

# **Einfluss der Retention auf die Abflussvorhersage**

Markus Fischer, Manfred Schindler

The aim of the present paper is to give insight into the possibilities of using two-dimensional hydraulic models for flood prediction.

Based on original flood prediction datasets for the flood of August 2005 from the Bavarian Government the possibility of linking a hydrological flood prediction model with a two-dimensional hydrodynamic model is shown in the form of an adaptability test.

## **1 Einleitung**

Nach dem Hochwasser ist vor dem Hochwasser – ein Satz, den man in den letzten Jahren häufig in den öffentlichen Medien gehört oder gesehen hat. Das Pfingsthochwasser 1999 und die Augushochwasser 2002 und 2005 verursachten in Bayern Schäden in Millionenhöhe. Klimaforscher gehen davon aus, dass die extremen Witterungsereignisse in Bayern zunehmen werden.

Eine effektive Maßnahme zum Hochwasserschutz stellen Speicher an den Oberläufen der Flüsse dar (z.B. Sylvensteinspeicher). Um an den Mittel- und Unterläufen den historisch bedingten Verlust an Rückhalteraum auszugleichen, sollen vermehrt Retentionsflächen reaktiviert werden. Im Rahmen dieser Aktivitäten wurde der Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft an der TU München vom bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft beauftragt, das Forschungsvorhaben „Prognose der Hochwassersituation an der bayerischen Donau bei Berücksichtigung des Retentionspotentials und optimierter Steuerstrategien“ durchzuführen.

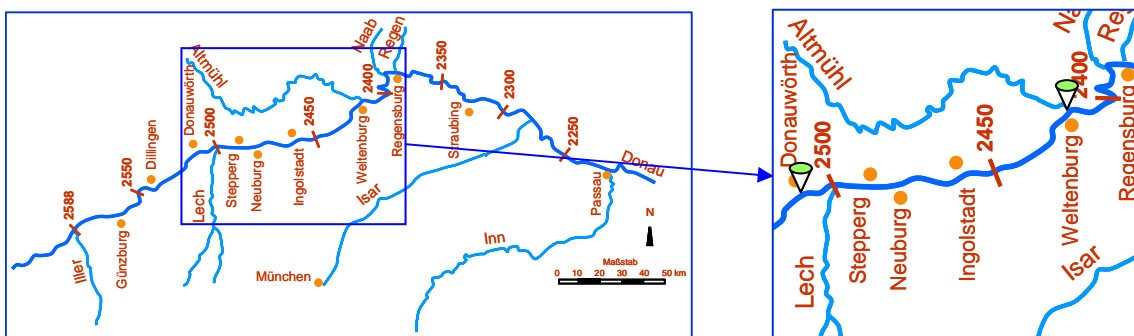
Mit dem Zuwachs von Steuerungsmöglichkeiten steigen gleichzeitig die Anforderungen für den Hochwassernachrichtendienst und deren Prognosen. Der Einfluss – sei er positiv oder negativ – der Steuerungen von Retentionsräumen auf die Hochwasserwelle der Unterlieger ist für einen verantwortungsvollen Betrieb dieser Retentionsräume von großer Bedeutung. Die Simulation des Abfluss- und Retentionsverhalten in Bereichen mit großflächigen, ungesteuerten und gesteuerten Retentionsräumen ist mit hydrologischen oder eindimensionalen hydraulischen Modellen nur eingeschränkt möglich. Der Einsatz von zweidimensionalen hydraulischen Modellen ist derzeit aufgrund der hohen

Rechenzeiten für den Einsatz zur Prognose eher als Vision zu sehen. Nichtsdestotrotz konnten in den im Folgenden beschriebenen Untersuchungen teilweise sehr gute Ergebnisse erzielt werden.

## 2 Vorgehen

### 2.1 Modellgebiet

In Abbildung 1 ist das Untersuchungsgebiet an der Donau dargestellt. Zunächst wird der Bereich zwischen Donauwörth und Kelheim untersucht (die sogenannte „Musterstrecke“), welcher sich über eine Fließstrecke der Donau von etwa 94 km erstreckt. In diesem Abschnitt werden die Vorgehensweise und Methodik getestet, um für weitere Untersuchungen im restlichen Gebiet der bayerischen Donau Verwendung zu finden.



