

Hydrologische Hochwasservorhersage für den Kamp – Erfahrungen mit den Ereignissen 2006 und 2007

UNIV.-PROF. DI DR. GÜNTER BLÖSCHL, DI DR. CHRISTIAN RESZLER UND DI JÜRGEN KOMMA,
Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, Technische Universität Wien

Das Hochwasserprognosemodell für den Kamp im Norden Österreichs wird vorgestellt, das ein Wellenablaufmodell mit einem Niederschlag-Abflussmodell unter Verwendung von beobachteten und prognostizierten Niederschlägen kombiniert. Die Entwicklung des hydrologischen Modells wurde Anfang des Jahres 2006 abgeschlossen und seitdem ist das Modell operationell im Einsatz. In den Jahren 2006 und 2007 traten drei Hochwasserereignisse auf. Für diese Ereignisse wird das hydrologische Modell in dieser Arbeit getestet.

EINLEITUNG

Die letzten großen Hochwässer führten in Österreich zu einer verstärkten Wahrnehmung des Nutzens von Hochwasservorhersagen. Gleichzeitig wird mit der EU-Hochwasserrichtlinie (EU, 2007) das Augenmerk auf ein integrales Hochwassermanagement gelenkt, für das Vorhersagen ein zentraler Bestandteil sind. Im Jahre 2003 wurde die Technische Universität Wien beauftragt, ein Hochwasservorhersagemodell für den Kamp zu entwickeln. Die Hochwasservorhersage sollte vor allem zu einer frühzeitigen Einsatzplanung beitragen und bei der Bewirtschaftung der Kraftwerkskette Ottenstein am Kamp behilflich sein. Dafür wurde von den Auftraggebern eine Vorhersagefrist von 48 Stunden gewünscht. Die Wellenlaufzeiten im Gebiet sind allerdings wesentlich kürzer. Um die Genauigkeit der Prognosen zu maximieren und dennoch lange Vorhersagefristen zu ermöglichen, wurde ein gestufter Vorhersageansatz gewählt: Genaueste Abflussprognosen im Bereich von wenigen Stunden durch Wellenablaufmodelle unter Verwendung beobachteter Abflussdaten; Verlängerung der Prognosefrist auf einige Stunden durch Niederschlag-Abflussmodellierung unter Verwendung beobachteter Niederschlags- und Lufttemperaturdaten; Verlängerung der Vorhersagefrist auf 48 Stunden unter Verwendung von Niederschlags- und Lufttemperaturprognosen (BLÖSCHL, 2008).

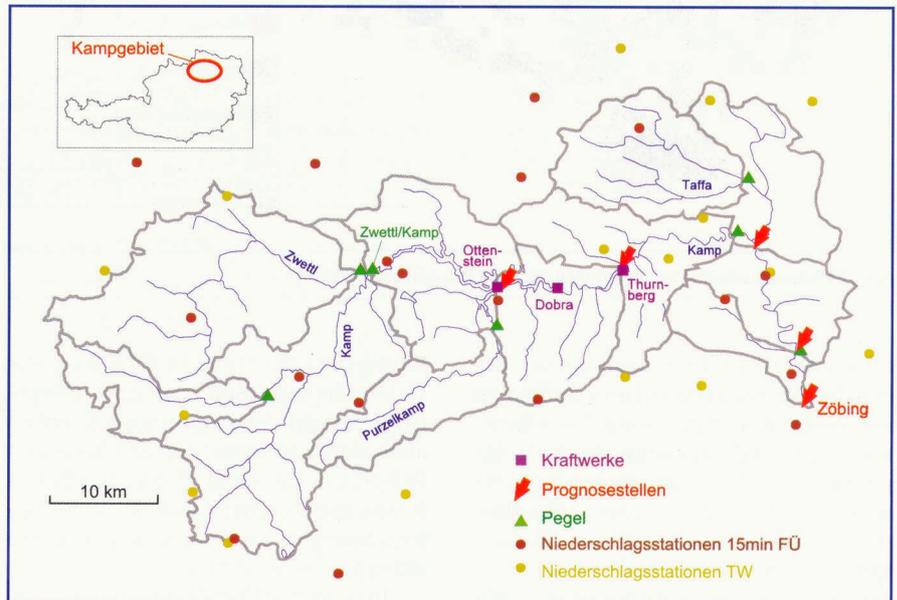


Abb. 1: Situation des Kampgebietes. FÜ = fernübertragene Stationen, TW = Tageswerte (nicht fernübertragen). Die Darstellung ist genordet. Nach BLÖSCHL et al. (2007)

Abb. 1 zeigt das Kampgebiet mit den Prognosestellen des Vorhersagesystems. Die unterste Prognosestelle ist Zöbing mit 1550 km² Einzugsgebietsfläche. Eingangsdaten sind die räumliche Niederschlagsverteilung, die von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) durch Interpolation von den in Abb. 1 dargestellten fernübertragenen Stationsdaten unter Zuhilfenahme von Radardaten ermittelt wird, sowie die prognostizierten Niederschläge, die von der ZAMG aus meteorologischen Prognoserechnungen des European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) und der ZAMG abgeleitet werden. Außerdem werden Lufttemperaturdaten verwendet (beobachtet und prognostiziert), beobachtete Abflussdaten an den in Abb. 1 dargestellten Pegeln sowie Betriebsdaten der Kraftwerke. Für die Modellentwicklung wurden zahlreiche zusätzliche Beobachtungsstellen verwendet, insbesondere zahlreiche Niederschlagsstationen mit Tageswerten (Abb. 1).

