

Practical experience with the Flood scenario catalogue Carinthia, a handbook for flood forecast and warning.

Praktische Erfahrungen mit dem Hochwasser-szenarienkatalog Kärnten, ein Handbuch zur Hochwasserprognose und –warnung

Johannes Moser, DI¹; Christian Kopeinig, DI¹; Kurt Rohner, DI¹

ABSTRACT

The flood scenario catalogue Carinthia is an expert system that helps to improve the quality and stability of flood forecasts during a flood event achieved by profound analyzes and numerous calculations beforehand. Results of thousands of simulations are collected in a database and displayed in a handbook by diagrams in a user friendly way. Thus, for experts it is possible to make well-founded statements about the future development of floods for a variety of forecasting problems. This is possible even without a computer and online model calculations, for example, when computational models are not available.

Typical questions during flood warning situations as: "What is the maximum discharge we have to expect? When and where is the peak of the flood? Where do we have to expect dangers due to the flood?" can be answered in good quality with support of this system.

KEYWORDS

Flood, flood warning, flood forecast, scenario catalogue, civil protection

ZUSAMMENFASSUNG

Der Hydrografische Dienst Kärnten betreibt für die Warnung der Bevölkerung, die Information von Behörden, Einsatzkräften und Mitarbeitern im Hochwassermanagement ein Hochwasserwarnservice mit Internetdienst und SMS Versand. Während eines Hochwassers müssen Entscheidungen dabei rasch und oft auch unter stressigen Bedingungen getroffen werden. Die Zuverlässigkeit der Einschätzung des weiteren Verlaufs des Hochwassers ist deshalb von großer Bedeutung.

Es wurde deshalb in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Wien, zusätzlich zum kontinuierlich betriebenen Niederschlags-Abflussmodell, ein Expertensystem entwickelt, das den Hydrologen im Hochwasserfall dabei unterstützt Prognosen in hoher Qualität und Stabilität zu erstellen (Moser, Kopeinig, 2006).

¹ Regional Government of Carinthia, Klagenfurt, AUSTRIA, johannes.moser@ktn.gv.at

Modellgestaltung, Kalibrierung, Auseinandersetzung mit beobachteten Hochwasserereignissen, Ermittlung von wesentlichen Hochwasserereignistypen und Szenarien nahmen zwar etliche Jahre in Anspruch, die dabei gewonnenen Erfahrungen und Kenntnisse sind für den Hydrologen aber von immensem Nutzen.

DATENGRUNDLAGE

Die Entwicklung des Hochwasserszenarienkataloges erforderte als ersten Schritt eine eingehende Analyse historischer Hochwasserereignisse. Dazu wurden ca. 10 Ereignisse pro Pegel, Großteils im Zeitraum 1980 – 2010 (einzelne große Ereignisse auch davor) ausgewählt, um typische Muster zu erkennen und mit den vorbereiteten Szenarien möglichst viele real ablaufende Hochwasserereignisse einschätzen zu können. Die Größe der Einzugsgebiete beträgt 75 bis ca. 5000 km².

In einem ersten Schritt wurden dafür aus den vorhandenen Daten von ca. 120 Niederschlags- und Temperaturmessstationen flächig interpolierte Niederschlags- und Temperaturverteilungen für ein Raster von 90 mal 228 km und einer Zellgröße von 1 km² berechnet. Die Interpolation erfolgte mittels Kriging Verfahren. Dies erfolgte von den 50er-Jahren des vorigen Jahrhunderts bis 1990 mit einer zeitlichen Auflösung von einem Tag, ab 1990 mit einem Zeitschritt von einer Stunde. Die Höhenabhängigkeit des Niederschlages wurde mit einem räumlich variablen, aber zeitlich fixen Höhengradienten berücksichtigt. Der Höhengradient der Temperatur wurde für jeden Zeitschritt aus den aktuell gemessenen Stationsdaten berechnet.

Aus den Gebietsverteilungen wurden für alle im Katalog erfassten Pegelstellen Ganglinien des mittleren Gebietsniederschlages, der Gebietstemperatur und des Gebietsregens berechnet. Für die Ermittlung des Gebietsregens wurde für jede Rasterzelle aufgrund der Temperatur eine Unterscheidung in Regen oder Schnee durchgeführt.