**Abbildung 1** Übersichtskarte der bayerischen Donau mit Darstellung des untersuchten Bereichs

### 2.2 Datengrundlagen

Die hydrologische Abgrenzung der „Musterstrecke“ erfolgt durch die beiden Pegel Donauwörth und Kelheim (bei Weltenburg). Weitere hydrologische Daten aus dem Lecheinzugsgebiet (Pegel Augsburg) sowie innerhalb der Untersuchungsstrecke (Pegel Ingolstadt) liegen vor. Um die Wirkungsweisen der Retentionsflächen sowie deren Auswirkungen auf das Abflussgeschehen zu quantifizieren, wird im Untersuchungsgebiet ein zweidimensionales, hydraulisches Modell aufgebaut. Datengrundlagen für das hydraulische Berechnungsnetz sind teilweise vorhandene Befliegungsdaten sowie DGM 25-Daten. Die Landnutzungen im Vorland werden ebenso aus den Befliegungsdaten sowie in den Bereichen, in denen bislang noch keine Befliegung durchgeführt wurde, aus Orthofotos und TK25 – Karten ermittelt. Die Querprofildaten stammen aus Sohlpeilungen der Donau, die im Abstand von 200 m vorliegen.

### 2.3 Hydraulische Modellierung

Die hydraulischen Berechnungen werden mit dem zweidimensionalen, tiefengemittelten, hydrodynamisch-numerischen Modell Hydro\_as-2d durchgeführt. Das Berechnungsprogramm zeichnet sich zum einen durch seine hohe Stabilität und zum anderen durch die positiven Erfahrungen bei der Anwendung aus.

Das Berechnungsgitter ist im vorliegenden Fall mit einer durchschnittlichen Rasterweite von 50 m vergleichsweise grobmaschig aufgebaut, was eine Minimierung der Rechenzeit sowie eine große Flexibilität mit sich bringt. Zum Vergleich der Berechnungsergebnisse dieser grobmaschigen Struktur des Berechnungsnetzes wird in einem Teilgebiet ein weiteres Modell mit einer deutlich feineren Strukturierung aufgebaut. Der Vergleich zeigt, dass das grobmaschige Modell zwar nicht zu einer Ermittlung von Überschwemmungsgbietsgrenzen geeignet ist, jedoch die Abflussstruktur und die Flutwellenausbreitung mit deren Retentionsverhalten sehr gut widerspiegelt.

### 2.4 Kopplung Hydro\_As-2d mit Steuerungsmodul

Im Bereich des Berechnungsnetzes zwischen Donauwörth und Kelheim befinden sich fünf Staustufen, welche vor allem durch die Überstauregelungen, verbunden mit Flutungen von Auwaldgebieten mittels Überlaufstrecken oberstromig der jeweiligen Staustufen, einen erhöhten Anspruch für die Simulation der Staustufenregelung bzw. der Umsetzung der Betriebsvorschriften der Staustufen darstellen. Um eine gezielte Steuerung im Bereich der Staustufen zu gewährleisten wird im Rahmen des oben genannten Forschungsvorhabens vom Lehrstuhl für Wasserbau ein Steuerungsmodul entwickelt, welches für Berechnungen mit Hydro\_as-2d verwendet und dabei extern gekoppelt werden kann. Das Steuerungsmodul überprüft und ändert gegebenenfalls nach einer vorgegebenen Anzahl von Zeitschritten die Randbedingungen der hydraulischen Wasserspiegellagenberechnung mit Hydro\_as-2d. Durch die externe Kopplung des Steuerungsmoduls mit Hydro\_as-2d ist ein Eingriff in den Quellcode des hydraulischen Berechnungsprogramms nicht notwendig. Eine zusätzliche Erweiterung im Steuerungsmodul lässt die Simulation gesteuerter Flutpolder zu.

### 3 Prognose

Im Rahmen des oben beschriebenen Forschungsvorhabens wurden in einem ersten Versuch Möglichkeiten zum Einsatz von zweidimensionalen hydrodynamisch numerischen Modellen im Hochwassernachrichtendienst untersucht.

