Technische Universität Dresden – Fakultät Bauingenieurwesen
Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik

36. Dresdner Wasserbaukolloquium 2013
„Technischer und organisatorischer Hochwasserschutz“

Schnelle Hochwasserereignisanalsye in Deutschland

Kai Schröter
Heidi Kreibich
Hendrik Zwenzner
Bruno Merz

Die schnelle Hochwasserereignisanalyse führt ereignisabhängige Informationen zur Abschätzung der Intensität und der Auswirkungen zusammen. Am Beispiel des Hochwassers vom Januar 2011 wird an einem Abschnitt der Saale die schnelle Schadenschätzung auf Grundlage von satellitengestützten Überflutungstiefenkarten vorgestellt. Gegenüber einer Referenzschätzung auf Grundlage von Luftbildern bestehen Abweichungen in der Schadenssumme von rd. 70%. Der Aufnahmezeitpunkt und somit die Erfassung der maximalen Überflutungsausdehnung ist ein entscheidender Faktor.

1 Einführung

Nahe-Echtzeitinformationen über den Ablauf und die Auswirkungen von Hochwasserereignissen sind für das Katastrophenmanagement sowie für die Planungen zur Schadensbewältigung und den Wiederaufbau von großem Nutzen. Darüber hinaus bilden die genaue Beobachtung und Dokumentation der Entstehung und Entwicklung eines Hochwasserereignisses bis hin zu dessen Auswirkungen eine wichtige Grundlage für eine tiefgehende Analyse und ein verbessertes Verständnis des Zusammenspiels von meteorologischen, hydrologischen und gesellschaftlichen Faktoren bei der Entstehung von Hochwasserschäden.

Viele Informationen zu einzelnen Aspekten eines Hochwasserereignisses liegen bereits innerhalb weniger Tage vor. Informationen zur Meteorologie und zur Ausprägung des Ereignisses werden beispielsweise auf der Webseite Wettergefahrenfrühwarnung (Mühr et al. 2013) zusammengestellt. Die Hochwasserzentralen der Länder fassen in aktuellen Hochwasserlageberichten die Pegelstände, die Überschwemmungssituation sowie die erwartete weitere Entwicklung zusammen. Hochwasserschäden werden nach großen schadenträchtigen Ereignissen u.a. in der Datenbank EM-DAT (www.em-dat.be) oder von der Münchner Rückversicherung (www.munichre.com) zusammengestellt. Technische Berich-

te zu Hochwasserereignissen von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (z.B. Belz et al. 2006) oder von den verschiedenen Landesbehörden stehen erst einige Monate nach dem Ereignis bereit. Eine schnelle, konsistente Zusammenschau zu allen genannten Aspekten für das gesamte Ereignis, d.h. in einer landesweiten Betrachtung über die Grenzen einzelner Flussgebiete hinaus, wird jedoch bislang nicht erstellt.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit zur schnellen Hochwasserereignisanalyse in Deutschland ist in das aktuelle CEDIM Projekt „Forensische Katastrophenanalyse“ (FDA) eingebunden CEDIM (2012). CEDIM-FDA greift die Initiative des ‚Integrated Research on Disaster Risk (IRDR) Projekts ‚Forensic Investigations of Disasters‘ (FORIN) auf (IRDR 2011) und entwickelt Methoden und Modelle für die forensische Katastrophenanalyse in naher Echtzeit. Die schnelle Hochwasserereignisanalyse umfasst die Erfassung, Analyse und Bewertung der hydrometeorologischen und hydrologischen Situation vor, während und nach dem Ereignis bis hin zur Abschätzung direkter Hochwasserschäden.

Dieser Beitrag beschreibt den Aufbau und den Funktionsumfang des Ereignisanalysesystems. Die Nutzung von Fernerkundungsdaten zur Schadenschätzung in naher Echtzeit wird am Beispiel des Hochwasserereignisses vom Januar 2011 für einen Abschnitt der Elbe/Saale veranschaulicht.

