

Risikokarten für Deutschland: erste Ergebnisse vom „Center for Disaster Management and Risk Reduction Technologies“ (CEDIM)

Annegret Thieken¹, Heidi Kreibich¹, Petra Köhler¹, Matthias Müller¹, Gottfried Grünthal¹, Patrick Heneka², Thomas Hofherr², Rutger Wahlström¹, Lorenz Kleist², Bruno Büchele², Andres Kron², Sergiy Tyagunov², Joachim Wächter¹, Bruno Merz¹, Christoph Kottmeier², Bodo Ruck², Franz Nestmann², Lothar Stempniewski², Jochen Zschau¹

¹ GeoForschungsZentrum Potsdam, ² Universität Karlsruhe

The Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM) was founded in 2002 and is a joint venture between the GFZ Potsdam and the Technical University of Karlsruhe. CEDIM aims at understanding hazards and risks, detecting upcoming hazardous events early and coping with the consequences of disasters at a better level. In the project „Risk Map Germany“ the objectives are to develop methodologies for mapping different hazards and risks on a nationwide scale and to quantitatively compare risks due to earthquakes, storms and floods.

The paper outlines the concepts of risk analysis that is used within the project „Risk Map Germany“. Basically, „risk“ is defined as the probability that a given loss will occur and thus encompasses three aspects: hazard, exposure and vulnerability. Then data processing and management is outlined. First results for the assessment of earthquake, storm and flood risks are presented. Finally, the „CEDIM Risk Explorer“, a web-based map service that summarises all project results is presented.

