Originally published as:

Herrmann, U., Thieken, A. H., Suhr, U., Lindenschmidt, K.-E. (2007):
Hochwasserrisikoanalysen an der Elbe - Methodenvergleich und Datenauflösung. -
Oesterreichische Wasser und Abfallwirtschaft, 59, 11-12, 151-162

DOI: 10.1007/s00506-007-0137-7.

Hochwasserrisikoanalysen an der Elbe

- Methodenvergleich und Datenauflösung -

U. Herrmann, A. H. Thieken, U. Suhr, K.-E. Lindenschmidt¹

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden Hochwasserrisikoanalysen an der Elbe in den Untersuchungsgebieten Meissen und Torgau durchgeführt. Dabei wurde mit Meissen ein Gebiet gewählt, durch das die Elbe ohne Deiche fließt. Im Untersuchungsgebiet Torgau befindet sich die Elbe in einem eingedeichten Flussabschnitt und entspricht damit dem größten Teil des Verlaufes der deutschen Binnenelbe.

Für die beiden Untersuchungsgebiete wurde zu Beginn eine Hochwasserwahrscheinlichkeitsanalyse durchgeführt. Dabei wurde eine Untersuchung des Abflussverhaltens der Elbe durchgeführt und als Ergebnis fünf Abflusswerte mit den Jährlichkeiten von $T = 30, 50, 100, 200$ und 500 bestimmt.

Auf der Grundlage der bestimmten Hochwasserabflüsse wurde in einem weiteren Schritt der Ablauf einer Hochwasserwelle im betrachteten Elbeabschnitt (Schöna – Wittenberg) mit dem Simulationsmodell QSIM simuliert. Wasserspiegellagen entlang des Elbeflussschlauchs, im Abstand 500 Metern, waren die Resultate dieser Simulationen, die für Hochwasserabflüsse HQ 30 - HQ 500 durchgeführt wurde. Mit den Wasserspiegellagen und einem Digitalem Geländemodell (Auflösung $25 \times 25\text{m}$) wurde mit dem Programm WMS Überflutungsflächen für die Untersuchungsgebiete generiert. Für die Stadt Meissen wurden in diesem Bearbeitungsschritt Überflutungsflächen für HQ 30- 500 berechnet. Für das Untersuchungsgebiet Torgau wurde, da die Elbe hier eingedeicht fließt, Deichbruchszenarien und die daraus sich ergebenden Überflutungsflächen erzeugt, die bei Hochwasserabflüssen HQ 100- 500 auftreten können.

Daran anschließend wurden Vulnerabilitätsanalysen durchgeführt. Dabei wurde mit den Landnutzungsdaten (ATKIS, CORINE) und den Überflutungsflächen die Exposition der Landnutzungskategorien Siedlung und Industrie für die betrachteten Hochwasserabflüsse bestimmt. Um die Anfälligkeit, ausgedrückt durch den prozentuale Schädigungsgrad, ermitteln zu können, kamen Anfälligkeitsfunktionen zum Einsatz. Dabei wurden die Anfälligkeitsfunktionen der MURL (2000) und der LfUG (2005) für die Berechnungen mit dem

¹ Korrespondierender Autor: PD Dr.-Ing. habil. Karl-Erich Lindenschmidt, GFZ-Potsdam, Telegrafenberg, D-14473 Potsdam, Tel/Fax: +49 (331) 288-1530/-1570, email: kel@gfz-potsdam.de

ATKIS Datensatz verwendet. Die Bestimmung der Schadensgrade mit den CORINE – Datensatz erfolgte mit Anfälligkeitsfunktionen der IKS (2001). Um die monetären Schäden, die durch die Hochwasserereignisse entstehen, zu ermitteln, wurden die Rasterdatensätze mit den prozentualen Schädigungsgraden, bei Siedlungsflächen mit einem Rasterdatensatz der das spezifische Wohnvermögen angibt, verschnitten (KLEIST et al. 2006). Für die überfluteten Industrieflächen wurde mit einem Festwert, der in Relation mit Angaben des spezifischen Wohnvermögens und der Angabe zum monetären Wert von Industrieflächen aus der Studie des LfUG (2005) gesetzt wurde, gerechnet. Durch diesen Schritt wurden Rasterdatensätze erzeugt, die Angaben über die potentiellen monetären Schäden bei Hochwasserabflüssen beinhalten. Diese Berechnungen wurden für alle betrachteten Hochwasserabflüsse in den Untersuchungsgebieten durchgeführt. Durch die Verwendung von drei unterschiedlichen Abschätzverfahren ergaben sich so drei unterschiedliche Ergebnisse über das Ausmaß der potentiellen monetären Hochwasserschäden in den betrachteten Landnutzungskategorien.

Um Aussagen zum Hochwasserrisiko treffen zu können, wurde im abschließenden Arbeitsgang die Verknüpfung von Wahrscheinlichkeitsabschätzungen mit den Schadensberechnungen vorgenommen. Die Berechnungen ergaben die Angaben über den jährlich zu erwartenden Schaden in €/a. Mit den jährlichen Schadenserwartungswerten konnten dann Aussagen über das Hochwasserrisiko in den Untersuchungsgebieten getroffen werden.

1 Einleitung

Hochwasserereignisse entlang von Flüssen und Bächen sind Teil des natürlichen Wasserkreislaufs. Zu einem Risiko werden Hochwasser erst, wenn Menschenleben oder vom Menschen geschaffene Werte bedroht sind. In den letzten 15 Jahren traten in Deutschland mehrere extreme Hochwasserereignisse, u. a. 1993 und 1995 am Rhein, 1997 an der Oder, 1999 und 2005 an der Donau, 2002 an der Elbe, auf. Trotz der bis dahin bestehenden Hochwasserschutzmaßnahmen starben dabei Menschen, und es traten immense Schäden an Infrastruktureinrichtungen, Industriebetrieben und Wohngebäuden auf. Weltweit betrachtet stehen die durch Hochwasser bedingten Schäden an erster Stelle aller schadensverursachenden Naturprozesse. Für die letzten zehn Jahre wird dabei eine Summe von 250 Billionen US\$ veranschlagt (KRON, 2005). Allein für das Auguthochwasser an der Elbe 2002 wurde ein Gesamtschaden von 11,6 Mrd. € bilanziert. Die Schäden in Sachsen, dem am stärksten betroffenen Bundesland, werden mit 8,7 Mrd. € angegeben (SÄCHSISCHE STAATSKANZLEI, 2004). Die Erfahrungen der zum Teil katastrophalen Ereignisse zeigen, dass der bisherige Hochwasserschutz trotz seines hohen Ausbaugrades

keine absolute Sicherheit bieten kann. Daher wird ein Umdenken in der bisherigen Maßnahmenplanung und der Übergang von der reinen Gefahrenabwehr hin zu einer „Risikokultur“ gefordert (PLANAT, 1998, PETRASCHKE, 2002, MERZ, 2006).