2 Methodik

Die Analyse von Hochwasserereignissen in naher Echtzeit beinhaltet das Zusammenführen ereignisabhängiger und grundlegender Daten und Informationen zur Abschätzung der Intensität und der Auswirkungen des Ereignisses. Dafür werden hydrometeorologische und hydrologische Variablen kontinuierlich aus dem Stationsnetz des DWD, der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) sowie der Messdienste der Länder abgerufen. Nach Verfügbarkeit werden Überflutungsmasken aus Satellitenbeobachtungen vom Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrum (DLR) eingebunden. Die Abschätzung der Auswirkungen ist zunächst fokussiert auf Schäden an Wohngebäuden auf Grundlage von disaggregierten Vermögenswerten und Gebäudeeigenschaften unter Anwendung des Schadensmodells FLEMOps+r (Elmer et al. 2010).

Die Übernahme und Verarbeitung der verschiedenen räumlich und zeitlich detaillierten Daten und Informationen erfordert ein leistungsfähiges und effizientes Datenmanagement und eine weitgehende Automatisierung der Abläufe. Der Kern des Ereignisanalysesystems ist ein objekt-relationales Datenbanksystems.

Ein Prototyp wurde unter Verwendung des Open-Source Datenbanksystems PostgreSQL mit einer PostGIS-Erweiterung aufgesetzt.

2.1 Eingangsdaten und Methoden

2.1.1 Erfassung und Einordnung der Hochwassersituation

Hydrometeorologische und hydrologische Daten bilden die Grundlage für die Erfassung der aktuellen Situation vor und während dem Hochwasserereignis. Für die Anwendung auf großräumige Hochwasserereignisse in Deutschland wurden rd. 400 Pegeleinzugsgebiete als räumliche Einheiten festgelegt. Die Auswahl der Pegeleinzugsgebiete basiert erstens auf der Verfügbarkeit langjähriger Aufzeichnungen und zweitens der Möglichkeit eines online Zugriffs auf aktuelle Messwerte. Die Regionalisierung der Abflusswerte auf die Pegeleinzugsgebiete wurde in Anlehnung an das von (Uhlemann et al. 2010) vorgeschlagene Verfahren auf Grundlage des CCM2 Gewässernetzes (Vogt et al. 2007) vorgenommen.

Aus dem Messnetz des DWD werden regelmäßig Daten zur Niederschlagshöhe, Bodenfeuchte, Bodenfrost, Temperatur, Änderung der Schneehöhe und Sonnenscheindauer übernommen. Diese werden mit Bezug auf die definierten räumlichen Einheiten im Datenbanksystem abgelegt. Gleichermaßen werden in regelmäßigen Abständen die aktuellen Abfluss- und Wasserstandsaufzeichnungen der ausgewählten Pegelstationen des WSV und der Bundesländer online abgerufen.

Satellitengestützte Aufnahmen des DLR liefern zeitnahe Informationen zur Überflutungssituation (Martinis et al. 2009; Martinis et al. 2011; Martinis und Twele 2010). Die automatisierte Ermittlung von Überflutungstiefen aus den Hochwassermasken ist Gegenstand aktueller Entwicklungen am DLR. Dafür wird die Wasserspiegellage durch die Ableitung der Höheninformationen an der Land-Wassergrenze aus einem hochaufgelösten LiDAR Geländemodell und deren räumlicher Interpolation ermittelt. Die Differenz aus der Wasserspiegellage und der Geländehöhe liefert die Überflutungstiefe (Zwenzner und Voigt 2009).

Für die Bezugspegel der räumlichen Einheiten liegen in der Datenbank langjährige Zeitreihen maximaler jährlicher Abflüsse vor. Diese werden mit Methoden der Extremwertstatistik hinsichtlich der statistischen Wiederkehrintervalle der Abflusswerte analysiert. Anhand dieser Ergebnisse werden die aktuellen Hochwasserabflüsse hinsichtlich der Größe des Ereignisses vorläufig eingeordnet. Anhand der Regionalisierungsbeziehung für die Pegelstationen werden diese Ergebnisse räumlich zugeordnet und hinsichtlich der von (Uhlemann et al. 2010) definierten Kriterien zur Ereignisstärke und großräumigen Betroffenheit bewer-

tet. Diese Kennzahlen ermöglichen einen Vergleich zu vergangenen Hochwasserereignissen.

