	[m^3/s]	[m^3/s]	[%]	[m^3/s]	[m^3/s]	[%]	
E0076	2182	-164	-7.5	2318	-165	-7.1	8.2
E0256	3013	-277	-9.2	3119	-201	-6.5	8.2
E0322	2946	-293	-9.9	3124	-210	-6.7	8.2
E0955	1699	-256	-15.1	2262	-171	-7.5	8.2
E2377	2523	-181	-7.2	3357	-133	-3.9	8.2
E3420	1596	-216	-13.5	1943	-185	-9.5	8.2
E3441	2569	-220	-8.5	2843	-203	-7.1	8.2
E4664	2021	-266	-13.1	2486	-212	-8.5	8.2
E4852	3080	-236	-7.7	3412	-136	-4.0	8.2
E4904	1885	-161	-8.5	2714	-148	-5.5	8.2
E5321	-	-	-	-	-	-	-
E7510	-	-	-	-	-	-	-

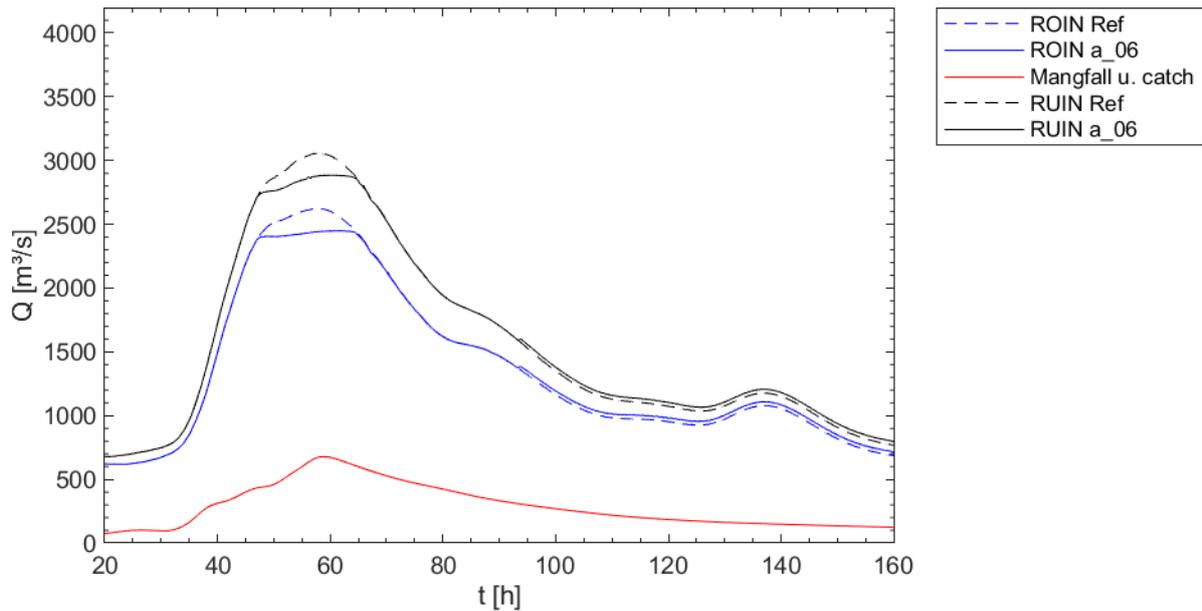


Abbildung 115: Überlagerung von Inn und Mangfall im Referenzzustand und mit Einsatz von a_06 beim Ereignis E2377

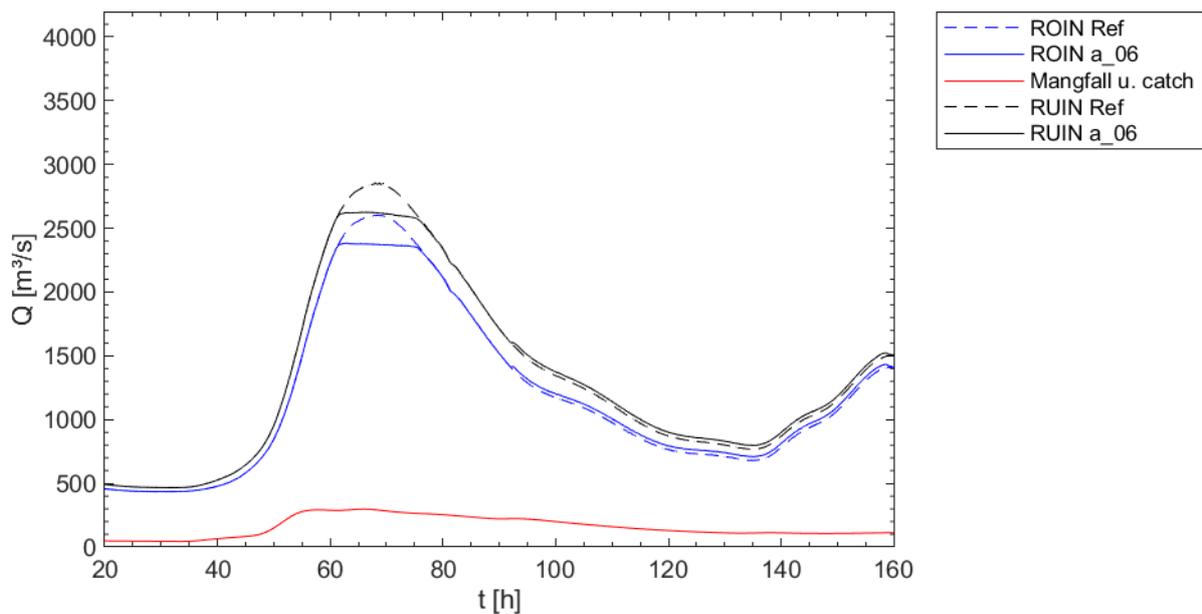


Abbildung 116: Überlagerung von Inn und Mangfall im Referenzzustand und mit Einsatz von a_06 beim Ereignis E3441

Die erreichten Scheitelreduktionen durch den potentiellen RHR a_08_A können Tabelle 58 entnommen werden. Bei allen Ereignissen konnte das gesamte verfügbare Rückhaltevolumen genutzt werden. Die potentiellen absoluten Scheitelreduktionen verringern sich zwischen dem Einlauf und dem Pegel WABG in gleicher Größenordnung (im Mittel von 367 auf 309 m³/s) wie zwischen dem potentiellen RHR a_06_B und dem Pegel. Am Pegel WABG verbleibt somit insgesamt eine hohe absolute und relative Wirkung. Da bei Nutzung der Fläche als Flutpolder die im Referenzzustand vorhandene natürliche Flutung und Retentionswirkung im Planzustand

verhindert wird, sind die Hochwasserwellen im Zustand mit Polder leicht beschleunigt (vergleiche z. B. Abbildung 75 f). Die insgesamt gute Wirkung und horizontal gekappte Welle erhält sich über weite Strecken.

Tabelle 58: RHR a_08_A als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen

	lokal			WABG			Aktiviertes Volumen [Mio. m ³]
	Q _{max,Ref} [m ³ /s]	dQ _{abs} [m ³ /s]	dQ _{rel} [%]	Q _{max,Ref} [m ³ /s]	dQ _{abs} [m ³ /s]	dQ _{rel} [%]	
E0076	2298	-283	-12.3	2318	-278	-12.0	17.2
E0256	3118	-425	-13.6	3119	-352	-11.3	17.2
E0322	3147	-453	-14.4	3124	-378	-12.1	17.4
E0955	2008	-415	-20.7	2262	-319	-14.1	17.2
E2377	3043	-329	-10.8	3357	-261	-7.8	17.2
E3420	1855	-316	-17.0	1943	-298	-15.3	17.2
E3441	2834	-360	-12.7	2843	-347	-12.2	17.2
E4664	2355	-419	-17.8	2486	-324	-13.0	17.2
E4852	3310	-384	-11.6	3412	-294	-8.6	17.2
E4904	2499	-287	-11.5	2714	-242	-8.9	17.2
E5321	-	-	-	-	-	-	-
E7510	-	-	-	-	-	-	-

Die erreichten Scheitelreduktionen durch den potentiellen RHR a_13_B können Tabelle 59 entnommen werden. Nicht bei allen Ereignissen konnte das gesamte verfügbare Rückhaltevolumen genutzt werden. Eine volle Nutzung ist – zumindest beim gewählten Standort für das Einlaufbauwerk – erst ab etwa HQ₃₀ möglich. Somit sind auch die erreichbaren Scheitelreduktionen bei kleineren Ereignissen reduziert. Vor allem aufgrund der kurzen Distanz zum Pegel WABG sind die erreichbaren Scheitelreduktionen dort weitgehend vergleichbar mit den lokalen unmittelbar unterstrom des Einlaufbauwerks.

Tabelle 59: RHR a_13_B als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen

	lokal			WABG			Aktiviertes Volumen [Mio. m ³]
	Q _{max,Ref} [m ³ /s]	dQ _{abs} [m ³ /s]	dQ _{rel} [%]	Q _{max,Ref} [m ³ /s]	dQ _{abs} [m ³ /s]	dQ _{rel} [%]	
E0076	2298	-66	-2.9	2318	-64	-2.8	2.9
E0256	3087	-158	-5.1	3119	-164	-5.3	4.6
E0322	3097	-166	-5.4	3124	-172	-5.5	4.6
E0955	2070	-56	-2.7	2262	-50	-2.2	1.8
E2377	3092	-129	-4.2	3357	-105	-3.1	4.6
E3420	1875	-18	-0.9	1943	-16	-0.8	0.5
E3441	2826	-150	-5.3	2843	-148	-5.2	4.5
E4664	2369	-91	-3.9	2486	-92	-3.7	2.9
E4852	3246	-138	-4.3	3412	-134	-3.9	4.6
E4904	2571	-111	-4.3	2714	-92	-3.4	4.0
E5321	-	-	-	-	-	-	-
E7510	-	-	-	-	-	-	-

Die erreichten Scheitelreduktionen durch den potentiellen RHR b_02_A können Tabelle 60 entnommen werden. Bei allen Ereignissen konnte das gesamte verfügbare Rückhaltevolumen genutzt werden. Der Rückhalteraum wirkt bereits heute als Retentionsfläche, zum einen durch Rückstau vom Unterwasser der Staustufe Perach (ICH) und zum anderen auch gezielt über eine Überlaufstruktur im Oberwasser der Staustufe. Dadurch entsteht eine Bypass-Strömung bei großen Ereignissen, welche auch in den Abflussscheitel-Längsschnitten (Kapitel 7.8) als kleiner Knick erkennbar ist. Dies wird durch die Nutzung als gesteuerter Rückhalteraum unterbunden, stattdessen erfolgt die Aktivierung optimiert ausschließlich im Scheitelbereich. Als nächstgelegener „Pegel“ wurde ein Querschnitt oberhalb der Salzachmündung (Staustufe Stammham, ITM) ausgewählt. Auch hier erkennt man vergleichbar zu a_08_A (s. Beschreibung) die leichte Veränderung der Welle durch die Verhinderung der natürlichen Ausuferungen (Abbildung 117). Dies führt bei zwei inngprägten Ereignissen (E4664 und E4852) mit zeitlich dem Scheitel des Inns vorauslaufendem Salzachscheitel dazu, dass sich unterstrom der Salzachmündung eine leichte Erhöhung des Abflussscheitels ergibt (s. Abbildung 100 und Abbildung 101). Die Wirkung des Flutpolders verlagert sich vollständig in den ablaufenden Ast der Hochwasserwelle des Inns unterstrom der Salzachmündung.

Tabelle 60: RHR b_02_A als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen

	lokal			vor Salzach			Aktiviertes Volumen [Mio. m ³]
	Q _{max,Ref} [m ³ /s]	dQ _{abs} [m ³ /s]	dQ _{rel} [%]	Q _{max,Ref} [m ³ /s]	dQ _{abs} [m ³ /s]	dQ _{rel} [%]	
E0076	2345	-137	-5.8	2640	-108	-4.1	5.2
E0256	3115	-182	-5.8	3458	-134	-3.9	5.2
E0322	3083	-193	-6.3	3451	-171	-4.9	5.2
E0955	2479	-170	-6.9	2987	-142	-4.8	5.2
E2377	3603	-132	-3.7	4592	-129	-2.8	5.2
E3420	2056	-186	-9.0	2769	-119	-4.3	5.2
E3441	2826	-167	-5.9	3173	-161	-5.1	5.2
E4664	2518	-184	-7.3	3235	-175	-5.4	5.2
E4852	3431	-163	-4.7	3823	-149	-3.9	5.2
E4904	2914	-125	-4.3	3734	-121	-3.2	5.2
E5321	-	-	-	-	-	-	-
E7510	-	-	-	-	-	-	-

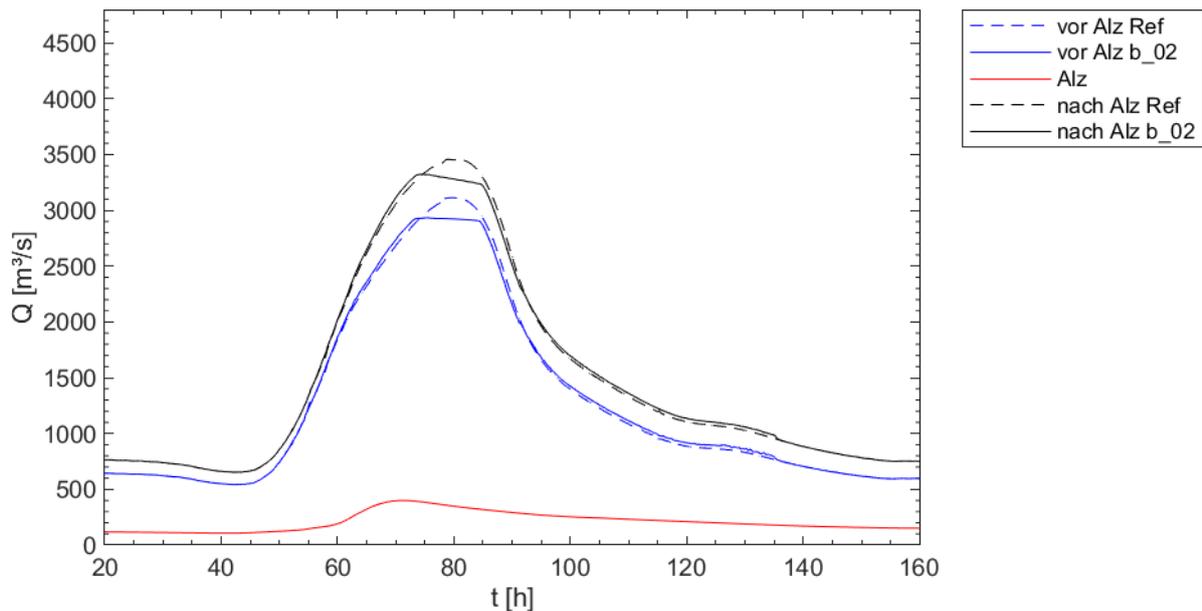


Abbildung 117: Überlagerung von Inn und Alz im Referenzzustand und mit Einsatz von b_02 beim Ereignis E0256

Die erreichten Scheitelreduktionen durch den potentiellen RHR c_08_B können Tabelle 61 entnommen werden. Bei allen Ereignissen konnte das gesamte verfügbare Rückhaltevolumen genutzt werden, bei den Ereignissen geringerer Jährlichkeit allerdings nur knapp. Zwischen dem Flutpolderstandort und dem Pegel PING sinken die absoluten Scheitelreduktionen mit der Größe des Ereignisses auf etwa die Hälfte ab. Für kleinere Ereignisse bis HQ₃₀ ist diese Differenz weniger ausgeprägt. Der Großteil der Wirkung geht dabei aufgrund der Retentionseffekte des Überschwemmungsgebiets vor Schärding verloren (vergleiche Längsschnitte der Abflussscheitel).

Tabelle 61: RHR c_08_B als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen

	lokal			PING			Aktiviertes Volumen [Mio. m³]
	Q _{max,Ref} [m³/s]	dQ _{abs} [m³/s]	dQ _{rel} [%]	Q _{max,Ref} [m³/s]	dQ _{abs} [m³/s]	dQ _{rel} [%]	
E0076	5080	-362	-7.1	4953	-246	-5.0	13.5
E0256	4196	-286	-6.8	4226	-245	-5.8	13.5
E0322	5772	-454	-7.9	5458	-247	-4.5	13.5
E0955	6884	-475	-6.9	6478	-196	-3.0	13.5
E2377	7031	-352	-5.0	7277	-164	-2.3	13.5
E3420	6295	-446	-7.1	6096	-206	-3.4	13.5
E3441	4944	-363	-7.3	4786	-258	-5.4	13.5
E4664	4875	-354	-7.3	4794	-258	-5.4	13.5
E4852	5475	-311	-5.7	5354	-186	-3.5	13.5
E4904	7859	-359	-4.6	7662	-167	-2.2	13.5
E5321	4378	-401	-9.2	4345	-318	-7.3	13.5
E7510	3757	-336	-9.0	3773	-301	-8.0	13.5

Die erreichten Scheitelreduktionen durch den potentiellen RHR c_09_B können Tabelle 62 entnommen werden. Bei allen Ereignissen konnte das gesamte verfügbare Rückhaltevolumen genutzt werden, bei den Ereignissen geringerer Jährlichkeit allerdings nur knapp. Dieser Standort liegt gegenüber dem Standort c_08_B. Die unterschiedlichen erreichbaren Scheitelreduktionen zu diesem RHR sind ausschließlich auf das um etwa 3 Mio. m³ geringere Rückhaltevolumen zurückzuführen. Die spezifischen Scheitelreduktionen (relative Wirkung bezogen auf das Volumen) am Pegel PING sind für beide Flutpolder identisch und lokal sehr ähnlich. Die Aussagen für den Standort c_08 sind also auf diesen übertragbar.

Tabelle 62: RHR c_09_B als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen

	lokal			PING			Aktiviertes Volumen [Mio. m ³]
	Q _{max,Ref} [m ³ /s]	dQ _{abs} [m ³ /s]	dQ _{rel} [%]	Q _{max,Ref} [m ³ /s]	dQ _{abs} [m ³ /s]	dQ _{rel} [%]	
E0076	5081	-314	-6.2	4953	-190	-3.8	10.7
E0256	4196	-245	-5.8	4226	-199	-4.7	10.7
E0322	5771	-391	-6.8	5458	-191	-3.5	10.7
E0955	6884	-417	-6.1	6478	-153	-2.4	10.7
E2377	7031	-315	-4.5	7277	-124	-1.7	10.7
E3420	6296	-391	-6.2	6096	-157	-2.6	10.7
E3441	4944	-313	-6.3	4786	-202	-4.2	10.7
E4664	4876	-306	-6.3	4794	-200	-4.2	10.7
E4852	5475	-270	-4.9	5354	-140	-2.6	10.7
E4904	7860	-313	-4.0	7662	-126	-1.6	10.7
E5321	4378	-343	-7.8	4345	-258	-5.9	10.7
E7510	3758	-292	-7.8	3773	-253	-6.7	10.7

Die erreichten Scheitelreduktionen durch den potentiellen RHR c_13_B können Tabelle 63 entnommen werden. Dieser RHR hat das weit größte verfügbare Rückhaltevolumen aller untersuchten potentiellen Standorte. Allerdings konnte dieses nicht bei allen Ereignissen vollständig genutzt werden. Der gewählte Ort für die Einlaufbauwerke wies dabei für geringe Abflüsse zu geringe Wasserstände auf. Dennoch konnten, summiert über beide Einlaufbauwerke, bei jedem Ereignis mindestens 53 Mio. m³ Volumen aktiviert werden. Dies führt auch zu den großen Scheitelreduktionen sowohl lokal als auch am Pegel PING. Lokal wurde die Hochwasserwelle um über 1.000 m³/s reduziert. Sollte dieser Standort in Zukunft weiterverfolgt werden, sollte geprüft werden, ob ein für solche Zuflüsse ausgelegtes Einlaufbauwerk möglich oder sinnvoll ist. Methodenbedingt wurden in dieser Potentialstudie solche Aspekte vernachlässigt. Ebenfalls beachtet werden sollte bei diesem Standort, dass aufgrund der Anordnung im heutigen Überschwemmungsgebiet linksseitig der Staustufe Schärding die im Istzustand (Referenzzustand) relativ wirksame Retention unterbunden wird. Dies ist in den Ganglinien am Pegel PING bei den extremen Ereignissen E2377, E3420 und E4904 z. B. in der Abbildung 78, Abbildung 79 und Abbildung 83 anhand der Beschleunigung der Welle zu erkennen.

Tabelle 63: RHR c_13_B als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen

	lokal			PING			Aktiviertes Volumen		
	$Q_{\max,Ref}$	dQ_{abs}	dQ_{rel}	$Q_{\max,Ref}$	dQ_{abs}	dQ_{rel}	Einlauf 1	Einlauf 2	Gesamt
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[%]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[%]	[Mio. m ³]	[Mio. m ³]	[Mio. m ³]
E0076	5052	-904	-17.9	4953	-766	-15.5	33.5	25.5	58.9
E0256	4208	-772	-18.3	4226	-706	-16.7	22.4	33.5	55.9
E0322	5693	-1103	-19.4	5458	-868	-15.9	34.8	24.1	58.9
E0955	6778	-1204	-17.8	6478	-866	-13.4	41.9	21.0	62.8
E2377	7031	-865	-12.3	7277	-685	-9.4	41.9	20.9	62.8
E3420	6256	-1053	-16.8	6096	-762	-12.5	41.9	20.9	62.8
E3441	4914	-895	-18.2	4786	-745	-15.6	31.7	27.3	59.0
E4664	4881	-912	-18.7	4794	-729	-15.2	30.3	28.3	58.6
E4852	5428	-772	-14.2	5354	-700	-13.1	41.8	20.9	62.8
E4904	7824	-1053	-13.5	7662	-767	-10.0	41.8	21.0	62.8
E5321	4370	-908	-20.8	4345	-803	-18.5	22.0	35.3	57.4
E7510	3763	-673	-17.9	3773	-639	-16.9	16.2	36.9	53.0

Die erreichten Scheitelreduktionen durch die potentiellen RHR d_04_B und dem direkt angrenzenden d_05_B können Tabelle 64 und Tabelle 65 entnommen werden. Aufgrund der niedrigen Wasserstände am jeweiligen Einlauf konnte bei kleineren Hochwasserereignissen nicht das gesamte verfügbare Rückhaltevolumen genutzt werden, eine Benetzung des Einlaufquerschnitts beginnt erst ab HQ₅. Eine volle Ausnutzung des Volumens und damit nahezu optimale horizontale Kappung gelingt erst bei Abflüssen ab etwa 3.000 m³/s (etwa HQ₅₀). Sobald eine Vollfüllung möglich ist, liegen die lokalen Scheitelreduktionen recht konstant bei etwa 250 m³/s (d_04_B) oder 300 m³/s (d_05_B) und reduzieren sich bis zum Pegel BGHA um etwa 100 m³/s. Bei den kleineren Ereignissen bleiben hingegen die absoluten und relativen Scheitelreduktionen bis zum Pegel BGHA annähernd identisch.

Tabelle 64: RHR d_04_B als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen

	lokal			BGHA			Aktiviertes Volumen [Mio. m ³]
	$Q_{\max,Ref}$	dQ_{abs}	dQ_{rel}	$Q_{\max,Ref}$	dQ_{abs}	dQ_{rel}	
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[%]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[%]	
E0076	2557	-96	-3.8	2439	-85	-3.5	3.4
E0256	-	-	-	-	-	-	-
E0322	2659	-126	-4.7	2480	-93	-3.8	3.8
E0955	4028	-238	-5.9	3940	-149	-3.8	5.9
E2377	2149	-27	-1.3	2307	-24	-1.0	1.6
E3420	3511	-263	-7.5	3437	-148	-4.3	5.9
E3441	-	-	-	-	-	-	-
E4664	2010	-16	-0.8	1967	-12	-0.6	0.4
E4852	2463	-72	-2.9	2286	-12	-0.5	2.2
E4904	4189	-246	-5.9	4149	-159	-3.8	5.9
E5321	3591	-234	-6.5	3482	-142	-4.1	5.9
E7510	3121	-231	-7.4	3008	-137	-4.6	5.9

Tabelle 65: RHR d_05_B als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen

	lokal			BGHA			Aktiviertes Volumen [Mio. m ³]
	Q _{max.Ref} [m ³ /s]	dQ _{abs} [m ³ /s]	dQ _{rel} [%]	Q _{max.Ref} [m ³ /s]	dQ _{abs} [m ³ /s]	dQ _{rel} [%]	
E0076	2552	-102	-4.0	2439	-102	-4.2	3.7
E0256	-	-	-	-	-	-	-
E0322	2652	-136	-5.1	2480	-108	-4.4	4.4
E0955	4024	-310	-7.7	3940	-210	-5.3	8.7
E2377	2141	-54	-2.5	2307	-51	-2.2	3.6
E3420	3504	-338	-9.6	3437	-198	-5.8	8.7
E3441	-	-	-	-	-	-	-
E4664	1972	-50	-2.5	1967	-28	-1.4	1.2
E4852	2455	-82	-3.4	2286	-14	-0.6	2.7
E4904	4141	-289	-7.0	4149	-236	-5.7	8.7
E5321	3587	-299	-8.3	3482	-196	-5.6	8.6
E7510	3114	-284	-9.1	3008	-184	-6.1	8.6

Die erreichten Scheitelreduktionen durch den potentiellen RHR d_10_B können Tabelle 66 entnommen werden. Der Einsatz des RHR erfolgte wie bei den beiden oberstrom gelegenen RHR nicht bei Ereignissen unter HQ₅ (E0256 und E3441). Aufgrund der Lage im Salzachspitz könnte aber in diesen Fällen grundsätzlich auch eine Befüllung von der Seite des Inns in Betracht gezogen werden. Da der Standort d_10 unterstrom des für die Salzach maßgebenden Pegels BGHA liegt, wird als nächstgelegener Pegel nach dem lokalen Auswertequerschnitt der Pegel Braunau am Inn gewählt. Die Scheitelreduktionen zwischen lokalem Querschnitt unmittelbar unterstrom des Einlaufs und dem Pegel Braunau sind daher teils überprägt vom Inn. In einigen Fällen wie z. B. E4664 und E4852 verschwindet die Scheitelreduktion fast vollständig. Für salzachgeprägte Hochwasserereignisse wie bspw. E5321 und E7510 erhält sich die Wirkung sowohl absolut als auch relativ weitgehend über die Mündung hinaus. Lokal und teils auch in Braunau sind Scheitelreduktionen um 200 m³/s möglich.

Tabelle 66: RHR d_10_B als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen

	lokal			BRAU			Aktiviertes Volumen [Mio. m ³]
	Q _{max.Ref} [m ³ /s]	dQ _{abs} [m ³ /s]	dQ _{rel} [%]	Q _{max.Ref} [m ³ /s]	dQ _{abs} [m ³ /s]	dQ _{rel} [%]	
E0076	2436	-189	-7.8	5041	-170	-3.4	6.4
E0256	-	-	-	-	-	-	-
E0322	2470	-226	-9.1	5766	-150	-2.6	6.4
E0955	3939	-241	-6.1	6840	-135	-2.0	6.4
E2377	2302	-155	-6.7	6908	-97	-1.4	6.4
E3420	3434	-245	-7.1	6190	-164	-2.6	6.4
E3441	-	-	-	-	-	-	-
E4664	1957	-211	-10.8	4837	-42	-0.9	6.4
E4852	2278	-180	-7.9	5459	-22	-0.4	6.4
E4904	4109	-206	-5.0	7758	-100	-1.3	6.4
E5321	3479	-225	-6.5	4348	-220	-5.1	6.4
E7510	3006	-204	-6.8	3743	-192	-5.1	6.4

8. Wirkungsanalyse von Deichrückverlegungen

Parallel zur Einzelwirkungsanalyse von Flutpoldern wurden auch Untersuchungen zu möglichem natürlichen oder ungesteuerten Rückhalt am Inn und der Salzach durchgeführt. Diese Ergebnisse werden nachfolgend vorgestellt. Aufgrund der Verhältnisse am Inn mit einem über weite Strecken staugeregelten Verlauf sind die Möglichkeiten für Deichrückverlegungen begrenzt. Daher wurden im Rahmen dieser Studie nur drei Standorte (a_13_D, c_12_D und d_04_D) hinsichtlich ihrer hydraulischen Eignung untersucht. Nach der ersten Grobbewertung der potentiellen Standorte (Kapitel 6.2) entfielen weitere, meist kleine Flächen entweder aufgrund schlechterer Bewertung der Variante Deichrückverlegung gegenüber einer Variante Flutpolder oder aufgrund des Kriteriums zur Mindestgröße. Solche kleinen Flächen tragen praktisch nicht zu einer Dämpfung des Hochwasserablaufs bei und wurden daher nicht untersucht, können aber unter Umständen zur ökologischen Aufwertung dennoch sinnvoll sein. Auch in den Varianten DRV wurden in Abschnitt a und d bei jeweils zwei Ereignissen die RHR aufgrund zu geringer Abflüsse oder Wasserstände nicht aktiviert, diese fehlen in den Darstellungen der Wirkungen.

8.1. DRV a_13_D

Der Umgriff dieser Variante a_13_D entspricht dem Standort a_13_B. Für die Variante DRV wurden dazu die Deiche an zwei Stellen geöffnet (Abbildung 118). Die Öffnungsbreite oberstrom beträgt dabei etwa 600 m, unterstrom etwa 200 m. Aufgrund der zu geringen Wasserstände erfolgt keine Aktivierung unter HQ₁₋₅.

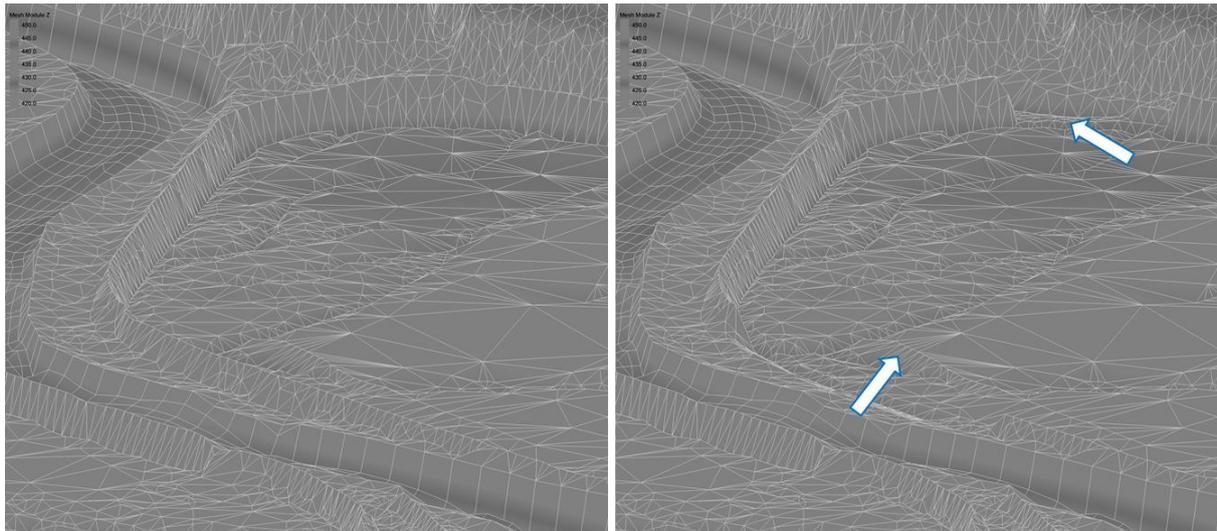


Abbildung 118: Gelegte Deiche für die DRV a_13_D vor Wasserburg. Links: Referenzzustand, rechts: Deichlegung

8.2. DRV d_04_D

Bei diesem Standort werden die Flächen der Standorte d_04_B und d_05_B kombiniert. Zur Aktivierung wurde der Deich an zwei Stellen im oberen Bereich des Polders (d_04) geöffnet, um ein Ausströmen in das linke Hinterland zu ermöglichen. Die sonstigen Deichanlagen wurden nicht gelegt. Die Öffnung 1 wurde auf Höhe des (gesteuerten) Einlaufbauwerks in der Variante d_04_B, bei Fkm 37,8, gesetzt und dazu der Deich auf einer Länge von etwa 460 m auf Geländehöhe abgesenkt (Abbildung 119). Die Öffnung 2 wurde bei km 35 gewählt, wo der geöffnete Altdeich (der vor ein paar Jahren umgesetzten DRV-Maßnahme) auf den damals neu errichteten Deich trifft. Auch hier wurde auf einer Länge von etwa 460 m auf Geländehöhe abgesenkt (Abbildung 120). Wie in der gesteuerten Variante d_04_B erfolgt keine Aktivierung unter HQ₅ aufgrund der zu geringen Wasserstände. Beide Deichlegungen wurden beispielhaft konzeptioniert, weshalb die ermittelte Retentionswirkung insbesondere bei weitergehenden Planungen im Rahmen der Sanierung der Salzach hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit überprüft werden muss. Die Rückleitung in die Salzach erfolgt unter Nutzung des unterstrom (nördlich) angrenzenden RHR d_05 über bestehende Seitengewässer und Altarme, die auch im Referenzzustand frei in die Salzach entwässern. Ziel war eine verstärkte Entzerrung der Welle der Salzach und Nutzung der Retentionsfläche als „Bypass“ zur Reduktion des Abflussscheitels auch unterstrom. Eine stärkere Wasserspiegelsenkung, welche sich dann allerdings nur lokal auswirken würde, wäre unter Umständen durch eine Legung der Deiche auf gesamter Länge des RHR erreichbar.

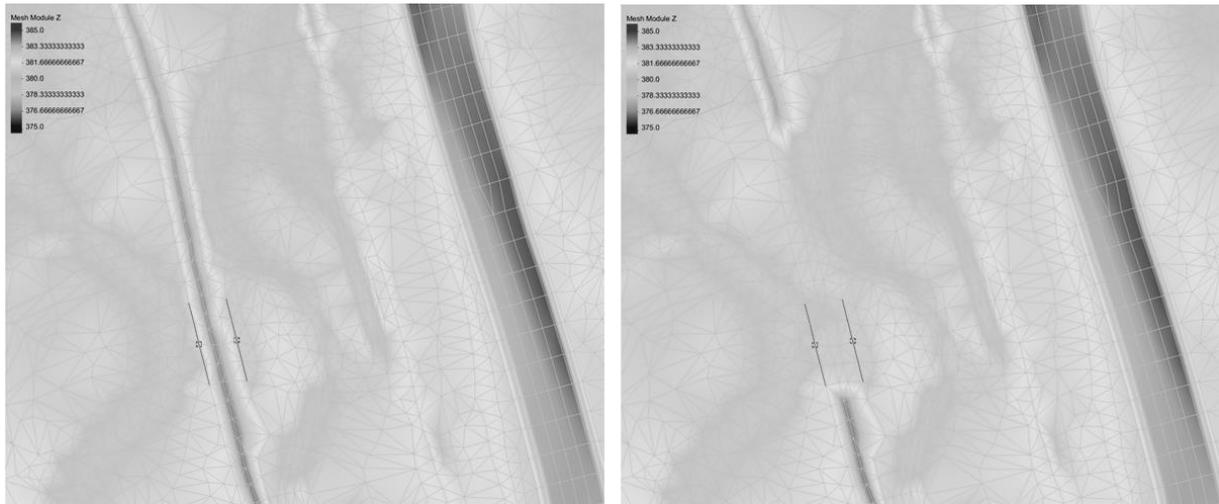


Abbildung 119: Öffnung 1 für die DRV d_04_D bei km 37.8. Links: Referenzzustand, rechts: Deichöffnung an der Stelle des gesteuerten Einlaufbauwerks in Variante d_04_B (zu erkennen an den Nodestrings)

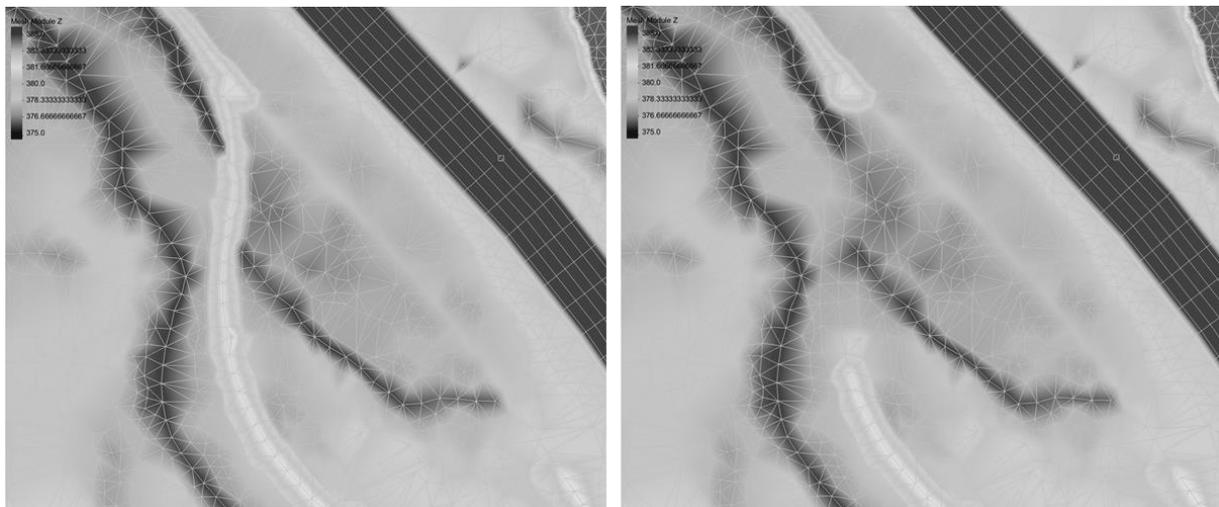


Abbildung 120: Öffnung 2 für die DRV d_04_D bei km 35.0. Links: Referenzzustand, rechts: Deichöffnung

8.3. DRV c_12_D

Die untersuchte potentielle DRV c_12_D erstreckt sich über den Standort c_12 in Kombination mit c_13. Die Füllung erfolgt über eine Überströmung einer etwa 1 km breiten Deichöffnung im UW der Staustufe GEO (Abbildung 121). Unterstrom beginnt der Stauhaltungsdamm der Stufe Schärding, welcher nicht verändert wurde. Zur anderen Seite des Polders hin wurde die Ausdehnung entsprechend Standort c_13_B begrenzt. Der Auslauf ist offen und entwässert frei in das Unterwasser der Stufe Schärding beziehungsweise unter der Autobahnbrücke in das linksseitige Überschwemmungsgebiet. In der für die Studie gewählten Konzeption handelt es sich also um eine Bypass-Strömung mit dem Ziel der Entzerrung der Hochwasserwelle des Inns und der Strömung in der Rückhaltefläche.

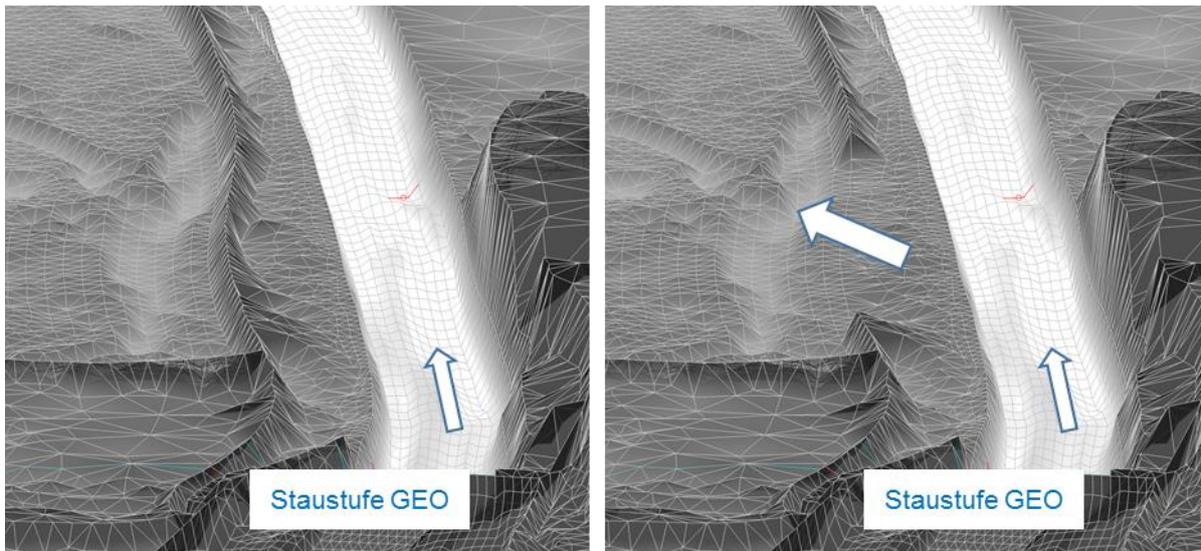


Abbildung 121: Deichöffnung für die DRV c_12_D unterstrom der Staustufe GEO. Links: Referenzzustand, rechts: Deichlegung

8.4. Wirkungen der DRV an den Pegeln WABG, BGHA und PING

Ausgewertet wurde neben der Veränderung des Abflussscheitels auch der Zeitpunkt, an dem der Wellenscheitel am Pegel eintrifft. Dies ist in Abbildung 122 für den Pegel WABG, in Abbildung 123 für den Pegel BGHA und in Abbildung 124 für den Pegel PING dargestellt. Die DRV a_13_D reduzierte die Scheitelabflüsse bei allen Ereignissen in WABG, mit zunehmenden Scheitelabflüssen nehmen die Reduktionen ab. Die Wellenlaufzeit verzögerte sich zwischen 0 und 1 h. Am Pegel BGHA sind die Scheitelveränderungen durch die DRV d_04_D sowohl negativ als auch positiv. Die größten Reduktionen werden bei Ereignissen geringerer Jährlichkeit mit bis zu $-40 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht, in diesem Bereich liegen die Scheitelverzögerungen bei bis zu 2 h. Für sehr große Ereignisse stellt sich fast durchweg eine Scheitelerhöhung von 0 bis $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ein, wobei die Wellenlaufzeit konstant bleibt und in einem Fall der Scheitel um eine Viertelstunde früher am Pegel eintrifft. Der Grund dabei ist zum einen die Überströmung der Hochwasserdeiche ab HQ_{30} beziehungsweise HQ_{100} , welche im Referenzzustand eine Entlastung der Salzach im Scheitelbereich bewirken können. Im Zustand mit DRV ist diese späte Entlastung reduziert, da sich der Polder durch Öffnung bereits früher füllt. Zum anderen sind Flächen, die im Referenzzustand durch Rückstau (bspw. Götzinger Achen) eine gewisse Retentionswirkung haben, durch die Durchströmung von oberstrom im Zustand mit DRV ebenfalls schon früher beaufschlagt und damit in ihrer Wirkung reduziert. Ein weiterer Grund kann die etwas geringere Beaufschlagung des rechten Vorlands mit dort geringeren Retentionseffekten sein, da sich ein wesentlicher Abflussanteil nun in das linke Vorland ausbreitet.

