

Operationelle Hochwasservorhersage im Kampgebiet

Von Günter Blöschl,
Christian Reszler
und Jürgen Komma

Ein Hochwasserprognosemodell für den Kamp im Norden Österreichs wird vorgestellt, das ein Wellenablaufmodell mit einem Niederschlag-Abfluss-Modell unter Verwendung von beobachteten und prognostizierten Niederschlägen kombiniert. Das hydrologische Verhalten der Kraftwerkskette Ottenstein wird durch eine regelbasierte Simulationsroutine beschrieben. Da bei den Niederschlagsprognosen mit beträchtlichen Unsicherheiten zu rechnen ist, wird der Vertrauensbereich des Abflusses mittels Ensembleprognosen simuliert und mit den Prognosefehlern verglichen. Die Ensembleprognosen zeigen an, ob mit dem Auftreten eines Hochwassers gerechnet werden muss und dienen zum Zwecke der Warnung.

1 Einleitung

Das Hochwasser im August 2002 führte im Kampgebiet im Norden Österreichs zu großen Schäden. Wie außergewöhnlich dieses Hochwasser war, zeigt **Bild 1**. Mehr als hundert Jahre wurde am Pegel Zwettl am Kamp der Durchfluss von $160\text{ m}^3/\text{s}$ nicht überschritten, der maximale Durchfluss im August 2002 betrug hingegen $460\text{ m}^3/\text{s}$. Hydrologisch gesehen ist dieses Verhalten nicht überraschend, da es sich um eine vergleichsweise trockene Region handelt, in der nur ein geringer Anteil des Niederschlages zum Abflussgeschehen beiträgt [1]. Einem Jahresniederschlag von durchschnittlich etwa 700 mm steht

eine Jahresabflusshöhe von weniger als 200 mm gegenüber. Bei großen Niederschlägen ändert sich aber der Feuchtezustand des Gebietes sprunghaft, wodurch extreme Hochwässer entstehen können, die durchschnittliche Hochwässer um ein Vielfaches übertreffen.

Der Kamp entspringt im Westen des Gebietes. Ein typisches Landschaftsbild im Oberlauf des Kamp mit flachem Uferbereich zeigt **Bild 2a**. Der Unterlauf des Kamp im Osten des Einzugsgebietes ist stärker besiedelt. 1956 wurde die Kraftwerkskette Ottenstein errichtet, bestehend aus den Anlagen Ottenstein, Dobra und Thurnberg, die zu einer Reduktion der

Hochwässer am Unterlauf des Kamp beitrug. Das Fehlen großer Hochwässer führte dazu, dass sich die Bautätigkeit am Ufer des Kamp über die Jahrzehnte an die relativ geringe Wasserführung anpasste. Dies war einer der Gründe für die enormen Schäden beim Hochwasser 2002. Ein Beispiel, wie nahe Gebäude am Flusslauf errichtet wurden, zeigt **Bild 2b**. Das Bild wurde während des Hochwasserereignisses im Juli 2005 aufgenommen, bei dem der Durchfluss an dieser Stelle $70\text{ m}^3/\text{s}$ betrug und der Kamp beinahe ausuferte. Im August 2002 waren an der gleichen Stelle $800\text{ m}^3/\text{s}$ geflossen.

Wegen der großen politischen Sensibilität und ausgelöst durch das Hochwasser 2002 wurde die TU 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 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.

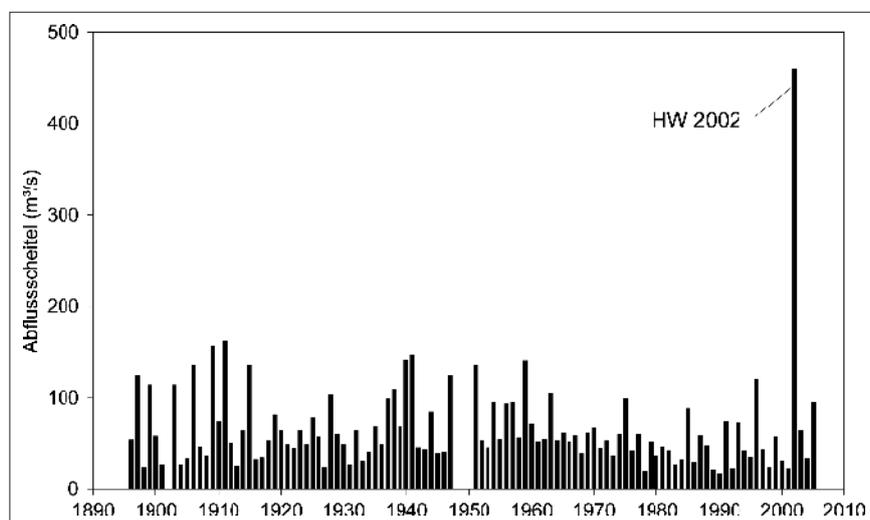


Bild 1: Maximale jährliche Hochwasser am Pegel Zwettl (622 km²)

