

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Nikolowski, Johannes; Golz, Sebastian; Rubin, Carlos; Naumann, Thomas**

## **Abschätzung verhinderter Schäden für Nutzen-Kosten-Untersuchungen des technischen Hochwasserschutzes - Das Pilotprojekt Pirna**

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103492>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Nikolowski, Johannes; Golz, Sebastian; Rubin, Carlos; Naumann, Thomas (2013): Abschätzung verhinderter Schäden für Nutzen-Kosten-Untersuchungen des technischen Hochwasserschutzes - Das Pilotprojekt Pirna. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Technischer und organisatorischer Hochwasserschutz - Bauwerke, Anforderungen, Modelle. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 48. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 111-122.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



# **Abschätzung verhinderter Schäden für Nutzen- Kosten-Untersuchungen des technischen Hochwas- serschutzes - Das Pilotprojekt Pirna**

Johannes Nikolowski  
Sebastian Golz  
Carlos Rubín  
Thomas Naumann

Hochwasserschutzmaßnahmen müssen bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit bewertet und priorisiert werden. Durch eine Überlagerung und Verknüpfung der hydrologisch-hydraulischen Belastungssituation mit der Landnutzungs- und Vermögensverteilung im hochwassergefährdeten Bereich werden die Hochwasserschäden zukünftiger Ereignisse abgeschätzt. Diese Hochwasserschäden werden dann den Kosten geplanter Hochwasserschutzmaßnahmen, jeweils über die geplante Nutzungszeit der Anlage, entgegengesetzt. Im Pilotprojekt Hochwasserschutz Pirna, einem Projektkomplex der Landestalsperrenverwaltung Sachsen, bestehend aus einem überregionalen Projekt sowie örtlichen Projekten zum öffentlichen Hochwasserschutz, kam ein synthetischer Ansatz zur Erhebung der zu erwartenden Hochwasserschäden an Gebäuden zum Einsatz. Mit Hilfe eines geografischen Informationssystems (GIS) wurden Flächennutzungen kartiert, bevor durch Ortsbegehungen eine gebietsspezifische Wohngebäudetypologie erstellt wurde. Eine detaillierte Analyse der Struktur und Baukonstruktion ausgewählter Gebäuderepresentanten bildete die Basis für eine synthetische Ermittlung von Wasserstand-Schaden-Beziehungen. Weiterhin wurden auch besondere Substanzschäden infolge von hydrodynamischen Einwirkungen ermittelt und in Form mehrdimensionaler Schadensbeziehungen dargestellt. Abschließend wurden die durch die Methodik ermittelten Hochwasserschäden als monetäre Nutzen den Kosten der Hochwasserschutzmaßnahmen gegenübergestellt.

Stichworte: Nutzen-Kosten-Untersuchung, Wasserstand-Schaden-Beziehung, Hochwasserschäden

## **1 Einleitung**

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von technischen Hochwasserschutzmaßnahmen bildet einen wichtigen Teilbereich im integrierten Hochwasserrisikomanagement, indem sie sowohl die Gefährdung in einem definierten Untersuchungsgebiet als auch die Exposition und Verletzbarkeit von Objekten, einschließlich

im Ereignisfall möglicher Schäden, berücksichtigt. Während auf der Einwirkungsseite hydrologisch-hydraulische Simulationen die Belastungssituation widerspiegeln, sind im Hinblick auf die Verletzbarkeit gebietsspezifische Hochwasserschadensanalysen erforderlich. Um diesen Anforderungen zu entsprechen, sollten mindestens zwei Arten von Ingenieurwissen kombiniert werden: einerseits eine wasserbauliche Expertise zur Erkundung und Modellierung der hydraulischen Verhältnisse sowie der wasserbaulichen Projektparameter und andererseits eine baukonstruktiv-schadensanalytische Expertise zur ingenieurmäßigen Betrachtung des Bestandes an Gebäuden und Infrastruktur sowie von Schadensursachen, Schadensprozessen und Schadensbildern. Im Bestreben um eine fachgerechte und einheitliche Bewertung von Hochwasserschutzmaßnahmen erarbeitete die Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (LTV) eine Arbeitshilfe zur systematischen Umsetzung solcher Bewertungsfragen (*LTV 2007*). Für die praktische Umsetzung dieses Bewertungsprozesses wurde durch die LTV ein Pilotprojekt im Stadtgebiet von Pirna initiiert, welches den Zusammenfluss der Nebenflüsse Gottleuba und Seidewitz sowie den Mündungsbereich der Gottleuba in die Elbe umfasst. In diesem etwa 182 ha großen Untersuchungsgebiet wurden die oben benannten Expertisen durch die Autoren zusammengeführt, um die Wirtschaftlichkeit geplanter Hochwasserschutzmaßnahmen mittels einer Nutzen-Kosten-Untersuchung zu überprüfen.