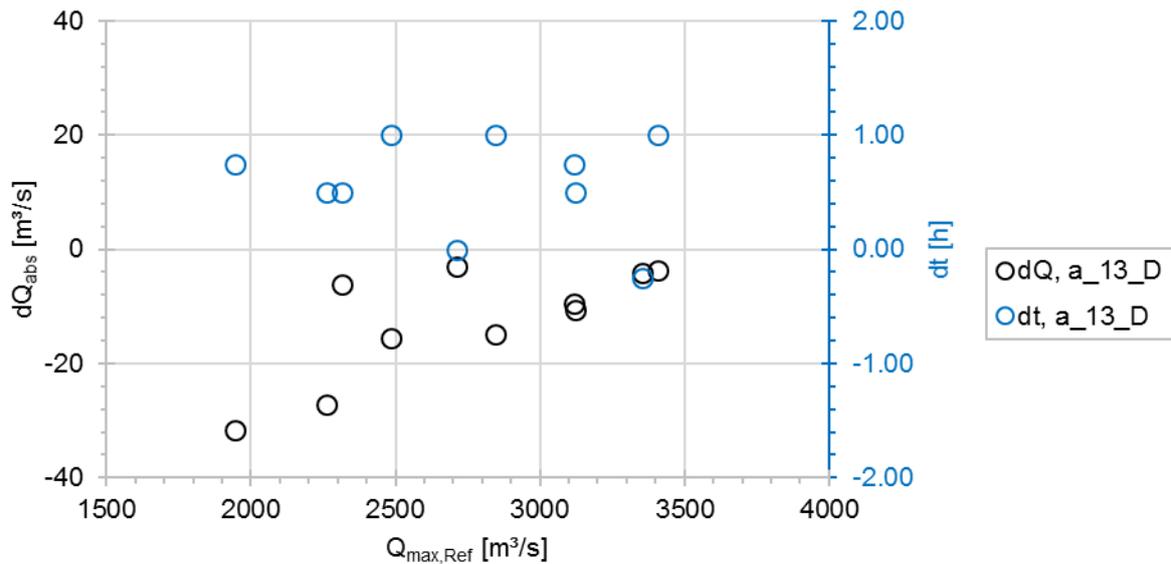


Abbildung 122: Scheiteländerungen dQ und dt durch die DRV a_13_D am Pegel WABG

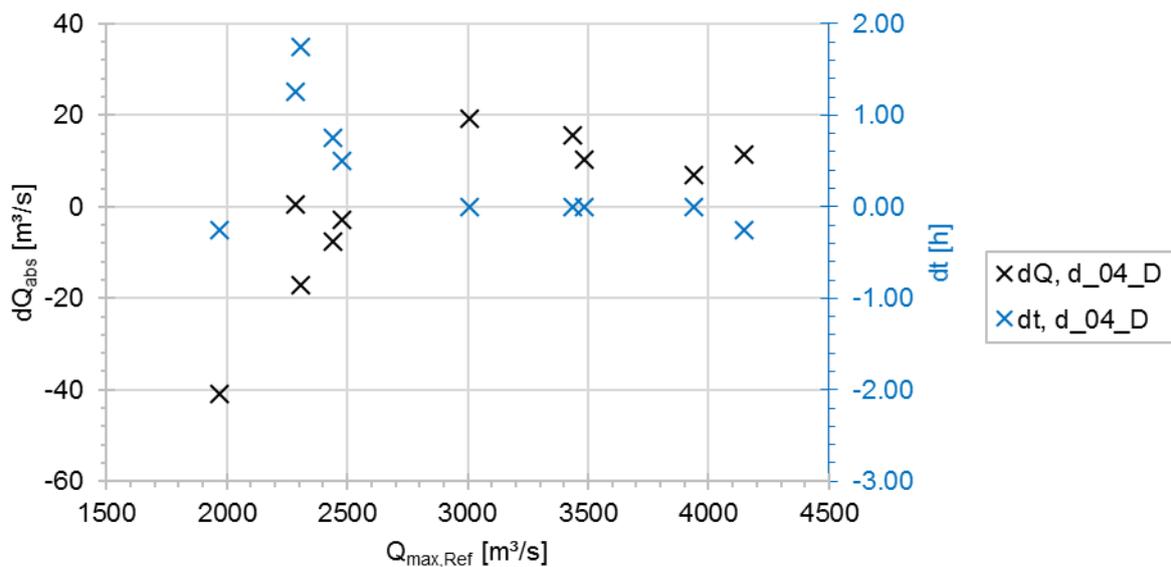


Abbildung 123: Scheiteländerungen dQ und dt durch die DRV d_04_D am Pegel BGHA

Für den Pegel PING werden alle drei DRV gemeinsam dargestellt. Die absoluten Scheitelveränderungen durch die DRV d_04_D bewegen sich hier weitgehend zwischen -10 und 10 m^3/s , mit in einem Fall einer größeren Scheitelerhöhung um 36 m^3/s . Die Ankunftszeiten der Wellenscheitel schwanken hier zwischen etwa 0,5 h früher und 0,5 h verzögert, damit haben die DRV auf diese keinen maßgebenden Einfluss. Durch die DRV a_13_D setzen sich die Scheitelreduktionen des oberen Abschnitts vor der Salzmündung durchweg fort und bis auf zwei

Ausnahmen erhöht sich die absolute Scheitelreduktion sogar. Diese beiden sind salzachbetonte Ereignisse, bei denen die Wirkung der DRV a_13_D stärker überprägt wird. Die verbesserte Wirkung für die anderen 8 Ereignisse am Pegel PING liegt an der leichten Wellenverzögerung des Inns, die zu einer geringeren Überlagerung mit der Hochwasserwelle der Salzach führt. Im Vergleich dazu bewirkt der Standort d_04_D keine Verschlechterung der Situation unterhalb der Mündung, da die zunächst angenommene ungünstigere Überlagerung durch eine Wellenverzögerung der Salzach nicht in dem Maße stattfindet. Wie anhand des Pegels BGHA beschrieben, ist eine scheitelverändernde Wirkung durch d_04_D bei großen Ereignissen schwach ausgeprägt. Beschleunigende oder verzögernde Effekte stellen sich am Pegel PING praktisch nicht ein. Die Zeitpunkte des Eintreffens der Hochwasserscheitel sind maximal 0,75 h früher oder später.

Deutlich anders wirkt c_12_D auf die Hochwasserwelle des Inns. Ab einem Abfluss von etwa 4.000 bis 4.500 m³/s ist die Aktivierung des Rückhalteriums in den Abflussganglinien deutlich erkennbar. Die scheitelreduzierende Wirkung am Pegel PING nimmt allerdings mit zunehmenden Abflüssen bis auf null ab. Bis zu Ereignissen mit Abflussscheiteln im Bereich HQ₃₀ können die Scheitel zwischen 110 und 60 m³/s reduziert werden. Durch die erwähnte Ausleitung durch die Deichöffnung und die sich einstellende Parallelströmung zum Inn hinter dem linken Stauhaltungsdamm wird zunächst eine deutliche Entzerrung der Wellen erreicht. Allerdings trifft diese Parallelströmung bei extremen Abflüssen auf die sich von unterstrom der Staustufe Schärding ausbreitende Überflutung. Damit wird wohl diese natürliche Retention abgeschwächt und führt im Ergebnis zu höheren Scheitelabflüssen am Pegel PING (siehe z. B. Ereignis 4904).

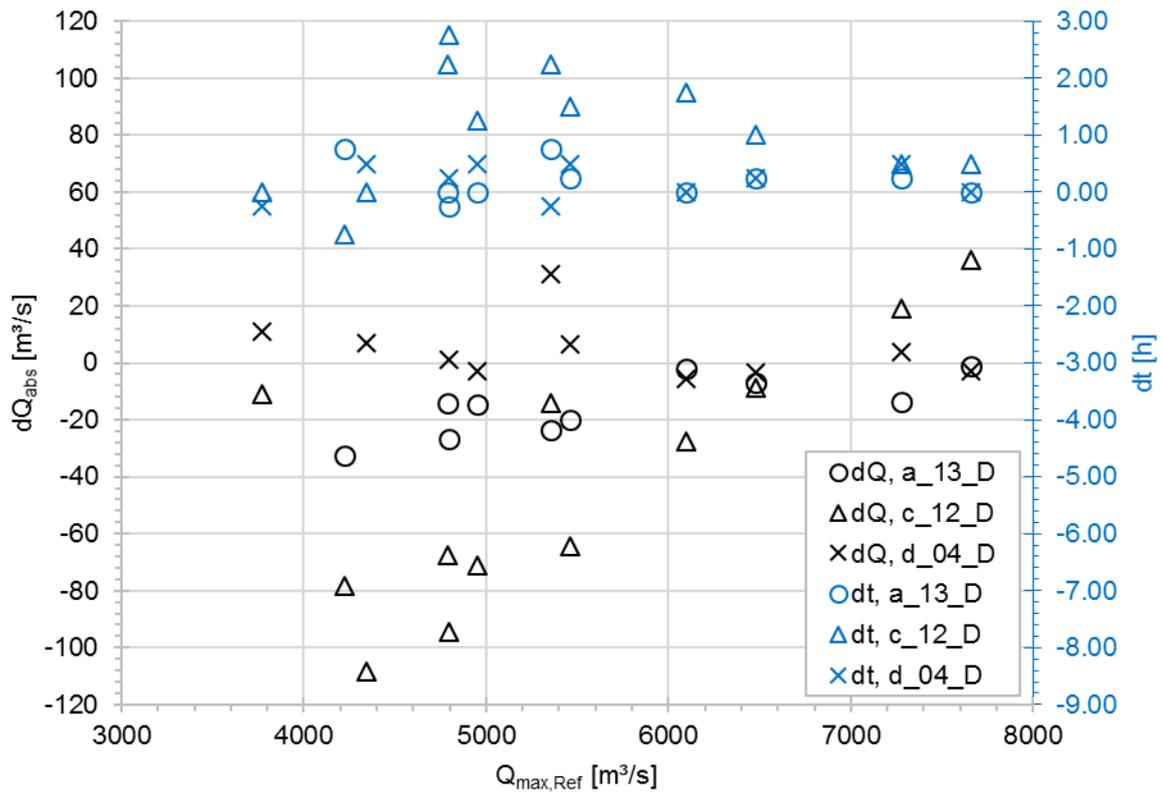


Abbildung 124: Scheiteländerungen dQ und dt durch die DRV a_{13_D} , c_{12_D} und d_{04_D} am Pegel PING

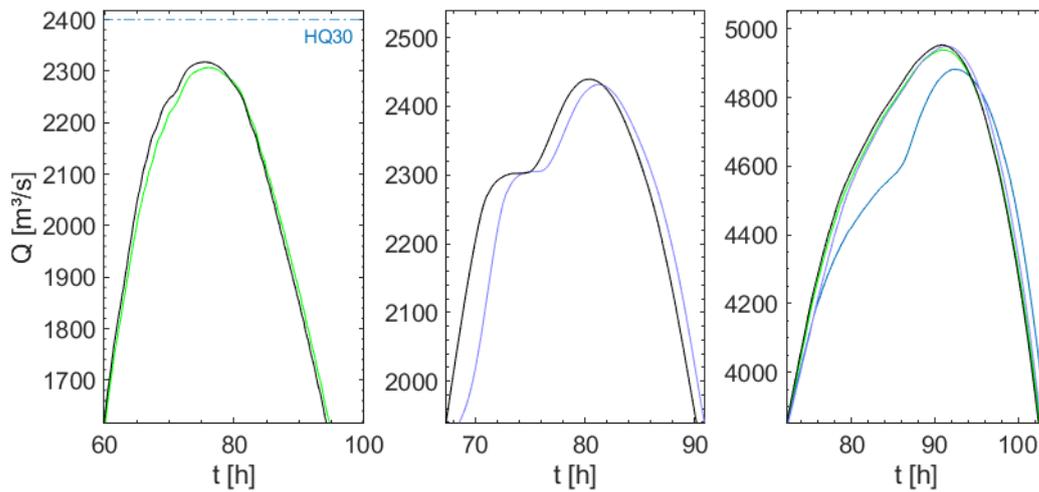
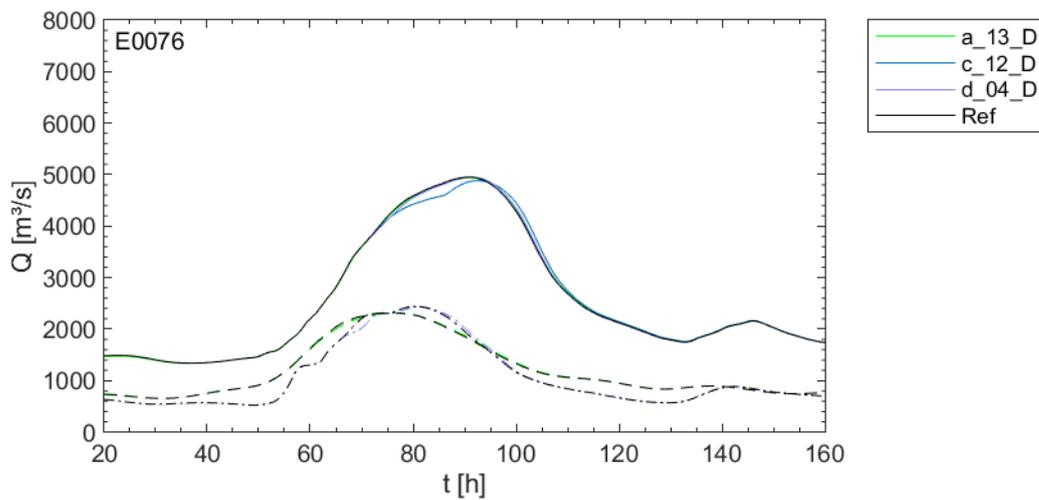


Abbildung 125: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 0076. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

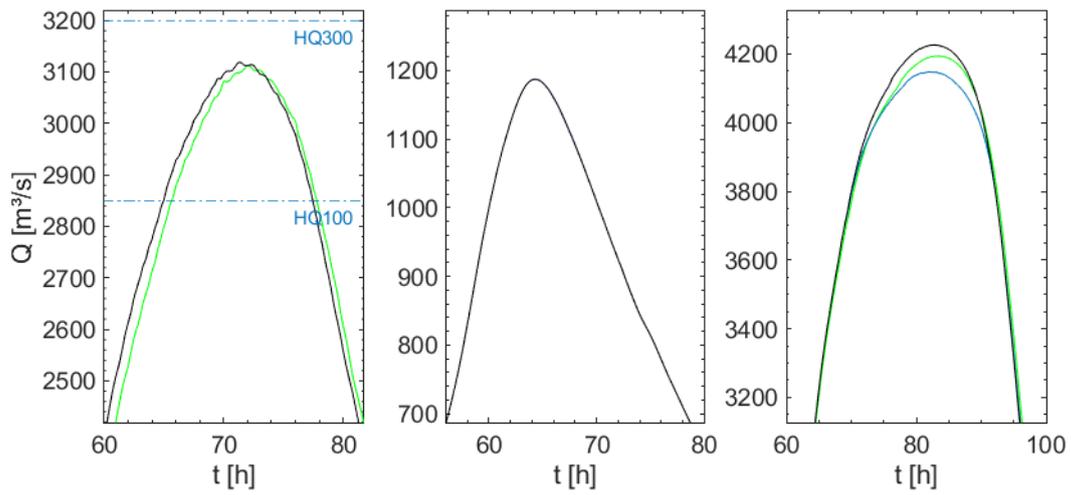
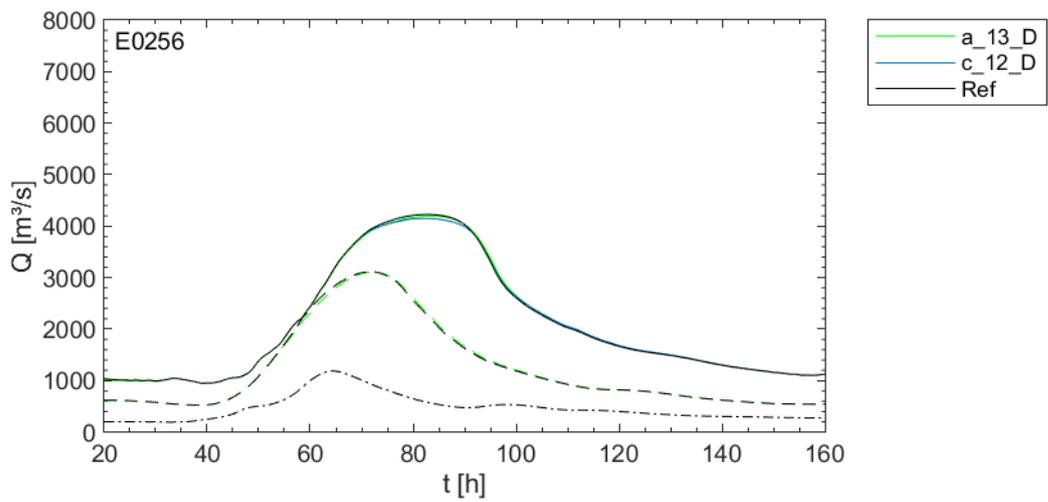


Abbildung 126: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 0256. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

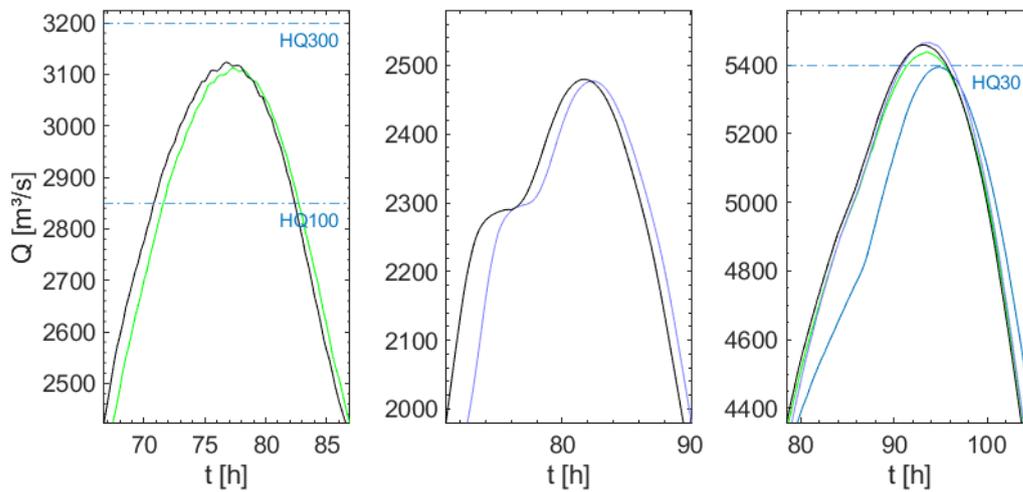
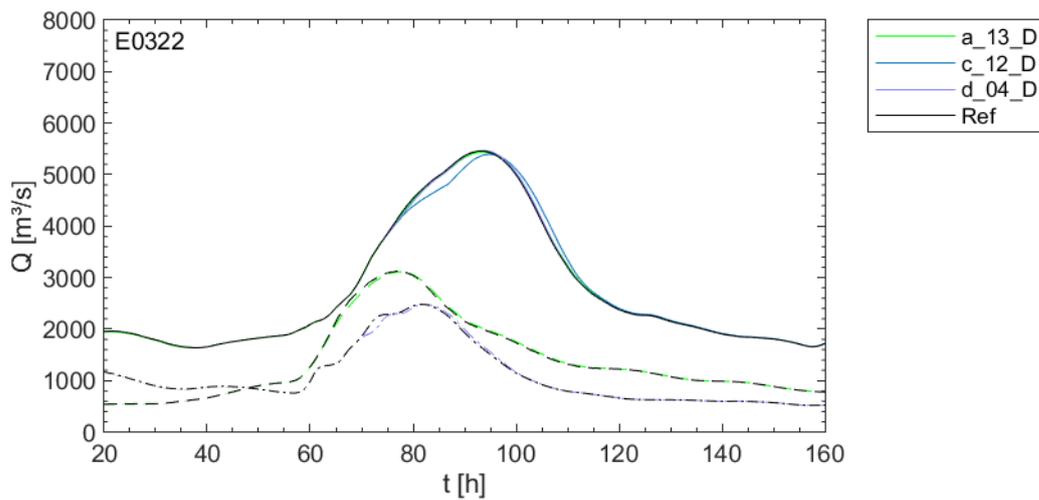


Abbildung 127: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 0322. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

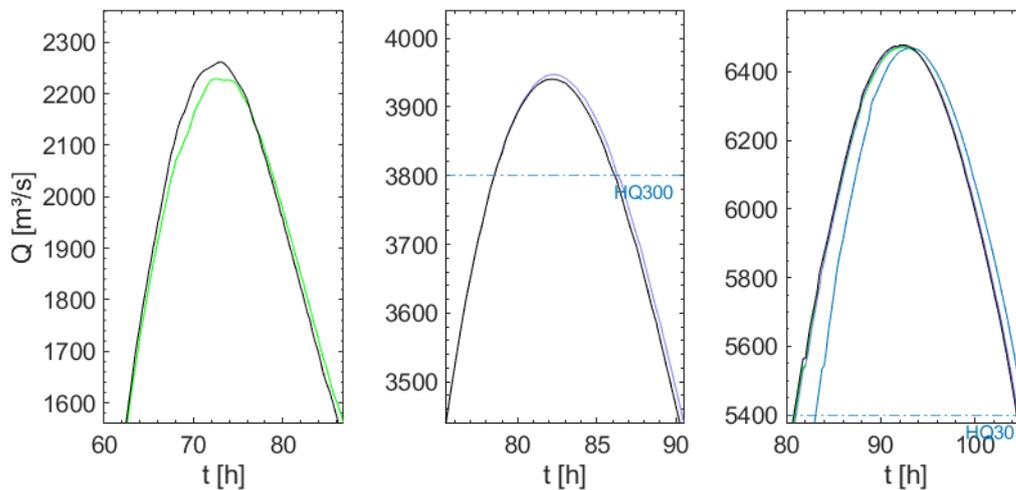
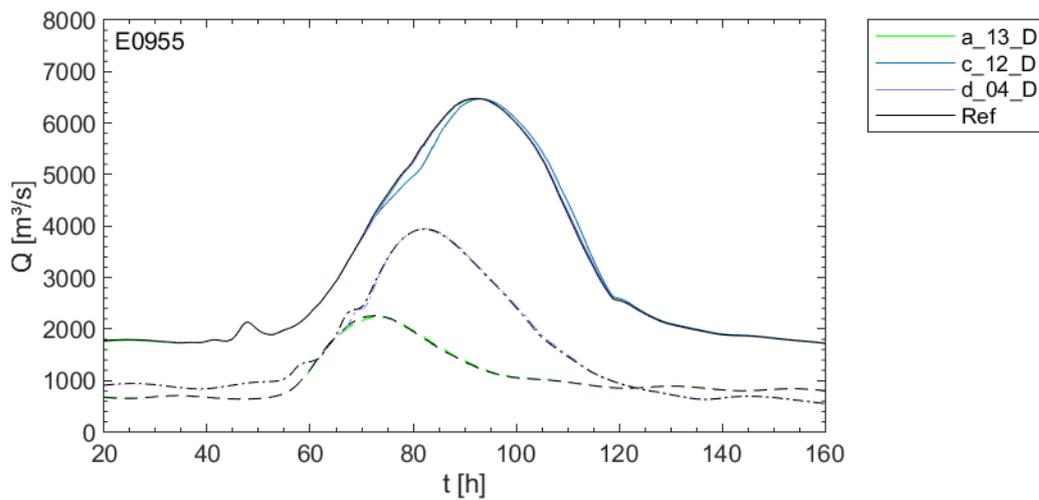


Abbildung 128: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 0955. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

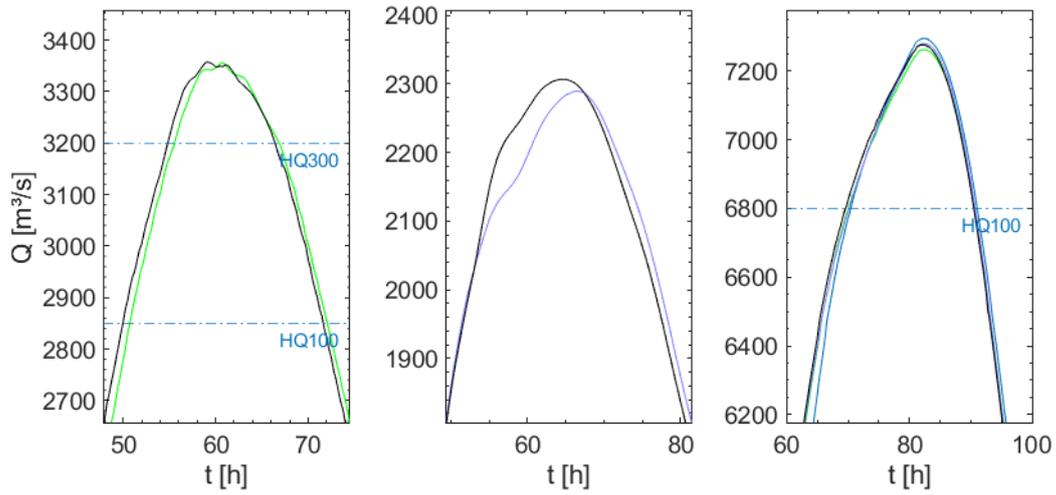
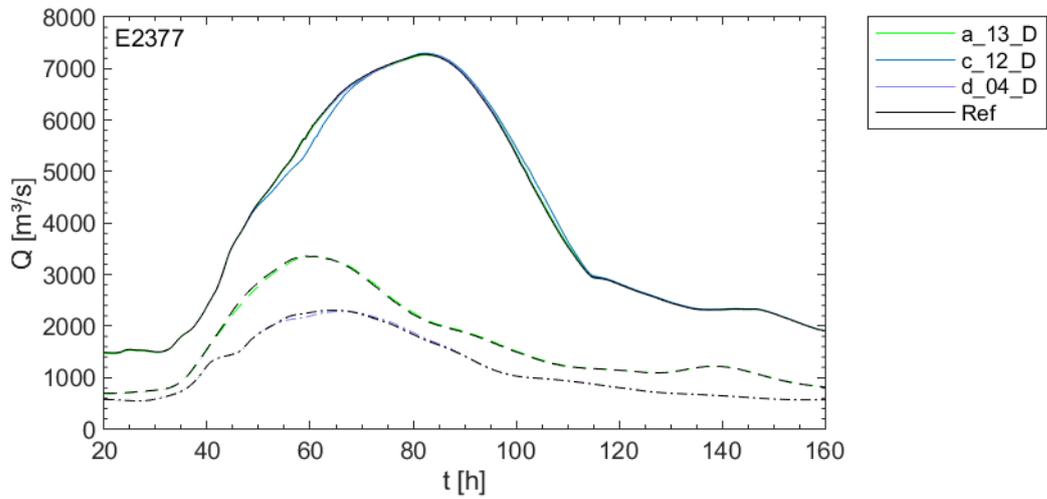


Abbildung 129: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 2377. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

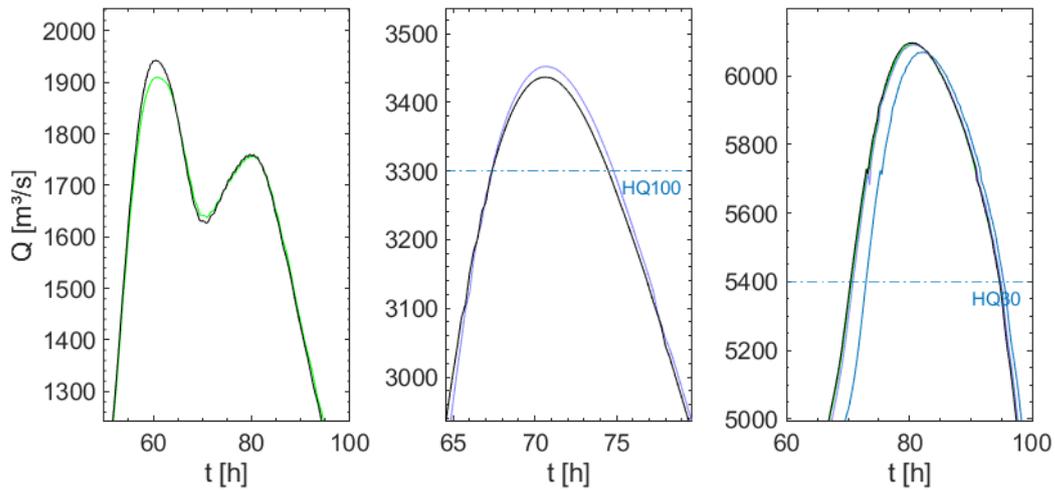
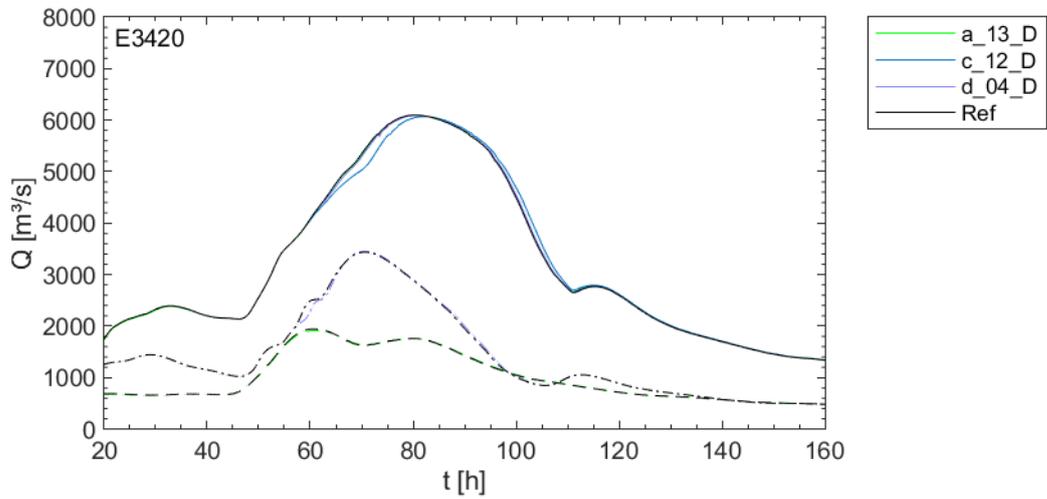


Abbildung 130: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 3420. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

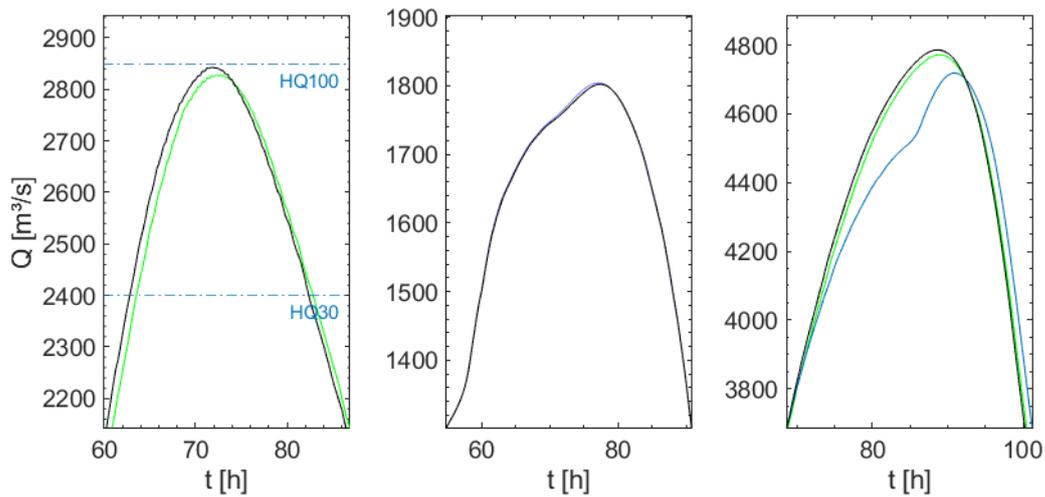
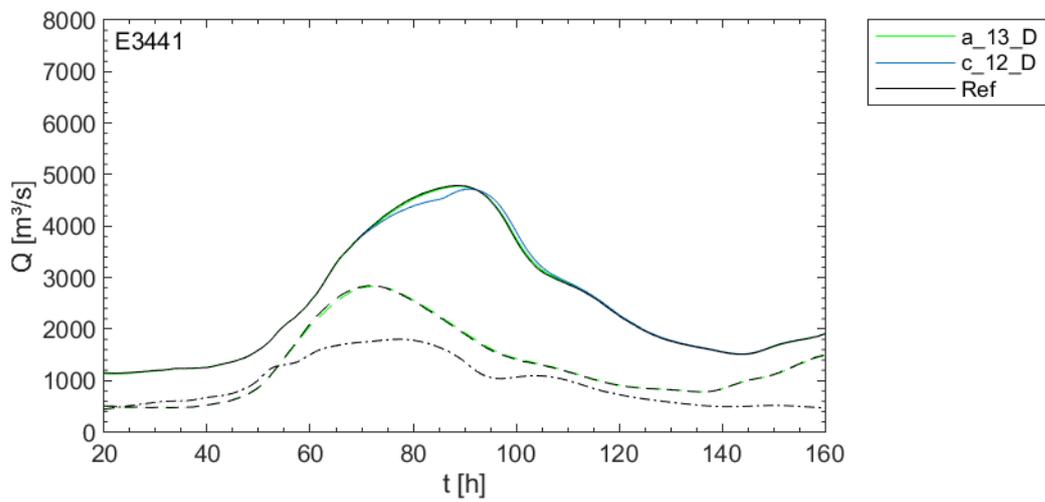


Abbildung 131: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 3441. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

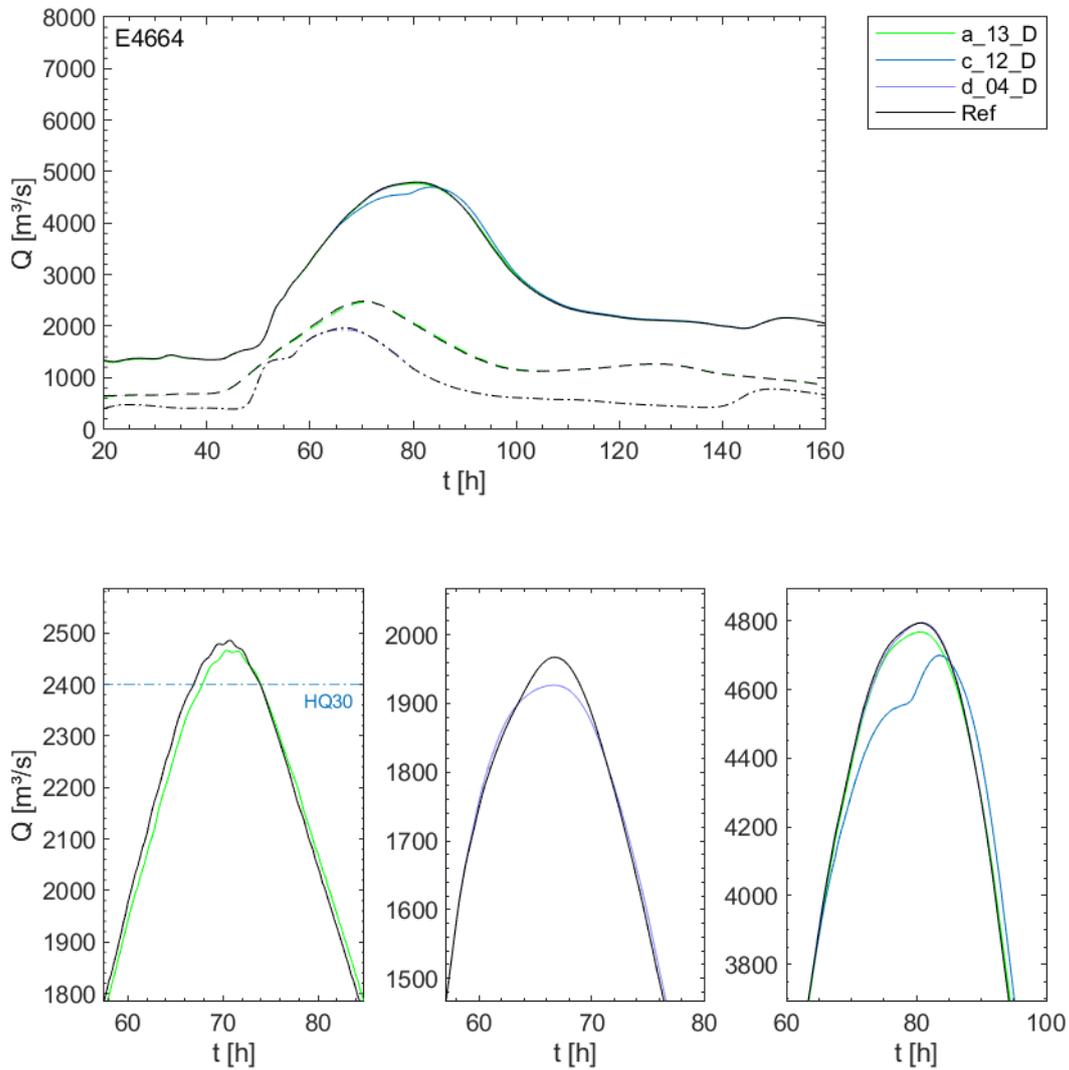


Abbildung 132: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 4664. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

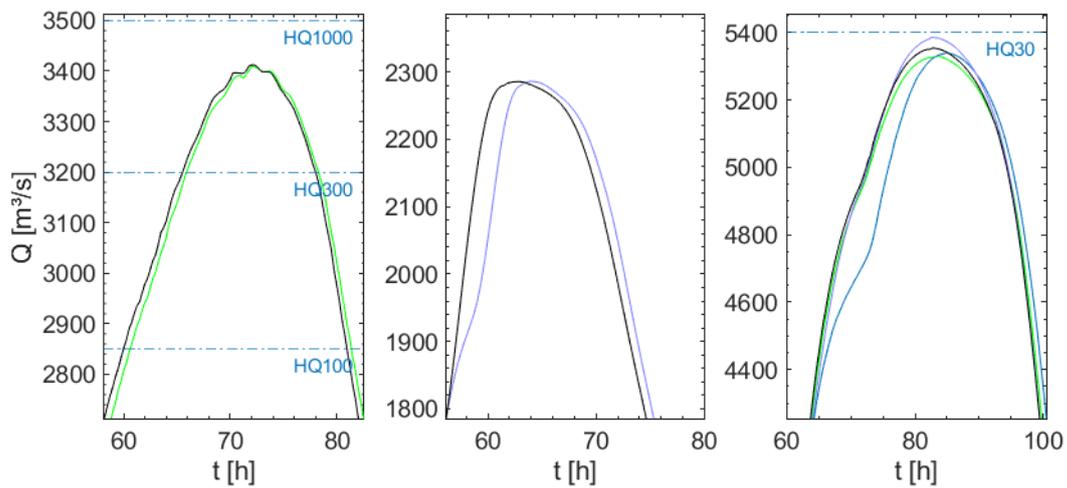
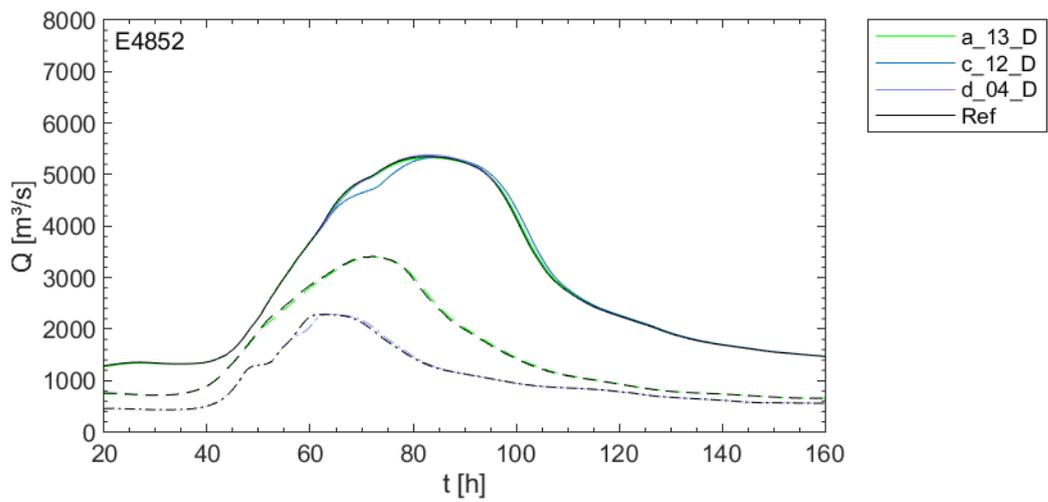


Abbildung 133: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 4852. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