Die zentralen Fragen des Paradigmas der Risikokultur sind: 1) Was kann passieren? 2) Was darf nicht passieren? Welche Sicherheit für welchen Preis? 3) Wie kann mit dem Risiko bestmöglich umgegangen werden?

Um diese Fragen zu beantworten, muss 1) eine Risikoanalyse durchgeführt werden, 2) das Risiko bewertet und 3) der Umgang mit dem bestimmten Risiko geklärt werden.

Ausgehend vom Konzept der Risikokultur wurde das Hochwasserrisikomanagement entwickelt (PLATE, et al., 2001b). Grundlegender Bestandteil dieser Konzeption ist die Durchführung von Hochwasserrisikoanalysen, mit denen Hochwasserrisiken identifiziert und quantifiziert werden können (MERZ, 2006). Anhand der Ergebnisse können Schwachstellen in den bestehenden Schutzmaßnahmen aufgezeigt und Gegenmaßnahmen begründet werden. Um den beteiligten Akteuren (Planer, Politiker, Bürger) die Ergebnisse besser zu vermitteln, wird eine Visualisierung mit Karten empfohlen (MERZ & GOCHT, 2002).

Bisher endeten Arbeiten zur Hochwassergefahr an großen Flüssen mit der Ausweisung von Überschwemmungsflächen bei extremen Hochwasserereignissen und die daraus potentiell entstehenden Schäden (IKSR, 2001, LfUG, 2005, MURL, 2000). Hochwasserrisikoanalysen die Aussagen über die jährlichen Schadensbewertungen treffen, wurden bisher nur auf Gemeindeebene durchgeführt (MERZ & GOCHT, 2001).

Ausgehend von dem Ansatz von MERZ und THIEKEN (2004), Abbildung 1, bei dem sich das Hochwasserrisiko aus der Gefährdung und der Vulnerabilität (Exposition/ Anfälligkeit) ergibt, wurde in der vorliegenden Arbeit verschiedene Methoden und Abschätzverfahren zur Bestimmung des Hochwasserrisikos verglichen. Dabei sollte aufgezeigt werden, wie groß der Einfluss der verwendeten Landnutzungsdatensätze und Anfälligkeitsfunktionen auf die Aussagen zum Hochwasserrisiko sein können und wie groß die sich daraus ergebenden Unsicherheiten in den Aussagen sein können.

2 Allgemeine Vorgehensweise

Um das Hochwasserrisiko eines Gebietes zu charakterisieren sowie zu quantifizieren, muss zuerst die Gefährdung eines Gebietes gegenüber Hochwasser geklärt werden. Die Gefährdung ist dabei definiert als die Überschreitungswahrscheinlichkeit eines Hochwassers einer bestimmten Höhe an einem bestimmten Ort und in einem gegebenen Zeitintervall (MERZ & THIEKEN, 2004).

Aus den Ergebnissen der Gefährdungsanalyse lassen sich keine Rückschlüsse auf die auftretenden Konsequenzen eines solchen Hochwasserereignisses für Menschen, Gebäude,

Fabriken, landwirtschaftliche Flächen oder der Natur ziehen. Da die Vulnerabilität eines Systems beschrieben werden kann durch seine Exposition und seine Anfälligkeit gegenüber einem bestimmten Hochwasserereignis (MERZ, 2006), wird zuerst mit dem Einsatz von Landnutzungsdaten die räumliche Verteilung der Risikoelemente bestimmt. Daran anschließend wird die Anfälligkeit (susceptibility) bei einem Hochwasserereignis, mit Hilfe von Funktionen, die den Schadensgrad bei einer bestimmten Hochwasserintensität (Überflutungshöhe, Fließgeschwindigkeit) an einem Risikoelement bestimmen, berechnet. Durch die Verknüpfung der Ergebnisse der Gefährdungs- und Vulnerabilitätsanalyse können im letzten Schritt Aussagen zum Hochwasserrisiko im betrachteten Gebiet getroffen werden. Zum einen durch Risikokurven, wie in Abbildung 1 dargestellt, zum anderen durch die Berechnung der jährlichen Schadens expectation.

Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind wichtige Bausteine für Kosten- Nutzen- Analysen, die bei der Planung von neuen Hochwasserschutzvorrichtungen vorgenommen werden.

Abbildung 1: Hochwasserrisiko als Zusammenwirken von Gefährdung und Vulnerabilität (MERZ & THIEKEN, 2004)

3 Untersuchungsgebiet

Als Untersuchungsgebiet wurde in der vorliegenden Arbeit die Elbe verwendet. Der Flussabschnitt zwischen Schöna und Wittenberg wurde für die Hochwasserwahrscheinlichkeitsanalyse ausgewählt. Eine Hochwasserrisikoanalyse wurde jeweils an den Elbanliegerstädten Meissen und Torgau durchgeführt. Beide Städte wurden aufgrund ihres unterschiedlichen Hochwasserschutzgrades (ohne Deiche, eingedeicht), sowie der vergleichbaren potentiell gefährdeten Werte (150 Mio. € bei HQ 500 basiert auf CORINE Landnutzungsdaten) ausgewählt. Abbildung 2 gibt einen Überblick über das Untersuchungsgebiet.

Abbildung 2: Überblick der Untersuchungsgebiete

Vom Hochwasserereignis im August 2002 war Meißen stark betroffen. Im Untersuchungsgebiet Torgau hingegen traten keine Schäden auf. In Meißen kam es aufgrund von Starkniederschlägen im Einzugsgebiet der Triebisch, einem in der Ortslage Meißen mündenden Nebenfluss der Elbe, zu einem starken Anstieg des Abflusses (Pegel Munzig/ Triebisch: $160 \text{ m}^3/\text{s}$), dass der IKSE (2003) einem Wiederkehrintervall von 200 bis 500 Jahren entspricht. In Meißen wurden viele Flächen, besonders in der Altstadt, überflutet, die jahrzehntelang nicht überschwemmt wurden. Der Höchststand des Hochwassers der Elbe folgte nach einer Woche am 17.08.2002 und erreichte einen Wasserstand von 10,35 Meter (MHW= 5,7 m) am Pegel Meißen. Durch diese kurz aufeinander folgenden Extremereignisse entstanden an Wohn- und Industriegebäuden ein Sachschaden von über 100 Mio. € (SAB, 2004).

