

Methodik zur Entwicklung von Steuerungsreglements für Staustufenmanagement und Flutpolder zur Hochwasserminderung

Die zum Teil katastrophalen Auswirkungen großer Hochwasser der letzten Jahre zeigen deutlich die Vulnerabilität fließgewässernaher Siedlungsstrukturen an großen Flüssen. An staugeregelten Flüssen besteht die zentrale Frage, ob mit einer hochwasserangepassten, intelligenten Steuerung der Staustufen eine Scheitelminderung erzielt werden kann. Das Zusammenspiel mit dem Betrieb von Flutpoldern zum Hochwasserrückhalt ist dabei von besonderem Interesse. Zur Untersuchung der potenziellen Abminderung durch die genannten technischen Hochwasserschutzmaßnahmen und der Entwicklung praxisrelevanter Steuerungsvorgaben sind umfangreiche Analysen und Sensitivitätsuntersuchungen zu einer Vielzahl von Parametern und Messwerten unter Anwendung eines komplexen Modellsystems notwendig.

Sarah Dickel und Stephan Theobald

1 Untersuchungsbedarf und Forschungsstand

Insbesondere die großen Hochwasser-Ereignisse der letzten Jahrzehnte und die damit einhergegangenen großräumigen Überflutungen und Schäden zeigten die Vulnerabilität von Siedlungsstrukturen an großen Fließgewässern. Das Hochwasser (HW) 2013 stellte dabei in Passau an der Donau sowie unterstrom in Oberösterreich ein Ereignis mit einer Jährlichkeit von weit über 100 Jahren und Rekordwasserständen durch den Einfluss des Inns dar [1], [2]. Die Überflutungen betrafen im Falle des HW 2013 eine Fläche von rund 241 Hektar im Bereich der Stadt Passau und hatten einen Gesamtschaden von circa 190 Mio. Euro zur Folge. Durch das HW 2002 kam es in Passau zu Schäden in Höhe von insgesamt 20 Mio. Euro [3].

In der Stadt Passau gehören sowohl das HW 2002 als auch das Ereignis im Jahr 2013 zu den größten aufgezeichneten HW, wie anhand der HW-Markierungen am Rathaus in der Altstadt Passaus in **Bild 1 rechts** erkennbar ist. Der Vergleich mit dem Foto der Altstadt, das in **Bild 1 links** mit dem Inn im Hintergrund und der Donau im Vordergrund jeweils von rechts nach links fließend dargestellt ist, macht die große Überschwemmung durch die HW deutlich.

Kompakt

- Die Entwicklung von praxistauglichen Steuerungsvorgaben erfordert Systemverständnis und komplexe Simulationswerkzeuge.
- Operationell verfügbare Eingangsdaten und deren detaillierte Analyse bei der Entwicklung sind essentiell für die Verwendbarkeit im praktischen Betrieb.

Der bestehende Ausbau großer Flüsse mit Staustufenketten führt zu der zentralen Fragestellung, ob mit einer angepassten intelligenten Steuerung der Staustufen eine Scheitelminderung im HW-Fall erzielt werden kann. Hierbei ist auch die Überlagerung beziehungsweise Wechselwirkung mit dem durch Flutpolderbetrieb erzielbaren Rückhalt von besonderem Interesse. Wirksamkeit und Anwendbarkeit eines hochwasserangepassten Staustufenbetriebes - das sogenannte Staustufenmanagement - werden in Forschung und Öffentlichkeit stetig diskutiert, ebenso wie der Betrieb von Flutpoldern. Unter Staustufenmanagement wird im vorliegenden Fall ein geschicktes Ab- und Aufstauen zum HW-Rückhalt bei einer Kette von Laufwasserkraftwerken verstanden. Es ist anzumerken, dass die Fallhöhen der Staustufen i. d. R. zwischen 5 und 15 m betragen.

Die Breite der Diskussion zur HW-Minderung schlägt sich jedoch kaum in den zur Verfügung stehenden Forschungsarbeiten zur Steuerung von Staustufen nieder, da die Gesamtzahl an Publikationen vergleichsweise gering ist. Beispielsweise gibt die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser [4] anhand überschlägiger Abschätzungen an, dass an bestimmten - den für die Studie ausgewählten - Bundeswasserstraßen i. d. R. kein zusätzlicher Rückhalteraum verfügbar und dieses Ergebnis auch auf andere Fließgewässer übertragbar ist; eine solche Argumentation greift jedoch zu kurz. Untersuchungen an österreichischen Donaustaustufen, die von Rauschenbach et al. [5] beschrieben werden, zeigen ein generelles Potenzial zur Scheitelminderung bei bekannter Abflussganglinie unter Anwendung eines modellbasierten, simulativen Optimierungsverfahrens. Da jedoch nicht auf die Unsicherheiten der Vorhersage als Eingangsdaten eingegangen wird, handelt es sich hierbei um eine theoretische Potenzialstudie und nicht um ein operationell einsetzbares Steuerungssystem. Eine weitere Betrachtung liefern Dettmann

