

Simulationsgestützte Anwendung des Steuerungsreglements für Staustufenmanagement und Flutpolder zur Hochwasserminderung

Für eine wirksame Hochwasserminderung durch einen angepassten Betrieb von Staustufen sowie von Flutpoldern sind praxistaugliche Steuerungsvorgaben notwendig. Für ein großes Einzugsgebiet mit einer komplexen Hochwassergenese - wie dem des hier untersuchten bayerischen Inn - sind für deren Entwicklung und Evaluierung der Einsatz entsprechender Simulations-Werkzeuge erforderlich und Analysen von operationell verfügbaren Eingangsdaten unerlässlich. Die so gewonnenen Simulationsergebnisse zeigen die Anwendbarkeit der Steuerungsreglements und deren Nutzbarkeit für die Hochwasserminderung.

Sarah Dickel und Stephan Theobald

1 Simulationsgestützte Entwicklung und Evaluierung von Steuerungsvorgaben

Die zum Teil katastrophalen Auswirkungen großer Hochwasser (HW) der letzten Jahre zeigen deutlich die Vulnerabilität fließgewässernaher Siedlungsstrukturen an großen Flüssen. Mit einer hochwasserangepassten, intelligenten Steuerung von Staustufen besteht dabei an staugeregelten Flüssen die Möglichkeit, eine Scheitelminderung von HW zu erzielen. Der HW-Rückhalt kann darüber hinaus durch den Einsatz von bzw. den kombinierten Betrieb mit Flutpoldern verbessert werden. Für die Entwicklung entsprechender praxisrelevanter Steuerungsvorgaben für Staustufenmanagement und Flutpolderbetrieb sind umfangreiche Analysen und Sensitivitätsuntersuchungen zu einer Vielzahl von Parametern und Messwerten unter Anwendung eines komplexen Modellsystems notwendig. Die Grundlagen des Staustufenmanagements (Abstau- und Aufstauprozess) und der Flutpoldersteuerung sind in [1] beschrieben.

Die Berücksichtigung operationell verfügbarer Daten ist bei der Entwicklung von Steuerungsvorgaben essenziell, damit diese eine praktische Anwendbarkeit aufweisen und die ermittelte Abminderung eine realistische Größenordnung wiedergibt, wie bereits in [1] ausführlich erläutert. Als operationell verfügbare

Daten kommen prinzipiell Vorhersagen oder Messwerte in Frage. Vorhersagedaten bieten den Vorteil einer langen Dauer bis zum Eintrittszeitpunkt des Ereignisses, es müssen jedoch die dabei vorhandenen Unsicherheiten beachtet werden. Bei der Erstellung von vorhersagegestützten Steuerungsvorgaben darf aus diesem Grund nicht davon ausgegangen werden, dass die Vorhersage den Ganglinienverlauf im HW-Fall ideal und damit genau vorhersagt, sondern es müssen bei der Erstellung von Steuerungsoptionen die realen Vorhersagen mit ihren Unsicherheiten betrachtet und bewertet werden, um somit den Einfluss der Unsicherheiten auf den Steuerungsprozess beurteilen zu können. Neben der Verwendung von Vorhersagen ist die Berücksichtigung von Messwerten in Form einer reaktiven Steuerung möglich. Hierbei sind Wasserstandsmesswerte besonders geeignet, da sie auch bei höheren Abflüssen vergleichsweise gut messbar sind. Bei der Berücksichtigung von Messwerten ist eine Redundanz von Messung und Informationsübertragung sicherzustellen.

Neben der Festlegung von geeigneten, operationell verfügbaren Eingangsdaten und geeigneten Referenzorten, wie z. B. Pegeln zur Wasserstandsmessung, ist die detaillierte Untersuchung und Berücksichtigung verschiedener Parameter und deren Einfluss für die Erstellung von Steuerungsvorgaben notwendig [2]. Die heute etablierten Methoden der HN-Modellierung - und dabei insbesondere die 1-D-HN-Modellierung aufgrund der geringen Dauer der Simulationsläufe bei gleichzeitig ausreichend genauer Abbildung der Verhältnisse in der Natur - bieten die Möglichkeit eines breiten Variantenstudiums zur Entwicklung von Vorgaben sowie zu deren effizienter Evaluierung.

Der betrachtete Untersuchungsraum ist der bayerische Inn vom Kraftwerk Oberaudorf-Ebbs bis zur Mündung in die Donau mit einer Länge von ca. 211 km sowie der Donauabschnitt der Stauhaltung Jochenstein. Die bei dem Staustufenmanagement berücksichtigten Staustufen sind in **Bild 1** markiert, unterschieden in Anlagen oberstrom (orange umkreist) sowie unterstrom

Kompakt

- Staustufenmanagement weist operationell einsatzfähiges Potenzial zur Hochwasserminderung auf.
- Sensitivitätsanalysen sind unerlässlich zur Feinjustierung und praxistauglichen Überprüfung.
- Simulativ ermittelte Abminderungen von Staustufenmanagement und Flutpoldern überlagern sich nahezu additiv.