- Verlängerung der Prognosefrist auf einige Stunden durch Niederschlag-Abfluss-Modellierung unter Verwendung beobachteter Niederschlags- und Lufttemperaturdaten.
- Verlängerung der Vorhersagefrist auf 48 Stunden unter Verwendung von Niederschlags- und Lufttemperaturprognosen.

Bild 3 zeigt das Kampgebiet mit den Prognose-Messstellen des Vorhersagesystems. Die unterste Prognosestelle ist Zöbing mit 1 550 km² Einzugsgebietsfläche. Eingangsdaten sind die räumliche Niederschlagsverteilung, die von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) durch Interpolation von den 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 selbst abgeleitet werden. Außerdem werden Lufttemperaturdaten verwendet (beobachtet und prognostiziert), beobachtete Abflussdaten an den Pegeln sowie Betriebsdaten der Kraftwerke. Für die Modellentwicklung wurden zahlreiche zusätzliche Beobachtungsstellen verwendet, insbesondere zahlreiche Niederschlagsstationen mit Tageswerten.



Bild 2: a) Kleiner Kamp bei Schönbach; b) Der Kamp in Gars beim Ereignis im Juli 2005

2 Abfluss-Modellierung

Der Vorteil flächendifferenzierter Abfluss-Modelle besteht darin, die räumlich unterschiedlichen Niederschlags- und Abflussbildungsverhältnisse berücksichtigen zu können [2]. Allerdings benötigen solche Modelle für jedes Rechenelement eine große Zahl von Modellparametern. Werden diese Parameter 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 [3], [4]. Für die Erstellung des vorliegenden Vorhersagemodells wurde deshalb eine Vorgangsweise entwickelt, die sich von der herkömmlichen Verwendung von Standardwerten für flächendifferenzierte Modelle im Grundsatz unterscheidet [5]. Die zugrunde liegende Philosophie besteht darin, in detektivischer Arbeit alle zugänglichen Belege für das hydrologische Verhalten zu sammeln und daraus eine Modellvorstellung über die Funktion des hydrologischen Systems für unterschied-

liche Situationen abzuleiten. Diese Belege unterscheiden sich je nach dem zu beschreibenden Prozess.

Die Abflussbildung wird für Pixel von 1 x 1 km² durch einen konzeptionellen Bodenfeuchteansatz beschrieben [6]. Die Parameter für jedes Pixel wurden manuell auf Basis von Voranalysen, von beobachteten Abfluss- und Grundwasserganglinien sowie Feldbegehungen festgelegt. Für unterschiedliche Ereignisgrößen und Ereignistypen, z.B. advektiv, konvektiv, Schneeschmelze oder Regen-auf-Schnee, wurde die Gebietsreaktion untersucht. Ei-

ne Analyse auf Basis der jahreszeitlichen Variabilität ergab Belege für die Größe der Verdunstungsparameter und der Perkolationsparameter; eine Analyse der Wellenform und Wellenvolumen auf Ereignisbasis erbrachte Anhaltspunkte für das Verhalten der rascher reagierenden Systemkomponenten. Die Plausibilität des Modells wurde durch eine Beurteilung der simulierten räumlichen Muster getestet. So wurde etwa die Plausibilität der räumlichen Verteilung des Oberflächenabflusses für unterschiedliche Situationen beurteilt im Vergleich zur Auskunft von Ortskundigen, die räumliche Verteilung der

Operational Flood Forecasts in the Kamp Catchment

by Günter Blöschl, Christian Reszler and Jürgen Komma

A flood forecasting system for the Kamp in northern Austria is presented that combines a river routing model and a rainfall-runoff model based on observed and forecasted precipitation. The hydrological dynamics of the Ottenstein reservoir system are represented by a rule based simulation routine. As the precipitation forecasts are associated with considerable uncertainty, the confidence limits of runoff are simulated by ensemble forecasts which are then compared with the forecast errors. The ensemble forecasts are indicators of potential flooding and can be used for flood warning.

Bodenfeuchte im Vergleich zu Feldbegehungen und die räumliche Schneeverteilung im Vergleich zu Schneehöhendaten.

