

Peter Homagk und Karl Ludwig

Operationelle Flutungsvorhersage bei Deichversagen am Rhein in Baden-Württemberg

Deichbrüche am Rhein sind bei extremem Hochwasser und bei technischem Deichversagen möglich. Ihre Seltenheit steht großräumigen Überflutungsgebieten landseits der Deiche und einem hohen Schadenspotenzial gegenüber. Anders als bei nicht eingedeichten Flüssen fehlen sowohl den dadurch Betroffenen als auch den Hilfsmannschaften Erfahrungen zu Ausmaß, Ablauf und zeitlichem Verlauf solcher Flutungen. Hochwasserbewusstsein, Hinweise auf Vorsorgemaßnahmen oder Einsatzplanungen für den Ernstfall sind für größere Gebiete hinter Deichen bisher meist nicht gegeben. Zur Verbesserung dieser Situation wurde für die baden-württembergische Rheinstrecke zwischen Iffezheim und der hessischen Landesgrenze bei der Hochwasser-Vorhersage-Zentrale Baden-Württemberg (HVZ) der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (LUBW) ein operationelles Flutungsmodell installiert. Es basiert auf einem vereinfachten, schnell rechnenden 2-D-Strömungsmodell. Die damit verbundenen Vorhersageprobleme werden hier diskutiert.

1 Einleitung

Für das Gebiet der Oberrheinischen Rheinniederung in Baden Württemberg zwischen der Staustufe Iffezheim und der hessischen Grenze (ca. 100 km) sind eine Reihe von Überflutungssimulationen mit

2-D-instationären Strömungsmodellen durchgeführt worden, die in erster Linie zur Erstellung von Hochwassergefahrenkarten verwendet wurden. Damit stehen erstmals in diesem Rahmen plausible Überflutungsszenarien zur Verfügung, die neben der Nutzung als Hochwasserge-

fahrenkarten auch als Szenarien für mögliche Gefährdungsfälle mit benutzt werden können.

Da als Grundlage dieser Simulationen ein vereinfachtes, schnell rechnendes 2-D-instationäres Strömungsmodell systematisch verwendet wurde, nicht zuletzt um die große Anzahl von erforderlichen Simulationen bewältigen zu können, ergibt sich damit die Möglichkeit, dieses Modell auch zur operationellen Vorhersage von Flutungsvorgängen als Folge von Deichbrüchen (**Bild 1**) zu verwenden.

Während bei den Hochwassergefahrenkarten Gefährdungen durch Hochwasser in der Rheinebene von Schwarzwald- und Odenwaldzubringern, der Murg, dem Neckar und dem Rhein berücksichtigt wurden, werden im operationellen Flutungsmodell nur Flutungen vom Rhein her berücksichtigt.

Auf der gesamten Strecke des Flutungsmodells sind als Hochwasserschutzrichtungen entlang des Rheines sogenannte Rheinhauptdämme vorhanden. Deren Bezeichnung als „Dämme“ hat historische Gründe, sie werden hier in weiterer Folge als „Deiche“ bezeichnet.



Bild 1: Deichbruch am Oberrhein im Bereich Karlsruhe (Wasserwirtschaftsamt Karlsruhe)

Oberhalb der Staustufe Iffezheim ist die Gefahr von Deichbrüchen erheblich geringer, weil in der ausgebauten Rheinstrecke bis auf die kurzen „Restrheinstrecken“ der ersten drei Schlingen Kraftwerksdämme vorhanden sind, die auf erheblich seltenere Hochwasserereignisse ausgelegt sind als in der „freien Rheinstrecke“ (nördlich von Iffezheim).

Damit künftig die Wirkung von Deichbrüchen auf den weiteren Hochwasserverlauf im Rhein und die binnenseitige Flutungsausbreitung operationell in die Vorhersagen der HVZ eingerechnet werden können, wurde das operationelle Flutungsmodell im Herbst 2008 bei der HVZ implementiert. Dies konnte erfolgen, da bei der HVZ Baden-Württemberg bereits langjährige Erfahrungen und moderne Infrastrukturen für die Vorhersagen für den Rhein bzw. für dessen Nebenflüsse vorhanden sind, und eine Anbindung an internationale Vorhersagen und ein Informationsfluss zu den Rheinunterliegern langjährige Routine ist [1], [2], [3].

