

Risikobewertung und Schutz von baulichen Infrastrukturen bei Hochwassergefahr

Die Zunahme an Häufigkeit, Intensität und Schadensausmaß von extremen Naturereignissen stellt weltweit wachsende Bedrohungen für die öffentliche Sicherheit und für bauliche Infrastrukturen dar. Der folgende Beitrag erläutert das Risikomanagement für Bauwerke bei Hochwassergefahr.

Im Rahmen nationaler und internationaler Forschungsprojekte entwickeln die Autoren praxisnahe Ingenieur-Tools für die schnelle Ermittlung von Schwachstellen baulicher Infrastrukturen, wie öffentliche Gebäude und Transportinfrastrukturen, um daraus frühzeitig Risikobewertungen für Katastrophenszenarien ableiten und Entscheidungshilfen für Einsatzkräfte im Katastrophenfall bereitstellen zu können. Die Ingenieur-Tools beinhalten unter anderem ein Entscheidungshilfesystem mit Maßnahmenempfehlungen zur Bauwerksertüchtigung gegen Hochwassereinwirkungen. Es werden neben Schnellanalysen auch detaillierte numerische Berechnungen zur Bewertung von Bauwerken durchgeführt. Die Forschungsvorhaben sind interdisziplinäre Verbundvorhaben, bei denen die Autoren die Teilaufgaben zur Bewertung der baulichen Infrastruktur bearbeiten.

Für Einwirkungen im Hochwasserfall sowie für die Katastrophenvorsorge liegen keine normativen Regelungen vor. Lediglich einzelne Richtlinien und Leitfäden sind für den Hochwasserschutz von Objekten vorhanden. Aus diesem Grund werden z. B. Ansätze zur Ermittlung der statischen und dynamischen Hochwasserlasten entwickelt, um Einwirkungsgrundlagen zu schaffen und Bauwerke auf ihre Robustheit zu prüfen. Hierbei steht die Ermittlung der Standsicherheit bzw. der Resttragfähigkeit von Tragwerken während und nach einem Hochwasserereignis im Vordergrund. Damit soll deren Resilienz analysiert werden.

In diesem Beitrag wird die Umsetzung der klassischen Handlungsstrategie des Katastrophenmanagements (Prävention, Katastrophenfall, Nachsorge) in ein Software-Tool erläutert und innovative Lösungsansätze mit Geoinformationssystemen (GIS) und 3D-Stadt- und Gebäudemodellen aufgezeigt.

Keywords Hochwasser; Sturzfluten; Naturgefahren; Infrastrukturen, bauliche; Katastrophenmanagement; Risikomanagement; Vulnerabilitätsbewertung; Schutzmaßnahmen; Ingenieur-Tools; 3D-Stadt- und Gebäudemodelle (CityGML/BIM IFC, GIS)

Risk assessment and protection of the built infrastructure for flood events

The increase in number, intensity and damage of extreme natural events is a growing threat to public security and for the built infrastructure. The following article explains the risk management with respect to flood.

In the context of national and international research projects, the authors develop practical engineering-tools for a fast determination of the vulnerability of the built infrastructure, like public buildings and transport infrastructures, in order to derive risk assessments in disaster events and to provide decision support for rescue forces. The engineering-tools include, among other things, a decision-support-system with recommendations for strengthening and repairing of structures in the case of major flooding. Structures are evaluated with rapid analysis, but also with detailed numerical calculation. The research projects are interdisciplinary joint-research-projects and the authors are working at different aspects for the assessment of the built infrastructure.

For the effects on built infrastructure during flood and for prevention of disaster events, there is no standardization at hand. There are just a few guidelines for the protection of structures for a flood event. For this reason load models for static and dynamic loads during a flood are developed, in order to create a basis for the assessment of robustness of structures. The determination of the remaining carrying capacity during and after a flood event is in the primary focus. This is the basis for the analysis of the resilience of the built infrastructure.

In this article the implementation of the classical action strategy in disaster management (pre-, during-, post-incident) in a software-tool is presented and with that, innovative methods with geo-information-systems (GIS) and 3D-city- and building models (BIM) are shown.

Keywords flood; flash flood; natural hazard; built infrastructure; disaster management; risk management; vulnerability assessment; protective methods; engineering-tools; 3D-city- and building-models (CityGML/BIM IFC, GIS)


1 Allgemeines

Weltweit traten in den letzten Jahren immer wieder zahlreiche Hochwasser- und Starkregenereignisse auf, z. B. in Mitteleuropa (August 1997 und 2002, Juni 2013), im Norden Englands (Dezember 2015) und in Indien (Juni 2013). Sowohl die Häufigkeit solcher Ereignisse als auch

*) Corresponding author: inna.videkhina@unibw.de
Submitted for review: 10 January 2016
Revised: 10 February 2016
Accepted for publication: 11 February 2016

Tab. 1 Große Wetterkatastrophen 1950–2009 (Dekadenvergleich)
 Meteorological disasters 1950–2009 (comparison of decades)

	Dekade 1950-1959	Dekade 1960-1969	Dekade 1970-1979	Dekade 1980-1989	Dekade 1990-1999	Letzte 10 2000-2009	Faktor letzte 10:60er
Anzahl	13	16	29	44	74	28	1,8
Gesamt- schäden	53,8	72,4	97,5	155,7	528,0	435,2	6,0
Versicherte Schäden	1,6	8,1	15,0	29,0	125,7	193,8	23,8



Vergleich der letzten 10 Jahre mit 1960ern zeigt dramatischen Anstieg

Schäden in Mrd. US\$ – In Werten von 2009

die daraus resultierende Schadensintensität stieg dabei im Laufe der Jahrzehnte an.

Tab. 1 von der Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft veranschaulicht, dass sich Naturkatastrophen in den letzten zehn Jahren im Vergleich zur Dekade 1960–1969 fast verdoppelt und die Gesamtschäden versechsfacht haben (Tab. 1) [1].

Eine eindeutige Begründung für das erhöhte Auftreten von extremen Naturereignissen kann bis zum heutigen Zeitpunkt gemäß dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und dem Deutschen GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ) noch nicht gegeben werden. Allerdings ist der Klimawandel ein Aspekt, der von Wissenschaftlern immer wieder in Erwägung gezogen wird („Klimawandel ändert unsere Welt grundlegend“ [2]). Der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) hat in Kooperation mit führenden Klimaforschern des Potsdamer Instituts für Klimafolgenforschung, der Freien Universität Berlin und der Universität Köln die Auswirkungen des Klimawandels für Deutschland untersucht. Das Ergebnis der Studie stimmt bedenklich, denn darin wird prognostiziert, dass Unwetter künftig extremer und in der Schadensbilanz teurer werden [3–5]:

- Hochwasserereignisse, die heute alle 50 Jahre wiederkehren, könnten in Zukunft alle 25 Jahre eintreten.
- Es wird angenommen, dass bis zum Ende des Jahrhunderts die Zahl der Schäden durch Flussüberschwemmungen und Sturzfluten auf mehr als das Doppelte der heutigen Schäden oder sogar auf das Dreifache steigt.

2 Katastrophenmanagement

Eine abgestimmte Vorsorge für die Minimierung von Katastrophenrisiken, die Sicherheit unserer Zivilgesellschaften und eine funktionierende Wirtschaft gehören zu den Hauptaufgaben von verschiedenen Akteuren wie Stadtplanern, Architekten, Tragwerksplanern, Klima- und Geoforschern, Versicherern, Medien, Sicherheitsdiensten und Krisenreaktionskräften. Durch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit der Akteure können wertvolle Synergie-

effekte für die Erfüllung der Sicherheitsaufgaben gewonnen werden. Aber auch die Mitwirkung der Bürger in der Schadensvorsorge ist gefordert, um persönliche Gefährdungen und Schadensausmaße zu reduzieren.

Für die verschiedenen Aufgaben im *Katastrophenmanagement* (engl. Disaster Management) ist die Bündelung von Expertisen der verschiedenen Sicherheitsverantwortlichen und Einsatzkräften erforderlich. In einem *ganzheitlichen Ansatz* (Bild 1) werden dabei üblicherweise drei Handlungsgebiete definiert [6–8]:

- *Risikomanagement* vor einem Ereignis (Pre-Incident), bestehend aus Beurteilung und Vorbeugung.
- *Krisenmanagement* während einer Katastrophe (During-Incident), bestehend aus Bewältigung.
- *Nachsorge* nach einer Katastrophe (Post-Incident), bestehend aus Regeneration und Wiederaufbau.

Zum Katastrophenmanagement gehören u. a. folgende Komponenten:

- Risikoidentifikation durch Ermittlung der Schwachstellen von baulichen Infrastrukturen in Bezug auf konkrete Gefahren und Standorte,
- Risikobewertung durch skalierbare, methodisch unterschiedliche Vulnerabilitätsanalysen,
- Risikosteuerung durch Vorschläge und Ausführung von Schutzmaßnahmen zur Reduktion der Schadenspotenziale,
- Erhöhung des Bewusstseins der Entscheidungsträger und der Bevölkerung für die Katastrophenvorsorge [9],
- Aufbau von Überwachungs- und Vorhersagesystemen,
- Katastrophenwarnmeldungen per SMS, Mail, Facebook, Twitter, Fernsehnachrichten etc.,
- Vorbereitung kurzfristiger Rettungsmaßnahmen,
- simulationsbasierte Unterstützung von Rettungskräften in Krisensituationen,
- Bereitstellung von Soforthilfen, Hotline-Angeboten,
- Wiederaufbau unter Beachtung schadensmindernder Bauweisen und Schutzmaßnahmen und
- Krisenkommunikation: Information der Öffentlichkeit und Ausbildung des Personals für den Katastrophenschutz durch Weiterbildungsseminare und Trainingskurse (z. B. [10]).