## 2 Untersuchungsmethodik

Eine Nutzen-Kosten-Untersuchung (NKU) im technischen Hochwasserschutz benötigt grundsätzlich vier Modelle:

- Hydrologie (Jährlichkeiten werden Abflüsse zugeordnet)
- Hydraulik (Abflüssen werden Wasserstände zugeordnet)
- Wasserstand-Schaden-Beziehung (Wasserständen werden monetäre Schäden zugeordnet)
- Schadensauswertung (monetären Schäden werden Jährlichkeiten der Abflüsse zugeordnet und Schadenserwartungswerte werden berechnet)

Innerhalb des Pilotprojektes wurden die hochwassergefährdeten Objekte und Flächennutzungen identifiziert und die Schadensfunktionen für Wohn- und Nichtwohngebäuden hinsichtlich hydrostatischer und hydrodynamischer Einwirkungen, die Inventarschäden sowie sonstige Schadenspotenziale und Wertschöpfungsverluste ermittelt. Auf der Basis der ingenieurmäßig abgeleiteten Schadensfunktionen konnten so in Abhängigkeit von der Belastung (Jährlichkeit + Abfluss + Wasserspiegel + Überflutungsfläche + Fließgeschwindigkeit) und

der vorhandenen Landnutzung (Typ + Lage + Höhe) monetäre Hochwasserschäden berechnet werden.

### **3 Abschätzung zukünftiger Hochwasserschäden**

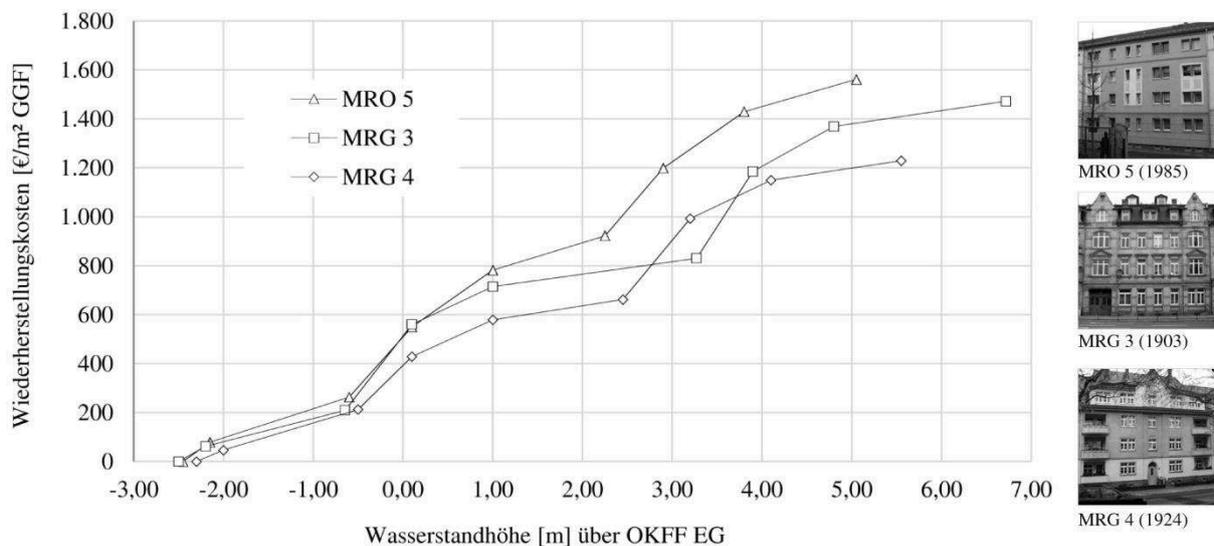
#### **3.1 Identifizierung und Klassifizierung hochwassergefährdeter Objekte und Flächennutzungen**