Bild 4 zeigt ein Beispiel der Abflusssimulation für den Pegel Zwettl für einen Zeitraum, der nicht für die Modellentwicklung herangezogen wurde. Während die Form der Welle sehr gut beschrieben wird, zeigt sich erwartungsgemäß, dass der Abfluss sehr sensitiv auf den Niederschlagsinput ist. Im Bild wurde der Niederschlag nach zwei unterschiedlichen Verfahren räumlich interpoliert. Im ersten Verfahren wurden die fernübertragenen Niederschlagsstationen mit zusätzlichen Tagesstationen des Niederschlages kombiniert. Im zwei-

ten Verfahren wurden die fernübertragenen Niederschlagsstationen stattdessen mit den Radardaten kombiniert.

Der wahre Gebietsniederschlag ist immer unbekannt, und deshalb verbleibt durch die räumliche Interpolation in Verbindung mit der Nichtlinearität in der Abflussbildung eine gewisse unvermeidbare Unschärfe [7]. 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) [8], geschätzt, der für das hier verwendete nicht-lineare Abfluss-Modell geeignet ist.

Der zweite Nachführalgorithmus besteht aus einem additiven statistischen Fehlermodell, das die Autokorrelation der Abflussprognosefehler ausnützt.

Als Modell für den Wellenablauf wurde eine lineare Speicherkaskade mit durchflussabhängigen Parametern gewählt, die rechentechnisch sehr effizient ist und somit die Anwendung der Nachführalgorithmen und die Erstellung der Ensembleprognosen erleichtert. Die geringe Anzahl der Parameter erleichtert auch deren Bestimmung auf Basis von Belegen. Im ersten Schritt wurden vorläufige Parameterwerte für jede Wellenablaufstrecke gewählt. Dies erfolgte durch Beurteilung der topographischen Gegebenheiten (Fließlänge, -gefälle, Ausuferungsflächen etc.) auf Basis von Querprofilen, Begehungen, Photos und Gesprächen mit Ortskundigen. Im zweiten Schritt wurden Pegeldata für unterschiedlich große Ereignisse ausgewertet und daraus die Modellparameter rückgerechnet. Im dritten Schritt wurden die Modellparameter an Ergebnissen von instationären zweidimensionalen hydrodynamischen Simulationen geeicht. Die Vorteile dieser Vorgangsweise bestehen darin, dass die Funktion des Systems (in diesem Fall die durchflussabhängige Wellenverformung) beschrieben werden kann, ohne die numerisch aufwändigen hydrodynamischen Berechnungen im Vorhersagesystem durchführen zu müssen; weitere Vorteile ergeben sich aus einer Plausibilitätsprüfung der Parameter. Aus einer Kombination der o. a. Belege ergibt sich für jeden Gewässerabschnitt eine Beziehung zwischen Modellparameter und Durchfluss, die dem Vorhersagesystem zugrunde gelegt wird.

Die Modellerstellung auf Basis von Belegen erfordert einen großen Arbeitsaufwand. Dieser Arbeitsaufwand besteht nicht in der Durchführung zahlreicher Simulationen und Minimierung einer Zielfunktion, sondern in einer detaillierten hydrologischen Interpretation und Argumentation der Konzeptionen. Vorwissen über die Eigenschaften hydrologischer Prozesse ist dafür Voraussetzung. Dieser Einsatz wird als notwendig erachtet, um die Modellstruktur und Modellparameter in einer plausiblen Weise zu bestimmen und damit ein für unterschiedliche Situationen zutreffendes Modell zu erhalten.

3 Simulation des Kraftwerksbetriebs

Die Kraftwerkskette im Kamptal besitzt insgesamt einen Nutzinhalt von 72 Mio. m³.

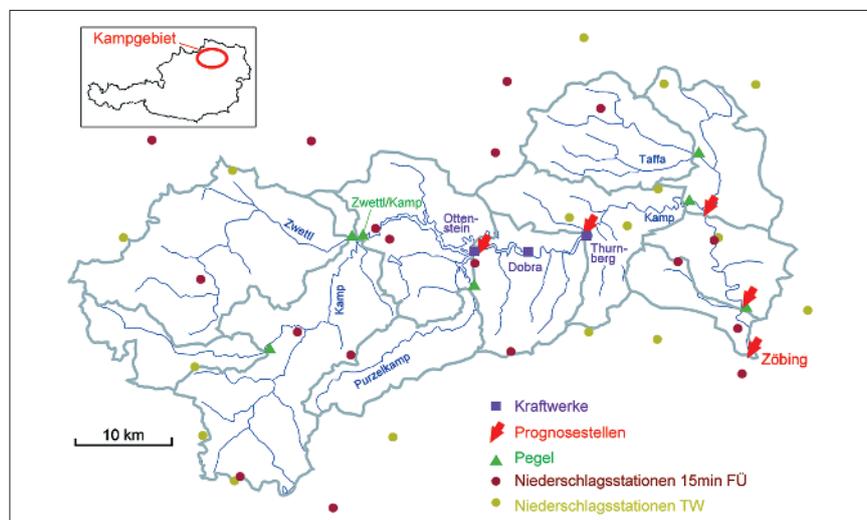


Bild 3: Situation des Kamptalgebietes (FÜ: fernübertragene Stationen; TW: Tageswerte, nicht fernübertragen; die Darstellung ist genordet)