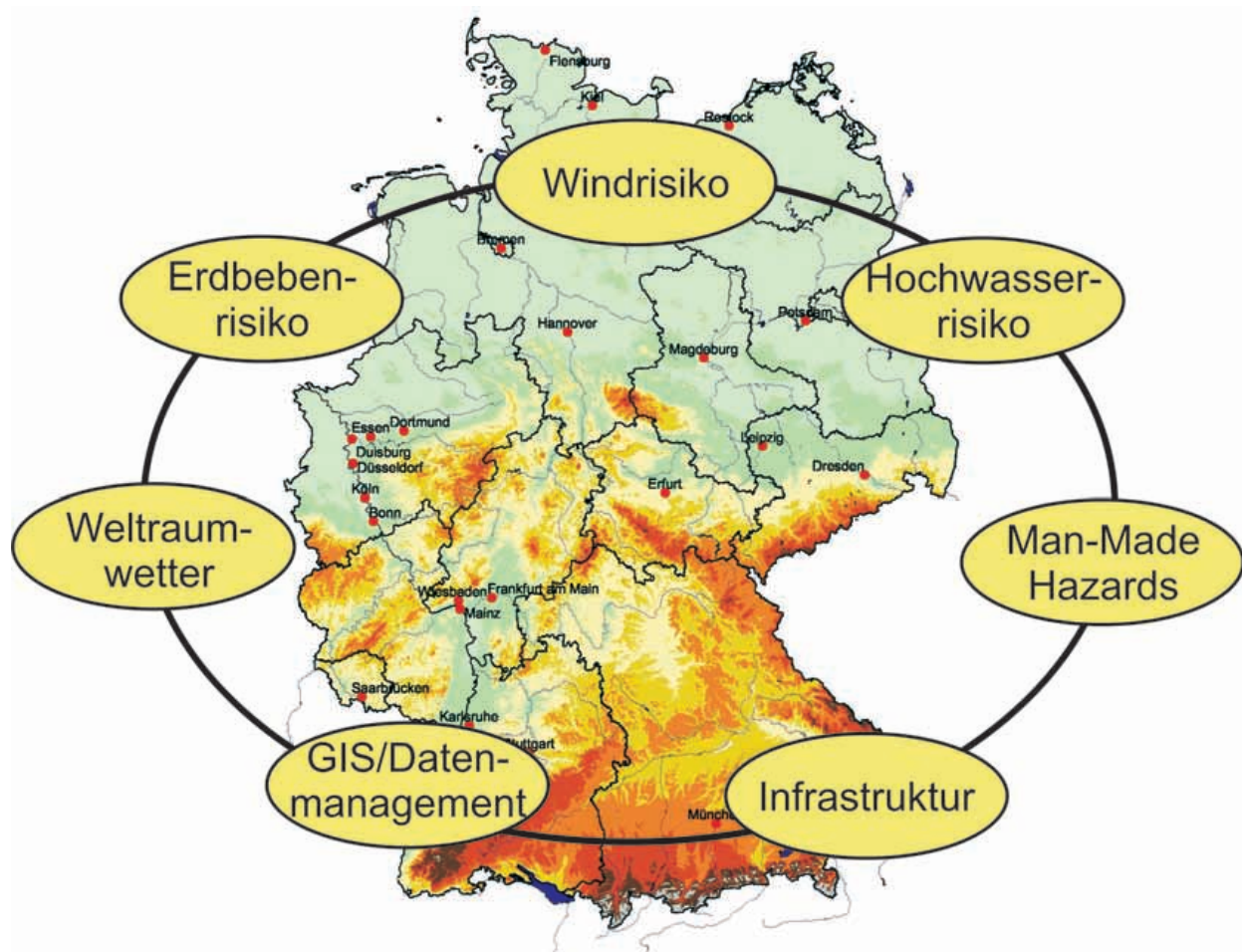


Abb. 1: Teilprojekte im CEDIM-Projekt „Risikokarte Deutschland“
Subprojects of the CEDIM-Project „Risk Map Germany“

CEDIM wurde im November 2002 gemeinsam vom GeoForschungsZentrum Potsdam und der Universität Karlsruhe gegründet. An diesem virtuellen Institut sind sechs Sektionen des GFZ und elf Institute der Universität Karlsruhe beteiligt (<http://www.cedim.de>).

Wesentliches Ziel der Forschungsarbeiten in CEDIM ist es, Risiken durch Naturgefahren und mensch-gemachte Gefahren besser zu verstehen, früher zu erkennen und die Folgen von Katastrophen besser zu beherrschen. Dazu ist die Zusammenarbeit verschiedener, in der Katastrophenforschung tätiger wissenschaftlicher Disziplinen notwendig. In CEDIM reicht dieser Verbund von den Geowissenschaften und der Meteorologie über die Ingenieurwissenschaften, die Regionalplanung und die Informatik bis hin zu den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. Durch die gemeinsame Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Grundlagen sowie durch die Entwicklung neuer Technologien, beispielsweise von Visualisierungstechniken und Implementierungen von Informationssystemen, sollen mögliche Schäden infolge von Katastrophen signifikant reduziert werden.

In einem ersten Projekt werden Methoden und Werkzeuge zur Risikokartierung in Deutschland erarbeitet, und zwar für Gefährdungen durch Hochwasser, Stürme, Starkbeben, Weltraumwetter und „Anthropogene Katastrophen“. Für keine dieser Gefahren existiert zurzeit eine deutschlandweite Karte mit quantitativen Risikoangaben. Alle Teilprojekte des CEDIM-Projektes „Risikokarte Deutschland“ sind in Abb. 1 zusammengestellt.

In diesem Beitrag wird zunächst das im Projekt „Risikokarte Deutschland“ verfolgte Konzept der Risikoanalyse erläutert. Danach werden beispielhaft Eingangsdaten und Ergebnisse präsentiert. Abschließend wird das Softwaretool „CEDIM Risk Explorer“ vorgestellt, in dem alle Projektergebnisse aufbereitet und präsentiert werden können.

Ein Ziel im Projekt „Risikokarte Deutschland“ war es, die Risiken, die durch die Naturgefahren Sturm, Hochwasser und Erdbeben entstehen, miteinander vergleichbar darzustellen. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde folgendes Konzept für die Risikoanalyse erarbeitet, das am Beispiel der Naturgefahr Hochwasser in Abb. 2 schematisch dargestellt ist: In den Ingenieurwissenschaften und bei technischen Risikoanalysen wird der Begriff Risiko häufig als Wahrscheinlichkeit definiert, mit der ein bestimmter Schaden eintritt bzw. überschritten wird (z. B. Kaplan and Garrick, 1981; Crichton, 1999; CEDIM, 2005; Grünthal et al., 2006). Diese Definition liegt auch den Arbeiten im CEDIM-Projekt „Risikokarte Deutschland“ zugrunde. In diesem Kontext beinhaltet Risiko drei verschiedene Aspekte: Gefährdung, Vulnerabilität (im Sinne von Schadensanfälligkeit) und (Vermögens-)Wert der potenziell betroffenen Objekte (Risikoelemente).