Die Basis für die Erhebung der Schadensanfälligkeit des Siedlungskörpers im Untersuchungsgebiet Pirna bildete ein (instationäres) 2D-Wasserspiegellagenmodell (*IWD 2010*), welches als Grundlage ein gebietsspezifisches aktuelles Niederschlagsabflussmodell (*DHI 2009*) nutzt. Die Ergebnisse der 2D-Wasserspiegellagenberechnung sind Überschwemmungsgebietsflächen, Fließgeschwindigkeiten und Wasserstände für definierte Jährlichkeiten des Hochwasserabflusses. Eine GIS-gestützten Analyse der im Hochwasserfall betroffenen Objekte und Flächennutzungen lieferte Grundlagendaten für die Schadensmodellierung sowie für die Ermittlung der Schadensanfälligkeit. Darauf aufbauend wurden durch systematische Ortsbegehungen Gebäudetypen klassifiziert und relevante Gebäudeattribute aufgenommen. Zur Gliederung des Wohngebäudebestandes wurde eine Gebäudetypenmatrix gebildet, welche die Gebäude nach ihrer Bebauungsart und Baualterstufe unterteilt (vgl. *Nikolowski et al. 2012*). Aufgrund seiner innerstädtischen Lage ist das Untersuchungsgebiet Pirna durch einen hohen Bestand an Wohngebäuden geprägt. Nichtwohngebäude sind insbesondere durch Gewerbeimmobilien, Büro- und Verwaltungsbauten sowie Schulgebäude vertreten. Jedes relevante Gebäudepolygon im Überflutungsbereich erhielt eine Identifikationsnummer, um so eine Verknüpfung mit der gebäudetypenspezifischen Wasserstand-Schaden-Beziehung zu ermöglichen. Eine Identifizierung von Flächennutzungen, wie etwa Kleingartenanlagen, Garagenhöfe oder Sportanlagen, erfolgte ausschließlich polygonflächenbezogen.

#### **3.2 Substanzschäden an Wohn- und Nichtwohngebäuden infolge hydrostatischer Einwirkungen**

Für jeden relevanten Wohngebäudetyp wurde je nach Bedeutung im Untersuchungsgebiet, eine bestimmte Anzahl von Repräsentanten ausgewählt und bei Ortsbegehungen detailliert analysiert. Alle wesentlichen Informationen wurden in einem Gebäudesteckbrief zusammengefasst, welcher die Grundlage für die weiteren Untersuchungen bildet. Neben der Überflutungsdauer ist die Wasserstandshöhe das entscheidende Kriterium für die zu erwartende Schadenshöhe. Das entwickelte Überflutungsstufenmodell erlaubt eine sukzessive Bewertung der entstandenen Schäden (vgl. *Naumann et al. 2012* und *Rubín 2012*). Die da-

mit definierten Überflutungsstufen beinhalten typische Konstruktionselemente des Gebäudes und grenzen so Leistungsbereiche für eine bauliche Instandsetzung zur Beseitigung der Hochwasserschäden ab. Um die Vergleichbarkeit verschiedener Repräsentanten zu gewährleisten, sind die Überflutungsstufen unabhängig von den Geschosshöhen definiert. Sie orientieren sich an definierten Höhenpunkten, wie etwa den Oberkanten der Fertigfußböden (OKFF), wobei OKFF Erdgeschoss als Nullpunkt festgelegt ist. Zur Ermittlung der Wasserstand-Schaden-Beziehung waren Leistungsverzeichnisse erforderlich, welche alle notwendigen Instandsetzungsleistungen für jede Überflutungsstufe wiedergeben und sowohl Mengenermittlungen als auch detaillierte Kostenkennwerte zur Kostenplanung beinhalten. Die so ermittelten absoluten Kosten wurden auf die Grundfläche des Gebäudes, welche bei der Flächenidentifizierung durch Luftbilder und digitale Karten eine einfach zu ermittelnde Gebäudekenngröße darstellt, bezogen. Durch die Verknüpfung des zu erwartenden Wasserstandes im Gebäude mit den zu erwartenden Wiederherstellungsleistungen konnten gebäudetypenspezifische Wasserstand-Schaden-Beziehungen dargestellt werden (siehe Abb. 1). Eine Validierung der Ergebnisse mittels realer Schadensgutachten von Vergleichsobjekten rundete diesen Untersuchungsschritt ab.



**Abbildung 1:** Wasserstand-Schaden-Beziehungen für ausgewählte Gebäudetypen unter Berücksichtigung hydrostatischer Einwirkungen

Ein grundsätzlich vergleichbarer qualitativer Verlauf der Schadensfunktionen ist auf ähnliche Instandsetzungsumfänge bei Wohngebäuden zurückzuführen. Im Bereich des Kellergeschosses steigen die Schadensfunktionen, aufgrund eines meist niedrigeren Ausbaustandards, nur gering an, bevor mit der Überflutung der Kellerdecke die Wiederherstellungskosten erstmals stark zunehmen. Im weiteren Verlauf beschreibt die Funktion eine konkave Krümmung, bevor sie die

nächste Deckenebene durchdringt. Die systematische Schadensanalyse verschiedener Repräsentanten veranschaulicht die Auswirkungen charakteristischer Konstruktionsprinzipien unterschiedlicher Bauzeiten auf die Verletzbarkeit von Gebäuden infolge Hochwassereinwirkung.