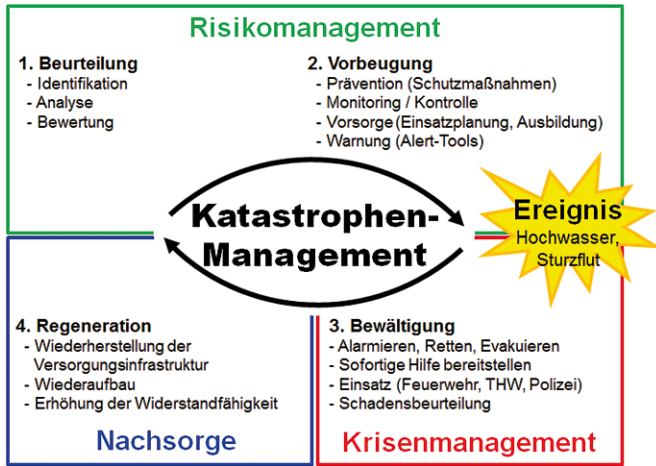


Bild 1 Katastrophenmanagement als eine interdisziplinäre Aufgabe
Disaster management as an interdisciplinary task

3 Risikomanagement

Das Risikomanagement [11] kann als ein systemischer Prozess zur Erkennung und Bewertung von Gefahren, damit verbundener Risiken, der Ermittlung von Gefährdungsparametern und der Durchführung proaktiver Maßnahmen zur Minderung von Risiken dargestellt werden (Bild 2).

Risiko wird in verschiedenen Fachdisziplinen unterschiedlich definiert [12–14]. Im Versicherungswesen und in den Ingenieur- und Umweltwissenschaften wird Risiko in der einfachsten Form als das Produkt aus Gefahr, Exposition und Vulnerabilität verstanden (Gl. (1)):

$$\text{Risiko} = \text{Gefahr} \times \text{Exposition} \times \text{Vulnerabilität} \quad (1)$$

Gefahr: Gefahrenzone, Eintrittswahrscheinlichkeit/Eintrittshäufigkeit einer Gefahr [1/(n × Jahre)]

Exposition: Geografischer Ort und Risikoelemente (Bauwerkswert [EUR], betroffene Personen [Anzahl])

Vulnerabilität: Verletzbarkeit der Objekte [%]

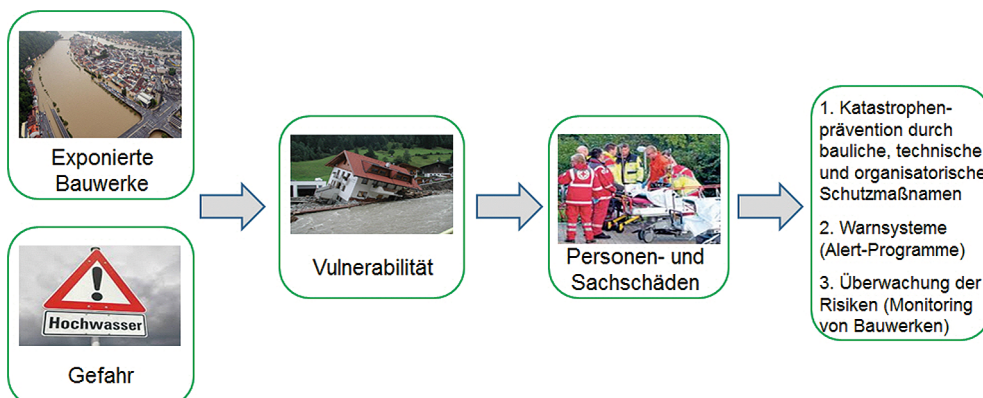


Bild 2 Parameter für die Risikobewertung und Schutzmaßnahmenplanung
Parameters for risk assessment and planning of protection methods

3.1 Gefahr

Gefahren werden als Ereignisse definiert, die zu Schäden an Menschen, Umwelt und Sachwerten führen können.

Formen und Ursachen von Überschwemmungen als Folgeerscheinung meteorologischer Ereignisse (z. B. Starkregen) sind vielfältig. Die meisten Schadensereignisse stehen im Zusammenhang mit drei Haupttypen von Überschwemmungen:

- Flussüberschwemmung,
- Sturzfluten und
- Sturmfluten.

Hinzu kommt eine Reihe von Katastrophen-Überschwemmungen durch unerwartete, plötzliche Ereignisse wie:

- Versagen von Stauanlagen oder Deichbrüche,
- Übertritte aus Nachbarflüssen,
- Schneeschmelzen in Verbindung mit Starkregen,
- Grundwasserhochstand und
- Erdbeben/Tsunami.

Die Ermittlung der *Überschwemmungsgefahr* für ein Bauwerk hängt von dessen geografischer Lage ab und erfolgt durch *Georeferenzierung* in *Gefahrenkarten*.

3.1.1 Gefahrenkarten und Geoinformationssysteme (GIS)

Überschwemmungs- und Starkregengefahrenkarten beinhalten geografische Verteilungen von Gefahrenzonen mit jeweiligen Intensitätsskalen (z. B. Wassertiefen und Niederschlagsmengen) und z. T. auch Eintrittswahrscheinlichkeiten. Damit können Standorteigenschaften eines Bauwerks ermittelt und drohende Gefahren präventiv erkannt und beurteilt werden. Je nach Gefährungsgrad kann dann über Art und Umfang weitergehender Untersuchungen entschieden werden. Auf diese Weise kann Gefahren vorgebeugt werden.

Dank neuer und innovativer Technologien wie *Geoinformationssystemen (GIS)* können z. B. THW, Feuerwehr und Polizei ein effizientes, digitales Katastrophenmanage-

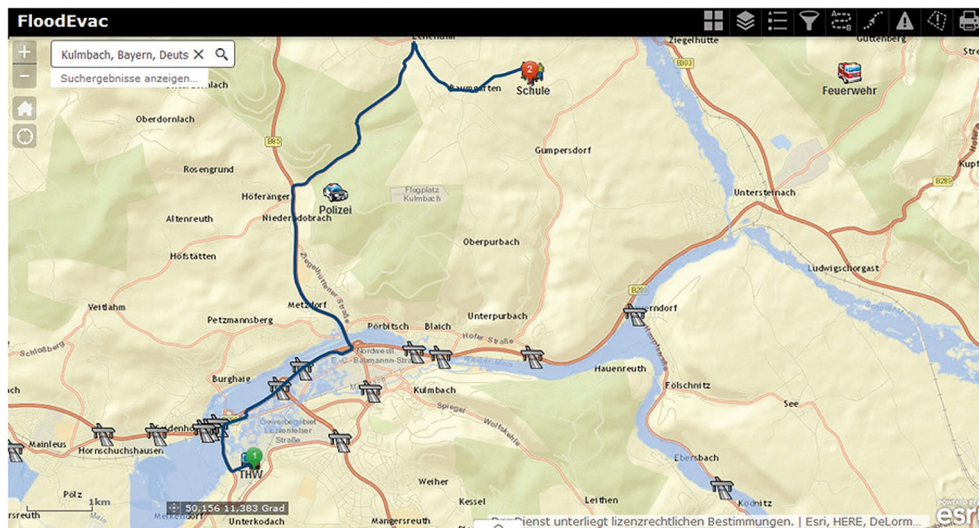


Bild 3 GIS-basiertes Tool für die Planung von Evakuierungs- und Versorgungsrouten
GIS-based tool for planning of evacuation and supply routes

ment betreiben (Bild 3), Ingenieure und Versicherer das Risiko von baulichen Objekten bei Hochwasser und Sturzfluten bewerten und Bürger sich besser mit speziellen Tools über das individuelle Risiko ihres Hauses informieren und auf extreme Ereignisse vorbereiten.

Anhand von Karten können die Stationen von Einsatz- und Rettungskräften, Lagebilder oder Evakuierungsrouten angezeigt werden. Mit speziellen Ereigniskarten (z. B. für Hochwasser mit Angaben zu Wassertiefen und Überflutungsflächen) können aktuelle Situationen dargestellt oder Prognosen für die weitere Entwicklung von Ereignissen und daraus abzuleitende Verhaltens- und Schutzmaßnahmen vermittelt werden. *Hochwasser-Gefahrenkarten sowie Risikomanagementpläne sind gemäß der EU-Hochwasserrichtlinie die wichtigsten Elemente, um die Bürger besser über Risiken zu informieren und auf solche Katastrophen vorzubereiten* [15].