Die operationelle Vorhersage der HVZ von Flutungsvorgängen nach Deichbrüchen der Rheinhauptdämme wird in weiterer Folge als „Flutungsvorhersage“ bezeichnet.

2 Art und Umfang möglicher Überflutungen

Bei Flutungen als Folge von Deichbrüchen vom Rhein her muss auf der baden-württembergischen Rheinstrecke zwischen Iffezheim und hessischer Landesgrenze in etwa von folgenden Gegebenheiten ausgegangen werden:

- Die Durchflussleistungen von Deichbreschen an Rheindämmen können durchaus mehrere 100 m³/s betragen.
- Auf der insgesamt ca. 100 Kilometer langen Strecke zwischen Iffezheim und hessischer Grenze sind Überflutungen vom Rhein her nur in der Rheinniederung, d. h. bis zum sogenannten Hochgestade möglich.
- Dabei kann hier nicht eine durchgehende Fläche überflutet werden, sondern die überflutbare Fläche ist durch Querbauten, wie Dämme von Zubringer-Gewässern, die im „Hochsystem“ die Rheinebene durchqueren, und durch Verkehrswege, wie Straßen und Bahnlinien, unterbrochen.
- Es wird derzeit davon ausgegangen, dass für eine Flutung einzelner Teilflächen,

die z. T. beachtliche Größen haben (ca. 25 bis 125 km²), eine gewisse Entlastung im Rhein selbst stattfindet.

- Für die einzelnen Teilflächen können die Zeiten bis zur maximalen Füllung in etwa 3 bis 6 Tage betragen.

Bekanntlich soll am Oberrhein der Hochwasserschutz wieder hergestellt werden, wie er vor dem Rheinausbau vorhanden war. Dies wird durch zahlreiche Hochwasserschutzmaßnahmen in Baden-Württemberg, Frankreich und Rheinland-Pfalz erreicht [4]. Durch eine optimierte Steuerung soll erreicht werden [5], [6], dass bei Hochwasserereignissen bis zu einem 200-jährlichen Ereignis ein Abfluss von 5 000 m³/s oberhalb und 6 000 m³/s unterhalb der Neckarmündung nicht überschritten wird. Infolge frühzeitiger notwendigen Entleerungen muss damit gerechnet werden, dass im Scheitelbereich des Rheins bei Extremhochwasser sehr flache, lang auf hohem Niveau andauernde Wellen (Scheitelbereich mit Dauer mehrerer Tage) auftreten können bzw. werden, die auch in der Lage sind, Überflutungsräume landseits der Reinhauptdämme ganz oder weitgehend zu füllen.

3 Modellgrundlagen

3.1 Modellgrundlagen – Rechenverfahren

Als vereinfachtes, instationäres 2-D-Modell wird für die Flutungsvorhersage bei der HVZ das Programm FLUMORE (FLUTungsMOdellierungRhEinebene) eingesetzt [7].

Genau genommen handelt es sich bei FLUMORE um ein kombiniertes 1-D-/2-D-Modell, das einen Diffusive-Wave-Ansatz benutzt, d. h. genau genommen wird in der Hydraulik nur die Sohlenreibung verwendet.

Diese grobe Näherung wird in erheblichem Ausmaß durch „Bauwerksfunktionen“ für Objekte mit großen Fließgeschwindigkeitsunterschieden (z. B. Durchlässe, Überfälle, Aufweitungen, Einengungen, Deichbreschen) kompensiert.

FLUMORE ist weiterhin ein Finite-Volumen-Modell, bei dem Knotendaten für Flächen nach Veroni-Parkettierung und hydraulische Berechnungen entlang von Kanten gelten. Im Übrigen handelt es sich dabei um ein implizites Verfahren mit Begrenzung der pro Zeitschritt zulässigen Wasserstandsänderung und einer speziellen Strategie zur Steuerung der Berechnungszeitschritte.