Neben Wohngebäuden treten innerhalb eines Siedlungskörpers verschiedene Nichtwohngebäude auf, für die verschiedene Methoden zur Analyse von Hochwasserschäden entwickelt wurden. Zu den Nichtwohngebäuden zählen unter anderem Büro-, Verwaltungs- und Schulgebäude, Sporthallen, Scheunen und Kirchen, aber auch Garagenhöfe, Tankstellen und Parkhäuser sowie Gewerbeimmobilien. Verschiedene Alleinstellungsmerkmale in Bezug auf die Baukonstruktion, die technische Gebäudeausrüstung und das Inventar lassen hier mitunter eine Typisierung nicht zu. Die Abschätzung der Hochwasserschäden bediente sich daher unterschiedlicher Methoden, welche alle auf einer Datenerhebung im Zuge von Ortsterminen und Interviews mit Objektverantwortlichen, wie etwa Eigentümern oder Verwaltern, beruhen, um möglichst präzise Informationen über das Bauwerk sowie über das Inventar zu erhalten. Auf dieser Grundlage wurden im Pilotprojekt Pirna mehr als 65 Gebäude hinsichtlich ihrer Verletzbarkeit gegenüber Hochwassereinwirkungen analysiert und die daraus resultierenden Wasserstand-Schaden-Beziehungen erarbeitet. Sofern in einigen Fällen keine Informationen verfügbar waren, wurden hier die Hochwasserschäden über die flächenbezogenen Normalherstellungskosten ermittelt. Für jedes Nichtwohngebäude konnten so separate Schadensfunktionen für die Konstruktionselemente des Rohbaus, des Ausbaus und für das Inventar entwickelt werden.

### **3.3 Prognose von Substanzschäden an Gebäuden infolge hydrodynamischer Hochwassereinwirkungen**

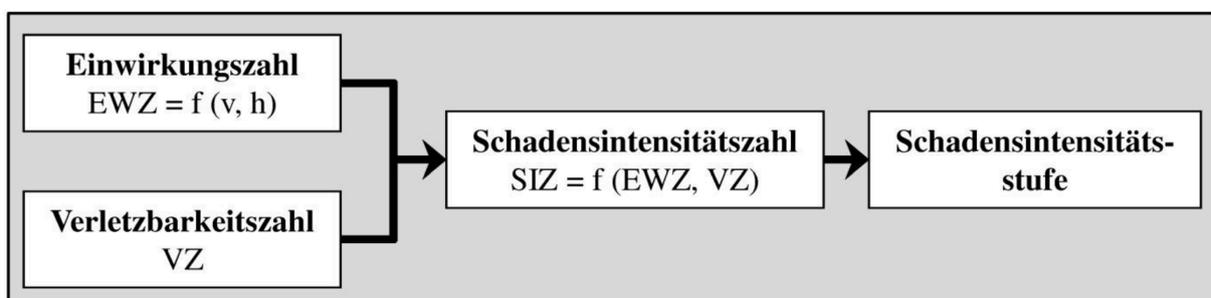
Zurückliegende Hochwasserereignisse haben – nicht nur im Untersuchungsgebiet Pirna – gezeigt, dass die Vielfalt und das Ausmaß von Substanzschäden an Gebäuden mit zunehmender Fließgeschwindigkeit erheblich ansteigen können. Die Intensität der Schäden reicht in diesen Fällen von vereinzelt Rissen in der Gebäudehülle über den Verlust der Tragfähigkeit von Teilstrukturen bis hin zur Gefährdung der Standsicherheit des gesamten Gebäudes. Allein die bauliche Beseitigung der Substanzschäden an betroffenen Gebäuden führt zu einem überproportionalen Anstieg der Wiederherstellungskosten im Vergleich zu den Kosten für die Beseitigung von Feuchte- und Wasserschäden nach einem Hochwasserereignis. Derzeit liegen keine technischen Regelwerke, Berechnungsvorschriften, Normen oder Merkblätter zur Differenzierung und Abschätzung von Substanzschäden an Gebäuden durch hydrodynamische Hochwassereinwirkungen vor. Daraus leitete sich die Notwendigkeit ab, eine Methode zu entwickeln, mit der für verschiedene Einwirkungsszenarios realitätsnahe Prognosen sowohl

über die zu erwartenden Substanzschäden als auch über deren Instandsetzungskosten getroffen werden können.