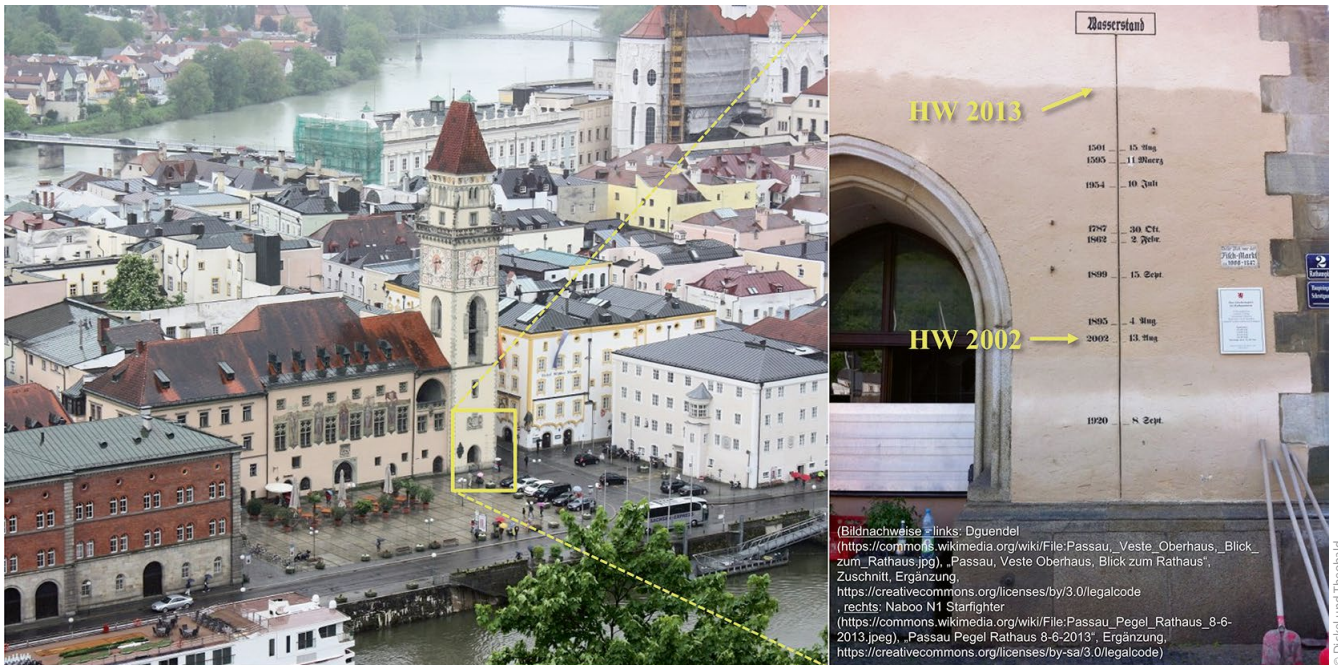


Bild 1: Rathaus der Stadt Passau mit Hochwassermarkierungen

und Theobald [6] für Donaustufen in Oberösterreich. Hier wurde mit einem eindimensionalen hydrodynamisch-numerischen Simulationsmodell (1-D-HN-Simulationsmodell), gekoppelt mit Steuerungselementen, anhand umfangreicher Sensitivitätsuntersuchungen ein theoretisches Potenzial der Abminderung durch angepassten Staustufenbetrieb ermittelt. Die Studie diente lediglich einer Potenzialabschätzung und wurde anhand bekannter Ganglinien durchgeführt, weshalb eine unmittelbare Ableitung operationell einsetzbarer Steuerungsvorgaben nicht erfolgte. Es wurde jedoch thematisiert, dass unter Verwendung operationell verfügbarer Daten die Entwicklung einer praxisrelevanten Steuerung möglich wäre. Weitere Untersuchungen an der deutschen Donau vom Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München [7] beschrieben, zeigen anhand von 2-D-HN-Simulationen ein Potenzial zur Abminderung durch angepassten Staustufenbetrieb. Jedoch wird dieses basierend auf bekannten Ganglinien ermittelt und es werden keine Steuerungsfunktionen diskutiert, so dass kein einsetzbares System aus der Betrachtung hervorgeht. Eine realistische Abminderung durch angepassten Staustufenbetrieb wird von Gerke et al. [8] für einen hochwasserangepassten Betrieb an der Staustufe Langkampfen im alpinen Bereich des Inns vorgestellt. Aufgrund von kurzen Laufzeiten wurden flexible Steuerungsvorgaben für eine Staustufe entwickelt, die simulativ mit einem 1-D-HN-Modell erprobt wurden und sich auf operationell verfügbare Werte beziehen - die Randbedingungen an der untersuchten Staustufe machen dabei lediglich eine Abminderung bis zum HQ_{30} möglich. Die beschriebene Untersuchung bezieht sich allerdings nur auf eine einzelne Staustufe. In der internationalen Literatur sind keine Untersuchungen zur aktiven HW-Minderung durch Staustufenmanagement von Laufwasserkraftwerken dokumentiert.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die vorliegenden dokumentierten Untersuchungen zu einem Staustufenmanagement überwiegend basierend auf nach dem HW-Ereignis bekannten Ganglinienverläufen und nicht auf operationell verfügbaren Daten durchgeführt wurden; die so ermittelten Scheitelminderungen wären nur bei einer perfekten Vorhersage realisierbar und zeigen daher ein eher theoretisches Potenzial auf.

Bezüglich der Steuerung von Poldern liegt generell eine größere Anzahl von Publikationen vor; jedoch ist auch hier die Anzahl an wissenschaftlichen und auch praxisnahen Studien vergleichsweise gering und es finden sich zudem kaum Aussagen zu den verwendeten Methoden und Modellen. Ein Beispiel für eine einsatzfähige konventionelle Regelung ist das Betriebsreglement der Polder am Oberrhein, welches anhand von Simulationen entwickelt wurde und von der Ständigen Rheinkommission [9] beschrieben wird. Bei Überschreiten von festgelegten Abflusswerten an definierten Pegeln oder in einem bestimmten Zeitbezug (z. B. 4 Stunden nach Beginn Polderfüllung Wörth) werden die Polder beaufschlagt. Von Hatz et al. [10] werden unterschiedliche modellbasierte Polderbetrachtungen zusammenfassend beschrieben. Diese wurden an großen Fließgewässern in Deutschland, z. B. Elbe und Donau, durchgeführt und basieren auf bekannten Ganglinien - gehen somit von einer perfekten Vorhersage aus und stellen keine praktisch einsetzbaren Systeme dar.