2.1.2 Bewertung der Hochwasserauswirkungen

Die Abschätzung der Auswirkungen basiert auf diversen Geobasis- und Geofachdaten. Die Werte der Wohngebäude wurden deutschlandweit je Gemeinde auf Grundlage der Normalherstellungskosten 2005 (BMVBS 2005) ermittelt (Kleist et al. 2006). Die räumliche Zuordnung der Wohngebäudewerte erfolgt anhand der ATKIS (BKG GEODATENZENTRUM 2009) Landnutzungsklassen für Wohngebiete (Code 2111) und gemischte Nutzungen (Code 2113) mit einem binären Disaggregierungsansatz (Wünsch et al. 2009). Im Ergebnis stehen die spezifischen Wohngebäudewerte als flächendeckendes Raster für ganz Deutschland zur Verfügung. Weitere Datengrundlagen für die Schadenmodellierung sind Angaben zu den Gebäudetypen und zur Gebäudequalität aus dem Infas Geodatenkatalog (Infas Geodaten GmbH 2009). Diese Daten werden flächendeckend für Deutschland vorgehalten und regelmäßig aktualisiert.

Die Schadenschätzung erfolgt auf der Mesoskala mit dem Schadenmodell FLEMOps+r (Elmer et al. 2010). Als Eingangsdaten stehen aus den vorausgehenden Arbeitsschritten räumlich detaillierte Informationen zu Überflutungstiefen, Gebäudequalität, Gebäudetypen und Wiederkehrintervallen bereit. Damit berechnet FLEMOps+r die Schädigungsgrade an Wohngebäuden. Durch Multiplikation mit den spezifischen Wohngebäudewerten werden die direkten Hochwasserschäden an Wohngebäuden berechnet.

3 Anwendungsbeispiel Hochwasser Januar 2011

Ein Warmlufteinbruch in Verbindung mit ergiebigen Regenfällen führte zwischen dem 5. und 6. Januar 2011 zu einer weiträumigen Schneeschmelze und einem ersten Anschwellen der Abflüsse in den Gewässern. Im weiteren Verlauf fiel zwischen dem 12. und 14 Januar 2011 auf die bereits gesättigten Böden ausgedehnter Niederschlag. In der Folge entstand eine zweite Hochwasserwelle mit einem erneuten Überschreiten der Meldegrenzen an vielen Gewässern in den Einzugsgebieten des Rheins, der Donau, der Weser und der Elbe (Axer u. a. 2012). In Sachsen Anhalt traten um den 15. Januar insbesondere an Elbe, Saale, Havel, Schwarzer und Weißer Elster, Wipper und Bode Wasserstände im Bereich der Alarmstufe 4 auf (LHW 2011). Das Hochwasserereignis führte in den Einzugsgebieten des Rheins, der Donau, der Weser und Elbe zu Überflutungen mit nachteiligen Auswirkungen. Das Hochwasser erreichte aber an keiner Stelle katastrophale Ausmaße. Die Gesamtschäden belaufen sich nach Schätzungen