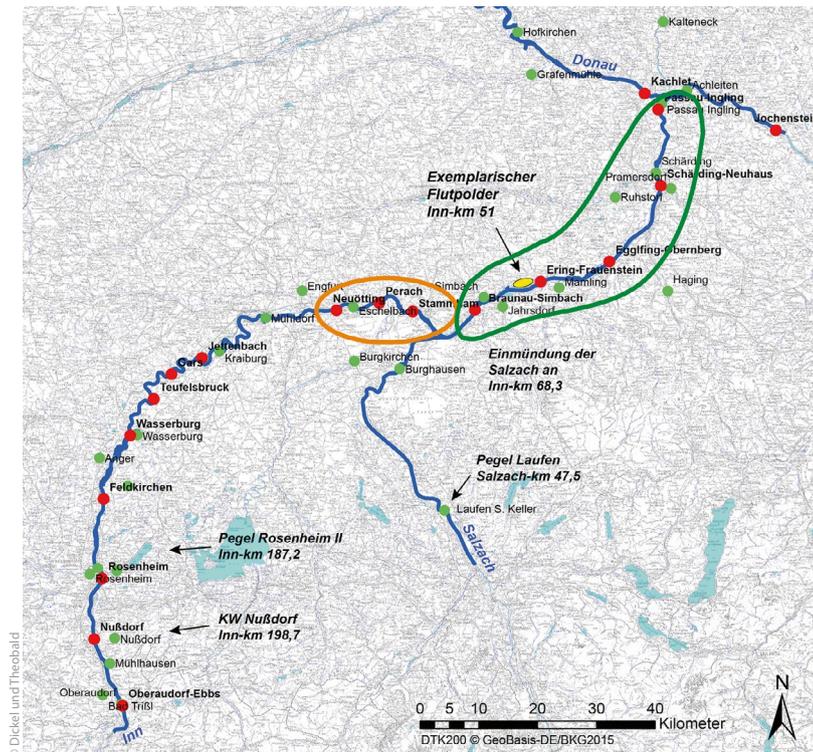


Bild 1: Modellgebiet des bayerischen Inns mit den beim Staustufenmanagement berücksichtigten Staustufen (rote Punkte), unterteilt in die ausgewählten Staustufen oberstrom der Salzach (orange) und unterstrom (grün) sowie Pegel (grüne Punkte) und Lage des exemplarischen Flutpolders (gelb)

der Salzacheinmündung (grün umkreist). Der untersuchte, exemplarische Flutpolderstandort (gelb) befindet sich im direkten Einsatzbereich des Staustufenmanagements im Stauraum des Kraftwerks Ering-Frauenstein am unteren Inn.

Die gemäß Wehrbetriebsordnung (WBO) durchgeführten Simulationen dienen dabei als Referenzwert zur Quantifizierung der bei dem entwickelten Staustufenmanagement und Flutpolderbetrieb ermittelten Abminderungen der HW-Scheitel. Simuliert wurden die abgelaufenen HW der Jahre 2002, 2005 und 2013 sowie 12 stochastische Ereignisse, die von der TU Wien im Rahmen eines Teilprojektes der Innstudie mittels stochastischer Niederschlag-Abfluss-Modellierung generiert wurden. Diese stochastischen Ereignisse weisen an den Bezugspegeln an Inn und Salzach unterschiedliche Jährlichkeiten (HQ_{30} , HQ_{100} , HQ_{300} und HQ_{1000}) von Scheitelabflüssen auf und geben damit ein breites Spektrum an Niederschlags- beziehungsweise Abflussverteilungen wieder. Die simulationsgestützte Entwicklung und Evaluierung der Steuerungsvorgaben wurde somit anhand von insgesamt 15 HW-Ereignissen durchgeführt. Die unter Nutzung der in [1] dargelegten Steuerreglements erzeugten Simulationsergebnisse werden nachfolgend beschrieben.

2 Scheitelminderung durch alleiniges Staustufenmanagement

Insgesamt wurden beim Staustufenmanagement drei Varianten für den Aufstauprozess entwickelt, die sich in ihrer Komplexi-

tät sowohl hinsichtlich der Anzahl der berücksichtigten Signale als auch der Vorgaben von Zeitverschiebung und Gradient des Aufstauvorganges unterscheiden. Die Vorzugsvariante III, entwickelt aus der Zusammenstellung der geeigneten Vorgaben aus den zuvor erstellten Varianten I und II, wird nachfolgend dargestellt.

Durch den angepassten Betrieb wird im Vergleich mit dem Betrieb gemäß WBO Volumen in der Stauhaltung der Staustufen zurückgehalten und somit der Scheitel der HW-Ganglinie gekappt. **Bild 2** zeigt die durch den Aufstauvorgang zurückgehaltenen Volumen bei den simulierten drei abgelaufenen HW und den 12 stochastischen Ereignissen. Die Volumina betragen zwischen rund 11,5 und 20 Mio. m^3 . Die Bilanzierung des Volumens bezieht sich auf die Abflussganglinien am Pegel Passau Ingling bei Betrieb gemäß WBO respektive Staustufenmanagement Variante III und wird im Zeitbereich vom Beginn des Aufstauvorganges bis zum Zusammenlaufen der Ganglinien durchgeführt. Das Volumen, das für den Rückhalt und damit die Kappung der HW-Welle zur Verfügung steht, ist von der Abstautiefe, der zulässigen Aufstauhöhe und insbesondere auch der Abflusssituation im System abhängig. Die mögliche Generierung von Rückhaltevolumen ist allgemein bei HW geringerer Jährlichkeit höher als bei größeren HW-Ereignissen mit entsprechend höheren Abflüssen, wie anhand der berechneten zurückgehaltenen Volumina ersichtlich ist.