Die hier vorgestellte Forschungsarbeit hat daher zum Ziel, ein Modellsystem für den kombinierten Betrieb von Staustufen und Flutpoldern zu entwickeln und darauf aufbauend praxistaugliche Steuerungsstrategien zum HW-Rückhalt abzuleiten. Die simulationsgestützte Entwicklung von komplexen Steuerungsvorgaben berücksichtigt eine Vielzahl von verschiedenen Parametern sowie operationell verfügbaren Daten und führt die HW-Minderung ereignisbasiert durch [11].

2 Numerische Modellierung der Staustufenkette

Im Rahmen der Untersuchung wurde ein 1-D-HN-Modell genutzt, das mit Matlab/Simulink gekoppelt werden kann [12], [13]. Das HN-Verfahren ist eine Eigenentwicklung in C++, bei der die vollständigen instationären Saint-Venant-Gleichungen mithilfe des Preissmann-Schemas gelöst werden. Die Abbildung von komplexen Fließgewässerstrukturen, wie Verzweigungen oder vermaschten Fließsystemen, ist ebenso möglich wie die Integration von Flutpoldern oder sonstigen Sonderbauwerken. Zu diesem eigenentwickelten Modellierungswerkzeug gehört eine umfangreiche Tool-Box, in welcher unterschiedliche Regler zur Implementierung unterschiedlicher Steuerungsoptionen resp. verschiedene Arten der Wasserhaushaltsregelung für einzelne Staustufen und auch Staustufenketten vorhanden sind. Das Modellierungswerkzeug bietet damit die Möglichkeit, regelungstechnische Aspekte des Staustufenbetriebes sowie anderer wasserbaulicher Anlagen abzubilden und gleichzeitig den Einfluss der Steuerungsvorgaben auf die Strömungsverhältnisse im Stauraum beziehungsweise im Fließgewässer zu analysieren. Das am Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft entwickelte Modellierungswerkzeug wurde in einer Vielzahl von Projekten erfolgreich eingesetzt und wird stetig weiterentwickelt [12], [13].

Das in dieser Studie vorgestellte modellierte Gebiet umfasst den bayerischen Inn vom Kraftwerk Oberaudorf-Ebbs bis zur Mündung in die Donau mit einer Länge von ca. 211 km sowie die Donau-Stauhaltung Jochenstein (Bild 2). Auf dieser Fließstrecke des Inns befinden sich insgesamt 15 Laufwasserkraftwerke, die in dem zusammenhängenden Kettenmodell implementiert sind. Die Fallhöhen der betrachteten Staustufen am

bayerischen Inn betragen zwischen 5,38 und maximal 11,65 m und sind besonders am unteren Inn mit mindestens 9,5 m vergleichsweise groß.

Die HW-Genese in dem betrachteten Einzugsgebiet wird am unteren Inn ab Inn-km 68,3 maßgeblich durch den Zufluss der Salzach geprägt. Die statistischen Kennwerte eines HQ_{100} sind an den Pegeln Wasserburg am Inn und Burghausen an der Salzach vergleichbar groß. Am Pegel Passau Ingling am Inn im Mündungsbereich des Inns beträgt der Abflusswert des HQ_{100} nach dem Zusammenfluss von Inn, Salzach und weiteren seitlichen Zuflüssen $6\,800\text{ m}^3/\text{s}$. Bei der HW-Genese kann zwischen inn- und salzachbetonten HW aufgrund der ausgeprägten Maximalabflüsse unterschieden werden.

Für die instationäre Simulation abgelaufener HW werden aufgezeichnete Abflussdaten von insgesamt 17 Pegeln im Einzugsgebiet (Bild 2) genutzt; die Zuflüsse nicht messtechnisch erfasster Einzugsgebiete werden anhand der Abflussspenden benachbarter Einzugsgebiete, die über eine Pegelmessung bekannt sind, abgeschätzt. Zur instationären Kalibrierung des Kettenmodells wurden die HW 2005 und 2013 simuliert, die Validierung des Modells erfolgte anhand der Simulation des HW 2002. Beispielhaft für die erzielte gute Übereinstimmung der Simulationsergebnisse mit den aufgezeichneten Daten sind in Bild 3 gemessene (gepunktet) und simulierte (durchgezogen) Ganglinien an den Inn-Pegeln Wasserburg und Passau Ingling sowie dem Donau-Pegel Achleiten dargestellt. Für die nachfolgenden Untersuchungen steht somit ein Modell zur Verfügung, das repräsentativ für verschiedene Abflussbereiche ist.

Mit dem Modellierungswerkzeug ist die Implementierung der derzeit gültigen Wehrbetriebsordnungen (WBO) möglich. An