ENTWICKLUNG DES HYDROLOGISCHEN VORHERSAGEMODELLS

Der Vorteil flächendifferenzierter Abflussmodelle besteht darin, die räumlich unterschiedlichen Niederschlags- und Abflussbildungsverhältnisse berücksichtigen zu können. Allerdings benötigen solche Modelle für jedes Rechenelement eine große Zahl von Modellparametern. Werden die Modellparameter nicht passend gewählt, sondern etwa Standardwerte auf Basis von Boden-, Gelände- und Landnutzungskarten verwendet, so sind die Simulationen mit solchen Modellen in der Regel ungenauer als solche, die mit traditionellen ingenieurhydrologischen Systemansätzen erzielt werden können (GRAYSON and BLÖSCHL, 2000; BLÖSCHL, 2005). Für die Erstellung des vorliegenden Vorhersagemodells wurde deshalb eine Vorgehensweise entwickelt, die sich von der herkömmlichen Verwendung von Standardwerten für flächendifferenzierte Modelle im Grundsatz unterscheidet (RESZLER et al., 2006). Die zugrundeliegende Philosophie besteht darin, in de-

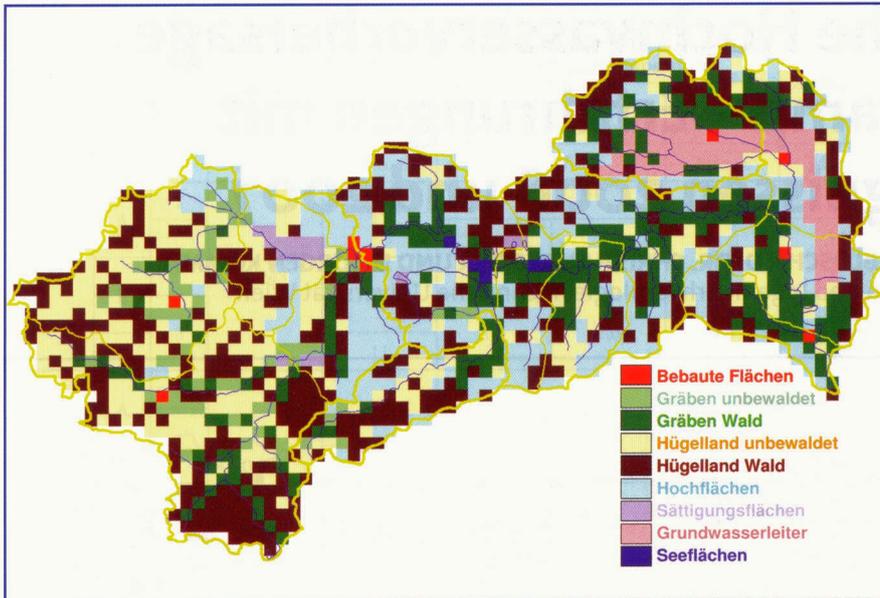


Abb. 2: Angepasste Hydrotope im Kampgebiet. Nach RESZLER et al. (2006)

tektivischer Arbeit alle zugänglichen Belege für das hydrologische Verhalten zu sammeln und daraus eine Modellvorstellung über die Funktion des hydrologischen Systems für unterschiedliche Situationen abzuleiten. Die Abflussbildung wird für Pixel von 1x1 km² durch einen konzeptionellen Bodenfeuchteansatz beschrieben (PARAJKA et al., 2005; BLÖSCHL et al., 2008). Die Parameter für jedes Pixel wurden auf Basis des von RESZLER et al. (2006) entwickelten Ansatzes bestimmt. Dabei wurden unterschiedliche Hydrotope (Abb. 2) unterschieden. Die Plausibilität des Modells wurde für unterschiedliche Ereignisgrößen und Ereignistypen (z. B. advektiv, konvektiv, Schneeschmelze, Regen-auf-Schnee) und durch eine Beurteilung der simulierten räumlichen Muster getestet (RESZLER et al., 2008a). Zwei Nachführalgorithmen helfen, diese Unschärfe zu reduzieren. Im ersten Nachführalgorithmus wird der Bodenfeuchtezustand des Gebietes aus dem aktuell beobachteten Abfluss mit Hilfe eines Ensemble-Kalman-Filters (EnKF) geschätzt (KOMMA et al., 2006), der für das hier verwendete nicht-lineare Abflussmodell geeignet ist. Der zweite Nachführalgorithmus besteht aus einem additiven statistischen Fehlermodell, das die Autokorrelation der Abflussprognosefehler ausnützt.

Die einzelnen Teilgebiete werden durch Wellenablaufstrecken verbunden. Als Modell für den Wellenablauf wurde eine lineare Speicherkaskade mit durchflussabhängigen Parametern gewählt, die rechentechnisch sehr effizient ist und somit die Anwendung der Nach-

führalgorithmen und die Erstellung der Ensembleprognosen erleichtert. Die geringe Anzahl der Parameter erleichtert auch deren Bestimmung auf Basis von Belegen, wofür Abflussdaten, Ergebnisse hydrodynamischer Modelle und Feldbegehungen herangezogen wurden (RESZLER et al., 2008b).