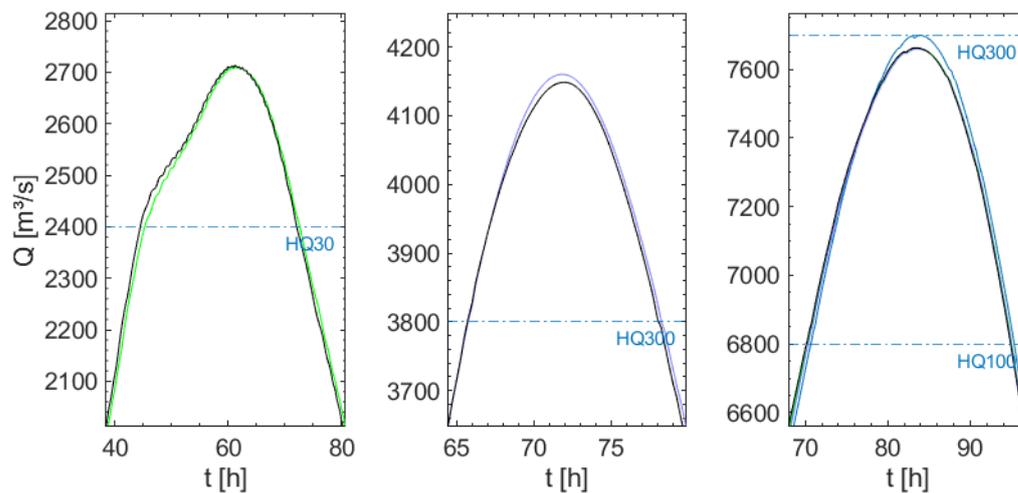
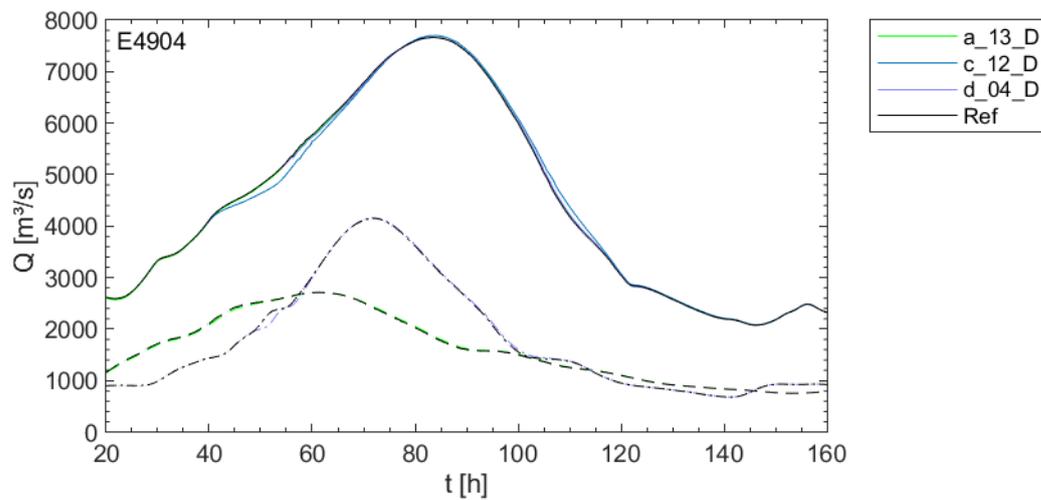


Abbildung 134: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 4904. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

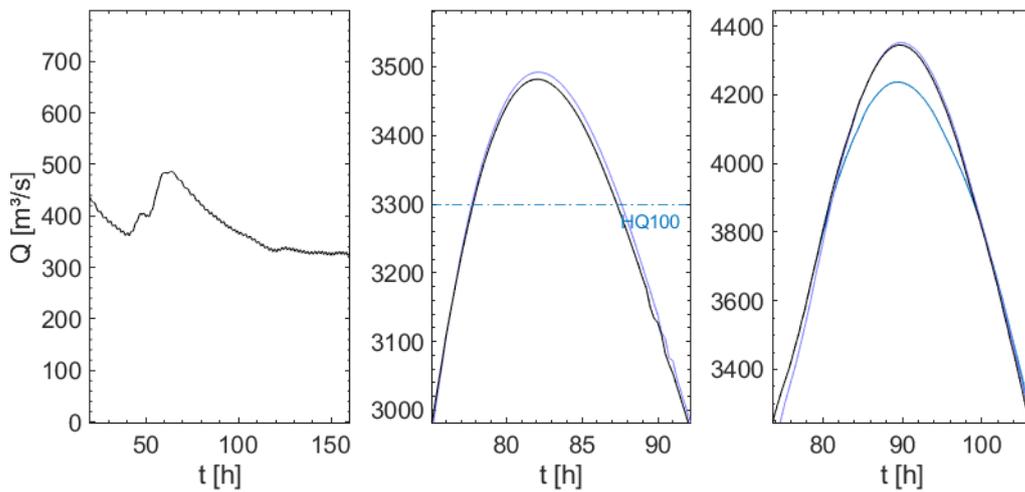
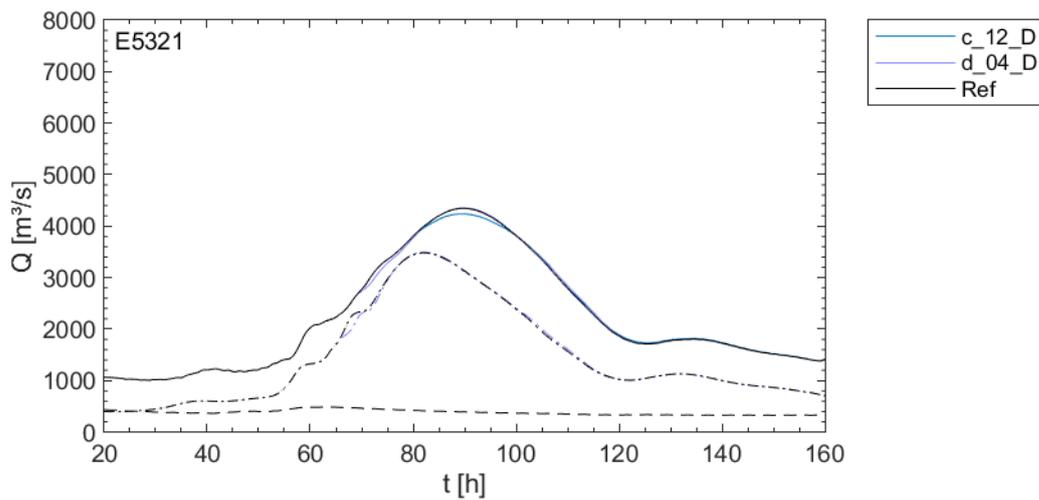


Abbildung 135: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 5321. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

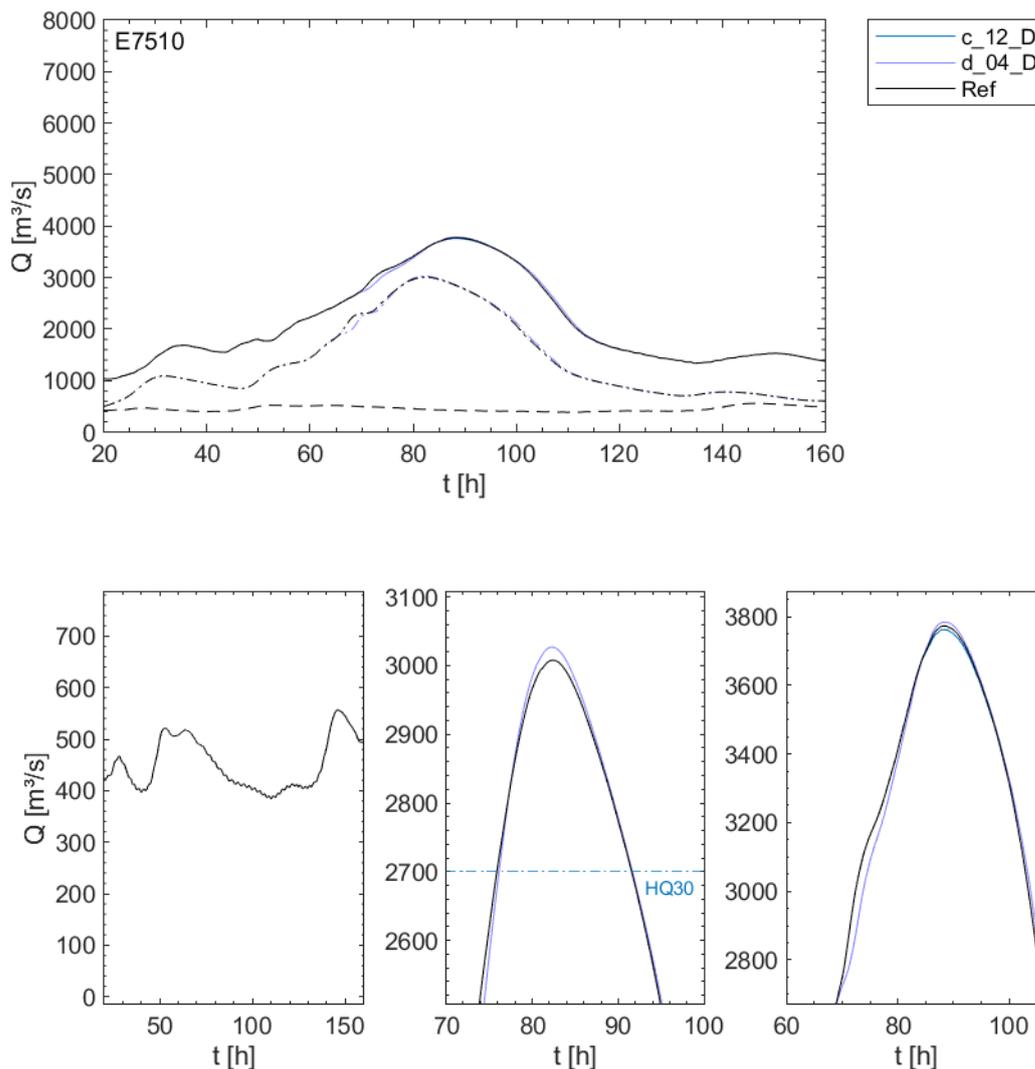


Abbildung 136: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 7510. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING

8.5. Wirkungen der DRV im Längsschnitt am Inn

Auch für die Varianten DRV wurden wie bei den RHR Längsschnitte erstellt. Beispielhaft zeigt Abbildung 137 ein Ereignis der Größenordnung $HQ_{20} - HQ_{30}$ in PING (Ereignis 0322), welches ingeprägt mit etwa $HQ_{200} - HQ_{300}$ in WABG ist. Die Wirkung von a_{13_D} ist bei diesem großen Ereignis praktisch nicht zu erkennen. Die reduzierende Wirkung der DRV c_{12_D} auf den Abflussscheitel kann lokal sehr groß sein, geht aber beim unterstromigen Ende der Maßnahme wieder stark zurück. Da in diesem Ereignis der Hochwasserscheitel der Salzach dem des Inns vorausläuft, hat die leicht verzögernde Wirkung der DRV d_{04_D} bei geringeren Ereignissen hier eine negative Wirkung auf den Scheitel unterhalb der Salzachmündung. Relativ beträgt

die Scheitelerhöhung etwa 1 bis 0,6 %. Zwei Längsschnitte der Salzach zeigen die Veränderungen der Wasserspiegellage in der Flussachse durch die DRV d_04_D (Abbildung 138 und Abbildung 139) im Vergleich mit den Reduktionen durch die gesteuerten Varianten d_04_B und d_05_B. Das Ereignis 0322 hat eine Jährlichkeit von etwa $HQ_{30} - HQ_{50}$ und das Ereignis 5321 von etwa $HQ_{100} - HQ_{300}$ am Pegel BGHA. Wie zu erwarten, führt die DRV zwar lokal im Bereich der Maßnahme zu größeren Wasserspiegelsenkungen als die Flutpolder am selben Standort, hat aber unterstrom keine oder nur sehr geringe Wirkung

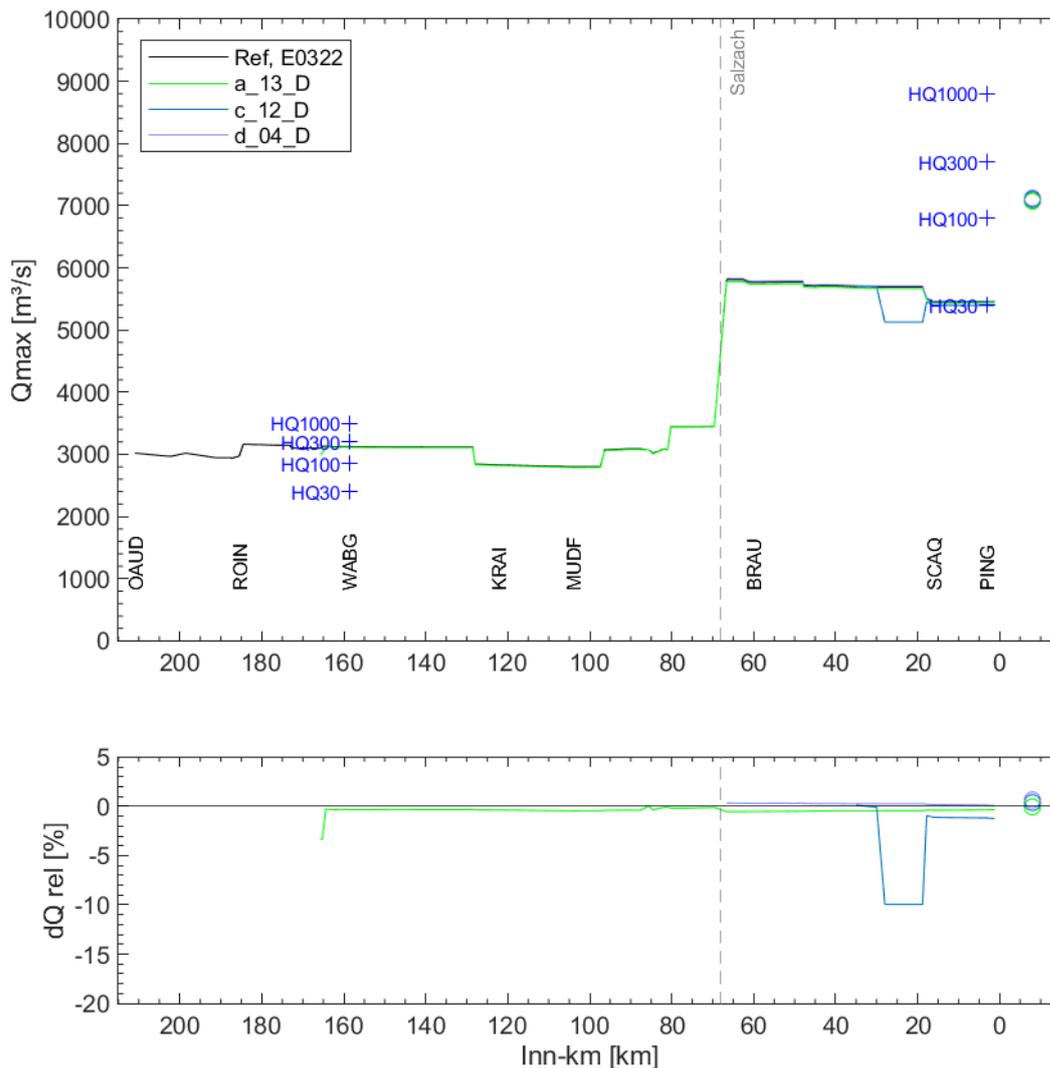


Abbildung 137: Längsschnitt der Scheitelabflüsse für DRV entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 0322

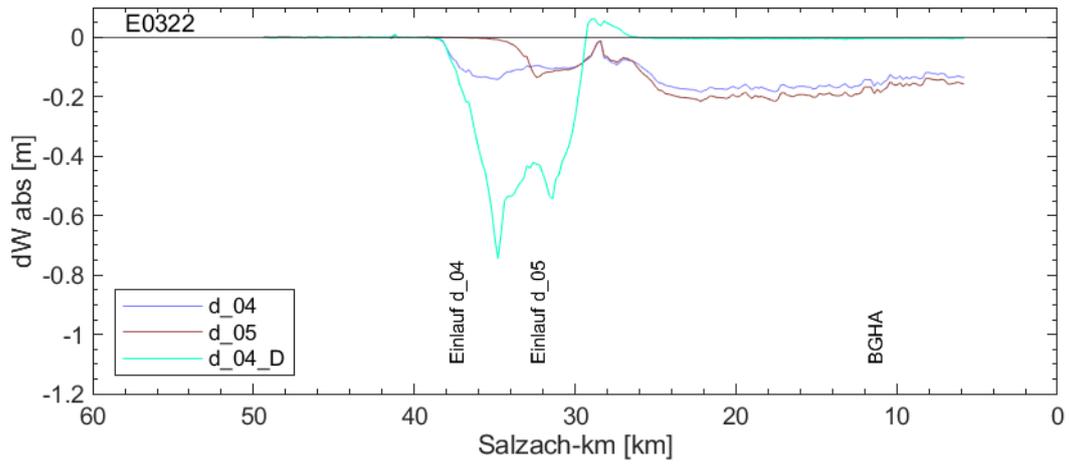


Abbildung 138: Längsschnitt der Wasserspiegelreduktionen entlang der Salzach bei Einsatz gesteuerter RHR (d_04 und d_05) und bei einer DRV d_04_D für das Ereignis 0322

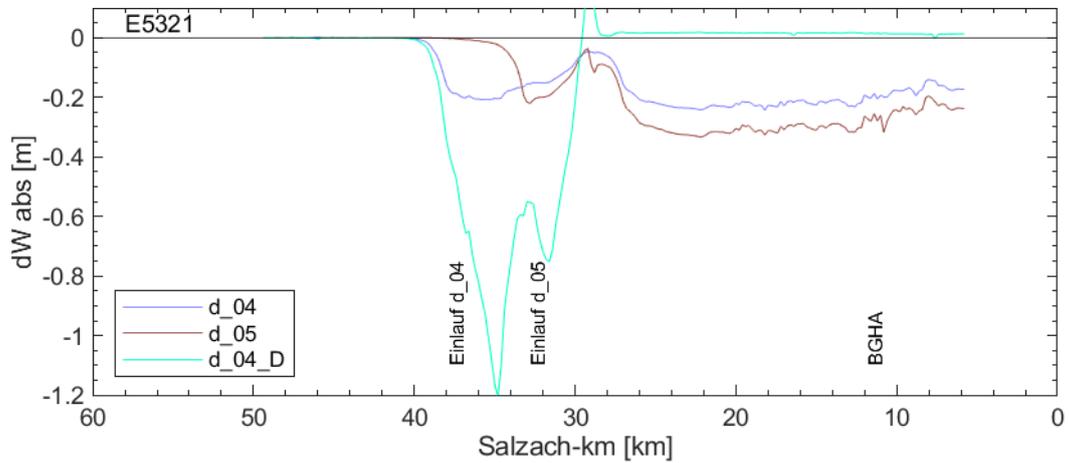


Abbildung 139: Längsschnitt der Wasserspiegelreduktionen entlang der Salzach bei Einsatz gesteuerter RHR (d_04 und d_05) und bei einer DRV d_04_D für das Ereignis 5321

9. Möglichkeiten und Auswirkungen von Alternativen zur lokal optimierten Steuerung hinsichtlich Wellenbeeinflussung

Hinsichtlich der Wellenbeeinflussung im Projektgebiet werden nachfolgend einige Aspekte mit weiteren beispielhaften Simulationen aufgezeigt und mit vorher vorgestellten Ergebnissen zum lokal optimierten Einsatz der RHR eingeordnet. Unter Wellenbeeinflussung werden in diesem Kontext allgemein Maßnahmen zur Veränderung des Hochwasserwellenablaufs verstanden, also Veränderungen der Wellengeschwindigkeit und der Scheitelabflüsse (Scheitelminderung) lokal, regional und überregional. Diese zusätzlichen Betrachtungen zu Alternativen zur lokal optimierten Steuerung mit Flutpoldern umfassen die Wellenbeeinflussung durch angepasste Staustufensteuerung (Kapitel 9.1), durch überregionale Steuerung der Flutpolder (Kapitel 9.2), durch Steuerung auf Zeitgewinn (Kapitel 9.3) und ungesteuerte Rückhalteräume (Kapitel 9.4). Zu beachten sind dabei Rahmenbedingungen wie die Überlagerungen mit Wellen seitlicher Zuflüsse und mit der Donau, die Güte der Hochwasserprognose, die Verteilung von Schadenpotentialen entlang des Flusses sowie den vorhandenen Schutzgraden.

9.1. Beeinflussung der Wellengeschwindigkeit

Grundsätzlich wirkt sich eine Veränderung der Wellengeschwindigkeit auf die Überlagerung der Hochwasserwellen von Hauptgewässer und Zuflüssen aus und kann diese gegebenenfalls günstig beeinflussen. Hinsichtlich einer scheitelreduzierenden Wirkung an der Mündung des Inns in die Donau ist eine Scheitelbeschleunigung der Innwelle gegenüber der i.d.R. nachlaufenden Donauwelle wünschenswert. Im weiteren Verlauf sind allerdings solche inngprägten, dann beschleunigten Hochwasserwellen der Donau im Hinblick auf weitere seitliche Zuflüsse, wie beispielsweise die meist vorauslaufenden Hochwasserwellen der Traun und Enns, nicht sinnvoll.

Zu untersuchen ist, ob durch ein gezieltes Staustufenmanagement im Hochwasserfall, also die Veränderung der Stauwasserspiegel in den Stauräumen am Inn während des Scheiteldurchgangs, zum einen eine Scheitelreduktion ähnlich einer Scheitelkappung (siehe Teilprojekt C) erreicht und zum anderen auch die Transportgeschwindigkeit der Hochwasserwellen beeinflusst werden kann. Im Rahmen von TP D wurde zu Letzterem eine beispielhafte Simulation durchgeführt, um das Potential einer Beeinflussung der Wellengeschwindigkeit abschätzen zu können. Dazu wurde während der gesamten Simulationsdauer das Stauziel an allen Staustufen um 1 m erhöht beziehungsweise um 1 m verringert, wodurch sich Wellenbeschleunigungen oder -verzögerungen von etwa bis zu einer Stunde und nur in Abflussbereichen bis unter

HQ₁₀₀ ergaben. Angesichts der sehr großen Änderungen zum heutigen Stauziel ist das Potential hier als gering einzuschätzen und wurde dementsprechend nicht weiter untersucht. Diese Untersuchung mit fiktiven geänderten permanenten Stauzielen sind aber nicht gleichzusetzen mit den Untersuchungen zu einem gezielten Staustufenmanagement mit Vorabsenkung und Wiederaufstau bei Scheiteldurchgang, wie sie im TP C erfolgt sind.

Gesteuerte Rückhalteräume im Nebenschluss können die Wellengeschwindigkeit nur bedingt direkt oder indirekt beeinflussen. Mit einer angepassten Flutpoldersteuerung könnte man höchstens im an- oder abfallenden Ast mithilfe einer konstanten Abgabe in den RHR einen Abflussanteil entnehmen. In Kapitel 9.2 wird eine abgeschwächte Form einer solchen Steuerung vorgestellt, allerdings ist daraus keine Beeinflussung der tatsächlichen Geschwindigkeit zu erkennen. Die Auswirkungen auf die Hochwasserwellen betreffen daher weitgehend die Scheitelreduktion, die in der Einzelwirkungsanalyse von Flutpoldern und Deichrückverlegungen (Kapitel 7 und 8) betrachtet wurde.

9.2. Lokal optimierter und überregionaler Einsatz mit robuster Steuerung der Flutpolder

In der Einzelwirkungsanalyse (Kapitel 7) war das Ziel der Flutpoldersteuerung eine lokal optimierte (möglichst horizontale) Scheitelreduktion der Hochwasserwelle. Vor dem Hintergrund der nötigen Flexibilität einer Maßnahme zur Reaktion auf unterschiedliche Hochwassergenesen, der unterschiedlich verteilten Schadensschwerpunkte entlang des Inns, der kurzen Reaktionszeit des Einzugsgebiets und der damit einhergehenden Unsicherheit der Hochwasserprognose ist es notwendig, auch alternative Konzepte zur lokal optimierten Steuerung von Flutpoldern zu betrachten. Dazu ist je nach Hochwasserereignis zu unterscheiden zwischen einer lokal wirksamen Steuerung und einer Steuerung, deren Effekt sich erst weiter unterstrom – bspw. nach einem seitlichen Zufluss – voll auswirkt. Die RHR werden dabei jeweils ereignisbezogen gesteuert. Insbesondere bei Einsatz von RHR, welche auf weiter entfernt liegende Punkte optimiert werden sollen, muss die grundsätzlich größere Prognoseunsicherheit (längerer Prognosehorizont) und resultierende mögliche Fehlsteuerung der Flutpolder berücksichtigt und Möglichkeiten für ein resilientes Hochwasserschutzsystem aufgezeigt werden. Darunter fallen v.a. auch überlastfähige Maßnahmen oder Maßnahmen, die in (fast) jedem Fall eine Wirkung hervorrufen, wenn auch eventuell nur suboptimal (bezogen bspw. auf ein ereignisabhängiges Reglement). Dazu zählen beispielsweise ungesteuerte Rückhalteräume oder auch Notüberlaufräume mit Aktivierung über dafür vorgesehene – aber ohne steuerbaren Elementen ausgestattete – Einlaufbauwerke. Eine weitere Maßnahme kann die Errichtung von erodierbaren Deichen (siehe Kapitel 9.4) sein.

Aufgrund der hydrologischen Varianz der verwendeten stochastisch generierten Ereignisse wurden Simulationen sowohl mit inn- als auch salzsch geprägten Hochwasserereignissen durchgeführt. In den Einzelwirkungsanalysen zeigte sich, dass die Flutpolderwirkung dabei von diesen Überlagerungen beeinflusst werden kann. Deshalb wurde untersucht, inwieweit eine andere Steuerung als die lokal optimierte, horizontale Kappung die Situation unterstrom des Zusammentreffens der Wellen verbessern kann. Dies wird nachfolgend als „vorgeschaltete Steuerung“ auf einen seitlichen Zufluss bezeichnet und könnte z. B. für den Fall, dass ein lokal optimierter Einsatz des Flutpolders nicht erforderlich ist, zielführend sein.

Dazu wurde beispielhaft der potentielle RHR a_08_A, welcher am Inn oberhalb der Salzschmündung auf Rang 1 in der Priorisierung liegt, verwendet. Für diesen Standort ist auch – bspw. im Gegensatz zum Standort a_13_B – eine Füllung bei niedrigeren Abflüssen möglich, da das Einlaufbauwerk im staubeeinflussten Bereich angeordnet werden kann. Untersucht wurde dabei eine robuste Steuerung, welche im Vergleich zur lokal optimierten Kappung, die auf verlässliche Vorhersagen angewiesen ist, relativ leicht umzusetzen ist. Dazu wurde der Flutpolder mit einem konstanten Zufluss von 300 m³/s befüllt, bis das Rückhaltevolumen aufgebraucht ist, also nach etwa 16 Stunden. Zum Vergleich betrug der maximale Zufluss in der Einzelwirkung für den potentiellen RHR a_08_A etwa 450 m³/s.

Es wurden zwei Steuerungen für die zehn Ereignisse über HQ₅ durchgeführt: eine Steuerung „r1“ mit beginnender Flutung des Polders 12 h vor dem Scheitel und Ende daher 4 h nach Scheiteldurchgang der Inn-Welle am Standort und eine Steuerung „r2“ mit Beginn der Flutung 4 h vor Eintreffen des Scheitels und Beendigung 12 h danach (Abbildung 140). Die Annahme dahinter ist, dass mit den unterschiedlichen zeitlichen Verschiebungen gegebenenfalls auf verschiedene Szenarien des Zusammentreffens von Inn- und Salzschwelle reagiert werden kann und der Zeitpunkt des Eintreffens des Scheitels in der Vorhersage etwas besser einzugrenzen ist als die Höhe des Abflusses und Wasserstands, welche für eine optimale Steuerung nötig ist. Mit dieser vorgeschalteten Steuerung soll der Flutpolder vor allem unterstrom der Salzschmündung wirken. Unmittelbar unterstrom des Flutpolders wird zwar auch der Scheitel reduziert, allerdings nicht optimal. Trifft der vor allem im ansteigenden Ast (bei r1) reduzierte Abfluss auf vorauslaufende Salzschwellen beziehungsweise der vor allem im absteigenden Ast (r2) reduzierte auf nachlaufende Salzschwellen, ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass sich der geringere Abflussanteil im Inn vorteilhaft mit den Abflüssen der Salzsch überlagert. Die Entscheidung zu r1 oder r2 muss in Realität aufgrund der Hochwasserprognose ereignisabhängig getroffen werden, nachfolgend werden aber im Sinne einer Sensitivitätsuntersuchung beide Steuerungen für alle Ereignisse gezeigt.

In Abbildung 141 (erste fünf Ereignisse) und Abbildung 142 (zweite fünf Ereignisse) werden die Abflussganglinien des Inns mit und ohne Einsatz des Flutpolders a_08_A im Querschnitt

ITM vor der Mündung der Salzach, die Welle der Salzach, sowie die resultierenden Abflussganglinien am Pegel PING gezeigt. Je nachdem, ob der Inn vor oder nach der Salzach an der Mündung eintrifft, hat r1 oder r2 eine bessere Wirkung unterstrom.

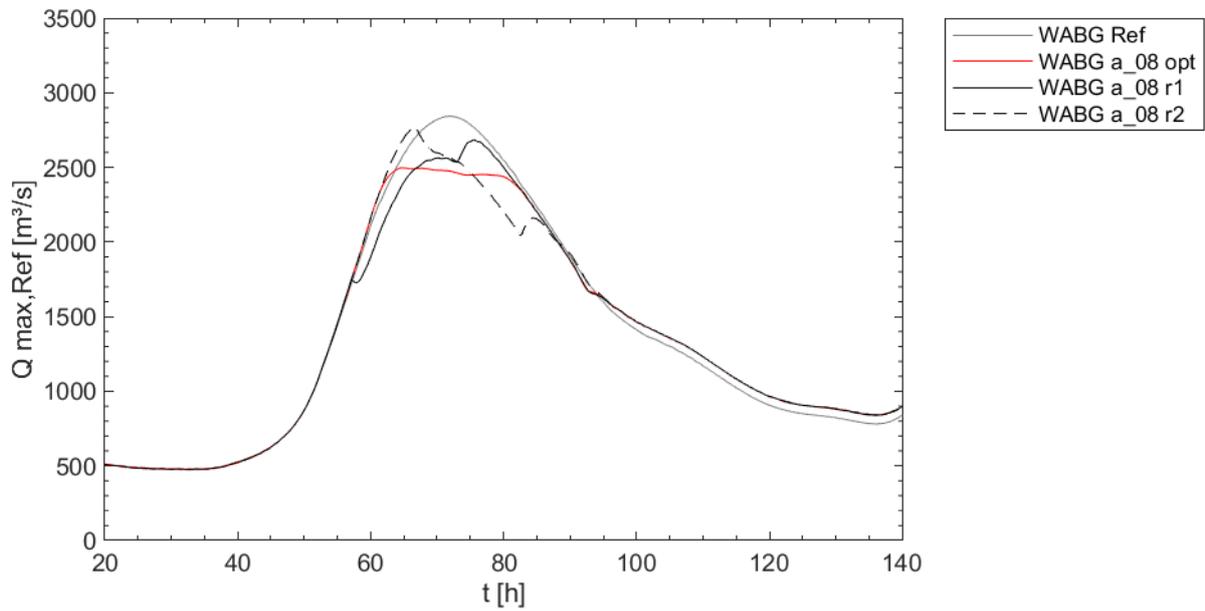


Abbildung 140: Beispiel für eine lokal optimierte und mögliche vorgeschaltete Steuerungen von a_08_A auf den Abschnitt unterstrom der Salzach; Abflussganglinien am Pegel WABG beim Ereignis 3441

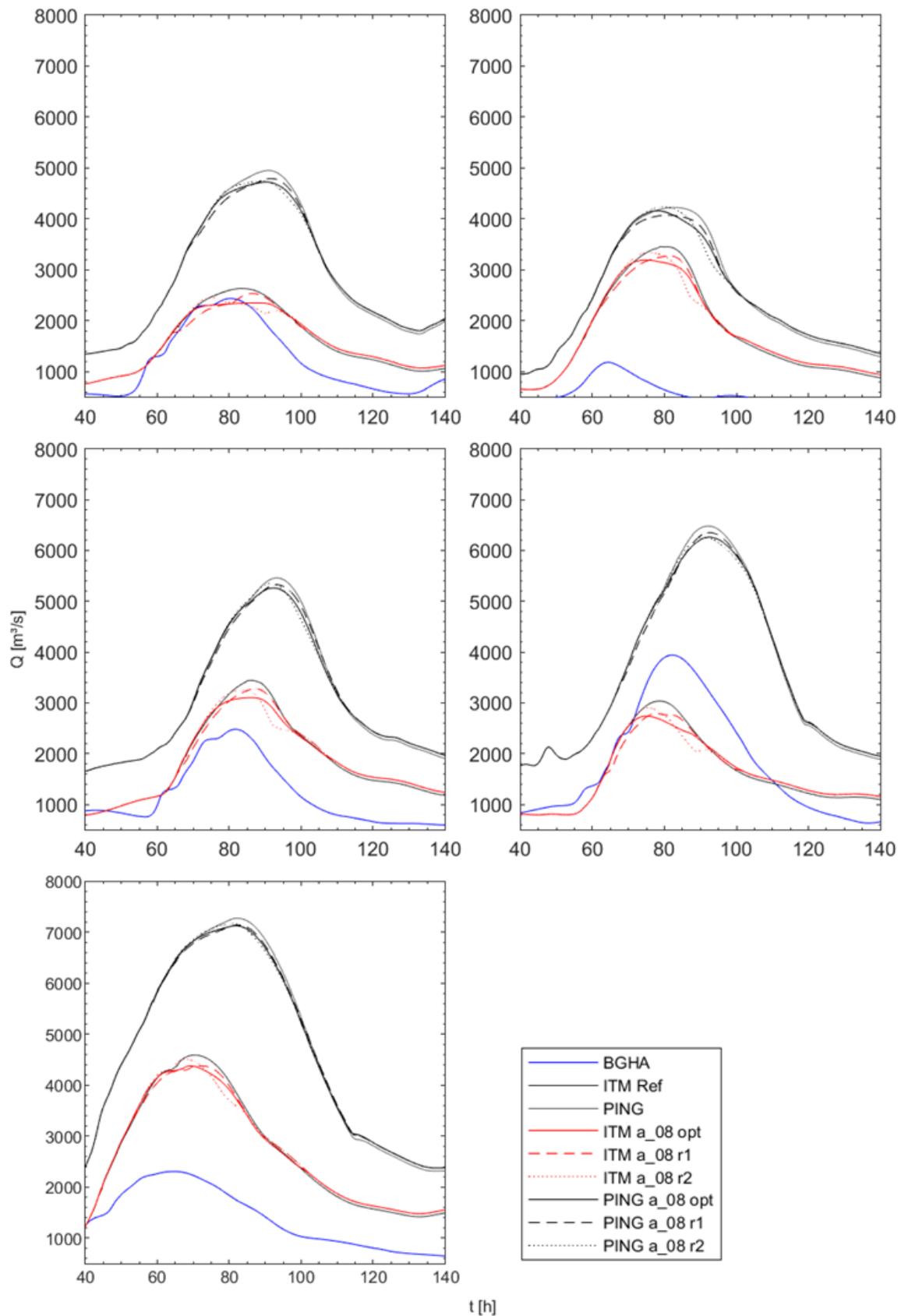


Abbildung 141: Abflussganglinien mit lokal optimierter (opt) und auf den Abschnitt unterstrom der Salzach vorgeschalteter Steuerung (r1, r2) durch den Flutpolder a_08_A vor und nach der Mündung der Salzach, Wellen 1-5 (von links oben nach rechts unten: E0076, E0256, E0322, E0955, E2377)

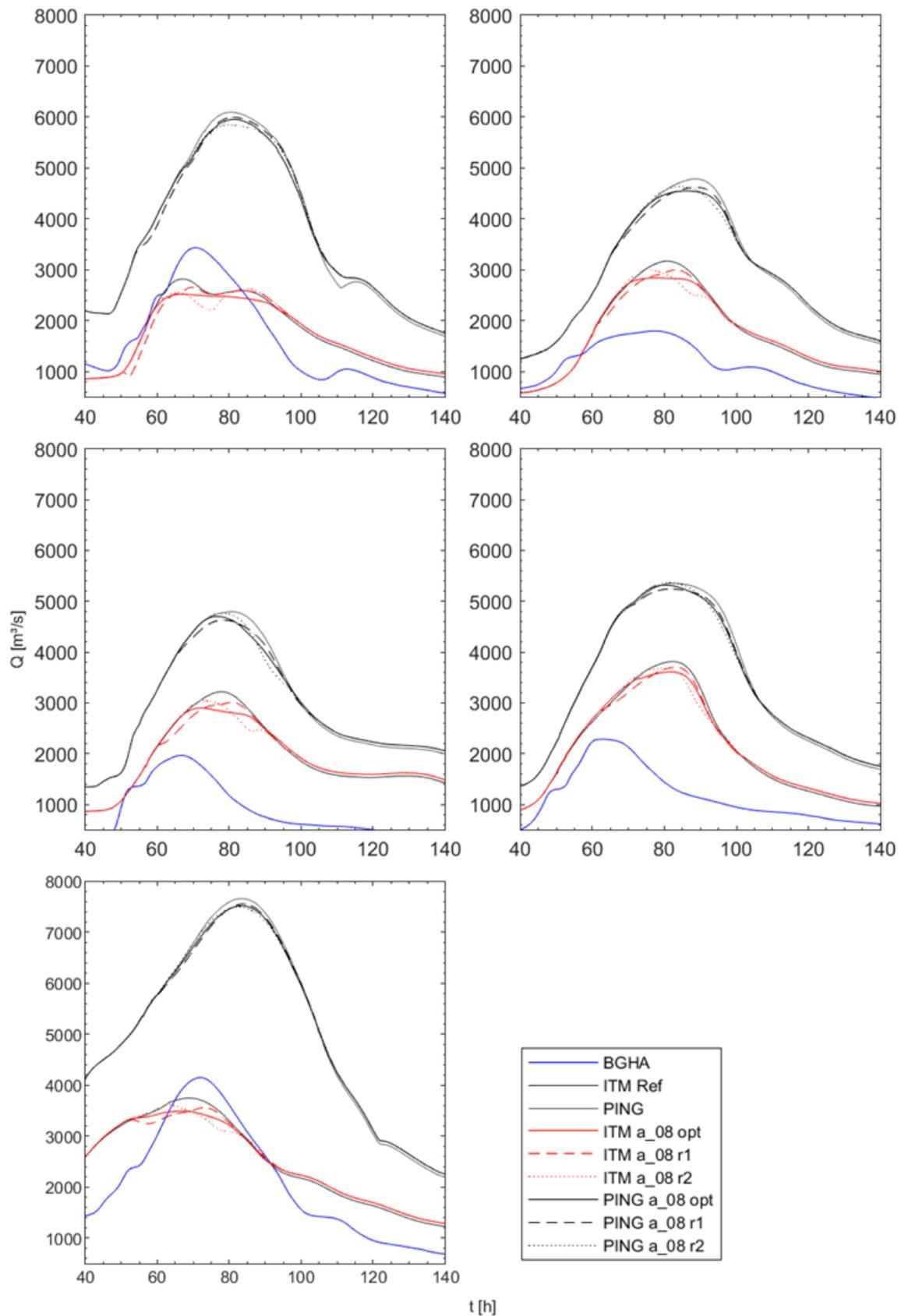


Abbildung 142: Abflussganglinien mit lokal optimierter (opt) und auf den Abschnitt unterstrom der Salzach vorgeschalteter Steuerung (r1, r2) durch den Flutpolder a_08_A vor und nach der Mündung der Salzach, Wellen 6-10 (von links oben nach rechts unten: E3420, E3441, E4664, E4852, E4904)

Für eine übersichtliche Auswertung dient die Abbildung 143 und Abbildung 144. Darin werden für den Pegel WABG und PING die erreichten Scheitelreduktionen für die untersuchten Steuerungen lokal optimiert (opt) sowie als Beispiele für einen überregionalen Einsatz mit einem etwas nach vorne verschobenen konstanten Zufluss (r_1) und mit einem etwas nach hinten verschobenen (r_2) gegenübergestellt. Am Pegel WABG sind die Scheitelreduktionen durch lokal optimierte Steuerung durchweg größer (etwa doppelt so groß) als die der beiden Varianten r_1 und r_2 . Variante r_1 ist dabei fast ausschließlich besser als Variante r_2 . Hervorzuheben ist, dass trotz der nicht lokal optimierten Steuerung bei den großen und extremen Ereignissen $> HQ_{100}$ dennoch um die 4 bis 6 % Scheitelreduktion am Pegel erreicht werden konnte. Da allerdings das Schutzniveau der HWSA in diesem Bereich bei HQ_{100} liegt, wäre in der Realität bei diesen Ereignissen eine lokal optimierte Steuerung durchzuführen. Bei Ereignissen unter HQ_{100} kann r_1 oder r_2 ereignisbezogen in Betracht kommen. Weitere Betrachtungen dazu werden in Kapitel 12 durchgeführt.

Die Ergebnisse für den Pegel PING zeigen, dass wie beabsichtigt nach Überlagerung mit der Salzach die vorgeschaltete Steuerung gleichauf und teils besser als die lokal optimierte Steuerung wirkt (Abbildung 144 und Tabelle 68). Eine Tendenz ist dabei nicht zu erkennen, lediglich scheinen die absoluten Scheitelreduktionen mit zunehmenden Scheitelabflüssen nicht abzunehmen. Zu beachten ist auch, dass zwischen Pegel WABG oder Polderstandort und Pegel PING eine lange Fließstrecke (etwa 160 km) liegt und sich dennoch die Wirkung und die Form der im an- und absteigenden Ast beeinflussten Hochwasserwelle erhält.