der Deutschen Rückversicherung auf deutlich mehr als 100 Mio. € (Axer u. a. 2012). Für dieses Hochwasserereignis wurden im Rahmen des GMES SAFER Projekts vom DLR-ZKI Hochwasserkarten auf Basis von aktuellen TerraSAR-X und Radarsat-2 Daten erstellt (www.zki.dlr.de/de/article/1724). Auf Grundlage einer TerraSAR-X StripMap Szene wurden für den Abschnitt der Saale zwischen Halle und der Einmündung in die Elbe Hochwassermasken sowie im Nachgang an die Notfallkartierung Überflutungstiefenkarten erzeugt. Dieser Abschnitt wurde daher als Untersuchungsgebiet für eine Schadenschätzung unter Verwendung von Fernerkundungsdaten ausgewählt, siehe Abbildung 1. Darüber hinaus wurden in diesem Gebiet Luftbilder aufgenommen. Die Luftbilder dokumentieren die Überschwemmungssituation für dieses Ereignis sehr detailliert und ermöglichen eine genaue Ermittlung der Überflutungstiefen. Sie werden als Referenz für die Beurteilung der Ergebnisse aus den TerraSAR-X Daten verwendet. Die Luftbilder wurden jedoch nur zur Validierung des GMES SAFER Service in Auftrag gegeben und stehen nur in Ausnahmefällen zur Verfügung. Bei der Analyse des Ereignisses wird die Datenverfügbarkeit in einer nahe Echtzeit Anwendung betrachtet.

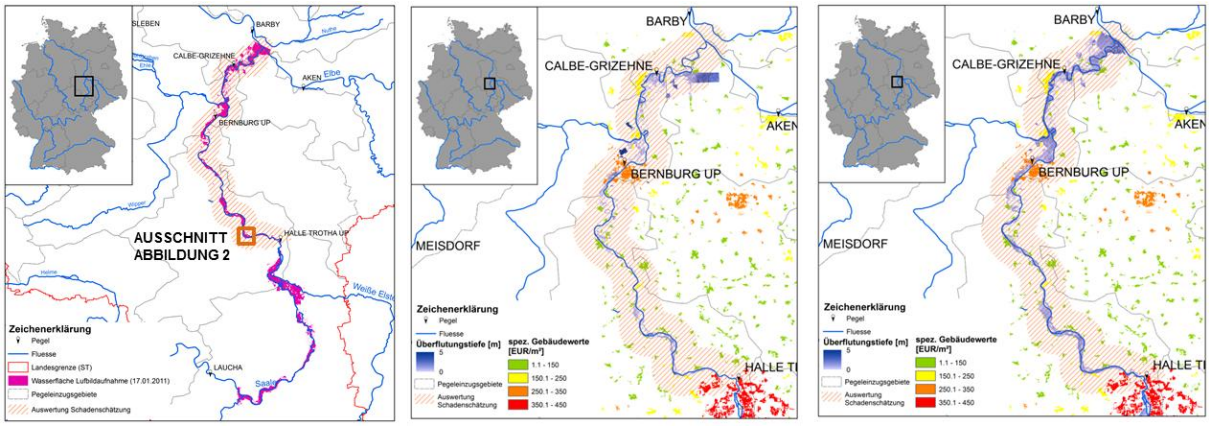

Abbildung 1: Untersuchungsgebiet Ereignisanalyse Hochwasser Januar 2011 (links), Überflutungstiefen aus TerraSAR-X StripMap-Szene (Mitte) und Luftbildaufnahmen (rechts) mit spez. Wohngebäudewerten im Untersuchungsabschnitt der Saale

3.1 Ereignisverslauf und Datenverfügbarkeit

Der Verlauf des Hochwassers vom Januar 2011 an der Saale ist anhand der Abflusszeitreihen der Pegel Halle-Trotha und Calbe-Grizehne in Abbildung 2 dargestellt. Die Lage der Pegel und deren Einzugsgebiete sind in Abbildung 1(links) enthalten. Abbildung 2 zeigt weiterhin die Aufnahmezeitpunkte der Luftbilder und der Terra-SAR-X-StripMap Szene sowie die Verfügbarkeit der daraus ermittelten Hochwassermasken und Überflutungstiefen. Im unteren Teil der Abbildung sind beispielhaft die Überflutungsflächen, Überflutungstiefen

sowie eine Verschneidung mit den spezifischen Wohngebäudewerten für die Schadenschätzung in einem Gebietsausschnitt dargestellt (zur Lage des Ausschnitts siehe Abbildung 1). Die Luftbilder wurden am 17. Januar in sehr guter zeitlicher Übereinstimmung mit dem Auftreten des Hochwasserscheitelabflusses in der Saale aufgenommen. Die TerraSAR-X StripMap-Szene wurde fünf Tage später aufgezeichnet. In diesem Zeitraum war der Wasserstand z.B. am Pegel Halle-Trotha bereits um rd. einen Meter gesunken.