Bild 3 zeigt die absoluten Scheitelminderungen durch alleiniges Staustufenmanagement am Pegel Passau Ingling, aufgetragen in Abhängigkeit des Maximalabflusses an eben diesem Pegel (schwarz), und am Pegel Achleiten unterstrom des Zusam-

menlaufes der Ganglinien durchgeführt. Das Volumen, das für den Rückhalt und damit die Kappung der HW-Welle zur Verfügung steht, ist von der Abstautiefe, der zulässigen Aufstauhöhe und insbesondere auch der Abflusssituation im System abhängig. Die mögliche Generierung von Rückhaltevolumen ist allgemein bei HW geringerer Jährlichkeit höher als bei größeren HW-Ereignissen mit entsprechend höheren Abflüssen, wie anhand der berechneten zurückgehaltenen Volumina ersichtlich ist.

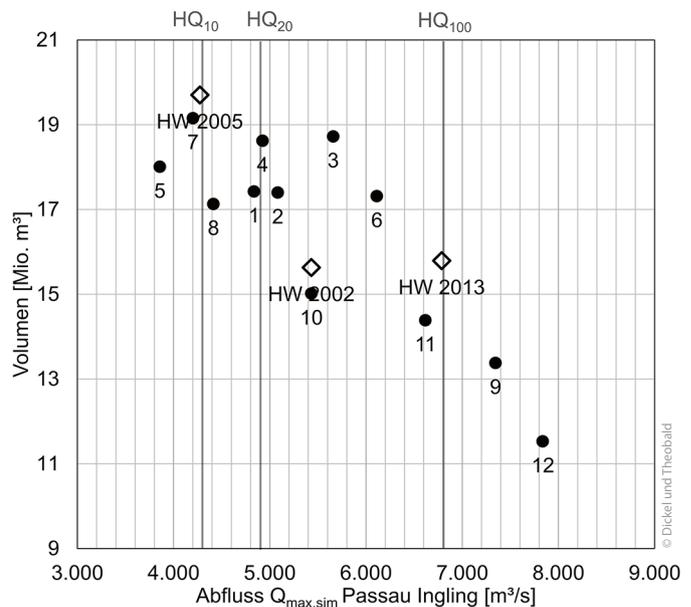


Bild 2: Zurückgehaltenes Volumen durch Staustufenmanagement

menflusses von Inn und Donau, bezogen auf den Maximalabfluss am Pegel Achleiten (rot), für die drei abgelaufenen HW und die 12 stochastischen Ereignisse.

Bei der Durchführung des Staufufenmanagements nach den oben beschriebenen Steuerungsvorgaben liegen die ermittelten absoluten Abminderungen am Pegel Passau Ingling in einem Bereich von $\Delta Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $373 \text{ m}^3/\text{s}$, was prozentualen Abminderungen zwischen 2 % und 9 % entspricht, bezogen auf den Maximalabfluss gemäß WBO am Pegel Passau Ingling. Die Wirkung des Staufufenmanagements ist abhängig vom Scheitelabfluss des HW sowie der Ganglinienform bzw. der Abflussfülle, wobei die mögliche Scheitelminderung mit steigendem Maximalabfluss tendenziell abnimmt. Im Bereich des Scheitels wird die Ganglinie am Pegel Passau Ingling bei Staufufenmanagement über einen Zeitraum von mehreren Stunden gegenüber dem Betrieb gemäß WBO reduziert und es wird je nach Ereignis ein Volumen von insgesamt ca. 11,5 bis 20 Mio. m^3 in den genutzten Stauräumen zurückgehalten (Bild 2). Bei den zwölf simulierten stochastischen Ereignissen liegen die Jährlichkeiten der Maximalabflüsse am Pegel Achleiten in einem ähnlichen Größenbereich wie am Pegel Passau Ingling. Die für den Inn ermittelten absoluten Abminderungen bleiben nach dem Zusammenfluss von Inn und Donau in ähnlicher Höhe erhalten, da der Scheitel des Inns bei den untersuchten Ereignissen deutlich höher ist als der Maximalabfluss der Donau.

Die ermittelten Wasserstandsreduzierungen am Pegel Schärding (aufgetragen in Abhängigkeit des Maximalabflusses am Pegel Passau Ingling, schwarz) und am Pegel Passau/Donau (Bezug auf Maximalabfluss am Pegel Achleiten, rot) zeigt Bild 4. Aufgrund des Volumenrückhalts ergeben sich am Pegel Schärding im Stauraum des KW Passau-Ingling Wasserstandsreduzierungen von 17 cm bis 46 cm. Direkt oberstrom des Zusammenflusses der Donau mit dem Inn am Pegel Passau/Donau betragen die Wasserstandsreduzierungen zwischen 9 cm und 25 cm.

Zur Überprüfung der Empfindlichkeit des entwickelten Staufufenmanagements wurden verschiedene Sensitivitätsuntersuchungen zu unterschiedlichen Betriebsfällen und Variation der Vorgaben durchgeführt. Diese Variationen umfassen beispielsweise die Zeitverschiebungen für den Aufstauvorgang oder eine

Verringerung der Abstautiefe. Es wurden weiterhin unterschiedliche Verfügbarkeitszenarien mit einem Ausfall von Einzelanlagen betrachtet sowie die Reaktion auf einen beispielhaften Wiederanstieg des HW während des Aufstaus. Die Sensitivitätsuntersuchungen zeigen, dass die gewählten Vorgaben hinsichtlich Zeitverschiebungen, Gradienten und Abstautiefen zweckmäßig und in ihrem Zusammenspiel gut geeignet sind, so dass entsprechend hohe Abminderungen der HW-Scheitel unter Anwendung der entwickelten Steuerungsvorgaben ermittelt werden.