Die Auswertung zeigt hier Möglichkeiten zur Steuerung von Rückhalteräumen am Inn mit unterschiedlichen Einsatzzielen. Zusätzlich zur beschriebenen Wirkung der vorgeschalteten Steuerung lassen sich noch weitere Schlüsse aus den Ergebnissen ziehen. Zum einen zeigt sich, dass trotz einfachem Reglement eine recht gute Wirkung über eine lange Strecke erhalten werden kann. Zum anderen sieht man am Pegel WABG, dass die Steuerung mit konstantem Zufluss zum RHR noch eine immerhin halbierte Wirkung gegenüber der lokal optimierten Steuerung erzielen kann. Sollten exakte Hochwasserprognosen zur Scheitelkappung fehlen, könnte in diesem Fall mit einem konstanten Zufluss – über einen kürzeren Zeitraum zentriert um den prognostizierten Scheitelzeitpunkt – dennoch lokal eine gewisse Scheitelreduktion erzielt werden.

Anzumerken ist, dass eine vergleichbare Analyse für die Steuerung des Inns auf eine Donauwelle mit den vorliegenden Ereignissen nicht möglich war. Dazu waren die Hochwasserscheitel der Donau zu gering. Sicher besteht hier noch Bedarf an weiteren Erkenntnissen hinsichtlich einer robusten vorgeschalteten Steuerung auf die Donau.

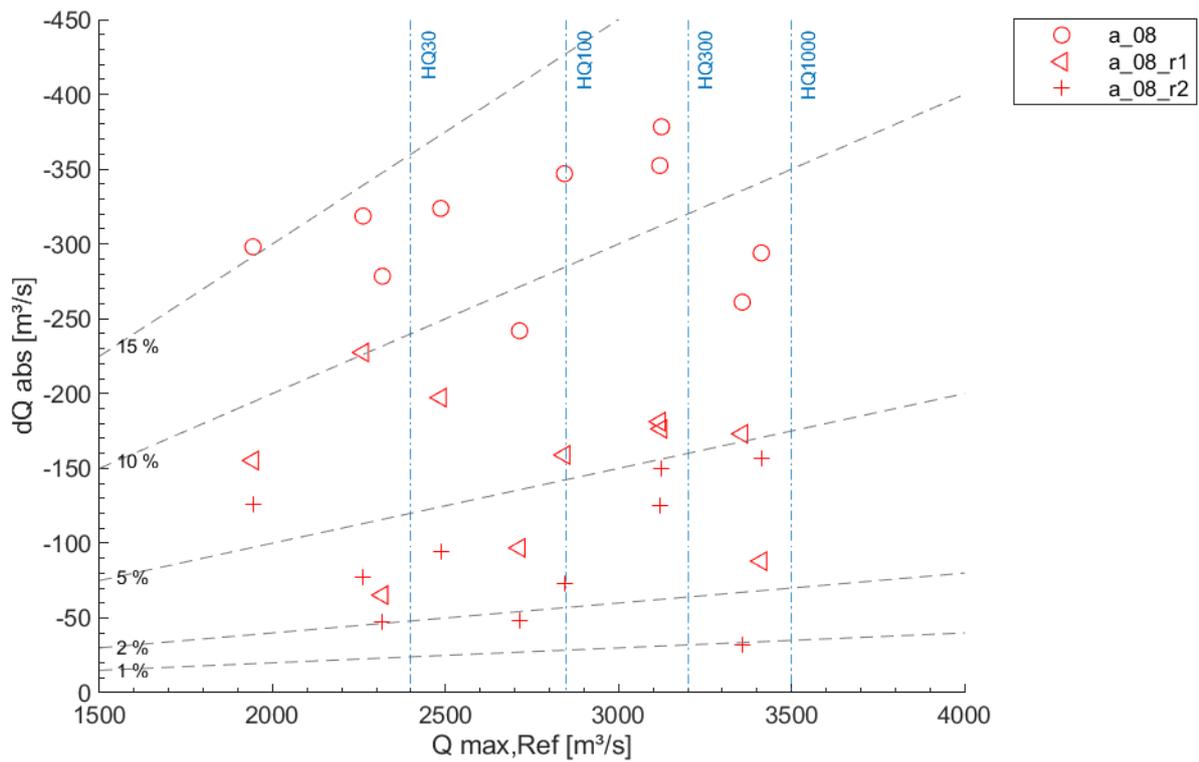


Abbildung 143: Gegenüberstellung der Wirkung von lokal optimierter und auf den Abschnitt unterstrom der Salzach vorgeschalteter Steuerung durch den Flutpolder a_08 am Pegel WABG

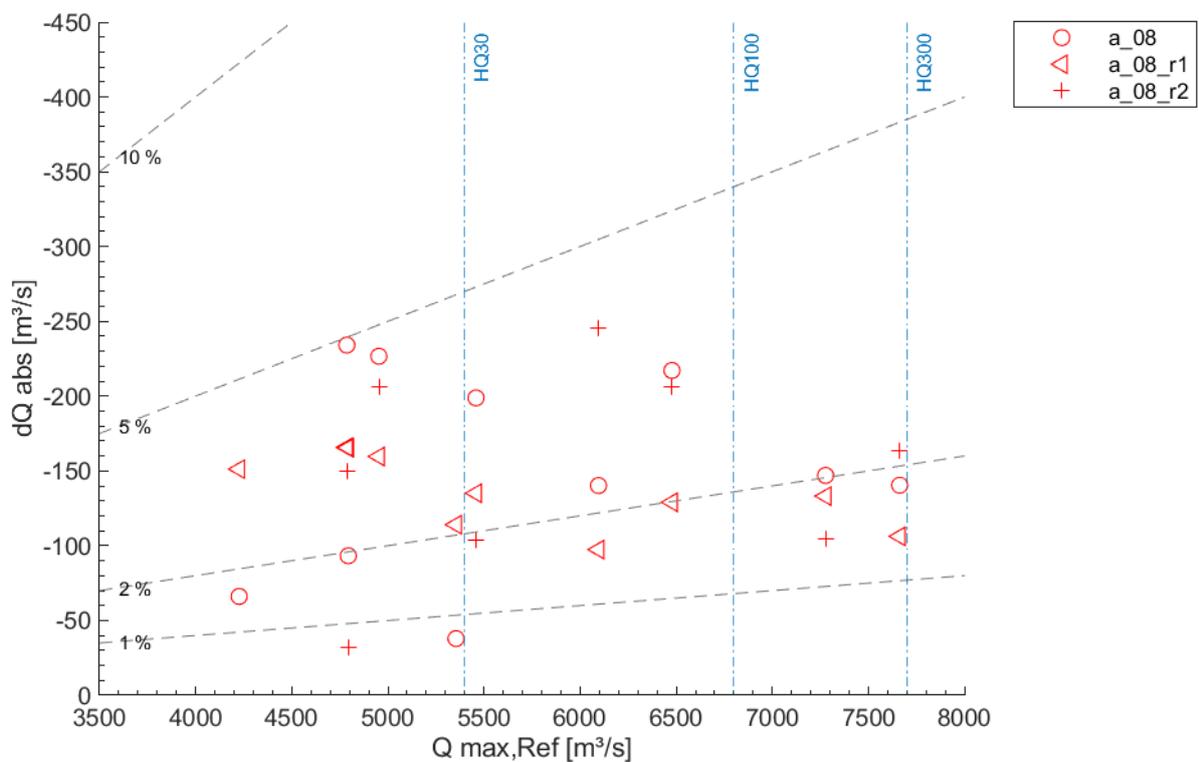


Abbildung 144: Gegenüberstellung der Wirkung von lokal optimierter und auf den Abschnitt unterstrom der Salzach vorgeschalteter Steuerung durch den Flutpolder a_08 am Pegel PING

Tabelle 67: Scheitelveränderungen durch lokal optimierter und auf den Abschnitt unterstrom der Salzach vorgeschalteter Steuerung des Flutpolders a_08 am Pegel WABG

WABG	a_08_opt			a_08_r1		a_08_r2	
	Q _{max,Ref} [m ³ /s]	dQ _{abs} [m ³ /s]	dQ _{rel} [%]	dQ _{abs} [m ³ /s]	dQ _{rel} [%]	dQ _{abs} [m ³ /s]	dQ _{rel} [%]
E0076	2318	-279	-12.0	-66	-2.8	-52	-2.2
E0256	3119	-352	-11.3	-181	-5.8	-123	-4.0
E0322	3124	-378	-12.1	-178	-5.7	-148	-4.7
E0955	2262	-319	-14.1	-227	-10.0	-78	-3.5
E2377	3357	-261	-7.8	-175	-5.2	-35	-1.0
E3420	1943	-298	-15.3	-156	-8.0	-127	-6.5
E3441	2843	-346	-12.2	-163	-5.7	-69	-2.4
E4664	2486	-324	-13.0	-198	-7.9	-98	-3.9
E4852	3412	-294	-8.6	-91	-2.7	-149	-4.4
E4904	2714	-242	-8.9	-101	-3.7	-46	-1.7

Tabelle 68: Scheitelveränderungen durch lokal optimierter und auf den Abschnitt unterstrom der Salzach vorgeschalteter Steuerung des Flutpolders a_08 am Pegel PING

PING	a_08_opt			a_08_vor		Steuerung
	Q _{max,Ref} [m ³ /s]	dQ _{abs} [m ³ /s]	dQ _{rel} [%]	dQ _{abs} [m ³ /s]	dQ _{rel} [%]	
E0076	4953	-227	-4.6	-206	-4.2	r2
E0256	4226	-66	-1.6	-151	-3.6	r1
E0322	5458	-199	-3.6	-135	-2.5	r1
E0955	6478	-217	-3.4	-206	-3.2	r2
E2377	7277	-147	-2.0	-133	-1.8	r1
E3420	6096	-140	-2.3	-246	-4.0	r2
E3441	4786	-234	-4.9	-166	-3.5	r1
E4664	4794	-93	-1.9	-166	-3.5	r1
E4852	5354	-38	-0.7	-114	-2.1	r1
E4904	7662	-140	-1.8	-163	-2.1	r2

9.3. Wirkung einer Steuerung auf Zeitgewinn

Als eine weitere Alternative bei extremen Hochwasserereignissen wurde die „Steuerung auf Zeitgewinn“ untersucht. Bei Ereignissen, die den Bemessungsabfluss der HWSA unterstrom eines Flutpolders zu überschreiten drohen und bei denen das verfügbare Rückhaltevolumen des Flutpolders nicht ausreicht, den Überlastfall zu verhindern, soll der Abfluss im Gewässer so lange wie möglich auf einem für die Standsicherheit der HWSA unkritischen Niveau gehalten werden. Damit kann eine potentiell kritische Inanspruchnahme des Freibords oder ein Überströmen oder Versagen des Linienschutzes (Deiche, Dämme oder mobiler HWS) verzögert und wertvolle Zeit für Evakuierungsmaßnahmen gewonnen werden. Um die Möglichkeit dieser Steuerung am Inn abschätzen zu können, wurden für drei potentielle Flutpolder (a_08_A, c_08_B und c_13_B) weitere Simulationen durchgeführt.

Beim Standort a_08_A war das Ziel, ein potentielles Überströmen der HWSA in Wasserburg zu verzögern, indem durch entsprechenden Zufluss in den Flutpolder das HQ₁₀₀ möglichst lange, d.h. bis zur vollständigen Ausnutzung des verfügbaren Rückhaltevolumens, gehalten wurde. Die Simulationen wurden mit den vier Ereignissen aus dem stochastischen Datensatz durchgeführt, welche das HQ₁₀₀ am Pegel WABG überschreiten. Bei zwei dieser Ereignisse konnte das HQ₁₀₀ unter Teilmutzung des zur Verfügung stehenden Rückhaltevolumens gehalten werden, d.h. es erfolgte eine optimale Scheitelkappung und der Bemessungsabfluss wurde nicht überschritten. Bei den anderen zwei Ereignissen reichte die Kapazität des Flutpolders nicht für eine vollständige Kappung aus. Abbildung 145 zeigt die Abflussganglinien für das Ereignis 2377 für die Steuerung auf Zeitgewinn auf Niveau eines HQ₁₀₀ für einen Querschnitt lokal unterstrom des Einlaufs und am Pegel WABG. Bei der Steuerung wurden die zwischen Flutpolder und Pegel liegenden seitlichen Zuflüsse berücksichtigt (graue Ganglinien in der Abbildung 145). Der Zeitgewinn bis zum Überschreiten z. B. des HQ₁₀₀ + 5 % am Pegel Wasserburg betrug etwa 8 h im Vergleich mit dem Referenzzustand, der Zeitgewinn bis zum HQ₃₀₀ (entspricht hier etwa dem HQ₁₀₀ + 15 %) betrug etwa 6,5 h. Beim Ereignis 4852 (nicht dargestellt), mit etwas höherem Scheitelabfluss im Referenzzustand, wurden Verzögerungen von ebenfalls 8 beziehungsweise 5,5 h erreicht. Die maximalen Zuflüsse in den Flutpolder bei Beendigung der Füllung betragen dabei ungefähr 600 m³/s. Bei einer weitergehenden Planung des Einlaufbauwerks wäre zu untersuchen, ob dieser Zufluss bei hohen Wasserständen im Polder (Vollfüllung) und dem dann herrschenden Wasserstand im Inn auch realisierbar ist.

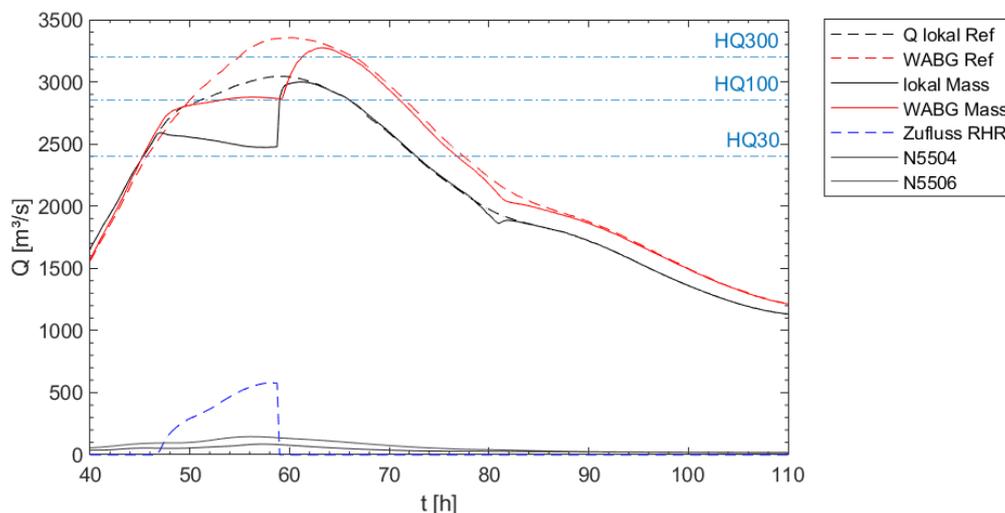


Abbildung 145: Abflussganglinien für eine Steuerung auf Zeitgewinn auf Niveau eines HQ₁₀₀ durch den Flutpolder a_08_A beim Ereignis 2377. Schwarz: Abflussganglinien lokal unterstrom des Einlaufs, blau: Zufluss in den RHR, rot: Abflussganglinien am Pegel WABG, grau: seitliche Zuflüsse zwischen Standort und Pegel

Bei den Standorten c_08 und c_13 hatte die untersuchte Steuerung das Ziel, beispielhaft das HQ₃₀ möglichst lange, d.h. bis zur vollständigen Ausnutzung des verfügbaren Rückhaltevolumens, zu halten. Unmittelbar unterstrom der Standorte besteht zwar ein hoher Schutzgrad

durch die Stauhaltungsdämme, weiter anschließend liegen allerdings die Siedlungsschwerpunkte Neuhaus, Schärding und Passau, welche entweder keinen HWS oder nur auf niedrige Jährlichkeiten ausgebaute HWSA haben. Auch hier wurden die Simulationen mit vier Ereignissen aus dem stochastischen Datensatz durchgeführt, welche das HQ_{100} am Pegel PING überschreiten. Im Gegensatz zur Untersuchung beim Flutpolder a_08_A wurden bei diesen zwei Standorten die seitlichen Zuflüsse bis zum Pegel PING aufgrund der langen Fließstrecke (etwa 40 km bis zum unterstromigsten Zufluss) nicht in der Steuerung berücksichtigt.

Da das Rückhaltevolumen von c_08_B im Vergleich mit den Volumina der Hochwasserwellen relativ gering ist, reicht die Kapazität nicht wie teilweise bei a_08_A für eine vollständige Kappung aus. Abbildung 147 zeigt die Abflussganglinien für das Ereignis 4904 für die Steuerung auf Zeitgewinn auf Niveau eines HQ_{30} für einen Querschnitt lokal unterstrom des Einlaufs zu c_08 und am Pegel PING. Der potentielle Zeitgewinn bis zum Überschreiten z. B. des $HQ_{30} + 5\%$ am Pegel PING betrug etwa 3,5 h im Vergleich mit dem Referenzzustand, der Zeitgewinn bis zum HQ_{100} betrug etwa 0,5 h. Bei den anderen drei Ereignissen (nicht dargestellt) wurden Verzögerungen von 0,5 bis 3 h ($HQ_{30} + 5\%$) beziehungsweise 0 bis 1,5 h (HQ_{100}) erreicht.

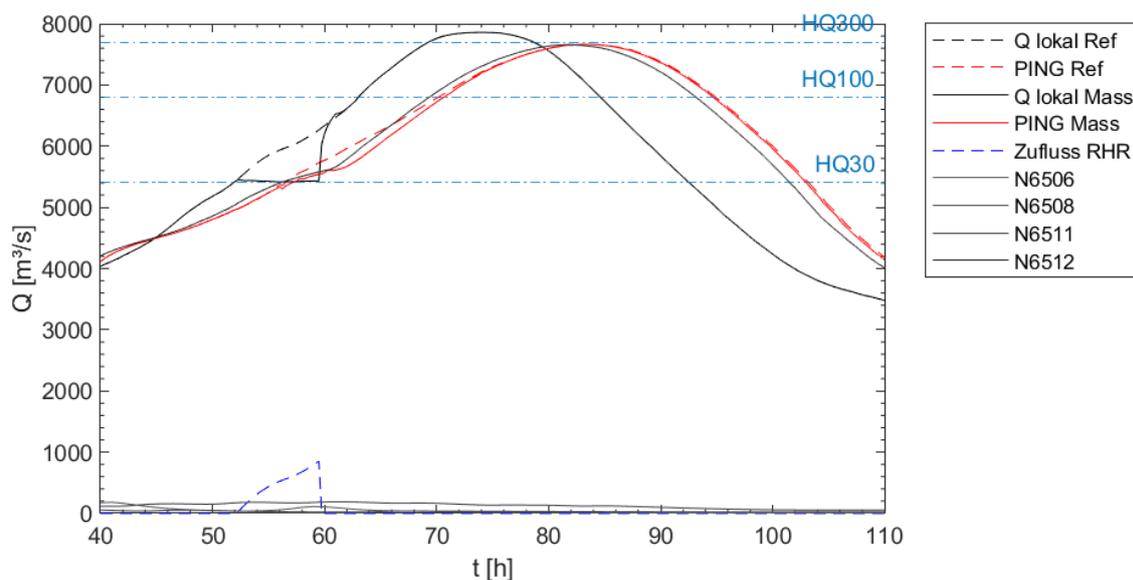


Abbildung 146: Abflussganglinien für eine Steuerung auf Zeitgewinn auf Niveau eines HQ_{30} durch den Flutpolder c_08_B beim Ereignis 4904. Schwarz: Abflussganglinien lokal unterstrom des Einlaufs, blau: Zufluss in den RHR, rot: Abflussganglinien am Pegel PING, grau: seitliche Zuflüsse zwischen Standort und Pegel

Mit dem Standort c_13_B kann hingegen bei zwei dieser Ereignisse das HQ_{30} annähernd gehalten werden, d.h. es erfolgte eine annähernd optimale Scheitelkappung. Bei den anderen zwei Ereignissen reichte die Kapazität des Flutpolders nicht für eine vollständige Kappung aus. Hierbei wurde der Zufluss auf 1.200 m^3/s begrenzt, was Auswirkungen auf die erreichbare Zeitverzögerung hat. Abbildung 146 zeigt die Abflussganglinien für das Ereignis 4904 für die

Steuerung auf Zeitgewinn auf Niveau eines HQ_{30} für einen Querschnitt lokal unterstrom des Einlaufs zu c_13 und am Pegel PING. Der potentielle Zeitgewinn bis zum Überschreiten des $HQ_{30} + 5\%$ am Pegel PING betrug etwa 1,5 h im Vergleich mit dem Referenzzustand, der Zeitgewinn bis zum HQ_{100} betrug etwa 5,5 h. Beim anderen Ereignis (nicht dargestellt), dessen Scheitel nicht komplett gekappt werden konnte, wurde eine Verzögerung von 0 h ($HQ_{30} + 5\%$) beziehungsweise 8 h (HQ_{100}) erreicht. Bei den Abflüssen der Größenordnung HQ_{30} hat allerdings die bereits bei der Einzelwirkungsanalyse beschriebene leichte Beschleunigung der Welle durch Verlust der im Referenzzustand wirkenden Retentionsfläche bei Einsatz des Flutpolders c_13_B einen Einfluss und verfälscht daher leicht die angegebenen Zeitgewinne für $HQ_{30} + 5\%$. Der Zufluss bei Beendigung der Füllung betrug dabei ungefähr $1.200 \text{ m}^3/\text{s}$. Auch hier ist bei einer weitergehenden Planung die maximale Kapazität der Einlaufbauwerke zu untersuchen.

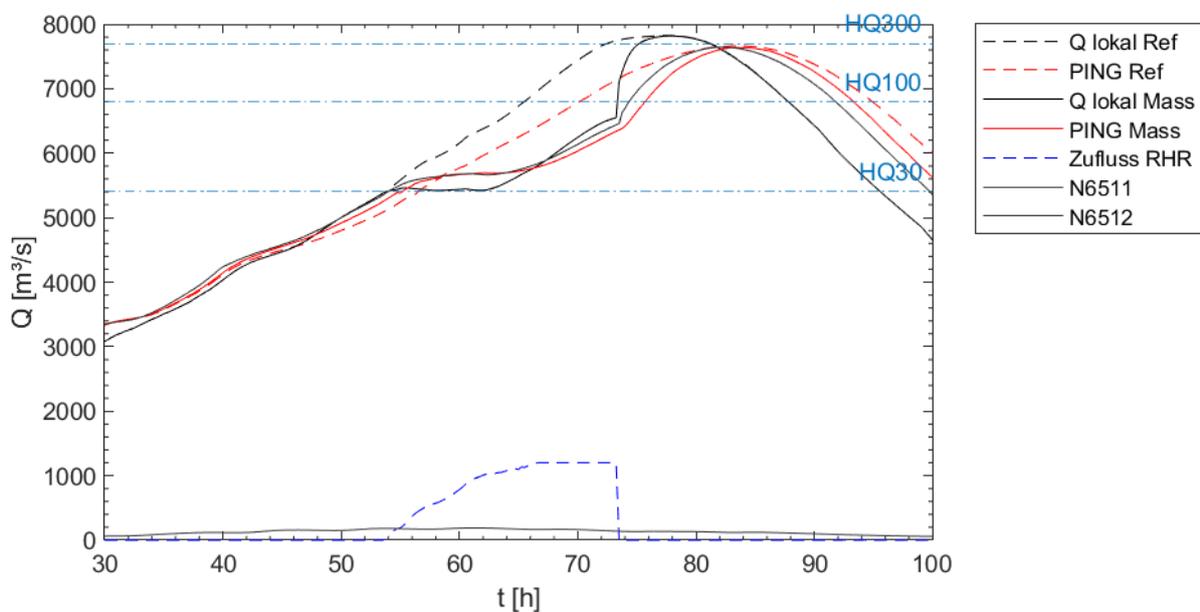


Abbildung 147: Abflussganglinien für eine Steuerung auf Zeitgewinn auf Niveau eines HQ_{30} durch den Flutpolder c_13_B beim Ereignis 4904. Schwarz: Abflussganglinien lokal unterstrom des Einlaufs, blau: Zufluss in den RHR, rot: Abflussganglinien am Pegel PING, grau: seitliche Zuflüsse zwischen Standort und Pegel

Die Wirkung der Steuerung auf Zeitgewinn mit den beiden Standorten c_08 und c_13 wird stark von den seitlichen Zuflüssen sowie der Retentionsfläche vor Neuhaus/Schärding im Bereich der Rott-Mündung beeinflusst. Problem hierbei ist, dass die Retention im unbeeinflussten Referenzzustand zwischen etwa HQ_{10} und HQ_{50} gut wirkt. Genau in diesem Bereich wirkt auch die hier angesetzte Steuerung auf Zeitgewinn. Beim Standort c_13 wird ein Teil dieser Retentionsfläche für den dann gesteuerten Rückhalt genutzt und steht nicht mehr für einen natürlichen Rückhalt zur Verfügung. Zudem sind aufgrund der schnell ansteigenden Hochwasserwellen des Inns die Rückhaltevolumina der Flutpolder ebenfalls schnell aufgebraucht, so dass ein guter Teil der potentiell erreichbaren Zeitverzögerungen bis zum Überschreiten der

Abflussschwellen (hier: $HQ_{30} + 5\%$) verlorengehen. Eine bessere Wirkung ließe sich möglicherweise durch einen noch früheren Beginn der Polderflutung erreichen, solange damit die Aktivierung der natürlichen Überschwemmungsflächen verzögert wird.

Für diese ersten Abschätzungen wurden für alle drei Standorte beispielhafte Niveaus zur Steuerung auf Zeitgewinn gewählt. Diese Niveaus sind bei weitergehenden Planungen zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen, da der von den HWSA noch tolerierbare Abfluss im Gerinne auch tatsächlich höher als der hier angesetzte Abfluss bei etwa HQ_{30} beziehungsweise HQ_{100} liegen kann.

9.4. Wirkung ungesteuerter Rückhalteräume auf den Wellenablauf

Weitere Möglichkeiten in einem resilienten System sind ungesteuerte Rückhalteräume, welche unabhängig von Hochwasserprognosen eine Wirkung auf Hochwasserereignisse haben können. Zum Beispiel handelt es sich dabei um Polder, die über feste Überlaufschwelle (Streichwehre) geflutet werden. Eine Alternative stellen auch sog. erodierbare Deiche dar. Erodierbare Deiche können im Überlastfall eine Entlastung des Gewässers bewirken, ihre Aktivierung erfolgt im Gegensatz zu „ungeplanten“ Deichbrüchen kontrolliert ab einem festgelegten Aktivierungswasserstand in dafür vorgesehene Räume. Die Füllung des Polders erfolgt damit ebenfalls unabhängig von Hochwasserprognosen. In beiden Alternativen wird der Polder bei kleineren Hochwasserereignissen nicht beansprucht, da der Aktivierungswasserstand nicht erreicht wird. Ein erodierbarer Deich ermöglicht allerdings in kurzer Zeit einen höheren Zufluss durch die Deichbresche in den Polder, aufgrund der großen Überfallhöhen nach der Erosion bis auf die feste Unterkante. Die Entleerung kann z. B. wie bei gesteuerten Flutpoldern erfolgen.

Für eine beispielhafte Untersuchung an einem Polder wurde ein erodierbarer Deich für den Zulauf im 2D-HD-Modell implementiert. Für den Aufbau und das Erosionsverhalten wurden Modellversuche an der Versuchsanstalt Oberrach (Hartlieb 2020) und eine Untersuchung von Schmocker et al. (2013) als Grundlage verwendet. Der Deich wurde so konzipiert, dass der Polder ab etwa einem HQ_{30} aktiviert wird. Die numerisch modellierte Deichbresche breitete sich lateral bis auf eine Länge von 180 m und bis 1,3 m in die Tiefe aus. Der im numerischen Modell nachgebildete Erosionsprozess senkte über einen Zeitraum von etwa 4 h nacheinander die ausgewählten Netzknoten der Deichkrone ab. Für die Untersuchung wurden drei charakteristische Ereignisse in den Größenordnungen HQ_{30} (E4852), HQ_{100} (E0955) und HQ_{300} (E4904) simuliert. Mit dem erodierbaren Deich wurden am Pegel PING relative Scheitelreduktionen von 3,4 % (HQ_{30}), 5,5 % (HQ_{100}) und 3,8 % (HQ_{300}) erreicht. Im Vergleich ergaben sich am selben Standort durch lokal optimierte Steuerung relative Scheitelreduktionen von 6,7 % (HQ_{30}), 6,8 % (HQ_{100}) und 4,6 % (HQ_{300}). Im ungünstigsten der untersuchten Fälle (etwa HQ_{30})

verringerte sich also die Wirkung der gesteuerten, lokal optimierten Variante und der von Hochwasserprognosen unabhängigen Variante mit erodierbarem Deich um etwa die Hälfte, sonst um 1,2 beziehungsweise 1,3 Prozentpunkte. Beim Ereignis HQ₃₀ wurde allerdings nicht das gesamte verfügbare Rückhaltevolumen aktiviert.

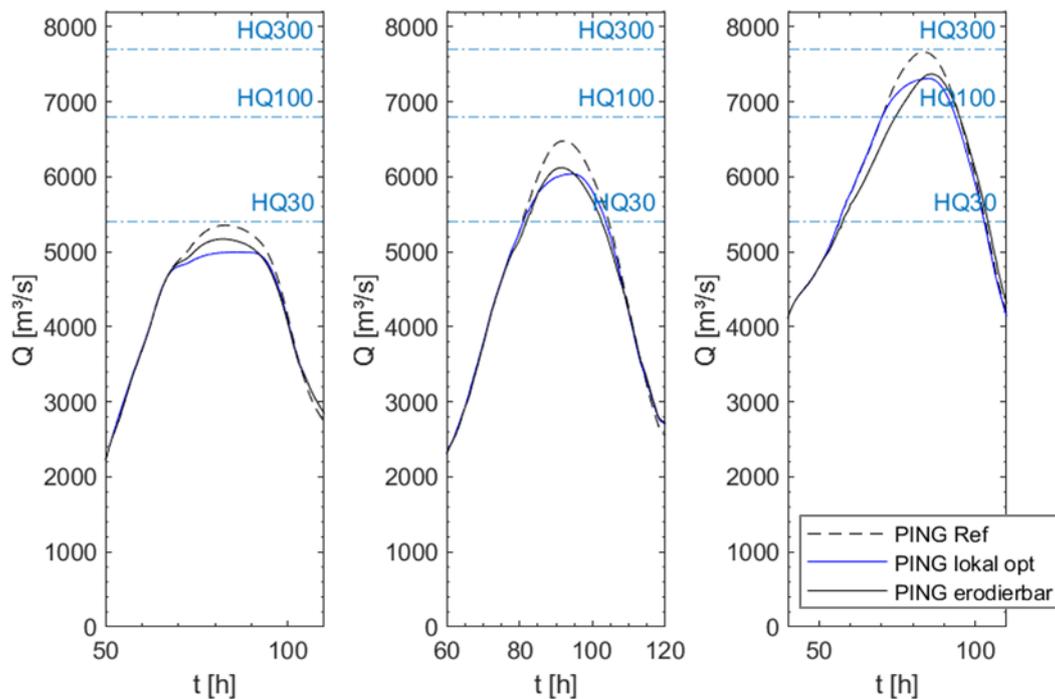


Abbildung 148: Abflussganglinien am Pegel PING für eine lokal optimierte Füllung über ein steuerbares Einlaufbauwerk und eine Füllung über einen ab etwa HQ₃₀ aktivierten, erodierbaren Deich für Ereignisse der Größenordnung HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀

Beispielhaft konnte damit für ausgewählte Ereignisse mit modelltechnisch ermittelten Parametern (Aktivierungswasserstand, Deichhöhe und –breite) gezeigt werden, dass erodierbare Deiche eine Alternative zu gesteuerten Einlaufbauwerken sein können. Allerdings eignen sich nicht alle potentiellen Standorte für RHR am Inn gleichermaßen zur Füllung über erodierbare Deiche. Berücksichtigt werden muss beispielsweise, ob sich die Lage des Einlaufs zum Polder in einem staubeeinflussten Bereich befindet. Aufgrund der geringen Wasserspiegeldifferenzen zwischen Normal- und Hochwasserverhältnissen ist hier die mögliche Überströmhöhe in der Deichbresche deutlich reduziert, da die Breschenentwicklung auf etwa die Höhe des Stauziels begrenzt werden muss. Eine Möglichkeit zur Optimierung in diesen Fällen könnte das gezielte Aktivieren und Erhöhen des Zuflusses durch die Deichbresche durch Anheben des Stauziels im Hochwasserscheitel sein, wozu Voruntersuchungen mit 0,1 und 0,2 m Überstau durchgeführt wurden. Hierdurch wurden im Modell grundsätzlich etwas höhere Scheitelreduktionen erreicht, allerdings bedarf dies in der Realität wiederum einer genaueren Hochwasservorhersage, um nicht bei zu großem Überstau und falschem Zeitpunkt das verfügbare Rückhaltevolumen bereits vor dem Scheitel aufzubauchen und damit die Wirkung zu verringern. Zudem

kann ein Überstau zu kritischen Wasserspiegellagen in anderen Bereichen führen. Ein erodierbarer Deich ist daher besser für Abschnitte mit größeren Wasserspiegeldifferenzen zwischen Normal- und Hochwasserabfluss geeignet und kann damit einen größeren Spitzendurchfluss in den Polder ermöglichen. Dies könnte künftig neben der Aktivierung über eine feste Schwelle als Alternative zu gesteuerten Flutpoldern weiter untersucht werden.

9.5. Szenarien und Wirkungsanalyse mit verschiedenen Sohllagen

Da im TP C auch Untersuchungen zum Wellenablauf bei unterschiedlichen Sohllagen durchgeführt wurden, wurde im Rahmen des TP D darauf verzichtet. Die Ergebnisse von TP C (AP C.6) zeigten keinen wesentlichen Einfluss einer geänderten Sohltopographie auf den Wellenablauf und Scheitelabfluss. Daher ist davon auszugehen, dass eine geänderte Sohllage keine maßgebende Änderung der Flutpolderwirkungen hervorrufen würde.

10. Längsschnitt der potentiellen Schäden und betroffenen Einwohner

Als eine weitere Grundlage für die endgültige Priorisierung der potentiellen Flutpolder an Inn und Salzach im Rahmen dieser Studie dient eine vereinfachte Risikoanalyse. Dafür werden die potentiellen Schäden im Projektgebiet für jedes simulierte Ereignis ermittelt. Stellt man anschließend den Schaden beim Referenzzustand mit dem Schaden bei Einsatz einer Hochwasserschutzmaßnahme (hier: Flutpolder) gegenüber, können ergänzende Aussagen über die Wirkung eines Standorts getroffen werden. So kann zwar ein Standort eine große scheidelreduzierende Wirkung über weite Strecken haben (z. B. ausgedrückt in einer „mittleren Scheitelreduktion“), sollte aber die Wirkung entlang dieser Gewässerstrecke in Siedlungsschwerpunkten gering sein, sollte man diesen Standort auch als weniger wirkungsvoll benennen. Die Einbeziehung einer Risikoanalyse kann in diesem Fall für ein klareres Verständnis sorgen und wird/wurde auch in zahlreichen Untersuchungen angewendet. Neuartig an der Herangehensweise in dieser Studie ist die große Bandbreite an verfügbaren Hochwasserereignissen, die Anwendung auf mehrere Standorte für HWS-Maßnahmen in verschiedenen Abschnitten entlang eines Gewässers und vor allem die Anwendung auf gesteuerte Maßnahmen. Im Rahmen der vorliegenden Studie werden Kosten der potentiellen Flutpolder nicht betrachtet, da es hierzu aufgrund der fehlenden Tiefe der Potentialstudie noch zu viele Unbekannte gibt. Nachfolgend werden die gewählte Methodik und die Ergebnisse beschrieben, sowie deren Berücksichtigung in der Priorisierung.

10.1. Methodik für die Ermittlung potentieller Schäden

Grundsätzlich gibt es verschiedene Ansätze zur Kosten-Nutzen-Analyse, welche für die Beurteilung geplanter Hochwasserschutzmaßnahmen angewendet werden können. Basierend auf den Ergebnissen einer 2D-HN-Modellierung (Fließtiefen, -geschwindigkeiten, Einstaudauer usw.), kann das Risiko mithilfe von Schadensfunktionen ermittelt werden (Merz et al. 2010). In diesem Fall werden nur direkte, tangible Schäden betrachtet, also physische Schäden an Gebäuden, deren Einrichtung und Infrastruktur. Für darüberhinausgehende Parameter waren die Daten und der Zeitrahmen einschränkend, also z. B. direkte intangible und immaterielle Schäden wie Gefahr für die Schutzgüter menschliche Gesundheit, Umwelt, Kulturerbe oder indirekte wie Ausfall/Unterbrechung von Produktion, Ernte, Verkehrsverbindungen und weitere Folgeerscheinungen eines Hochwassers.

Begriffsdefinitionen

Einige der im Rahmen dieser Studie verwendeten Begriffe sollen nachfolgend definiert werden (vergleiche z. B. Kron, 2005; Merz, 2006; Kutschera, 2008; IKS, 2001). Das (Hochwasser-) Risiko ist definiert als Produkt aus der Eintrittswahrscheinlichkeit der Gefährdung und dem resultierenden Schaden. Das Schadenspotential bezeichnet die Summe der möglichen Schäden bei einem bestimmten Hochwasserereignis im Untersuchungsgebiet. Die potentiellen Schäden, welche zu den verschiedenen, in dieser Studie verwendeten, stochastischen Hochwasserereignissen ermittelt werden, sind also aufgrund der unterschiedlichen Genese und räumlichen Ausdehnung zunächst keiner klar definierten Eintrittswahrscheinlichkeit zugeordnet. Nachfolgend wird aus Gründen der Lesbarkeit von „Schäden“ gesprochen, womit die potentiell eintretenden Schäden beim jeweiligen modellierten Ereignis gemeint sind.

Bestimmung der potentiellen Schäden

Um zumindest eine gewisse Vergleichbarkeit zu erreichen, orientiert sich das Vorgehen an einem für die bayerische Donau gewählten Ansatz (Franz Fischer Ingenieurbüro 2017), da Geographie (Bayern und benachbartes Österreich) und der Datenstand (Donau: 2015, Inn: ab 2015) beider Studien vergleichbar sein sollte. Für die Donau wurden die Überflutungstiefen aus den Hochwassergefahrenkarten für HQ_{100} und HQ_{extrem} verwendet, welche stationär bei teils gelegten Deichen ermittelt wurden. Daraus ergibt sich ein Schadenpotential, welches also tendenziell größer als die tatsächlichen Schäden im Hochwasserfall ist. Die Methodik basiert wiederum auf Empfehlungen des IKS (2001, 2016) und der HWRM-RL. Für verschiedene Landnutzungstypen sind daraus Schadensfunktionen auf Basis der Wassertiefe verfügbar (Tabelle 69). Zur Einbeziehung weiterer Faktoren wie Fließgeschwindigkeit, Fließintensität, Sediment usw. existieren grundsätzlich ebenfalls Ansätze, zu welchen die notwendigen Daten zum

Teil auch aus den vorliegenden Simulationsdaten gewonnen werden könnten. Allerdings ist anzunehmen, dass für den Detailgrad der vorliegenden Studie sowohl hinsichtlich der Netzauflösung als auch der großräumigen Betrachtungsweise die Wassertiefe allein näherungsweise ein geeigneter Parameter zur Ermittlung des Schadens ist (Kreibich et al. 2009).

Zunächst werden die Schäden im Referenzzustand (Schaden bei bestehendem HWS ohne Einsatz eines Flutpolders) und mit Flutpolder (möglicher künftig verbleibender Schaden bei lokal optimiertem Einsatz eines Flutpolders) bestimmt, deren Differenz dann die Schadenreduktion ergeben. Im Vergleich zur Donau wird hier also nicht das gesamte Schadenpotential, sondern der potentielle Schaden bei einem (instationären) Hochwasserereignis ermittelt. Die Analyse wurde mit Matlab und QGIS auf Basis der Simulationsergebnisse mit HYDRO_AS-2D durchgeführt. Nachfolgend wird stichpunktartig das Vorgehen erläutert:

- Export der Simulationsergebnisse (Fließtiefen) und Verarbeitung zur Weiternutzung.
- Klassifizierung der Wassertiefen nach den Vorgaben von IKSR (2001): Klasse 1 0 – 0,5 m; Klasse 2 0,5 – 1 m; Klasse 3 1 – 2 m, Klasse 4 2 – 4 m; Klasse 5 > 4 m.
- Verschneidung der relevanten Landnutzung mit den Wassertiefen (zur Landnutzung siehe unten) und Bereinigen der entstehenden Teilflächen.
- Berechnung des Schadens pro Teilfläche mit den o.g. Schadenfunktionen (Tabelle 69, nach Franz Fischer Ingenieurbüro, 2017).
- Aggregation und Summierung des Schadens erst auf Gemeindeebene, dann auf die drei Flussabschnitte (Inn oberhalb und Inn unterhalb der Salzachmündung und Salzach).

Tabelle 69: Schaden je Wassertiefenklassen in €/m² (nach Franz Fischer Ingenieurbüro 2017 für einen Stand 2015)

Tiefenklasse		Kl. 0	Kl. 1	Kl. 2	Kl. 3	Kl. 4	Kl. 5
Nutzungsklasse			0 – 0,5 m	0,5 – 1 m	1 – 2 m	2 – 4 m	> 4 m
1	Siedlung	0	14,37	25,44	48,59	118,39	352,07
2	Industrie	0	11,3	22,97	46,86	117,62	351,11
3	Verkehr	0	8,06	24,18	32,24	32,24	32,24
4	Landwirt. Fläche	0	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
5	Forstw. Fläche	0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
6	Sonstige	0	0	0	0	0	0

Die Landnutzungstypen entstammten den Datensätzen ATKIS (Bayern) und NUTZselect (Österreich) und wurden entsprechenden Nutzungsklassen nach IKSR (2001) zugewiesen (Tabelle 70). Die österreichischen Daten weisen eine leicht andere Datenstruktur auf und wurden daher zunächst bereinigt. Die Nutzung enthält hier Einzelbebauung, d.h. im Gegensatz zum bayerischen Datensatz sind sie etwas feiner aufgelöst: das Wohngrundstück besteht aus Gartenfläche und Hausfläche, in ATKIS sind diese bereits aggregiert auf die Flurstückfläche (Abbildung 149). Die Gebäudeumrisse wurden daher mit dem umgebenden Grundstück gleicher Grundstücksnummer „verschmolzen“ und dessen Nutzungsklasse übernommen (Garten: 1 Siedlung, Betriebsfläche: 2 Industrie).