3.2 Ergebnisse

Auf Grundlage der TerraSAR-X StripMap-Szene wurde am 23. Januar eine erste ereignisbezogene Karte der Überflutungsflächen erzeugt. Die Ableitung der Überflutungstiefen wurde am 27. Januar fertiggestellt. Eine erste Schadenschätzung mit FLEMOps+r durch die räumliche Auswertung der Überflutungstiefen, Gebäudetypen- und Gebäudequalitätsdaten sowie spezifischen Wohngebäudewerten war rund fünf Tage nach Aufnahme der StripMap-Szene und zehn Tage nach Auftreten des Hochwasserscheitels möglich, siehe Abbildung 2.

Demgegenüber lagen die Ergebnisse der Luftbildauswertung erst mehrere Wochen später (ca. am 10. Februar) vor. In Abbildung 1 (Mitte und rechts) sind die Überflutungstiefen im Untersuchungsabschnitt aus beiden Datenquellen zusammen mit den spezifischen Wohngebäudewerten dargestellt.

Die Gegenüberstellung beider Datengrundlagen (siehe auch Detailausschnitte in Abbildung 2) zeigt, dass die Ausdehnung der überfluteten Flächen aus TerraSAR-X Daten geringer ist als aus den Luftbildern (TerraSAR-X: 41,6 km², Luftbilder: 65,8 km. Die mittlere Überflutungstiefe im Untersuchungsgebiet aus TerraSAR-X Daten ist mit 1,5 m erheblich größer als aus den Luftbildern mit 0,18 m. Die maximale Wassertiefe in den TerraSAR-X Daten beträgt 58,2 m und in den Luftbildern 14,6 m.

Der Gesamtwert der Wohngebäude im Untersuchungsausschnitt beträgt rd. 867 Mio. € (Stand 2011). Die mit FLEMOps+r berechneten direkten Schäden an Wohngebäuden betragen für die TerraSAR-X Überflutungstiefen rd. 8,3 Mio. € und für die Luftbildüberflutungstiefen rd. 14,2 Mio. €.