Modellergebnisse sind zeitabhängige Wasserspiegelhöhen, Wassertiefen, Fließgeschwindigkeiten und -richtungen.

Mit FLUMORE ist eine wesentliche Voraussetzung für die operationelle Anwendung des Flutungsmodells geschaffen: Für die in Abschnitt 2 genannten Teilflächen je nach deren Größe bzw. Komplexität liegen die Rechenzeiten für die Überflutungssimulation bzw. Vorhersage in einer Größenordnung von 2 bis 5 % der realen Überflutungszeit bei Berechnung auf einem konventionellen PC. Damit ist eine operationelle Vorhersage der Ausbreitung der Überflutungen bei einem Deichbruch möglich.

3.2 Modellgrundlagen – Geländedaten

Zur Erfassung der Topographie in potenziellen Überflutungsgebieten stand flächendeckend ein detailliertes digitales Geländemodell im 1-m-Raster aus einer Laserscanner-Befliegung zur Verfügung, zusätzlich für einen geringen Anteil der Gesamtfläche ein 0,5-m-DGM (z. B. für das Stadtgebiet Mannheim). Weiterhin wurden Profildaten für Gewässer und Abmessungen hydraulisch wirksamer Bauwerke aus vorhandenen Unterlagen der Wasserwirtschaftsverwaltung und aus Vermessungen entnommen.

Für das Modell-Netzwerk, das aus Dreiecks- und Viereckselementen besteht, wurden maximale Kantenlängen von im Mittel etwa 50 Metern angestrebt. Nahe von hydraulisch wesentlichen Topographieelementen oder Bauwerken ist nach Bedarf ein z. T. erheblich feineres Netzwerk zugrundegelegt worden. Rauheitseigenschaften von Element-Gruppen sind anhand digitaler Luftbilder aufgrund von Erfahrungswerten abgeschätzt worden.

3.3 Modellgrundlagen – Vorhersage

Aufgrund der maximalen Kantenlängen können Deichbrüche in den Rheinhauptdämmen lagemäßig auf mindesten etwa 50 m genau in die Vorhersage eingeführt werden. Die übrigen Antriebsdaten für die Vorhersage, wie z. B. gemessene, gerechnete oder vorhergesagte Rheinabflüsse in ihrer zeitlichen Verteilung und die daraus abgeleiteten Wasserstandsdaten, stehen in der HVZ bei Hochwasser in ausreichender Dichte entlang der Rheinhauptdämme zur Verfügung.

Breschen-Durchflussleistungen werden vorab geschätzt und in weiterer Folge während des Verlaufs der Flutungsvorhersage anhand von Beobachtungsdaten im Flutungsgebiet berichtigt bzw. genauer spezi-

fiziert. Die allgemeine Vorgehensweise dazu wurde bereits in einem früheren Aufsatz beschrieben [8].

Damit wird für die operationelle Flutungsvorhersage eine adaptive Anpassung des berechneten Flutungsvorganges bezüglich der tatsächlichen Durchflussleistung an der Deichbresche möglich und die Vorausberechnung des Flutungsvorganges kann adaptiv-dynamisch verbessert werden.

Dies wird in Zukunft so erfolgen, dass bei einem drohenden Deichbruch (in dem Augenblick, wenn der Breschenort einer

unter Umständen noch nicht erfolgten Bresche wahrscheinlich ist), mehrere PC parallel Vorhersagen für geschätzte (gestaffelte) Breschenleistungen durchführen und bei einer erfolgten Deichbresche über Meldungen aus dem Binnenland (an ausgewählten Stellen, wie z. B. bei einer etwas erhöhten Überströmung von erhöhten Straßendämmen oder durch Schätzungen in Durchlässen von Verkehrsverbindungen) entschieden werden kann, welche der parallelen Vorhersagen dem augenblicklich in der Natur auftretenden Flutungsvorgängen am ehesten entspricht. Damit

wird eine möglichst gute Anpassung an den Zeitbezug des realen Überflutungsvorganges erreicht.