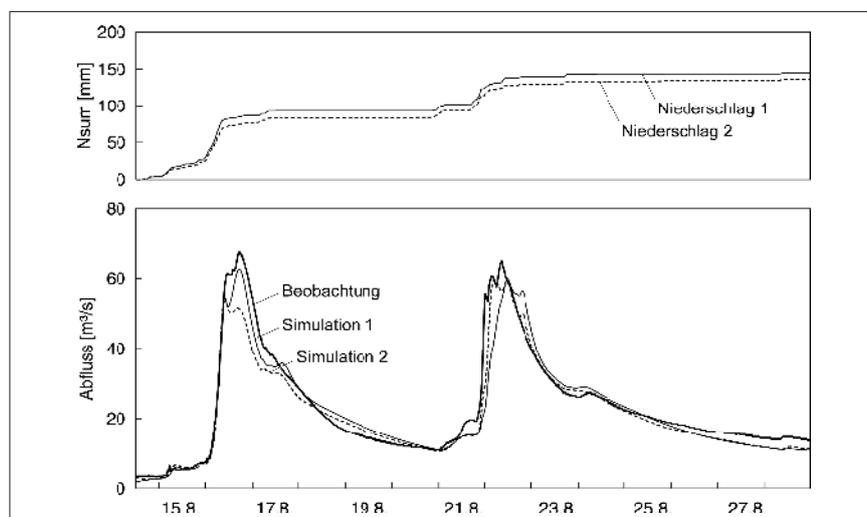


Bild 4: Abflusssimulationen im August 2005 für den Pegel Zwettl (622 km²) mit unterschiedlichen Ansätzen zur räumlichen Niederschlagsinterpolation: Simulation 1: Niederschläge der fernübertragenen Stationen, interpoliert unter Zuhilfenahme von Tagesstationen; Simulation 2: Niederschläge der fernübertragenen Stationen, interpoliert unter Zuhilfenahme von Radardaten

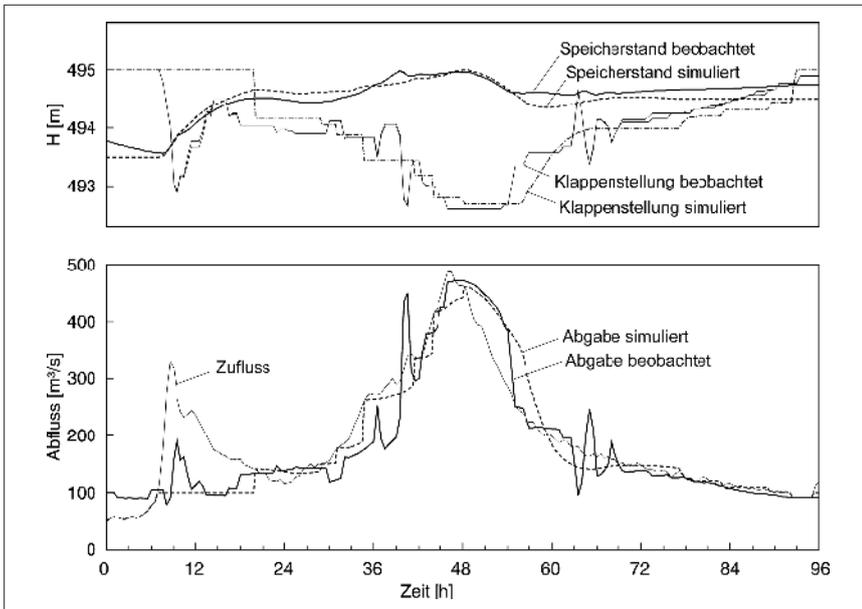


Bild 5: Simulation der Steuerung des Speichers Ottenstein für ein aufgetretenes Hochwasserereignis. Der obere Teil der Abbildung zeigt die Klappenstellungen (Niveau der Oberkante der Klappen) und den Wasserspiegel. Der untere Teil der Abbildung zeigt den Zufluss zum Speicher Ottenstein und die Abgabe

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 gibt der 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 den Betreiber. Zweitens erlaubt sie, den Einfluss der Kraftwerkskette auf die Vorhersageunsicherheit im Rahmen der Ensembleprognosen zu beschreiben. Drittens bietet das Simulationsmodell die Möglichkeit des Trainings des Betriebspersonals anhand von Szenarien unterschiedlicher meteorologischer und hydrologischer Situationen.