Wie oben schon erwähnt traten im Untersuchungsgebiet Torgau bei diesem Ereignis keine Schäden auf, jedoch ist die Flussstrecke Deichbruchgefährdet. Dies zeigt sich durch die Deichbrüche bei Röderau (Elbe-Km:105,9) und bei Dautzschen (Elbe-KM:163,2) im August 2002 (IKSE, 2003).

4 Methode

4.1 Gefährdungsanalyse

Für die beiden Untersuchungsgebiete wurde zu Beginn eine Hochwasserwahrscheinlichkeitsanalyse an den Abflusspegeln Dresden, Torgau und Wittenberg durchgeführt. Die untersuchten Datenreihen umfassten dabei den Zeitraum 1961-2003. Bei der Durchführung der Extremwertstatistik erfolgte die Anpassung der theoretischen Verteilungsfunktionen (Gumbel MM, Pearson III MM, LogNormal (2-parametrisch) MM, GL L-Momente, LogNormal (3 parametrisch) L-Momente, Pearson III, L-Momente) mit einem MATLAB-Programm von MERZ & THIEKEN (2005). Das Ziel der Untersuchung war es, fünf Abflusswerte, der Hochwasserabflüsse HQ 30, 50, 100, 200, 500, zu bestimmen.

Die Ergebnisse der Extremwertstatistik und die sich daraus ergebenden Hochwasserabflusswerte geben zunächst keinen Hinweis auf die räumlichen Auswirkungen des Hochwassers sowie seiner Intensität. Deshalb war es notwendig, die ermittelten Abflusswerte auf die Fläche zu transformieren und damit Werte der Intensität, wie Ausdehnung, Überflutungshöhen und/ oder Fließgeschwindigkeit zu erhalten.

Für die Transformation der Abflusswerte kamen in dieser Arbeit zwei verschiedene Programme zum Einsatz. Zuerst wurde mit dem Simulationsprogramm QSIM (Quality Simulation) der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) die Wasserspiegellagen generiert (KIRCHESCH & SCHÖL, 1999). QSIM ist ein deterministisches und eindimensionales (Gleichverteilung der Zustandsgrößen über den gesamten Gewässerquerschnitt) Gewässergütemodell, mit dem bei der BfG Simulationen von geplanten wasserbaulichen Maßnahmen an Bundeswasserstrassen durchgeführt werden.

Die Wasserspiegellagen wurden für den Elbeabschnitt Schöna (Elbekilometer: 2) an der tschechischen Grenze bis Wittenberg (Elbekilometer: 214,1) berechnet. Als Eingangsdaten in die Simulation gingen die Abflusswerte aus der Extremwertstatistik ein. Die Simulationen der Hochwasserereignisse erfolgte unter stationären, eindimensionalen und fließkonformen Bedingungen.

Die erhaltenen Daten wurden als Ausgangsdaten für die Erzeugung der Überflutungsflächen verwendet, die mit dem Programm WMS (Watershed Management System) hergestellt wurden (EMS-I, 2006). Mit WMS wurden, nach dem Ablaufplan in Abbildung 3, die Überflutungsflächen und die Überflutungstiefen generiert. Das verwendete Digitale GeländeModell (DGM) besaß eine Rasterauflösung von 25m x 25m.

Abbildung 3: Ablauf der Generierung von Überflutungsflächen mit WMS

Die Generierung der Überschwemmungsflächen mit WMS erfolgt in vier Bearbeitungsschritten (Abbildung 3). Im ersten wird auf der Grundlage eines DGM des Untersuchungsgebietes ein TIN (Triangulated Irregular Network) erzeugt. Im nächsten Schritt werden die Wasserspiegellagen hinzu geladen. Anschließend werden die Kriterien (Searchradius, Flow Distance) festgelegt, unter deren Determinanten die Generierung der Überflutungsflächen erfolgen soll. Im letzten Schritt erfolgt die Berechnung der Überflutungsflächen (NOMAN et al., 2003).

Im Untersuchungsgebiet Torgau mussten, da es sich um ein eingedeichtes Gebiet handelt, Deichbruchszenarien erstellt werden. Dabei wurde von einem vollständigen Deichbruch mit einer Breche von 100 Metern ausgegangen und gearbeitet. Die Generierung der Überflutungsflächen erfolgte nach dem gleichen Ablauf, wie oben beschrieben.

4.2 Vulnerabilitätsanalyse

Um die Vulnerabilität eines Gebietes gegenüber Hochwasserereignissen bestimmen zu können, werden Informationen über die räumliche Verteilung der Risikoelemente benötigt. In der Regel werden Landnutzungsdatensätze verwendet, um die Exposition der gefährdeten Risikoelemente zu bestimmen.

Für die Bestimmung der Exposition der durch Hochwasser gefährdeten Objekte wurden die Landnutzungsdatensätze CORINE 2000 und das ATKIS- Basis DLM verwendet.

Im CORINE-2000 Datensatz sind europaweit 44 Bodenbedeckungskategorien bzw. Landnutzungskategorien kartiert und liegt in einer räumlichen Auflösung von 1: 100 000 vor (KEIL et al., 2002).

Das ATKIS- Basis DLM des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG, 2005) ist ein Landnutzungsdatensatz, der im Vektorformat vorliegt und eine räumliche Auflösung von 1: 25 000 besitzt.

Da in der Untersuchung nur die Klassen Siedlung und Industrie betrachtet werden sollten, erfolgte eine Klassifizierung der Objektarten, die in Tabelle 1 aufgezeigt ist.

Landnutzungs- datensatz	Objektarten	Nutzungs- kategorien
ATKIS	2111	Siedlung
	2113	
	2114	
	2112	Industrie
CORINE	112	Siedlung
	121	Industrie

Tabelle 1: Klassifizierung der Landnutzungstypen

Mit der Anwendung von Anfälligkeitsfunktionen wird der Grad der Schädigung durch ein Hochwasser an einem Risikoelement festgestellt. Bei der Bestimmung der prozentualen Schadensgrade kamen die Anfälligkeitsfunktionen in Tabelle 2 zum Einsatz, die in den Studien IKSR (2001), MURL (2000) und LfUG (2005) für die Landnutzungskategorien Siedlung und Industrie angewendet wurden und zur Bestimmung der Gebäudeschäden verwendet wurden. Dabei muss erwähnt werden, dass sich die Anwendung der Anfälligkeitsfunktionen bei IKSR (2001) und bei LfUG (2005) unterscheiden durch die verwendeten Landnutzungsdatensätze.