Ein Beispiel für eine solche (offline) simulierte Flutungsvorhersage ist in **Bild 2** für eine fiktive Deichbresche enthalten. Es zeigt die Ausdehnung der Überflutung nach 1, 3 und 6 Stunden und die Höhenlage von Wasserspiegellagen im jeweiligen Überflutungsgebiet. Bereits in diesem Stadium sind mehrere Ortslagen überflutet.

Nach etwa 2 Tagen erreicht die Überflutung den durch ein Sperrtor vor Rheinhochwasser geschützten Rheinhafen Karlsruhe in etwa 13 km Entfernung von der Bresche und flutet diesen von der Landseite her. Nach 3 bis 4 Tagen wird das nördlich davon in 15 bis 18 km Entfernung liegende Raffineriegelände überflutet und das Wasser gelangt schließlich nach etwa 5 Tagen in 22 km Entfernung von der Bresche wieder in den Rhein.

Bild 3 zeigt den Verlauf einer Hochwasserganglinie am Pegel Maxau ohne und mit Einfluss einer Deichbresche wie in Bild 2.

4 Unterschiedliche Zwecke der Flutungsvorhersage

Die Vorhersage von Flutungsvorgängen als Folge von Rheindeich-Breschen erfolgt aufgrund unterschiedlicher Interessenslagen.

Die Wassermenge, die durch die Stelle des Deichbruchs fließt, wird im Synoptischen Modell, mit dem die Abflussvorhersage für den Rhein berechnet wird, vom Rheinabfluss abgezogen. Aufgrund der Möglichkeit zur Rückrechnung der tatsächlichen Breschenleistung über das operationelle Flutungsmodell (s. oben) ergibt sich neben dieser für die Flutungsvorhersage auf der Landseite von Deichen ganz wesentlichen Durchflussangabe auch die Möglichkeit, diese Breschenleistung auch als Ausleitung im Vorhersagemodell für den Rhein zu berücksichtigen. D. h. im Fall eines Deichbruchs wird dieser auch in der Rhein-Abflussvorhersage mit seinen hydraulischen Eigenschaften als zeitabhängige Verminderung des Rhein-Hochwasserdurchflusses in der Rhein-Abflussvorhersage korrekt berücksichtigt.

Nach Vollerfüllung des entsprechenden landseitigen Flutungsbereiches rinnt Wasser wieder über die Dämme, durch einen weiteren Deichbruch oder über eine künstliche Öffnung des Deiches an geeigneter