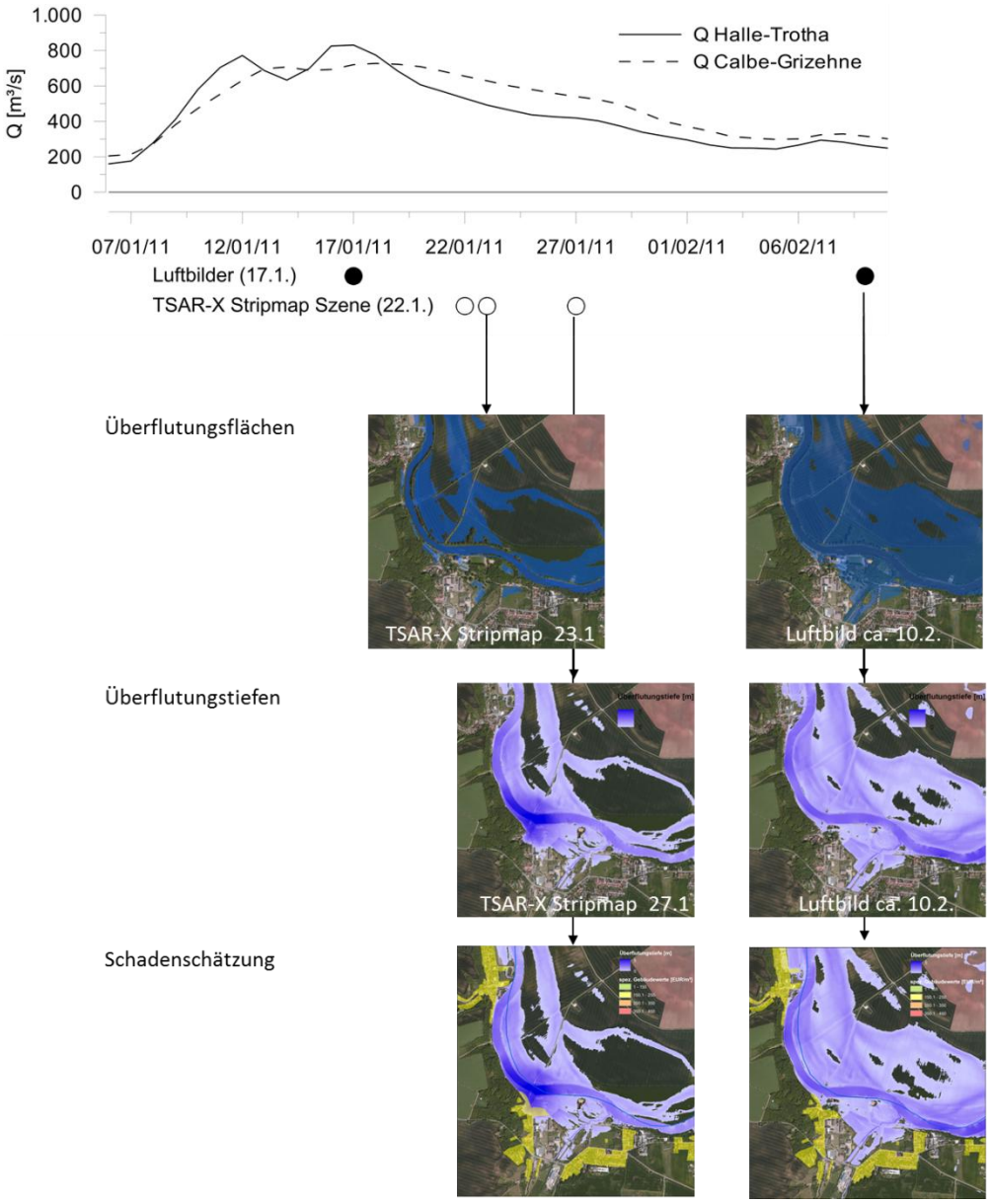

Abbildung 2: Verlauf Hochwasser Januar 2011 an der Saale und Datenverfügbarkeit von Überflutungsflächen und Überflutungstiefen. Überlagerung mit spez. Wohngebäudewerten zur Schadenschätzung (Lage Beispielausschnitt vgl. Abbildung 1 (links) orangener Kasten)

4 Diskussion und Ausblick

Auf der Grundlage von Satellitendaten können für ein Hochwasserereignis innerhalb weniger Tage Überflutungsflächen und Überflutungstiefen bereitgestellt werden. Für das betrachtete Anwendungsbeispiel konnte ca. fünf Tage nach Datenaufnahme eine erste Schätzung direkter Hochwasserschäden an Wohngebäuden mit einem mesoskaligen Schadensmodell durchgeführt werden.

Die automatisierte Ermittlung von Überflutungstiefen aus Fernerkundungsdaten befindet sich gegenwärtig in der Entwicklung. Herausforderungen bestehen hinsichtlich der automatisierten Abgrenzung der Überflutungsfläche und der Konstruktion der Wasserspiegellage. Diese setzt die Verfügbarkeit eines hochaufgelösten Geländemodells voraus, um brauchbare Höheninformationen an der Land-Wassergrenze zu erhalten. Anwendungserfahrungen zeigen, dass insbesondere vom Hochwasser betroffene Siedlungs- und Waldflächen problematisch sind, da hier die automatische Wasserklassifikation aus den Satellitendaten fehlerhaft ist und manuelle Korrekturverfahren angewendet werden müssen.