ANALYSE HISTORISCHER HOCHWÄSSER

Auf der Basis der berechneten Gebietsganglinien wurden für die wichtigsten Pegelmessstellen der Vorregen während der 10 Tage vor dem Hochwasserereignis, der Ereignisregen sowie das Volumen der Hochwasserwelle ausgewertet. Daraus konnte ein fiktiver Abflussbeiwert des Direktabflusses berechnet werden. Die Hochwasserereignisse wurden in einem „flow ratio“ – „Wasserdargebot“ Diagramm aufgetragen. Dabei ergab sich eine Clusterung in Abhängigkeit von der Vorfeuchte (Vorregen). Auf der Basis dieser Auswertungen und zusätzlicher Plausibilitätsüberlegungen wurden in den Diagrammen dann auch die für die Katalogsimulationen verwendeten „flow ratio“ Werte des Direktabflusses festgelegt. (siehe Abb. 1 auf Folgeseite)

Pegel Oberdrauburg / Drau - Direktabfluss

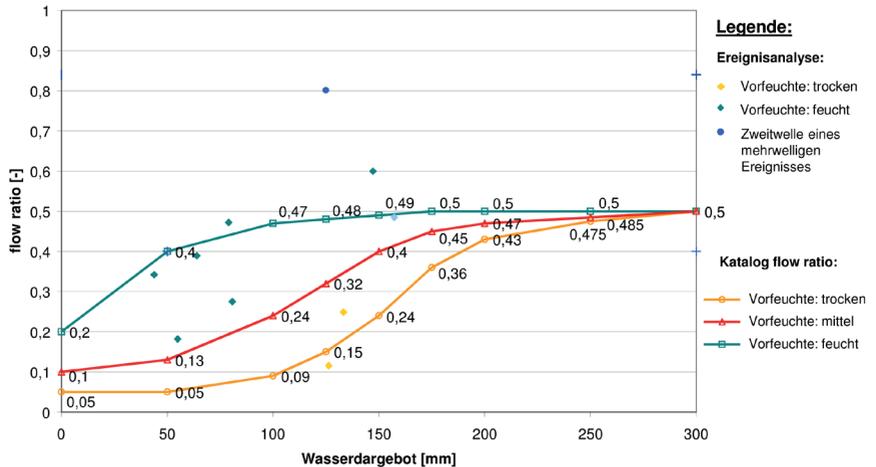


Abbildung 1: Pegel Oberdrauburg, Drau: Aus Eichereignissen rückgerechnete und für die Katalogsimulationen festgelegte flow-ratio Werte für den Direktabfluss und für den trockensten, mittleren und feuchten Ausgangszustand.

Zeitliche Muster der Niederschlagsverteilungen

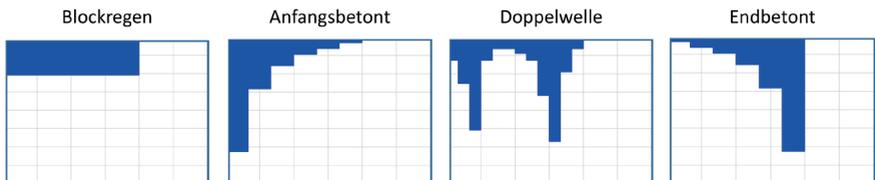


Abbildung 2: Gewählte zeitliche Muster der Niederschlagsverteilungen.

Räumliche Muster der Niederschlagsverteilungen

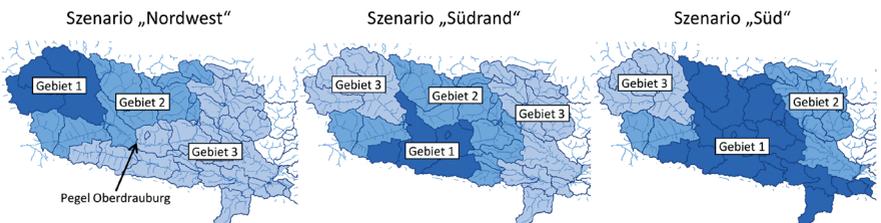


Abbildung 3: Festgelegte räumliche Muster der Niederschlagsverteilungen für das Flussgebiet obere Drau.