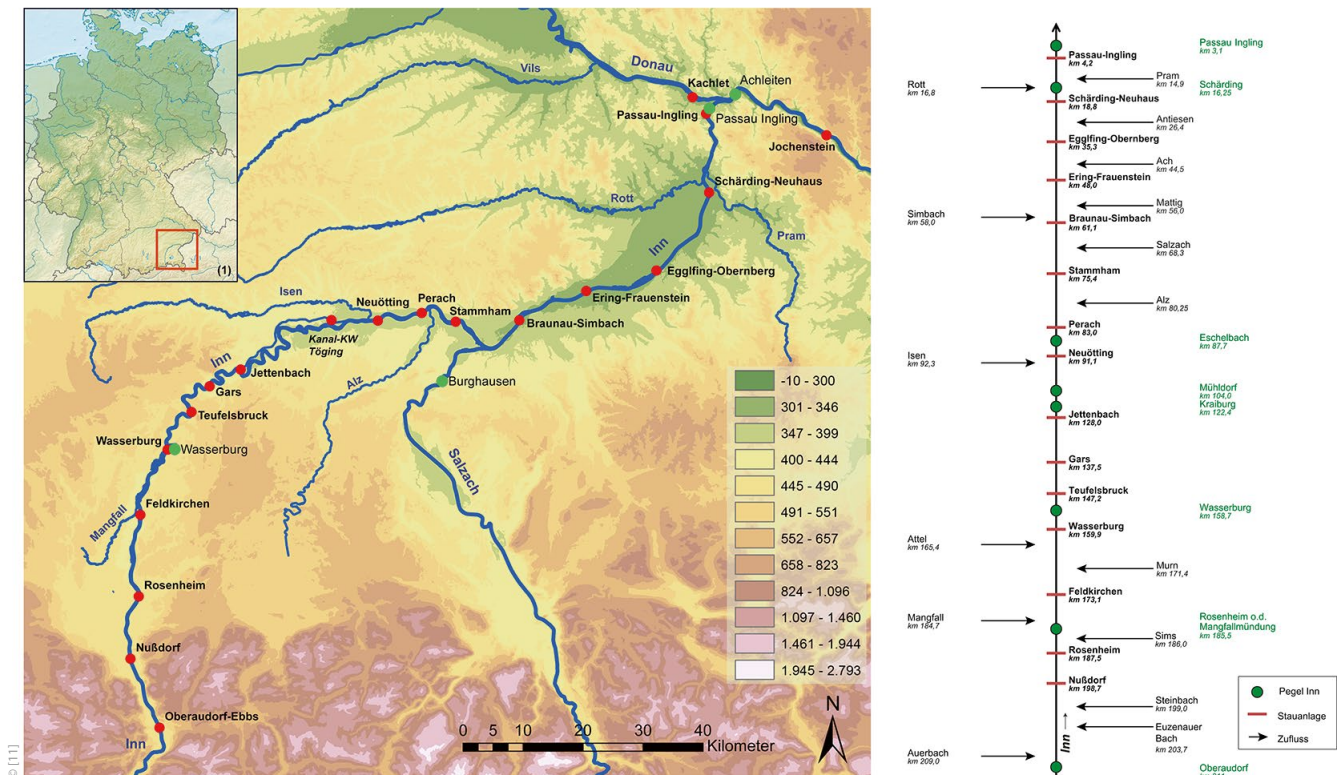


Bild 2: Modellgebiet und schematische Darstellung des bayerischen Inns

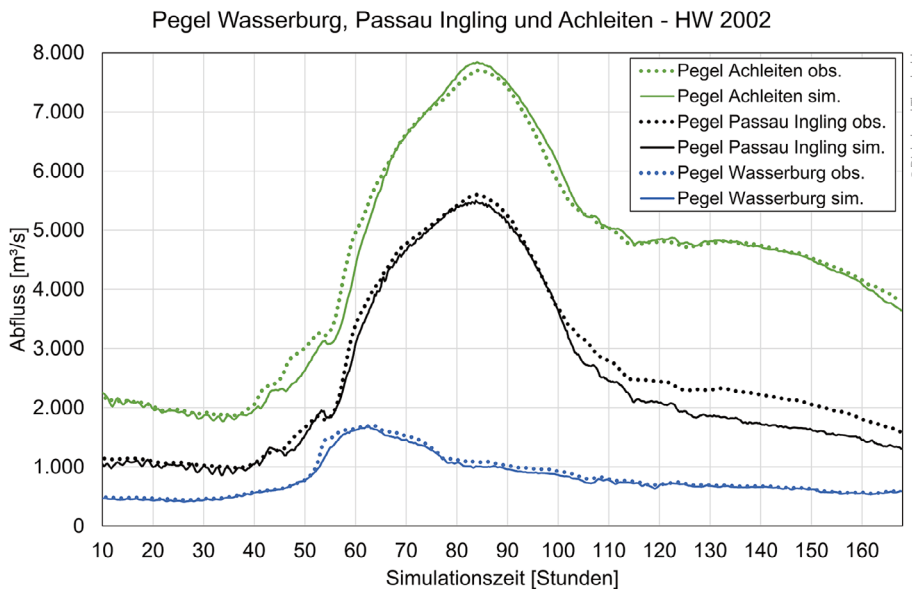


Bild 3: Vergleich von aufgezeichneten und simulierten Abflussganglinien an verschiedenen Pegeln von Inn und Donau für das Validierungsereignis Hochwasser 2002

insgesamt sieben der fünfzehn im Modell implementierten Staustufen am Inn wird gemäß WBO im HW-Fall eine Absenkung des Oberwasserstandes in Abhängigkeit des Zuflusses vorgenommen, beispielsweise um die Wasserstände in den Stauräumen bei höheren Abflüssen zu senken. Ein Staustufenmanagement mit dem Ziel der HW-Minderung, wie im Rahmen der Untersuchung betrachtet, wird am Inn derzeit nicht durchgeführt.