Die Abweichung von der Referenzschadenschätzung (Luftbilder) liegt bei ca.-70 %. Eine Ursache für die Unterschätzung des Schadens ist der zeitliche Unterschied der Datenaufnahme bei einer zeitlich veränderlichen Hochwasserwelle. Die Luftbilder wurden in sehr guter zeitlicher Übereinstimmung mit dem Auftritt des Hochwasserscheitels in der Saale aufgenommen. Demgegenüber wurde die TerraSAR-X StripMap-Szene fünf Tage später aufgezeichnet. Zu diesem Zeitpunkt war der Wasserstand schon deutlich zurückgegangen (ca. 1 m am Pegel Halle-Trotha). Folglich haben die überfluteten Flächen auf Grundlage der TerraSAR-X Daten eine geringere Ausdehnung, d.h. es wird eine kleinere Fläche als betroffen erkannt. Die TerraSAR-X Daten enthalten aufgrund der automatisierten Ableitung verschiedentliche Artefakte und mitunter unplausible Werte. Eine umfassende Qualitätsprüfungen und Plausibilisierung der Daten ist zeitaufwendig und steht einer schnellen Bereitstellung entgegen. Die Eingrenzung der Unsicherheit in den Daten und deren Berücksichtigung in den verschiedenen Auswertungsschritten bis hin zur Schadenschätzung ist daher ein wichtiger Aspekt für zukünftige Anwendungen.

Die Verfügbarkeit der Fernerkundungsdaten im Hochwasserfall und die Flächenabdeckung von Deutschland ist abhängig von der Beauftragung des DLR im Rahmen der verschiedenen Aktivierungsmechanismen. Diese Daten stehen daher nicht grundsätzlich für die schnelle Hochwasserereignisanalyse zur Verfügung. Umgekehrt können aus der Zusammenstellung der verschiedenen hydrometeorologischen und hydrologischen Daten frühzeitig Hinweise zu räumlichen Schwerpunkten der Betroffenheit gegeben werden. Die räumliche Abdeckung und die zeitliche Steuerung der Satellitenaufnahmen könnten somit verbessert werden.

Das Ereignisanalysesystem befindet sich im Aufbau. Zukünftig sollen weitere Daten- und Informationsquellen für die Beschreibung und Analyse von Hochwasserereignissen einbezogen werden. Dazu zählen hydrologische und hydraulische Modellberechnungen. Die Modellergebnisse tragen zur Verdichtung der Informationen insbesondere in Bereichen ohne direkte Beobachtungen bei. Wei-

terhin sollen Möglichkeiten zur Nutzung von sozialen Sensoren untersucht werden. Informationen von Augenzeugen, die über soziale Medien verbreitet werden, sind eine vielversprechende Ergänzung der etablierten Mess- und Beobachtungssysteme. Auf diesem Weg können in kürzester Zeit nach dem Ereignis wertvolle Hinweise z.B. zur Überflutungssituation in einem Wohngebiet ausgewertet werden.

Danksagung

Die Fernerkundungsdaten wurden vom DLR im Rahmen des GMES Emergency Response Projektes SAFER über Mittel des 7. Rahmenprogrammes der EU erhoben.

5 Literatur

Axer, Thomas, Thomas Bistry, Matthias Klawa, Meike Müller, und Michael Süßer. 2012. Sturmdokumentation 2011 Deutschland. Düsseldorf: Deutsche Rück.

Belz, Jörg Uwe, Peter Burek, Helga Matthäus, Bruno Rudolf, Stefan Vollmer, und Wilfried Wiechmann. 2006. Das Hochwasser der Elbe im Frühjahr 2006. Koblenz: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Deutscher Wetterdienst.

BKG GEODATENZENTRUM. 2009. „ATKIS-Basis-DLM“.

BMVBS. 2005. Normalherstellungskosten 2005 (NHK 2005). Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.

CEDIM. 2012. „CEDIM - Forensische Katastrophenanalysen“. Text. http://www.cedim.de/2131.php.

Elmer, F., A. H. Thieken, I. Pech, und H. Kreibich. 2010. „Influence of flood frequency on residential building losses“. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 10 (10): 2145–2159. CEDIM Flood Loss. doi:10.5194/nhess-10-2145-2010.