Im Kamptal liegt die Kraftwerkskette Ottenstein mit einem Nutzinhalt von 72 Mio. m³. Das ist fast die Hälfte des mittleren Jahresabflussvolumen des Kamp von 180 Mio. m³. Der aktuelle Stand des Stauspiegels und die Regelungsmaßnahmen der Betreiber beeinflussen deshalb die Form der Hochwasserwellen im Unterlauf des Kamp. Im Rahmen des Hochwasservorhersagesystems geben die Betreiber eine geplante Abgabe über die nächsten 48 Stunden bekannt. Diese wird in einer Variante des Vorhersagesystems mittels des Wellenablaufmodells auf die Vorhersagestellen des Unteren Kamp transformiert. Parallel dazu werden die zukünftigen Regelungsmaßnahmen und damit die Verformung der Hochwasserwelle durch die Kraftwerkskette im Vorhersageverfahren simuliert. Dies hat drei Gründe. Erstens erlaubt die Simulation eine Optimierung der möglichen Betriebsweise und damit eine Hilfestellung für die Betreiber. Zweitens erlaubt sie, den Einfluss der Kraftwerkskette auf die Vorhersageunsicherheit im Rahmen von Ensembleprognosen zu beschreiben. Drittens bietet das Simulationsmodell die Möglichkeit des Trainings des Betreiberpersonals anhand von Szenarien unterschiedlicher meteorologischer und hydrologischer Situationen.

Die Simulation der Regelungsmaßnahmen wurde durch ein regelbasiertes Optimierungmodell gelöst, das die zu erwartende Betriebsweise der Betreiber in unterschiedlichen Situationen abbildet. Die Regeln wurden in einer iterativen Vorgangsweise ermittelt, in die der Kraftwerksbetreiber eingebunden war (RESZLER et al., 2007).

PROGNOSEGENAUIGKEIT

Um ein genaues Bild der zu erwartenden Prognosegüte zu erhalten, wurden mit dem Abflussmodell umfangreiche Fehlerauswertungen durchgeführt. Insgesamt setzt sich der Prognosefehler aus den folgenden Fehlerkomponenten zusammen: Fehler bei der Niederschlagsmessung; Fehler bei der Niederschlagsinterpolation; Fehler bei der Niederschlagsprognose; Fehler des hydrologischen Modells; Fehler der Abflussmessung. Bei der operationellen Anwendung kommen oft Fehler hinzu, die auf den Ausfall der Datenübertragung bzw. Datenschnittstellen zurückzuführen sind. Für jeden Pegel am Kamp wurden nun die Mittelwerte der mittleren absoluten normierten Fehler für die fünf größten im Datensatz enthaltenen Hochwasserereignisse aus den Simulationsläufen berechnet (BLÖSCHL et al., 2007). Daraus wurden zu erwartende Prognosefehler für die Prognosestellen abgeschätzt (Tabelle 1). Dabei wurde zwischen den Prognosegenauigkeiten während des gesamten Ereignisses „E“ und während des Wellenanstiegs (und kurz nach dem Scheitel) „A“ unterschieden. Zum Vergleich wurden die Fehler auch für kontinuierliche Auswertungen (d. h. für das gesamte Jahr anstatt von Einzelereignissen) abgeschätzt. Vorerst zeigt die Tabelle, dass im Anstiegsbereich der Hochwässer der Fehler am größten ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich im Anstiegsbereich der Welle die Unsicherheiten im Niederschlag stärker auswirken als sonst. Für gesamte Ereignisse ist der Fehler kleiner, und bei einer Auswertung über das gesamte Jahr am kleinsten. Bei allen Prognosestellen ist der Prognosefehler bei den kurzen Prognosefristen am kleinsten, da die Wellenablaufmodelle am genauesten sind und die Nachführalgorithmen zusätzlich die Genauigkeit erhöhen. Für größere Prognosefristen steigt der Fehler an, vor allem wegen der Unsicherheit des prognostizierten Niederschlages. Die Werte in Tabelle 1 geben die mittlere Prognosegenauigkeit an. Für Einzelereignisse können sich die Prognosefehler stark von diesen Mittelwerten unterscheiden. Außerdem

Tabelle 1: Mittlere absolute normierte Fehler in Prozent des beobachteten Abflusses für die Prognosestellen und unterschiedliche Vorhersagefristen. A: Anstieg der Hochwasserwelle bis kurz nach Scheitel; E: gesamtes Ereignis; K: kontinuierliche Auswertungen (geschätzt). Auswertungen der fünf größten Ereignisse im Zeitraum 2002–2005 bzw. gesamter Zeitraum

Prognosestelle	Prognose 4 Stunden			8 Stunden			Warnung 24 Stunden			48 Stunden		
	A	E	K	A	E	K	A	E	K	A	E	K
Zwettl	20	8	5	32	12	7	65	25	12	75	40	20
Zulauf Speicher Ottenstein	22	10	5	32	12	7	65	25	12	75	40	20
Rosenburg nach Einmündung Taffa	18	12	5	30	13	6	50	25	11	60	35	18
Stiefern	16	10	5	27	13	6	42	25	10	50	30	15
Zöbing	14	8	5	25	12	6	42	25	10	50	30	15