Neben quasi statischen Hochwassereinwirkungen, welche durch eine geringe Fließgeschwindigkeit von weniger als 1 m/s gekennzeichnet sind, treten nach intensiven Niederschlagsereignissen insbesondere an Gebirgsflüssen auch deutlich höhere Fließgeschwindigkeiten auf. Übersteigt die Abflussmenge die Kapazität des Gerinnes, können erhebliche Lasten (z. B. Strömungsdruck, Treibgut-anprall) auf nahestehende Gebäude einwirken. Die Prognose von Substanzschäden an den Konstruktionselementen ist dann ein multikriterielles Problem, da zahlreiche Faktoren den Umfang und die Intensität der Schäden signifikant beeinflussen. Zu diesen Faktoren gehören

- hochwasserspezifische Faktoren wie etwa die Fließtiefe, die Fließgeschwindigkeit sowie die Einwirkdauer,
- standortspezifische Faktoren wie etwa die Topographie und der Bewuchs des Geländes, die Beschaffenheit der Geländeoberfläche und die örtlichen Baugrundverhältnisse sowie
- gebäudespezifische Faktoren wie etwa strukturtypologische Aspekte, die Geometrie des Baukörpers, die Ausrichtung des Gebäudes in Bezug zur Fließrichtung des Gewässers sowie die Art und die Tiefe der Gründung.

Die Methodik zur Berücksichtigung dieser Schäden basiert auf dem Vergleich der Einwirkungen mit den vorhandenen Widerständen. Aus den beiden hochwasserspezifischen Faktoren „Fließgeschwindigkeit“ und „Fließtiefe“ leitet sich die Einwirkungszahl (EWZ) ab, welche die Intensität der Einwirkung beschreibt (siehe Abb. 2). Je höher der Wert einer der beiden Faktoren, desto höher ist die Einwirkungszahl und desto größere Lasten wirken auf Konstruktionselemente betroffener Gebäude. Für die Faktoren „Einwirkdauer“ und „Angriffsrichtung der Einwirkung“ wurde der für das Gebäude ungünstigste Lastfall angenommen, so dass beide Faktoren als variable Größen unberücksichtigt bleiben.

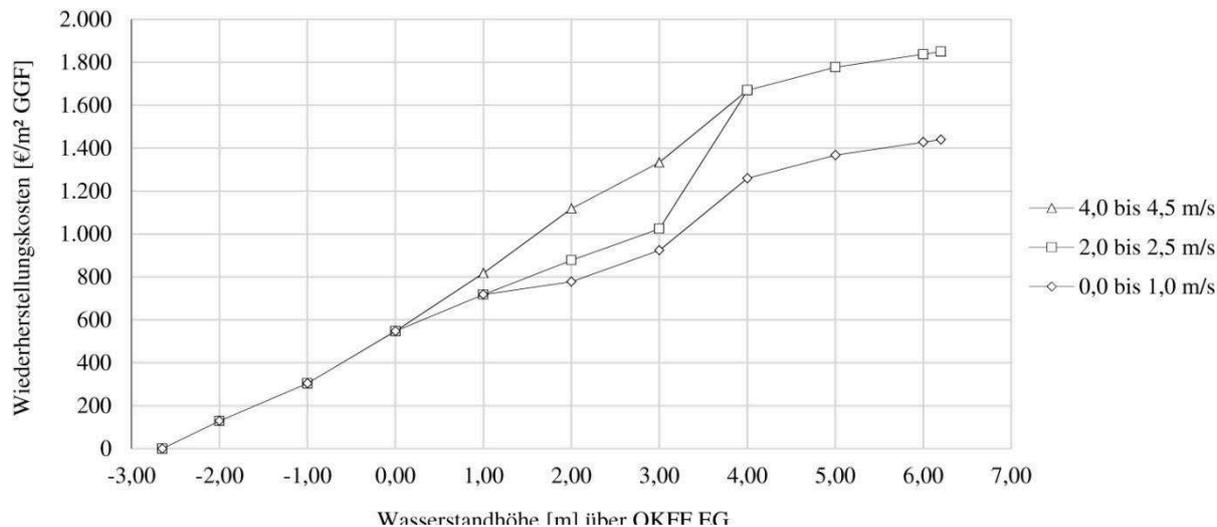


**Abbildung 2:** Methodik der Schadensprognose infolge hydrodynamischer Hochwassereinwirkungen

Die skizzierten standort- und gebäudespezifischen Faktoren bestimmen wesentlich die Verletzbarkeit eines Gebäudes gegenüber hydrodynamischen Hochwassereinwirkungen und somit das zu erwartende Ausmaß der Substanzschäden. Der Einfluss der vielfältigen standort- und gebäudespezifischen Faktoren wird durch die Verletzbarkeitszahl (VZ) beschrieben. Je nachteiliger sich einer dieser Faktoren auf die Robustheit eines Gebäudes gegenüber hydrodynamischen Hochwassereinwirkungen auswirkt, desto höher ist die Verletzbarkeitszahl.