3.1.2 Exposition

Bei der Exposition identifiziert man potenziell gefährdete Objekte in Bezug auf Gefahrenbereiche. Im besonderen Fokus stehen dabei *kritische Infrastrukturen (KRITIS)*:

- Botschaften, Ministerien, Krankenhäuser, Hotels, Schulen, Kultur- und Freizeitgebäude, Sportstätten, Bürohochhäuser, Wohngebäude etc.,
- multimodale Verkehrsanlagen: Bahnhöfe, Flughäfen, Öffentlicher Nahverkehr etc.,
- Verkehrsnetze: Brücken, Tunnel, Straßen, Schienen, Dämme etc.,
- Industrieanlagen: Energieversorgung, Pipelines, Chemiefabriken, Ölraffinerien etc. oder
- Objekte mit großen Menschenansammlungen (Stadien, Großveranstaltungen).

Die *Gefährdungsgrade baulicher Objekte* (Bild 4) ergeben sich z. B. aus:

- der *Lokalität von Risikoelementen* in Bezug zu regional bekannten Georisiken und ausgewiesenen Gefahrenzonen,
- der *Bedeutungskategorie* von Bauwerken (z. B. haben nach Normen wichtige Einrichtungen des Katastrophenschutzes und der Sicherheitskräfte, Feuerwehnhäuser, Krankenhäuser, Telekommunikation die höchste Bedeutungskategorie) [16] und
- ihrer Zugehörigkeit zu einer inhärent bedrohten Einrichtung/Liegenschaft.

3.1.3 Vulnerabilität

Bei der Vulnerabilitätsanalyse wird die *Verletzlichkeit* bzw. der *Widerstand* von gefährdeten baulichen Infrastrukturen bei extremen Einwirkungen ermittelt.

Die Bewertung der Vulnerabilität z. B. kritischer Infrastrukturen ist eine zentrale Aufgabe bei der Planung und der Durchführung von Evakuierungsmaßnahmen bzw. bei der Versorgung der Bevölkerung im Hochwasserfall.

Während für allgemeine Tragwerksberechnungen die erforderlichen Lastannahmen in Normen verankert sind, liegen für die Beanspruchung baulicher Objekte durch Überschwemmungen und Sturzfluten keine umfassenden Regelwerke vor.

Lasten durch Schwemmgut oder Verkläunungen sind in Größe und Einwirkungsbereich nicht festgelegt. Für diese Lasten müssen eigene Modelle erstellt werden. Die in diesem Fall maßgebliche Einwirkung wird auf den statistischen Mittelwert der Abflussmenge HQ_{100} bezogen. Bei der Ermittlung dieses Wertes bestehen jedoch Unsicherheiten bezüglich der quantitativen Größe des Abflusses, da z. B. der *hundertjährige Hochwasserabfluss* durchaus unterschiedlich definiert wird. Die statistische Ermittlung ist mehreren Einflüssen unterworfen, die mathema-



Bild 4 Beispiel für Risikoelemente in der Dreiflüssestadt Passau, die durch Hochwasser bedroht sind
Example for risk elements in the city of Passau, endangered by flood

tisch kaum zu berücksichtigen sind. Beispielsweise stellen die Menge und Konsistenz der gemessenen Abflüsse, aber auch anthropogene Eingriffe und natürliche Veränderungen der Fließgewässer einen Einfluss auf den mittleren Abfluss dar. Diese Einflüsse sind nur schwer zu quantifizieren.

Aufgrund der oben beschriebenen Unsicherheiten bezüglich der Einwirkungen auf Bauwerke während eines Hochwassers muss ein *Sicherheitskonzept* [17] erstellt werden, das der statistischen Verteilung der Lasten gerecht wird. Es wird gefordert, dass der *Widerstand* eines Tragwerks mindestens gleich groß ist wie die *Beanspruchung* bzw. die *Auswirkung* der Einwirkungen auf dieses Tragwerk (Gl. (2)), damit kein Versagen des Bauwerks eintritt:

$$R \geq E \quad (2)$$

Versagen tritt ein, wenn nach Gl. (3) gilt:

$$R < E \quad (3)$$

E: Beanspruchung eines Tragwerks (engl. *Effect*)

R: Beanspruchbarkeit bzw. Widerstand eines Tragwerks (engl. *Resistance*)

Bild 5 veranschaulicht an einem realen Beispiel den Zusammenhang der zwei genannten Größen. Übersteigen die Einwirkungen (z. B. hydrostatischer und hydrodynamischer Druck) die Widerstandsfähigkeit eines Bauwerks (z. B. Verschiebungen einer Gebäudewand oder eines Fundaments), so führt dies zum Kollaps des Gebäudes.

Ereignisabhängige Einflussfaktoren auf Bauwerksschäden

Zu den Einwirkungen gehören alle Faktoren, die aufgrund z. B. eines Hochwasserereignisses direkte oder indirekte (Folge-)Schäden an einem Gebäude verursachen können. Gefährdungen können entstehen durch [19–21]:

- Überschwemmungshöhe (hydrostatischer Druck auf Wände/Böden durch Oberflächen- und Grundwasser),
- Fließgeschwindigkeit (Strömungskräfte, hydrodynamischer Druck),
- Kolkbildung (Unterspülung),
- Anprall von mitgeführtem Treibgut (Fahrzeuge, Baumstämme, Wurzelstöcke etc.),
- Gerinneverlagerung (Seiten- und Tiefenerosion),
- Ufererosion, Uferabbruch,
- Materialverlagerungen (Muren, Geschiebeanhäufungen),
- Verklausung an Brücken,
- Rückstauwasser aus der Kanalisation,
- Kontamination durch Heizöl, Fäkalien oder andere Schadstoffe und
- Feuchtigkeitsschäden (Schimmelbildung, Gipsfäule etc.).

Die wesentlichen Merkmale einiger der oben genannten Arten von Einwirkungen sind in diesem Aufsatz exemplarisch dargestellt.

Überschwemmungshöhe

Der am meisten schadensrelevante Parameter für Gebäude ist beim Flusshochwasser die Überschwemmungshöhe

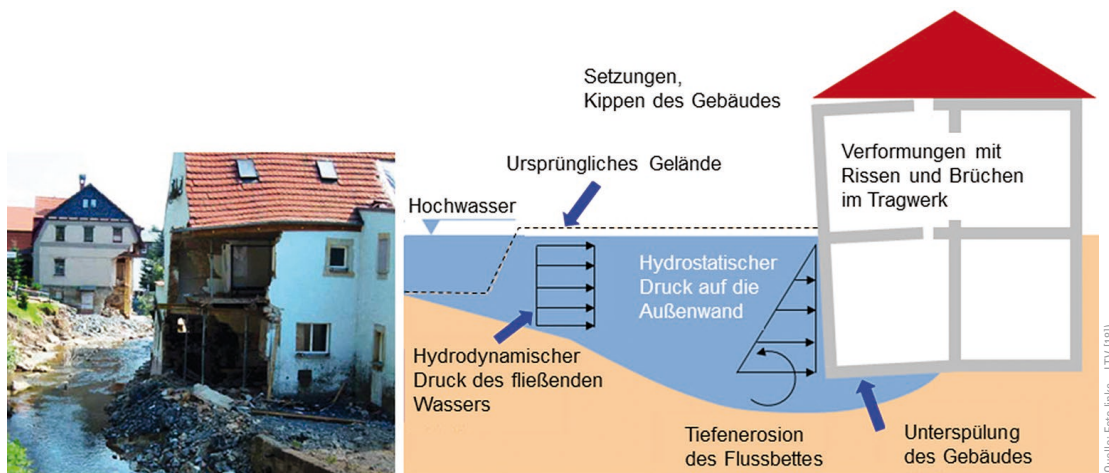


Bild 5 Starkregen führten zu Überschwemmungen mit nachfolgender Gerinneverlagerung und Ufererosion: das halbe Gebäude wurde zerstört
Flood caused by heavy rain followed by channel rearrangement and erosion: half of the building collapsed

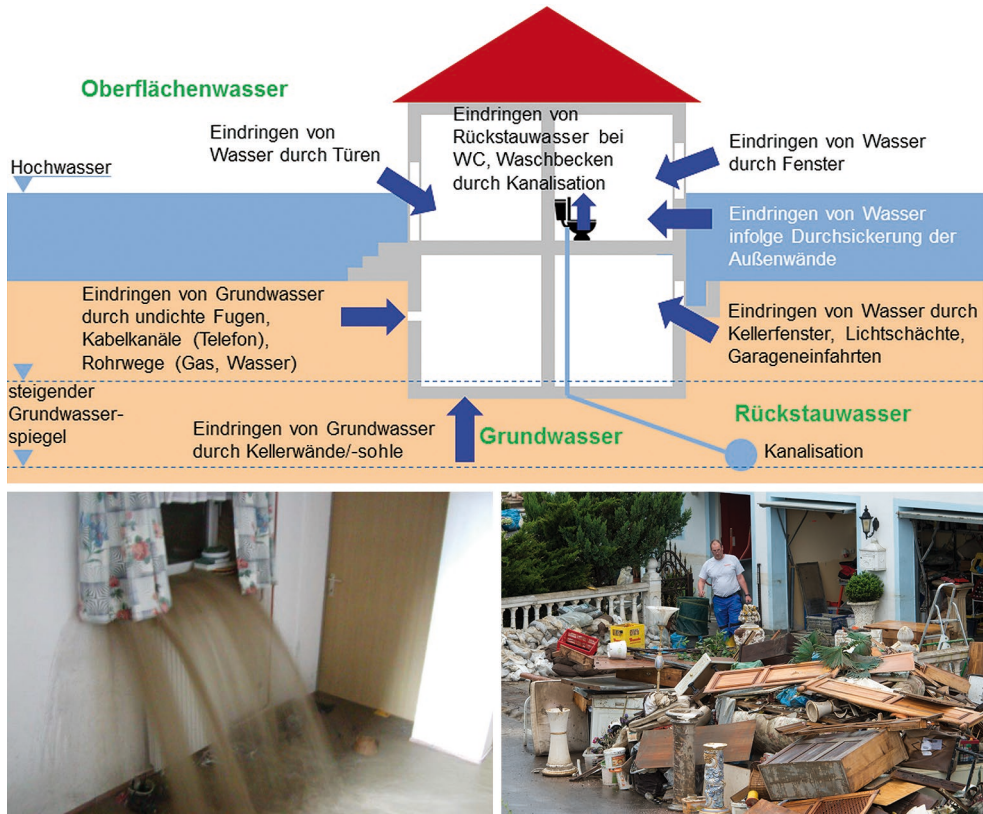


Bild 6 Wassereintrittswege in ein Gebäude und daraus resultierende Sachschäden
Water entry in a building and the resulting damage

he. Ist ein Wassereintritt in das Gebäude nicht planmäßig und kann er nicht verhindert werden, so treten Schäden an und im Gebäude auf (Bild 6).