Tabelle 2: Prognosefristen (Stunden) der Prognosestellen auf Basis von Tabelle 1 nach zwei Gütekriterien: Kriterium I: Prognosefehler im Mittel $\leq 8\%$ für Ereignisse und $\leq 20\%$ für den Anstieg. Kriterium II Prognosefehler im Mittel $\leq 12\%$ für Ereignisse und $\leq 32\%$ für den Anstieg

Prognosestelle	Einzugsgebietsfläche (km ²)	Prognosefrist [h]	
		Gütekriterium I	Gütekriterium II
Zwettl	622	4	8
Zulauf Speicher Ottenstein	889	4	8
Rosenburg nach Einmündung Taffa	1412	4	9
Stiefern	1493	6	12
Zöbing	1550	7	13

stieg gewählt. Diese Prognosegenauigkeiten werden am Pegel Zwettl beispielsweise bei einer Prognosefrist von 4 Stunden nicht überschritten. Für den Zulauf Ottenstein sowie Rosenberg nach Einmündung Taffa sind es ebenfalls 4 Stunden, für Stiefern 6 Stunden und Zöbing 7 Stunden. Dieses Gütekriterium entspricht den Prognosen, die mit den vorhandenen Daten mit guter Genauigkeit erzielt werden können. Zusätzlich wurde ein gelockertes Kriterium ausgewertet, für das mittlere Prognosefehler kleiner oder gleich 12 % für das Gesamt ereignis bzw. 32 % für den Anstieg gewählt wurden. Bei diesen Prognosefristen sind die Prognosen nicht so genau, können aber im Mittel als akzeptabel eingestuft werden.

Wegen der Abnahme der Prognosegenauigkeit mit der Vorhersagefrist werden die Vorhersagen über bis zu etwa 10 Stunden als Prognosen bezeichnet, die Vorhersagen für 24 und 48 Stunden hingegen als Warnindikatoren interpretiert, die die Möglichkeit eines Hochwassers anzeigen. Zur Abschätzung der auf den prognostizierten Niederschlag zurückzuführenden Unsicherheit in Echtzeit werden für das Kampgebiet Ensemblevorhersagen erstellt, die eine Bandbreite zukünftiger Durchflüsse für jeden Prognosezeitpunkt angeben. Das ECMWF berechnet auf Basis unterschiedlicher Anfangsbedingungen 50 mögliche Niederschlagsfelder für die ganze Welt, aus denen die ZAMG 50 mögliche Niederschlagsfelder für das Kampgebiet ermittelt. Diese führen zu 50 Abflussprognosen an jeder Vorhersagestelle. Unter der Annahme, dass jede dieser Simulationen gleich wahrscheinlich ist, werden Vertrauensbänder von 10 % bis 90 % Unterschreitungswahrscheinlichkeit ausgewiesen (KOMMA et al., 2007).

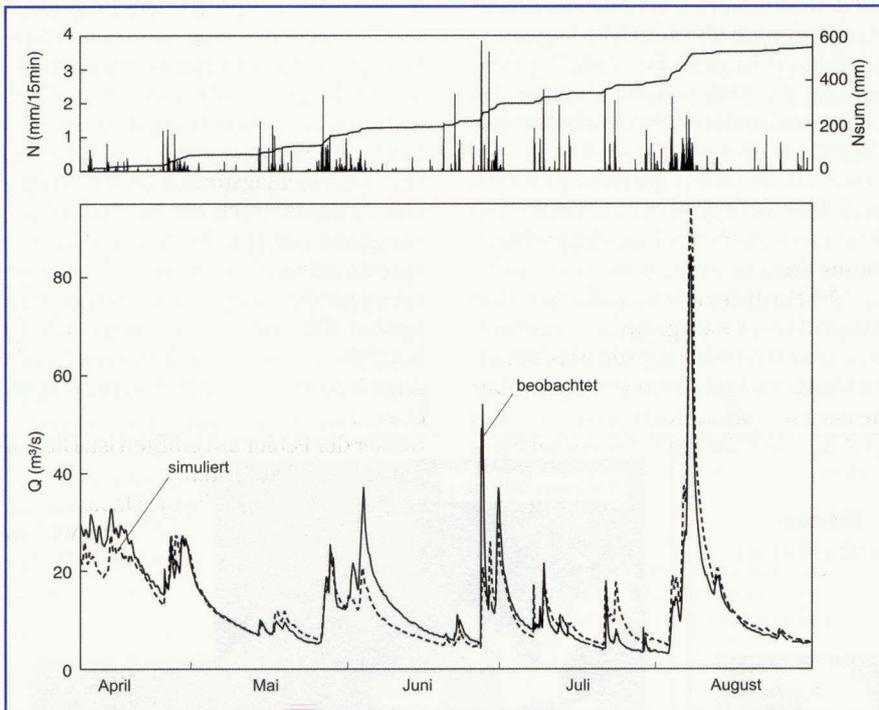


Abb. 3: Abflusssimulationen im Sommer 2006 für den Pegel Zwettl (622 km²). Beobachteter Niederschlag, keine Nachführung. Der obere Abbildungsteil zeigt den Niederschlag und die Niederschlagssummen

können wie erwähnt im operationellen Fall noch Fehler hinzukommen, die auf den Ausfall der Datenübertragung bzw. Datenschnittstellen zurückzuführen sind.