3 Steuerungsreglements

3.1 Grundprinzip des Staustufenmanagements

Das Betriebsreglement zur HW-Minderung durch angepassten Staustufenbetrieb - das Staustufenmanagement - ist in die zwei Prozessschritte des Ab- und Aufstaus aufgeteilt. Frühzeitig vor dem Eintreffen des HW wird der Oberwasserstand (OW, **Bild 4**, schwarz) an der Staustufe verringert, um im Stauraum Volumen zur Verfügung zu stellen, welches zum Rückhalt genutzt werden kann. Durch die Erhöhung des Oberwasserstandes (Aufstau) bei Durchgang des HW-Scheitels wird Volumen in den Stauraum eingelagert, so dass eine Verringerung des HW-Scheitels erzielt werden kann. **Bild 4** zeigt das Prinzip des Staustufenmanagements beispielhaft für die Staustufe Ering-Frauenstein, an welcher der OW-Stand gemäß WBO konstant auf 336,2 müNN gehalten wird. Die Abflusserhöhung durch den Abstau findet frühzeitig vor dem HW in einem niedrigen Abflussbereich statt, um keine Schäden zu verursachen. Durch die Erhöhung des Oberwasserstandes auf das reguläre Stauziel ab Stunde 72 wird die Abflussganglinie im Scheitelsbereich reduziert sowie ein Volumen von 3,3 Mio. m³ zurückgehalten.

Bei dem hier untersuchten Konzept für den Inn wird an acht der insgesamt fünfzehn betrachteten Staustufen ein Staustufenmanagement durchgeführt. Die Anlagen weiter oberstrom werden nicht berücksichtigt, da dort das Staustufenmanagement aufgrund von morphologischen Prozessen, Rutschhängen oder geringeren Laufzeiten schwieriger umzusetzen ist. Zur Festlegung von Steuerungsvorgaben und entsprechenden Referenz-

pegeln sind umfangreiche Analysen und Sensitivitätsuntersuchungen durchzuführen, um den Einfluss unterschiedlicher Parameter und deren Wechselspiel zu untersuchen. Die erzielbare Scheitelminderung bei Staustufenmanagement hängt maßgeblich von den Parametern des Ab- und Aufstaus ab und betrifft Abstautiefe sowie insbesondere Zeitpunkt und Gradient des Aufstaus, wie nachfolgend detailliert erläutert.

3.2 Staustufenmanagement - Abstauprozess

Um den Abstauprozess möglichst frühzeitig vor dem eigentlichen HW durchzuführen, ist die Berücksichtigung einer HW-Vorhersage erforderlich. Für die Einleitung des Abstauprozesses, der möglichst frühzeitig vor dem HW stattfinden soll, ist lediglich die Kenntnis über das Erreichen bzw. Überschreiten eines definierten Schwellenwertes des Abflusses notwendig und nicht die exakte Kenntnis des auftretenden Scheitelabflusses oder dessen Eintrittszeitpunkt. Eine Auswertung verschiedener HW-Vorhersagen für das Untersuchungsgebiet aus dem Modell LARSIM zeigte, dass eine ausreichende Datenqualität für die Zwecke des Abstauprozesses vorliegt. Basierend auf den durchgeführten Auswertungen der HW-Vorhersagen, der Kenntnis über das Fließverhalten des Inns und unter Berücksichtigung des Einflusses verschiedener Parameter wurden Steuerungsvorgaben für den Abstauprozess entwickelt. Eine genaue Beschreibung der Methodik ist in [11] enthalten.

3.3 Staustufenmanagement - Aufstauprozess

Für die Effektivität der erzielbaren Scheitelminderung durch den Aufstauprozess stellt - neben der Dauer - der Zeitpunkt des Beginns des Aufstauvorganges ein wesentliches Kriterium dar. Eine detaillierte Analyse der HW-Vorhersagen für unterschiedliche Referenzorte zeigt, dass eine Nutzung von Vorhersagen für die zeitlich passende Einleitung des komplexen und zeitsensiblen Aufstauprozesses aufgrund von deren Ungenauigkeit derzeit nicht zielführend ist. Aufgrund dessen wurde eine Vorgehensweise zur Entwicklung von Steuerungsvorgaben basierend auf oberstrom liegenden Messwerten gewählt.

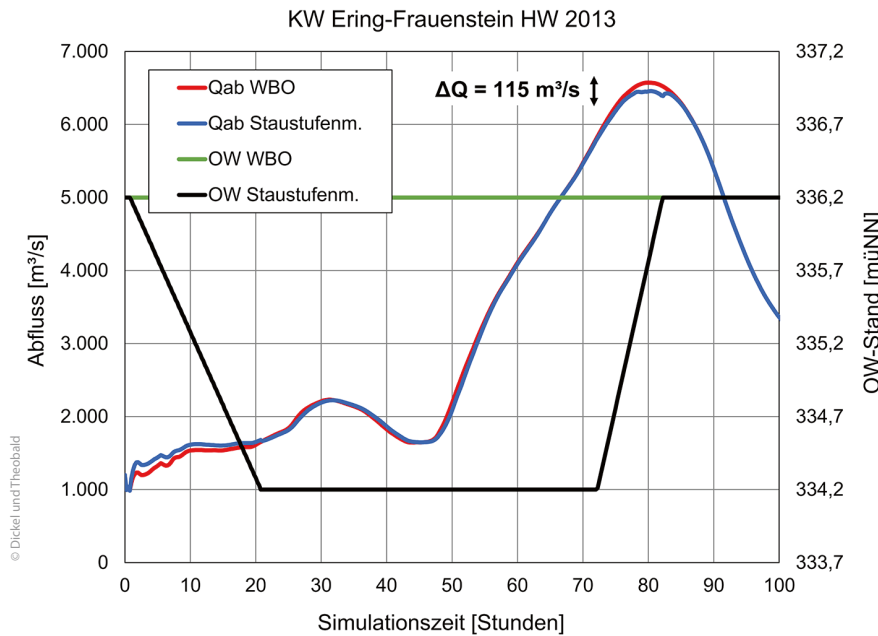


Bild 4: Grundprinzip des Staustufenmanagements

Mittels umfangreicher Analysen und Sensitivitätsuntersuchungen zu den Laufzeiten im Fließgewässersystem in Abhängigkeit von unterschiedlichen Scheitelhöhen und Referenzpegeln, dem Einfluss der Parameter von Aufstauhöhe und Aufstaugradient sowie weiterer Abhängigkeiten konnte eine messwertbasierte Steuerung entwickelt werden, die entsprechend der Evaluierung mit den simulierten, verschieden ausgeprägten HW-Ereignissen gute Effekte der Scheitelminderung aufweist ([11], [14]). Die Steuerungsvorgaben für den Aufstauprozess stützen sich auf die Wasserstandsmessung an den Pegeln Rosenheim II (Inn-km 187,2) und Laufen (Salzach-km 47,5).