Fließgeschwindigkeit

Eine weitere wesentliche Bemessungsgröße ist die Fließgeschwindigkeit, die man in zwei Intensitäten empirisch angeben kann [19]:

- *Statische Überschwemmung*: Fließgeschwindigkeit $v < 0,5$ m/s.
Diese findet in flachem Gelände statt. Typisch ist, dass der Wasserspiegel eines Flusses oder Sees nur langsam steigt (Bild 7).
- *Dynamische Überschwemmung*: Fließgeschwindigkeit $1 \text{ m/s} < v < 5 \text{ m/s}$ (= 20 km/h).
Hier treten hohe Fließgeschwindigkeiten auf. Dies ist zum Beispiel bei Gebirgsflüssen der Fall, bei konkaver, steiler Geländetopografie, entlang kanalisierter Abflussbereiche (Straßenzüge) oder nach Deichbrüchen (Bild 8).

Bei statischer Überschwemmung wirken (Bild 9):

- Der *hydrostatische Druck* bzw. der Staudruck des stehenden Wassers auf die Außenwände. Dieser steigt mit zunehmender Wassertiefe an.
- *Auftriebskräfte*: Steigt das Grundwasser über das Niveau der Bodenplatte, dann entstehen Wasserdruck und Auftriebskräfte am Gebäude. Die Auftriebskraft



Bild 7 Statische Überschwemmung
Static flooding

wirkt entgegen dem Eigengewicht des Bauwerks. Im Extremfall schwimmt das Gebäude auf und es besteht Einsturzgefahr.

Bei dynamischer Überschwemmung wirken (Bild 9):

- neben dem hydrostatischen Druck und den Auftriebskräften zusätzlich ein *hydrodynamischer Druck* bzw. Stoßdruck des fließenden Wassers,
- *Anprall* von Feststoffkomponenten wie angeschwemmte Fahrzeuge, Baumstämme, Wurzelstöcke und
- *Kolkbildung* und *Sohlerosion* im Fundamentbereich.



Bild 8 Dynamische Überschwemmung
Dynamic flooding



Bild 10 Einsturz eines Gebäudes – Uferabbruch
Collapse of a building – torrent slope slide

Gerinneverlagerung (Seiten- und Tiefenerosion)

Durch hohe Fließgeschwindigkeiten kann es zur Seiten- und Tiefenerosion von Uferböschungen kommen, sodass Fundamente bzw. Keller von Gebäuden direkt angeströmt werden. Durch Hohlräume im Boden kann es zu Setzungen eines Gebäudes, zum Grundbruch und zur Unterspülung der Fundamente kommen. Folgende Bilder sollen einen Eindruck der Wasserkräfte an konkreten Beispielen geschädigter Gebäude vermitteln (Bild 10).

Rückstauwasser aus Kanalisationen

Überlastungen in den Kanalisationen durch Starkregeneignisse oder Hochwasser können durch die Grundstücksentwässerungen zum Aufstau bis ins Gebäudeinne-

re führen. Liegt die Rückstauenebene unter dem potenziellen Hochwasserstand und liegen keine Sicherungseinrichtungen vor, wie z. B. Rückstauklappen oder Abwasserhebeanlagen, dann kann das Wasser durch die Sanitäranlagen ins Gebäude eindringen (Bild 11).

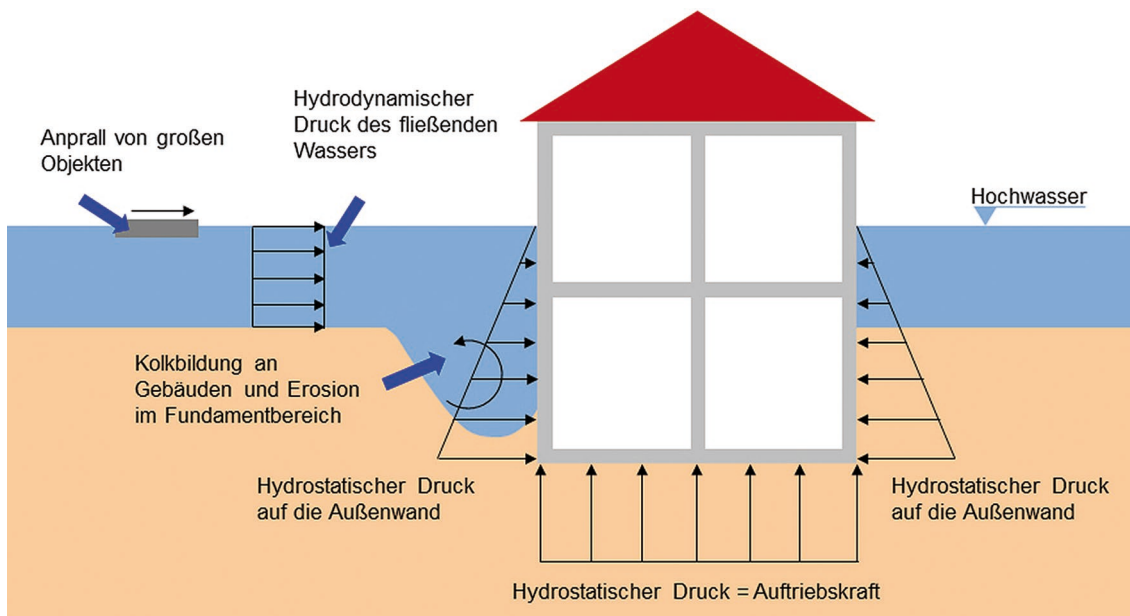


Bild 9 Einwirkungen auf ein Gebäude durch statische und dynamische Überschwemmung
Effects on a building caused by static and dynamic flooding

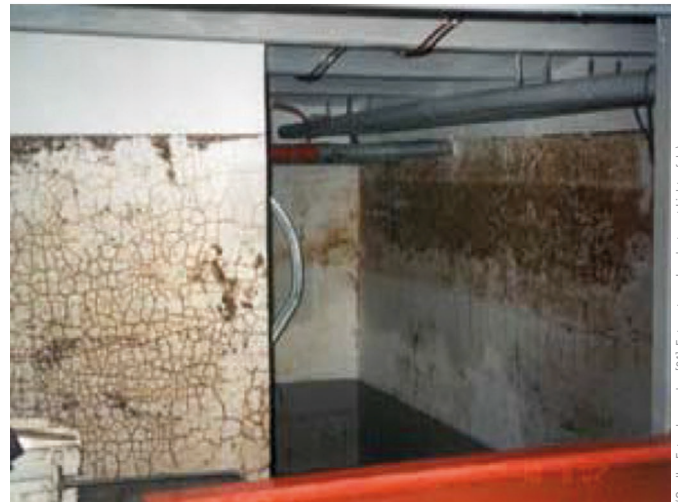


(Quelle: ACO Haustechnik)

Bild 11 Gebäude-Keller ohne Rückstausicherung
Basement without backflow protection

Kontamination durch Heizöl oder andere Schadstoffe

Ein hohes Gefährdungspotenzial geht von gegen Auftrieb ungesicherten Öltanks in Kellern aus. Da z. B. Heizöl eine geringere Dichte als Wasser hat, kann es sich nach dem Austritt aus Tanks schnell auf der Wasseroberfläche ausbreiten und an Gebäuden bzw. der Umwelt zu schweren Schäden führen. Ölpartikel oder andere Schadstoffe können tief in Wände eindringen. Dies kann dazu führen, dass die Wände entfernt und saniert werden müssen. Hinzu kommen Kontaminationsschäden des Bodens und des Oberflächen- und Grundwassers (Bild 12).



(Quelle: Foto oben – dpa [24]; Foto unten – Landratsamt Lichterfelde)

Bild 12 Überschwemmung und Folgeschäden durch ausgelaufenes Heizöl
Flood and consequential damages caused by spilled heating oil

Verklauung an Brücken

Vor allem bei Überschwemmungen an Fließgewässern sind große Mengen an Schwemmgut vorhanden. Dabei handelt es sich in der Regel um Holz (Baumstämme, Wurzelstöcke), aber auch um Fahrzeuge oder gar Schiffcontainers, die vom Wasser mitgerissen werden. Setzt sich dieses Treibgut im Gewässerquerschnitt fest, so spricht man von einer Verklauung (Bild 13).