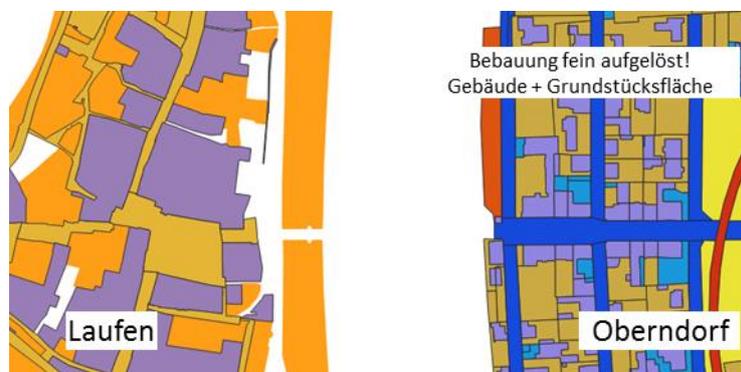


Abbildung 149: Beispiel zur Vereinheitlichung der Landnutzungsdaten anhand der Orte Laufen (Bayern) und Oberndorf (Österreich) beidseitig der Salzach

Tabelle 70: Zuordnung der Landnutzung zu Nutzungskategorien

Landnutzung ATKIS	Kat.	Landnutzung NUTZselect	Kat.
Friedhof	BY 1	Freizeitfläche	Ö 1
SportFreizeitUndErholungsflaeche	BY 1	Friedhof	Ö 1
Wohnbauflaeche	BY 1	Garten	Ö 1
		Gebäude	Ö 1 o. 2 *
		Gebäudenebenfläche	Ö 1 o. 2 *
FlaecheBesondererFunktionaler- Praegung	BY 2	Abbaufäche, Halde oder Depo- nie	Ö 2
FlaecheGemischterNutzung	BY 2	Betriebsfläche	Ö 2
Halde	BY 2		
IndustrieUndGewerbeflaeche	BY 2		
TagebauGrubeSteinbruch	BY 2		
Bahnverkehr	BY 3	Parkplatz	Ö 3
Flugverkehr	BY 3	Schienenverkehrsanlage	Ö 3
Platz	BY 3	Straßenverkehrsanlage	Ö 3
Schiffsverkehr	BY 3		
Strassenverkehr	BY 3		
Landwirtschaft	BY 4	Dauerkulturanlage oder Er- werbsgarten	Ö 4
Weg	BY 4	Forststraße	Ö 4
		landwirtschaftlich genutzt - Acker, Wiese oder Weide	Ö 4
		Weingarten	Ö 4
Gehoelz	BY 5	verbuschte Fläche	Ö 5
Wald	BY 5	Wald	Ö 5
Fliessgewaesser	BY 6	Feuchtgebiet	Ö 6
Hafenbecken	BY 6	fließendes Gewässer	Ö 6
Heide	BY 6	Gewässerrandfläche	Ö 6
Moor	BY 6	stehendes Gewässer	Ö 6
StehendesGewaesser	BY 6	vegetationsarme Fläche	Ö 6
Sumpf	BY 6	Verkehrsrandfläche	Ö 6
UnlandVegetationsloseFlaeche	BY 6		

* Gebäude mit GST-ID wie eine Betriebsfläche: 2 – sonst 1

Vor Verwendung wurden abschließend die wasserbaulichen Anlagen (Stauhaltungsdämme, Wehre, Kraftwerke, ...), welche z.T. der Klasse Industrie zugeordnet sind, händisch aus dem Datensatz entfernt. Aufgrund der Modellauflösung wurden in ersten Tests diesen Flächen große Wassertiefen und damit große Schäden zugeordnet. Diese Flächen sollten allerdings nicht in die Schadenberechnung aufgenommen werden, da eine „Überflutungsverträglichkeit“ vorausgesetzt wird.

Bestimmung des Hochwasserrisikos

Ausgehend von der Bestimmung des Schadens sollte nun das Risiko als Erwartungswert des Schadens ermittelt werden. Allerdings ist die Bestimmung des Risikos für das gesamte Untersuchungsgebiet hochkomplex und nicht im Rahmen dieser Studie durchführbar. Dafür müssten zunächst Jährlichkeiten für Stützstellen entlang des gesamten Flusses bestimmt werden, feiner diskretisiert als die derzeit zur Verfügung stehenden diskontinuierlichen Werte für die amtlichen Pegel, oder derartige Stützstellen vor und nach jedem einzelnen Zufluss vorliegen. Daraus könnte dann den simulierten instationären Ereignissen, welche methodenbedingt kontinuierlich entlang des Inns und der Salzach eine andere Jährlichkeit aufweisen, eine näherungsweise Eintrittswahrscheinlichkeit zugewiesen werden. Vereinfachend müssten als Näherung der Eintrittswahrscheinlichkeit die Jährlichkeit an definierten Punkten übernommen werden (bspw. am Flutpolderstandort oder am nächstgelegenen Pegel). Zur Verdeutlichung ein Beispiel: zwei instationäre Ereignisse, die an einem beliebigen Pegel einen identischen Scheitelabfluss hervorrufen, werden in einem beliebig gewählten Untersuchungsgebiet aufgrund der unterschiedlichen Genese auch einen unterschiedlichen Schaden hervorrufen. Der jährliche Schadenerwartungswert zur Verwendung in einer Kosten-Nutzen-Analyse wird also unterschiedlich sein, ist aber nicht trivial zu bestimmen. Erschwerend müssten weitere Faktoren berücksichtigt werden: die Auftretenswahrscheinlichkeit von Deichbrüchen, die Vorhersageunsicherheit usw. Aber erst bei Kenntnis der Jährlichkeit kann auch das Risiko aus dem damit verbundenen Schaden näherungsweise genau berechnet werden.

Als Approximation für das Risiko wird im Rahmen dieser Studie eine Betrachtung anhand ausgewählter Ereignisse getroffen, welche repräsentativ für den betrachteten Pegel und nur bedingt für das gesamte Untersuchungsgebiet stehen. Dazu werden die diesem Ereignis zugeordneten Schäden bis zum Pegel aufsummiert und angenommen, dass die am Pegel erreichte Jährlichkeit ebenfalls für die Fließstrecke oberstrom gültig ist. Nicht betrachtet und modelliert wurden Deichbruchszenarien. Die Schäden wurden also nur in den überfluteten Gebieten durch Überströmung der hier nicht versagenden Hochwasserschutzsysteme ermittelt. Da aus der 2D-HD-Simulation die Scheitelwerte der Ereignisse von den Zielwerten der stochastischen Generierung abweichen, werden für die „Risikobetrachtung“ die passenden Ereignisse aus dem Set neu ausgewählt (Tabelle 71). Die Jährlichkeiten sind hierfür HQ_{30} , HQ_{100} und HQ_{300} ; das $HQ_{1.000}$ wurde am Pegel PING nicht erreicht und daher diese Jährlichkeit für keinen der drei Pegel herangezogen. Da das Hauptziel die Wirkungsanalyse von Flutpoldern ist, steht auch die „Reduktion des Schadenpotentials“ im Vordergrund. Durch diese relative Betrachtung kommen Fehler in den absoluten Werten nicht so stark zum Tragen, unter der Annahme, dass diese Fehler in beiden Zuständen (Referenz- und Maßnahmenzustand) in gleichem Maße enthalten sind.

Tabelle 71: Für die Ermittlung des Schadenpotentials ausgewählte Ereignisse an den drei maßgebenden Pegeln

	Jährlichkeit am Pegel		
	HQ ₃₀	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀₀
WABG	E4664	E3441	E0322
BGHA	E7510	E3420	E0955
PING	E0322	E0955	E4904

10.2. Reduktion der potentiellen Hochwasserschäden entlang Inn und Salzach durch Flutpolder

Abbildung 150 zeigt die potentiellen Schäden im Referenzzustand für alle 7 hier verwendeten Ereignisse zusammengefasst für den oberen, den unteren Inn und die Salzach. Die Höhe des Schadens ist dabei von vielen Faktoren abhängig und deshalb nicht in direkte Relation zur Bevölkerungszahl zu setzen. Beeinflusst wird der hier ermittelte Schaden z. B. von der Art der Nutzung im Überschwemmungsgebiet, der Größe der Gemeinde oder deren Anteil am Ü-Gebiet, dem Ausbaugrad der HWSA und auch des hydrologischen Szenarios. So sind anhand der Anteile am Gesamtschaden die unterschiedlichen Jährlichkeiten in den Teilabschnitten zu erkennen. Die Schäden unterstrom entlang der Donau sind nicht enthalten, die Schäden im Gemeindegebiet von Passau jedoch schon. Bei einer weiteren Planung und Bedarfsanalyse muss das Schadenpotential entlang der Donau auch außerhalb des Untersuchungsgebiets dieser Studie einbezogen werden, da im weiteren Verlauf weitere große Schadensschwerpunkte liegen.

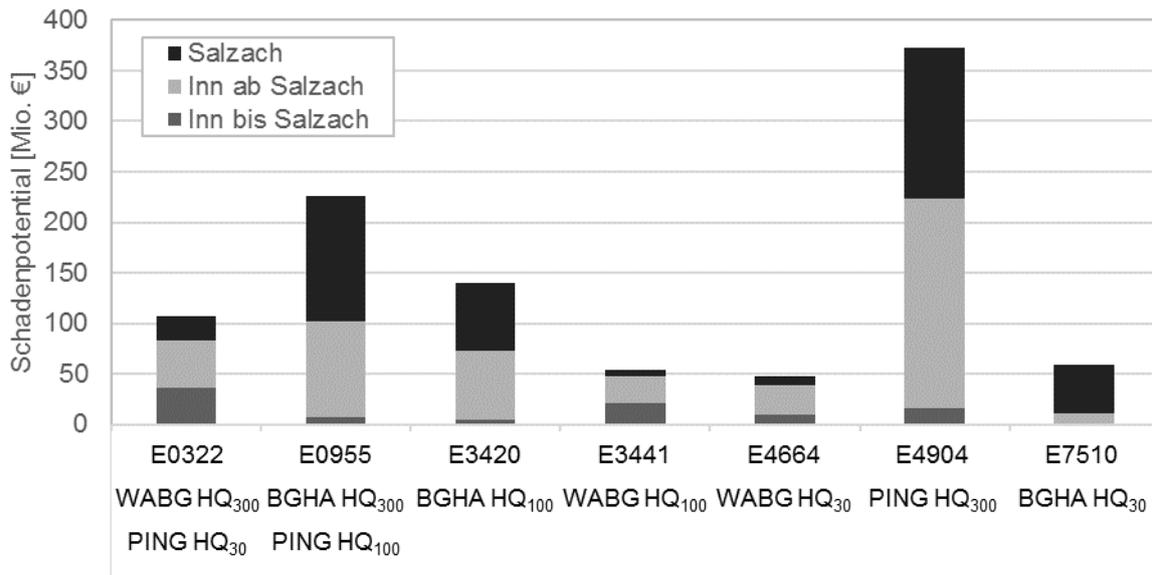


Abbildung 150: Schadenpotential für den Referenzzustand für die drei je Pegel maßgebenden Ereignisse getrennt nach Inn oberhalb und Inn unterhalb der Salzachmündung und der Salzach

Zur Beurteilung der Wirksamkeit wird für jedes untersuchte Ereignis der Schaden ab dem Standort des Flutpolders bis zur Mündung in die Donau (inkl. Gemeindegebiet Passau) für den Referenzzustand und den Zustand mit Flutpolder ermittelt. Die Differenz beider Schäden ergibt die Reduktion des potentiellen Schadens durch Einsatz des Flutpolders, welcher in Tabelle 72 gegeben wird. In die abschließende Priorisierung der gesteuerten Flutpolder geht die Reduktion des potentiellen Schadens bei den Ereignissen HQ₃₀ und HQ₁₀₀ je Abschnitt ein. Die Standorte werden primär weiterhin innerhalb des jeweiligen Abschnitts betrachtet und gereiht. Die ermittelte Schadenreduktion ermöglicht aber in gewissem Maß auch eine übergreifende Vergleichbarkeit der Standorte.

Tabelle 72: Reduktion des Schadenpotentials durch die detaillierter untersuchten Flutpolder für verschiedene ausgewählte Ereignisse an den drei maßgebenden Pegeln

Reduktion des Schadenpotentials unterhalb des RHR [Mio. €]											
Ereignis		a_06	a_08	a_13	b_02	c_08	c_09	c_13	d_04	d_05	d_10
WABG											
HQ ₃₀	E4664	5	6	2							
HQ ₁₀₀	E3441	9	12	4							
HQ ₃₀₀	E0322	11	17	7							
BGHA											
HQ ₃₀	E7510								4	5	
HQ ₁₀₀	E3420								7	10	
HQ ₃₀₀	E0955								11	15	
PING											
HQ ₃₀	E0322	11	17	7	3	6	5	20	2	3	2
HQ ₁₀₀	E0955	10	16	2	5	12	10	40	11	15	8
HQ ₃₀₀	E4904	10	19	6	6	17	14	73	9	15	7

10.3. Einschränkungen der Methodik zur Schadenermittlung

Grundsätzlich handelt es sich bei der angewandten Methode um ein erprobtes Instrument zur Ermittlung der potentiellen Schäden. Allerdings bestehen einige Einschränkungen, welche zu Unsicherheiten in den Ergebnissen führen. Im Lauf der Bearbeitung wurden die ermittelten Schadenpotentiale von den bayerischen Wasserwirtschaftsämtern und der österreichischen Wasserwirtschaftsverwaltung plausibilisiert. Dabei zeigte sich, dass in Teilbereichen das tatsächlich vorhandene Schadenpotential nicht korrekt abgebildet wird. Dies ist grundsätzlich zwar zu erwarten, da die Methodik, die aufgrund ihrer Praktikabilität und Skala im Gesamtkontext der Studie gewählt wurde, zwangsläufig im Detail Unschärfen aufweist. In Einzelfällen ergaben sich allerdings Abweichungen, welche sich auch in den auf Gemeindeebene aggregierten Werten auswirkten.

Bei der Herangehensweise wurden Flächennutzungen aus den ATKIS-Daten zu nur fünf Nutzungsklassen zusammengefasst und mit flächen- und nicht objektbezogenen Schadenfunktionen belegt. Daraus resultierten beispielsweise für einfach ausgestattete Sportgelände im Überschwemmungsgebiet, welche in der Methodik der Nutzungsklasse 1, Siedlung, zugeordnet werden, aufgrund der Flächengröße bei großen Wassertiefen deutlich zu große Schäden (Bsp. Flutmulde Rosenheim, Vornbach). Ähnlich verhält es sich mit anderen Nutzungsarten wie beispielsweise Parkplätzen, Uferpromenaden, Park- oder Freizeitflächen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten oder gewässerbegleitend, welche tatsächlich praktisch keine Schäden erwarten lassen, aber den Nutzungsklassen 1 oder 3 zugeordnet werden.

Einen Extremfall stellt hierbei das Gemeindegebiet von Neuhaus am Inn dar. In der Gemeinde Neuhaus a.I. wurde von der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung ab 1972 eine Absiedlung durchgeführt. Insbesondere die tiefliegenden Flächen wurden aufgrund der Lage im Überschwemmungsgebiet mit einem Bauverbot belegt. Neu gebaute und im Überschwemmungsgebiet liegende Häuser (Wohngebäude und Gewerbebauten) mussten hochwasserangepasst ausgeführt werden und stellen damit real kein Schadenspotential mehr dar. In den verwendeten Landnutzungsdaten und der Methodik ist eine Unterscheidung zu „klassischer“ Bebauung nicht enthalten. Daher wurden diese Flächen einer eigenen Klasse mit eigener Schadenfunktion (1 €/m²) zugeführt. Aufgrund der zwischenzeitlich erfolgten Flurbereinigung war die Ermittlung der betroffenen Wohnhäuser und Gewerbebauten sehr aufwendig und sicher nicht vollständig möglich. Ein weiteres Problem stellt der Streusiedlungscharakter der Gemeinde dar. Die Gebäudegrundfläche im Vergleich zur gesamten Grundstücksfläche – welche zur Berechnung des Schadens herangezogen wird – ist dabei eher gering und liegt sowohl bei „Siedlungen“ als auch „Industrie“ unter den Mittelwerten, für welche die Schadenfunktionen empirisch

ermittelt wurden. Im Fall Neuhaus a.I. ist das ermittelte Schadenspotential daher um Größenordnungen zu hoch. Dies resultiert also möglicherweise in einer (monetären) Überschätzung der Flutpolderwirkung auf die betroffenen Grundstücke, da Wasserspiegelsenkungen eine größere Schadenreduktion erwarten lassen, welche es bei tatsächlich nicht vorhandenem – oder durch die hochwasserangepasste Bebauung stark reduziertem – Schadenspotential eigentlich nicht gibt. Die Vergleichbarkeit zwischen den untersuchten Flutpolderstandorten sollte allerdings weiterhin gegeben sein, da dies alle in ähnlicher Weise betrifft.

Für besonders dicht besiedelte Bereiche werden dagegen die Schadenpotentiale unterschätzt, welche aber in diesem Untersuchungsgebiet aufgrund der meist ländlichen Struktur entlang des Inns selten vorliegen. Daher wird aufgrund des allgemeinen Detailgrads der Studie eher davon ausgegangen, dass sich lokal vorhandene Ungenauigkeiten über das gesamte Untersuchungsgebiet nicht komplett ausgleichen und es eher zu einer Überschätzung des Schadenspotentials kommt.

Weitere mögliche Unsicherheitsquellen ergeben sich beispielsweise aus der Modellauflösung, der Nichtberücksichtigung des Versagens von Schutzmaßnahmen und der Vernachlässigung weiterer Unsicherheiten. Sowohl das 2D-HD-Modells als auch die Postprocessing-Tools (z. B. Rasterung der Daten) mussten aufgrund der Datenmengen in angepasster Auflösung betrieben werden. An den Übergängen der Wassertiefenklassen und an der Trocken-Nass-Grenze kommt es daher zu Ungenauigkeiten. Das Versagen von Schutzmaßnahmen, z. B. Deichbrüche, wurde nicht simuliert, da hierfür eine umfassendere Analyse notwendig wäre. Deichbrüche können einen wesentlichen Einfluss auf den Hochwasserwellenablauf haben, da sie dadurch für eine Entlastung der Abschnitte im weiteren Fließverlauf sorgen können. In den Flächen hinter dem Deichbruch steigen stattdessen die Schäden und der ermittelte Gesamtschaden würde sich auch verändern. Die Vielzahl möglicher Deichversagensszenarien sind allerdings modelltechnisch kaum umsetzbar und die Ermittlung des Risikos nimmt in ihrer Komplexität zu. Für die untersuchten Ereignisse in der Größenordnung über den Bemessungsabflüssen der jeweiligen Hochwasserschutzanlagen stellt dies eine vereinfachte Annahme dar, da in dieser Untersuchung die Hochwasserschutzsysteme im 2D-HD-Modell nur überströmt werden und nicht versagen. Neben weiteren hier vernachlässigten Unsicherheiten sei exemplarisch noch die Vorhersageunsicherheit bei der Steuerung der Flutpolder genannt.

Für das gesamte Untersuchungsgebiet konnten die ermittelten Werte die bekannten Größenordnungen der potentiellen Schäden mit Ausnahme von Neuhaus a.I. bestätigen. Diese stellen zwar nur eine grobe Näherung der tatsächlichen Schäden dar, sind aber für den derzeitigen Untersuchungsstand ausreichend. Trotz der genannten Einschränkungen handelt es sich bei der durchgeführten Schadenspotentialermittlung um ein gutes Hilfsmittel, um die Priorisierung

der potentiellen Flutpolder durchzuführen. Angesichts der allgemeinen Bearbeitungstiefe entsprechend dem Charakter einer Potentialstudie können die beschriebenen Unsicherheiten dieser Abschätzung toleriert werden. Für die weiteren Planungen und Entscheidungen sollte die Schadenermittlung gerade in sensiblen Bereichen wie Neuhaus a.I. oder auch Bereichen mit Objektschutzmaßnahmen auf eine objektbasierte Methodik und entsprechend detailliertere Skala umgestellt werden. Das Projektgebiet sollte auf die Donau unterhalb der Innmündung erweitert werden. Für die Datenerhebung wäre sinnvollerweise auch eine Ortseinsicht mit Aufnahme der Objekte (Einmessung FOK) und Einordnung in die Schadenskategorien oder eine anschließende Anwendung erweiterter, objektspezifischer Schadenfunktionen erforderlich.

10.4. Erstellung eines Längsschnitts der betroffenen Einwohner entlang des Inns

Um die Zahl der potentiell von Hochwasser betroffenen Einwohner entlang des Inns und der Salzach zu ermitteln, wurde die Methodik aus der Erstellung der Hochwassergefahrenkarten Bayern (HWGK) angewandt. Die Anzahl wird dabei statistisch aus dem Verhältnis der Gesamt-einwohnerzahl der Gemeinden zu den vom Hochwasserereignis potentiell betroffenen Einwohner über eine Verschneidung der „Wohnbauflächen“ und „Flächen gemischter Nutzung“ mit dem Überschwemmungsgebiet ermittelt. Anders als in den HWGK wurden die in diesem Projekt simulierten, also instationären Hochwasserereignisse verwendet. Dazu wurden zwei Ereignisse niedriger Wahrscheinlichkeit beispielhaft ausgewählt: Ereignis 4852 (etwa HQ₁₀₀₀ in Wasserburg) und Ereignis 4904 (etwa HQ₃₀₀ in Passau) mit unterschiedlicher Genese. Analog zu den Einschränkungen beim ermittelten Schadenpotential stellen die ermittelten Zahlen der betroffenen Einwohner keinen exakten Wert dar. Sie dienen eher einer Einschätzung des Risikos für direkte, intangible Schäden (Gefahr für Leib und Leben).

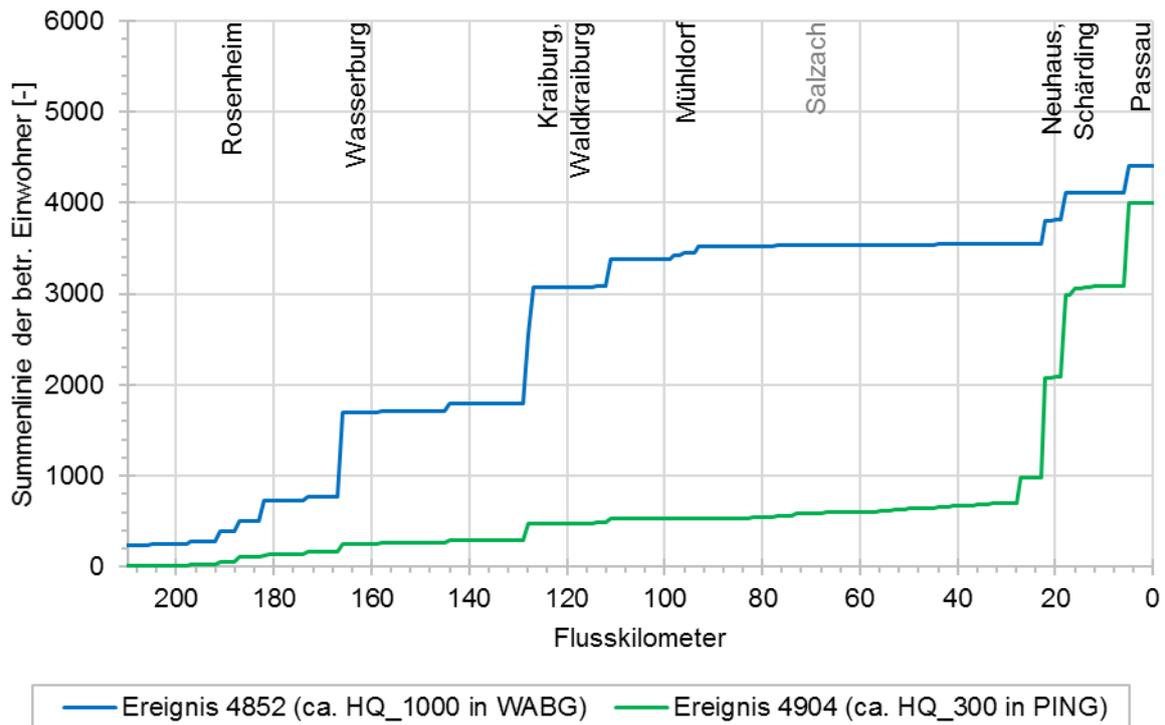


Abbildung 151: Längsschnitt der betroffenen Einwohner entlang des Inns bei zwei beispielhaft ausgewählten Hochwasserereignissen

11. Integrale Betrachtung und Maßnahmenpriorisierung

Zur Maßnahmenfindung und Maßnahmenpriorisierung der potentiellen RHR wurde ein stufenartiges Vorgehen gewählt. Folgende wesentliche Schritte wurden abgearbeitet und können im Detail in den jeweils angegebenen Kapiteln nachgeschlagen werden:

- Standortfindung und anschließende Grobbewertung der über 100 gefundenen potentiellen Rückhalteflächen (Kapitel 6.1 und 6.2) zur Auswahl der bezüglich Machbarkeit und Volumen und Flächengröße als Flutpolder oder Deichrückverlegung sinnvoll erscheinenden Rückhalteräume.
- Erstpriorisierung der weiterverfolgten potentiellen Flutpolderstandorte mit einem Kriterienkatalog zu „Planungsherausforderungen“ und der Wirkung auf ein ausgewähltes HW-Ereignis zur Auswahl der detaillierter zu betrachtenden Standorte (Kapitel 6.3 bis 6.9).
- Eingehende Priorisierung der in der Erstpriorisierung jeweils drei bestplatzierten Standorte je Abschnitt anhand einer detaillierten Wirkungsanalyse mit einer Bandbreite an hydrologischen Szenarien und zusätzlichen Kriterien (nachfolgendes Kapitel).

Neben dieser Priorisierung für gesteuerte RHR (Flutpolder, FP) erfolgt auch eine Bewertung des natürlichen Rückhalts (DRV) im Untersuchungsgebiet anhand der Simulationen mit denselben hydrologischen Szenarien, aber ohne Reihung in einer Priorisierung.

11.1. Priorisierung der potentiellen Standorte für gesteuerten Rückhalt an Inn und Salzach

Basierend auf den Ergebnissen der ersten Bewertung und den Wirkungsanalysen wird die abschließende Priorisierung erarbeitet. Dazu gehen zusätzliche Parameter in das Bewertungsschema ein, welches entsprechend angepasst wurde (Abbildung 152). Mit den Ergebnissen der Einzelwirkungsanalysen der Flutpolder wurden die Kriterien A1 (neu), A2 und A3 sowie B1 (neu), B2 und B3 aktualisiert. Zudem wurden die Kriterien B4 bis B7 eingeführt, um die Wirkung auf Jährlichkeiten an Pegeln beziehen zu können sowie durch die Kriterien E (naturschutzfachliche Übersichtsbewertung) und F (Reduktion des Schadenpotentials) ergänzt. Die Beschreibung der Kriterien findet sich übersichtlich in Tabelle 73. Generell wurde versucht, für die aktualisierten Kriterien etwas stärker die Jährlichkeiten an den maßgebenden Pegeln einzubeziehen. Somit können Aussagen zur Wirksamkeit getroffen werden, wenn Ereignisse unter oder über dem Bemessungsabfluss, welcher je Abschnitt unterschiedlich ausfällt (vergleiche Kapitel 3.1), liegen.

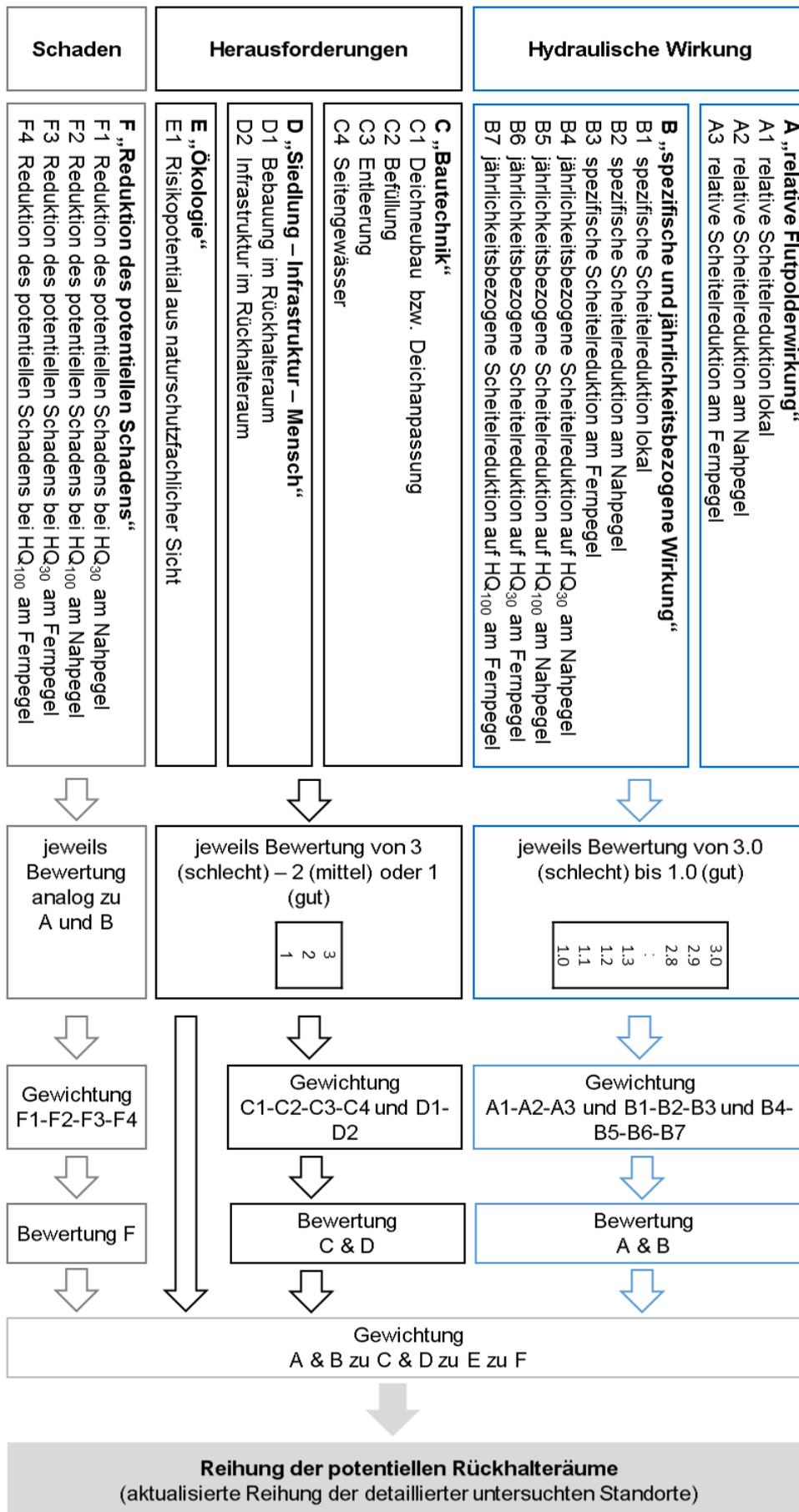


Abbildung 152: aktualisiertes Schema für die abschließende Priorisierung

Tabelle 73: Übersicht über die verwendeten Kriterien und deren Bewertungsgrundlage zur Priorisierung

Kriterium	Bewertungsgrundlage	Überführung in Bewertung von 1 bis 3	
A „relative Flutpolderwirkung“			
A1	relative Scheitelreduktion lokal am Standort	Klassengrenzen wurden aus Kapitel 6 übernommen und für hinzugekommene Kriterien leicht angepasst	
A2	relative Scheitelreduktion am Nahpegel		
A3	relative Scheitelreduktion am Fernpegel		
B „spezifische und jährlichkeitsbezogene Wirkung“			
B1	spezifische Scheitelreduktion lokal	Klassengrenzen wurden aus Kapitel 6 übernommen und für hinzugekommene Kriterien leicht angepasst	
B2	spezifische Scheitelreduktion am nächstgelegenen Pegel		
B3	spezifische Scheitelreduktion am letzten Pegel (Passau)		
B4	jährlichkeitsbezogene Scheitelreduktion auf HQ ₃₀ am Nahpegel	Erläuterung siehe Text.	
B5	jährlichkeitsbezogene Scheitelreduktion auf HQ ₁₀₀ am Nahpegel		
B6	jährlichkeitsbezogene Scheitelreduktion auf HQ ₃₀ am Fernpegel		
B7	jährlichkeitsbezogene Scheitelreduktion auf HQ ₁₀₀ am Fernpegel		
C „Bautechnik“			
C1	Notwendiger Deichneubau	unverändert übernommen aus Kapitel 6	
C2	Befüllung		
C3	Entleerung		
C4	Seitengewässer		
D „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“			
D1	Bebauung im Rückhalteraum	unverändert übernommen aus Kapitel 6	
D2	Infrastruktur		
E „Ökologie“			
E1	Risikopotential aus naturschutzfachlicher Sicht	Ermittelt durch Büro Revital	Risikopotential: gering: 1, mäßig: 2, hoch oder sehr hoch: 3
F Reduktion des potentiellen Schadens			
F1	Reduktion des potentiellen Schadens bei HQ ₃₀ am Nahpegel	Minderung des potentiellen Schadens durch Flutpoldereinsatz zwischen Standort und Donaumündung; Werte aus Tabelle 72 [Mio. €]	Klassengrenzen gleichverteilt zwischen 0 und 20 Mio. €
F2	Reduktion des potentiellen Schadens bei HQ ₁₀₀ am Nahpegel		
F3	Reduktion des potentiellen Schadens bei HQ ₃₀ am Fernpegel		
F4	Reduktion des potentiellen Schadens bei HQ ₁₀₀ am Fernpegel		

Für den Abschnitt a ist der Nahpegel WABG, für den Abschnitt b der Querschnitt an der Staustufe ITM und für die Polder an der Salzach der Pegel BGHA beziehungsweise Braunau (d_10). Der Fernpegel ist immer der Pegel PING. Für die Standorte im Abschnitt c ist Nah- und Fernpegel der Pegel PING.

Die Einführung der Kriterien B4 bis B7 hat das Ziel, einen Bezug zu wichtigen Jährlichkeiten an den Pegeln herzustellen und damit Aussagen zu treffen, ob mit einem potentiellen RHR der Überlastfall (je nach Abschnitt etwa HQ₃₀ beziehungsweise HQ₁₀₀) verhindert oder zumindest dessen Wahrscheinlichkeit verringern werden könnte. Dazu wurden aus den Simulationen die Ereignisse ausgewertet, welche das HQ₃₀ beziehungsweise HQ₁₀₀ an Bezugspegeln (Nah-

und Fernpegel) überschreiten. Nur für diese Ereignisse wurde die Flutpolderwirkung ausgewertet. Dafür wurde die absolute Scheitelreduktion mit Einsatz eines Flutpolders (Gl. 5) in Relation zur Differenz zwischen Abflussscheitel im Referenzzustand und des der Jährlichkeit entsprechenden Abflusses gesetzt (Gl. 9). HQ_x betrug dabei HQ_{30} oder HQ_{100} .

$$dQ_{rel,HQ_x} = \frac{dQ_{abs,RHR}}{HQ_x - Q_{max,Ref}} [-] \quad (9)$$

Die Ergebnisse können zwischen 0 und unendlich liegen. Werte > 1 bedeuten, dass mit dem RHR das Referenzereignis unter die entsprechende Jährlichkeit reduziert werden kann. Bei Werten < 1 reicht umgekehrt der Einsatz des RHR nicht aus, um diesen Abfluss zu unterschreiten. Die Auswertung für den Nahpegel in Abbildung 153 (Kriterium B4) und in Abbildung 154 (Kriterium B5) zeigt zum Beispiel, dass bei Betrachtung aller Ereignisse, die die jeweilige Schwelle überschreiten, der Flutpolder c_13_B den Scheitel am häufigsten unter das HQ_{30} beziehungsweise HQ_{100} reduzieren kann.

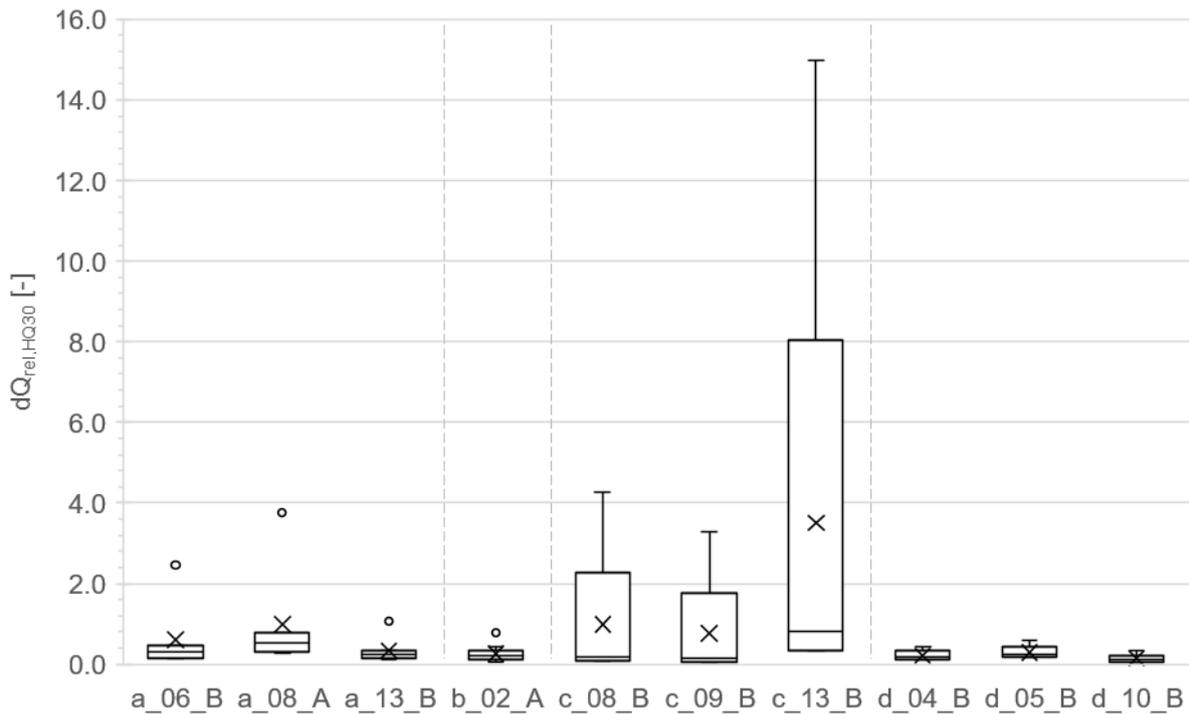


Abbildung 153: Boxplots mit der jährlichkeitsbezogenen Scheitelreduktion je Flutpolder für den Nahpegel bei HQ₃₀ (Kriterium B4). Dargestellt sind Median (Balken), Mittelwert (Kreuz) und Ausreißer (Kreise)

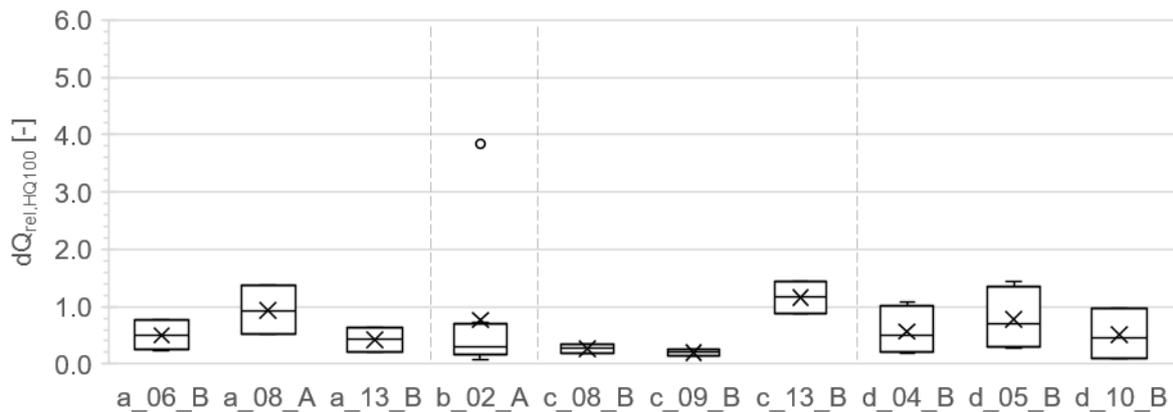


Abbildung 154: Boxplots mit der jährlichkeitsbezogenen Scheitelreduktion je Flutpolder für den Nahpegel bei HQ₁₀₀ (Kriterium B5). Dargestellt sind Median (Balken), Mittelwert (Kreuz) und Ausreißer (Kreise)

Für das Kriterium im Themenfeld „Ökologie“, Risikopotential aus naturschutzfachlicher Sicht, wurden parallel zu den Untersuchungen der TUM durch das Büro REVITAL für die zehn vielversprechendsten Standorte aus der Erstpriorisierung (Ränge 1 bis 3 je Abschnitt) und zusätzlich noch für 9 weitere jeweils auf den Rängen 4 bis 6 gelegenen Standorte eine grobe Übersichtsbewertung auf Basis bereits vorliegender naturschutzfachlicher Daten und Informationen durchgeführt (REVITAL 2020). Die für die Priorisierung maßgebende Beurteilung fasst Tabelle 74 zusammen, wobei die Gesamtbewertung ohne Kompensationsmaßnahmen verwendet

wurde. Geringes Risikopotential erhielt die Bewertung 1, mäßiges die Bewertung 2 und hohes oder sehr hohes Risikopotential die Bewertung 3. Die Kennziffer für den Abschnitt lauten 1, 2, 3 und 4 (erste Ziffer der Standortnummern) in der naturschutzfachlichen Übersichtsbewertung und in folgender Tabelle, wohingegen ansonsten im TP D die Buchstaben a, b, c und d verwendet werden; die laufenden Nummern je Abschnitt sind identisch (Bsp.: a_08_A entspricht hier 1_08_A).