Nachfolgend wird eine Variante mit einem verringerten Ab- resp. Aufstau sowie Varianten mit unterschiedlicher Verfügbarkeit von Stauanlagen am Staufufenmanagement betrachtet. Um die Sensitivität der Steuerungsvorgaben des Staufufenmanagements hinsichtlich der Abstautiefe bei unterschiedlichen Scheitelhöhen der HW zu analysieren, wurde in einer Variation des Staufufenmanagements Variante III, nachfolgend als Variante IV bezeichnet, eine Reduktion der Abstautiefe an den Anlagen am unteren Inn vorgenommen. Die Abstautiefe und damit entsprechend auch die Aufstauhöhe wird in Variante IV gegenüber Variante III an den Anlagen Braunau-Simbach bis Passau-Ingling um 0,5 m verringert. Da sich durch die Verringerung der Abstautiefe ebenfalls die Aufstauhöhe und die dafür benötigte Dauer reduzieren, wird entsprechend des Gradienten eine zusätzliche Zeitverschiebung definiert.

Bei dem Vergleich der Scheitelminderungen der beiden Varianten III und IV ist ersichtlich, dass die Reduzierung der Scheitelminderung bei einem verringerten Abstau von dem Maximalabfluss des HW-Ereignisses abhängig ist (Bild 5). Bei geringeren HW hat die reduzierte Abstautiefe in Variante IV eine größere Auswirkung auf die berechnete Scheitelminderung als bei hohen Maximalabflüssen, da aufgrund des insgesamt geringeren Abflusses im System ein größeres Retentionsvolumen bei tieferem Abstau zur Verfügung steht. Bei dem kleinsten betrachteten HW, dem stochastischen Ereignis 5, verringert sich die Abminderung in Variante IV gegenüber der Variante III um $\Delta Q = 70 \text{ m}^3/\text{s}$. Dies stellt die maximale Differenz zwischen den beiden Varianten dar.

Lediglich kleinere HW-Ereignisse reagieren sensitiv auf die Verringerung der Abstautiefe. Bei HW, die am Pegel Passau Ingling einen Abfluss von circa $Q = 5\,600 \text{ m}^3/\text{s}$ und darüber

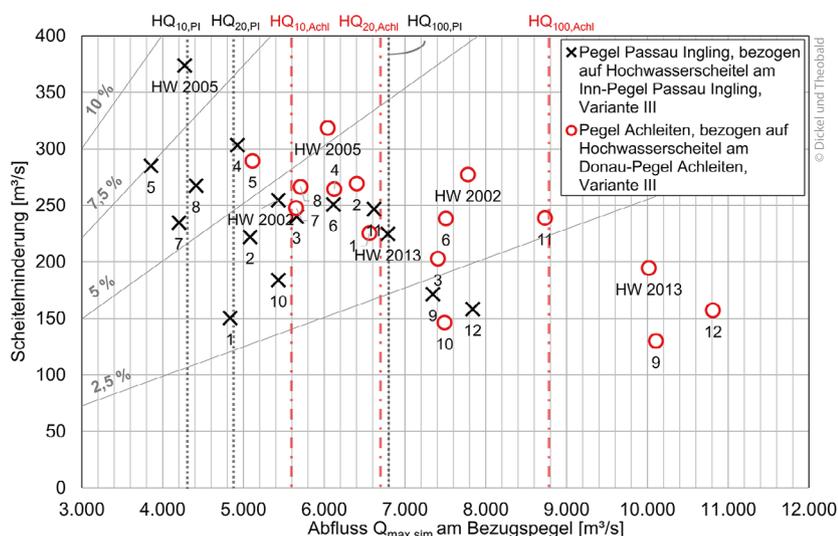


Bild 3: Absolute Scheitelminderung durch Staufufenmanagement Variante III an den Pegeln Passau Ingling und Achleiten

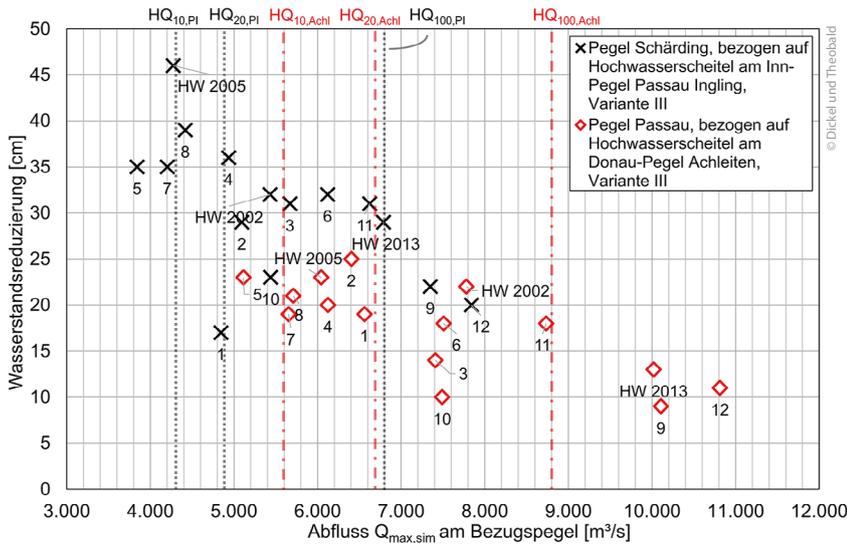


Bild 4: Wasserstandsreduzierung durch Staustufenmanagement Variante III an den Pegeln Schärding und Passau

hinaus aufweisen, ist der Einfluss des verringerten Abstaus gering und es besteht eine kleine Differenz der möglichen Abminderungen bei der Verringerung des Abstaus am unteren Inn. Damit wird auch bei dem hier untersuchten verringerten Abstau eine gute Scheitelminderung bestimmt.