Gefährdungsabschätzungen werden für jede Naturgefahr getrennt durchgeführt und beinhalten räumliche Szenarien mit Intensitätsaussagen, zum Beispiel Überflutungstiefen für Hochwasser, Böenwindgeschwindigkeiten für Stürme und makroseismische Intensitäten für Erdbeben (Büchle et al., 2006; Heneka et al., 2006; Tyagunov et al., 2006). Für quantitative Risikoabschätzungen muss jedem Szenario außerdem eine Überschreitungswahrscheinlichkeit oder Wiederkehrperiode zugeordnet werden (vgl. Abb. 2).

Das Wiederkehrintervall beschreibt die Zeitdauer, die im langjährigen statistischen Mittel zwischen Ereignissen derselben Größenordnung liegt und ist der Reziprokwert der Überschreitungswahrscheinlichkeit:

$$T = \frac{1}{P_{\bar{u}}} \quad (1)$$

mit T: Jährlichkeit oder Wiederkehrintervall und $P_{\bar{u}}$: Überschreitungswahrscheinlichkeit.

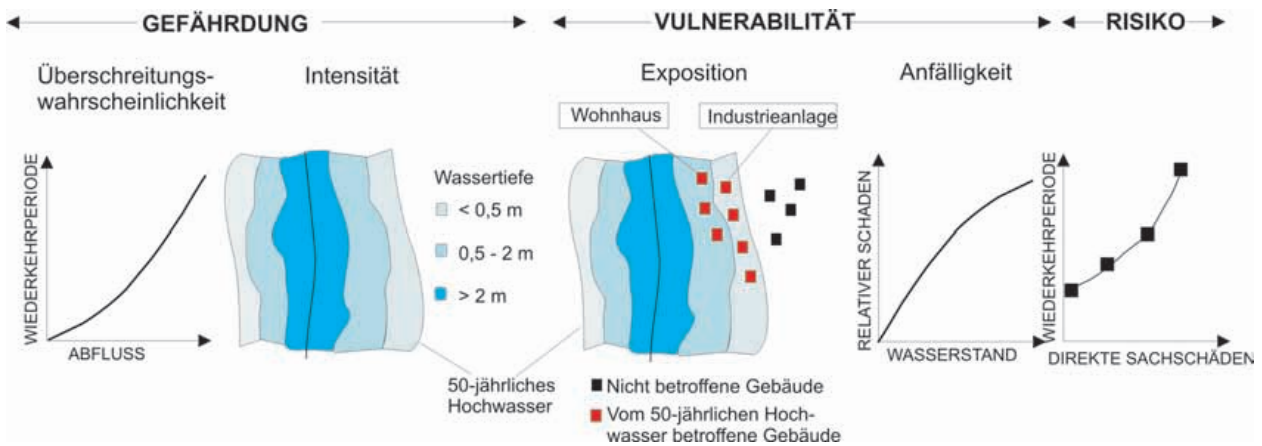


Abb. 2: Elemente einer quantitativen Risikoanalyse, dargestellt am Beispiel Hochwasser (Quelle: Merz & Thieken, 2004.)

Elements of a quantitative risk analysis, taking flooding as an example (Source: Merz & Thieken, 2004).

Da die Auswirkungen der meisten Naturkatastrophen in Deutschland weniger durch eine große Zahl von Opfern als vielmehr durch Schäden an Vermögenswerten und der öffentlichen Infrastruktur sowie durch Produktionsausfälle charakterisiert werden, stehen im Projekt „Risikokarte Deutschland“ wirtschaftliche Schäden im Vordergrund. Dabei wird prinzipiell zwischen direkten Kosten (Reparatur- und Wiederherstellungskosten, Kosten für Hilfeleistungen) und indirekten Kosten (Kapitalkosten, Umzugskosten, Einkommensverluste, Mietverluste, Arbeitslosigkeit) unterschieden, die für verschiedene Sektoren oder Risikoelemente (Privathaushalte, Unternehmen, Infrastruktur, Land-/Forstwirtschaft etc.) abgeschätzt werden können. Für die Risikoanalyse in CEDIM wurden zunächst direkte ökonomische Schäden an Wohngebäuden – definiert als Wiederherstellungskosten für das Referenzjahr 2000 – als Risikoindikator ausgewählt. Darüber hinaus wurden in den Teilprojekten „Infrastruktur“ und „Man-Made Hazards“ Auswirkungen von extremen Ereignissen auf kritische Infrastrukturen in Deutschland untersucht.