Die empirisch abgeleitete Schadensintensitätszahl (SIZ) verknüpft die Einwirkungs- und die Verletzbarkeitszahl miteinander. Mit Hilfe der *SIZ* können Rückschlüsse auf den Umfang der zu erwartenden Schadensbilder und deren Intensität am Gebäude gezogen werden. Je höher der Wert der *SIZ*, desto ausgeprägter sind die Erfordernisse einer fachgerechten Schadensbeseitigung. Schadensintensitätszahlen, denen ähnliche Schadensbilder zuzuordnen sind, wurden in diskretisierten Schadensintensitätsstufen zusammengefasst. Für jede dieser abgegrenzten Schadenintensitätsstufen wurden die vielfältigen Schadensbilder am baukonstruktiven Gefüge in ihrer Qualität und Quantität verbal detailliert beschrieben. Auf dieser Grundlage wurden, analog zu anderen Hochwasserschäden, die erforderlichen Instandsetzungsleistungen abgegrenzt und die Wiederherstellungskosten kalkuliert.

Ein wesentliches Ergebnis der entwickelten Methodik zur Prognose von Substanzschäden infolge hydrodynamischer Hochwassereinwirkungen sind mehrdimensionale Schadensbeziehungen, welche den Zusammenhang zwischen der Einwirkungsintensität (Fließgeschwindigkeit, Fließtiefe) und den Kosten für fachgerechte Bauleistungen zur Schadensbeseitigung wiedergeben. In Abbildung 3 sind am Beispiel eines Wohngebäudes sowohl eine Schadensbeziehung für hydrostatische (Fließgeschwindigkeit 0,0 und 1,0 m/s) als auch zwei Schadensbeziehungen für hydrodynamische Einwirkungen dargestellt.



**Abbildung 3:** Wasserstand-Schaden-Beziehungen eines Wohngebäudes unter Berücksichtigung hydrodynamischer Einwirkungen für ausgewählte Fließgeschwindigkeiten

### 3.4 Abschätzung von Inventarschäden

Die Abschätzung von Inventarschäden in Wohnungen, in gewerblich genutzten Einheiten sowie in Büroräumen und Arztpraxen basiert auf verschiedenen Methoden. Für die Bestimmung des Hausratwertes in Wohnungen standen verschiedene Ansätze zur Verfügung. Üblich ist hier unter anderem die Verwendung durchschnittlicher Versicherungswerte. Im Pilotprojekt Pirna wurde ein gebietsspezifischer Wert von 700 Euro pro Quadratmeter Wohnfläche für den Hausrat abgeleitet. Da belastbare Inventarwerte für Gewerbe, Büroräume und Arztpraxen fehlten, konnten auf der Grundlage diverser Interviews dazu detaillierte Informationen gewonnen werden. Für Handwerksbetriebe wurden durchschnittliche Inventarwerte der Handwerkskammer genutzt. Analog zur stufenweise synthetischen Flutung des Gebäudes wurde für die Schadensprognose des Inventars in jedem Geschoss ein vereinfachtes dreistufiges gebietsspezifisches Überflutungsmodell verwendet, welches aus zahlreichen Interviews im Untersuchungsgebiet abgeleitet wurde. Bei einem Wasserstand von 30 cm über der Oberkante des Fertigfußbodens liegt die Schadenserwartung bei 50%, bei 100 cm bei 80% und bei 200 cm bei 100%.