Bei der Überschreitung eines Wasserstandes in Höhe von HQ_5 an beiden Referenzpegeln werden beide Wasserstandsganglinien und somit die Überlagerungseffekte der HW-Wellen von Inn und Salzach bei den Steuerungsvorgaben berücksichtigt. Es erfolgt eine Unterscheidung in inn- oder salzachabhängige Aufstauprozesse für die Festlegung des Aufstaubeginns: Bei der Berücksichtigung der Überlagerung und damit einer Überschreitung des HQ_5 an beiden Referenzpegeln erfolgt die Zuordnung anhand des größeren erwarteten Abflusses von Inn oder Salzach im Mündungsbereich der Salzach. Überschreitet jedoch nur ein Wasserstand an einem Referenzpegel das HQ_5 , wird der Aufstauvorgang in Abhängigkeit des betreffenden Pegels durchgeführt. Der Aufstauprozess wird prinzipiell eingeleitet, sobald an dem bzw. den Referenzpegeln ein Abklingen des HW durch das Absinken des Wasserstandes um eine definierte Höhe registriert wird.

Der Aufstaugradient beträgt 15, 20 oder 25 cm/h und wird in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern festgelegt. Zu deren Definition wurden verschiedene lineare Regressionen gebildet, die zum Beispiel die Laufzeit der HW-Scheitel in Bezug auf den maximalen Wasserstand, die Scheitelbreite bezogen auf das gleitende Mittel des Wasserstandsgradienten und den Scheitelabfluss abhängig vom Maximalwasserstand umfassen. Weiterhin wurde der Maximalabfluss nach Zusammenfluss von

Inn und Salzach als Hilfsgröße des Abflusses bestimmt. Ein geringerer Gradient von 15 cm/h wird verwendet, wenn der Ganglinienverlauf an dem jeweiligen Referenzpegel für den Aufstau einen breiten Scheitel aufweist oder eine größere Differenz zwischen den Eintrittszeitpunkten der beiden HW-Wellen bei der Berücksichtigung einer Überlagerung vorliegt. Bei breiten Scheiteln erstreckt sich die Abminderung durch den Aufstauprozess dementsprechend über eine längere Zeitdauer. Liegt die berechnete Hilfsgröße des Abflusses oberhalb einer bestimmten Abflussgrenze, wird ein höherer Gradient von 25 cm/h verwendet, um einen zeitlich stärker konzentrierten Rückhalt zu generieren.

Sobald das Signal über das Abklingen des HW an dem bzw. den Referenzpegeln vorliegt, wird in Abhängigkeit von weiteren Parametern - z. B. maximaler Wasserstand, Breite des Scheitels, Laufzeiten der HW-Wellen bei Berücksichtigung der Überlagerung - mit dem Aufstauprozess begonnen, wobei je nach Parametergröße, Lage der Staustufe und dem Zusammenspiel der Aufstauprozesse an den Staustufen eine Zeitverschiebung berücksichtigt wird. In bestimmten Fällen, beispielsweise bei breiten Scheiteln am jeweiligen Referenzpegel, wird keine Zeitverschiebung definiert und der Aufstauprozess beginnt an allen Staustufen, sobald das Signal über das Abklingen des HW vorliegt.

Der Aufstauprozess wird dabei bis auf das gemäß WBO vorgesehene Stauziel bei Durchgang eines HW geführt, so dass im Vergleich mit dem bisherigen, regulären Betrieb gemäß WBO keine Gefährdung aufgrund von überhöhten Wasserständen (kein Überstau) besteht. Rückstauereffekte an den Staustufen durch den Einfluss des Unterwasserstandes werden bei der Simulation berücksichtigt.

3.4 Flutpoldersteuerung

Durch eine Kombination verschiedener HW-Schutzmaßnahmen kann allgemein eine Verbesserung des Rückhaltes erreicht werden. Interessant ist dabei die sich ggf. einstellende Wechsel-