Zusätzliche Betrachtungen ergaben, dass die Niederschlagsintensität (Regendauer), sowie die zeitliche und räumliche Niederschlagsverteilung Einfluss auf die Hochwasserspitze ausüben, wobei bei der zeitlichen Verteilung des Niederschlags häufig folgende Muster beobachtet wurden: (siehe Abb. 2 auf Folgeseite)

Bei der räumlichen Verteilung der Niederschläge zeigte sich, dass kleinere Einzugsgebiete nicht unterteilt werden müssen, beim Haupteinzugsgebiet der Drau wurden folgende Muster beobachtet: (siehe Abb. 3 auf Folgeseite)

MODELLKONZEPT UND MODELLWAHL

Für die Simulation der Katalogszenarien wurde das Modell HEC-HMS des U.S.A.C.E verwendet. Die Berechnung erfolgte Ereignisbasiert mit einem 3-Speicher Ansatz (surface-flow/schnell, interflow/mittel, baseflow/langsam). Die Berechnung der Abflusskonzentration geschah mittels Clark – Verfahrens (Clark, 1943). Die Modellparameter wurden an die bei der Analyse historischer Hochwässer gewonnenen Werte angeeicht (Schindler, 2006). Der Wellenablauf im Gerinne wurde mit den Methoden der kinematischen Welle und des Muskingum – Cunge Verfahrens (Dyck, 1995) berechnet.

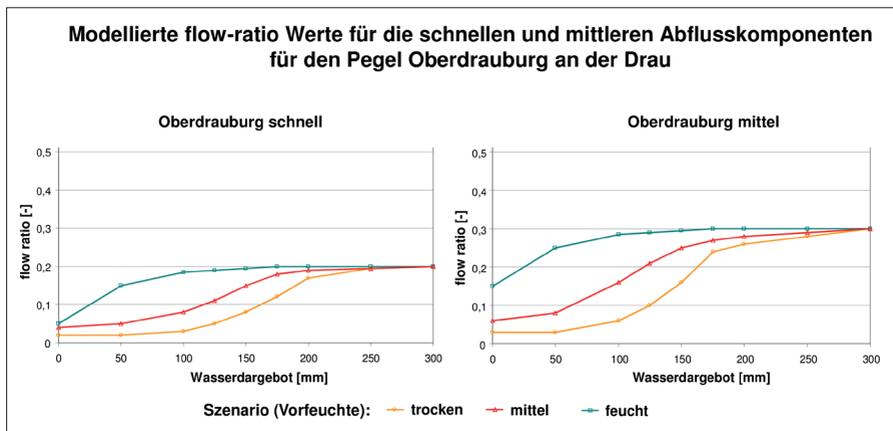


Abbildung 4: Pegel Oberdrauburg, Drau: Für die Katalogsimulationen festgelegte flow-ratio Werte für den schnellen und mittleren Abflussanteil und den trockensten, mittleren und feuchten Vorfeuchtezustand.

MODELLKALIBRIERUNG

Bei der Modellkalibrierung wurden, für eine begrenzte Zahl von Niederschlagsmustern (siehe Abb. 2 und Abb. 3), die in der Analyse der historischen Ereignisse gewonnenen flow-ratio Werte des Direktabflusses auf die Modellspeicher „schnell“ und „mittel“ aufgeteilt. Es wurden dabei für jeden Pegel, und für jede Abflusskomponente, Diagramme erzeugt,

aus denen der jeweilige „speicherspezifische flow ratio - Wert“, in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge und der Vorfeuchte im Einzugsgebiet, ablesbar ist.

HOCHWASSERSZENARIOENKATALOG

Der Hochwasserszenarien-katalog Kärnten stellt auf Basis der zuvor beschriebenen Modellierungen eine umfangreiche Zusammenschau der Hochwasserscheitel von möglichen Hochwasserszenarien für Kärnten dar.