Um die Rechenzeiten der hydraulischen Berechnungen im Bereich zwischen Donauwörth und Kelheim zu reduzieren, wurde zunächst das hydraulische Modell in drei Abschnitte unterteilt. Die Staustufen Bittenbrunn und Vohburg eignen sich dabei sehr gut als Schnittstelle zwischen den drei Teilen, da in diesen Bereichen keine erheblichen Strömungen im Deichhinterland vorhanden sind. Der Abfluss konzentriert sich größtenteils im Flussschlauch und geht dabei über die jeweiligen Wehranlagen. Die Definition von eindeutigen Zu- und Auslaufrandbedingungen ist somit möglich. Die Unterteilung wird wie folgt vorgenommen, wobei im weiteren Verlauf lediglich die Abkürzungen verwendet werden:

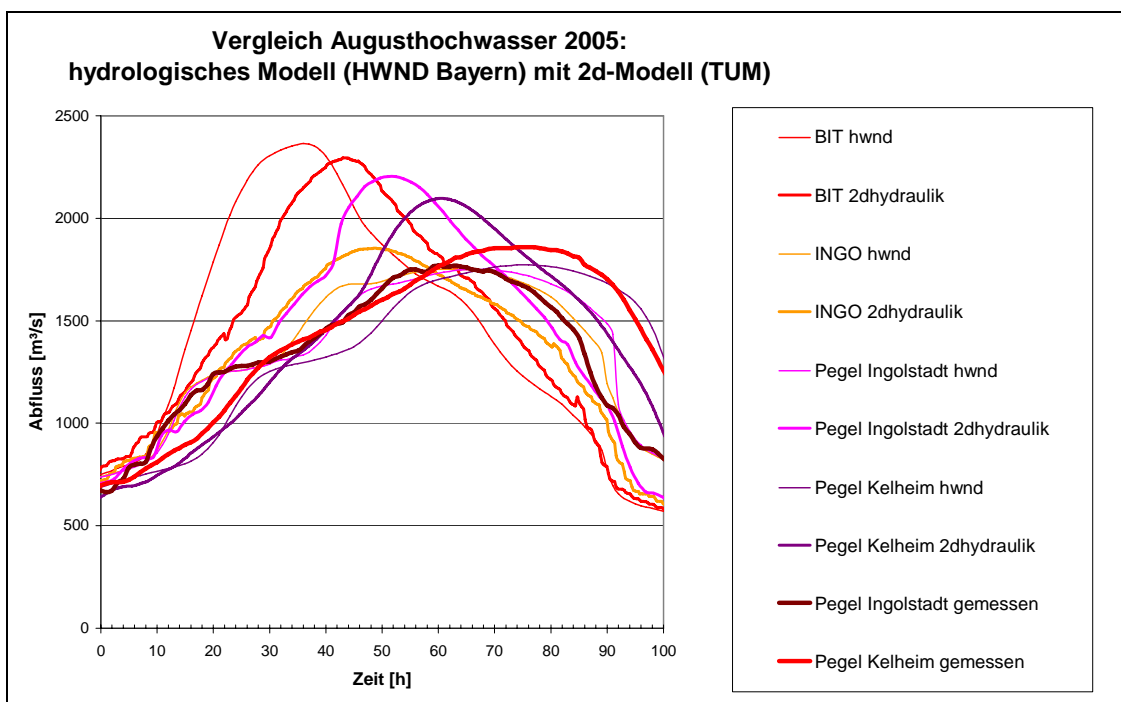
- DON-BIT:       Pegel Donauwörth bis Staustufe Bittenbrunn
- BIT-VOH:       Staustufe Bittenbrunn bis Staustufe Vohburg
- VOH-KE:       Staustufe Vohburg bis Pegel Kelheim

In einem Planspiel wird der Einsatz des 2d-Modells für eine Online-Prognose beim Hochwasser August 2005 in Echtzeit simuliert. Das Planspiel wird in Zusammenarbeit mit dem Hochwassernachrichtendienst des Bayerischen Landesamts für Umwelt durchgeführt. Mit dem Prognosemodell des Hochwassernachrichtendienstes werden drei Abflussvorhersagen (zwei pro Tag in 10 bzw. 14 Stundenabstand) der beiden Pegel Donauwörth und Augsburg als Randbedingung in das hydraulische Modell gegeben und jeweils innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeit (bis zur nächsten Prognose) 2d-Berechnungen durchgeführt. Ziel ist es dabei, in diesem Zeitraum die Hochwasserwellenausbreitung möglichst weit nach unterstrom zu simulieren. Genauere Erkenntnisse über die Ausbreitung der Überschwemmungsgebiete (Katastrophenschutz) sowie aber vor allem über die möglichen Hochwasserwellenformen und deren Scheitelabflüsse für die gezielte Steuerung von zur Verfügung stehenden Retentionsräumen sollen hierbei gewonnen werden.