### 3.5 Sonstige Schadenspotenziale inklusive Wertschöpfungsverluste

Neben den zuvor beschriebenen Nutzungen und deren Schadensermittlung wurden für das Projektgebiet auch Schäden an Kleingartenanlagen, Infrastruktureinrichtungen und Kfz-Vermögen abgeschätzt sowie Wertschöpfungsverluste berücksichtigt. Auf der Grundlage einer Besprechung mit dem lokalen Dachverband wurden Kleingartenanlagen in drei Gruppen aufgeteilt und eine lineare

Schadensfunktion mit einem Totalschaden bei 2,5 m zugeordnet. Straßen, Gehwege und weitere untergeordnete Flächennutzungen wurden über Schadensfunktionen in Form von flächenbezogenen Vermögenswerten berücksichtigt (Kok et. al. 2004). Die Schäden an den Kfz sowie die Wertschöpfungsverluste wurden in Anlehnung an die *LTV-Arbeitshilfe (2007)* abgeschätzt. Die Anzahl an Kfz im Projektgebiet wurde über eine Zählung in einem Orthofoto, die Erfassung der Stellplätze und eine Belegungsannahme im Hochwasserfall abgeschätzt. Je Fahrzeug wurde ein Schadensgrad von 50% des mittleren Fahrzeugvermögens wasserstandsabhängig angesetzt. Die gebietsspezifischen Wertschöpfungsverluste wurden mit 180 € pro Beschäftigtentag angesetzt, wobei die Anzahl der Beschäftigten bei Ortsbegehungen und Interviews ermittelt und die Ausfallzeiten wasserstandsabhängig angenommen wurden.

#### 4 Nutzen-Kosten-Untersuchung

Nach den Vorgaben der *LTV-Arbeitshilfe (2007)* erfolgte die Gesamtbeurteilung der verschiedenen Varianten von technischen Hochwasserschutzmaßnahmen anhand von zwei sogenannten Teilbilanzen: Die Teilbilanz 1 bewertet die im Rahmen einer Kostenvergleichsrechnung rechnerisch nachgewiesene ökonomische Effizienz, wohingegen die Teilbilanz 2 die weiteren, in der Regel nicht monetarisierbaren Effekte verbal-argumentativ bewertet.

Die Berechnung der in der Teilbilanz 1 berücksichtigten monetarisierbaren Nutzen und Kosten erfolgte auf der Grundlage der „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen“, den sogenannten KVR-Leitlinien der *LAWA (2005)*. Der Nutzen ist hier die Schadensminderung, die sich aus der Differenz zwischen den Schäden im Istzustand und den in den Varianten ergibt. Dieser Vergleich erfolgt anhand der Schadenserwartungswerte, die etwa dem mittleren jährlichen Schaden entsprechen. Dieser Nutzen wurde unter Ansatz einer Nutzungsdauer und von Zinssätzen auf einen aktuellen Projektnutzenbarwert umgerechnet (siehe Tabelle 1).

Die monetären Schäden und jährlichen Schadenserwartungswerte wurden auf der Basis der berücksichtigten Objekte, ihrer Schadensausmaße für jede Variante und jede berücksichtigte Jährlichkeit sowie nach Zuordnung einer Schadensfunktion mit Hilfe der Software HWSCalc berechnet. HWSCalc wurde von der ProAqua Ingenieurgesellschaft (Aachen) im Auftrag des Umweltministeriums Nordrhein-Westfalen entwickelt und ermittelt auf der Basis von Nutzungen, Schadensfunktionen und Wasserspiegellagen für verschiedene Jährlichkeiten monetäre Hochwasserschäden sowie jährliche Schadenserwartungswerte.

**Tabelle 1** Projektnutzen

Zustand	Schadenserwartungswert [€/a]	Projektnutzenbarwert PNBW [€]
Istzustand	5.730.000	-
Varianten	2.573.000	126.238.000
	2.489.000	129.568.000
	2.423.000	132.217.000
	2.137.000	143.664.000

Die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme ergibt sich aus dem Vergleich des Projektnutzenbarwertes mit dem Projektkostenbarwert, der aus der finanzmathematischen Aufbereitung der maßnahmenspezifischen Kosten resultiert. Der Vergleich erfolgt unter anderem in Form des Nutzen-Kosten-Verhältnisses (NKV) als Quotient aus Projektnutzenbarwert und Projektkostenbarwert (siehe Tabelle 2). Die Kosten, die in Form von Investitions-, Reinvestitions- und laufenden Kosten auftreten, wurden für die verschiedenen Varianten auf der Grundlage der vorliegenden Vorplanungen zusammengestellt.