Befinden sich Hindernisse im Gewässer, dann steigt die Wahrscheinlichkeit einer Festsetzung. Davon sind meist Brücken mit Pfeiler(n) in einem Fließgewässer betroffen. Da hierbei der Gewässerquerschnitt verkleinert wird, hat eine Verklauung höhere Wassergeschwindigkeiten zur Folge. Hierdurch steigt die Gefahr einer Kolkbildung. Außerdem nehmen die hydrodynamischen Kräfte auf das Bauwerk zu, da neben der Geschwindigkeit auch die angeströmte Fläche vergrößert wird. Die erhöhten Einwirkungen steigern das Schädigungsrisiko erheblich und müssen daher verhindert werden. Eine temporäre Maßnahme wäre die Sperrung der Brücke und die Beseitigung der Verklauung. Um die Vulnerabilität und damit folglich das Schadenspotenzial zu verringern, empfehlen sich permanente Maßnahmen, die auf das Bauwerk und auf die reguläre Nutzung des Gewässers abgestimmt werden. Beispielsweise können bei Neubauten bereits in der Planung entsprechende Maßnahmen, wie eine ausreichende



(Quelle: Bezirksfeuerwehrkommando Müdingen)

Bild 13 Verklauung an einer Brücke
Log jam at a bridge

lichte Höhe und eine Verbreiterung des Gewässers, berücksichtigt werden. Bei Bestandsbauten müssen andere Hilfsmittel herangezogen werden. Hier kann nachträglich der Überbau verschalt oder ein Gleichrichter, der Schwemmgut zur Strömung ausrichtet, vor die Engstelle gesetzt werden, um die Wahrscheinlichkeit einer Verklauung zu minimieren [25].

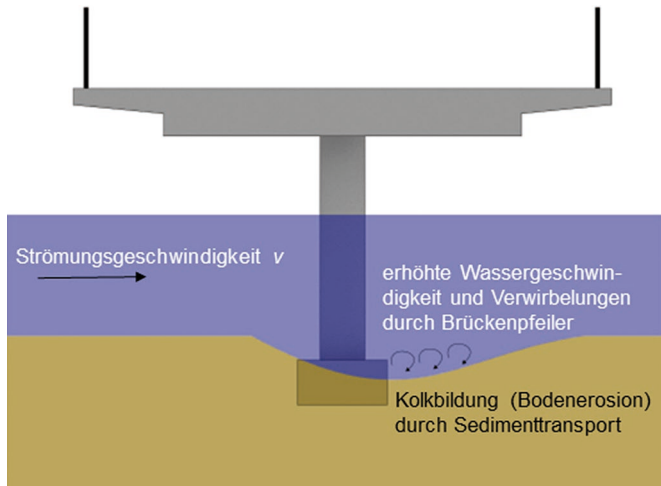


Bild 14 Schematische Darstellung eines Kolks an einem Brückenpfeiler
Schematically representation of scour behind a bridge pier

Kolkbildung an Brückenpfeilern

Eine erhöhte Fließgeschwindigkeit führt zu verstärktem Sedimenttransport. Insbesondere an Verengungen eines Gewässerquerschnitts z. B. an Brückenpfeilern führt diese Geschwindigkeitserhöhung zum Abtransport von Sohlenmaterial. Diesen Vorgang nennt man Kolkbildung (Bild 14).

Kolkbildung ist ein komplexer Vorgang mit zahlreichen Einflussfaktoren. Abhängig von der Korngröße des Sediments und der Schubspannung an der Gewässersohle, hervorgerufen durch die Strömungsgeschwindigkeit, tritt dieses Phänomen auf. Daneben spielt der Querschnitt des umströmten Objekts eine große Rolle. Wird die Einbindetiefe eines Pfeilers zu stark verringert, das Fundament freigelegt oder gar unterspült, dann kann die Tragfähigkeit des Bauwerks drastisch reduziert werden und es kann sogar zum Kollaps kommen. Während eines Hochwasserereignisses ist das Auftreten eines Kolks schwer zu erkennen. Auch eine Vorhersage ist mit großen Unsicherheiten behaftet. Deshalb ist es von essenzieller Bedeutung, bereits in der Ausführungsplanung Präventionsmaßnahmen zu ergreifen. Hierzu zählen z. B. die Wahl der richtigen Querschnittsform der umströmten Körper und eine ausreichende Gründungstiefe. Bei bestehenden Bauwerken kann nachträglich eine Armierungsschicht an der Gewässersohle verbaut werden, welche die darunterliegenden Sedimentschichten vor Erosion schützt.

Einflussfaktoren auf Bauwerksschäden durch Gebäudeeigenschaften

Der Widerstand baulicher Objekte gegen Hochwassereinflüsse hängt weitgehend von deren geometrischen, konstruktiven und bauphysikalischen Eigenschaften sowie von technischen Installationen ab. Je nach Bauwerkstyp oder Bauwerksfunktion können sich die Schäden bei gleichen Beanspruchungen stark unterscheiden.

Tab. 2 Vulnerabilität bei Hochwasser, abhängig von der Bauweise
Vulnerability in a flood event, based on the method of construction

Bauweise	Hochwasservulnerabilität
Lehmbauweise	sehr empfindlich
Mauerwerksbauten mit Lehmörtel	empfindlich
Mauerwerksbauten (allgemein), Mauerwerksbauten mit Kalk-Zement-Mörtel	normale Hochwasserresistenz
Stahlbetonbauten, gut ausgeführtes Natursteinmauerwerk	erhöhte Hochwasserresistenz
auf Stützen oder Stelzen gegründete Bauwerke aus Stahlbeton, evtl. auch Mauerwerk	besonders hochwassergerechte Auslegung

Tab. 2 zeigt exemplarisch die Hochwasservulnerabilität in Abhängigkeit von der Bauweise [26].

3.2 Maßnahmen

Mit baulichen, technischen und organisatorischen Vorsorgemaßnahmen kann das Schadenspotenzial von baulichen Infrastrukturen gegenüber außerordentlichen Einwirkungen drastisch gesenkt werden. Da nachträgliche Ertüchtigungen von Bestandsbauten hohe finanzielle Mittel erfordern, müssen schon im Entwurfs- und Planungsprozess Sicherheitsaspekte und Schutzziele durch die Wahl bzw. Ausführung risikovermindernder Schutzmaßnahmen berücksichtigt werden.

Bei den Schutzmaßnahmen gegen statische und dynamische Überschwemmungen [10, 27–31] sind hauptsächlich folgende Ursachen für Gebäudeschäden zu beachten (Bild 15):

- Oberflächenwasser,
- ansteigendes Grundwasser,
- Rückstauwasser aus Kanalisationen,
- verschmutztes Wasser,
- Anprall und Ablagerung von mitgeführtem Treibgut (Fahrzeuge, Baumstämme) und
- Sohlerosion (Kolkbildung).

4 Ansätze und Bewertungsmethoden für Vulnerabilitätsanalysen

Abschätzungen von zu erwartenden Schäden können auf verschiedenen Genauigkeitsniveaus durchgeführt werden [32], womit die Komplexität von Sicherheitsanalysen reduziert werden kann. Je nach Ressourcenverfügbarkeit (Zeit, Finanzen, Personal, Daten, Rechenkapazität), Ziel, Aufgabenstellung, Größenordnung des Untersuchungsobjekts und gewünschter Analysetiefe stehen unterschiedliche skalierbare Ansätze und Bewertungsmethoden zur Verfügung:

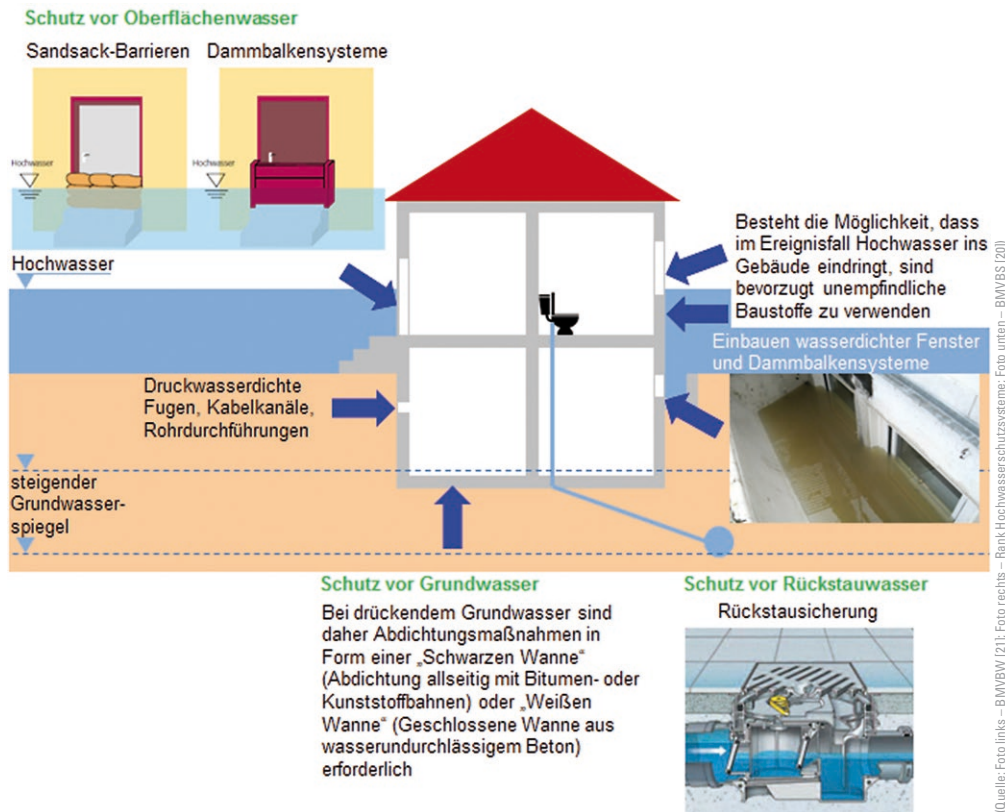


Bild 15 Schutzmaßnahmen
Protection measures

– **Schnelle Identifikation von Schwachstellen:**

- Erfassen von relevanten Merkmalen z. B. eines Gebäudes, wie Baujahr, Bauart, Höhe, Grundriss, Verteilung und Regelmäßigkeit der Gebäudeaussteifungen, Baugrundparameter, Geländeform, Standorteigenschaften mit gefahrenabhängigen Checklisten
- Zeitaufwand: wenige Stunden
- Genauigkeit der Analyse: grob

– **Einfache Vulnerabilitätsanalysen:**

- Empirische Methoden
- Analytische Methoden mit mechanischen Ersatzmodellen
- Zeitaufwand: mehrere Tage
- Genauigkeit der Analyse: mittel

– **Detaillierte Vulnerabilitätsanalysen:**

- Numerische Simulationen
- Lineare/nichtlineare statische und dynamische Analysen
- Probabilistische/statistische Verfahren aus der Sicherheits- und Zuverlässigkeitstheorie
- Zeitaufwand: mehrere Tage bis mehrere Wochen
- Genauigkeit der Analyse: hoch

Diese abgestufte Vorgehensweise ist auf beliebige Bauwerke anwendbar. Die bestehenden Normen machen in Bezug auf Vulnerabilitätsanalysen keine konkreten Vorgaben, sodass der untersuchende Ingenieur zunächst eigene Konzepte entwickeln muss, wobei aber ausländische

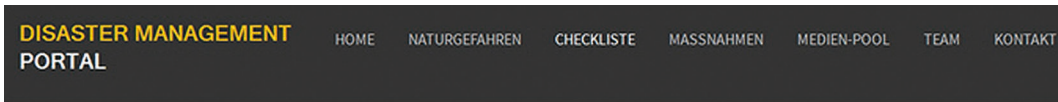
Regelwerke hilfreich sein können, sofern sie Angaben dazu machen.

Die Forschungsschwerpunkte der Autoren konzentrieren sich seit mehreren Jahren auf eine methodische Optimierung der verschiedenen Vulnerabilitätsanalysen anhand einer durchgängigen Nutzung *standardisierter 3D-Informationsmodelle* auf Basis von *BIM/IFC-Gebäudemodellen* und *CityGML-Stadtmodellen*. Die Einbeziehung dieser Modelle in das Ingenieur-Tool wird im Abschn. 4.1.1 erläutert.

4.1 Schnelle Identifikation von Schwachstellen mit Ingenieur-Tools

Für eine schnelle und einfach handhabbare Ermittlung von Schwachstellen baulicher Infrastrukturen wurde ein Checklisten-Tool entwickelt. Günstige und ungünstige Merkmale bzw. Einflussfaktoren auf die Vulnerabilität eines Gebäudes oder einer Brücke bei Überschwemmung oder Sturmflut sind im Tool umfassend ermittelt.

Das Tool hat eine selbsterklärende Benutzeroberfläche, die eine intuitiv sichere Handhabung gewährleistet. Info-Buttons, grafische Symbole, Videos, Animationen, Simulationen etc. sollen den Anwender zusätzlich unterstützen. Das System wird auf verschiedenen Plattformen bereitgestellt, z. B. online im Internet, auf mobilen Geräten (Smartphone & Tablet), auf CD und in Form von Print-Medien.



Checkliste für Jedermann

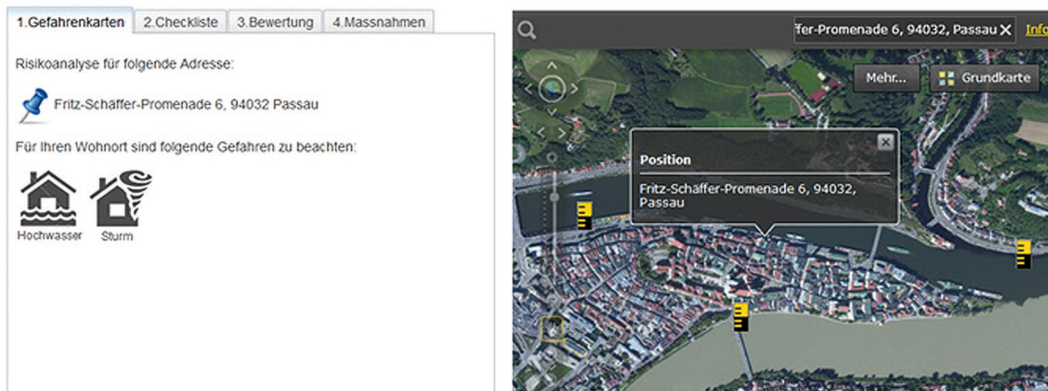


Bild 16 Adresseingabe
Address entry

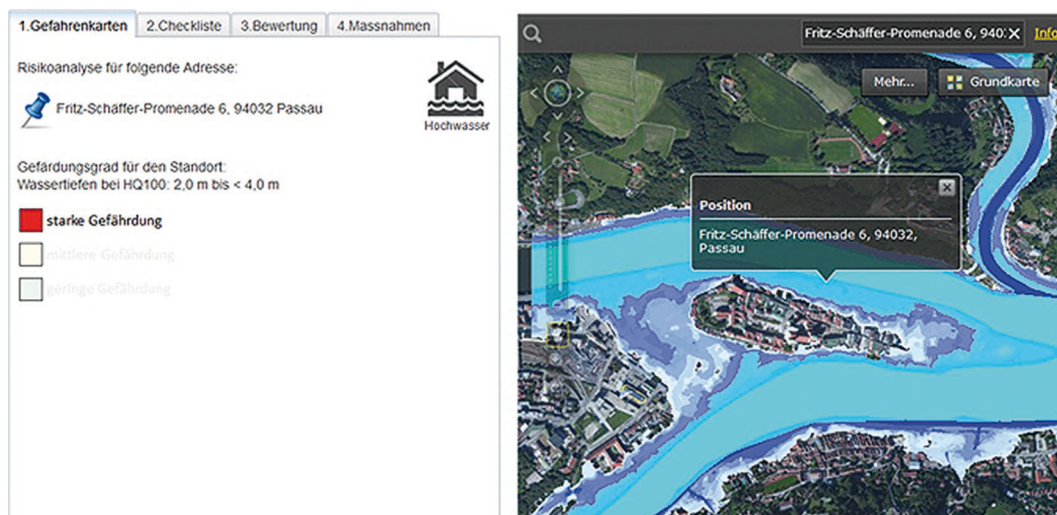


Bild 17 Gefahrendarstellung
Representation of hazards

Das Checklisten-Tool soll zur Risikoeinschätzung und Risikoprävention von Bauwerken dienen, wobei es für zwei Anwendergruppen konzipiert wird: für den *Nichtfachmann* (jedermann bzw. allgemeine Bevölkerung) und für *Experten* (z. B. Gutachter, Ingenieurbüros, Versicherungen, Behörden, Rettungskräfte).

In der Anwendergruppe „Jedermann“ kann jede Bürgerin/jeder Bürger mit wenigen allgemeinverständlichen Schritten einen Risiko-Check des eigenen Hauses durchführen:

1. Schritt: Adresseingabe

Nach einer Standorteingabe (PLZ, Stadt, Straße und Hausnummer) des Anwenders wird auf einer Karte der Gebäudestandort angezeigt und gleichzeitig wird ein Hinweis auf

potenzielle Naturgefahren in Abhängigkeit von der geografischen Lage des Gebäudes visualisiert (Bild 16).

2. Schritt: Gefahrendarstellung

Nach der Adresseingabe werden z. B. Überschwemmungsszenarien ($HQ_{häufig}$, HQ_{100} , HQ_{extrem}) mit Überflutungsflächen und Überflutungstiefen visualisiert [33]. Der Gefährdungsgrad eines Gebäudes wird damit quantitativ und qualitativ in Abhängigkeit vom Standort dargestellt (Bild 17).