Dabei wurden die Darstellungen in Diagrammen so gewählt, dass durch den Benutzer auch eine „visuelle“ Interpolation bzw. Extrapolation zwischen den Werten möglich ist.

Bei der grundlegenden Annahme einer räumlich gleichmäßigen Niederschlagsverteilung wurden 336 Szenarien pro Pegelmessstelle (7 Stufen der Niederschlagssumme, 4 Dauerstufen, 4 unterschiedliche zeitliche Verteilungen, 3 Zustände der Vorfeuchte) berechnet. Bei den Pegelstellen mit großem Einzugsgebiet wurden zusätzlich drei räumlich variierende Regenverteilungen untersucht (siehe Abb. 3), dadurch ergaben sich dann 1.344 Szenarien pro Messstelle. Insgesamt ergaben sich für 41 Pegel ca. 20.000 Simulationen bzw. Ergebnisse. Sämtliche Modellergebnisse wurden in einer Datenbank gespeichert und in Ergebnis- bzw. Katalogblättern dargestellt.

Bei dieser großen Anzahl an vorliegenden Berechnungen liegt es auf der Hand, dass für die erfolgreiche Anwendung des Szenarienkataloges die praxisgerechte Aufbereitung der Daten von entscheidender Bedeutung ist.

Die Katalogszenarien wurden deshalb in den für den praktischen Einsatz vorgesehenen Diagrammen nach folgenden Merkmalen gegliedert:

- Niederschlagshöhe: Die Summe aus Niederschlag und Schneeschmelze im Laufe eines Ereignisses [mm] in Stufen von 25 bzw. 50 mm. Die Schneeschmelze wird dem parallel betriebenen Niederschlag-Abflussmodell entnommen oder vereinfacht abgeschätzt.
- Niederschlagsdauer: Dauer des Ereignisniederschlags in Stunden [h]. Für alle Einzugsgebiete wurden folgende Dauerstufen gewählt: 12 h, 24 h, 48 h und 72 h
- Vorbefechtung: Beschreibung des Ausgangszustandes bei Beginn eines Ereignisses bezogen auf die Bodenfeuchte.
- Zeitliches Muster der Niederschlagsverteilung (Blockregen, Anfangsbetont, Doppelwelle, Endbetont), jeweils ein eigenes Blatt.
- Räumliche Muster der Niederschlagsverteilung (bei großen Einzugsgebieten), jeweils ein eigenes Blatt.

ANWENDUNG DES SZENARIENKATALOGES

Wie in den Beispieldiagramm für den Pegel Krottendorf/Lavant zu sehen ist (Abbildung 5), sind die Abflussspitzen Q_{Max} der Hochwasserszenarien als kleine Rechtecke für bestimmte Niederschlagsmengen, Niederschlagsdauern und Bodenfeuchtezustände dargestellt. Sie sind

Hochwasserszenarienatalog: Pegel Krottendorf / Lavant - Doppelwelle

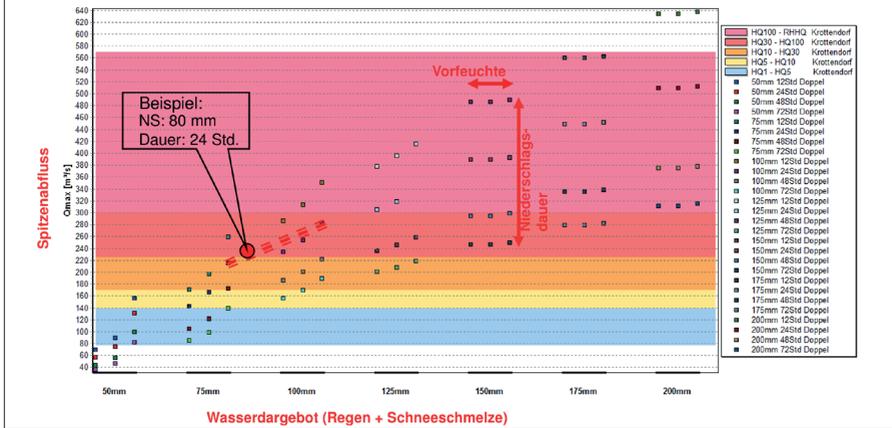


Abbildung 5: Katalogdiagramm für den Pegel Krottendorf / Lavant für das Szenario Doppelwelle.

entsprechend der Modellsimulation als Scheitelwerte von zu erwartenden Hochwasserabflüssen zu verstehen.