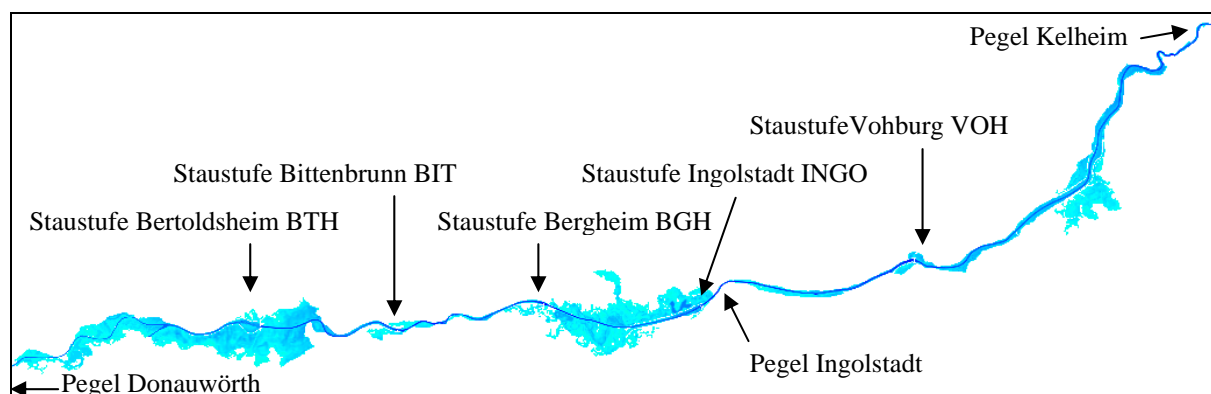
### Vergleich der berechneten Hochwasserwellen:

Die vom Hochwassernachrichtendienst zur Verfügung gestellten Abflussvorhersagen wurden mit deren Prognosemodell nachträglich ermittelt. Die Prognosewerte sind also nicht die tatsächlich prognostizierten Werte im August 2005. Die Speicherterme des Prognosemodells wurden während und nach dem Hochwasser 2005 neu kalibriert und liefern daher schließlich deutlich bessere Prognosewerte. Insbesondere im Bereich Ingolstadt wurden sowohl in der 2d-Modellierung als auch mit den vorherigen Speichertermen des hydrologischen Modells zu hohe Abflüsse ermittelt. Eine Beeinflussung der Hochwasserwelle durch den großen zur Verfügung stehenden Grundwasserspeicher im Auwaldbereich (etwa 30 Mio. m<sup>2</sup> geflutete Fläche) könnte für diesen Effekt maßgebend sein. Der Vergleich der berechneten Hochwasserganglinien mit dem neu kalibrierten Modell des Hochwassernachrichtendienstes Bayern und dem zweidimensionalen hydraulischen Modell der TU München ist in Abbildung 2 zu sehen.

Zum Verständnis der Lage der Hochwasserganglinien und der Wirkungsweisen einzelner Retentionsräume ist in Abbildung 3 das mit dem zweidimensionalen hydraulischen Modells ermittelte Überschwemmungsgebiet mit der Lage der Querschnitte, welche zur Abflussermittlung herangezogen werden, dargestellt.