3. Schritt: Ausfüllen des Fragebogens

Sofern sich das zu begutachtende Objekt in einer gefährdeten Zone befindet, werden Checklisten zur Erfassung

1. Gefahrenkarten 2. Checkliste 3. Bewertung 4. Massnahmen

Füllen Sie den Fragebogen für die Ermittlung von Schwachstellen aus:

1. Geländedaten 2. Gebäudedaten 3. Installationen

		Risiko		
1. Geländedaten				
Liegt das Gebäude im Bereich oder in der Nähe von Hochwasserzonen der Gefahrenkarten?	? <input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input type="radio"/> keine Angabe			X
Welche Überflutungstiefe ist angezeigt?	? 3 m <input type="text" value="Tool"/>			X
Liegt das Gebäude in einem durch Hochwasserschutzanlagen gesicherten Gebiet?	? <input type="radio"/> ja <input checked="" type="radio"/> nein <input type="radio"/> keine Angabe			X
Liegt das Gebäude in der Nähe eines Gewässers? (Fluß, Bach, See)	? <input type="radio"/> ja <input checked="" type="radio"/> nein <input type="radio"/> keine Angabe			X
Abstand zum nächsten Gewässer	? <input checked="" type="radio"/> unmittelbar neben dem Gewässer <input type="radio"/> 200-500 m <input type="radio"/> > 500 m			X
Geländedeform im Umfeld des Gebäudes	? Muldenlage <input type="checkbox"/>			X

Eingangsbereiche sind Gebäudeöffnungen zum Betreten und Verlassen des Gebäudes (Haustür, Kellertür). Sie sind aufgrund ihrer meist *exponierten Lage* wesentlich für die Sicherheit und sie gilt es daher entsprechend abzusichern.

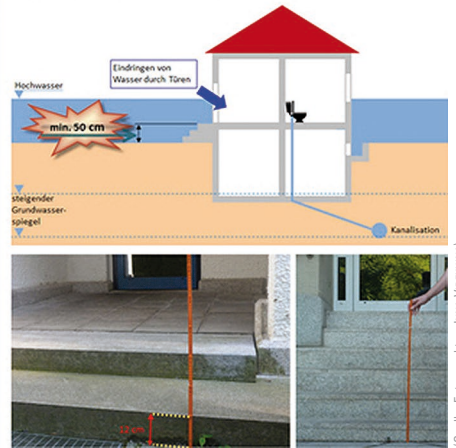


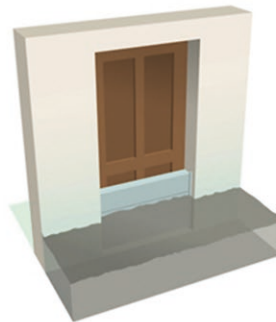
Bild 18 Ausfüllen des Fragebogens
Filling out of the questionnaire

1. Gefahrenkarten 2. Checkliste 3. Bewertung 4. Massnahmen

Content for the second tab

1. Wassereintritt ins Gebäude vermeiden
2. Einbauen wasserdichter Fenster und Dammbalkensysteme
3. Rückstausicherung
4. Druckwasserdichte Fugen, Kabelkanäle
5. Licht- und Lüftungsschächte wasserdicht verschrauben
6. Auftriebssicherungen für Heizöltanks vorsehen

Mobiles Dammbalkensystem



Mobile Systeme sind ein guter Schutz gegen Wasser- und Schlammeneintritt, starken Geschiebetransport und den Anprall mitgeführter Feststoffe.

Bild 19 Schutzmaßnahmen
Protection measures

von gefährdungsabhängigen Bauwerksattributen und von Geländedaten angeboten (Bild 18).

4. Schritt: Risikobewertung

Nach dem vollständigen Ausfüllen der Checklisten erfolgt die Bewertung der Vulnerabilität des Gebäudes. Die Bauwerksanalyse erfolgt nach einem multikriteriellen Verfahren.

5. Schritt: Schutzmaßnahmen

Nach der Ermittlung der Schwachstellen des Gebäudes werden objektspezifische bauliche, technische und organisatorische Maßnahmen vorgeschlagen, um Personen- und Sachschäden im Ereignisfall zu begrenzen (Bild 19).

4.1.1 3D-Gebäude- und Stadtmodelle (CityGML/BIM, GIS)

Bei der Erfassung der Bauwerksattribute kommen innovative Verfahren zum Einsatz, die bisher in der Sicherheitsforschung und in der Versicherungswirtschaft kaum Beachtung fanden. Mit semantischen 3D-Gebäude- und 3D-Stadtmodellen können entweder durch *virtuelle Begehungen* oder durch Algorithmen *automatisch Bauwerkseigenschaften extrahiert* und in Auswertesysteme übertragen werden [34]. Für die in den Formularen abgefragten Bauwerksdaten wurden z. B. Routinen entwickelt, die aus BIM/IFC-Gebäudemodellen sicherheitsrelevante Daten auslesen können (Bild 20). Dabei werden auch implizite Tragwerksinformationen, wie die Gebäudehöhe, die Regelmäßigkeit eines Baukörpers oder die Kontinuität der Lastabtragung, ermittelt und in den Analysetabellen hinterlegt.

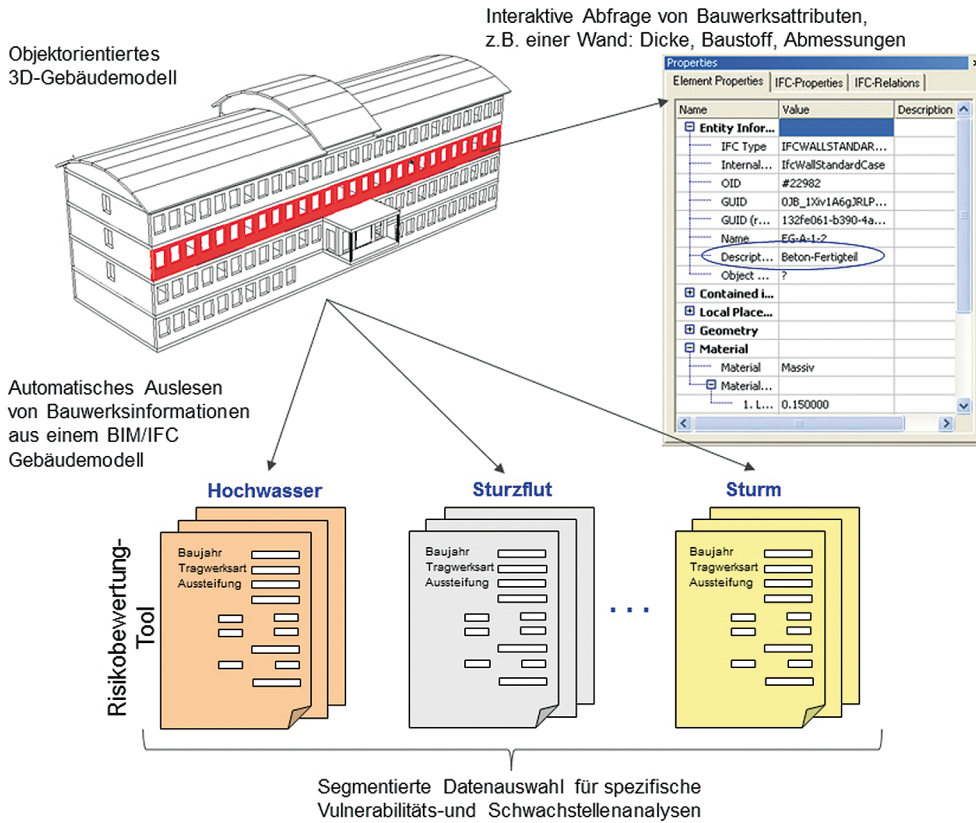


Bild 20 Datengewinnung für Risikoanalysen aus semantischen Liegenschafts- und Bauwerksinformationsmodellen
Collection of data for risk analysis from semantic property and building information models

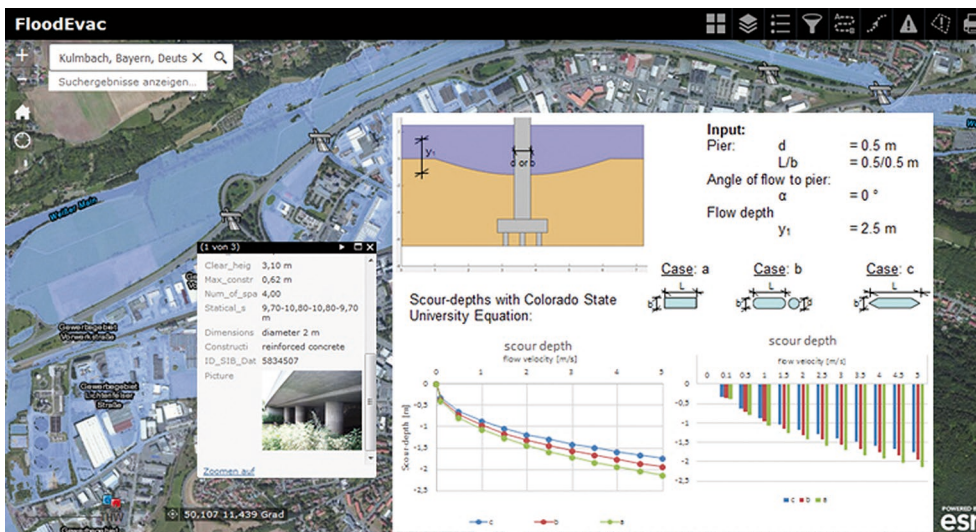


Bild 21 Ingenieur-Tool für Rettungskräfte – GIS mit Hochwasser- und Bauwerksdaten für eine empirische Kolktefenermittlung
Engineering-Tool for rescue forces – GIS with flood and structural data for a rapid assessment application (here: empirical scour-depth calculation)

4.1.2 Ingenieur-Tool für Rettungskräfte

Organisatorische Maßnahmen im *Katastrophenmanagement* beinhalten das Training und die Unterstützung von Hilfskräften bei Hochwasserereignissen. In einem interdisziplinären BMBF-Forschungsprojekt entwickeln die Autoren webbasierte Programme zur ereignisabhängigen Ermittlung verfügbarer *Evakuierungs- und Versorgungs-routen*, die Einsatzkräften bei ihren Maßnahmenplanungen zur Verfügung gestellt werden können [35].