Bei der Simulation von Regelungsmaßnahmen handelt es sich um ein Optimierungsproblem, welches grundsätzlich physikalisch allein aus den Eingangsdaten (aktueller Stand des Stauspiegels, zukünftige Verfügbarkeit der Verschlussorgane und prognostizierter Zufluss über die nächs-

ten 48 Stunden) lösbar wäre [9]. In der Praxis berücksichtigt der Betreiber aber nicht nur wasserwirtschaftliche Aspekte, sondern auch energiewirtschaftliche Aspekte, wie den aktuellen Strompreis, und zusätzliche Nutzungsinteressen, wie etwa den Tourismus. Auch besitzt der Kraftwerksbetreiber Erfahrungen mit Prognosen und deren Bezug zur Betriebsituation. Deshalb wurde im vorliegenden Vorhersagesystem das Simulationsmodell auf einen Satz von Regeln aufgebaut, die die zu erwartende Betriebsweise des Betreibers in unterschiedlichen Situationen abbilden. Die Regeln wurden in einer iterativen Vorgangsweise ermittelt, in die der Kraftwerksbetreiber eingebunden war. Im ersten Schritt wurden vorläufige Regeln auf Basis der bisher praktizierten Betriebsführung im Hochwasserfall aufgestellt. Eine typische Regel etwa sieht vor, dass bei Unterschreiten eines verfügbaren Speichervolumens innerhalb der Prognosefrist die Abgabe auf einen bestimmten Wert erhöht wird. Zu diesen Regeln wurden Beispielrechnungen unter Verwendung der prognostizierten Zuflüsse zur Speicherkette und unter Berücksichtigung deren Unsicherheit durchgeführt. Im zweiten Schritt wurden diese Beispiele mit dem Betreiber diskutiert, um die Frage zu beantworten, ob der Betreiber bei Vorliegen einer Prognose die Verschlussorgane ähnlich der Simulation gesteuert hätte. Im dritten Schritt wurden die Regeln an die Betreibereinschätzung angepasst. Die Schritte wurden wiederholt, bis eine Übereinstimmung mit der Einschätzung des Betreibers erzielt wurde. Das Einbinden des Betriebspersonals besaß den zusätzlichen Vorteil, dessen Vertrauen in das Vorhersagesystem zu erhöhen.