Mithilfe von Gewichtungen wurden wiederum die Bewertungen der einzelnen Kriterien zusammengeführt, um eine Gesamtbewertung zu erhalten. Die Gewichtungen wurden dabei mithilfe einer Zufallsverteilung in 1.000 Kombinationen variiert, um eine mögliche subjektive Beeinflussung auszuschließen. Das Vorgehen für die einzelnen Kriterien sowie die Bandbreite, innerhalb derer die Gewichtungen variierten, zeigt Abbildung 155. Abbildung 156 zeigt die Boxplots der Gesamtbewertungen, welche aus den verschiedenen Kombinationen der Gewichtungen resultieren. Dabei ergaben sich ähnliche Bandbreiten möglicher Bewertungen wie in der Erstpriorisierung. Der Median dieser Bewertungen ergab wiederum die abschließende Gesamtbewertung als Basis für eine abschließende Reihung der Standorte. Nach fachlicher Einschätzung gewählte Gewichtungen wurden ebenfalls abgeglichen, wobei sich kaum Unterschiede in der resultierenden Reihung zeigten.

Tabelle 74: Bewertung und Reihung der möglichen Flutpolderstandorte nach deren Risikopotential aus naturschutzfachlicher Sicht (* Reihung ohne Kompensationsmaßnahmen) (REVITAL 2020)

Nr.	Bezeichnung	Natura 2000	Schutzgebiete	Geschützte Biotope / Biotopgruppen	Geschützte und gefährdete Arten	Landschaftsbild/ Erholung	GESAMT ohne Kompensationsmaßnahmen	Reihung gesamt*	GESAMT mit Kompensationsmaßnahmen
Standort 1	1_08_A Feldkirchen Vogtareuth	hoch	gering	gering	mäßig	gering	gering	1	positiv
Standort 2	1_13_B Altenhofenau	mäßig	gering	mäßig	mäßig	mäßig	mäßig	2	gering
Standort 3	1_06_B Erlenu-Happing	kein / nicht relevant	hoch	mäßig	mäßig	mäßig	mäßig	3	mäßig
Standort 5	3_09_B Mining	hoch	kein / nicht relevant	hoch	hoch	mäßig	hoch	4	mäßig
Standort 6	3_08_B Ering	hoch	kein / nicht relevant	mäßig	hoch	hoch	hoch	5	mäßig
Standort 4	2_02_A Perach rechts	sehr hoch	kein / nicht relevant	hoch	hoch	gering	hoch	6	mäßig
Standort 7	3_13_B Inzing-Redinger	hoch	kein / nicht relevant	hoch	hoch	hoch	hoch	7	mäßig
Standort 10	4_10_B Haiming	hoch	hoch	mäßig	hoch	hoch	hoch	8	mäßig
Standort 8	4_04_B Fridolfing 1	sehr hoch	kein / nicht relevant	hoch	hoch	hoch	sehr hoch	9	hoch
Standort 9	4_05_B Fridolfing 2	sehr hoch	kein / nicht relevant	hoch	hoch	hoch	sehr hoch	10	hoch
Standort 11	1_14_A Klosterau	mäßig	gering	gering	kein / nicht relevant	gering	gering	1	gering
Standort 18	4_09_A Mühlal	kein / nicht relevant	kein / nicht relevant	mäßig	gering	mäßig	mäßig	2	mäßig
Standort 16	3_03_B Rothenbuch	kein / nicht relevant	kein / nicht relevant	hoch	gering	mäßig	mäßig	3	gering
Standort 15	3_10_B Aufhausen-Aigen	hoch	kein / nicht relevant	mäßig	hoch	mäßig	hoch	4	mäßig
Standort 14	3_11_B Mühlheim	hoch	mäßig	mäßig	mäßig	mäßig	hoch	5	mäßig
Standort 17	4_08_B Tittmoning Süd	hoch	kein / nicht relevant	hoch	mäßig	hoch	hoch	6	mäßig
Standort 13	1_01_B Nussdorf	hoch	hoch	mäßig	hoch	mäßig	hoch	7	mäßig
Standort 12	1_07_B Pfaffenhofen-Au	hoch	hoch	hoch	mäßig	hoch	hoch	8	mäßig
Standort 19	4_02_A Anthering 1	sehr hoch	kein / nicht relevant	hoch	hoch	hoch	sehr hoch	9	hoch

Kriterium

A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D1	D2	E	F1	F2	F3	F4
Bandbreite der Gewichtung jeweils 0.1 – 0.5 (Median ca. 0.33 je Kriterium)			Gewichtung wie jeweils A1-A2-A3			B4: Bandbreite der Gewichtung jeweils 0.05 – 0.45, B6: wie B4, B5 und B7 abhängig von B4 und B6 (Median ca. 0.25 je Kriterium)				Gewichtung jeweils 0.25				D1: Bandbreite der Gewichtung 0.5 – 0.9, D2 abhängig von D1		ohne Gewichtung	F1: Bandbreite der Gewichtung jeweils 0.05 – 0.45, F3: wie F1, F2 und F4 abhängig von F1 und F3 (Median ca. 0.25 je Kriterium)			
Kriterien A zu B Bandbreite der Gewichtung jeweils 0.1 – 0.9										Kriterien C zu D Bandbreite der Gewichtung jeweils 0.1 – 0.9				E	F					
Kriterien A & B zu C & D zu E zu F Gewichtungen $\frac{3}{7} - \frac{2}{7} - \frac{1}{7} - \frac{1}{7}$ (insgesamt 7 „Themenblöcke“)																				



Abbildung 155: Gewichtungen der Kriterien A, B, C, D, E und F zur Überführung in eine Gesamtbewertung

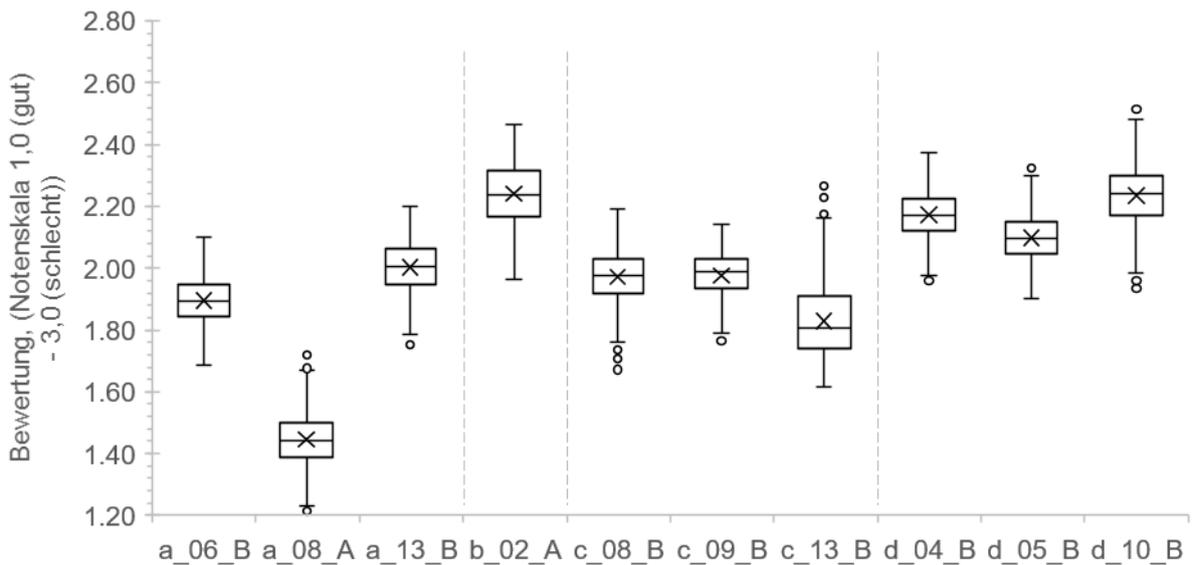


Abbildung 156: Boxplots der Gesamtbewertungen (von 1: gut bis 3: schlecht) der potentiellen Flutpolder aus der Kombination vieler Gewichtungen in der abschließenden Priorisierung. Dargestellt sind Median (Balken), Mittelwert (Kreuz) und Ausreißer (Kreise)

Die Gesamtbewertungen der Standorte liegen – wie in der Erstpriorisierung – meist eng zusammen (Tabelle 75), wodurch Änderungen einzelner Parameter einen Einfluss auf die Reihung haben können. Dies betrifft beispielsweise a_06 und a_13, welche nur 0,11 Notenschritte auseinanderliegen, bei leichten Veränderungen den Rang tauschen können und damit de facto gleich beurteilt und gereiht werden sollten. Standort a_08 bleibt weiter eindeutig auf Rang 1 im Abschnitt. Ähnliches gilt für die Standorte am unteren Inn, wo c_13 auf Rang 1 lediglich 0,16 Notenschritte vor c_08 auf Rang 2 und nur 0,17 Notenschritte vor c_09 auf Rang 3 liegt. Ebenso gilt dies für die ersten beiden Standorte an der Salzach (d_04 und d_05) welche nur 0,07 Notenschritte trennen. Grundsätzlich sind die Bewertungen der Standorte etwas schlechter geworden, was unter anderem mit der Einführung des Kriterium E (Ökologie) zusammenhängt, wo meist die Note 3 vergeben wurde. Eine Übersicht über die abschließende Bewertung aller Kriterien gibt Tabelle 76 und Tabelle 77. In der abschließenden Priorisierung ergab sich im Vergleich zur Erstpriorisierung in zwei Abschnitten keine Änderung in der Reihung. In Abschnitt a tauschten a_06_B und a_13_B den Rang (nun 2 und 3). In Abschnitt c liegt nun Standort c_13_B auf Rang 1, gefolgt von c_08_B und c_09_B (in der Erstpriorisierung umgekehrte Reihenfolge).

Tabelle 75: Übersicht der zehn Standorte, die detaillierter untersucht wurden, mit der Bewertung aus der Erstpriorisierung und der abschließenden Priorisierung. Rang bezieht sich auf Reihung nur innerhalb des jeweiligen Abschnitts

Polder ID	Name	abschließende Note	Rang	Note aus Erstpriorisierung	Rang aus Erstpriorisierung
a_06_B	Erlenau-Happing	1.90	2	1.79	3
a_08_A	Feldkirchen-Vogtareuth	1.44	1	1.42	1
a_13_B	Altenhohenau	2.01	3	1.58	2
b_02_A	Perach rechts	2.24	1	2.08	1
c_08_B	Ering	1.97	2	1.96	2
c_09_B	Mining	1.98	3	1.84	1
c_13_B	Inzing	1.81	1	1.96	3
d_04_B	Fridolfing 1	2.17	2	1.77	2
d_05_B	Fridolfing 2	2.10	1	1.66	1
d_10_B	Haiming	2.23	3	1.90	3

Die hier in Tabelle 76 und Tabelle 77 gezeigten Ergebnisse der Priorisierung für die Standorte auf Rang 1 bis 3 je Abschnitt wurden mit Erläuterungen, weiteren informativen Kriterien sowie detaillierteren Übersichtslageplänen in Steckbriefen zusammengefasst, welche diesem Bericht als Anlage beiliegen.

Tabelle 76: Bewertungen für die zehn detaillierter untersuchten Flutpolderstandorte (Rang 1 bis 3 je Abschnitt aus der Erstpriorisierung), erster Teil mit Kriterien A und B

ID	a_06_B	a_08_A	a_13_B	b_02_A	c_08_B	c_09_B	c_13_B	d_04_B	d_05_B	d_10_B
Name	Erlenau-Happing	Feldkirchen-Vogtareuth	Altenhohen au	Perach rechts	Ering	Mining	Inzing	Fridolfing 1	Fridolfing 2	Haiming
Lage Einlauf	190.8	176.0	166.4	85.0	51.0	50.0	27.2	37.8	33.0	5.0
Stauziel (potentiell)	451.9	441.1	433.1	361.7	336.5	336.5	315.0	382.0	377.0	352.0
Rückhaltvolumen	8.2	17.4	4.6	5.2	13.5	10.7	62.8	5.9	8.7	6.4
Gesamtbewertung	1.90	1.44	2.01	2.24	1.97	1.98	1.81	2.17	2.10	2.23
Rang im Abschnitt	2	1	3	0	2	3	1	2	1	3
A: "relative Flutpolderwirkung"										
dQ_rel	10.0	14.2	3.9	6.0	7.0	6.1	17.2	4.7	5.9	7.2
Note A1	1.6	1.1	2.5	2.2	2.1	2.2	1.0	2.4	2.2	2.0
dQ_rel	6.6	11.5	3.6	4.2	4.7	3.7	14.4	3.0	4.1	2.3
Note A2	2.1	1.4	2.5	2.5	2.4	2.5	1.0	2.6	2.5	2.7
dQ_rel	1.5	2.7	0.7	0.9	4.7	3.7	14.4	1.1	1.4	1.7
Note A3	2.7	2.5	2.9	2.9	2.1	2.3	1.0	2.8	2.8	2.7
B: "spezifische und jährlichkeitsbezogene Flutpolderwirkung"										
dQ_rel / V	1.222	0.818	0.848	1.148	0.518	0.566	0.273	0.792	0.680	1.117
Note B1	1.0	1.6	1.6	1.0	2.1	2.1	2.6	1.7	1.9	1.1
dQ_rel / V	0.809	0.663	0.780	0.815	0.344	0.342	0.229	0.508	0.475	0.354
Note B2	1.4	1.7	1.4	1.3	2.3	2.3	2.6	2.0	2.1	2.3
dQ_rel / V	0.178	0.154	0.146	0.177	0.344	0.342	0.229	0.186	0.159	0.271
Note B3	2.3	2.4	2.4	2.3	1.6	1.6	2.1	2.3	2.4	1.9
dQ_rel,HQ ₃₀	0.61	0.99	0.34	0.26	0.98	0.76	3.51	0.21	0.29	0.14
Note B4	1.5	1.0	2.2	2.4	1.0	1.1	1.0	2.5	2.3	2.7
dQ_rel,HQ ₁₀₀	0.50	0.93	0.42	0.77	0.27	0.20	1.16	0.57	0.78	0.51
Note B5	1.7	1.0	1.9	1.0	2.3	2.5	1.0	1.6	1.0	1.7
dQ_rel,HQ ₃₀	0.39	0.79	0.24	0.33	0.98	0.76	3.51	0.22	0.27	0.39
Note B6	1.0	1.0	1.8	1.3	1.0	1.0	1.0	1.9	1.6	1.0
dQ_rel,HQ ₁₀₀	0.10	0.24	0.06	0.08	0.27	0.20	1.16	0.03	0.06	0.08
Note B7	2.5	1.8	2.7	2.6	1.6	2.0	1.0	2.9	2.7	2.6

Tabelle 77: Bewertungen für die zehn detaillierter untersuchten Flutpolderstandorte (Rang 1 bis 3 je Abschnitt aus der Erstpriorisierung), zweiter Teil mit Kriterien C, D, E und F

ID	a_06_B	a_08_A	a_13_B	b_02_A	c_08_B	c_09_B	c_13_B	d_04_B	d_05_B	d_10_B
Name	Erlenau-Happing	Feldkirchen-Vogtareuth	Altenhohenau	Perach rechts	Ering	Mining	Inzing	Fridolfing 1	Fridolfing 2	Haiming
C: „Bautechnik“										
Note C1	3	1	2	3	2	1	3	3	3	3
Note C2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Note C3	1	1	2	1	1	2	1	1	1	3
Note C4	1	1	1	2	3	1	3	2	2	2
D: „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“										
Note D1	2	1	1	2	1	1	3	1	1	1
Note D2	2	3	1	2	1	1	2	1	1	2
E: „Ökologie“										
Risikopot. (naturschutzfachl. Sicht)	mäßig	gering	mäßig	hoch	hoch	hoch	hoch	sehr hoch	sehr hoch	hoch
Note E	2	1	2	3	3	3	3	3	3	3
F: „Reduktion des potentiellen Schadens“										
dS pot. Schaden	[Mio. €]	6.0	1.6	2.6	6.3	4.7	20.0	3.9	5.5	2.2
Note F1	[-]	2.4	2.9	2.8	2.4	2.6	1.0	2.6	2.5	2.8
dS pot. Schaden	[Mio. €]	12.2	4.0	5.2	12.1	9.9	39.8	7.0	9.5	7.7
Note F2	[-]	1.8	2.6	2.5	1.8	2.0	1.0	2.3	2.0	2.2
dS pot. Schaden	[Mio. €]	11.1	7.1	2.6	6.3	4.7	20.0	2.3	3.0	2.2
Note F2	[-]	1.3	2.3	2.8	2.4	2.6	1.0	2.8	2.7	2.8
dS pot. Schaden	[Mio. €]	16.0	1.9	5.2	12.1	9.9	39.8	11.1	14.6	7.7
Note F3	[-]	1.4	2.9	2.5	1.8	2.0	1.0	1.9	1.5	2.2

11.2. Bewertung der potentiellen Standorte für natürlichen Rückhalt an Inn und Salzach

Die untersuchten Standorte für Deichrückverlegungen wurden nicht wie die Flutpolder priorisiert, da hier pro Abschnitt nur ein Standort tiefer untersucht wurde und sie hinsichtlich ihrer Eigenschaften auch zu unterschiedlich sind.

Von den drei Standorten hat c_12_D die signifikanteste Wirkung auf den Hochwasserwellenablauf. Dieser Standort nutzt die Fläche des Standorts c_13_B für eine Parallelströmung zum Inn, was eine deutliche Entzerrung der Wellen bewirken kann. Beide Standorte (c_12_D als DRV und c_13_B als gesteuerter RHR) schließen sich gegenseitig aus. Ähnlich verhält es sich mit dem Standort d_04_D an der Salzach, welcher die Umsetzung von d_04_B und d_05_B ausschließen würde. Diese DRV reduziert und verzögert bis etwa HQ₃₀ die Hochwasserscheitel, bei höheren Abflüssen stellt sich teils das Gegenteil ein, wobei die relativen Veränderungen dennoch gering ausfallen. Eine DRV macht hier eher aus ökologischer Sicht Sinn, die Wirkung auf große Hochwasserereignisse ist gering. Die absolute Wirkung der DRV a_13_D setzt sich fast durchgehend bis Passau fort, ist allerdings relativ gesehen vernachlässigbar.

11.3. Ergänzende Volumenbetrachtungen

Die Frage, welches Rückhaltevolumen denn insgesamt für den Hochwasserschutz „nötig“ ist, muss in weiteren Planungsschritten und politisch beantwortet werden. Allerdings kann zur Entscheidungsfindung beispielsweise anhand der Wellenvolumina der stochastisch generierten Ereignisse abgeschätzt werden, mit welchem Rückhaltevolumen die Hochwasserwellen zumindest auf den Bemessungsabfluss, idealerweise darunter, verringert werden könnten (vergleiche Abbildung 65, Abbildung 66 und Abbildung 67).

Am Pegel WABG hat die simulierte HQ₃₀₀-Welle ein Volumen über HQ₁₀₀ von etwa 8 Mio. m³, die beiden größeren Wellen ein Volumen von etwa 26 bis 28 Mio. m³. Für diese beiden Ereignisse würde also der größte potentielle Standort in dem Abschnitt alleine theoretisch nicht ausreichen, um den Scheitel auf ein HQ₁₀₀ in Wasserburg zu reduzieren. Dies zeigten auch die Einzelwirkungsanalysen.

Am Pegel BGHA haben die beiden Ereignisse mit der höchsten Jährlichkeit (> HQ₃₀₀), welche untersucht wurden, ein Wellenvolumen über HQ₁₀₀ von mehr als 40 Mio. m³ beziehungsweise 25 Mio. m³. Die Volumina der vertieft untersuchten Standorte reichen dafür nicht aus. Betrachtet man die zwei nächstgrößeren Wellen, scheint zumindest theoretisch die Reduktion von einem HQ₃₀₀ auf ein HQ₁₀₀ möglich (2,3 beziehungsweise 4,1 Mio. m³). Dies gelingt zumindest in den Einzelwirkungsanalysen.

Am Pegel PING steigen die Wellenvolumina weiter an. Hier liegen die größten untersuchten Ereignisse mehr als 20 beziehungsweise 55 Mio. m³ über dem HQ₁₀₀. Aufgrund des im Vergleich geringen Schutzniveaus von Passau können noch die Volumina > HQ₃₀ herangezogen werden. Ein Ereignis mit einem Abflussscheitel der Größenordnung HQ₅₀ hat hier ein Wellenvolumen über HQ₃₀ von mehr als 40 Mio. m³. Wie auch in den Einzelwirkungsanalysen zu sehen ist, kann allein mit dem (sehr großen) Standort c_13_B eine entsprechende Verringerung der Abflussscheitel erreicht werden. Die beiden anderen detaillierter untersuchten Standorte c_08_B und c_09_B reichen dafür selbst in Summe beider potentieller Rückhaltevolumina nicht aus.

12. Kombinationswirkungsanalysen

Ergänzend zu den Einzelwirkungsanalysen von Flutpoldern (Kapitel 7) wurden für mehrere Standorte Kombinationswirkungsanalysen durchgeführt. Die Auswahl der Standorte erfolgte auf Basis der Priorisierung (Kapitel 11.1). Für die Kombinationen wurden – je nach Variante – entweder zwei Standorte (je einer aus Abschnitt a und c) in Reihe betrachtet oder vier Standorte (pro Abschnitt a, b, c und d ein Standort) ausgewählt. Es wurden in den Abschnitten a, b und d der jeweils in der Priorisierung auf Rang 1 liegende Standort betrachtet, also a_08_A, b_02_A, d_05_B. In Abschnitt c wurde zwar pro Kombination ebenfalls nur ein Standort simuliert, aber dies für jeden der drei auf den Rängen 1 bis 3 liegenden Standorte wiederholt (c_08_B, c_09_B, c_13_B), da deren Unterschiede in der Bewertung sehr gering sind.

Nachfolgend beschriebene Kombinationswirkungsanalysen wurden als zusätzliche Untersuchungen durchgeführt und sind auch in Tabelle 79 und Tabelle 80 aufgeführt.

- Kombinationswirkungsanalysen (zwei Standorte aus a und c) mit jeweils lokal optimierter Steuerung:
 - **k_1_1**: Kombination der Standorte a_08_A (Rang 1 in Abschnitt a) und c_13_B (Rang 1 in Abschnitt c), Steuerung jeweils lokal optimiert.
 - **k_1_2**: Kombination der Standorte a_08_A (Rang 1 in Abschnitt a) und c_08_B (Rang 2 in Abschnitt c), Steuerung jeweils lokal optimiert.
 - **k_1_3**: Kombination der Standorte a_08_A (Rang 1 in Abschnitt a) und c_09_B (Rang 3 in Abschnitt c), Steuerung jeweils lokal optimiert.
 - **k_1_1b**: wie Kombination k_1_1, aber mit einem verringerten Volumen des Flutpolders c_13_B mit 40 Mio. m³, also etwa zwei Drittel des ursprünglichen Volumens.

- Kombinationswirkungsanalysen (zwei Standorte aus a und c) mit jeweils konstantem Zufluss, Flutpolder in a vorgeschaltet auf Salzach gesteuert:
 - **k_2_1:** Kombination der Standorte wie k_1_1. Standort a_08_A vorgeschaltet gesteuert auf den seitlichen Zufluss der Salzach mit konstantem Zufluss (300 m³/s über etwa 16 h) schwerpunktmäßig vor oder nach dem (Inn-) Scheitel (siehe Kapitel 9.2). Je nach Ereignis Unterscheidung zwischen „S1vor“ – Scheitel der Salzach trifft früher als der des Inns ein – oder „S2vor“ – Scheitel der Salzach trifft später ein. Konstanter Zufluss in Polder c_13_B durch Einlauf 1 (450 m³/s, etwa 26 h) und Einlauf 2 (350 m³/s, etwa 16 h), zu gleichen Teilen vor und nach dem Scheitel des Inn am Standort.
 - **k_2_2:** Kombination der Standorte wie k_1_2. Steuerung für a_08_A wie k_2_1. Konstanter Zufluss in Polder c_08_B (230 m³/s, etwa 16 h), zu gleichen Teilen vor und nach dem Scheitel des Inn am Standort.
 - **k_2_3:** Kombination der Standorte wie k_1_3. Steuerung für a_08_A wie k_2_1. Konstanter Zufluss in Polder c_09_B (200 m³/s, etwa 15 h), zu gleichen Teilen vor und nach dem Scheitel des Inn am Standort.
- Kombinationswirkungsanalysen (zwei Standorte aus a und c) mit auf die Hochwasserjährlichkeit angepasster lokal optimierter oder vorgeschalteter Steuerung:
 - **k_3_1:** Kombination wie k_1.1. Steuerung für a_08_A bei Ereignissen mit Hochwasserscheitel in WABG > HQ₁₀₀ lokal optimiert, für Ereignisse mit geringerer Jährlichkeit vorgeschaltete Steuerung entsprechend k_2_1. Steuerung für c_13_B lokal optimiert bei jedem Ereignis. Für Ereignisse größer HQ₁₀₀ (in WABG) entsprechen die Ergebnisse also denen von k_1_1.
 - **k_3_2:** Kombination wie k_1.2. Steuerung für a_08_A wie in k_3_1. Steuerung für c_08_B lokal optimiert. Für Ereignisse größer HQ₁₀₀ (in WABG) entsprechen die Ergebnisse also denen von k_1_2.
 - **k_3_3:** Kombination wie k_1_3. Steuerung für a_08_A wie in k_3_1. Steuerung für c_09_B lokal optimiert. Für Ereignisse größer HQ₁₀₀ (in WABG) entsprechen die Ergebnisse also denen von k_1_3.

- Kombinationswirkungsanalysen (vier Standorte aus allen Abschnitten a bis d) mit jeweils lokal optimierter Steuerung:
 - **k_1x4_a**: Kombination der in der Priorisierung auf Rang 1 liegenden Standorte aus allen Abschnitten, also a_08_A, b_02_A, c_13_B und d_05_B. Steuerung jeweils lokal optimiert.
 - **k_1x4_b**: Kombination der in der Priorisierung auf Rang 1 liegenden Standorte in den Abschnitten a, b und c (wie k_1x4_a). Statt d_05_B wird die Wirkung von d_04_D, also der ungesteuerten DRV, betrachtet.

Für die Kombinationswirkungsanalysen wurden auch die Ergebnisse der Einzelwirkungsanalysen in Kapitel 7 (für a_08_A und d_05_B) sowie die in Kapitel 9.2 gezeigten Untersuchungen zu einer Steuerung des Flutpolders a_08 auf den Zufluss der Salzach verwendet. Da bei den zwei sehr stark salzachgeprägten Ereignissen (E5321 und E7510) der Abfluss im Referenzzustand am Pegel WABG sehr gering ist ($< HQ_1$) wurde der Flutpolder a_08_A wie bei den Einzelwirkungsanalysen (vergleiche Kapitel 7.5) hier nicht eingesetzt. Alle Kombinationen mit diesem und nur einem weiteren Standort (also c_08, c_09 oder c_13) wurden also nur für zehn Ereignisse untersucht. Die Kombinationswirkungsanalysen k_1x4_a und k_1x4_b dagegen wurden zwar für alle zwölf Ereignisse untersucht, allerdings kamen aus vorher genannten Gründen nicht bei allen Ereignissen alle vier potentiellen Standorte zum Einsatz.

Bei der lokal optimierten Steuerung wurde der Abflussscheitel am jeweiligen Flutpolderstandort so weit wie möglich reduziert (z. B. bei den Kombinationen k_1_1, k_1_2 und k_1_3 ungeachtet der tatsächlichen Erfordernis eines lokalen Flutpoldereinsatzes). Bei der vorgeschalteten Steuerung von a_08 auf die Salzach wurde über einen Zeitraum von 16 h eine robuste Steuerung mit konstantem Zufluss von 300 m³/s in den Flutpolder angesetzt, entweder überwiegend vor dem Scheiteldurchgang des Inns am Standort – wenn der Salzach-Scheitel früher als der Inn-Scheitel an der Mündung eintrifft („S1vor“) – oder überwiegend nach dem Scheiteldurchgang des Inn – wenn der Scheitel der Salzach später als der des Inns eintrifft („S2vor“). Pro Ereignis wurde somit die unterstrom der Salzachmündung jeweils besser wirkende Steuerungsvariante ausgewählt. Als Steuerung für die nachgeschalteten Standorte c_08, c_09 oder c_13 wurde bei den Kombinationen k_2_1, k_2_2 und k_2_3 ebenfalls eine robuste Steuerung mit konstantem Zufluss gewählt. Dabei sollte sich der konstante Zufluss in den RHR über etwa denselben Zeitraum erstrecken wie am ersten vorgeschalteten RHR a_08 (16 h). Der Steuerzeitraum sollte dabei den Scheitelbereich der Wellen gleichmäßig abdecken. Die Höhe des konstanten Zuflusses bestimmte sich aus der Dauer des konstanten Zuflusses und dem verfügbaren Rückhaltevolumen. Der Standort c_13 ermöglichte aufgrund des sehr großen Rückhaltevolumens am ersten Einlaufbauwerk eine großzügige Füllung über 24 h und

dann am zweiten Einlaufbauwerk über 16 h. Diese Ansätze wurden im Rahmen dieser Studie für eine erste Abschätzung des Rückhaltepotentials durch kombinierte Steuerung gewählt.

Bei den Kombinationen k_3_1, k_3_2 und k_3_3 richtet sich die Steuerung für den Standort a_08 in diesen Modellsimulationen nach dem erreichten Scheitelabfluss im Referenzzustand am nächstgelegenen Pegel WABG; in der Realität wäre das jeweilige Einsatzziel des Flutpolders prognosebasiert zu entscheiden. Für Scheitelabflüsse im Referenzzustand größer als HQ₁₀₀ wurde die lokal optimierte Steuerung angesetzt, um auf diesen lokalen Überlastfall zu reagieren. Für Scheitelabflüsse im Referenzzustand kleiner als HQ₁₀₀ ist ein lokaler Einsatz des Flutpolders nicht erforderlich, somit konnte eine vorgeschaltete Steuerung auf die Salzach entsprechend „S1vor“ oder S2vor“ angewendet werden. Dieses Entscheidungsschema fasst Tabelle 78 zusammen. Die nachgeordneten Flutpolder in Abschnitt c werden anschließend immer lokal optimiert gesteuert. Dieses Vorgehen lehnt sich somit an das für die bayerische Donau vom LfU erarbeitete Bewirtschaftungskonzept an.

Tabelle 78: Entscheidungsschema zur Steuerung des Flutpolders a_08 in den Kombinationswirkungsanalysen k_3_1, k_3_2 und k_3_3

Abflussscheitel des Referenzzustands am Pegel Wasserburg		
> HQ100	< HQ100	
<i>lokal optimierte Steuerung</i>	<i>vorgeschaltete Steuerung auf den Zufluss der Salzach</i>	
	Scheitel der Salzach trifft vor dem des Inns ein	Scheitel der Salzach trifft nach dem des Inns ein
→ „opt“: lokal optimierte, horizontale Scheitelkappung zur bestmöglichen Wirkung am Pegel WABG	→ „S1vor“: konstanter Zufluss in den Flutpolder schwerpunktmäßig vor dem Inn-Scheitel	→ „S2vor“: konstanter Zufluss in den Flutpolder schwerpunktmäßig nach dem Inn-Scheitel

Tabelle 79: Übersicht der Kombinationswirkungsanalysen (Teil 1) mit eingesetzten Flutpoldern und deren Steuerung in Abhängigkeit des jeweiligen Ereignisses

Kombination Polder ID	k_1_1		k_1_2		k_1_3		k_1_1b		k_2_1		k_2_2		k_2_3	
	a_08_A	c_13_B	a_08_A	c_08_B	a_08_A	c_09_B	a_08_A	c_13_B (40)	a_08_A	c_13_B	a_08_A	c_08_B	a_08_A	c_09_B
Ereignis	a_08_A	c_13_B	a_08_A	c_08_B	a_08_A	c_09_B	a_08_A	c_13_B (40)	a_08_A	c_13_B	a_08_A	c_08_B	a_08_A	c_09_B
E0076	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	S2vor	konst	S2vor	konst	S2vor	konst
E0256	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	S1vor	konst	S1vor	konst	S1vor	konst
E0322	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	S1vor	konst	S1vor	konst	S1vor	konst
E0955	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	S2vor	konst	S2vor	konst	S2vor	konst
E2377	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	S1vor	konst	S1vor	konst	S1vor	konst
E3420	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	S2vor	konst	S2vor	konst	S2vor	konst
E3441	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	S1vor	konst	S1vor	konst	S1vor	konst
E4664	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	S1vor	konst	S1vor	konst	S1vor	konst
E4852	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	S1vor	konst	S1vor	konst	S1vor	konst
E4904	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	opt*	opt	S2vor	konst	S2vor	konst	S2vor	konst
E5321	**	opt*	**	opt*	**	opt*	**	opt	**	-	**	-	**	-
E7510	**	opt*	**	opt*	**	opt*	**	opt	**	-	**	-	**	-

(40): Variante mit geringerem Rückhaltevolumen von 40 Mio. m³

opt: lokal optimierte Steuerung

opt*: lokal optimierte Steuerung, entspricht Einzelwirkung

S1vor: Scheitel Salzach früher, vorgeschaltetete Steuerung mit konstantem Zufluss vor Scheitel Inn

S2vor: Scheitel Salzach später, vorgeschaltetete Steuerung mit konstantem Zufluss nach Scheitel Inn

konst: konstanter Zufluss gleichmäßig vor und nach dem Scheitel

** : keine Aktivierung, da Q zu gering am Einlauf

Tabelle 80: Übersicht der Kombinationswirkungsanalysen (Teil 2) mit eingesetzten Flutpoldern und deren Steuerung in Abhängigkeit des jeweiligen Ereignisses

Kombination Polder ID	k_3_1		k_3_2		k_3_3		k_1x4_a				k_1x4_b			
	a_08_A	c_13_B	a_08_A	c_08_B	a_08_A	c_09_B	a_08_A	b_02_A	c_13_B	d_05_B	a_08_A	b_02_A	c_13_B	d_04_D
Ereignis	a_08_A	c_13_B	a_08_A	c_08_B	a_08_A	c_09_B	a_08_A	b_02_A	c_13_B	d_05_B	a_08_A	b_02_A	c_13_B	d_04_D
E0076	S2vor	opt	S2vor	opt	S2vor	opt	opt*	opt	opt	opt*	opt*	opt	opt	DRV
E0256	wie k_1_1		wie k_1_2		wie k_1_3		opt*	opt	opt	**	opt*	opt	opt	**
E0322	wie k_1_1		wie k_1_2		wie k_1_3		opt*	opt	opt	opt*	opt*	opt	opt	DRV
E0955	S2vor	opt	S2vor	opt	S2vor	opt	opt*	opt	opt	opt*	opt*	opt	opt	DRV
E2377	wie k_1_1		wie k_1_2		wie k_1_3		opt*	opt	opt	opt*	opt*	opt	opt	DRV
E3420	S2vor	opt	S2vor	opt	S2vor	opt	opt*	opt	opt	opt*	opt*	opt	opt	DRV
E3441	wie k_1_1		wie k_1_2		wie k_1_3		opt*	opt	opt	**	opt*	opt	opt	**
E4664	S1vor	opt	S1vor	opt	S1vor	opt	opt*	opt	opt	opt*	opt*	opt	opt	DRV
E4852	wie k_1_1		wie k_1_2		wie k_1_3		opt*	opt	opt	opt*	opt*	opt	opt	DRV
E4904	S2vor	opt	S2vor	opt	S2vor	opt	opt*	opt	opt	opt*	opt*	opt	opt	DRV
E5321	**	opt*	**	opt*	**	opt*	**	**	opt	opt*	**	**	opt	DRV
E7510	**	opt*	**	opt*	**	opt*	**	**	opt	opt*	**	**	opt	DRV

opt: lokal optimierte Steuerung

opt: lokal optimierte Steuerung, entspricht Einzelwirkung*

S1vor: Scheitel Salzach früher, vorgeschaltete Steuerung mit konstantem Zufluss vor Scheitel Inn

S2vor: Scheitel Salzach später, vorgeschaltete Steuerung mit konstantem Zufluss nach Scheitel Inn

*** : keine Aktivierung, da Q zu gering am Einlauf*

DRV: ungesteuert / als Deichrückverlegung wirkend

Die Abbildung 157 zeigt die erreichten Scheitelreduktionen durch Kombination von a_08_A und der RHR c_13_B (k_1_1), c_08_B (k_1_2) und c_09_B (k_1_3) zusammen mit der alleinigen Wirkung des lokal optimierten RHR a_08_A aus den Ergebnissen der Einzelwirkungsanalyse. Es werden nur 10 Ereignisse ausgewertet, da bei den zwei sehr stark salzachgeprägten Ereignissen (E5321 und E7510) der Abfluss im Inn (< HQ₁) unter der gewählten Einsatzschwelle des Flutpolders a_08 lag (s. oben). Die erreichten Scheitelreduktionen mit der Kombination zweier jeweils lokal optimiert eingesetzter Standorte sind wie zu erwarten durchweg höher als die alleinigen Wirkungen von a_08, im Allgemeinen verdoppelt sich in etwa die Wirkung am Pegel PING durch Hinzunahme entweder von c_08 oder c_09. Dadurch können bei Ereignissen größer als HQ₃₀ Scheitelreduktionen von bis zu 433 m³/s oder 7,9 % (k_1_2 mit c_08) oder 380 m³/s oder 5,9 % (k_1_3 mit c_09) am Pegel PING erreicht werden. Beim Flutpolder c_13_B mit einem potentiellen Volumen von etwa 63 Mio. m³ werden die Scheitelreduktionen in etwa versechsfacht und es können bei Ereignissen größer als HQ₃₀ Scheitelreduktionen bis zu 1.061 m³/s beziehungsweise 19,4 % (k_1_1) erreicht werden. Für diesen Standort wurde zusätzlich eine Variante mit 40 Mio. m³ Volumen untersucht, welche noch etwa 809 m³/s beziehungsweise 14,8 % Scheitelreduktion erreicht (k_1_1b). Tabelle 81 fasst die Scheitelveränderungen zusammen.

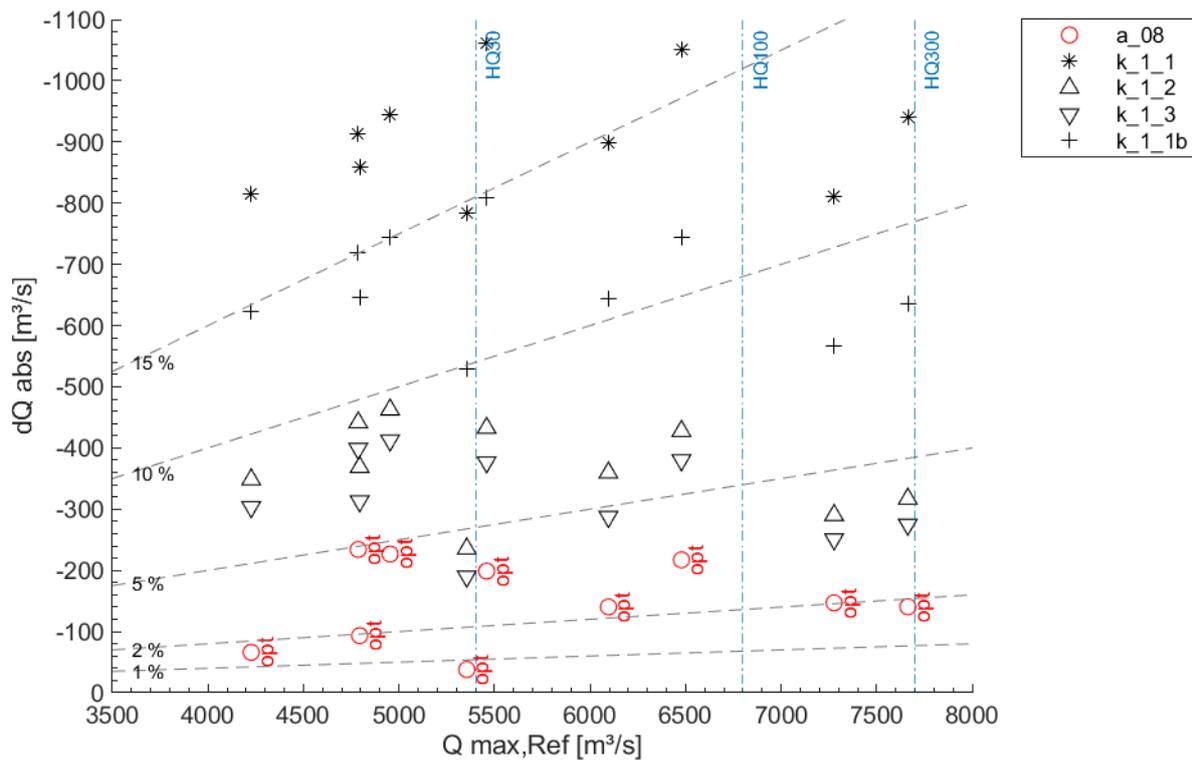


Abbildung 157: Scheitelveränderungen durch die Kombinationen k_1_1, k_1_2, k_1_3 und k_1_1b am Pegel PING im Vergleich mit der Wirkung des alleinigen Flutpolders a_08 (opt)

Tabelle 81: Scheitelveränderungen durch die Kombinationen k_1_1, k_1_2, k_1_3 und k_1_1b am Pegel PING

PING	k_1_1		k_1_2		k_1_3		k_1_1b		
	Q _{max,Ref} [m³/s]	dQ _{abs} [m³/s]	dQ _{rel} [%]						
E0076	4953	-944	-19.1	-463	-9.3	-412	-8.3	-744	-15.0
E0256	4226	-815	-19.3	-348	-8.2	-304	-7.2	-624	-14.8
E0322	5458	-1061	-19.4	-433	-7.9	-377	-6.9	-809	-14.8
E0955	6478	-1051	-16.2	-428	-6.6	-380	-5.9	-745	-11.5
E2377	7277	-812	-11.2	-290	-4.0	-251	-3.4	-566	-7.8
E3420	6096	-898	-14.7	-360	-5.9	-288	-4.7	-645	-10.6
E3441	4786	-913	-19.1	-442	-9.2	-399	-8.3	-720	-15.0
E4664	4794	-860	-17.9	-369	-7.7	-313	-6.5	-647	-13.5
E4852	5354	-784	-14.6	-235	-4.4	-190	-3.5	-529	-9.9
E4904	7662	-939	-12.3	-317	-4.1	-275	-3.6	-636	-8.3

Die Abbildung 158 zeigt die erreichten Scheitelreduktionen durch Kombination des vorgeschaltet auf die Salzach eingesetzten Flutpolders a_08_A, entweder mit Steuerung S1vor oder S2vor, und der Flutpolder c_13_B (k_2_1), c_08_B (k_2_2) und c_09_B (k_2_3), welche mit konstanter Beaufschlagung gefüllt werden. Auch hier werden aus o.g. Gründen nur zehn Ereignisse ausgewertet. Bei Ereignissen größer als HQ₃₀ können Scheitelreduktionen von bis zu 776 m³/s beziehungsweise 10,7 % (k_2_1 mit c_13), 413 m³/s beziehungsweise 6,8 % (k_2_2

mit c_08) oder 379 m³/s beziehungsweise 6,2 % (k_2_3 mit c_09) am Pegel PING erreicht werden. Bei drei der Ereignisse > HQ₃₀ können mit den Standorten c_08 und c_09 durch die vorgeschaltete Steuerung sogar größere Scheitelreduktionen als mit jeweils lokal optimierter Steuerung (k_1_2 und k_1_3) erreicht werden, was in den meisten Fällen auf eine verbesserte Wirkung durch a_08 unterstrom der Salzachmündung zurückzuführen ist. Mit dem RHR c_13 ist die Wirkung am Pegel PING durchweg geringer als in der „optimalen“ Kombination k_1_3. Tabelle 82 fasst die Scheitelveränderungen zusammen.