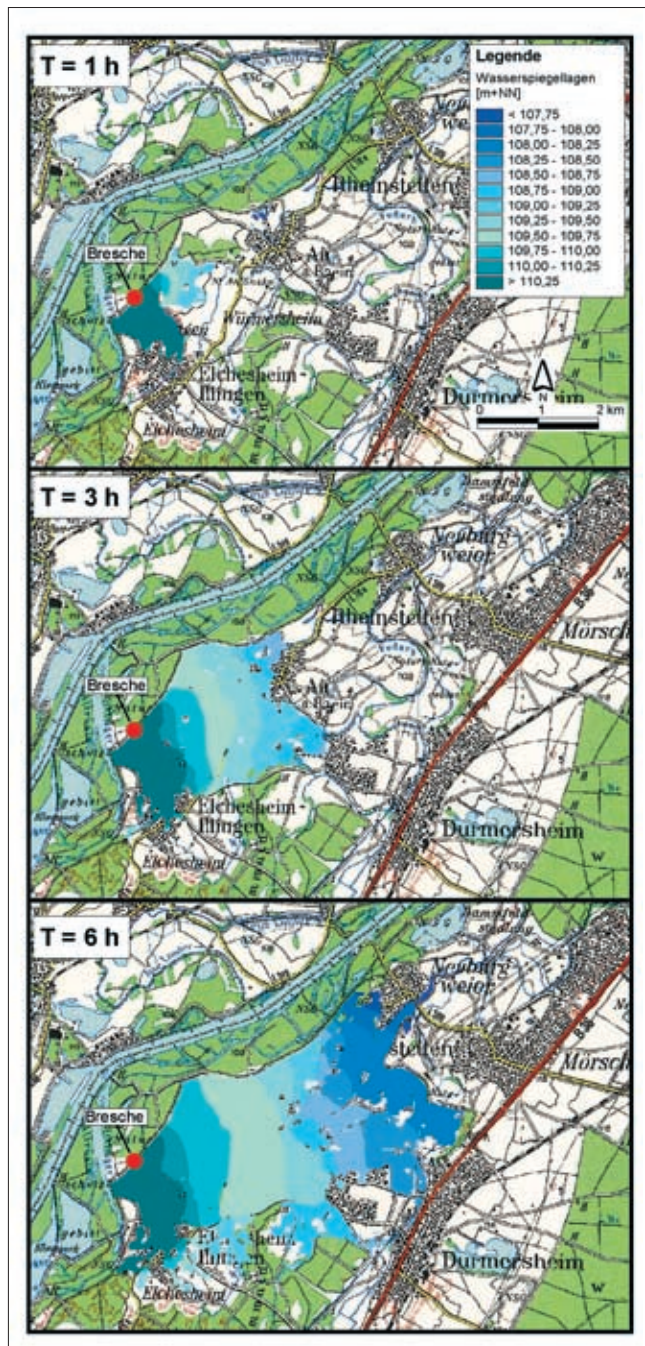


Bild 2: Ausbreitung einer Deichbruch-Flutwelle (Beispiel für drei Zeitschritte; Grundlage [11])

Stelle (Rückströmbresche) in den Rhein zurück. Die zeitabhängige Durchflussganglinie der Rückströmung ist ein Rechenergebnis des Flutungsmodells und wird als Zufluss zum Rheinmodell bzw. zur Rhein-Hochwasservorhersage weiter verwendet.

Dies ist ein ganz wesentlicher Gesichtspunkt, da bei Hochwasser eine Anpassung der Steuerung der Hochwasserrückhaltemaßnahmen am Oberrhein aufgrund von Vorhersagewerten für den Rhein erfolgt. Diese Maßnahmen werden infolge des international festgelegten, verbindlichen Reglements auf der Basis der Abflusswerte an den Pegeln Basel, Breisach, Kehl-Kronenhof, Maxau, Heidelberg und Worms gesteuert. Beim Auftreten eines Rheindeichbruchs werden diese Steuerungsziele gestört und eine Steuerung der Hochwasserrückhaltemaßnahmen am Oberrhein ist in diesem Falle nur dann sinnvoll möglich, wenn der Breschenort und die Breschenleistung bzw. in weiterer Folge Ort und Ausmaß der Rückströmung bekannt sind. Diese Einflüsse auf den Hochwasserabfluss des Rheins werden als Vorhersagen dem Hochwassermeldezentrums in Mainz flussabwärts weitergegeben [9].

5 Zeitabhängige Änderungen der Topographie des Flutungsgebietes

Ein wesentliches Problem bei der operativen Flutungsvorhersage sind (zeitabhängige) topografische Änderungen im Überflutungsgebiet, d. h. Veränderungen in den strömungstechnisch bedeutenden topografischen Einzelheiten des Überflutungsgebietes, die im Verlauf der Flutung stattfinden können.

Dabei ist zu unterscheiden zwischen:

- absichtlichen topografischen Änderungen, z. B. die erfolgreiche Verteidigung von Durchlässen in Querdämmen durch den Katastrophenschutz, und
- nicht beabsichtigten topografischen Veränderungen im Überflutungsgebiet, z. B. durch Zerstörung von weitgehend quer zur Flutungsrichtung verlaufenden Dammstrukturen.