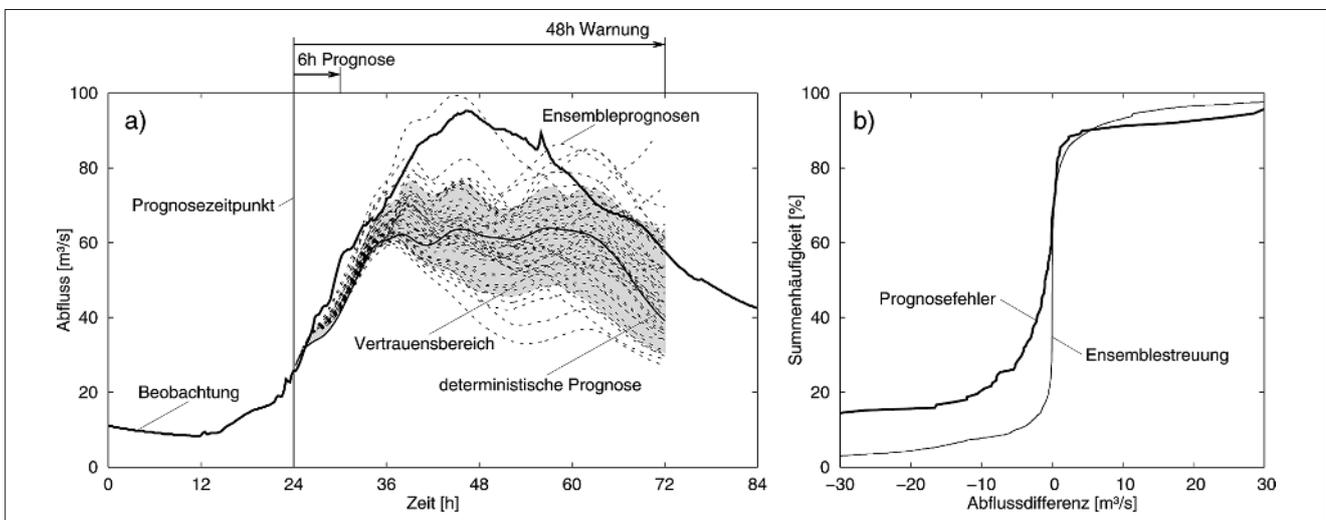


Bild 6: a) Ensemblevorhersagen des Abflusses im Juli 2005 für den Pegel Zwettl; b) Verteilungsfunktion der Vorhersagefehler und die Querverteilung der Ensemblevorhersagen für eine Vorhersagefrist von 12 Stunden für fünf Hochwasserereignisse am Pegel Zwettl (622 km²)

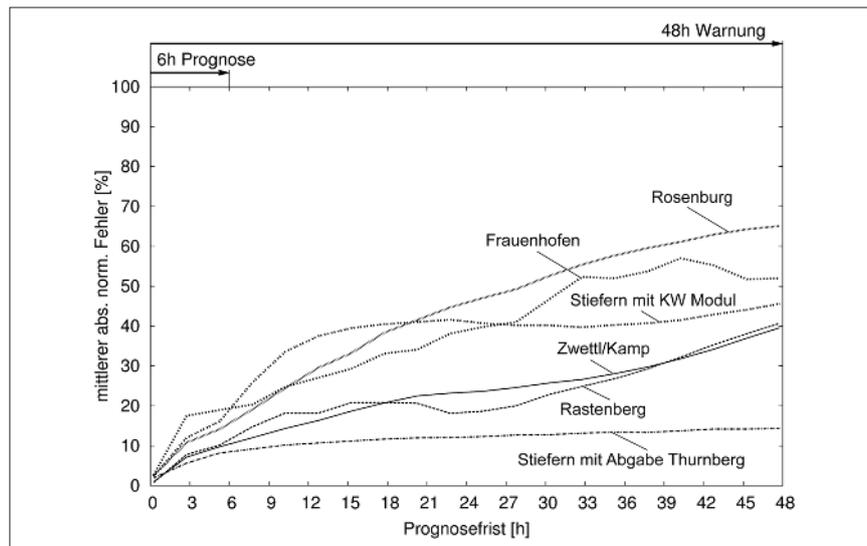


Bild 7: Mittlere Prognosegüte für mehrere Pegel im Kampgebiet, ausgewertet für fünf Hochwasserereignisse

Als Beispiel zeigt **Bild 5** die Simulationen für ein beobachtetes Hochwasserereignis am Speicher Ottenstein, bei dem die Hochwasserentlastung über Klappen ausgebildet ist. Liegt der Wasserspiegel oberhalb der Oberkante der Klappen, wird über die Klappen Wasser abgegeben. Im Diagramm ist eine gute Übereinstimmung zwischen den simulierten und tatsächlichen Klappenstellungen erkennbar. Lediglich am Beginn des Ereignisses schlägt das Simulationsmodell ein späteres Senken der Klappen vor.

4 Echtzeitprognose und Prognosegenauigkeit

Die Unsicherheit der Niederschlagsprognosen ist oft groß und wirkt sich besonders im Anstiegsbereich prognostizierter Hochwasserwellen aus, der für den Zivilschutz meist der Schwerpunkt des Interesses ist. Zur Abschätzung dieser Unsicherheit 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. **Bild 6a** zeigt ein Beispiel der Ensemblevorhersagen für den Pegel Zwettl am Kamp. Der Anstieg wird in diesem Beispiel bis zu einer Prognosefrist von 6 Stunden gut erfasst. Das ist der Bereich,

der im Wesentlichen von den beobachteten Niederschlägen beeinflusst wird. Für eine Prognosefrist größer als 6 Stunden unterschätzt die deterministische Prognose die Beobachtung, einzelne Ensemblemitglieder geben aber die beobachtete Abflusswelle über die gesamte Prognosefrist gut wieder. Der Streubereich weitet sich erst ab einer Prognosefrist von 6 Stunden auf, da erst dann die Ensembleprognosen des Niederschlages zum Tragen kommen.