**Abbildung 2** Vergleich hydrologisches Modell (HWND Bayern) mit 2d-hydraulischem Modell (TU München)

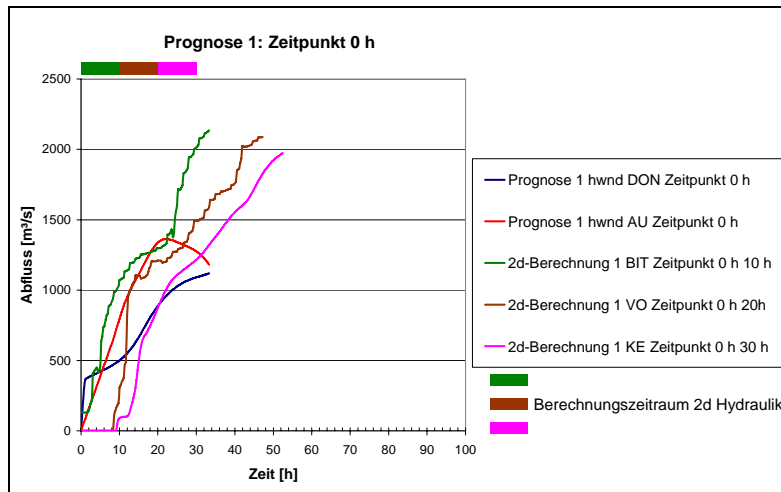


**Abbildung 3** Überschwemmungsgebiet Augushochwasser 2005 (2d-berechnet)

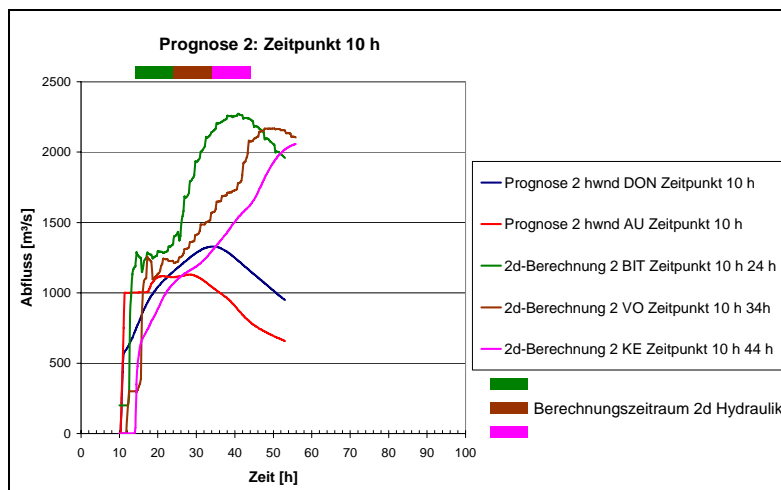
Wie in den Abbildungen 2 und 3 zu sehen ist, berechnet das zweidimensionale hydraulische Modell in den ersten drei Kontrollquerschnitten (Staustufen Bertoldsheim, Bittenbrunn und Bergheim) deutlich höhere Retentionseffekte wie das hydrologische Modell. Dies lässt sich sehr gut über die Wirkungsweise der Überlaufstrecken (insbesondere der Überlaufstrecke der Staustufe Bertoldsheim) erklären. Im weiteren Verlauf (Staustufe und Pegel Ingolstadt) treten nun die bereits oben beschriebenen Effekte der Neukalibrierung (auf Pegel Ingolstadt) des HWND – Modells auf. Die HWND-Ganglinie am Pegel Ingolstadt liegt dabei deutlich näher an der gemessenen Ganglinie als die mit dem 2d-Modell berechnete. Dieser „Fehler“ pflanzt sich schließlich weiter nach unterstrom fort.