Ausgehend von den mittleren Prognosefehlern in Tabelle 1 wurde nun eine

Abschätzung sinnvoller Prognosefristen für die Prognosestellen durchgeführt (Tabelle 2). Es wurden zwei Bereiche unterschieden. Für den ersten Bereich (Gütekriterium I) wurden mittlere Prognosefehler kleiner oder gleich 8 % für das Gesamt ereignis bzw. 20 % für den An-

dem ist das Modell operationell im Kampgebiet im Einsatz. In den Jahren 2006 und 2007 traten drei Hochwasserereignisse auf, und es ist nun von Interesse, die Modellgüte für diese Ereignisse zu untersuchen. Es handelt sich dabei also um eine echte Validierung des hydrologischen Modells. Die Analysen wurden für alle verfügbaren Pegel durchgeführt. In dieser Arbeit werden die Ergebnisse für den Pegel Zwettl am Kamp (622 km² Gebietsfläche) dargestellt, da dieser Pegel der für die Modellentwicklung wichtigste Pegel war.

Abb. 3 zeigt vorerst die Simulationen für den Zeitraum von April bis September 2006. Dieser Zeitraum wurde gewählt, um zu untersuchen ob die Wasserbilanzparameter des Modells (vor allem die Verdunstungsparameter und die Parameter der langsamen unterirdischen Komponenten) die Abflussdynamik auf der saisonalen Skala zutreffend beschreiben. Im Mai wird der Verlauf des Abflusses sehr gut wiedergegeben, im Juni und Juli etwas unterschätzt. Es handelt sich dabei um kurze, kleinräumige Ereignisse konvektiven Ursprungs, bei denen vermutlich die Niederschlagsverteilung nicht vollständig exakt wiedergegeben wird. Insgesamt wird sowohl die Ereignisdynamik als auch das Niveau des Abflusses im Sommer gut getroffen. Dies belegt das zutreffende Modellverhalten, insbesondere, da das Frühjahr mit großen Schneehöhen und intensiver Schneeschmelze ungewöhnliche hydrologische Verhältnisse aufwies. Die folgenden Abbildungen zeigen nun drei Einzelereignisse mit Abflussscheitel um 100 m³/s und Jährlichkeiten von ca. 5 Jahren.

In Abb. 4 ist das Schneeschmelzer-

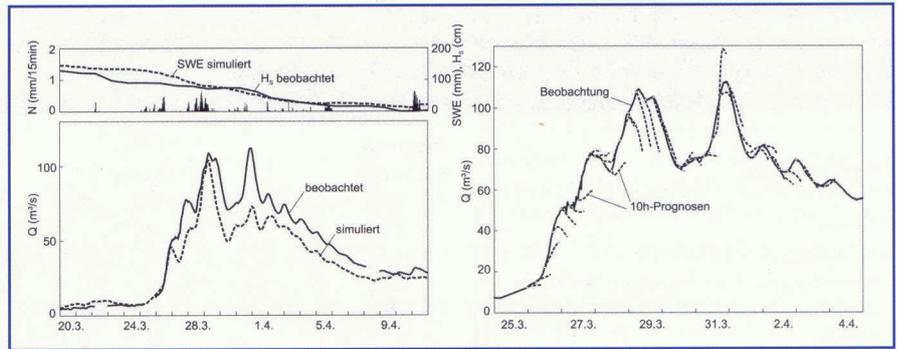


Abb. 4: Abflusssimulationen bzw. Prognosen für das Ereignis im März/April 2006 am Pegel Zwettl. Links: Simulationen mit beobachtetem Niederschlag, keine Nachführung während des Ereignisses. Der obere Abildungsteil zeigt den Niederschlag sowie die beobachtete Schneehöhe HS einer Station und den simulierten Schneewasserwert SWE. Rechts: 10 Stunden Prognosen unter Verwendung prognostizierter Niederschläge

eignis im März und April 2006 dargestellt. Das Volumen des Ereignisses wird durch die Simulationen (Abb. 4 links) etwas unterschätzt. Am 26. März und 28. März trat Regen auf, der auf eine schmelzende Schneedecke fiel. Dadurch war die Abflussbildung etwas stärker als erwartet und der Scheitel am 1. April wird unterschätzt. Die Dynamik der Schneeschmelze (Abb. 4 links oben) ist im Vergleich der beobachteten Schneehöhen mit dem simulierten Schneewasserwert plausibel. Auch die räumliche Verteilung des Schnees ist plausibel (Abb. 5). Insgesamt ist die Abflusssimulation des Ereignisses als nahe der Beobachtung einzuschätzen. Der Prognosefall ist in Abb. 4 rechts dargestellt. Obwohl die absoluten Fehler nicht groß sind, wird die Tendenz nicht immer richtig eingeschätzt. Dieses Ereignis zeigt, dass es schwierig ist, die Feinstruktur innerhals eines derartigen Ereignisses genau zu beschreiben. Innerhalb des für die Modellentwicklung zur Verfügung stehenden Da-

tensatzes lag kein vergleichbares Ereignis vor und deshalb wurde mit diesem Ereignis das additive statistische Fehlermodell nachjustiert und für die operationelle Vorhersage implementiert.