Für Risikoanalysen von Ingenieurbauwerken in einem vom Hochwasser betroffenen Verkehrsnetz wird eine abgestufte Beurteilungsstrategie von einfachen Vulnerabilitätsbewertungen bis hin zu detaillierten numerischen Analysen angeboten. Für eine schnelle Einstufung von Tragwerken werden Programme entwickelt, die auf empirischen Formeln basieren (Bild 21). Bauwerke, die durch diese Tools als kritisch eingestuft werden, müssen einer detaillierten Analyse unterzogen werden. Somit werden Daten zur Standsicherheit bzw. Resttragfähigkeit

von kritischen Infrastrukturen im Hochwasserfall gewonnen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Risikoeinschätzung und Risikoprävention von Gebäuden und Brücken bei Hochwassergefahr sind wesentliche Elemente des Risikomanagements. Zur Unterstützung der Risikobewertung dienen die in dem Beitrag beschriebenen Ingenieur-Tools, welche für zwei Anwendergruppen konzipiert sind: Nichtfachmann (jedermann) und Experten (z. B. Gutachter, Ingenieurbüros, Versicherungen, Rettungskräfte). Je nach Bedarf und Situationslage wird somit eine geeignete Risikoanalyse ermöglicht.

Literatur

- [1] BERZ, G.: *Naturkatastrophen und Klimawandel*. GeoRisikoForschung/Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, Präsentation Ludwig-Maximilians-Universität München.
- [2] BOJANOWSKI, A.: *Uno-Bericht: Klimawandel ändert die Welt grundlegend*. 5. IPCC-Report des Uno-Klimarats in Stockholm 2013, Spiegel-Online, Wissenschaft.
- [3] HÖPPE, P.: *Folgen des Klimawandels – Munich Re erwartet häufigere Wetterextreme*. Leiter GeoRisikoForschung/Corporate Climate Centre, Munich Re, In: Frankfurter Allgemeine, 23.02.2014.
- [4] VORHOLT, T.: *Klimawandel und Wetterkatastrophen*. Vorsitzender des Projekts Klimawandel Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV), Präsentation Klimakonferenz der deutschen Versicherungswirtschaft, Berlin, 24. Mai 2011.
- [5] Studie im Auftrag des Gesamtverbands der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV): *Auswirkungen des Klimawandels auf die Schadensituation in der deutschen Versicherungswirtschaft*. Kurzfassung Hochwasser, Dezember 2011.
- [6] *Schutz kritischer Infrastrukturen – Risiko- und Krisenmanagement*. Leitfadens für Unternehmen und Behörden, Bundesministerium des Innern, 2008.
- [7] GEIER, W.; JOHN-KOCH, M.: *Schutz Kritischer Infrastrukturen Analysen – Erkenntnisse – Schutzkonzepte*. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, 2008.
- [8] VIDEKHINA, I.; PFEIFFER, E.: *Risikomanagement als Katastrophenvorsorge für bauliche Infrastrukturen gegen multiple Gefährdungen*. In: Thoma, K., Gebbeken, N. (Hrsg.), Tagungsband 5. Workshop „Bau-Protect“, Universität der Bundeswehr München – Berichte aus dem konstruktiven Ingenieurbau, 2012.
- [9] LAUWE, P.: *Risikomanagement in Kommunen aus Sicht des Bevölkerungsschutzes*. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, 2008.
- [10] DISSE, M.; GEBBEKEN, N.; BOLEY, C.; PENN, J.: *Fachberater Hochwasserschutz*. München: Eigenverlag BRK-Wasserwacht, 2011.
- [11] ELVERFELD, K. V.; GLADE, TH.; DIKAU, R.: *Naturwissenschaftliche Gefahren- und Risikoanalyse*. 2007.
- [12] *Defining Risk*. FloodRiskNet Newsletter, Issue 2, Winter 2003.
- [13] *Megastädte – Megarisiken Trends und Herausforderungen für Versicherung und Risikomanagement*. Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, Edition Wissen, 2005.
- [14] *Expect the unexpected*. Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, 2015.
- [15] Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rats: *Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken*. 23. Oktober 2007.
- [16] DIN 4149-1: 1981-04: *Bauten in deutschen Erdbebengebieten. Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten*. April 2005.
- [17] NOVAK, B.; KUHLMANN, U.; EULER M.: *Einwirkung Widerstand Tragwerk*. Berlin: Ernst & Sohn 2012.
- [18] *Hochwasser geht alle an! Hochwasserrisikomanagement im Freistaat Sachsen*. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Juni 2012.
- [19] SUDA, J.; RUDOLF-MIKLAU, F.: *Bauen und Naturgefahren*. Wien: Springer-Verlag, 2012.
- [20] *Hochwasserschutzfibel – Objektschutz und bauliche Vorsorge*. Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2013.
- [21] *Hochwasserschutzfibel – Planen und Bauen von Gebäuden in hochwassergefährdeten Gebieten*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, 2002.
- [22] *Schutz vor alpinen Naturgefahren – Gebäudeschutz Erstellung der Grundlagen für eine „Sicherheitsfibel Gebäudeschutz“*. Institut für Alpine Naturgefahren, BOKU Wien IAN- Report 107, Mai, 2006.
- [23] AEE – Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE – Dachverband.
- [24] HORNEMANN, C.; RECHENBERG, J.: *Was Sie über vorsorgen den Hochwasserschutz wissen sollten*. Umweltbundesamt, Dessau 2006.
- [25] LANGE, D.; BEZZOLA G.-R.: *Schwemmholz – Probleme und Lösungsansätze*. Versuchsanstalt für Wasserbau Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Mitteilung 188, 2006.
- [26] MAIWALD, H.: *Ingenieurmäßige Ermittlung von Hochwasserschadenspotentialen im mikroskaligen Bereich*. Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau, Heft 011, Bauhaus-Universität Weimar, 2007.
- [27] Fernsehbeitrag BR Alpha: Professor Norbert Gebbeken – Statik- und Katastrophenschutzexperte, Vorstandsmitglied Bayerische Ingenieurekammer-Bau. BR Fernsehen, München, Aufnahme 24. Juni 2013, Sendung 18. September 2013 im BR Alpha Forum und 19. September 2013 Mittags-sendung, Redakteur Bernd Kellermann.

- [28] BR3 Radio: Hochwasser – Norbert Gebbeken Live-Interview und Beantwortung von Hörerfragen. Gesendet am 13. Juni 2013, 8.00–11.00, Journalist/Moderation: Claudia Conrath, Roman Röhl.
- [29] GEBBEKEN, N.; WEIGL W.: *Baulicher Hochwasserschutz – Wasserabweisende Materialien verwenden*. Bayerische Staatszeitung Nr. 42, Freitag, 18. Oktober 2013.
- [30] GEBBEKEN, N.: *Prävention ist ein komplexer Bereich – Bauingenieure im Katastrophenschutz*. Bayerische Staatszeitung, Kolumne 11. Oktober 2013, Ingenieure in Bayern, November 2013, S. 2.
- [31] PFEIFFER, E.; GEBBEKEN, N.; VIDEKHINA, I.: *Bauliche Erhöhung öffentlicher Gebäude gegen Anschläge und andere Gefahrenwirkungen*. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben im Rahmen der Forschungsinitiative ZukunftBAU des Bauministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung/Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Universität der Bundeswehr München/Institut für Mechanik und Statik, 2008.
- [32] *Richtlinien des BWG, Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Gebäude. Konzept und Richtlinien für die Stufe 1, Stufe 2, Stufe 3*. Bern, 2005–2006.
- [33] Quelle für Geo-Daten: Bayrisches Landesamt für Umwelt, Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten (Kartenlayer).
- [34] PFEIFFER, E.; GEBBEKEN, N.; VIDEKHINA, I.: *Semantische Infrastrukturmodelle für standardisierte Vulnerabilitäts-*

und Schwachstellenanalysen und Krisenmanagementprozesse. In: Thoma, K., Gebbeken, N.(Hrsg.), Tagungsband BauProtect, Fraunhofer Verlag, 2010.

- [35] Quelle für Brücken-Daten: Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr/Autobahndirektion Südbayern.

Autoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Norbert Gebbeken
norbert.gebbeken@unibw.de

Dr.-Ing. Inna Videkhina
inna.videkhina@unibw.de

AkDir Dipl.-Ing. Eberhard Pfeiffer
eberhard.pfeiffer@unibw.de

Maximilian Garsch M.Sc.
maximilian.garsch@unibw.de

Dr.-Ing. Lars Rüdiger
lars.ruediger@unibw.de

Universität der Bundeswehr München
Institut für Mechanik und Statik
Forschungszentrum RISK
Werner-Heisenberg-Weg 39
85577 Neubiberg