#### Ergebnis der Prognoserechenläufe in Echtzeit:

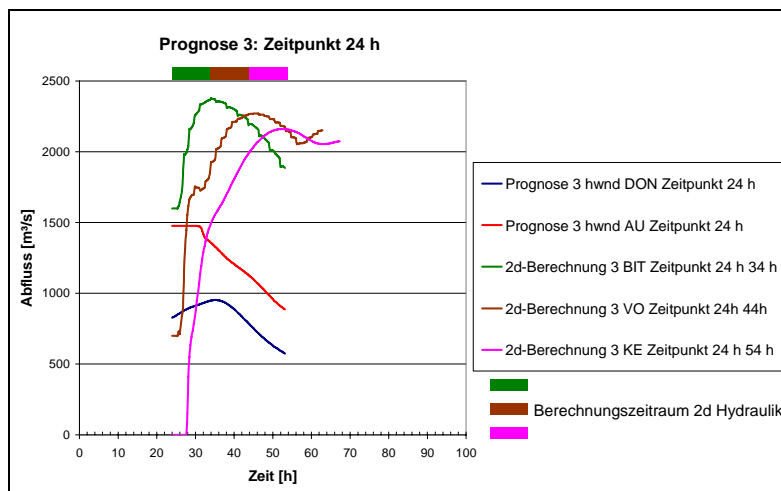
In den Abbildungen 4 bis 6 sind die Ergebnisse der drei Prognoserechenläufe dargestellt. Die beiden Abflussprognosen an den Pegeln Donauwörth DON und Augsburg AU werden bei Prognose 1 (Abbildung 4) zum Zeitpunkt  $t = 0$  Stunden dem hydraulischen Modell DON-BIT (siehe oben) zugegeben. Die jeweils berechneten Abflussganglinien an den Punkten BIT, VO und KE sind mit den erforderlichen realen Berechnungsdauern (Balken) dargestellt. Der über die Berechnungsdauer hinausreichende Abschnitt der Ganglinie ist somit die Information, die zur Prognose genutzt werden kann. Analog zu Prognose 1 werden dann die Prognoserechenläufe 2 und 3 jeweils nach vorliegen einer neuen Zuflussganglinie für die Pegel DON und AU (siehe Abbildung 5 und 6) durchgeführt.



**Abbildung 4** Prognose 1 für die Pegel Donauwörth und Augsburg zum Zeitpunkt  $t = 0$  Stunden



**Abbildung 5** Prognose 2 für die Pegel Donauwörth und Augsburg zum Zeitpunkt  $t = 10$  Stunden



**Abbildung 6** Prognose 3 für die Pegel Donauwörth und Augsburg zum Zeitpunkt  $t = 24$  Stunden

Prognose 1 wäre schließlich bezüglich des Prognosezeitraums die optimale Vorhersage, da hier mehrere Steuerungsvarianten innerhalb des Zeitrahmens untersucht werden könnten. Das Problem ist jedoch die Tatsache, dass bei dieser Prognose zum einen der Hochwasserscheitel noch nicht erreicht ist (Möglichkeit zur Steuerungsvorgabe zur horizontalen Kappung einer Hochwasserwelle durch z. B. gesteuerten Flutpolder nicht gegeben) und zum anderen die Abflussvorhersagen an den Pegeln noch sehr ungenau sind.

Prognose 2 hingegen liefert zum einen relativ zuverlässige Abflussprognosen an den Pegeln Donauwörth und Augsburg und stellt zum anderen einen Prognosezeitraum, bei dem evtl. noch Steuerungsorgane (Überlaufstrecken an den Staustufen etc.) bedient werden könnten.

Die hydraulischen Berechnungen der Prognose 3 sind bezüglich des zeitlichen Niveaus praktisch identisch mit den tatsächlich aufgetretenen Hochwasserwellen an der Donau, sodass eine Abflussvorhersage bezüglich des Scheitelabflusses mit der vorliegenden 2d-Hydraulik zu einem so späten Zeitpunkt keine neuen Erkenntnisse bringt. Der abfallende Ast der Hochwasserwelle kann jedoch in einem relativ kurzen Zeitintervall prognostiziert werden.

## 4 Fazit

Im Beitrag wurden die Möglichkeiten aufgezeigt, wie sich mit Hilfe einer abschnittswisen Integration von zweidimensionalen hydrodynamischen Modellen die Prognoseberechnungen für den Hochwasserablauf verbessern lassen. Die Berechnungen zeigen, dass schon mit üblicher Rechenleistung wertvolle Vorhersageinformationen gewonnen werden können. Durch zusätzliche Investitionen in die Rechenleistung könnten zum einen der Vorhersagezeitraum verlängert und zum anderen die Auswirkung von optionalen Steuerungsmaßnahmen auf den Wellenablauf in weiteren, parallel durchgeführten Berechnungsvarianten zur Unterstützung der Entscheidungsträger zur Verfügung gestellt werden.

### Autoren:

Dipl.-Ing. Markus Fischer  
Dr.-Ing. Manfred Schindler  
Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft  
Technische Universität München  
Arcisstraße 21  
80333 München  
Tel.: ++49 – 89 – 28923161  
Fax: ++49 – 89 – 28923172  
m.fischer@bv.tum.de  
m.schindler@bv.tum.de