Abb. 6 zeigt nun ein reines Regenerereignis advektiven Charakters im August 2006. Die Simulation (Abb. 6 links) stimmt nahezu perfekt mit der beobachteten Abflussganglinie überein, sowohl in der Größe des Scheitelabflusses als auch im Zeitpunkt. Die Prognosen (Abb. 6 rechts) zeigen sehr gute Übereinstimmung am Beginn des Ereignisses, am Beginn des Anstieges wird etwas unterschätzt und kurz vor dem Scheitel trifft die Prognose wieder sehr gut zu. Die Niederschlagssumme wurde bei diesem Ereignis durch die Niederschlagsprognose gut getroffen und dementsprechend sind auch die Abflussprognosen genau. Ein weiteres Ereignis (September 2007) ist in Abb. 7 dargestellt. Es handelte sich wie bei dem Ereignis im August 2006 um ein advektives Ereignis.

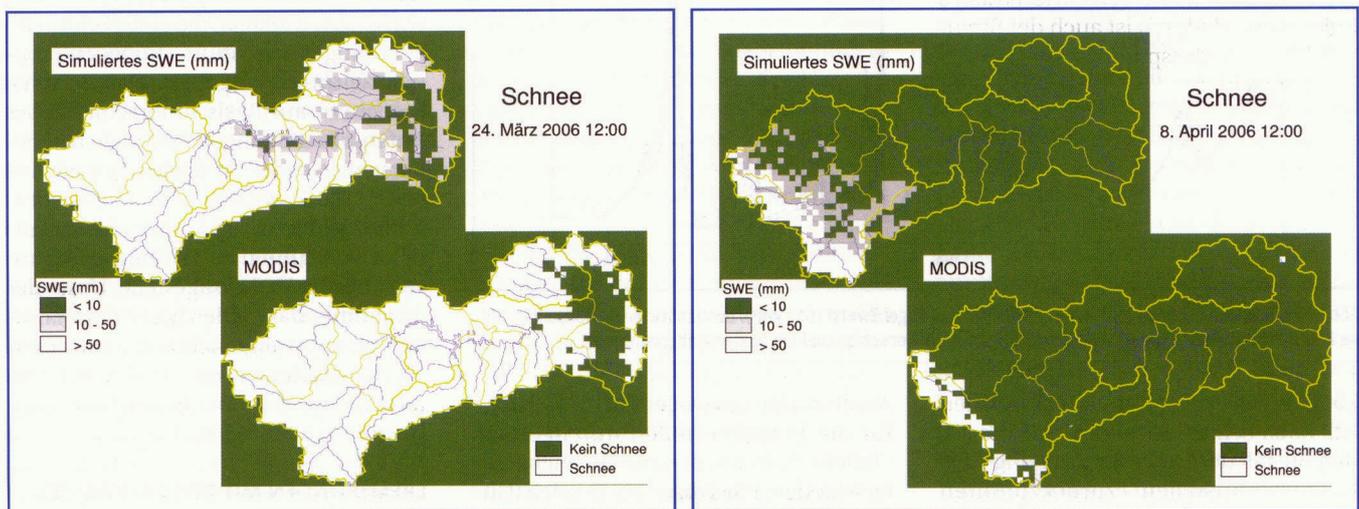


Abb. 5: Simulierter Schneewasserwert (SWE) und mittels MODIS Satellitendaten beobachtete Schneeverteilung im Kampgebiet. Links: 24. März 2006. Rechts: 8. April 2006. Daten aus PARAJKA and BLÖSCHL (2008)

Allerdings waren die Niederschlags-summe etwas höher und die zeitliche Verteilung etwas konzentrierter. Zudem unterscheiden sich die Ereignisse stark in ihren Vorbedingungen, da dem Ereignis im September 2007 eine außergewöhnlich lange Trockenperiode vorhergegangen war. Dies war für das Ereignis im August 2006 nicht der Fall. Die Abflusssimulationen treffen die Beobachtung ziemlich gut, wenngleich der Scheitel geringfügig überschätzt wird (Abb. 7 links). Die Prognosen (Abb. 7 rechts) zeigen am Beginn des Ereignisses eine starke Überschätzung der Anstiege, die auf die zu hohen Niederschlagsprognosen zurückzuführen ist. Während des Anstieges (6. September mittags) sind die Niederschlagsprognosen genauer und sowohl Anstieg als auch Scheitel werden dann nahezu perfekt prognostiziert.

Zwei Beispiele für Ensemblevorhersagen zeigt Abb. 8. Dabei ist oben der Streubereich der prognostizierten Niederschlagssumme als graues Band dargestellt und im Vergleich dazu die Beobachtung als Linie eingetragen. In den unteren Teilabbildungen ist der zugehörige Streubereich der Abflussprognosen dargestellt (10%- bis 90%-Quantile des Ensembles). Prognosezeitpunkt und Ende der Prognosefrist sind jeweils durch vertikale Linien gekennzeichnet. Beim Ereignis im August 2006 ist die Prognose zu einem Zeitpunkt von ca. 36 Stunden vor dem Scheitel gezeigt (Abb. 8 links). Der Streubereich der Abflussprognose ist groß. Die beiden Quantile schließen den beobachteten Scheitel ein. Im Anstiegsbereich liegt die obere Quantile etwas unter der Beobachtung. Generell ist der Streubereich des Niederschlages etwas unter der Beobachtung zentriert (Abb. 8 links oben), dadurch ist auch der Streubereich der Abflussprognose etwas unter der beobachteten Abflussganglinie zentriert. Beim Ereignis im September 2007 ist die Prognose zu einem Zeitpunkt von ca. 30 Stunden vor dem Scheitel gezeigt (Abb. 8 rechts). Der Streubereich der Abflussprognose ist ebenfalls groß und die beiden Quantile schließen den beobachteten Scheitel wieder ein. Im Anstiegsbereich liegt die untere Quantile jedoch über der Beobachtung. Es ist zu erkennen, dass der Streubereich des Niederschlages über der Beobachtung zentriert ist, und dementsprechend ist die obere Quantile des Abflusses wesentlich höher als der beobachtete Scheitel. Diese Ensembleprognosen sollen die Möglichkeit eines Hochwassers anzeigen und haben die Funktion von Warn-