Die beiden Fälle müssen so früh wie möglich vor deren Eintreten in das Vorhersagemodell mit einbezogen werden, weil der vorhergesagte Ereignisablauf des Flutungsvorganges und damit auch die mögliche Vorhersagezeit und -qualität dadurch ganz wesentlich beeinflusst werden kann.

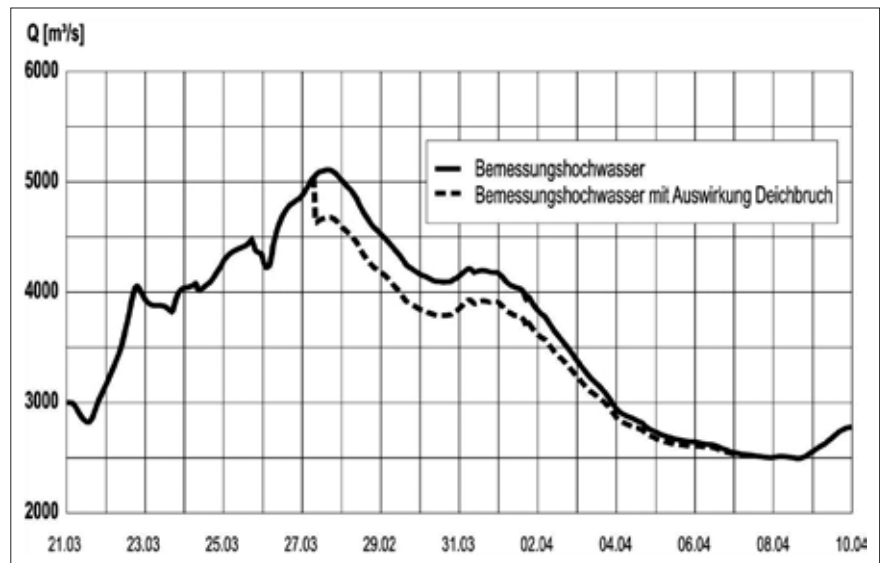


Bild 3: Veränderung einer Rhein-Abflussganglinie durch Deichbruch (Bemessungshochwasser, fiktiver Deichbruch, Beispiel s. Bild 2)

5.1 Absichtliche Änderungen der Topographie des Flutungsgebietes

Durch den Zeitbezug der Flutungsvorhersagen sind vorerst Details des Flutungsablaufes ohne Einwirkung des Katastrophenschutzes bekannt. Wenn absichtliche Veränderung der Topographie des Flutungsgebietes durch den Katastrophenschutz in der Flutungsvorhersage mit berücksichtigt werden sollen, so müssen Abflussbeeinflussungen in den Maßnahmen des Katastrophenschutzes in einem im Voraus festgelegten Zeitplan (Einsatzplan des Katastrophenschutzes) der Vorhersageeinrichtung zur Verfügung gestellt werden.

Daher muss möglichst vorab bekannt sein, was durch den Katastrophenschutz zu welchem Zeitpunkt strömungstechnisch verändert wird. Dabei kann es sich zum Beispiel um den Verschluss von Durchlässen handeln, die Verteidigung von Hochzonen (Straßendämme, „zweite Verteidigungslinien“) und sogenannten Rückströmbreschen, d. h. absichtlich angelegte Breschen in den Rheindeichen, die ein Rückströmen des Wassers aus den Flutungsgebieten in den Rhein hin erleichtern sollen und damit zu einem niedrigeren Maximalwasserstand in einzelnen Flutungsabschnitten führen würden.

Entsprechende Zeitpläne könnten z. B. vorab anhand von Szenarienberechnungen erstellt und im Ernstfall anhand von Flutungsvorhersagen auf eine korrekte Zeitachse gebracht werden.

Voraussichtlich ist derartige nur über online adaptierbare, programmgestützte Einsatzpläne möglich. Zusätzlich muss

ein zuverlässiges Kommunikationssystem zwischen Katastrophenschutz und Vorhersageeinrichtung installiert werden, mit dem der Erfolg (einschließlich Zeitbezug) oder Misserfolg von strömungsbeeinflussenden Maßnahmen der Vorhersageeinrichtung mitgeteilt wird [10].