Um verschiedene Risiken vergleichen zu können, ist es essentiell, dass alle Schadensabschätzungen auf demselben Kostenansatz (z. B. Zeitwerte oder Wiederherstellungswerte) und Wertinventar basieren. Um dies zu gewährleisten, wurde ein einheitliches Inventar der potentiell gefährdeten Vermögenswerte entwickelt. Diese Festlegung impliziert, dass die verwendeten Schadenmodelle nur Schadensgrade berechnen, d. h. den Schaden als Prozentanteil des Gesamtwertes des geschädigten Objekts liefern. Der monetäre Schaden wird danach durch Multiplikation der Schadensgrade mit dem entsprechenden Vermögensbestand ermittelt.

Risikoaussagen entstehen durch die Berechnung von Schäden für mehrere Gefährdungsszenarien, denen jeweils eine Überschreitungswahrscheinlichkeit oder ein Wiederkehrintervall zugeordnet ist. Diese Risikokurve quantifiziert das Risiko über die gesamte Bandbreite von denkbaren Ereignissen. Aufgrund der Unsicherheit der Schadenabschätzung werden Risikoaussagen im Allgemeinen aggregiert (z. B. pro Gemeinde). Für Planungen und Risikobewertungen wird oftmals nicht die gesamte Risikokurve ausgewertet, sondern es wird stattdessen der Schadenerwartungswert $E(D)$ berechnet, der z. B. für Hochwasser folgendermaßen definiert werden kann (s. Merz & Thieken, 2004):

$$R = E\langle D \rangle = \int_{q_D}^{\infty} D(q)f(q)dq \quad (2)$$

wobei q den jährlichen maximalen Abfluss, $f(q)$ die kontinuierliche Verteilungsfunktion von q und $D(q)$ den zu erwartenden Schaden beschreibt. q_D ist der Abfluss, ab dem Hochwasserschäden auftreten. Wenn nur wenige Szenarien betrachtet werden, wird der Schadenerwartungswert folgendermaßen ermittelt:

$$R = E\langle D \rangle = \sum_{j=1}^{\infty} \Delta P_j D_j \quad (3)$$

wobei D_j und ΔP_j den mittleren Hochwasserschaden und das Wahrscheinlichkeitsinkrement für das j -te Intervall angeben

und m die Anzahl der Wahrscheinlichkeitsinkremente ist. Die Berechnung für andere Risiken erfolgt analog.

Extreme Ereignisse tragen aufgrund ihrer Seltenheit nur wenig zum Schadenerwartungswert bei (Merz & Thieken, 2004). Risikobewertungen, die nur auf dem Schadenerwartungswert basieren, tendieren demnach dazu, extreme Ereignisse zu vernachlässigen. Es wird daher empfohlen, die gesamte Risikokurve in die Bewertung einzubeziehen.

Datengrundlagen und Datenbereitstellung

Um die Vergleichbarkeit der Risikoanalysen zu gewährleisten, wurde eine gemeinsame Datenbasis erstellt. Diese besteht sowohl aus akquirierten Datensätzen als auch aus eigenen Berechnungen zu den Vermögenswerten. Die Bereitstellung der Daten erfolgt über einen internetbasierten Server, der im Nachfolgenden beschrieben wird.

CEDIM Data Center

Die Projektgruppe „Datenmanagement und GIS“ am Daten- und Rechenzentrum des GFZ Potsdam hat eine Informationsinfrastruktur für das CEDIM-Projekt „Risikokarte Deutschland“ aufgebaut. Diese stellt die Basis eines gemeinsamen Daten- und Informationsmanagements für die Erarbeitung einer katastrophengebührenden, integrierten digitalen Risikokarte Deutschland dar (Köhler et al., 2006).