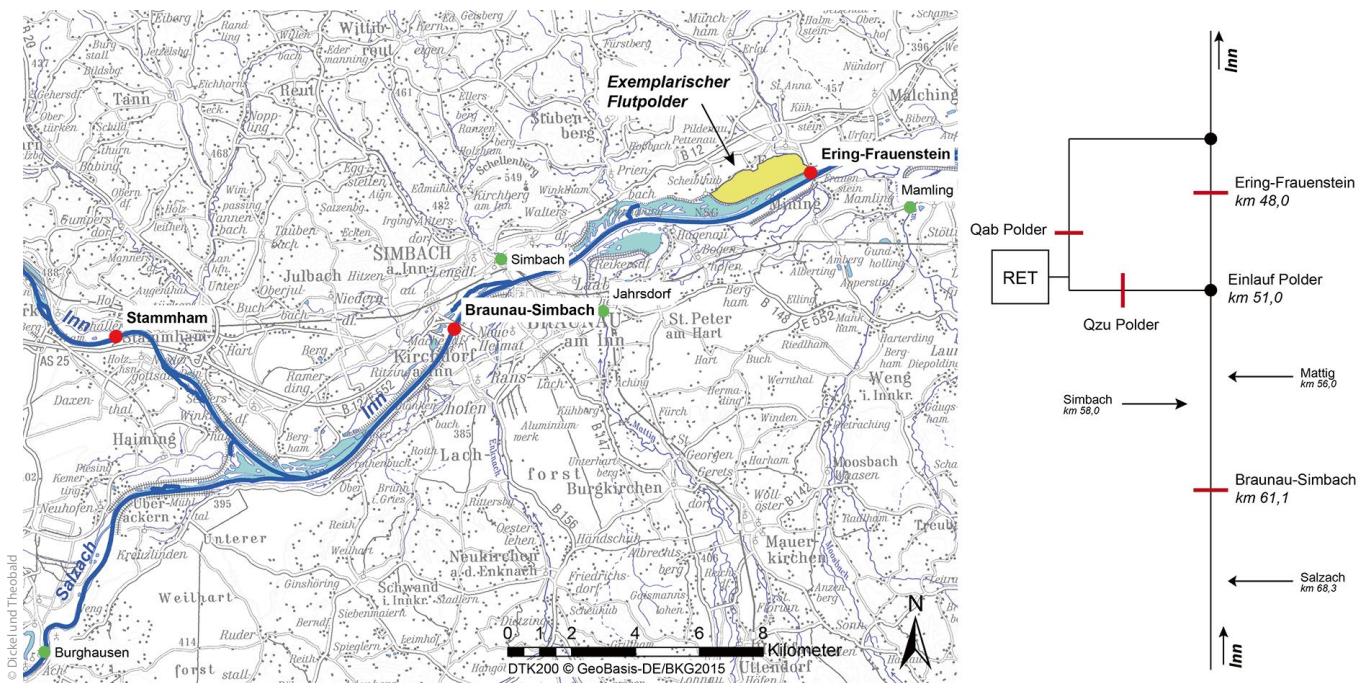


Bild 5: Lage und schematische Anbindung des Flutpolders

wirkung der verschiedenen Maßnahmen und der entsprechenden, zugrunde liegenden Steuerungsprozesse, da alle Maßnahmen Einfluss auf die Ganglinienform haben, welche wiederum die potenzielle Rückhaltewirkung anderer Maßnahmen beeinflusst. Überlagerungseffekte bei kombiniertem Betrieb von Staufstufenmanagement und Flutpolder stellen somit einen wesentlichen Aspekt bei der Untersuchung der möglichen Scheitelminderung dar. Zur Betrachtung wurde ein Flutpolder in das Modell implementiert, der im Stauraum des KW Ering-Frauenstein liegt (Bild 5) und der sich somit im direkten Einsatzbereich des Staufstufenmanagements befindet. Es handelt sich dabei um einen exemplarisch betrachteten Flutpolder und nicht um einen geplanten Flutpolderstandort.

Zur realistischeren Abbildung des Flutpolderbetriebes bei der Modellierung und Simulation wurden verschiedene Nebenbedingungen definiert, die zum Beispiel den maximalen Flutpolderzufluss, die Änderungsgeschwindigkeit des Zuflusses in Abhängigkeit des Wasserstandes im Polder und die hydraulische Durchführbarkeit des Füllprozesses mit dem Vorliegen eines ausreichenden Fließgefälles zwischen Fluss und Polder umfassen. Zu- und Ablauf des beispielhaften Flutpolders mit einem Gesamtvolumen von 13,4 Mio. m³ wurden als steuerbare Elemente implementiert, wobei der Fokus der Untersuchung auf dem Füllprozess liegt und die Entleerung nicht simuliert wird.

Auch für die Definition der Flutpoldersteuerung lag der Fokus ebenfalls auf der Berücksichtigung operationell verfügbarer Daten. Es wurde eine messwertbasierte Vorgehensweise der Flutpolderfüllung analog zum Staufstufenmanagement gewählt, mit der aufgezeigt werden konnte, dass auch mit den robusten, ereignisabhängigen Steuerungsvorgaben eine deutliche Scheitelminderung erreicht werden kann. Der Füllprozess

des Flutpolders zur Entnahme von Wasser aus dem Inn und damit einer gezielten Scheitelkappung erfolgt gestützt auf Messdaten von oberstrom gelegenen Referenzpegeln. Für die Steuerungsvorgaben wird die Unterscheidung in inn- oder salzachtbetonte Ereignisse und die Berücksichtigung von Überlagerung und Parametern der gemessenen Wasserstandsganglinien bei der Flutpolderbeaufschlagung analog zur Vorgehensweise bei Staufstufenmanagement durchgeführt, so dass mit der Füllung begonnen wird, sobald am jeweiligen Referenzpegel ein Abklingen des HW registriert wird. Die Füllung beginnt ereignisabhängig mit einer spezifischen Zeitverschiebung und erfolgt für alle betrachteten 15 HW-Ereignisse anhand der Vorgabe eines fest definierten Abflussverlaufs, der über circa 7,4 h linear ansteigt, für zwei Stunden konstant auf $Q = 400 \text{ m}^3/\text{s}$ gehalten wird und anschließend linear mit gleicher Steigung verringert wird, so dass sich ein einzulagerndes Volumen von rund 13,4 Mio. m³ bei einer Beaufschlagungsdauer von insgesamt 16,7 h ergibt. Im Rahmen von Sensitivitätsuntersuchungen wurden unterschiedliche Abflussverläufe für die Flutpolderfüllung betrachtet, die sich hinsichtlich des maximalen Abflusses und der Beaufschlagungsdauer unterschieden. Der ausgewählte, vorgegebene Abflussverlauf erfolgt für alle HW-Ereignisse in gleicher Form, unabhängig von der Scheitelhöhe, und stellt aufgrund der insgesamt guten Scheitelminderung eine praktikable Vorgabe, jedoch kein allgemeines Optimum dar.