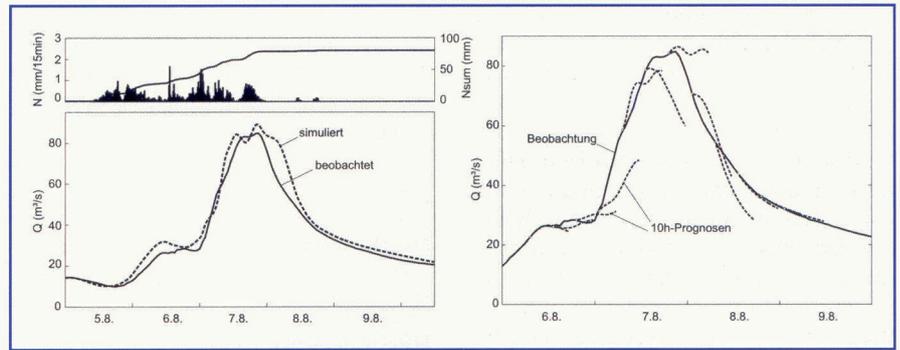


Abb. 6: Abflusssimulationen bzw. Prognosen für das Ereignis im August 2006 am Pegel Zwettl. Links: Simulationen mit beobachtetem Niederschlag, keine Nachführung während des Ereignisses. Der obere Abbildungsteil zeigt den Niederschlag und die Niederschlagssummen. Rechts: 10 Stunden Prognosen unter Verwendung prognostizierter Niederschläge

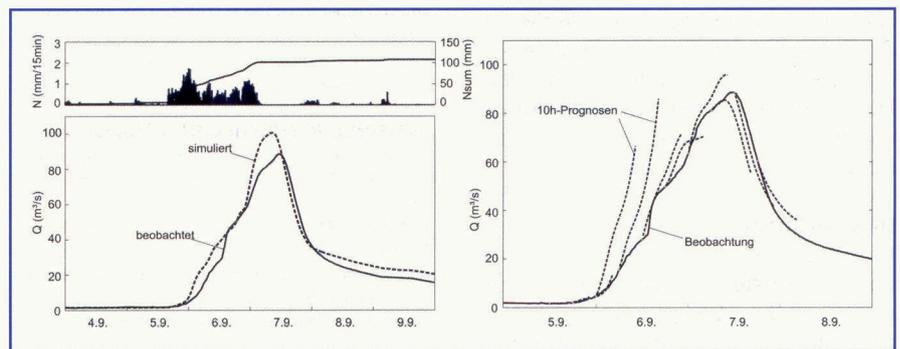


Abb. 7: Abflusssimulationen bzw. Prognosen für das Ereignis im September 2007 am Pegel Zwettl. Links: Simulationen mit beobachtetem Niederschlag, keine Nachführung während des Ereignisses. Der obere Abbildungsteil zeigt den Niederschlag und die Niederschlagssummen. Rechts: 10 Stunden Prognosen unter Verwendung prognostizierter Niederschläge

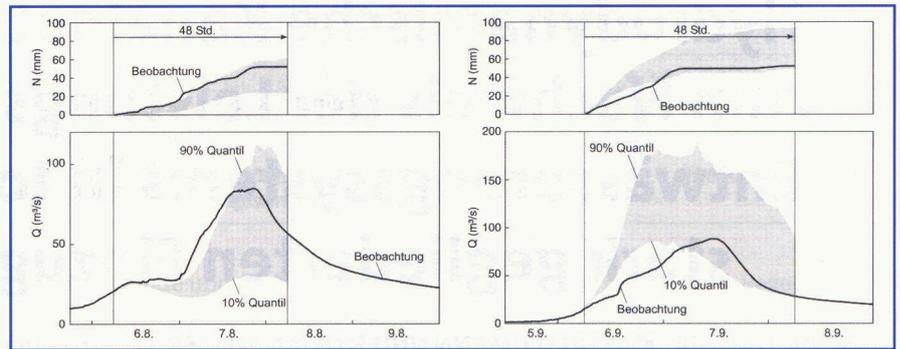


Abb. 8: Ensemblevorhersagen des Abflusses am Pegel Zwettl (unten) sowie zugehörigen prognostizierten Niederschlagssummen (oben) eingetragen als graues Band. Links: Ereignis im August 2006 (Vorhersagezeitpunkt: 6.8.2006 6h). Rechts: Ereignis im September 2007 (Vorhersagezeitpunkt: 6.9.2007 6h)

indikatoren. Dieser Funktion werden die Ensemblevorhersagen im vollen Umfang gerecht und liefern damit Informationen die über den unmittelbaren Bereich der Prognosen von 10 Stunden (Abb. 4, 6, 7 rechts) hinausgehen.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Entwicklung des hydrologischen Modells für die Hochwasservorhersage am Kamp wurde Anfang des Jahres 2006

abgeschlossen und seitdem ist das Modell operationell im Einsatz. In den Jahren 2006 und 2007 traten drei Hochwasserereignisse auf. Für diese Ereignisse wurde das hydrologische Modell getestet. Die hydrologischen Situationen für zwei der drei Ereignisse sind als ungewöhnlich einzustufen und deswegen sind diese Ereignisse ein harter Test. Bei dem Ereignis im März/April 2006 waren die Schneesverhältnisse mit großen