Wichtigste Eingangsgröße ist die prognostizierte Niederschlagsmenge. Diese wird in der Regel vom Wetterdienst als Gebietsniederschlagshöhe für die einzelnen Regionen bekanntgegeben. Für jede Niederschlagsmenge wird im Diagramm horizontal nach der Vorbefeuchtung (von links nach rechts: trocken, mittel, feucht) und vertikal nach der Niederschlagsdauer (von oben nach unten: 12, 24, 48, 72 Stunden) unterschieden. Für die verschiedenen zeitlichen Niederschlagsverteilungen (Blockregen, Anfangsbetont, Endbetont, Doppelwelle) gibt es jeweils ein eigenes Blatt, bei Stationen mit räumlicher Unterteilung gibt es zusätzlich eigene Blätter pro Verteilung. Das Diagramm lässt auch eine visuelle Interpolation zwischen den Katalogwerten zu. Unterschiedliche Szenarien mit veränderten Eingangsgrößen können rasch abgeschätzt werden (Moser, Kopeinig, 2009).

Zur Einordnung der Hochwasserscheitel nach der Aufttrittswahrscheinlichkeit bzw. Jährlichkeit wurde der Diagrammhintergrund entsprechend den Hochwasserkennwerten eingefärbt. Wie man dem Diagramm entnehmen kann, kann ein und dieselbe Niederschlagsmenge durch unterschiedliche Kombinationen von Niederschlagsdauer, zeitlichen Verlauf und Bodenfeuchte stark variierende Spitzenabflüsse bewirken. Allgemein ist erkennbar, dass mit zunehmender Niederschlagssumme der Einfluss der Vorfeuchte abnimmt.

Zusätzlich zur analogen Form des Kataloges wurde ein Softwareprogramm entwickelt welches es erlaubt anhand von Filterkriterien wie Niederschlagssumme, Vorfeuchte, Dauer, räumliche und zeitliche Verteilung für eine Station schnell die passenden Katalogszenarien zu

Tabelle 1: Ausschnitt aus der generellen Gefährdungsliste für die Lavant.

Generelle Gefährdungsliste Lavant

Pegel Fischering

HQ-Kateg.	Gemeinde	Gefährdung	Typ	Beschreibung	Lageplan	W-Ber. Pegel	WPegel ~cm
HQ10-HQ30	Sankt Andra	Mittel	Einzelobjekt	Objekt südlich Mettersdorf nach Eisenbahnbrücke	LP 19	415 - 495	460
HQ10-HQ30	Sankt Paul im Lavanttal	Mittel	Freiland	Freilandausuferungen Mettersdorf - St.Paul	LP 20	415 - 495	475
HQ10-HQ30	Sankt Paul im Lavanttal	Sehr hoch	Siedlung	St.Paul, Teile Nordsiedlung bis Granitzbach	LP 21	415 - 495	485
HQ30-HQ100	Wolfsberg	Sehr hoch	Siedlung	Wolfsberg flußnahe Siedlungsbereiche (Nord - Süd)	LP 13	495 - 520	515
HQ30-HQ100	Sankt Andra	Hoch	Siedlung	Teile von St.Andra - Blaiken	LP 16	495 - 520	515
HQ30-HQ100	Sankt Andra	Sehr hoch	Siedlung	Teile von Mettersdorf	LP 17	495 - 520	520
HQ30-HQ100	Sankt Paul im Lavanttal	Hoch	Einzelobjekt	Einzelobjekte St.Paul, nach Granitzbach	LP 21	495 - 520	520
HQ100-RHHQ	Sankt Paul im Lavanttal	Sehr hoch	Siedlung	St.Paul, Nord-Ost, große Teile	LP 21	520 - 550	525
HQ100-RHHQ	Wolfsberg	Sehr hoch	Siedlung	Wolfsberg Große Teile, bis Kleinedling	LP 13	520 - 550	525