Landnutzungs- datensatz	Nutzungs- kategorien	Objektarten	Anfälligkeitsfunktionen	Verwendung in
ATKIS	Siedlung	2111	$Y=27*\sqrt{x}$	MURL (2000)
			$Y=2*x^2+2x$	LfUG (2005)
		2113	$Y=27*\sqrt{x}$	MURL (2000)
			$Y=2*x^2+2x$	LfUG (2005)
		2114	$Y=30*\sqrt{x}$	MURL (2000)
			$Y=2*x^2+2x$	LfUG (2005)
	Industrie	2112	$Y=27*\sqrt{x}$	MURL (2000)
			$Y=2*x^2+2x$	LfUG (2005)
CORINE	Siedlung	112	$Y=2*x^2+2x$	IKSR (2001)
	Industrie	121	$Y=2*x^2+2x$	IKSR (2001)

Tabelle 2:

Verwendete Anfälligkeitsfunktionen (x= Wasserstand in cm; Y= Schädigungsgrad in %)

Um die monetären Schäden, die durch Hochwasserereignisse auftreten, quantifizieren zu können, werden Angaben zu den gefährdeten Vermögenswerten gebraucht.

Aus dem Grad der Schädigung und den Vermögenswerten lassen sich dann die Hochwasserschäden ableiten. Um die Höhe der potentiellen monetären Schäden für jedes einzelne Rasterzelle im Datensatz bestimmen zu können, ist eine Verschneidung der vorher errechneten Schädigungsgrade mit Angaben zu spezifischen Vermögenswerten durchzuführen, die das Schadenspotential angeben. Hier wurden Werte für das spezifische Wohnvermögen verwendet, die von KLEIST et al (2006) erstellt wurden. Da jedoch nur Werte für das spezifische Wohnvermögen vorliegen, wurde für die Klasse „Industrie“ die Werte mit den Angaben aus der Gefahrenhinweiskarte Sachsen(2005) in Relation gesetzt. Dies war notwendig, da die Wertangaben des spezifischen Wohnvermögens bei KLEIST et al. (2006) und LfUG (2005) stark abweichen.

Das Ergebnis dieses Berechnungsschrittes ist ein Rasterdatensatz, in dem die potentiellen monetären Kosten, die bei einem Hochwasser mit bestimmtem Wiederkehrintervall entstehen, enthalten sind.

Nachdem für alle betrachteten Jährlichkeiten diese Prozedur durchgeführt wurde, wird im abschließenden Berechnungsschritt das Hochwasserrisiko als jährlicher Schadenserwartungswert berechnet.

4.3 Bestimmung Hochwasserrisiko

PLATE (2002) beschreibt Risiko als eine Kombination aus Vulnerabilität und geschätzter Auftretenswahrscheinlichkeit.

Um quantifizierbare Aussagen zum Hochwasserrisiko in einem Gebiet über einen definierten Zeitraum treffen zu können, müssen die Ergebnisse der Gefährdungsanalyse und Vulnerabilitätsanalyse zusammengeführt werden. Diese Quantifizierung erfolgt mit der Berechnung der jährlichen Schadenserwartungswerte, die das langjährige statistische Mittel des zu erwartenden Hochwasserschadens angeben.

Berechnet wird die jährliche Schadenserwartung (S) (engl. EAD- Expected annual Damage) mit der Formel:

$$S = \frac{S_i + S_{i-1}}{2} \Delta P \quad \text{Formel 4-1}$$

Dabei wird der jährliche Schadenserwartungswert mit dem abgeschätzten Schadenswert für ein Ereignis bestimmter Auftretenswahrscheinlichkeit (z.B. Schaden durch ein 100 jährliches Hochwasser) S_i und einem anderen Ereignis mit bestimmter Auftretenswahrscheinlichkeit (z.B. Schaden durch ein 50 jährliches Hochwasser) S_{i-1} und der Differenz der beiden betrachteten Auftretenswahrscheinlichkeiten ΔP berechnet. Das Prinzip der Berechnung ist in der Abbildung 4 veranschaulicht (DVWK, 1985).

Abbildung 4: Berechnung des jährlichen Schadenserwartungswert (nach DVWK 1985)

Das Ergebnis dieses Berechnungsschrittes ist ein Rasterdatensatz, in dem der jährliche Schadenserwartungswert in $\text{€} / \text{m}^2$ für das betrachtete Zeitintervall enthalten ist. Dieser Rasterdatensatz ist die Grundlage für die kartographische Ausgabe der Ergebnisse.

5 Ergebnisse und Auswertung

5.1 Gefährdungsanalyse

Die Ergebnisse der Extremwertstatistik sollten Hinweise darauf liefern, wie groß die Abflusswerte gewählt werden müssen, um für den betrachteten Elbabschnitt vergleichbare Hochwasserszenarios mit gleichen Wiederkehrintervallen zu erhalten. Die Extremwertstatistik wurde für die Abflusspegel Dresden, Torgau u. Wittenberg durchgeführt. Orientiert wurde sich bei der Festlegung der Abflusswerte an den bei der Extremwertstatistik erzielten Mittelwerten (engl.= Composite), wie in Abbildung 5 am Abflusspegel Dresden aufgezeigt.

Abbildung 5: Verteilungsfunktionen Dresden und verwendete Abflusswerte

Nach der Auswertung der Extremwertstatistik wurden die in Tabelle 3 aufgeführten Abflusswerte für die Simulationsrechnungen mit QSIM verwendet.

Wiederkehrintervalle (T) in a	verwendete Abflusswerte m^3/s^{-1}
30	2900,00
50	3100,00
100	3400,00
200	3900,00
500	4400,00

Tabelle 3: Verwendete Abflusswerte

Die Transformation der Wasserspiegellagen mit WMS erfolgte nach dem oben beschriebenen Verfahren. Die Überschwemmungsflächen wurden für jedes betrachtete Hochwasserereignis in beiden Untersuchungsgebieten hergestellt. Ein Beispiel dieser Gefährdungskarten ist in Abbildung 6 dargestellt.