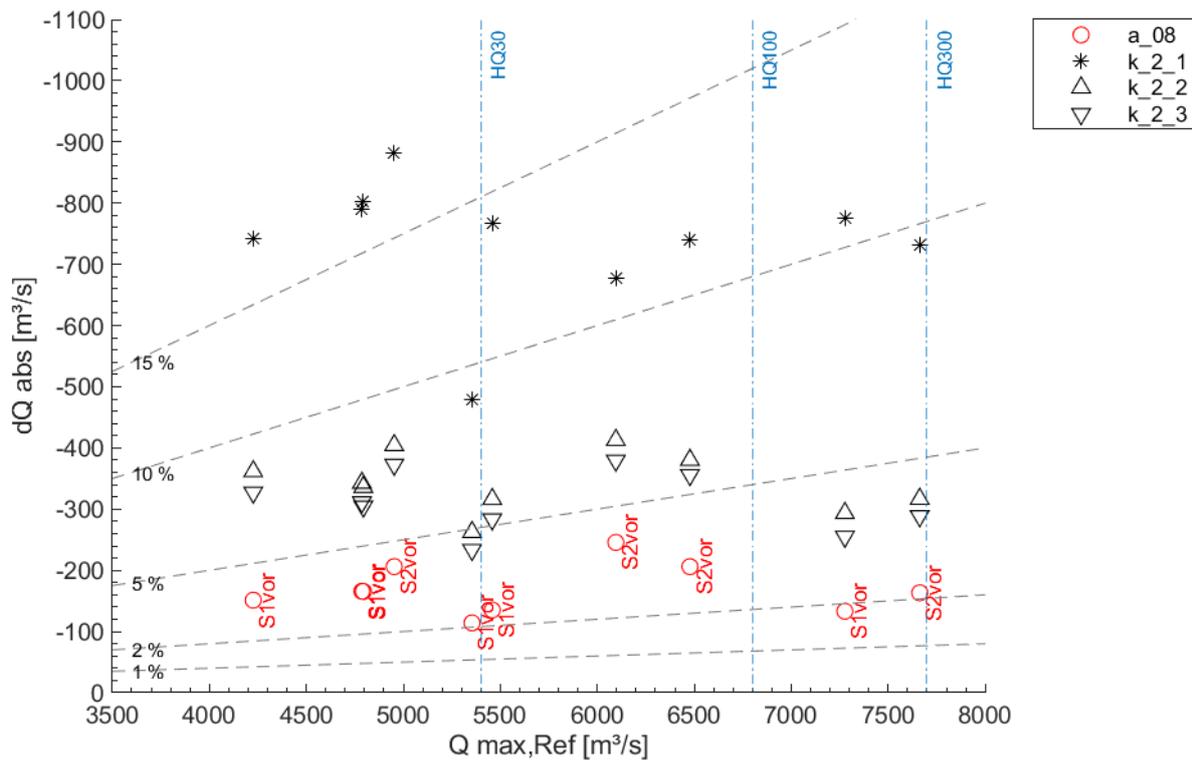


Abbildung 158: Scheitelveränderungen durch die Kombinationen k_2_1, k_2_2 und k_2_3 am Pegel PING im Vergleich mit der Wirkung des alleinigen Flutpolders a_08 (hier jeweils salzachabhängig gesteuert mit S1vor oder S2vor)

Tabelle 82: Scheitelveränderungen durch die Kombinationen k_2_1, k_2_2 und k_2_3 am Pegel PING im Vergleich mit der Wirkung des alleinigen Flutpolders a_08 (hier jeweils salzabhängig gesteuert mit S1vor oder S2vor)

PING	a_08 (vor)			k_2_1		k_2_2		k_2_3	
	Q _{max,Ref}	dQ _{abs}	dQ _{rel}						
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[%]						
E0076	4953	-206	-4.2	-883	-17.8	-404	-8.2	-373	-7.5
E0256	4226	-151	-3.6	-743	-17.6	-362	-8.6	-327	-7.7
E0322	5458	-135	-2.5	-767	-14.0	-316	-5.8	-283	-5.2
E0955	6478	-206	-3.2	-741	-11.4	-380	-5.9	-356	-5.5
E2377	7277	-133	-1.8	-776	-10.7	-293	-4.0	-255	-3.5
E3420	6096	-246	-4.0	-678	-11.1	-413	-6.8	-379	-6.2
E3441	4786	-166	-3.5	-791	-16.5	-343	-7.2	-311	-6.5
E4664	4794	-166	-3.5	-802	-16.7	-336	-7.0	-304	-6.3
E4852	5354	-114	-2.1	-479	-8.9	-262	-4.9	-233	-4.4
E4904	7662	-163	-2.1	-732	-9.6	-317	-4.1	-289	-3.8

Die Abbildung 159 zeigt die erreichten Scheitelreduktionen durch Kombination des lokal optimiert oder vorgesteuert eingesetzten RHR a_08_A (Einsatzziel jeweils in Abhängigkeit des Scheitelabflusses am Pegel WABG im Referenzzustand) und der RHR c_13_B (k_3_1), c_08_B (k_3_2) und c_09_B (k_3_3), welche lokal optimiert gesteuert werden. Auch hier werden aus o.g. Gründen nur zehn Ereignisse ausgewertet. Bei Ereignissen größer als HQ₃₀ können Scheitelreduktionen von bis zu 1.061 m³/s beziehungsweise 19,4 % (k_3_1 mit c_13), 434 m³/s beziehungsweise 7,1 % (k_3_2 mit c_08) oder 387 m³/s beziehungsweise 5,8 % (k_3_3 mit c_09) am Pegel PING erreicht werden. Beispielsweise führte der vorgeschaltete Einsatz von a_08 am Pegel PING beim größten untersuchten Ereignis, welches salzabhängig ist, zu einer Erhöhung der möglichen Scheitelreduktion von 140 m³/s (lokal optimiert) auf 163 m³/s. In Folge wirken dann auch die RHR c_13 beziehungsweise c_08 beziehungsweise c_09 besser. Tabelle 83 fasst die Scheitelveränderungen zusammen.

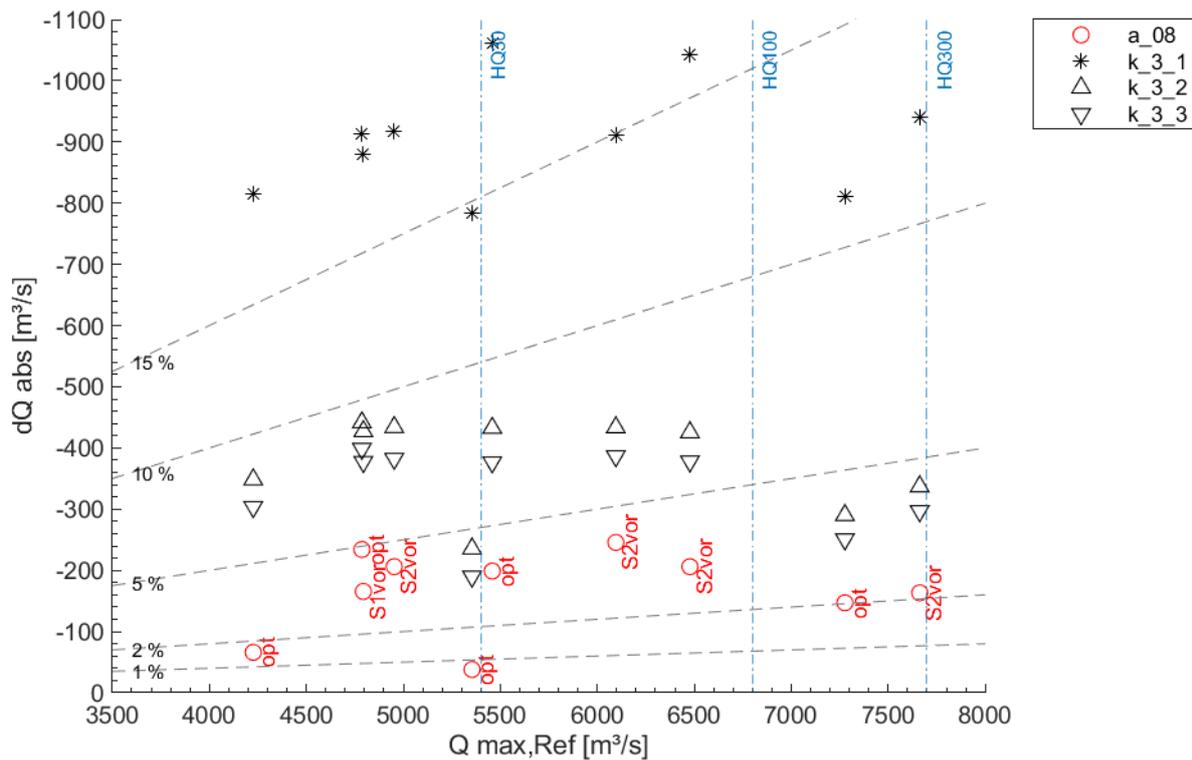


Abbildung 159: Scheitelveränderungen durch die Kombinationen k_3_1, k_3_2 und k_3_3 am Pegel PING im Vergleich mit der Wirkung des alleinigen Flutpolders a_08 (hier ereignisabhängig gesteuert opt / S1vor / S2vor)

Tabelle 83: Scheitelveränderungen durch die Kombinationen k_3_1, k_3_2 und k_3_3 am Pegel PING

PING	k_3_1		k_3_2		k_3_3			
	Q _{max,Ref} [m³/s]	dQ _{abs} [m³/s]	dQ _{rel} [%]	dQ _{abs} [m³/s]	dQ _{rel} [%]	dQ _{abs} [m³/s]		dQ _{rel} [%]
E0076	4953	-917	-18.5	-434	-8.8	-382	-7.7	
E0256	4226	-815	-19.3	-348	-8.2	-304	-7.2	= k_1_(1/2/3)
E0322	5458	-1061	-19.4	-433	-7.9	-377	-6.9	= k_1_(1/2/3)
E0955	6478	-1043	-16.1	-425	-6.6	-378	-5.8	
E2377	7277	-812	-11.2	-290	-4.0	-251	-3.4	= k_1_(1/2/3)
E3420	6096	-911	-14.9	-434	-7.1	-387	-6.3	
E3441	4786	-913	-19.1	-442	-9.2	-399	-8.3	= k_1_(1/2/3)
E4664	4794	-880	-18.4	-427	-8.9	-377	-7.9	
E4852	5354	-784	-14.6	-235	-4.4	-190	-3.5	= k_1_(1/2/3)
E4904	7662	-941	-12.3	-337	-4.4	-297	-3.9	

Die Abbildung 160 zeigt die erreichten Scheitelreduktionen durch Kombination der in der Priorisierung in allen vier Abschnitten jeweils auf Rang 1 liegenden RHR. In der Kombination k_1x4_a werden alle eingesetzten Flutpolder lokal optimiert gesteuert, also a_08_A, b_02_A, d_05_B und c_13_B. In der Kombination k_1x4_b wird der Flutpolder d_05_B ersetzt durch die ungesteuerte DRV d_04_D. Nicht bei allen zwölf Ereignissen konnten alle RHR (FP und

DRV) aktiviert werden (siehe Tabelle 80). Bei Ereignissen größer als HQ_{30} können Scheitelreduktionen von bis zu $1.153 \text{ m}^3/\text{s}$ beziehungsweise $17,8 \%$ (k_{1x4_a}) oder $1.086 \text{ m}^3/\text{s}$ beziehungsweise $19,9 \%$ (k_{1x4_b}) am Pegel PING erreicht werden. Dies ist mit etwa $100 \text{ m}^3/\text{s}$ nur unwesentlich mehr als bspw. in der Kombinationswirkung k_{1_1} oder k_{3_1} . Die zusätzlich eingesetzten RHR b_{02} und d_{05} können demnach aufgrund ihres im Verhältnis zu a_{08} und c_{13} geringen Volumens nur wenig zusätzliche Scheitelreduktion bewirken. Eine vorgeschaltete Steuerung von a_{08_A} und b_{02_A} auf die Salzach beziehungsweise u. U. von d_{05_B} auf den Inn könnte das Ergebnis geringfügig verbessern. Tabelle 84 fasst die Scheitelveränderungen zusammen.

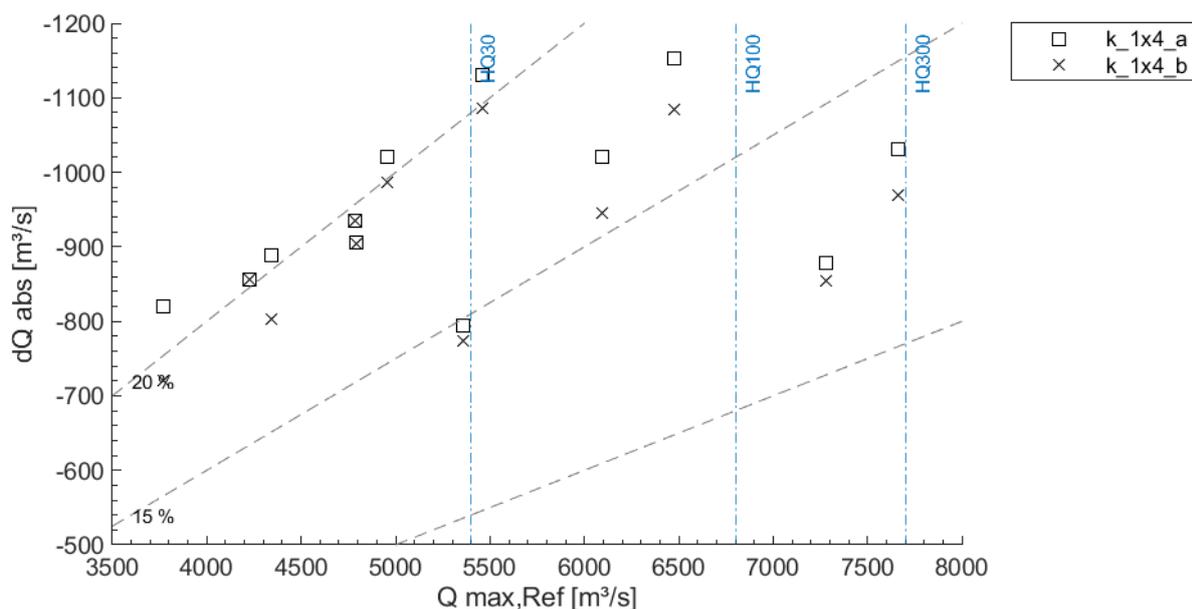


Abbildung 160: Scheitelveränderungen durch die Kombinationen k_{1x4_a} und k_{1x4_b} am Pegel PING

Tabelle 84: Scheitelveränderungen durch die Kombinationen k_{1x4_a} und k_{1x4_b} am Pegel PING

PING	k_{1x4_a}		k_{1x4_b}		
	$Q_{max,Ref}$ [m^3/s]	dQ_{abs} [m^3/s]	dQ_{rel} [%]	dQ_{abs} [m^3/s]	dQ_{rel} [%]
E0076	4953	-1020	-20.6	-987	-19.9
E0256	4226	-857	-20.3	-857	-20.3
E0322	5458	-1130	-20.7	-1086	-19.9
E0955	6478	-1153	-17.8	-1084	-16.7
E2377	7277	-879	-12.1	-854	-11.7
E3420	6096	-1021	-16.7	-945	-15.5
E3441	4786	-935	-19.5	-935	-19.5
E4664	4794	-905	-18.9	-905	-18.9
E4852	5354	-794	-14.8	-773	-14.4
E4904	7662	-1031	-13.5	-969	-12.7

Bei etwaiger Umsetzung der Rückhalteräume hängt die tatsächlich durchzuführende Steuerung von der Ausgestaltung (Volumen der Flutpolder, Kapazität und Lage der Einlaufbauwerke, ...) und der Zielsetzung ab und muss in weiteren Untersuchungen z. B. hinsichtlich der ökologisch verträglichen Einstaudauern oder der Überlagerung mit der Donau vertieft werden. Mit Erhöhung des konstanten Zuflusses in den vorgeschaltet auf die Salzach eingesetzten Flutpolder a_08_A würde auch die Scheitelreduktion unterhalb der Salzachmündung zunehmen, allerdings sinkt aufgrund der kürzeren Fülldauer als die gewählten 16 h bei gleichem Volumen unter Annahme einer suboptimalen Hochwasserprognose in der Realität die Wahrscheinlichkeit, dass die im Inn erzeugte Abflussreduktion ausreichend auf den Hochwasserscheitel der Salzach trifft. Umgekehrt steigt mit langer Fülldauer die Wahrscheinlichkeit, dass auch bei schlechter Prognose der Scheitel getroffen wird, wobei dann wiederum die erreichbare Scheitelreduktion unterstrom der Mündung abnimmt. Ähnliches gilt für den jeweils nachgeschalteten Flutpolder mit konstantem Zufluss (k_{2_1} / k_{2_2} / k_{2_3}), wobei hier die korrekte Prognose des Scheitels etwas leichter möglich sein dürfte.

Die ermittelten Scheitelreduktionen für die Kombinationswirkungsanalysen k_3_1, k_3_2 und k_3_3 zeigen die theoretischen Potentiale für diesen Ansatz auf, da mit vorher bekannten Abflussganglinien gerechnet wurde. Die vorgeschaltete Steuerung mit dem robusten Ansatz eines konstanten Zuflusses über eine bestimmte Zeitdauer berücksichtigt bereits gewisse Unsicherheiten in der Hochwasservorhersage und der Abschätzung der Laufzeit des Inns bis zur Mündung der Salzach und der Laufzeit der Salzach bis zur Mündung in den Inn. Die in den Wirkungsanalysen angesetzte lokal optimierte Steuerung kann aber im praktischen Betrieb je nach Güte der Hochwasservorhersage die hier ermittelten Werte u. U. nicht erreichen. In Realität muss auf Basis von Hochwasserprognosen gesteuert und diese Steuerung je nach Konzept gegebenenfalls bei sich ändernder Prognose unter Berücksichtigung einer bereits erfolgten Teilfüllung des Flutpolders adaptiert werden.

Abschließend muss erwähnt werden, dass die für die Simulationen der Kombinationswirkung getroffenen Annahmen und demnach auch die ermittelten Potentiale gewissen weiteren Einschränkungen unterliegen. Abhängig von der tatsächlichen Lage des Einlaufbauwerks und der Jährlichkeit des Hochwasserereignisses könnte der gewünschte konstante Zufluss aufgrund zu niedriger Aktivierungswasserspiegel im Inn oder bereits zu hoher Wasserstände im Polder (Rückstaeinfluss) eventuell nicht erreicht werden oder auch das theoretisch verfügbare Volumen nicht voll ausgenutzt werden. Dies war modelltechnisch aufgrund der Detailebene der Studie sowie des Zeitbedarfs so nicht umzusetzen. Die ermittelten Scheitelreduktionen stellen also auch hier ein Potential dar, welches in weiteren Untersuchungen konkretisiert werden muss.

13. Zusammenfassung, Schlussfolgerung und Ausblick

Im TP D der Retentionspotentialstudie wurden Standorte für potentiellen (gesteuerten) Hochwasserrückhalt gesucht, gefunden und bewertet. Kern ist dabei die stufenweise Priorisierung der Standorte mithilfe eines Kriterienkatalogs und umfassenden Wirkungsanalysen der Rückhalteräume (RHR) auf die Scheitelabflüsse an Inn und Salzach. Damit steht ein sehr guter Datensatz an Simulationen zur Systemanalyse und Erarbeitung von Maßnahmenvorschlägen zur Verfügung.

Erkenntnisse aus der Historie von Inn und Salzach mithilfe der Modellierung des anthropogen unbeeinflussten Fließgewässers zeigen, dass ein komplett renaturierter Inn – als diesen könnte man den historisch natürlichen Zustand betrachten – zu geringeren Hochwasserscheiteln als im heutigen Zustand führen kann, allerdings nur bedingt auch bei großen Hochwasserereignissen. Im historischen Zustand zeigte sich eine wesentliche Verzögerung der Hochwasserwellen des Inns gegenüber dem heutigen Zustand, während sich die Laufzeiten der Hochwasserwellen der Salzach kaum veränderten. Die Notwendigkeit der effektiven Nutzung der wenigen verbliebenen oder potentiell reaktivierbaren Flächen für Hochwasserrückhalt am Inn ergibt sich aus der heute dichten Besiedelung des Talraums, mit auf der einen Seite vielen staugeregelten Abschnitten und damit verbundenem Hochwasserschutz bis $HQ_{1.000}$, aber auf der anderen Seite auch einigen gefährdeten Siedlungsbereichen mit relativ geringem Schutzgrad. Ein Hochwasserschutzkonzept sollte auch die seitlichen Zuflüsse, insbesondere die Salzach, beachten.

Ausgehend von den durchgeführten Untersuchungen und Modellierungen können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die scheidelreduzierenden Wirkungen der gesteuerten Rückhalteräume bleiben grundsätzlich entlang der gesamten Fließstrecke bis Passau und in die Donau nachweisbar. Die Höhe ist allerdings abhängig vom verfügbaren Rückhaltevolumen, den Wechselwirkungen mit Retentionsflächen und etwaigen Überprägungen durch Zuflüsse.
- Gesteuerte Flutpolder am oberen Inn zeigen eine gute Wirkung am Pegel Wasserburg. Aus der Relation typischer Wellenvolumina zu potentiellen Rückhaltevolumina und den ermittelten Scheitelreduktionen empfiehlt sich hier der Standort a_08 (Feldkirchen), welcher Scheitelreduktionen bis max. 15,3 % (etwa 300 m³/s bei HQ_{50}) am Pegel Wasserburg erreichte und Hochwasserwellen der Größenordnung HQ_{300} unter HQ_{100} reduzieren konnte. Noch am Pegel Passau konnte eine maximale Scheitelreduktion von 4,9 % (etwa 230 m³/s bei HQ_{10} – HQ_{20}) erreicht werden. Dieser Standort schneidet auch in der Priorisierung mit Abstand am besten sowohl in diesem Abschnitt als auch abschnittsübergreifend ab und weist in der

naturschutzfachlichen Übersichtsbewertung als einziger der zehn detaillierter untersuchten Standorte ein geringes Risikopotential auf. Weitere vertieft untersuchte potentielle Standorte liegen oberstrom der Mangfallmündung (a_06, Erlenau-Happing) und kurz oberstrom von Wasserburg (a_13, Altenhohenau). Der Standort a_13 wurde zusätzlich auch in der Variante Deichrückverlegung untersucht, welche allerdings nicht wesentlich zum Hochwasserrückhalt beiträgt.

- Am Inn zwischen Wasserburg und der Salzachmündung sind nur wenige potentiell reaktivierbare Standorte denkbar. In der Restwasserstrecke bestehen noch natürliche Retentionsflächen. Als einziger vielversprechender Standort blieb b_02 (Perach) übrig, welcher lokal eine recht gute Scheitelreduktion, aber aufgrund des geringen Volumens abschnittübergreifend geringere Wirkungen zeigt. Die Fläche wird bereits heute bei großen Hochwasserereignissen durchströmt und ist in der naturschutzfachlichen Übersichtsbewertung kritisch beurteilt worden. Von allen zehn detaillierter untersuchten Standorten hat dieser abschnittübergreifend die schlechteste Bewertung. Deichrückverlegungen wurden in diesem Abschnitt nicht vertieft untersucht.
- Im Freilassinger und Tittmoninger Becken an der Salzach finden sich nur wenige, grundsätzlich geeignete Standorte für gesteuerten Rückhalt. Beide Fließstrecken bieten bereits im heutigen Zustand größere Retentionsflächen. Eingehender betrachtet wurden zwei Flächen bei Fridolfing, d_04 und d_05, welche in Kombination auch als Deichrückverlegung untersucht wurden. Für die Varianten als gesteuerte RHR liegen die Scheitelreduktionen lokal relativ hoch, sinken aber bereits bis Burghausen ab. Auch ist bis zu Abflüssen in der Größenordnung HQ₃₀ keine Vollenfüllung möglich. Damit entfällt auch weitgehend die Möglichkeit einer vorgeschalteten Steuerung auf die Überlagerung mit dem Inn. In der Variante Deichrückverlegung (DRV) können bei kleineren Ereignissen deutliche Scheitelreduktionen erzielt werden, welche aber mit zunehmenden Abflüssen geringer ausfallen. Der ebenfalls an der Salzach, aber unterstrom von Burghausen liegende Standort d_10 (Haiming) erreicht in der Priorisierung Rang 3 in diesem Abschnitt. Diese drei detaillierter untersuchten potentiellen Standorte an der Salzach weisen ein hohes oder sehr hohes Risikopotential in der naturschutzfachlichen Übersichtsbewertung auf.
- Am Inn unterhalb der Salzachmündung fällt zunächst der potentielle Standort c_13 (Inzing) mit einem sehr großen Rückhaltevolumen auf. Die anderen beiden Standorte c_08 (Ering) und c_09 (Mining) liegen weiter oberstrom auf annähernd gleicher Höhe einander gegenüber. In der abschließenden Priorisierung erhalten alle drei Standorte eine fast identische Bewertung, so dass sich keine klare Rangfolge erkennen lässt; auch das Risikopotential in der naturschutzfachlichen Übersichtsbewertung ist jeweils hoch. Rein aus hydraulischer

Sicht ist der Standort c_13 prioritär zu verfolgen, da das große Rückhaltevolumen auch die größten Scheitelreduktionen mit max. 18,5 % (etwa 800 m³/s bei HQ₁₀) in Passau bewirken kann. In der Einzelwirkungsanalyse konnte auch bei Ereignissen der Größenordnung HQ₁₀₀ bis HQ₃₀₀ noch Scheitelreduktionen von etwa 9 bis 10 % (etwa 690 bis 770 m³/s) erreicht werden. Als Deichrückverlegung wurde in diesem Abschnitt der Standort c_12 (in Kombination mit Standort c_13) untersucht, welcher bei Ereignissen bis zu etwa HQ₃₀ die Scheitel in Passau zwischen 110 und 60 m³/s reduziert und lokal am Standort die Wasserstände signifikant reduziert. Bei größeren Ereignissen wird in der für die Untersuchung gewählten Konzeption die vorhandene natürliche Retention im Bereich Neuhaus am Inn abgeschwächt, was in der Folge zu höheren Scheitelabflüssen am Pegel Passau führt.

- Für das gesamte Untersuchungsgebiet lässt sich schließen, dass ein einzelner Rückhalte-
raum nicht ausreicht, um signifikante Scheitelreduktionen sowohl am Inn unterhalb der
Salzachmündung (z. B. in Neuhaus, Schärding und Passau) als auch in der oberhalb lie-
genden Strecke (z. B. in Wasserburg, Kraiburg und Mühldorf) bewirken zu können. Daher
empfiehlt sich zumindest am Inn jeweils ein Standort pro Abschnitt ober- und unterhalb der
Salzachmündung aus folgenden Gründen:
 - Ein Flutpolder oberstrom von Wasserburg, um die ab dort bestehenden Hoch-
wasserschutzanlagen mit Ausbaugrad auf i.d.R. HQ₁₀₀ durch Einsatz eines
steuerbaren Rückhalts im Überlastfall entlasten zu können. Der Standort a_08
bietet zudem die Möglichkeit einer vorgeschalteten Steuerung auf die Salzach.
 - Es wäre eine flexible Reaktion auf verschiedene hydrologische Szenarien mög-
lich, welche inn-, salzach- oder von beiden geprägt sein können.
 - Zumindest ein Flutpolder unterhalb der Salzachmündung ist empfehlenswert,
um die Wirkungen eines etwaigen oberstromigen RHR verbessern zu können
und um direkt auf die möglichen Wellenüberlagerungen von Inn und Salzach
reagieren zu können.
 - Kombinationen von Flutpoldern bieten die Möglichkeit, prognosebedingt
schlechte Steuerungen, d.h. die suboptimale Nutzung des verfügbaren Rück-
haltevolumens, ausgleichen zu können und bieten daher eine Redundanz zur
Erhöhung der Ausfall-, Funktions- und Betriebssicherheit.
 - Die potentiellen Standorte an der Salzach können kaum zur Scheitelreduktion
bis Burghausen und darüber hinaus in den Inn beitragen. Die in laufenden Pla-
nungen befindlichen Sanierungsmaßnahmen der Salzach im Freilassing und

Tittmoninger Becken könnten zudem einer Umsetzung entgegenstehen oder diese ausschließen.

- Bei bestehenden Hochwasserschutzanlagen (HWSA) wie zum Beispiel in Wasserburg können bereits Zenti- oder Dezimeter ein Versagen derselben verhindern, wohingegen in Abschnitten ohne HWSA oder mit nur geringem Schutzgrad auch eine Wasserstandreduktion von mehreren Dezimetern bei sehr großen Hochwasserereignissen und entsprechenden Überflutungstiefen kaum eine Verringerung der Betroffenheit und des Schadensausmaßes ausmachen können.
- Aufgrund der Eigenschaften des Einzugsgebiets mit relativ kurzen Vorhersagezeiträumen ist die Güte der Prognosen bei der Steuerung von Rückhalteräumen zu beachten. Untersuchungen zur Sensitivität und Auswirkung einer Steuerung mit konstantem Zufluss oder über erodierbare Deiche in den Flutpolder zeigen weitere Möglichkeiten für einen weniger stark oder nicht von Hochwasservorhersagen abhängigen Einsatz auf, der aber eine Verringerung der erzielbaren Wirkung mit sich bringt.
- Die Modellierung von Deichrückverlegungen an der Salzach zeigen Wirkungen bis etwa HQ_{30} . Signifikante negative Auswirkungen durch Wellenverzögerungen auf eine nachlaufende Hochwasserwelle des Inns konnten nicht festgestellt werden.
- Da die Hochwasserwellen der Donau in den verwendeten stochastisch generierten Ereignissen eher geringere Abflüsse aufweisen und damit die Hochwasserscheitel in oder unterhalb von Passau vorwiegend vom Inn geprägt sind, ist die scheitelreduzierende Wirkung der Flutpolder bis in die Donau nachweisbar. Bei stärker donaugeprägten Ereignissen und vorauslaufender Innwelle müsste ein – dann nicht mehr lokal optimierter – vorgeschalteter Einsatz der Flutpolder auf den Scheitel der Donau in Passau eher in den ablaufenden Ast des Inns verschoben werden. Negative Effekte der untersuchten Maßnahmen (Flutpolder und Deichrückverlegungen) auf den Hochwasserablauf in der Donau wurden nicht festgestellt.
- Für die Einzelwirkungsanalysen wurden Entleerungsvorgänge aus den Poldern berücksichtigt. Dabei wurden grobe Annahmen zur Höhe und Dauer der konstanten Abflüsse getroffen. Diese hatten keine etwaigen negativen Scheitelerhöhungen unterstrom zur Folge. Bei weitergehenden Planungen wären bei den Entleerungskonzepten auch weitere, bisher vernachlässigte Aspekte wie Sedimentation, Wirkung auf weiter entfernte Unterlieger (z. B. Beckenlandschaften in Österreich, Zufluss Traun und Enns in die Donau) zu beachten.

- Der Standort c_13 bietet alternative Konzeptionen an. Der sehr große Rückhalteraum ließe sich – zu Lasten der hydraulischen Wirkung – verkleinern, um die Betroffenheiten sowie den baulichen Aufwand zu reduzieren. Auch denkbar wäre hier eine Kombination aus ungesteuertem (siehe DRV c_12_D) und gesteuertem Rückhalt, da eine Nutzung als Fließpolder mit Parallelströmung zum Inn vielversprechend erscheint.
- Wie die Ergebnisse von REVITAL zeigen, weisen viele potentielle Flächen bei Nutzung als Flutpolder ein hohes oder sehr hohes naturschutzfachliches Risikopotential auf. Dies kann eventuell durch Kompensationsmaßnahmen verringert werden, muss aber im weiteren Planungsverlauf detaillierter betrachtet werden.

Im Rahmen dieser Potentialstudie sollte das verfügbare Potential zum Hochwasserrückhalt und zur (Re-)Aktivierung potentieller Rückhalteräume untersucht werden. Dazu wurde eine nachvollziehbare, ergebnisoffene und belastbare Priorisierungsmethode von Rückhalteräumen erarbeitet. Die Priorisierung unter Einbeziehung vielfältiger und wichtiger Kriterien und vor allem einer detaillierten hydrologisch-hydraulischen Wirkungsanalyse der Rückhalteräume bietet eine erste Entscheidungshilfe für weiter zu verfolgende Standorte an. Die Studie liefert aufgrund ihrer Konzeption daher eine Grundlage für weitere (Planungs-) Schritte.

14. Literatur

Armstark (2013): Schreiben des Wasserschutzverband Schärding zu möglichen Poldern am Inn. Übermittelt durch StMUV, September 2013.

Asenkerschbaumer, M., Skublics, D. & Rutschmann, P. (2012): Verzögerung und Abschätzung von Hochwasserwellen entlang der bayerischen Donau. Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München.

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2016): Hochwassernachrichtendienst Bayern, <http://hnd.bayern.de/>

Dehnz, R. & Spannring, M. (2014): Sanierung Untere Salzach, Variantenuntersuchung – Tittmoninger Becken und Nonnreiter Enge – Retentionsraumuntersuchung. Planungsgemeinschaft Mensch und Natur – Salzach im Gleichgewicht II, c/o SKI GmbH + Co.KG, München.

Fiedler, K. (2008): Erfassung hydromorphologischer Vorgänge bei Hochwasser mit Hilfe von ADCP-Messungen. Dissertation am Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München.

Franz Fischer Ingenieurbüro (2017): Donau (Lechmündung bis Landesgrenze) Schadenpotenzialanalyse. Franz Fischer Ingenieurbüro GmbH, im Auftrag des Bayerischen Landesamts für Umwelt. Ertstadt, 2017.

Giehl, S., Bui, M.D. & Rutschmann, P. (2018). Effects of the dynamic bed on hydrodynamic modelling in the Inn River. Proc. of the 5th IAHR Europe Congress - New Challenges in Hydraulic Research and Engineering, Trento, Italy.

Giehl, S. & Rutschmann, P. (2019): The effect of river training since the year 1800 along an alpine river by the help of two-dimensional hydrodynamic modeling. E-Proc. of the 38th IAHR World Congress, Panama City, Panama, 2019. doi:10.3850/38WC092019-1852

Hauptstaatsarchiv München (1817): „Flusskarte der Sala und Salzach 1817.“ OBB Kupl 6905. 1817.

Hauptstaatsarchiv München (1876): „Verzeichnis derjenigen Flussstrecken des Bauamtsbezirkes Traunstein in welchen Querprofile aufgenommen und Geschwindigkeiten aufgenommen worden sind.“ OBB 10130. Traunstein, 1876.

Hydrotec, Nuiic, M. (2015): Benutzerhandbuch HYDRO_AS-2D, 2D-Strömungsmodell für die wasserwirtschaftliche Praxis, Version 4.1.0. Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen, September 2015.

IKSR (2001): Übersichtskarten der Überschwemmungsgefährdung und der möglichen Vermögensschäden am Rhein. Abschlussbericht, Internationale Kommission zum Schutz des Rheines (IKSR).

IKSR (2016): Instrument und Methode zum Nachweis der Änderung bzw. Reduzierung des Hochwasserrisikos. Bericht, Internationale Kommission zum Schutz des Rheines (IKSR).

Kohane, R. (2012): Innstaustufe Teufelsbruck - Modelluntersuchung zur Strömung und zum Feststofftransport, Erläuterungsbericht. Hydroprojekt Ingenieurgesellschaft mbH, Bad Vilbel, 2012.

Kohane, R. (2014): Hydrodynamisches Abflussmodell des Bayerischen Inn – Vom Unterwasser Kraftwerk Oberaudorf-Ebbs bis zur Mündung in die Donau bei Passau, Erläuterungsbericht. Lahmeyer Hydroprojekt, Bad Vilbel, 2014.

Kreibich et al. (2009): Is flow velocity a significant parameter in flood damage modelling? Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 1679–1692, 2009.

Kutschera, G. (2008): Analyse der Unsicherheiten bei der Ermittlung der Schadenspotentiale infolge Überschwemmung. Dissertation, Fakultät für Bauingenieurwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.

Lahmeyer Hydroprojekt (2014): Hydrodynamisches Abflussmodell des Bayerischen Inn – Vom Unterwasser Kraftwerk Oberaudorf-Ebbs bis zur Mündung in die Donau bei Passau, Erläuterungsbericht, Juni 2014.

Mangelsdorf, J., Weiß, F.-H. & Schaipp, B. (2000): „Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach - Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach.“. Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, München.

Merz, B. (2006): Hochwasserrisiken - Möglichkeiten und Grenzen der Risikoabschätzung. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R. & Thieken, A. (2010): Assessment of economic flood damage. Review article. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 1697–1724, 2010.

Ministerium für ein lebenswertes Österreich (2016): eHYD – der Zugang zu hydrographischen Daten Österreichs, <http://ehyd.gv.at/>

Österreichisches Staatsarchiv. *Mapire*. (2014). <http://mapire.eu/de/> (Zugriff am 22. September 2016).

REVITAL (2020): Naturschutzfachliche Übersichtsbewertung potenzieller Flutpolderstandorte an Inn und Salzach. Bericht, REVITAL Integrative Naturraumplanung GmbH (unveröffentlicht).

Schaipp, B. (2003): Flussgeschichte der Salzach. In: Die Salzach – Wildfluss in der Kulturlandschaft, Hrsg.: Winding, N. und Vogel, D. Vilsbiburg.

Scheurmann, K., Weiß, F.-H., & Mangelsdorf, J. (1980): „Die flußmorphologische Entwicklung der Salzach von der Saalachmündung bis zur Mündung in den Inn.“. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München, Juni 1980.

Schiller, H. (1977): Hochwasseruntersuchung Inn - Hochwasser der Jahresreihe 1840 - 1975. München, 1977.

Skublics, D. (2014): Großräumige Hochwassermodellierung im Einzugsgebiet der bayerischen Donau – Retention, Rückhalt, Ausbreitung. Dissertation am Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München.

Straßen- und Flussbauamt Rosenheim (1931): Die Korrektur des Inns von Kiefersfelden bis Rosenheim. Bericht, Straßen- und Flussbauamt Rosenheim.

VERBUND & SKI (Jahr unbek.): „Polderstudie Inn“. Übermittelt durch WWA RO.

von Riedl, A. (1796): Reise Atlas von Bajern oder Geographisch-geometrische Darstellung aller bajrischen Haupt- und Landstraßen mit den daranliegenden Ortschaften und Gegenden nebst Kurzer Beschreibung alles (...) [Bd.: 6 & 8]. Chaussee von München nach Burghausen und Braunau. München, 1796.

von Wiebeking, C.F. (1811): Theoretisch - Practische Wasserbaukunst. Joseph Zängl, München.

Wiesbauer, H. (1999): „Natur- und Kulturraum Inn-Salzach.“ *Gewässermorphologie der Salzach im Wandel der Zeit*. Laufen/Salzach: Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege, 1999.

WWA RO (2015): Auszug aus der Planrechtfertigung Flutpolder Feldkirchen. Übermittelt durch WWA RO. Rosenheim, 2015.

Im Verlauf der Projektbearbeitung entstandene studentische Arbeiten

Baldauf, E. (2019): Numerische Simulation und Analyse der Hochwassersituation am historischen Inn - Bereich Unterer Inn Stammham bis Eggfing/Obernberg. Study Project am Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München (unveröffentlicht).

Bauer, J. (2016): Analyse des historischen Flusslaufs des Inns. Bachelor's Thesis am Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München (unveröffentlicht).

Gröll, B. (2016): 2D-numerische Modellierung und Analyse der historischen Flusslandschaft der Salzach. Master's Thesis am Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München (unveröffentlicht).