Ein einheitlicher Datenbestand, der von allen Teilprojekten gleichermaßen verwendet wird, ist Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der abgeschätzten Risiken. Über das „CEDIM Data Center“, einen internetbasierten Geodatenserver, werden die Daten den am Projekt „Risikokarte Deutschland“ beteiligten Mitarbeitern zur Verfügung gestellt. Im Data Center besteht für die Wissenschaftler die Möglichkeit, Informationen über vorhandene Daten (Metadaten) einzusehen, Daten am Bildschirm zu visualisieren und deren Eignung für die jeweilige Aufgabe zu prüfen. Exportierte Datensätze können im lokalen GIS weiterverarbeitet werden.

Die vielfältigen Datenbestände wurden von diversen öffentlichen und privaten Datenanbietern akquiriert. Die Daten wurden über aufwändige Harmonisierungs- und Integrationsprozesse zusammengeführt und werden zentral verwaltet. Diese Datenbasis umfasst Geobasisdaten als grundlegende Referenz raumbezogener Sachverhalte und Beziehungen, relevante Fachdaten z. B. zur Landnutzung und statistische Daten (INFAS Geodaten, 2001) zur Demographie, Gebäudecharakteristik, Kaufkraft etc. Sie sind wesentliche Grundlage für die Arbeiten der einzelnen Teilprojekte (vgl. Abb. 1).

Abschätzung der Vermögenswerte von Wohngebäuden in Deutschland

Während Eingangsdaten und Methoden der Gefährdungs- und Vulnerabilitätsanalysen für die verschiede-

nen Naturgefahren variieren, muss für einen konsistenten Vergleich von Risiken eine einheitliche Datenbasis über die potenziell exponierten Werte verwendet werden. Um Vermögenswerte der Wohngebäude in ganz Deutschland zu ermitteln, wurde eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe gebildet. Diese entwickelte eine Methode zur Abschätzung der Wohngebäudewerte auf Basis von Normalherstellungskosten (NHK), INFAS-Geodaten zur Anzahl und Art der Gebäude pro Gemeinde und weiteren statistischen Daten, z. B. den Wohnflächen pro Landkreis.

In einem ersten Berechnungsschritt wurde für die Gebäude nach Angaben von INFAS die Wohnfläche pro Gebäudetyp und Gemeinde mit Hilfe von Daten des Bundesamtes für Bauswesen und Raumordnung (BBR, 2003) und des Statistischen Bundesamtes (2004) berechnet. In einem zweiten Schritt wurde die Wohnfläche pro INFAS-Gebäudetyp auf NHK-Gebäudetypen aufgeteilt. Danach wurden mit Hilfe der Normalherstellungskosten (BMVBW, 2001) und der Korrekturfaktoren pro Bundesland und Gemeindegroße monetäre Größen pro Gebäudetyp und Gemeinde ermittelt (s. Kleist et al., 2006).

Mit diesem Ansatz wurden Berechnungen für ganz Deutschland durchgeführt, d. h. pro Gemeinde liegt ein Wert für das Gesamtwohnvermögen und das Pro-Kopf-Wohnvermögen vor. Abb. 3 zeigt die geographische Verteilung des Pro-Kopf-Wohnvermögens in Deutschlands Gemeinden