Abbildung 6: Gefährdungskarte Meissen HQ 500

5.2 Vulnerabilitätsanalyse

Die Abschätzung der Schäden wurde für jedes betrachtete Hochwasserereignis (Meissen HQ 30, 50, 100, 200, 500; Torgau HQ 100, 200, 500) durchgeführt. Für alle Hochwasserszenarien wurden für die ATKIS Landnutzungsdaten, die Anfälligkeitsfunktionen aus MURL (2000), im Folgenden mit ATKIS-MURL bezeichnet, und der Gefährdungskarte

Sachsen (LfUG, 2005) im Folgenden mit ATKIS-LfUG bezeichnet, zu den jeweiligen Landnutzungskategorien angewendet. Für die genannten Landnutzungskategorien aus dem CORINE-Datensatz wird mit den Anfälligkeitsfunktionen, die bei der Erstellung des Rheinatlas (IKSR, 2001) zur Anwendung kamen, gearbeitet (CORINE-IKSR).

Untersuchungsgebiet Meissen

Insgesamt ist im Untersuchungsgebiet Meissen festzustellen, dass mit Zunahme der Hochwasserabflusswerte auch ein Anstieg der monetären Schäden auftritt. Dieser Anstieg wird in Abbildung 7 deutlich.

Abbildung 7: Vergleich der potentiellen Schäden in Meissen

Bei dem Vergleich der unterschiedlichen Berechnungsverfahren können große Unterschiede in den abgeschätzten Teilsummen für Siedlung und Industrieflächen sowie in den Gesamtsummen festgestellt werden. Der größte Unterschied in den Gesamtsummen besteht zwischen den Werten, die mit der Kombination ATKIS - LfUG durchgeführt wurden und der Kombination CORINE- IKSR. Hier sind Unterschiede in den Gesamtsummen von 18 Mio. € bis zu 30 Mio. €. festzustellen. Ebenfalls differenzieren sich die Abschätzungen mit ATKIS – MURL und CORINE –IKSR. Hier sind die CORINE – IKSR Gesamtsummen um den Faktor 1,5 bis 2,0 größer als die mit ATKIS – MURL abgeschätzten Hochwasserschäden.

Untersuchungsgebiet Torgau

Die Resultate der im Untersuchungsgebiet durchgeführten Abschätzungen sind in der Abbildung 8 dargestellt. Die höchsten Schadenssummen wurden mit dem Verfahren ATKIS - MURL berechnet. Bei dem HQ 500 Szenario wurde ein Gesamtschaden von 36.09 Mio. € abgeschätzt. Bei dem gleichen Szenario tritt mit der Abschätzung nach CORINE –IKSR ein Gesamtschaden von 14.88 Mio. € und mit dem Verfahren ATKIS - LfUG ein potentieller

Schaden von 9.95 Mio. € ein. Die hier beschriebenen Unterschiede sind auch in den anderen betrachteten Szenarien (vgl. Abbildung 8) zu beobachten.

Abbildung 8: Vergleich der potentiellen Schäden in Torgau

Vergleich der Gesamtschäden in Meissen und Torgau

Bei einem Vergleich der Schadensabschätzungen konnten Gemeinsamkeiten und Differenzen zwischen beiden Untersuchungsgebieten festgestellt werden.

Betrachtet man die Abbildung 9, bei der die Gesamtschäden der beiden Untersuchungsgebiete als Risikokurven aufgetragen sind, kann festgestellt werden, dass die Ergebnisse der betrachteten Abschätzverfahren große Unterschiede in den prognostizierten Schadenssummen aufweisen. Die Abweichungen der Gesamtschadenssummen bei den einzelnen Abschätzverfahren bleiben dabei ungefähr gleich. Different dagegen ist die Reihenfolge in der Höhe der Gesamtsummen der verwendeten Abschätzverfahren. So ergeben sich in Meissen mit dem Verfahren CORINE – IKSR die höchsten Schadenssummen. In Torgau liefert dieses Verfahren dagegen die mittleren Schätzwerte. Ebenfalls unterschiedlich zeigen sich die Abschätzungen mit dem Verfahren ATKIS – MURL. In Torgau wird mit diesem Verfahren die höchsten Gesamtschäden abgeschätzt, wohingegen in Meissen mit dem Verfahren CORINE – IKSR die höchsten Schadenssummen errechnet werden.

Die ungleichen Ergebnisse der Schadensabschätzungen sind zum einen zurückzuführen auf die unterschiedliche räumliche Auflösung und Genauigkeit der verwendeten Landnutzungsdaten. Dieser Effekt wird deutlich bei den unterschiedlichen Schätzergebnissen bei ATKIS- MURL und CORINE-IKSR, dargestellt in Abbildung 9. Zum anderen lassen sich die Differenzen erklären durch die diversen Anfälligkeitsfunktionen. Wie sich die verschiedenen Anfälligkeitsfunktionen auf die Schätzergebnisse auswirken lässt sich

bei der Betrachtung der Abbildung 10 aufzeigen.

Abbildung 9: Vergleich der Gesamtsummen für Meissen Torgau

Diese Abbildungen zeigen die Verteilung der Überschwemmungstiefen innerhalb der Landnutzungskategorien (Siedlung und Industrie) bei einem Hochwasser der Stärke HQ 500 in den beiden Untersuchungsgebieten. Da die Überflutungshöhe der Indikator zur Berechnung des Schadensgrades (in %) in den verwendeten Anfalligkeitsfunktionen ist, wurden zudem die Anfalligkeitsfunktionen in den Diagrammen dargestellt. Es zeigen sich deutlich die unterschiedlichen Überflutungshöhen innerhalb der betrachteten Landnutzungskategorien. Zudem wird deutlich, dass im Untersuchungsgebiet Meissen bei der Verwendung der CORINE - Landnutzungsdaten keine Industrieflächen überschwemmt werden. Außerdem zeigt die Abbildung 10 die ungleiche Verteilung der überschwemmten Siedlungsflächen in CORINE – sowie ATKIS. Im Untersuchungsgebiet Torgau ist dieses Muster nicht zu finden (Abbildung 10). Hier werden Siedlungsfläche und Industrieflächen gleichmäßig im Diagramm wiedergegeben. Dabei überwiegt die Überschwemmung der Industrieflächen.