Auch bei einem Ausfall einzelner Staustufen beim Staustufenmanagement wird entsprechend der durchgeführten Analyse gesamthaft eine gute Scheitelminderung ermittelt. Ein Ausfall einer Anlage kann beispielsweise durch eine Verklauung des Wehrs verursacht werden, die durch großes Treib- oder Schwemmgut wie Baumstämme ausgelöst wird. Exemplarisch wurde dazu der Ausfall des Staustufenmanagements an den Anlagen Braunau-Simbach sowie Schärding-Neuhaus betrachtet und die Analyse als Verfügbarkeitszenarien bezeichnet. In dem als Verfügbarkeitszenario 1 definierten Untersuchungsfall fällt das Staustufenmanagement an der Anlage Braunau-Simbach aus und der Betrieb wird an dieser Staustufe entsprechend der Vorgaben gemäß WBO durchgeführt, während im Verfügbarkeitszenario 2

an der Anlage Schärding-Neuhaus kein Staustufenmanagement durchgeführt wird. Die Anlage Braunau-Simbach stellt die erste Staustufe nach dem Zusammenfluss von Inn und Salzach dar und weist aufgrund des geringeren möglichen Aufstaus insgesamt ein potenziell geringeres Rückhaltevolumen auf. An der Staustufe Schärding-Neuhaus, als vorletzter Anlage der Staustufenkette, wird hingegen der größte Ab- und Aufstau vorgenommen, da es sich um eine vergleichsweise große Stauhaltung handelt.

Das **Bild 6** zeigt die Abminderungen bei unterschiedlichen Verfügbarkeitszenarien des Staustufenmanagements Variante III. Die sich bei dem Ausfall der Staustufe Braunau-Simbach (Kreise) sowie bei Ausfall der Anlage Schärding-Neuhaus einstellenden absoluten Scheitelminderungen (Vierecke) liegen zwischen $\Delta Q = 130 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $310 \text{ m}^3/\text{s}$ und sind damit im Vergleich zur Simulation gemäß Variante III, bei der an allen acht berücksichtigten Anlagen ein Staustufenmanagement durchgeführt wird (Kreuze), geringer. Es wird bei Ausfall des Staustufenmanagements an einzelnen Anlagen dennoch gesamthaft

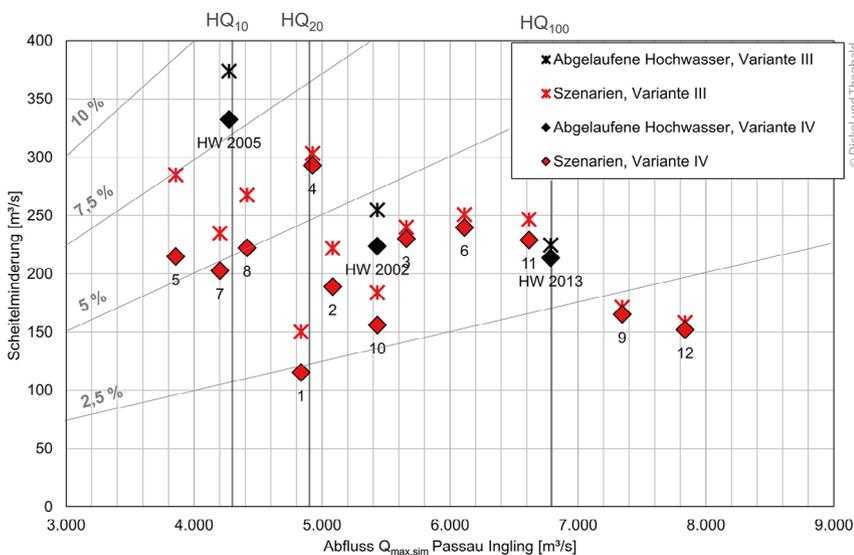


Bild5: Scheitelminderung durch Staustufenmanagement bei geringerer Abstautiefe

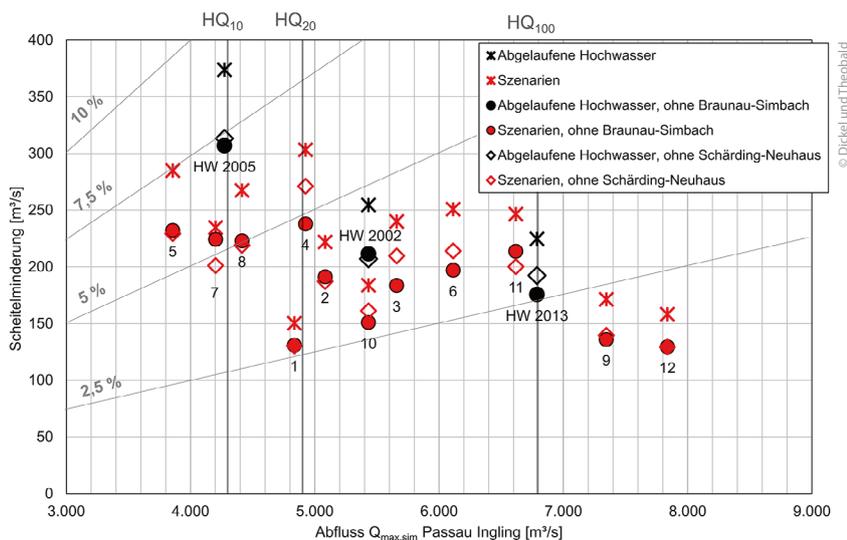


Bild 6: Scheitelminderung bei unterschiedlichen Verfügbarkeitszenarien

eine gute Scheitelminderung ermittelt, wie beispielhaft an der Abminderung für das stochastische Ereignis 6 erkennbar ist. In Variante III wird eine Abminderung von circa $\Delta Q = 250 \text{ m}^3/\text{s}$ berechnet, während die Scheitelminderung bei dem Ausfall von Braunau-Simbach rund $\Delta Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ und bei Ausfall der Anlage Schärding-Neuhaus etwa $\Delta Q = 220 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt.