Schneehöhen und hoher Schneedichte außergewöhnlich. Bei dem Ereignis im September 2007 ging eine lange Trockenperiode voran. Für alle drei Ereignisse geben die Abflusssimulationen die beobachtete Ganglinie sowohl in Hinblick auf Scheitel als auch auf die zeitliche Dynamik gut wieder. Lediglich für das Schneeschmelzeereignis im März/April 2007 werden die zeitliche Feinstruktur nicht genau getroffen und das Volumen etwas unterschätzt. Die Abflussprognosen mit Prognosezeitpunkt vor Ereignisbeginn unter Verwendung prognostizierter Niederschläge unterschätzen den Anstieg etwas im August 2006 und überschätzen den Anstieg im September 2007. Bei einem Prognosezeitpunkt während des Anstieges des Ereignisses wird der weitere Verlauf des Ereignisses in beiden Fällen gut getroffen. Die Ensembleprognosen zeigen deutlich vor dem Ereignis die Möglichkeit eines Hochwasserereignisses an.

DANKSAGUNG

Die Studie wurde im Auftrag des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung und der Energieversorgung Niederösterreich AG durchgeführt. Die Niederschlagsprognosen wurden von der

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik zur Verfügung gestellt. Die Autoren sind Prof. Dieter Gutknecht für die vielfältige Förderung des Projektes zu Dank verpflichtet.

LITERATUR

- BLÖSCHL, G. (2005):** Rainfall-runoff modelling of ungauged catchments. In: Encyclopedia of Hydrological Sciences, M. G. Anderson (Hrsg.), J. Wiley & Sons, Chichester, pp. 2061–2080.
- BLÖSCHL, G. (2008):** Flood warning – on the value of local information. Journal of River Basin Management, Accepted.
- BLÖSCHL, G., Ch. RESZLER, J. KOMMA (2007):** Operationelle Hochwasservorhersage im Kampgebiet. Wasserwirtschaft, 5/2007, 10–15.
- BLÖSCHL, G., Ch. RESZLER, J. KOMMA (2008):** A spatially distributed flash flood forecasting model. Environmental Modelling & Software, 23, 464–478.
- EU (2007):** Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. ABl. EG L 288 S. 27.
- GRAYSON, R. B., BLÖSCHL G. (Hrsg.) (2000):** Spatial Patterns in Catchment Hydrology: Observations and Modelling. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 404 Seiten.
- KOMMA, J., Ch. RESZLER, G. BLÖSCHL, T. HAIDEN (2007):** Ensemble prediction of floods – catchment non-linearity and forecast probabilities. Natural Hazards and Earth System Sciences, 7, 431–444.
- KOMMA, J., G. BLÖSCHL, Ch. RESZLER (2006):** Nachführung mittels Ensemble-Kalman-Filter. Wiener Mitteilungen Band 199: Hochwasservorhersage – Er-

fahrungen, Entwicklungen & Realität. Hrsg. D. Gutknecht, Technische Universität Wien, pp. 243–258.

PARAJKA J., BLÖSCHL, G. (2008): Spatio-temporal combination of MODIS images – potential for snow cover mapping. Water Resources Research, accepted.

PARAJKA J., MERZ, R., BLÖSCHL, G. (2005): Regionale Wasserbilanzkomponenten für Österreich auf Tagesbasis. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 57, 43–56.

RESZLER, Ch., G. BLÖSCHL, J. KOMMA (2007): Steuerung der Verschlussorgane von wasserwirtschaftlichen Speichern – Ein Ansatz zur Optimierung im Hochwasserfall. Öst. Ing. Arch. Zeitschr., im Druck.

RESZLER, Ch., G. BLÖSCHL, J. KOMMA (2008b): Identifying runoff routing parameters for operational flood forecasting in small to medium sized catchments. Hydrological Sciences Journal, accepted.

RESZLER, Ch., J. KOMMA, G. BLÖSCHL, D. GUTKNECHT (2006): Ein Ansatz zur Identifikation flächendetaillierter Abflussmodelle für die Hochwasservorhersage. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 50(5), 220–232.

RESZLER, Ch., J. KOMMA, G. BLÖSCHL, D. GUTKNECHT (2008a): Dominante Prozesse und Ereignistypen zur Plausibilisierung flächendetaillierter Niederschlag-Abflussmodelle. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, im Druck.

Informationen:

Univ.-Prof. DI Dr. Günter Blöschl, DI Dr. Christian Reszler, DI Jürgen Komma
Technische Universität Wien
Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie
Karlsplatz 13/222
1040 Wien
bloeschl@hydro.tuwien.ac.at