Pegel Krottendorf

HQ-Kateg.	Gemeinde	Gefährdung	Typ	Beschreibung	Lageplan	W-Ber. Pegel	WPegel ~cm
HQ10-HQ30	Lavamünd	Sehr hoch	Gewerbe/Indu	Teile Sägewerk Cimenti	LP 25	390 - 430	415
HQ10-HQ30	Sankt Paul im Lavanttal	Sehr hoch	Siedlung	St.Paul, Teile Nordsiedlung bis Granitzbach	LP 21	390 - 430	425
HQ30-HQ100	Lavamünd	Sehr hoch	Einzelobjekt	Einzelobjekte Lavamünd Nord	LP 26	430 - 480	390
HQ30-HQ100	Lavamünd	Hoch	Siedlung	Siedlung Lavantschleife	LP 25	430 - 480	450
HQ100-RHHQ	Lavamünd	Sehr hoch	Siedlung	Teile von Ettendorf	LP 24	480 - 665	485
HQ100-RHHQ	Sankt Paul im Lavanttal	Sehr hoch	Siedlung	St.Paul, Nord-Ost, große Teile	LP 21	480 - 665	490
HQ100-RHHQ	Lavamünd	Sehr hoch	Siedlung	Lavamünd Ort	LP 26	480 - 665	505

finden. Innerhalb dieses „Digitalen Szenarienkataloges“ können gemessene und simulierte Ganglinien des Gebietsniederschlages und des Abflusses auch visualisiert werden, was eine gute Einschätzung des Weiteren zeitlichen Verlaufes eines Hochwasserereignisses erlaubt.

GEFÄHRDUNGSLISTEN

Um auch Auskunft über Auswirkungen und mögliche Gefährdungsbereiche geben zu können, ergänzen sogenannte Gefährdungslisten den Szenarienkatalog (siehe Tab. 1 auf Folgeseite). Darin sind, geordnet nach der Jährlichkeit des gefährdenden Abflusses, tabella-

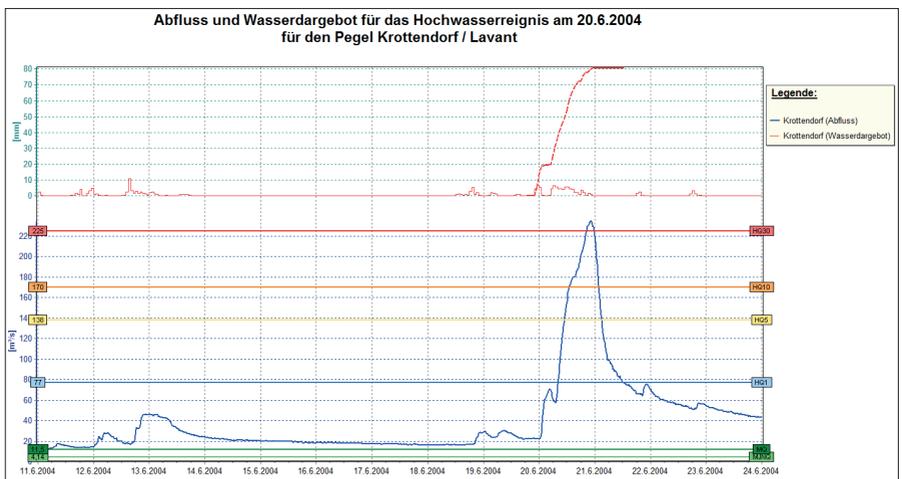


Abbildung 6: Verlauf von Abfluss und Wasserdargebot für den Pegel Krottendorf / Lavant für das Hochwasserereignis am 20.6.2004.

Tabelle 2: Kennwerte des Hochwasserereignisses am Pegel Krottendorf / Lavant am 20.6.2004.