Abbildung 10:

Vergleich der Überflutungshöhen innerhalb der Landnutzungskategorien bei HQ 500 für Meissen/ Torgau

Betrachtet man jetzt die Graphen der Anfälligkeitsfunktionen, so ist im Bereich von 2 Meter Überflutungshöhe ein großer Gegensatz zwischen den Anfälligkeitsfunktionen festzustellen. Hier differenzieren die Schadensgrade um ca. 20 Prozent. Diese Differenz in den Ergebnissen der Schadensgradabschätzung setzt sich in den weiteren Berechnungsschritten fort und erklärt damit die Unterschiede in den Angaben der monetären Hochwasserschäden, vor allen zwischen den Schätzwerten ATKIS-MURL und ATKIS- LfUG.

5.3 Risiko

Wie im Abschnitt 4.3 aufgeführt wurde abschließend das Hochwasserrisiko, quantifiziert durch den jährlichen Schadenserwartungswert, berechnet.

Meissen

In Abbildung 11 ist der prozentuale Anteil der Wahrscheinlichkeitsbereiche (in Zeitintervallen z.B. HQ 30-50) an den jährlichen Schadenserwartungswerten für die betrachteten Abschätzverfahren und für beide Untersuchungsgebiete dargestellt. Es zeigt sich, dass sich die Differenzen aus den Schadensabschätzungen (Abschnitt 5.2) fortsetzen. Im Untersuchungsgebiet Meissen variieren die prozentualen Anteile der jährlichen Schadenserwartungswerte bei der Abschätzung ATKIS - MURL nur gering in den betrachteten Zeitintervallen. Bei der Kombination ATKIS – LfUG weist das Intervall HQ 30 - HQ 50 den höchsten Anteil an den jährlichen Schadenserwartungswerten auf. Den geringsten Anteil (ca. 25%) nehmen die höheren Hochwasserereignisse (HQ 50 - 100, HQ 100 – 200, HQ 200 – 500) ein. Nach den Abschätzungen mit CORINE – IKSR, sind die Intervalle HQ 30 – 100 am schadensintensivsten.

Abbildung 11: Prozentualer Anteil der Wahrscheinlichkeitsbereiche am jährlichen Schadenserwartungswert in Meissen und Torgau

Die Aussagen zum Hochwasserrisiko im Untersuchungsgebiet Meissen unterscheiden sich auf der Grundlage der obigen Abbildung. Bei einer Risikoaussage mit den Ergebnissen der Abschätzung mit ATKIS – MURL wird deutlich, dass bei jedem Hochwasserereignis ungefähr vergleichbare Schäden zu erwarten sind. Die Abschätzungen mit ATKIS - LfUG deuten darauf hin, dass ein Hochwasserschutz bis HQ 50 bis zu 75% der zu erwartenden Gebäudeschäden im Bereich private Haushalte und Unternehmen mindert. Hochwasserereignisse mit geringeren Wiederkehrintervallen würden ebenfalls kleinere Schäden verursachen. Nach den Abschätzungen CORINE - IKSR würde ein Hochwasserschutz HQ 100 bis zu 65 % der Hochwasserschäden reduzieren.

Abbildung 12: Absolutwerte der jährlichen Schadenserwartung

Um die oben gemachten Aussagen zu unterstreichen, sind in Abbildung 12 die

Absolutwerte der jährlichen Schadenserwartung aufgezeigt. Im Unterschied zu der Abbildung 11 sind hier jedoch die zu erwartenden Schäden (gewichtet nach Wahrscheinlichkeit) für die betrachteten Wahrscheinlichkeitsintervalle abzulesen. Die höchsten jährlichen Schadenserwartungswerte werden in Meissen auf Basis von CORINE - IKS (Gesamtsumme: 0,76 Mio. €/a) erreicht. Ungefähr um die Hälfte weniger (MURL- ATKIS: 0,31 Mio. €/a bzw. LfUG- ATKIS: 0,37 Mio. €/a) sind die Gesamtsummen der beiden anderen Abschätzungen.

Die Abbildung 13 zeigt Karten der jährlichen Schadenserwartungswerte für ein HQ 500. Sie verdeutlicht die unterschiedliche Verteilung in Abhängigkeit der verwendeten Abschätzverfahren und Landnutzungsdaten. Für jedes Abschätzverfahren gilt, dass die höchsten jährlichen Schadenserwartungswerte in Elbnähe anzutreffen sind. Des Weiteren sind in den Bereichen der Zuflüsse, besonders an der Triebisch, erhöhte Schadenserwartungen festzustellen. Die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Unterschiede zeigen sich auch in den Karten. Besonders auffällig zeigen sich beim Vergleich der Karten die Unterschiede der verwendeten Landnutzungsdaten. Bei dem ATKIS- DLM werden die Flussflächen der Elbe nicht mit in die Abschätzungen einbezogen. Durch die fehlerhafte Abbildung des CORINE- Landcover Datensatzes, werden große Bereiche des Flusses mit in die Berechnungen einbezogen. Dieser Fehler in Abbildung der Landnutzungsdaten kann auch die große Differenz der aufsummierten jährlichen Schadenserwartungswerten erklären.

Abbildung 13: ermittelte jährliche Schadenserwartungswerte im Untersuchungsgebiet Meissen

Torgau

Wie im Untersuchungsgebiet Meissen wurden die jährlichen Schadenserwartungswerte für das Untersuchungsgebiet Torgau ermittelt. Das Untersuchungsgebiet ist eingedeicht und die Deiche sind für ein Bemessungshochwasser HQ 100 ausgewiesen (IKSE, 2001). Deshalb wurden die jährlichen Schadenserwartungswerte für die Intervalle HQ 100 – 200 und HQ 200 - 500 berechnet. Die Abbildung 11 zeigt die Ergebnisse der Kalkulationen. Bei MURL - ATKIS ergeben sich 55% Schäden im Intervall HQ 100-200. Eine Gleichverteilung der zu erwartenden Schäden ergibt sich bei den Abschätzungen mit ATKIS - LfUG. Demgegenüber stehen die Ergebnisse bei CORINE - IKS. Hier erhöhen sich die Kosten der Schäden im Intervall HQ 200-500.

Die Aussagen zum Hochwasserrisiko, im Untersuchungsgebiet Torgau variieren, wie im Untersuchungsgebiet Meissen. Nach der Betrachtung der absoluten jährlichen Schadenserwartungswerte, Abbildung 12, können die folgenden Aussagen getroffen werden. Es können auf der Basis MURL - ATKIS bis zu 55% der Schäden eines HQ 500 Hochwassers vermieden werden, wenn ein Ausbau des Hochwasserschutzes auf das Niveau HQ 200 geschieht, vgl. Abbildung 11. Um die prognostizierten Schäden für ein Hochwasser HQ 200 zu vermeiden bzw. zu kompensieren, müssten jedes Jahr 115038.5 € in den Hochwasserschutz investiert oder als Rücklage angelegt werden. Einen deutlich geringeren finanziellen Aufwand, mit 18759.77 €/a, prognostiziert dagegen das Abschätzungsverfahren ATKIS - LfUG. Mit diesen jährlichen Investitionskosten könnten demnach 50% der Schäden eines HQ 500 Hochwassers vermieden bzw. ausgeglichen werden. Anders als bei den vorangegangenen Abschätzverfahren gibt CORINE - IKS den finanziellen Aufwand für das Hochwasserschutzniveau HQ 200 mit 26548.79 €/a an.