Ensemble-Vorhersagen stellen primär einen Indikator der Unsicherheit dar. Es ist aber auch von Interesse, damit die Wahrscheinlichkeit der Ensemblerealisationen zu interpretieren. Eine Schwierigkeit besteht allerdings darin, dass derartige Ensembleprognosen meist die Unsicherheit der großräumigen Niederschläge, nicht jedoch die Unsicherheiten der kleinräumigen Niederschläge, z.B. zwischen den Stationen, und die Unsicherheiten des Abfluss-Modells beinhalten. Deshalb ist der von Ensemblevorhersagen ermittelte Streubereich meist kleiner als der tatsächliche Prognosefehler. **Bild 6b** zeigt einen Vergleich der Verteilungsfunktion der Ensembles mit der Verteilungsfunktion der tatsächlichen Prognosefehler für fünf Hochwasserereignisse. Der Vergleich unterstreicht deutlich, dass die tatsächlich zu erwartenden Fehler größer sind als es die Ensembleprognosen anzeigen, und er erlaubt damit eine Einordnung der Wahrscheinlichkeit der Ensembleprognosen.

Die Prognosefehler unterscheiden sich stark je nach Ereignis. Um allgemeine Aussagen über die Prognosegüte und sinnvolle Prognosefristen zu erhalten, wurden die Mit-

telwerte der mittleren absoluten normierten Fehler für die fünf größten im Datensatz enthaltenen Hochwasserereignisse für jeden Pegel berechnet (**Bild 7**). Für alle Pegel steigen die Prognosefehler markant mit der Prognosefrist an. Dies hängt mit der Kombination der Vorhersagemethoden zusammen. Für eine kurze Vorhersagefrist sind die Fehler klein, da die Wellenablaufmodelle am genauesten sind und die Nachführalgorithmen zusätzlich die Genauigkeit erhöhen. Die größten Fehler ergeben sich bei den längsten Vorhersagefristen und sind zum Großteil auf die Unsicherheit in den Niederschlagsprognosen zurückzuführen.

Interessant sind die Unterschiede zwischen den Pegeln: Die Gebiete Frauenhofen/Taffa (140 km²) und Rosenberg/Taffa (219 km²) liegen im Norden des Kampgebietes und besitzen durchwegs eher große Fehler (z.B. 20% Fehler bei 6 Stunden Vorhersagefrist). Die Gebiete Rastenberg/Purzelkamp (95 km²) und Zwettl/Kamp (622 km²) liegen im Westen des Gebietes und besitzen durchwegs deutlich kleinere Fehler (z.B. 10% Fehler bei 6 Stunden Vorhersagefrist). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Taffa das trockenere Gebiet entwässert, das sich hydrologisch stärker nicht-linear verhält. Typischerweise produziert ein 10%-Fehler des Niederschlages einen 20%-Fehler am oberen Kamp, jedoch einen 30%-Fehler an der Taffa. Außerdem trägt im Taffagebiet meist nur ein relativ kleiner Gebietsteil zum Abfluss bei; die räumliche Verteilung des Niederschlages genau zu erfassen, ist deshalb wichtiger. Für den Pegel Stiefern/Kamp (1 493 km²) unterhalb der Kraftwerkskette wurden zwei Varianten untersucht. Für die Variante unter Verwendung der Kraftwerksimulationen (KW-Modul) sind die Abweichungen von der beobachteten Abflussganglinie relativ groß, da die simulierte Steuerung nicht immer mit der vom Betriebsführer gewählten Betriebsweise der Kraftwerke übereinstimmte. Dies kann u. a. daran liegen, dass der Betriebsführer bei den untersuchten Ereignissen andere Kriterien (z.B. Strompreis) in die Steuerung einfließen ließ, als für große Hochwasser von Interesse sind. Bei Extremereignissen sind diese Abweichungen kleiner. Für die Variante unter Verwendung der geplanten Abgabe Thurnberg sind die Fehler hingegen sehr klein, da angenommen wird, dass die geplante Abgabe vom Betreiber auch tatsächlich abgeführt wird.

Wegen der Abnahme der Prognosegenauigkeit mit der Vorhersagefrist werden die deterministischen Vorhersagen über etwa

6 Stunden als Prognosen bezeichnet, die Vorhersagen für 48 Stunden hingegen als Warnindikatoren interpretiert, die die Möglichkeit eines Hochwassers anzeigen. Es bietet sich an, das Überschreiten eines Durchfluss-Schwellenwertes an Vorhersagestellen durch den oberen Vertrauensbereich der Ensemblevorhersagen als Warnkriterium heranzuziehen. Bei der Wahl der Warnschwellen ist zwischen den beiden Typen von Fehlwarnungen abzuwägen. Bei zu geringer Warnschwelle wird zwar oft eine Warnung ausgegeben, ein entsprechendes Ereignis tritt aber in vielen Fällen nicht ein. Bei zu hoher Warnschwelle wird hingegen in vielen Fällen keine Warnung ausgegeben, obwohl ein Ereignis eintritt. Durch geeignete Wahl der Warnschwelle kann die Summe dieser beiden Typen von Fehlalarmen unter Berücksichtigung der damit verbundenen Konsequenzen (Kosten, Akzeptanz der Vorhersagen durch die Öffentlichkeit) möglichst klein gehalten werden.