„Hochwasser in Deutschland | DLR - ZKI“. 2013. Zugegriffen Januar 15. http://www.zki.dlr.de/de/article/1724.

Infas Geodaten GmbH. 2009. „Infas Geodaten“.

IRDR. 2011. Forensic investigations of Disasters: The FORIN project. IRDR FORIN Publication No. 1. Beijing: Integrated Research on Disaster Risk.

Kleist, L., A. H. Thieken, P. Köhler, M. Müller, I. Seifert, D. Borst, und U. Werner. 2006. „Estimation of the regional stock of residential buildings as a basis for a comparative risk assessment in Germany“. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 6 (4): 541–552. CEDIM Flood Loss. doi:10.5194/nhess-6-541-2006.

LHW. 2011. Bericht über das Hochwasser Januar 2011. Magdeburg: Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt.

Martinis, S., A. Twele, und S. Voigt. 2009. „Towards operational near real-time flood detection using a split-based automatic thresholding procedure on high resolution TerraSAR-X data“. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 9 (2): 303–314. doi:10.5194/nhess-9-303-2009.

Martinis, S., A. Twele, und S. Voigt. 2011. „Unsupervised Extraction of Flood-Induced Backscatter Changes in SAR Data Using Markov Image Modeling on Irregular

Graphs“. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 49 (1): 251 –263. doi:10.1109/TGRS.2010.2052816.

Martinis, Sandro, und André Twele. 2010. „A Hierarchical Spatio-Temporal Markov Model for Improved Flood Mapping Using Multi-Temporal X-Band SAR Data“. Remote Sensing 2 (9): 2240–2258. doi:10.3390/rs2092240.

Mühr, Bernhard, Georg Müller, Christoph Kottmeier, Michael Kunz, Manuel Schmidberge, Christian Ehmann, Daniel Köbele, und Adrian Lexser. 2013. „Wettergefahren Frühwarnung“. Wettergefahren Frühwarnung. http://www.wettergefahren-fruehwarnung.de/.

Uhlemann, S., A. H. Thieken, und B. Merz. 2010. „A consistent set of trans-basin floods in Germany between 1952–2002“. Hydrol. Earth Syst. Sci. 14 (7): 1277–1295. doi:10.5194/hess-14-1277-2010.

Vogt, J., P. Soille, A. de Jager, E. Rimaviciute, W. Mehl, S. Foisneau, K. Bodis, u. a. 2007. A pan-European river and catchment database. European Comission.

Wünsch, Anja, Ulrich Herrmann, Heidi Kreibich, und Annegret Thieken. 2009. „The Role of Disaggregation of Asset Values in Flood Loss Estimation: A Comparison of Different Modeling Approaches at the Mulde River, Germany“. Environmental Management 44 (3): 524–541. Flood Risk Uncertainty. doi:10.1007/s00267-009-9335-3.

Zwenzner, H., und S. Voigt. 2009. „Improved estimation of flood parameters by combining space based SAR data with very high resolution digital elevation data“. Hydrol. Earth Syst. Sci. 13 (5): 567–576. doi:10.5194/hess-13-567-2009.

Autoren:

Dr.-Ing. Kai Schröter
Dr. Heidi Kreibich
Prof. Dr. rer. nat. habil. Dr.-Ing. Bruno Merz

Helmholtz-Zentrum Potsdam
Deutsches Geoforschungszentrum (GFZ)
Sektion 5.4 Hydrologie
14473 Potsdam

Tel.: +49 331 288 1525
Fax: +49 331 288 1570
E-Mail: kai.schroeter@gfz-potsdam.de
kreib@gfz-potsdam.de
bmerz@gfz-potsdam.de

Dipl. Geogr. Hendrik Zwenzner

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
Deutsches Fernerkundungszentrum (DFD)
Oberpfaffenhofen
82234 Weßling

Tel.: +49 8153 28 3399
Fax: +49 8153 28 1445
E-Mail: Hendrik.Zwenzner@dlr.de