Für den möglichen Fall eines Wiederanstiegs des HW (zweigliedriges Ereignis; für den Inn ein eher unwahrscheinlicher Fall) wurde ein Steuerungsreglement implementiert, mit welchem der Aufstau pausiert und bei Vorliegen des Signals über das erfolgte Abklingen fortgesetzt wird.

Die Definition und Durchführbarkeit des Staustufenmanagements sind von den vorliegenden Standortbedingungen des Fließgewässers und der Staustufen mit ihren Stauräumen abhängig. Faktoren, welche die mögliche Abminderung beeinflussen, sind bspw. die hydraulischen Voraussetzungen hinsichtlich des Bewirtschaftungsvolumens in den Stauräumen und die Steuerbarkeit der Staustufen bei höheren Abflüssen. Im Hinblick auf die genannten Anforderungen weist der Inn insgesamt günstige Standortbedingungen auf. Für eine Umsetzung in der Praxis

sind morphodynamische und ökologische Aspekte in Detailuntersuchungen zu betrachten, die beispielsweise beim Abstauprozess die Mobilisierung von Feststoffen sowie das mögliche Trockenfallen von Flachwasserzonen und damit den Einfluss auf den Lebensraum von Fischen und Vögeln betreffen. Weiterhin ist eine Überprüfung und gegebenenfalls Anpassung von Alarmplänen zum HW-Schutz vorzunehmen.

3 HW-Minderung durch alleinigen und kombinierten Betrieb von Staustufenmanagement und Flutpolderbetrieb

Wie zuvor erwähnt, wurde die Flutpoldersteuerung exemplarisch für den Standort Ering untersucht. Hierbei wurde der alleinige Flutpolderbetrieb und der kombinierte Betrieb von Staustufenmanagement und Flutpolder hinsichtlich der HW-Reduzierung analysiert.

Beispielhaft zeigt **Bild 7** die durch alleinigen Flutpolderbetrieb bestimmte Abminderung des HW für das stochastische

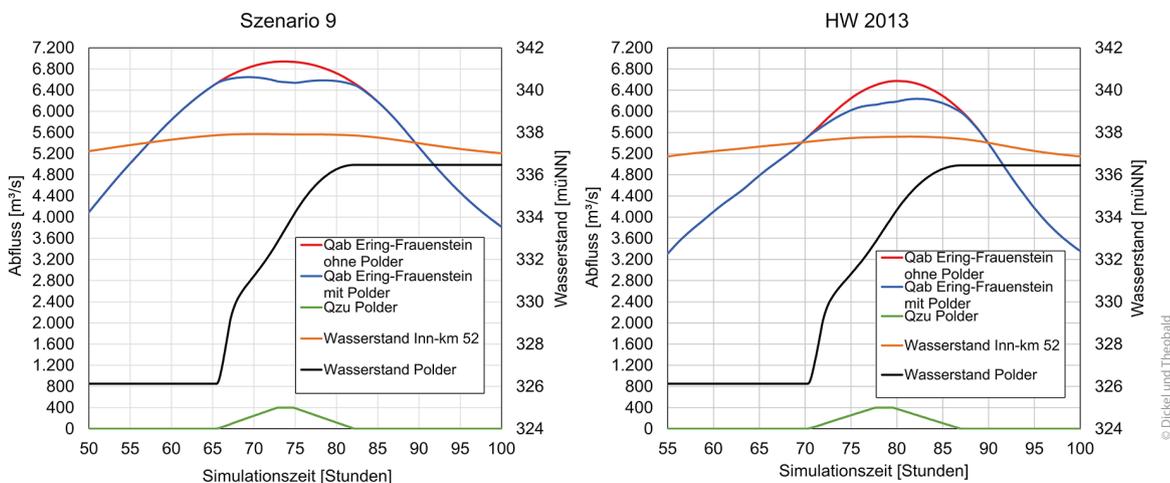


Bild 7: Beaufschlagung des Flutpolders bei Szenario 9 und HW 2013: Beeinflussung der Abflussganglinie am KW Ering-Frauenstein

Ereignis 9 und das HW 2013. Sowohl für das innbetonte Szenario 9 als auch für das salzachtbetonte HW 2013 deckt die Beaufschlagungsdauer des Flutpolders (grün) den Scheitelbereich gut ab, so dass der Scheitel über einen Zeitbereich von mindestens 10 Stunden unterstrom des Flutpolders am KW Ering-Frauenstein bei Polderbetrieb (blau) deutlich gekappt wird im Vergleich zum Betrieb gemäß WBO ohne Polder (rot). Die entwickelte intelligente Methodik der Flutpoldersteuerung richtet sich nicht nach einem festen Schwellenwert (Abfluss), sondern agiert ereignisbezogen. Bei dem Szenario 9 startet die HW-Scheitelkappung bei einem Abfluss von ca. $Q = 6\,500\text{ m}^3/\text{s}$, bei dem HW 2013 schon bei einem Abfluss von ca. $Q = 5\,700\text{ m}^3/\text{s}$.