Jedes Modellergebnis ist nur so gut wie seine Eingangsdaten. Da im Hochwasserfall mit einem Ausfall oder Störungen gerechnet werden muss, ist die Schaffung von Redundanz in allen Systemkomponenten für die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems sehr wichtig. Das Prognosesystem wurde deshalb so ausgelegt, dass es – wenn notwendig – mit einem Minimum an Daten auskommt, um die Prognosesicherheit im Hochwasserfall zu maximieren, im Regelfall aber zusätzliche Daten verwendet, um die Prognosegenauigkeit zu maximieren. Jedenfalls erforderlich sind Niederschlags- und Lufttemperaturdaten bzw. Prognosen. Alle anderen Eingangsdaten (Abfluss, Kraftwerksdaten) sind optional. Bei Ausfall dieser Daten arbeitet das Abfluss-Modell ordnungsgemäß, allerdings ist mit einer reduzierten Genauigkeit zu rechnen. Seit Beginn des Jahres 2006 wird das Modell operationell im Kampgebiet eingesetzt. Das Modell wird für die Berechnung von Hochwasserprognosen (Vorhersagefrist von wenigen Stunden) sowie für die Warnung (Vorhersagefrist von bis zu 48 Stunden) herangezogen.

Danksagung

Die Studie wurde durchgeführt im Auftrag des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung und der Energieversorgung Niederösterreich AG. Die Autoren sind Prof. Dieter Gutknecht für die vielfältige Förderung des Projektes zu Dank verpflichtet.

Literatur

- [1] Gutknecht, D.; Reszler, Ch.; Blöschl, G.: Das Katastrophenhochwasser vom 7. Au-

gust 2002 am Kamp – eine erste Einschätzung. In: Elektrotechnik und Informationstechnik 119 (2002), S. 411–413.

- [2] Blöschl, G.: Prozeßnahe Niederschlag-Abflußmodellierung. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 48 (1996), S. 156–165.
- [3] Grayson, R. B.; Blöschl G. (Hrsg.): Spatial Patterns in Catchment Hydrology: Observations and Modelling. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- [4] Blöschl, G.: Rainfall-runoff modelling of ungauged catchments. In: Encyclopedia of Hydrological Sciences (2005), S. 2061–2080.
- [5] Reszler, Ch.; Komma, J.; Blöschl, G.; Gutknecht, D.: Ein Ansatz zur Identifikation flächendetaillierter Abfluss-Modelle für die Hochwasservorhersage. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 50 (2006), S. 220–232.
- [6] Parajka J.; Merz, R.; Blöschl, G.: Regionale Wasserbilanzkomponenten für Österreich auf Tagesbasis. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 57 (2005), S. 43–56.
- [7] Zehe, E.; Blöschl, G.: Predictability of hydrologic response at the plot and catch-

ment scales: Role of initial conditions. In: Water Resources Research 40 (2004), S. W10202.

- [8] Evensen G.: Sequential data assimilation with a nonlinear quasi-geostrophic model using Monte Carlo methods to forecast error statistics. In: Journal of Geophysical Research 99 (1994), S. 10143–10162.
- [9] Wurbs, R. A.: Reservoir-System Simulation and Optimization Models. In: Journal of Water Resources Planning and Management 119 (1993), S. 445–472.

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dipl.-Ing. Dr. Günter Blöschl

Dipl.-Ing. Christian Reszler

Dipl.-Ing. Jürgen Komma

Institut für Wasserbau und

Ingenieurhydrologie, TU Wien

Karlsplatz 13/222, A-1040 Wien

bloeschl@hydro.tuwien.ac.at



Anzeige

Wasser. Energie von Anfang an.



Die Schluchseewerk AG nutzt die natürliche Kraft des Wassers zur umweltfreundlichen Stromerzeugung, um Ihr Leben leichter, angenehmer und sicherer zu machen. Mit umweltfreundlichem Strom für Licht, Wärme und Produktivität.

Für weitere Informationen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung!

Schluchseewerk AG
Säckinger Straße 67, 79725 Laufenburg (Baden)
Tel. +49 77 63 92 78 - 0, Fax. +49 77 63 92 78 - 7 02 99
info@schluchseewerk.de · www.schluchseewerk.de



Schluchseewerk AG