**Tabelle 2** Projektkosten und Nutzen-Kosten-Verhältnis

Zustand	Projektkostenbarwert [€]	Nutzen-Kosten-Verhältnis [-]
Varianten	34.495.000	3,66
	46.591.000	2,78
	50.367.000	2,63
	53.110.000	2,71

Im Rahmen der Teilbilanz 2 wurden weitergehende Hochwasserauswirkungen wie Verkehrsunterbrechungen für den Straßen- und Schienenverkehr, Schäden an Ver- und Entsorgungseinrichtungen, Personengefährdungen und Schäden an Umweltgütern untersucht und bewertet. Die beschriebenen Auswirkungen sind jedoch für alle Varianten nahezu gleich, so dass das Verhältnis aus der Teilbilanz 1 zwischen den einzelnen Varianten erhalten bleibt.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die im Pilotprojekt Pirna erstmalig angewendete Methodik der Hochwasserschadenspotenzialermittlung mit Hilfe synthetisch abgeleiteter Wasserstand-

Schaden-Beziehungen und einer gebietsspezifischen Gebäudetypologie hat sich als sehr gute Grundlage erwiesen, die geforderten Nutzen-Kosten-Untersuchungen zu Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes durchzuführen und entsprechende Empfehlungen für die Landestalsperrenverwaltung zu erarbeiten. Die vorliegenden Projektergebnisse bestärken die Bearbeiter in der Ansicht, dass damit eine praxisgerechte Methodik verfolgt wurde, die zugleich verschiedene Einwirkungsparameter und regionale Besonderheiten berücksichtigt. Durch weitere Projekte im nationalen und internationalen Kontext, umgesetzt zwischen 2010 und 2012, konnte sowohl der Bestand gebäudetypenspezifischer Wasserstand-Schaden-Beziehungen erhöht als auch eine Übertragbarkeit auf andere baukulturelle Gebiete nachgewiesen werden.

## 6 Literatur

- DHI - WASY GmbH (2009): Niederschlag-Abfluss-Modellierung für die Gottleuba, Dresden 2009
- IWD - Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik der TU Dresden (2010): Wasserspiegellagenmodell der Seidewitz, Gottleuba inkl. Rückstaubereich Elbe, erarbeitet vom IWD, Dresden 2010
- Kok, M.; Huizinga, H.J.; Meijerink, T.C. [et al.] (2004): Standaardmethode 2004 - Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen. Dienst Weg- en Waterbouwkunde, 2004
- LAWA - Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2005): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen, 7. überarb. Aufl., Hannover 2005
- LTV - Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (2007): Arbeitshilfe zur Behandlung von Bewertungsfragen bei Hochwasserschutzmaßnahmen. Unveröffentlicht, Pirna 2007
- Naumann, Th., Nikolowski, J. und Golz, S. (2012): Entwicklung analytischer Schadensfunktionen und deren Einsatz in der Projektbewertung. In: Schadensanalysen und Projektbewertung im Hochwasserrisikomanagement. p. 64-79, DWA-Themen T1/2012, Hefen 2012
- Nikolowski, J.; Hennersdorf, J. und May, F. (2012): Gebäudetypen der Modellregion Dresden. In: Weller, B.; Naumann, Th. und Jakubetz, S. (Hrsg.): Gebäude unter den Einwirkungen des Klimawandels. Heft 3 der Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM. ROHMBOS-Verlag, Berlin 2012
- Rubín, C. (2012): Hochwasserschadenserhebungen und deren Einsatz in der Projektbewertung, dargestellt am Beispiel des Pilotprojekts Pirna. In: Schadensanalysen und Projektbewertung im Hochwasserrisikomanagement. p. 104-114, DWA-Themen T1/2012, Hefen 2012

## Autoren:

Dipl.-Ing. Johannes Nikolowski  
Dipl.-Ing. Sebastian Golz  
Dr.-Ing. Thomas Naumann

Leibniz-Institut für ökologische  
Raumentwicklung (IÖR)  
Weberplatz 1  
01217 Dresden

Tel.: +49 351 4679 263  
Fax: +49 351 4679 212  
E-Mail: j.nikolowski@ioer.de  
s.golz@ioer.de  
t.naumann@ioer.de

Dipl.-Ing. Carlos-Rubín

ProAqua Ingenieurgesellschaft für  
Wasser- und Umwelttechnik mbH  
Turpinstr. 19  
52066 Aachen

Tel.: +49 241 94992 12  
Fax: +49 241 94992 29  
E-Mail: crubin@proaqua-gmbh.de

Die Autoren danken Frau Dipl.-Ing. Karen Riedel und Herrn Dr. rer. nat. Stephan Gerber, beide Referat Wasserbau der LTV Sachsen, sowie Herrn Dipl.-Ing. Gerd Ahnert, Prüfingenieur für Baustatik in Pirna, die mit ihrer Kompetenz und ihrem Engagement wesentlich zum Gelingen des Pilotprojektes Pirna beigetragen haben.