Hagen, N. (2021): Effect analysis of combined retention measures with 2D-HN-modelling at the Lower Inn River. Master's Thesis am Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München (unveröffentlicht).

Horwath, D. (2017): 2D-Hydrodynamische Simulation des Hochwasserwellenablaufs und der Retention am historischen Inn – Bereich Schärding und Mündung der Rott. Bachelor's Thesis am Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München (unveröffentlicht).

Kretschmer, D. (2018): 2D Modellierung des historischen Inn, Rosenheim - Wasserburg. Bachelor's Thesis am Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München (unveröffentlicht).

Leber, M. (2018): 2D Modellierung des historischen Inn, Nußdorf - Rosenheim. Bachelor's Thesis am Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München (unveröffentlicht).

Pieper, J. H. (2018): 2D-Hochwassersimulation am historischen Inn Oberaudorf bis Nußdorf. Study Project am Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München (unveröffentlicht).

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Unterschiedliche Quellen der Geländedaten: Orange: Oberösterreich, EPSG 31255, blau: Salzburg EPSG 31258, grün: Tirol EPSG 31255. hellgrau: Bayern EPSG 31468	8
Abbildung 2: Höhendifferenzen in [mm] zwischen deutschem und österreichischem Höhensystem	9
Abbildung 3: Unterteilung des Projektgebiets in handhabbare Ausschnitte.....	10
Abbildung 4: Übersicht über das Projektgebiet am Inn vom Pegel Oberaudorf (am südlichen Bildrand) bis Pegel Passau (am nördlichen Bildrand) und an der Salzach ab der Saalachmündung (Beginn Linie u. Pfeil). Abschnitt a: Inn bis Wasserburg, Abschnitt b: Inn bis zur Salzachmündung, Abschnitt c: Inn bis Passau, Abschnitt d: Salzach ab der Saalachmündung.	12
Abbildung 5: Modelllayout der 2D-Modelle im TP D für Inn und Salzach mit der Lage der Pegel, den für die Kalibrierung und Validierung verwendeten seitlichen Zuflüsse sowie den Staustufen am Inn; Abkürzung der Stauhaltungen siehe Tabelle 2n.....	13
Abbildung 6: Höhenisolinen im Abstand 1 m.....	17
Abbildung 7: Punkte alle 30m entlang der Isolinen	17
Abbildung 8: Fächerecholotpeilung Stauraum IRI (Wehr rechts im Bild)	24
Abbildung 9: Ausgewählte Pegelmessungen für das Hochwasser 2013 am oberen Inn. GOE: Staustufe Oberaudorf-Ebbs, GNU: Staustufe Nußdorf, IRI: Staustufe Rosenheim	25
Abbildung 10: Skizze des unteren Inn mit Abfolge der Pegel und Staustufen (siehe auch Abbildung 5)	26
Abbildung 11: Ausgewählte Pegelmessungen für das Hochwasser 2013 am unteren Inn. ICH: Staustufe Perach, ITM: Staustufe Stammham	26
Abbildung 12: Gegenüberstellung der Ganglinien von Abfluss und Wasserstand am Pegel Schärding	27
Abbildung 13: Gegenüberstellung der Abflussganglinien am Pegel Burghausen/Salzach aus Messdaten und Simulationsergebnissen mit einem Modell des LfU Bayern	28
Abbildung 14: Abflussganglinien bei Fkm 20 bei den Varianten im Tittmoninger Becken aus den Berechnungen für die Retentionsraumuntersuchung Untere Salzach (Dehnz et al. 2014)	29

Abbildung 15: Verlandungssummenlinie GNU 2015, km 207,8 – 198,8 (Quelle: Verbund VHP-GK)	30
Abbildung 16: Mittlere Sohlen im Stauraum GNU zur Verdeutlichung der Sohländerung vor (helle Linien) und nach (dunkle Linien) den Hochwasserereignissen 2005 und 2013. Zusätzlich gezeigt wird die gewählte Gleichgewichtssohle 2011 und die sogenannte Betriebssohle	31
Abbildung 17: Aktuelle Karte der Stadt Salzburg im Vergleich mit der Franziszeischen Landesaufnahme 1807 - 1808 (MAPIRE, 2016)	36
Abbildung 18: „Geometrischer Plan“ von 1787/90 im Gebiet der Salzachmündung in den Inn (Wiesbauer, 1999).....	36
Abbildung 19: Ausschnitt der historischen Karten auf deutscher Seite von 1818 (Quelle: Vermessungsverwaltung, o.D.), aus (Pieper 2018).....	38
Abbildung 20: Ausschnitt der historischen Karten auf Tiroler Seite von 18016/1821 (Quelle: tiris, 2018), aus (Pieper 2018)	38
Abbildung 21: Beispielhaftes Querprofil des bereits begradigten Inns auf Höhe der heutigen Staustufe Nußdorf von 1879.....	41
Abbildung 22: Beispielhaftes Querprofil für die Ausleitungsstrecke (km 112,6) von 1933	41
Abbildung 23: Inn im heutigen Zustand (links) und um das Jahr 1800 (rechts) im Bereich Stauraum Nußdorf.....	42
Abbildung 24: Inn zwischen Neuötting und Stammham. Grau: Infrastruktur und Siedlungsfläche heute, rot: Siedlungen um das Jahr 1800; blau: Inn und sonstige Gewässer heute, blau schraffiert: Inn um das Jahr 1800	44
Abbildung 25: Landnutzung im Freilassinger Becken und Verlauf der Salzach heute (links) und 1800 (rechts). Blau: Gewässer, braun/schwarz: Bebauung (und Industrieflächen), hellgrün: landwirtschaftliche Flächen, dunkelgrün: Wald.....	44
Abbildung 26: Inn heute und früher zwischen Oberaudorf und Wasserburg, Hochwasserereignis 2005. Links: Topographie und Inn heute, rechts: um 1800, grau: Siedlungsfläche heute, rot: Siedlungsfläche um 1800 (nur Modellgebiet)	46
Abbildung 27: Inn heute und früher zwischen Neuötting und Stammham, Topographie und Inn heute, Hochwasserereignis 2005. Oben: Topographie und Inn heute, unten: um 1800, grau: Siedlungsfläche heute	47
Abbildung 28: Inn heute und früher zwischen der Salzachmündung und Eggfing, Simulation mit Hochwasserereignis 2013. Oben: Topographie und Inn heute, unten: um 1800, grau: Siedlungsfläche heute, rot: Siedlungsfläche um 1800 (nur Modellgebiet)	47

Abbildung 29: Übersicht über die Lage der drei maßgebenden Pegel im Untersuchungsgebiet: Wasserburg am Inn (WABG), Burghausen an der Salzach (BGHA) und Passau-Ingling am Inn (PING).....	48
Abbildung 30: Vergleich der Hochwasserwellen im Referenzzustand und Zustand 1800 am oberen Inn an den Pegeln Rosenheim o.d.M (ROIN), Wasserburg (WABG) und Mühldorf (MUDF). Die verwendeten Hochwasserwellen (Ereignis E...) werden in Kapitel 7.1 beschrieben.....	51
Abbildung 31: Vergleich der Hochwasserwellen im Referenzzustand und Zustand 1800 am unteren Inn am Querschnitt Stammham (ITM) und an den Pegeln Burghausen (BGHA), Braunau (BRAU) und Passau-Ingling (PING). Die verwendeten Hochwasserwellen (Ereignis E...) werden in Kapitel 7.1 beschrieben.....	52
Abbildung 32: Vergleich der Hochwasserwellen im Referenzzustand und Zustand 1800 an der Salzach an den Pegeln Laufen (LAUF) und Burghausen (BGHA). Die verwendeten Hochwasserwellen (Ereignis E...) werden in Kapitel 7.1 beschrieben	53
Abbildung 33: Relative Scheitelreduktion von Referenzzustand und Zustand 1800 an den drei maßgebenden Pegeln Wasserburg (WABG), Burghausen (BGHA) und Passau-Ingling (PING).....	55
Abbildung 34: Gegenüberstellung der Fließzeiten von Referenzzustand und Zustand 1800 für den oberen Inn zwischen Oberaudorf (OAUD) und dem Auswertequerschnitt auf Höhe der heutigen Staustufe Stammham (ITM)	55
Abbildung 35: Gegenüberstellung der Fließzeiten von Referenzzustand und Zustand 1800 für die Salzach zwischen Salzburg (SABG) und Burghausen (BGHA).....	56
Abbildung 36: Gegenüberstellung der Fließzeiten von Referenzzustand und Zustand 1800 für den unteren Inn zwischen Braunau (BRAU) und Passau-Ingling (PING)	56
Abbildung 37: Abflussganglinien für vier Ereignisse im Referenzzustand und Zustand 1800 (Giehl und Rutschmann 2019). Grau: Zufluss des Inns in Oberaudorf (OAUD), grau gestrichelt: Mangfall, schwarz: Abflussganglinie in Wasserburg (WABG) im Referenzzustand, blau: Abflussganglinie in Wasserburg (WABG) im Zustand 1800	58
Abbildung 38: Schema der Bewertung und Reihung der potentiellen Flutpolderstandorte nach verschiedenen Kriterien in der Erstpriorisierung.....	63
Abbildung 39: Workflow der Flächenverschneidung zur Ermittlung potentieller Standorte. 1: überflutete Fläche im Ist-Zustand; 2: überflutete Fläche im historischen Zustand; 3: gesamte potentiell reaktivierbare Flächen aus der Verschneidung beider überfluteten Flächen von 1 und 2; 4: Überlagerung mit ausgewählter Landnutzung; 5: potentiell reaktivierbare Flächen aus der Verschneidung von Schritt 4; 6: Zusammenfassung der Flächen zu potentiellen Umgriffen.....	65

Abbildung 40: Längsschnitt entlang beziehungsweise parallel zur Flussachse des Inns im Teilmodell a mit gemittelter Geländehöhe außerhalb des Flussschlauchs sowie Potentiale zur Aktivierung von Rückhalteräumen	66
Abbildung 41: Längsschnitt entlang beziehungsweise parallel zur Flussachse des Inns im Teilmodell b bis Gars mit gemittelter Geländehöhe außerhalb des Flussschlauchs sowie Potentiale zur Aktivierung von Rückhalteräumen.....	66
Abbildung 42: Längsschnitt entlang beziehungsweise parallel zur Flussachse des Inns im Teilmodell b ab Gars mit gemittelter Geländehöhe außerhalb des Flussschlauchs sowie Potentiale zur Aktivierung von Rückhalteräumen.....	67
Abbildung 43: Längsschnitt entlang beziehungsweise parallel zur Flussachse des Inns im Teilmodell c bis Schärding (unterhalb Schluchtstrecke ohne Potential) mit gemittelter Geländehöhe außerhalb des Flussschlauchs sowie Potentiale zur Aktivierung von Rückhalteräumen	67
Abbildung 44: Längsschnitt entlang beziehungsweise parallel zur Flussachse der Salzach im Teilmodell d mit gemittelter Geländehöhe außerhalb des Flussschlauchs sowie Potentiale zur Aktivierung von Rückhalteräumen	68
Abbildung 45: Vergleich des Wasserspiegellängsschnitts mit den Differenzen Wasserspiegel-Gelände und den aus der historischen Modellierung gefundenen Standorten. Rote Pfeile entlang der Flussachse: Wasserspiegel Inn höher als umgebendes Gelände (rechts oder links), das rote Quadrat zeigt Potential auf beiden Seiten an; schwarze Kreise: WSP niedriger als Gelände an der Stützstelle	68
Abbildung 46: Potentielle Standorte für RHR am oberen Inn bis Wasserburg für die erste Wirkungsanalyse	77
Abbildung 47: Potentielle Standorte für RHR am Inn ab Eschelbach bis Passau für die erste Wirkungsanalyse. Umgriff des Standorts Haiming als c_02_A und d_10_A identisch.....	78
Abbildung 48: Potentielle Standorte für RHR an der Salzach für die erste Wirkungsanalyse. Umgriff des Standorts Haiming als c_02_A und d_10_A identisch.....	79
Abbildung 49: Auswertung für das Kriterium C1, Deichaufstandsfläche pro Rückhaltevolumen	85
Abbildung 50: Auswertung für das Kriterium D1, Anzahl der Gebäude im RHR in den Varianten A	85
Abbildung 51: Bewertung der RHR Variante A im Abschnitt a. Blaue Punkte: Bewertung in einzelnen Kombinationen; schwarzer Kreis: Median der Bewertung aller Kombinationen.....	92

Abbildung 52: Bewertung der RHR Variante A im Abschnitt c. Blaue Punkte: Bewertung in einzelnen Kombinationen; schwarzer Kreis: Median der Bewertung aller Kombinationen.....	93
Abbildung 53: Bewertung der RHR Variante A im Abschnitt d. Blaue Punkte: Bewertung in einzelnen Kombinationen; schwarzer Kreis: Median der Bewertung aller Kombinationen.....	93
Abbildung 54: Karte des Standorts a_05 aus dem Workshop als Beispiel für alternative Deichtrassen mit dem Ziel, mehr Gebäude aus dem RHR auszuschließen. Graue Punkte: Gebäude, rot gepunktet: bestehende HWSA, schwarze Linie: neu zu erstellende Deiche, braune Linie: neu oder anzupassende Deiche entlang Infrastruktur, grüne Linie: natürliche Grenze des Wasserspiegels bei Stauziel zum Gelände.....	95
Abbildung 55: Bewertung der RHR Variante A und Variante B im Abschnitt a. Graue Punkte: Bewertung in einzelnen Kombinationen; schwarzes Kreuz: Median der Bewertung aller Kombinationen	102
Abbildung 56: Bewertung der RHR Variante A und Variante B im Abschnitt c. Graue Punkte: Bewertung in einzelnen Kombinationen; schwarzes Kreuz: Median der Bewertung aller Kombinationen	103
Abbildung 57: Bewertung der RHR Variante A und Variante B im Abschnitt d. Graue Punkte: Bewertung in einzelnen Kombinationen; schwarzes Kreuz: Median der Bewertung aller Kombinationen	104
Abbildung 58: Histogramm der Gebäudeanzahl zur Auswahl eines Abschneidekriteriums .	105
Abbildung 59: Potentielle RHR im Untersuchungsgebiet. Schwarz: potentielle RHR auf Rang 1 bis 3 in der Erstpriorisierung, grau: potentielle RHR auf Rang 4 bis 6 in der Erstpriorisierung	112
Abbildung 60: Abflussganglinien am Pegel WABG im HD-Modell im Vergleich mit den stochastisch generierten (HY-Modell). Gestrichelt: Ganglinie HY; durchgezogen: Referenzganglinie HD	116
Abbildung 61: Abflussganglinien am Pegel BGHA im HD-Modell im Vergleich mit den stochastisch generierten (HY-Modell). Gestrichelt: Ganglinie HY; durchgezogen: Referenzganglinie HD	117
Abbildung 62: Abflussganglinien am Pegel PING im HD-Modell im Vergleich mit den stochastisch generierten (HY-Modell). Gestrichelt: Ganglinie HY; durchgezogen: Referenzganglinie HD	118
Abbildung 63: Gegenüberstellung der Q-Scheitelwerte aus HY- und HD-Modell für die drei maßgebenden Pegel WABG, BGHA und PING	119

Abbildung 64: Längsschnitt der Scheitelabflüsse für die zwölf Ereignisse entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten/Donau (Punkte)	122
Abbildung 65: Volumina der Hochwasserwellen am Pegel WABG. Oben: Q-V-Beziehung als Volumen über Schwellenwert HQ_x aufgetragen über dem Scheitelabfluss. Unten: Hochwasserabflussfüllen über der relativen Scheitelreduktion dQ_{rel}	123
Abbildung 66: Volumina der Hochwasserwellen am Pegel BGHA. Oben: Q-V-Beziehung als Volumen über Schwellenwert HQ_x aufgetragen über dem Scheitelabfluss. Unten: Hochwasserabflussfüllen über der relativen Scheitelreduktion dQ_{rel}	125
Abbildung 67: Volumina der Hochwasserwellen am Pegel PING. Oben: Q-V-Beziehung als Volumen über Schwellenwert HQ_x aufgetragen über dem Scheitelabfluss. Unten: Hochwasserabflussfüllen über der relativen Scheitelreduktion dQ_{rel}	127
Abbildung 68: Geschwindigkeit des Hochwasserwellenscheitels in den drei Teilabschnitten oberer Inn, unterer Inn und Salzach bezogen auf den Hochwasserscheitelabfluss am unterstromigen Ende	129
Abbildung 69: Wellenüberlagerung von Inn mit Salzach und mit Donau	130
Abbildung 70: Schema zur Lage des Einlaufbauwerks und der modelltechnischen Umsetzung	132
Abbildung 71: Lokal optimierte Steuerung des potentiellen RHR a_{08} beim Ereignis 3441 (etwa HQ_{100})	136
Abbildung 72: Unterschied zwischen Soll und Ist einer lokal optimierten Steuerung des potentiellen RHR a_{13} beim Ereignis 0955 (etwa HQ_{20} bis HQ_{30})	136
Abbildung 73: Zeitlicher Überblick Sohlvermessungen und HW-Ereignisse (Quelle: Uni Kassel, Präsentation im Lenkungsgremium 30.09.19)	137
Abbildung 74: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 0076. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING.....	139
Abbildung 75: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 0256. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING.....	140
Abbildung 76: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 0322. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt,	

BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING..... 141

Abbildung 77: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 0955. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING..... 142

Abbildung 78: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 2377. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING..... 143

Abbildung 79: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 3420. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING..... 144

Abbildung 80: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 3441. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING..... 145

Abbildung 81: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 4664. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING..... 146

Abbildung 82: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 4852. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING..... 147

Abbildung 83: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 4904. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING..... 148

Abbildung 84: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 5321. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING..... 149

Abbildung 85: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) beim Ereignis 7510. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt,

BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING.....	150
Abbildung 86: Potentielle Scheitelreduktionen am Pegel WABG durch lokal optimierte Steuerung der drei oberstrom liegenden RHR.....	152
Abbildung 87: Potentielle Scheitelreduktionen am Pegel BGHA durch lokal optimierte Steuerung der zwei oberstrom liegenden RHR.....	153
Abbildung 88: Potentielle Scheitelreduktionen am Pegel PING durch lokal optimierte Steuerung der zehn tiefer untersuchten RHR.....	154
Abbildung 89: Potentielle Scheitelreduktionen am Pegel PING durch lokal optimierte Steuerung von neun tiefer untersuchten RHR (ohne c_13).....	154
Abbildung 90: Potentielle spezifische Scheitelreduktionen an den drei Pegeln WABG, BGHA und PING durch lokal optimierte Steuerung der zehn tiefer untersuchten RHR. Oben: absolute spezifische Scheitelreduktion, unten: relative spezifische Scheitelreduktion.....	156
Abbildung 91: Potentielle Scheitelreduktionen am Pegel Achleiten/Donau durch lokal optimierte Steuerung der zehn tiefer untersuchten RHR an Inn und Salzach.....	157
Abbildung 92: Abflussganglinien am Pegel Achleiten ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert).....	158
Abbildung 93: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 0076.....	160
Abbildung 94: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 0256. Abflüsse der Salzach geringer als gewählte Schwelle für Aktivierung der Standorte an der Salzach (Tittmoninger Becken).....	161
Abbildung 95: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 0322.....	162
Abbildung 96: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 0955.....	163
Abbildung 97: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 2377.....	164

Abbildung 98: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 3420	165
Abbildung 99: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 3441. Abflüsse der Salzach geringer als gewählte Schwelle für Aktivierung der Standorte an der Salzach (Tittmoninger Becken).....	166
Abbildung 100: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 4664	167
Abbildung 101: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 4852	168
Abbildung 102: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 4904	169
Abbildung 103: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 5321. Abflüsse des Inns geringer als gewählte Schwelle für Aktivierung der Standorte oberstrom der Salzachmündung.....	170
Abbildung 104: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 7510. Abflüsse des Inns geringer als gewählte Schwelle für Aktivierung der Standorte oberstrom der Salzachmündung.....	171
Abbildung 105: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 0076	172
Abbildung 106: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 0322	172
Abbildung 107: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 0955	173
Abbildung 108: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 2377	173
Abbildung 109: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 3420	174

Abbildung 110: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 4664	174
Abbildung 111: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 4852	175
Abbildung 112: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 4904	175
Abbildung 113: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 5321	176
Abbildung 114: Längsschnitt der Scheitelabflüsse ohne und mit Flutpolder (lokal optimiert) entlang der Salzach für das Ereignis 7510	176
Abbildung 115: Überlagerung von Inn und Mangfall im Referenzzustand und mit Einsatz von a_06 beim Ereignis E2377	178
Abbildung 116: Überlagerung von Inn und Mangfall im Referenzzustand und mit Einsatz von a_06 beim Ereignis E3441	178
Abbildung 117: Überlagerung von Inn und Alz im Referenzzustand und mit Einsatz von b_02 beim Ereignis E0256	181
Abbildung 118: Gelegte Deiche für die DRV a_13_D vor Wasserburg. Links: Referenzzustand, rechts: Deichlegung	186
Abbildung 119: Öffnung 1 für die DRV d_04_D bei km 37.8. Links: Referenzzustand, rechts: Deichöffnung an der Stelle des gesteuerten Einlaufbauwerks in Variante d_04_B (zu erkennen an den Nodestrings)	187
Abbildung 120: Öffnung 2 für die DRV d_04_D bei km 35.0. Links: Referenzzustand, rechts: Deichöffnung	187
Abbildung 121: Deichöffnung für die DRV c_12_D unterstrom der Staustufe GEO. Links: Referenzzustand, rechts: Deichlegung	188
Abbildung 122: Scheiteländerungen dQ und dt durch die DRV a_13_D am Pegel WABG..	189
Abbildung 123: Scheiteländerungen dQ und dt durch die DRV d_04_D am Pegel BGHA ..	189
Abbildung 124: Scheiteländerungen dQ und dt durch die DRV a_13_D, c_12_D und d_04_D am Pegel PING	191
Abbildung 125: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 0076. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING	192

Abbildung 126: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 0256. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING	193
Abbildung 127: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 0322. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING	194
Abbildung 128: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 0955. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING	195
Abbildung 129: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 2377. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING	196
Abbildung 130: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 3420. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING	197
Abbildung 131: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 3441. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING	198
Abbildung 132: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 4664. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING	199
Abbildung 133: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 4852. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING	200
Abbildung 134: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 4904. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING	201
Abbildung 135: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 5321. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING	202
Abbildung 136: Abflussganglinien an den drei Hauptpegeln für DRV beim Ereignis 7510. Abflussganglinien in der Übersicht oben: WABG gestrichelt, BGHA Strichpunkt, PING durchgezogen. Unten links: WABG, unten Mitte: BGHA, unten rechts: PING	203
Abbildung 137: Längsschnitt der Scheitelabflüsse für DRV entlang des Inns (Linien) und Scheitelabflüsse am Pegel Achleiten (Punkte) für das Ereignis 0322	204

Abbildung 138: Längsschnitt der Wasserspiegelreduktionen entlang der Salzach bei Einsatz gesteuerter RHR (d_04 und d_05) und bei einer DRV d_04_D für das Ereignis 0322	205
Abbildung 139: Längsschnitt der Wasserspiegelreduktionen entlang der Salzach bei Einsatz gesteuerter RHR (d_04 und d_05) und bei einer DRV d_04_D für das Ereignis 5321	205
Abbildung 140: Beispiel für eine lokal optimierte und mögliche vorgeschaltete Steuerungen von a_08_A auf den Abschnitt unterstrom der Salzach; Abflussganglinien am Pegel WABG beim Ereignis 3441	209
Abbildung 141: Abflussganglinien mit lokal optimierter (opt) und auf den Abschnitt unterstrom der Salzach vorgeschalteter Steuerung (r1, r2) durch den Flutpolder a_08_A vor und nach der Mündung der Salzach, Wellen 1-5 (von links oben nach rechts unten: E0076, E0256, E0322, E0955, E2377)	210
Abbildung 142: Abflussganglinien mit lokal optimierter (opt) und auf den Abschnitt unterstrom der Salzach vorgeschalteter Steuerung (r1, r2) durch den Flutpolder a_08_A vor und nach der Mündung der Salzach, Wellen 6-10 (von links oben nach rechts unten: E3420, E3441, E4664, E4852, E4904)	211
Abbildung 143: Gegenüberstellung der Wirkung von lokal optimierter und auf den Abschnitt unterstrom der Salzach vorgeschalteter Steuerung durch den Flutpolder a_08 am Pegel WABG	213
Abbildung 144: Gegenüberstellung der Wirkung von lokal optimierter und auf den Abschnitt unterstrom der Salzach vorgeschalteter Steuerung durch den Flutpolder a_08 am Pegel PING	213
Abbildung 145: Abflussganglinien für eine Steuerung auf Zeitgewinn auf Niveau eines HQ ₁₀₀ durch den Flutpolder a_08_A beim Ereignis 2377. Schwarz: Abflussganglinien lokal unterstrom des Einlaufs, blau: Zufluss in den RHR, rot: Abflussganglinien am Pegel WABG, grau: seitliche Zuflüsse zwischen Standort und Pegel	215
Abbildung 146: Abflussganglinien für eine Steuerung auf Zeitgewinn auf Niveau eines HQ ₃₀ durch den Flutpolder c_08_B beim Ereignis 4904. Schwarz: Abflussganglinien lokal unterstrom des Einlaufs, blau: Zufluss in den RHR, rot: Abflussganglinien am Pegel PING, grau: seitliche Zuflüsse zwischen Standort und Pegel	216
Abbildung 147: Abflussganglinien für eine Steuerung auf Zeitgewinn auf Niveau eines HQ ₃₀ durch den Flutpolder c_13_B beim Ereignis 4904. Schwarz: Abflussganglinien lokal unterstrom des Einlaufs, blau: Zufluss in den RHR, rot: Abflussganglinien am Pegel PING, grau: seitliche Zuflüsse zwischen Standort und Pegel	217
Abbildung 148: Abflussganglinien am Pegel PING für eine lokal optimierte Füllung über ein steuerbares Einlaufbauwerk und eine Füllung über einen ab etwa HQ ₃₀ aktivierten, erodierbaren Deich für Ereignisse der Größenordnung HQ ₃₀ , HQ ₁₀₀ und HQ ₃₀₀	219

Abbildung 149: Beispiel zur Vereinheitlichung der Landnutzungsdaten anhand der Orte Laufen (Bayern) und Oberndorf (Österreich) beidseitig der Salzach.....	223
Abbildung 150: Schadenpotential für den Referenzzustand für die drei je Pegel maßgebenden Ereignisse getrennt nach Inn oberhalb und Inn unterhalb der Salzachmündung und der Salzach	227
Abbildung 151: Längsschnitt der betroffenen Einwohner entlang des Inns bei zwei beispielhaft ausgewählten Hochwasserereignissen	231
Abbildung 152: aktualisiertes Schema für die abschließende Priorisierung	233
Abbildung 153: Boxplots mit der jährlichkeitsbezogenen Scheitelreduktion je Flutpolder für den Nahpegel bei HQ ₃₀ (Kriterium B4). Dargestellt sind Median (Balken), Mittelwert (Kreuz) und Ausreißer (Kreise)	236
Abbildung 154: Boxplots mit der jährlichkeitsbezogenen Scheitelreduktion je Flutpolder für den Nahpegel bei HQ ₁₀₀ (Kriterium B5). Dargestellt sind Median (Balken), Mittelwert (Kreuz) und Ausreißer (Kreise)	236
Abbildung 155: Gewichtungen der Kriterien A, B, C, D, E und F zur Überführung in eine Gesamtbewertung	239
Abbildung 156: Boxplots der Gesamtbewertungen (von 1: gut bis 3: schlecht) der potentiellen Flutpolder aus der Kombination vieler Gewichtungen in der abschließenden Priorisierung. Dargestellt sind Median (Balken), Mittelwert (Kreuz) und Ausreißer (Kreise)	239
Abbildung 157: Scheitelveränderungen durch die Kombinationen k _{1_1} , k _{1_2} , k _{1_3} und k _{1_1b} am Pegel PING im Vergleich mit der Wirkung des alleinigen Flutpolders a ₀₈ (opt)	250
Abbildung 158: Scheitelveränderungen durch die Kombinationen k _{2_1} , k _{2_2} und k _{2_3} am Pegel PING im Vergleich mit der Wirkung des alleinigen Flutpolders a ₀₈ (hier jeweils salzachabhängig gesteuert mit S1vor oder S2vor)	251
Abbildung 159: Scheitelveränderungen durch die Kombinationen k _{3_1} , k _{3_2} und k _{3_3} am Pegel PING im Vergleich mit der Wirkung des alleinigen Flutpolders a ₀₈ (hier ereignisabhängig gesteuert opt / S1vor / S2vor)	253
Abbildung 160: Scheitelveränderungen durch die Kombinationen k _{1x4_a} und k _{1x4_b} am Pegel PING	254

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: für die Bearbeitung der Studie vorliegende Daten	7
Tabelle 2: Übersicht über die im Projektgebiet befindlichen Stauhaltungen und der für die 2D-HD-Modellierung verwendeten Gleichgewichtssohlen	15
Tabelle 3: Übersicht Absenkvorschriften der Inn-Staustufen (Quelle: VERBUND).....	19
Tabelle 4: Übersicht der Pegel des Inns (grau) und der Zuflüsse im Projektgebiet (blau: Inn, schwarz: seitliche Zuflüsse) von oberstrom nach unterstrom	21
Tabelle 5: Übersicht der Pegel der Salzach (grau) und der Zuflüsse im Projektgebiet (blau: Salzach, schwarz: seitliche Zuflüsse) von oberstrom nach unterstrom	22
Tabelle 6: Hochwasserstatistik für Pegel an Inn und Salzach im Projektgebiet Salzach (Quelle: LfU Bayern, HD OÖ)	22
Tabelle 7: Eckdaten der Modelle für die 2D-HD-Simulationen	32
Tabelle 8: Fließlängen und Sohlgefälle in den 2D-HD-Modellen im Referenzzustand und Zustand 1800	43
Tabelle 9: Vergleich zwischen Referenzzustand und Zustand 1800 für verschiedene Pegel und Auswertequerschnitte entlang Inn und Salzach. Die verwendeten Hochwasserwellen (Ereignis E...) werden in Kapitel 7.1 beschrieben.....	54
Tabelle 10: Vergleich der Scheitelveränderung und – verzögerung von Referenzzustand und Zustand 1800 für ausgewählte zusätzliche Ereignisse (nach Giehl und Rutschmann (2019))	58
Tabelle 11: Vergleich zwischen Referenzzustand und Zustand 1800 für den Pegel PING für Ereignisse > HQ ₃₀ (5.400 m ³ /s). Die verwendeten Hochwasserwellen werden in Kapitel 7.1 beschrieben.....	59
Tabelle 12: Gesamtliste der gefundenen potentiellen Flächen im Teilmodell a. Gefunden mit <i>hist.</i> Methode „historisch“, <i>Schnitt.</i> Methode „Potential aus Längsschnitt“, <i>SKI:</i> Studie VERBUND / SKI	69
Tabelle 13: Gesamtliste der gefundenen potentiellen Flächen im Teilmodell b. Gefunden mit <i>hist.</i> Methode „historisch“, <i>Schnitt.</i> Methode „Potential aus Längsschnitt“, <i>SKI:</i> Studie VERBUND / SKI	70
Tabelle 14: Gesamtliste der gefundenen potentiellen Flächen im Teilmodell c. Gefunden mit <i>hist.</i> Methode „historisch“, <i>Schnitt.</i> Methode „Potential aus Längsschnitt“, <i>SKI:</i> Studie VERBUND / SKI	71

Tabelle 15: Gesamtliste der gefundenen potentiellen Flächen im Teilmodell d. Gefunden mit <i>hist.</i> Methode „historisch“, <i>Schnitt.</i> Methode „Potential aus Längsschnitt“, <i>SKI:</i> Studie VERBUND / SKI	71
Tabelle 16: Grobbewertung der (technischen) Machbarkeit potentieller Flächen für die Variante Flutpolder (FP)	73
Tabelle 17: Grobbewertung der (technischen) Machbarkeit potentieller Flächen für die Variante Deichrückverlegung (DRV).....	74
Tabelle 18: Klassifizierung des Volumens und der Fläche für die Variante FP und DRV	74
Tabelle 19: Für erste Wirkungsanalyse ausgewählte potentielle Standorte und deren Grobbewertung der Machbarkeit im Teilgebiet a	75
Tabelle 20: Für erste Wirkungsanalyse ausgewählte potentielle Standorte und deren Grobbewertung der Machbarkeit im Teilgebiet b	75
Tabelle 21: Für erste Wirkungsanalyse ausgewählte potentielle Standorte und deren Grobbewertung der Machbarkeit im Teilgebiet c. *: c_02 entspricht d_10	76
Tabelle 22: Für erste Wirkungsanalyse ausgewählte potentielle Standorte und deren Grobbewertung der Machbarkeit im Teilgebiet d	76
Tabelle 23: Quantitativ und qualitativ bewertbare Kriterien im Themenfeld „Bautechnik“ (Kriterien C).....	80
Tabelle 24: Informative Kriterien im Themenfeld „ Bautechnik“	81
Tabelle 25: Quantitativ und qualitativ bewertbare Kriterien im Themenfeld „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“ (Kriterien D).....	81
Tabelle 26: Informative Kriterien im Themenfeld „Siedlung – Infrastruktur – Mensch“.....	81
Tabelle 27: Informative Kriterien im Themenfeld „Land- und Forstwirtschaft“	81
Tabelle 28: Informative Kriterien im Themenfeld „Ökologie“	82
Tabelle 29: Matrix zur Bewertung der relativen und spezifischen Scheitelreduktion am Nahpegel (A1, B1) und Fernpegel (A2, B2)	84
Tabelle 30: Übersicht über Nah- und Fernpegel je nach Abschnitt	84
Tabelle 31: Matrix zur Bewertung der Kriterien C1 und D1	85
Tabelle 32: Kenndaten und Bewertungen für alle potentiellen RHR der Variante A in Abschnitt a	87

Tabelle 33: Kenndaten und Bewertungen für alle potentiellen RHR der Variante A in Abschnitt b	88
Tabelle 34: Kenndaten und Bewertungen für alle potentiellen RHR der Variante A in Abschnitt c.....	89
Tabelle 35: Kenndaten und Bewertungen für alle potentiellen RHR der Variante A in Abschnitt d	90
Tabelle 36: Kombinationsmatrix der Gewichtungen im Kriterium A und B.....	91
Tabelle 37: Kombinationsmatrix der Gewichtungen im Kriterium C und D	92
Tabelle 38: Gegenüberstellung der Bewertung von Varianten A und B im Abschnitt a, Teil 1. Rote oder grüne Bewertung bei Variante B zeigt eine Verschlechterung oder Verbesserung gegenüber der Variante A	96
Tabelle 39: Gegenüberstellung der Bewertung von Varianten A und B im Abschnitt a, Teil 2. Rote oder grüne Bewertung bei Variante B zeigt eine Verschlechterung oder Verbesserung gegenüber der Variante A	97
Tabelle 40: Gegenüberstellung der Bewertung von Varianten A und B im Abschnitt c, Teil 1. Rote oder grüne Bewertung bei Variante B zeigt eine Verschlechterung oder Verbesserung gegenüber der Variante A	98
Tabelle 41: Gegenüberstellung der Bewertung von Varianten A und B im Abschnitt c, Teil 2. Rote oder grüne Bewertung bei Variante B zeigt eine Verschlechterung oder Verbesserung gegenüber der Variante A	99
Tabelle 42: Gegenüberstellung der Bewertung von Varianten A und B im Abschnitt d, Teil 1. Rote oder grüne Bewertung bei Variante B zeigt eine Verschlechterung oder Verbesserung gegenüber der Variante A	100
Tabelle 43: Gegenüberstellung der Bewertung von Varianten A und B im Abschnitt d, Teil 2. Rote oder grüne Bewertung bei Variante B zeigt eine Verschlechterung oder Verbesserung gegenüber der Variante A	101
Tabelle 44: Reihung der potentiellen Standorte bei der Erstpriorisierung als Basis für die Auswahl der detaillierter zu untersuchenden Standorte. * Var A und B mit identischer Bewertung.....	106
Tabelle 45: Variation der Klassengrenzen Kriterium C1, D1 und A1/B1.....	107
Tabelle 46: Variation der Gewichtungen Kriterium C1 und D1	107
Tabelle 47: Erreichte Rangfolgen auf Basis der Sensitivitätsanalyse im Abschnitt a.....	108

Tabelle 48: Erreichte Rangfolgen auf Basis der Sensitivitätsanalyse im Abschnitt c.....	108
Tabelle 49: Erreichte Rangfolgen auf Basis der Sensitivitätsanalyse im Abschnitt d.....	109
Tabelle 50: Auf Rang 1 bis 6 liegende potentielle Flutpolderstandorte nach der Erstpriorisierung mit den wesentlichen Eckdaten für die Wirkungsanalysen. *: nur naturschutzfachliche Übersichtsbewertung, keine Wirkungsanalyse	111
Tabelle 51: Ausgewählte Hochwasserwellen aus TP A für die Wirkungsanalyse mit den angestrebten Jährlichkeiten an den Referenzpegeln	114
Tabelle 52: Abflussscheitel aus der hydrologischen (HY) und hydrodynamischen (HD) Modellierung sowie deren Abweichungen (relativ in [%]) und Kennzeichnung der Jährlichkeiten	119
Tabelle 53: Volumina der Hochwasserwellen für ausgewählte HQ-Werte am Pegel WABG über Schwellenwert HQ_x	124
Tabelle 54: Volumina der Hochwasserwellen für ausgewählte HQ-Werte am Pegel BGHA über Schwellenwert HQ_x	126
Tabelle 55: Volumina der Hochwasserwellen für ausgewählte HQ-Werte am Pegel PING über Schwellenwert HQ_x	128
Tabelle 56: Als gesteuerte Flutpolder eingesetzte RHR in den Einzelwirkungsanalysen	134
Tabelle 57: RHR a_06_B als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen.....	177
Tabelle 58: RHR a_08_A als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen.....	179
Tabelle 59: RHR a_13_B als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen.....	179
Tabelle 60: RHR b_02_A als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen.....	180
Tabelle 61: RHR c_08_B als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen.....	181
Tabelle 62: RHR c_09_B als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen.....	182
Tabelle 63: RHR c_13_B als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen.....	183

Tabelle 64: RHR d_04_B als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen.....	183
Tabelle 65: RHR d_05_B als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen.....	184
Tabelle 66: RHR d_10_B als gesteuerter Flutpolder: Scheitelreduktionen lokal und am folgenden Pegel sowie aktiviertes Rückhaltevolumen.....	185
Tabelle 67: Scheitelveränderungen durch lokal optimierter und auf den Abschnitt unterstrom der Salzach vorgeschalteter Steuerung des Flutpolders a_08 am Pegel WABG	214
Tabelle 68: Scheitelveränderungen durch lokal optimierter und auf den Abschnitt unterstrom der Salzach vorgeschalteter Steuerung des Flutpolders a_08 am Pegel PING	214
Tabelle 69: Schaden je Wassertiefenklassen in €/m ² (nach Franz Fischer Ingenieurbüro 2017 für einen Stand 2015)	223
Tabelle 70: Zuordnung der Landnutzung zu Nutzungskategorien	224
Tabelle 71: Für die Ermittlung des Schadenpotentials ausgewählte Ereignisse an den drei maßgebenden Pegeln	226
Tabelle 72: Reduktion des Schadenpotentials durch die detaillierter untersuchten Flutpolder für verschiedene ausgewählte Ereignisse an den drei maßgebenden Pegeln	227
Tabelle 73: Übersicht über die verwendeten Kriterien und deren Bewertungsgrundlage zur Priorisierung	234
Tabelle 74: Bewertung und Reihung der möglichen Flutpolderstandorte nach deren Risikopotential aus naturschutzfachlicher Sicht (* Reihung ohne Kompensationsmaßnahmen) (REVITAL 2020).....	238
Tabelle 75: Übersicht der zehn Standorte, die detaillierter untersucht wurden, mit der Bewertung aus der Erstpriorisierung und der abschließenden Priorisierung. Rang bezieht sich auf Reihung nur innerhalb des jeweiligen Abschnitts.....	240
Tabelle 76: Bewertungen für die zehn detaillierter untersuchten Flutpolderstandorte (Rang 1 bis 3 je Abschnitt aus der Erstpriorisierung), erster Teil mit Kriterien A und B.....	241
Tabelle 77: Bewertungen für die zehn detaillierter untersuchten Flutpolderstandorte (Rang 1 bis 3 je Abschnitt aus der Erstpriorisierung), zweiter Teil mit Kriterien C, D, E und F.....	242
Tabelle 78: Entscheidungsschema zur Steuerung des Flutpolders a_08 in den Kombinationswirkungsanalysen k_3_1, k_3_2 und k_3_3.....	247

Tabelle 79: Übersicht der Kombinationswirkungsanalysen (Teil 1) mit eingesetzten Flutpoldern und deren Steuerung in Abhängigkeit des jeweiligen Ereignisses.....	248
Tabelle 80: Übersicht der Kombinationswirkungsanalysen (Teil 2) mit eingesetzten Flutpoldern und deren Steuerung in Abhängigkeit des jeweiligen Ereignisses.....	249
Tabelle 81: Scheitelveränderungen durch die Kombinationen k_1_1, k_1_2, k_1_3 und k_1_1b am Pegel PING	250
Tabelle 82: Scheitelveränderungen durch die Kombinationen k_2_1, k_2_2 und k_2_3 am Pegel PING im Vergleich mit der Wirkung des alleinigen Flutpolders a_08 (hier jeweils salzachabhängig gesteuert mit S1vor oder S2vor)	252
Tabelle 83: Scheitelveränderungen durch die Kombinationen k_3_1, k_3_2 und k_3_3 am Pegel PING	253
Tabelle 84: Scheitelveränderungen durch die Kombinationen k_1x4_a und k_1x4_b am Pegel PING	254