Die Auswertung der Karten, die die Verteilung der jährlichen Schadenserwartungswerte darstellen, ergab die folgenden Ergebnisse. Bei der Gegenüberstellung der erstellten Schadenserwartungskarten (Abbildung 14) für HQ 500 im Untersuchungsgebiet Torgau ist eine unterschiedliche Ausprägung der Schadenserwartungswerte festzustellen. Die höchsten jährlichen Schadenserwartungswerte werden erreicht im Industriegebiet an der Elbe, mit allen Abschätzverfahren. Das Abschätzverfahren ATKIS - MURL weist hierbei die höchsten jährlichen Schadenserwartungswerte auf. Demgegenüber wird bei CORINE - IKS die ungleiche räumliche Auflösung der Landnutzungsdatensätze deutlich. So sind in CORINE die Siedlungsgebiete von Döbern und Repitz nicht erfasst und können so nicht in die Abschätzung einbezogen werden.

Abbildung 14: Vergleich des jährlichen Schadens Erwartungswertes im Untersuchungsgebiet Torgau

6 Diskussion

Es konnten in beiden Untersuchungsgebieten erfolgreich Hochwasserrisikoanalysen durchgeführt werden. Besonderes Augenmerk sollte in dieser Arbeit auf die Unterschiede in den Abschätzungsverfahren von monetären Hochwasserschäden mittels der Landnutzungsdatensätze ATKIS und CORINE und den Anfälligkeitsfunktionen der Studien MURL (2000), IKSR (2001) und LfUG (2005) sowie den sich daraus ergebenden Hochwasserrisikoaussagen gerichtet werden.

Ein Vergleich der verschiedenen Ergebnisse in beiden Untersuchungsgebieten zeigt, deutliche Unterschiede im Ausmaß der monetären Hochwasserschäden. In beiden Untersuchungsgebieten variieren die berechneten Gesamtschäden bis zu einem Faktor 4 zwischen den verwendeten Abschätzverfahren. Aussagen zur Güte der berechneten Hochwasserschäden konnten nur im Untersuchungsgebiet Meissen durchgeführt werden. Hierbei wurden die monetären Hochwasserschäden, die bei dem bisher höchsten beobachteten Elbehochwasser im August 2002 auftraten, mit dem in dieser Untersuchung berechneten Schadenssummen verglichen. Dabei zeigte sich, dass die Hochwasserschäden 2002, mit über 100 Mio. € (SAB 2004), ungleich höher ausfielen, als die hier abgeschätzten Schäden. Die Differenz zwischen den abgeschätzten Hochwasserschäden und den tatsächlich aufgetretenen Schäden kann darauf zurückgeführt werden, dass viele Hochwasserschäden im August 2002 nicht durch die Elbe, sondern durch hohe, sowie schnelle Abflüsse des Elbenebenflusses Triebisch hervorgerufen wurden. In den hier untersuchten Szenarien wird die Triebisch jedoch nicht berücksichtigt.

Aussagen zur Güte der ermittelten Schadenssummen im Untersuchungsgebiet Torgau konnten nicht gemacht werden, da hier keine Vergleichswerte vorlagen.

Eine Empfehlung, welcher Landnutzungsdatensatz mit welchen Anfälligkeitsfunktionen für die Anwendung in der Praxis verwendet werden soll, kann nicht eindeutig gegeben werden. Es können mit allen hier verwendeten Verfahren Aussagen zur Hochwassergefahr und damit zu den bei Hochwasserereignissen potentiell auftretenden Schäden getroffen werden.

Der Landnutzungsdatensatz CORINE ist durch eine gröbere räumliche Auflösung der Landnutzungsflächen gekennzeichnet. Dabei entstehen fehlerhafte Abbildungen der realen räumlichen Verhältnisse. Besonders in Meissen zeigte sich dies an großen Bereichen der Landnutzungskategorie Siedlung, die sich laut CORINE im Flussschlauch der Elbe befindet.

Demgegenüber zeichnet sich der Landnutzungsdatensatz ATKIS durch eine höhere Flächentreue aus. Zudem führt die feinere Unterscheidung in den Objektarten (u. a. Siedlung, Industrie, Wohnnutzung) zu detaillierten Ergebnissen bei Hochwasserrisikoanalysen.

Bei zukünftig durchzuführenden Hochwasserrisikoanalysen sollte vorab die Frage geklärt werden, welche Feinheiten die Ergebnisse aufweisen sollen. Ist das Ziel, detaillierte Aussagen zum Hochwasserrisiko zu erhalten, sollte der ATKIS Landnutzungsdatensatz dem Landnutzungsdatensatz CORINE vorgezogen werden.

7 Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene Methoden zur Realisierung einer Hochwasserrisikoanalyse vorgestellt. In zwei Untersuchungsgebieten an der Elbe wurden diese Methoden angewendet. Mit den Ergebnissen der durchgeführten Analysen zur Hochwassergefährdung und zur Vulnerabilität konnten Aussagen zum Hochwasserrisiko in den untersuchten Gebieten abgeleitet werden.

In der Replik der durchgeführten Analysen sowie deren Ergebnisse zeigte sich, dass mit dem methodischen Vorgehen Aussagen zum Hochwasserrisiko geliefert werden können.

Obwohl die Methode erfolgreich durchgeführt werden konnte, zeigten sich während der Bearbeitung sowie bei der Auswertung der Ergebnisse Probleme und Hindernisse, die sich auf die Ergebnisse und die Aussagekraft von Hochwasserrisikoanalysen auswirken. Im Folgenden werden einige dieser Probleme aufgezeigt und mögliche Fragen für weitere Forschungsvorhaben gestellt.