4 Schlussfolgerung und Ausblick

Zur Entwicklung von Steuerungsvorgaben zur HW-Minderung für das Staufstufenmanagement und für Flutpolder wurde ein komplexes Modellwerkzeug erstellt, Vorhersagedaten und Was-

serstandsmesswerte auf ihre Einsatzfähigkeit hin analysiert und ausgehend davon anhand von 1-D-HN-Simulationen komplexe Steuerungsreglements entwickelt. Die dabei erzeugten Simulationsergebnisse, die zur Erstellung und Evaluierung der hier beschriebenen Methodik verwendet wurden, sind im Detail in [14] vorgestellt.

Dank

Die hier vorgestellten Forschungsarbeiten fußen auf den im Rahmen des Projektes „Retentionspotenzialstudie Inn“ durchgeführten Untersuchungen und stellen weitergehende Entwicklungen dar, die über den Projektumfang hinausgehen. Für die gute Zusammenarbeit während des Projektes gilt besonderer Dank den Mitarbeitenden des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, der TU München, der TU Wien sowie der beteiligten deutschen und österreichischen Landes- und Fachbehörden. Dank gilt ebenfalls den Ansprechpartnern der Verbund AG.

Autoren

Dr.-Ing. Sarah Dickel
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stephan Theobald
 Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft
 Universität Kassel
 Kurt-Wolters-Straße 3, 34125 Kassel
 s.dickel@uni-kassel.de
 s.theobald@uni-kassel.de

Sarah Dickel und Stephan Theobald

Methodology for the development of control regulations for barrage management and flood polders for flood mitigation

The in part catastrophic effects of large floods within the last years clearly show the vulnerability of settlement structures along large rivers. In the case of impounded rivers, the main question is whether a reduction can be achieved with flood-adapted, intelligent control of the barrages. In general, the interaction with the operation of a polder for flood retention is of special interest. For the investigation of the potential reduction of the named technical flood protection measures and the development of control strategies relevant to practice extensive analyses and sensitivity investigations of a multitude of parameters and measured values are necessary using a complex model system. It is essential to base the developed controlling strategies on operationally available data, as this is the only way to make the determined reductions relevant for practical operation.

Literatur

- [1] Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.): Junihochwasser 2013: Wasserwirtschaftlicher Bericht. Augsburg, 2014.
- [2] Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.): Länderübergreifende Analyse des Juni-Hochwassers 2013. Koblenz, 2013.
- [3] Wittmann, S.; Jurisch, M.; Krcmar, H.: Managing Network Based Governance Structures in Disasters: The Case of the Passau Flood in 2013. In: Journal of Homeland Security and Emergency Management 12 (2015), Heft 3.
- [4] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.): Wirksamkeit von Hochwasservorsorge- und Hochwasserschutzmaßnahmen. Schwerin, 2000.
- [5] Rauschenbach, T.; Wernstedt, J.; Allmer, H.: Mehrkriterielle koordinierte Prozessführung von Staustufenketten - Pilotprojekt österreichische Donaustaufenkette Melk-Ybbs-Wallsee. In: Automatisierungstechnik (1998), Heft 12, S. 557-564.
- [6] Dettmann, S.; Theobald, S.: Untersuchungen zu den Wehrbetriebsordnungen für die Staustufen im Donauabschnitt Passau bis Wallsee-Mitterkirchen. Kassel, 2015.
- [7] Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Vertiefte Wirkungsanalyse zu: „Verzögerung und Abschätzung von Hochwasserwellen entlang der bayerischen Donau“. Schlussbericht - Teil II, 2017.
- [8] Gerke, E.; Vetsch, D.; Boes, R.: Numerische Modelluntersuchung zur Kappung von Hochwasserabflüssen am Tiroler Inn. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft 10 (2017), S. 550-554.
- [9] Ständige Kommission: Nachweis der Wirksamkeit der Hochwasserrückhaltemaßnahmen am Oberrhein zwischen Basel und Worms (Hrsg.): Bericht, Ständige Kommission - Unterarbeitsgruppe Wirksamkeitsnachweis. 2020.
- [10] Hatz, M. et al.: Modellbasierte Untersuchungen zur Wirkung der raumgebenden Hochwasserschutzmaßnahmen des NHWSP. 2021.
- [11] Dickel, S.: Simulationsgestützte Entwicklung eines Staustufenmanagements zum Hochwasserrückhalt. In: Kasseler Wasserbau-Mitteilungen, Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft der Universität Kassel (2023), Heft 23.
- [12] Dettmann, S.; Theobald, U.; Theobald, S.: Einsatzmöglichkeiten einer übergeordneten Steuerung beim automatisierten Betrieb von Staustufenketten. In: WasserWirtschaft 112 (2022), Heft 4, S. 42-49.
- [13] Theobald, U.; Dettmann, S.; Theobald, S.: Automatisierter Staustufenbetrieb auf Basis lokaler Wasserhaushaltsregelungen. In: WasserWirtschaft 112 (2022), Heft 4, S. 33-41.
- [14] Dickel, S.; Theobald, S.: Simulationsgestützte Anwendung des Steuerungsreglements für Staustufenmanagement und Flutpolder zur Hochwasserminde rung. In: WasserWirtschaft 114 (2024), Heft 6, S. 30-36.

DOI dieses Beitrags: <http://doi.org/10.1007/s35147-024-2354-4>



Staufstufenmanagement



Dickel, S.; Theobald, S.: Staustufenmanagement als Teil des Hochwassermanagements - Modellierung des bayerischen Inns. In: WasserWirtschaft, Ausgabe 4/2022. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2022. <https://sn.pub/5WqZhl>