5.2 Nicht beabsichtigte Änderungen der Topographie des Flutungsgebietes

Die Berücksichtigung nicht beabsichtigter Veränderungen durch Zerstörungen in Form des Bruches von Straßen- oder Bahndämmen ist ein schwerwiegendes Problem der Flutungsvorhersage, wenn es sich dabei um strömungstechnisch gravierende Veränderungen handelt.

Im genannten Bereich landseits der Rheindeiche und dem Hochgestade sind Dämme von Verkehrswegen zum Teil sehr hoch. Die entsprechenden Verkehrswege müssen zum Teil über Rheinbrücken verlaufen, wobei in diesem Fall die Dämme von Bahnlinien über relativ lange Strecken bedeutende Höhen aufweisen.

Ganz wesentlich ist, dass alle solche Querdämme nicht auf Hochwassereinflüsse bemessen sind. Es gibt dafür keine gesetzlichen Grundlagen und entsprechend sind Sicherungen gegen Hochwassereinflüsse bei diesen landseitigen Querdämmen praktisch nirgends vorhanden.

Deshalb stellen solche Objekte (speziell Bahndämme) bei Flutungen landseits von Deichen ein nennenswertes Gefahrenpotenzial dar. Szenarienberechnungen über das Flutungsmodell erlauben die Definition extremer Belastungszustände und ent-

sprechend identifizierbare Gefahrenstellen sollten vorab hinsichtlich ihrer Statik und in Zusammenhang damit auch hinsichtlich der Sinnhaftigkeit ggf. angelegter Verteidigungsmaßnahmen überprüft werden.

Soweit aufgrund solcher Überprüfungen solche Objekte bei Flutungen landseits der Deiche möglicherweise zerstört werden können, sollten Sie bei Flutungen nach einem festgelegten Programm beobachtet werden. Hinweise auf absehbare Zerstörungen sollten dann möglichst früh der HVZ gemeldet werden, die dann ihrerseits wieder parallel rechnende PC für verschiedene Zerstörungsvarianten und -zeitpunkte einsetzen kann.

6 Fazit

Operationelle Vorhersagen der HVZ Baden-Württemberg von Flutungsvorgängen infolge von Deichbrüchen der baden-württembergischen Rheinhauptdämme sind zwischen Iffezheim und der hessischen Grenze möglich. Sie sind im Fall von Rheindeichbrüchen auch für die Aufrechterhaltung der Hochwasservorhersage am Rhein und für die Steuerung der Hochwasserspeicher am Oberrhein notwendig.

Für die Qualität der Flutungsvorhersage ist eine intensive, ausreichend vorbereitete Kooperation mit dem Katastrophenschutz erforderlich. Diese würde mit der Effektivität der Flutungsvorhersage auch

die Effektivität des Einsatzes von Hilfskräften in einem solchen Katastrophenfall entscheidend verbessern. Es wäre somit nachlässig, dies nicht rechtzeitig in die Wege zu leiten.

Autoren

Dr.-Ing. Peter Homagk
Landesanstalt für Umwelt,
Messungen und Naturschutz
Baden-Württemberg (LUBW)
Griesbachstraße 1-3
76231 Karlsruhe
peter.homagk@lv-bw.de

Dr.-Ing. Karl Ludwig

Beratender Ingenieur
Wasserwirtschaft-Wasserbau
Herrenstraße 14, 76133 Karlsruhe
karl.ludwig@ludwig-wawi.de

Peter Homagk and Karl Ludwig

Operational Forecast of Flooding as a Consequence of Rhine Dykebreaks in Baden-Württemberg

Dykebreaks on the Rhine river are possible in case of extreme floods and technical dyke failure. Their low probability must be seen in combination with very large flooded areas behind the dykes and a very high damage potential. Unlike it is the case at rivers without dykes, the concerned persons as well as rescue personnel are not familiar with size, way of progression and time aspects of the flooding process. Flood awareness, details of possible improvement measures and planning of flood relief measures are nearly not available at time for larger areas behind dykes. To improve this situation, for the baden-württemberg Rhine section between Iffezheim and the border of the federal state of Hesse, an operational flooding model has been installed at the Flood Forecast Center (HVZ) of the Federal Institute of the Environment, Measurements and Nature Conservation Baden-Württemberg (LUBW). It is based on a simplified, fast-calculating 2-D-flow model and the related forecast problems are discussed here.