Eine Hochwasserrisikoanalyse kann nur durchgeführt werden, wenn eine Vielzahl von Daten aus der Hydrologie, der Hydraulik, der Geländemorphologie sowie Daten zur Landnutzung und wirtschaftsstatistischen Daten vorliegen. Die Güte und die Genauigkeit dieser Daten beeinflussen das Ergebnis der Hochwasserrisikoanalysen. Die verwendeten Abflussdaten aus der Hydrologie zur Bestimmung der Hochwasserwahrscheinlichkeit weisen große

Unterschiede in der zeitlichen Auflösung auf. Mit der Länge der Zeitreihen erhöht sich gleichzeitig die Genauigkeit der Ergebnisse aus der Extremwertstatistik. Somit lassen sich bessere Vorhersagen über zukünftige Abflüsse treffen. Trotz der Ausdehnung der hydrologischen Datengrundlagen sollten weiterhin Forschungen hinsichtlich der Erhöhung der Genauigkeit von Hochwasserwahrscheinlichkeitsanalysen durchgeführt werden. Bei der Erstellung der Überflutungsflächen ergaben sich große Probleme bei der Nutzung der Digitalen Geländemodelle. Häufig konnten Fehler in der Genauigkeit der wiedergegebenen Höhenangaben im DGM festgestellt werden. In Zukunft werden sich die Höhenangaben sowie die räumliche Auflösung der digitalen Geländemodelle, z.B. durch verstärkte Laserscanbefliegung entlang von Flussläufen verbessern und dadurch die Genauigkeit erhöhen.

Der Verbesserung der Landnutzungsdatensätze sollte besondere Beachtung zuteil werden, da diese eine Schlüsselrolle bei der Durchführung von Hochwasserrisikoanalysen mit der Ausweisung der Exposition einnehmen. Besonders bei CORINE zeigten sich in dieser Untersuchung grobe Abbildungsfehler, die mit einer Verbesserung der Fernerkundungsmethoden bzw. Aufnahmeverfahren gelöst werden kann.

In dieser Untersuchung wurden Angaben zum spezifischen Wohnvermögen von KLEIST et al. (2006) für die Bestimmung der Vulnerabilität verwendet. Es wird empfohlen für Industrievermögenswerte einen äquivalenten Datensatz zu erstellen.

Aus diesen Ausführungen geht hervor, dass nur mit einer Verbreiterung der Datengrundlage eine höhere Genauigkeit in den Aussagen von Hochwasserrisikoanalysen zum Hochwasserrisiko erreicht werden kann. Jedoch bleibt am Ende dieser Arbeit festzuhalten, dass die Simulation von Hochwasserereignissen und die daraus abzuschätzenden Hochwasserschäden zurzeit nur eine Annäherung an die real auftretenden Prozesse darstellen. Jedes Hochwasser läuft anders ab.

8 Literatur

BKG (BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE) (2005): ATKIS - Metainformationssystem. www.geodatenzentrum.de. Stand: 30.12. 2005

DVWK (DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU) (1985): Ökonomische Bewertung von Hochwasserschutzmassnahmen. In: DVWK- Materialien, S. 18-25

EMS-I (ENVIRONMENTAL MODELING SYSTEMS. INCORPORATED) (2006): WMS -Watershed Modelling System. http://www.ems-i.com/WMS/WMS_Overview/wms_overview.html. Stand: 1.10. 2006

IKSE (INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DER ELBE) (2001): Bestandsaufnahme des

vorhandenen Hochwasserschutzniveaus im Einzugsgebiet der Elbe. Magdeburg

IKSE (INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DER ELBE) (2003): Dokumentation des Hochwassers vom August 2002 im Einzugsgebiet der Elbe. Magdeburg

IKSR (INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DES RHEINS) (2001): Übersichtskarten der Überschwemmungsgefährdung und der möglichen Vermögensschäden am Rhein - Abschlussbericht. Koblenz

KEIL, M., MOHAUPT-JAHR, B., KIEFL, R. & STRUNZ, G. (2002): Das Projekt CORINE Land Cover 2000 in Deutschland. In: DECH, S. (Hrsg.): Tagungsband 19. DFD-Nutzerseminar. S. 95-104

KIRCHESCH, V. & SCHÖL, A. (1999): Das Gewässergütemodell QSIM- Ein Instrument zur Simulation und Prognose des Stoffhaushalts und der Planktodynamik von Fließgewässern. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 43, S. 302- 312

KLEIST, L., THIEKEN, A. H., KÖHLER, P., MÜLLER, M., SEIFERT, I., BORST, D., WERNER, U. (2006): Estimation of the regional stock of residential buildings as a basis for a comparative risk assesment in Germany. In: Natural Hazards and Earth System Sciences, 6, S. 541-552

KRON, W. (2005): Flood Risk = Hazard * Values * Vulnerability. In: Water International, 30, S. 58-68

LfUG (SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE) (2005): Hochwasser in Sachsen - Gefahrenhinweiskarten. Dresden

MERZ, B. (2006): Hochwasserrisiken - Grenzen und Möglichkeiten der Risikoabschätzung. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart

MERZ, B. & GOCHT, M. (2001): Risikoanalyse Seckach/ Kirnau, Teil II: Ermittlung von Schadenspotentialen. Kosten-Nutzen- Analyse. Interner Projektbericht

MERZ, B. & GOCHT, M. (2002): Karten für die Hochwasservorsorge und das Risikomanagement auf der lokalen Skala. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 47, S. 186-194

MERZ, B. & THIEKEN, A. (2004): Flood Risk Analysis: Concepts and Challenges. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 56, S. 27-34

MERZ, B. & THIEKEN, A. (2005): Separating natural and epistemic uncertainty in flood frequency analysis. In: Journal of Hydrology, 309, S. 114 - 132

MURL (MINISTERIUM FÜR UMWELT; RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN) (2000): Potentielle Hochwasserschäden am Rhein in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf

NOMAN, N. S., NELSON, E. J., ZUNDEL, A. K. (2003): Improved Process for Floodplain Delineation from Digital Terrain Models. In: Journal of Water Ressources Planning and Management, 129, S. 427-436

PETRASCHEK, A. (2002): Risikobeurteilung und Gefahrenzonenplanung in der Schweiz. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 54, S. 123-127

PLANAT (1998): Plattform Naturgefahr: Von der Gefahrenabwehr zur Risikokultur. Bern

PLATE, E. J. (2002): Flood risk and flood management. In: Journal of Hydrology, 267, S. 2-11

SAB (SÄCHSISCHE AUFBAUBANK) (2004): Schäden durch das August-Hochwasser 2002 -Angaben aus der Fördermitteldatenbank. Stand: 15.5. 2004