Parameter	Wert	Einheit	Zusatz
Niederschlag _{-1 Monate}	180	[mm]	
Niederschlag _{Ereignis}	80	[mm]	
Dauer	~ 24	[Stunden]	
Q _{Ausgang}	22	[m³/s]	> MQ (12,2)
Q _{Max}	235	[m³/s]	~ HQ₃₀
V _{HW-Welle}	18.900.000	[m³]	
Abflussbeiwert	0,25		

risch kritische Bereiche aufgelistet. Sind also die Spitzenabflüsse mit Hilfe des Szenarienkataloges abgeschätzt, können die damit verbundenen Gefährdungsbereiche schnell genannt werden.

EREIGNISANALYSE UND DOKUMENTATION

Der Katalog wurde in den Jahren 2003 bis 2010 erstellt und kommt seither im Rahmen des Hochwasserwarnservices mehrmals pro Jahr zum Einsatz. Die fortlaufende Analyse und Dokumentation von aktuellen Hochwasserereignissen ist dabei ein wesentlicher Bestandteil zur Validierung des Kataloges. Auswirkungen von Unsicherheiten in der Datenlage und die Qualität der Simulationsberechnungen sollen durch die Ereignisanalysen aufgezeigt werden. Ziel ist eine laufende Verbesserung der Abschätzungsgenauigkeit der Hochwasserwelle. Zur Erlangung von Routine und Erfahrung im Umgang mit dem System ist die Ereignisanalyse ebenfalls hervorragend geeignet.

Allgemein kann nach mehr als 5 Jahren Anwendungserfahrung gesagt werden, dass die Güte der Prognosen mit jenen des parallel betriebenen numerischen Modells vergleichbar ist.

BEISPIEL: HOCHWASSER AN DER LAVANT IM JUNI 2004

- Zeitliches Niederschlagsmuster: schwach ausgeprägte Doppelwelle (auch Blockszenario möglich), Niederschlagsfront mit eingelagerten Gewittern.
 - Wasserdargebot gleich Niederschlag (kein Schneeeinfluss): ca. 80 mm.
 - Niederschlagsdauer: ca. 24 Stunden.
 - Ausgangszustand / Bodenfeuchte: feucht (180 mm Regen im Vormonat, Abfluss ~ 2 x MQ)
- Katalogabschätzung laut Hochwasserkatalogblatt für den Pegel Krottendorf (siehe Abbildung 5) ergibt eine Abflussspitze von ca. 220 m³/s oder ca. HQ₄₀.
- Die gemessenen Abflüsse waren mit 235 m³/s etwas höher als im Katalogszenario „feucht“, wahrscheinlich aufgrund eingelagerter Gewitterzellen und ungleichmäßiger Regenverteilung.

ZUSAMMENFASSUNG:

Die Anwendung des Hochwasserszenarienkataloges ist für den Hydrographischen Dienst Kärnten mittlerweile zur Routine geworden. Der Katalog ist eine äußerst wertvolle Expertise, die viele Informationen und Ergebnisse auf Basis von Modellrechnungen beinhaltet und den Experten in „bedrängten“ Zeiten fachlich in seiner Bewertung und Entscheidung unterstützen kann. Der Katalog schafft einen raschen und vielfältigen Überblick über mögliche Hochwasserszenarien auf Basis von Gebietsniederschlagsprognosen und ist in seiner Anwendung doch einfach gehalten.

Eine fortlaufende Evaluierung von Hochwasserereignissen und Katalogergebnissen ist gefordert um den Umgang mit dem Katalog und den damit verbundenen Unsicherheiten zu lernen, und falls erforderlich den Katalog zu adaptieren bzw. zu ergänzen.

REFERENZEN

- Moser, Kopeinig (2006): Hochwasserwarnung in Kärnten, Wiener Mitteilungen, Band 199, S 23-38.
- Moser, Kopeinig (2009): Hochwasserwarnung in Kärnten – ein Praxisbeispiel, Wiener Mitteilungen, Band 216, S213-230.
- Clark (1943): Storage and the unit hydrograph, Proc. ASCE Vol. 9.
- Dyck (1995): Grundlagen der Hydrologie.
- Schindler (2006): Modifikation des HEC-HMS Modells im Rahmen der Entwicklung eines Hochwasserprognosemodells. Diplomarbeit, TU Wien.