Durch den alleinigen Flutpolderbetrieb (Bild 8, Kreise) ergeben sich im Vergleich mit der Abminderung durch alleiniges Staustufenmanagement (Bild 8, Kreuze) im Bereich niedriger HW-Ereignisse geringere Abminderungen, während die ermittelte Scheitelminderung bei größeren HW höher ist. Dies ist maßgeblich darauf zurückzuführen, dass bei dem Staustufenmanagement ein Rückhaltevolumen zwischen 11,5 und 20 Mio. m^3 im Scheitelbereich generiert wird, wobei das zurückgehaltene Volumen bei größeren Abflüssen tendenziell abnimmt. Bei Flutpolderbetrieb stehen hingegen unabhängig vom Scheitelabfluss rund 13,4 Mio. m^3 zur Verfügung.

Wie in Bild 8 ersichtlich, sind die durch einen kombinierten Betrieb von Staustufenmanagement und Flutpolderbetrieb ermittelten absoluten Scheitelminderungen deutlich größer als die jeweiligen Abminderungen bei alleinigem Betrieb und betragen zwischen $\Delta Q = 190$ bis $507\text{ m}^3/\text{s}$ (Vierecke), entsprechend einer prozentualen Abminderung von 4 bis 12 %. Die Abminderungen der Einzelwirkungen überlagern sich bei gemeinsamem Betrieb größtenteils nahezu additiv, wie auch am Beispiel des HW 2013 zu sehen ist. Die Einzelminderungen betragen hier jeweils ca. $\Delta Q = 240\text{ m}^3/\text{s}$ und die Abminderung bei kombiniertem Betrieb liegt bei rund $\Delta Q = 440\text{ m}^3/\text{s}$.

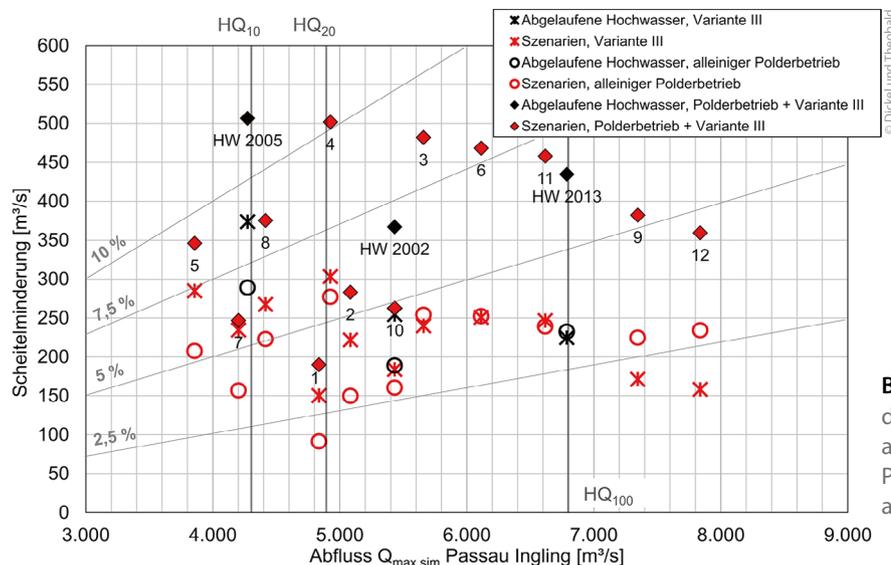
Auch im Falle der Wasserstandsreduzierungen ist eine nahezu additive Überlagerung der Einzelwirkungen erkennbar. Am Pegel Schärding im Stauraum des KW Passau-Ingling (Bild 9, Kreuze, Bezug auf Inn-Pegel Passau Ingling) wurden

Reduzierungen zwischen 23 und 68 cm bei gemeinsamem Betrieb ermittelt, während die Abminderungen am Donau-Pegel Passau zwischen 17 und 36 cm betragen (Bild 9, Vierecke, Bezug auf Donau-Pegel Achleiten).

Somit sind bei gemeinsamem Betrieb in den neuralgischen Bereichen von Schärding und Neuhaus sowie im Stadtbereich Passau, die schon bei geringeren HW von Überflutungen und Schäden betroffen sind, deutliche Abminderungen erzielbar. Hierbei gilt generell, dass im HW-Fall jeder reduzierte Zentimeter des HW-Scheitels wesentlich ist.

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Bei staugeregelten Flüssen stellt sich insbesondere nach großen HW-Ereignissen, wie z. B. dem HW 2013, die zentrale Frage, ob es durch eine intelligente Steuerung der Staustufen möglich ist, die Stauräume für den HW-Rückhalt zu nutzen, um den HW-Scheitel zu reduzieren. Eine Literaturrecherche zeigt den bestehenden Forschungsbedarf deutlich auf. Im Rahmen der hier dargestellten Forschungsarbeiten wurde ein komplexes Modellsystem für den Inn erstellt, mit welchem Steuerungsvorgaben für den hochwasserangepassten Staustufenbetrieb (sog. Staustufenmanagement zur HW-Minderung) von acht Staustufen einer Staustufenkette und für den Flutpolderbetrieb eines Flutpolders im direkten Einsatzbereich des Staustufenmanagements entwickelt wurden. Das Modell ermöglicht die Simulation der Strömungsverhältnisse in den Stauräumen und deren Wechselwirkung mit dem Betrieb der Staustufen. Vielfältige Parameter der HW-Genese (z. B. Scheitelabfluss, Ganglinienform, Überlagerung von Ganglinien, Laufzeiten) und der Definition der Steuerungsprozesse (z. B. Zeitverzögerungen, Filterungen, Gradienten) sowie deren Abhängigkeiten sind bei der Entwicklung der Steuerungsvorgaben zu berücksichtigen. Damit Steuerungsprozesse eine allgemeine Praxistauglichkeit aufweisen, müssen operationell verfügbare Daten für die Erstellung der Steuerungskonzepte verwendet werden. Das simulativ entwickelte, messwertbasierte Steuerungskonzept ist funktionsfähig und zielführend.