Петер Хомагк, Карл Людвиг

Рабочий прогноз наводнений при прорывах дамб на Рейне в Баден-Вюртемберге

Во время чрезвычайно сильных наводнений и технических сбоях на гидротехнических сооружениях на Рейне возможны прорывы дамб. С одной стороны, подобные наводнения случаются довольно редко, но они сопровождаются затоплением обширных районов, расположенных в нижнем бьефе дамб, и обладают очень высоким разрушительным потенциалом. С другой стороны, ни пострадавшим, ни спасателям не известны масштабы, сценарии и скорость развития наводнения на реках без дамб. В настоящий момент в обширных районах, находящихся в нижнем течении позади дамб, не готовы к наводнениям, не разработаны превентивные меры, нет плана спасательных операций. Для улучшения данной ситуации в Центре Прогноза наводнений (HVZ) Федерального института окружающей среды, замеров и охраны природы Баден-Вюртемберга (LUBW) создана рабочая модель наводнения на участке Рейна между Иффенхаймом и границей федеральной земли Гессен. Она основана на упрощенном, быстро вычисляемом моделировании двухмерного потока. В статье обсуждаются проблемы, связанные с прогнозированием.

Literatur

- [1] Homagk, P.; K. Ludwig, K.: Operationeller Einsatz von Flussgebietsmodellen bei der Hochwasser Vorhersage-Zentrale Baden-Württemberg. In: Wasserwirtschaft 88 (1998), Heft 4.
- [2] Bremicker, M.; Homagk, P.; Ludwig, K.: Operationelle Niedrigwasservorhersage für das Neckareinzugsgebiet. In: Wasserwirtschaft 94 (2004), Heft 7-8.
- [3] Sieber, A.; Homagk, P.; Mathis, C.; Pfaundler, M.: Länderübergreifende operationelle Hoch- und Niedrigwasservorhersage für den Bodensee. In: Wasserwirtschaft 98 (2008), Heft 7-8.
- [4] Homagk, P.: Hochwasserschutzkonzept mit gesteuerten und ungesteuerten Retentionsmaßnahmen am Oberrhein. Universität München, Juli 2007.
- [5] Homagk, P.: Einsatz und Wirkung von Hochwasserrückhaltemaßnahmen am Oberrhein unter Beachtung ökologischer Aspekte. In: Wasser und Boden (1990), Heft 9.
- [6] Homagk, P.: Steuerung und Wirkung der Hochwasserschutzmaßnahmen am Oberrhein. In: Der Bauingenieur (2003), Band 78.
- [7] Krauter, G. E.: Ein zweidimensionales Strömungsmodell für die Überflutung größerer Gebiete durch Deichbrüche. In: Wasserwirtschaft 92 (2002), Heft 11/12.
- [8] Decker, J.; Ludwig, K.; Meuser, A.: Überlegungen zur Überflutung größerer Gebiete durch Deichbrüche. In: Wasserwirtschaft 2 (2002), Heft 11/12.
- [9] Bürgi, T.; Homagk, P.; Prellberg, D.; Sprockelreuf, E.; Wilke, K.: Das internationale Hochwasservorhersagesystem am Rhein In: Wasserwirtschaft 94 (2004), Heft 12.
- [10] Schultze, A.: FLIWAS-LE Landesweite Einführung des Flut-Informations- und Warnsystems in Baden-Württemberg. Umweltministerium Baden-Württemberg, 2008.
- [11] Landesvermessungsamt Baden-Württemberg: Topographische Karte 1:100 000 Baden-Württemberg (www.lv-bw.de). AZ.: 2851.3-A/521 vom 09.10.2008.