© Dinkel und Theobald

Bild 8: Absolute Scheitelminderung durch Staustufenmanagement (Variante III), alleinigen Polderbetrieb und kombinierten Polderbetrieb mit Staustufenmanagement am Pegel Passau Ingling

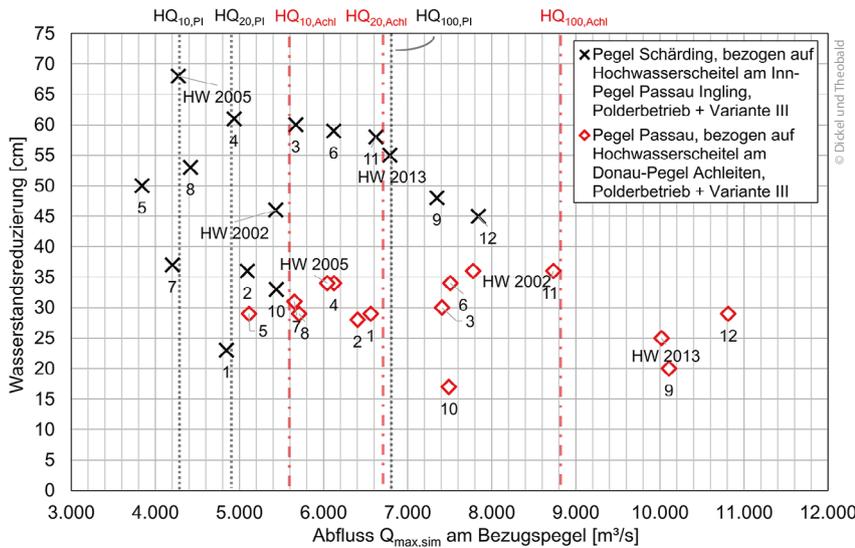


Bild 9: Wasserstandsreduzierung durch kombinierten Betrieb von Staustufenmanagement und Flutpolder an den Pegeln Schärding und Passau

Darüber hinaus zeigte die Auswertung von Abflussvorhersagen, dass diese im vorliegenden Untersuchungsgebiet des Inns derzeit zu unsicher sind, um zeitsensitive Steuerungsprozesse, wie z. B. den Aufstauprozess, darauf zu stützen. Vorhersagen sind daher dort im System eingebunden (Abstauprozess), wo eine lange Vorlaufzeit und lediglich die Information benötigt wird, dass ein HW eintritt; die exakte Höhe des HW und der Zeitpunkt des Scheitels muss bei diesem Teilprozess nicht bekannt sein. Das Staustufenmanagement kann einen guten Beitrag zur HW-Minderung am Inn leisten. Die Abminderung ist dabei abhängig vom Maximalabfluss des HW und wird mit zunehmendem Scheitelabfluss tendenziell geringer, so dass der Fokus zum Einsatz des Staustufenmanagements auf dem HW-Bereich bis HQ_{100} liegt. Auch die Ganglinienform beeinflusst die mögliche Abminderung - aus diesem Grund sind Überlagerungseffekte mit Flutpolderbetrieb von besonderem Interesse. Die Überlagerung mit dem Betrieb eines Flutpolders im direkten Einsatzbereich des Staustufenmanagements ist gemäß den Untersuchungsergebnissen nahezu additiv und die hohe ermittelte Abminderung an neuralgischen Punkten zeigt, wie wesentlich Synergieeffekte unterschiedlicher Maßnahmen sind. Das verwendete Modellsystem kann auch zur Untersuchung von

anderen Fließgewässersystemen eingesetzt werden; die Übertragbarkeit der Methode zur Entwicklung von Steuerungsvorgaben zum Staustufenmanagement und Polderbetrieb ist somit gegeben. Zu beachten sind jedoch Nutzungsanforderungen, hydraulische Gegebenheiten und Betriebsvorgaben der Stauräume und Staustufen der betreffenden Flüsse.

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

Literatur

- [1] Dickel, S.; Theobald, S.: Methodik zur Entwicklung von Steuerungsreglements für Staustufenmanagement und Flutpolder zur Hochwasserminderung. In: WasserWirtschaft 114 (2024), Heft 6, S. 23-29.
- [2] Dickel, S.: Simulationsgestützte Entwicklung eines Staustufenmanagements zum Hochwasserrückhalt. In: Kasseler Wasserbau-Mitteilungen, Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft der Universität Kassel (2023), Heft 23.

DOI dieses Beitrags: <http://doi.org/10.1007/s35147-024-2352-6>

Sarah Dickel and Stephan Theobald
Sarah Dickel and Stephan Theobald
Simulation-based application of the control for barrage management and flood polders for flood reduction
 Practical control specifications are necessary for effective flood mitigation through the adapted operation of barrages and flood polders. For a large catchment area with a complex flood genesis - such as the Inn in Bavaria investigated here - their development and evaluation with suitable simulation tools and analyses of operationally available input data is essential. The simulation results obtained in this way illustrate the applicability of the control regulations and their usability for flood mitigation.