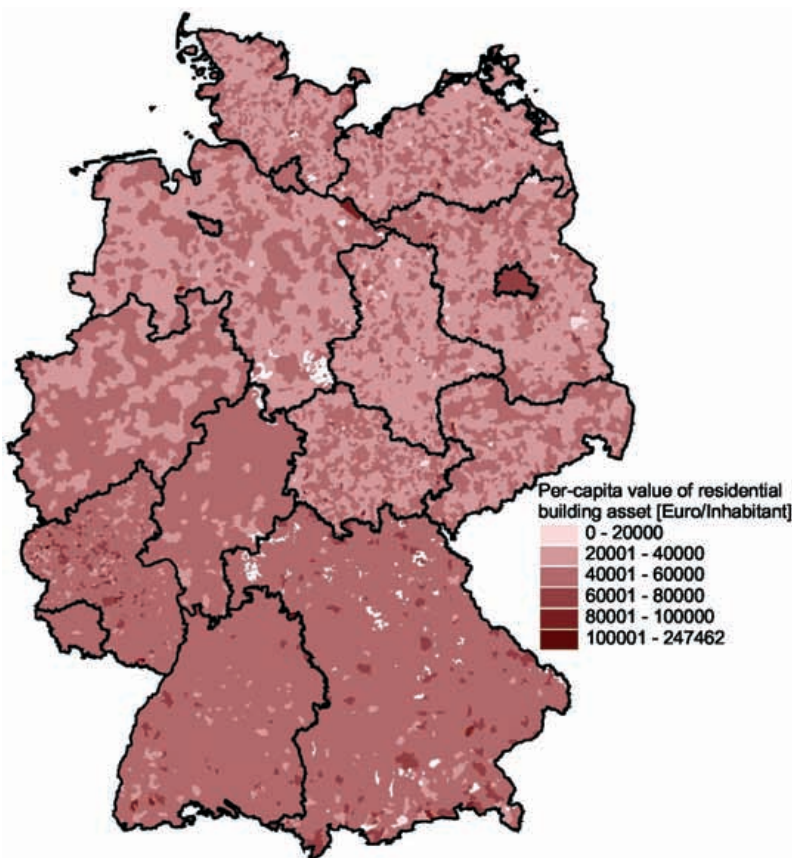


Abb. 3: Pro-Kopf-Wohnvermögen auf Gemeindeebene in Deutschland (Angabe in [€/Einwohner] für das Referenzjahr 2000).
Per-Capita Asset Value of residential buildings at the community level in Germany (Data are given in [€/Inhabitant] for the reference year 2000).

für das Referenzjahr 2000. Das mittlere Pro-Kopf-Wohnvermögen beträgt 42.820 €, wobei ein deutlicher Nord-Süd-Unterschied zu erkennen ist.

Da für die meisten Risikoanalysen Aussagen auf Gemeindeebene für eine Verschneidung mit Gefährdungsszenarien zu grob sind, wurde außerdem eine Disaggregation der Wohngebäudewerte innerhalb der Gemeindegrenzen auf Basis der CORINE-Landnutzungsdaten vorgenommen. Mit dem verwendeten Ansatz von Gallego (2001) kann die Bevölkerung pro Gemeinde wie folgt auf CORINE-Landnutzungselemente verteilt werden:

$$X_m = \sum_c S_{cm} Y_{cm} \quad (4)$$

$$Y_{cm} = U_c W_m \quad (5)$$

- X_m : Bevölkerung in Gemeinde m
- S_{cm} : Fläche der Landnutzungs Klasse c in Gemeinde m
- Y_{cm} : Bevölkerungsdichte in Landnutzungs Klasse c in Gemeinde m
- U_c : Quasi-Median der Bevölkerungsdichte in Landnutzungs Klasse c (iterativ ermittelt)
- W_m : Korrekturfaktor für Gemeinde m

Die Bevölkerungsdichte U_c wurde von Gallego (2001) für sechs Landnutzungs Klassen und drei verschiedene Gemeindetypen ermittelt. Für die korrekte Wiedergabe der Gesamtbevölkerung pro Gemeinde ist für jede Gemeinde der Korrekturfaktor W_m zu bestimmen.

Für die Disaggregation wurden Gemeindegrenzen und CORINE-Landnutzungs Klassen verschnitten. Jedem CORINE-Element wurde die entsprechende Bevölkerungsdichte Y_{cm} zugewiesen. Durch Multiplikation von Bevölkerungsdichte und der Fläche des Elementes konnte die Gesamtbevölkerung in diesem Element ermittelt werden. Das Wohnvermögen des Elementes wurde bestimmt, indem die Bevölkerung mit dem Pro-Kopf-Wohnvermögen der zugehörigen Gemeinde multipliziert wurde. Abschließend wurde ein spezifisches Wohnvermögen in [€/m²] berechnet, indem das Wohnvermögen des Elementes durch die Fläche des Elementes dividiert wurde. Die resultierende Karte kann schließlich mit Gefährdungsszenarien verschnitten werden, um exponierte Werte zu bestimmen.

Abb. 4 zeigt das auf Gemeindeebene aggregierte bzw. das mit den Landnutzungsdaten CORINE disaggregierte Einheitswohnvermögen [€/m²] in Deutschland. Durch die Disaggregation kann die räumliche Verteilung des Wohnvermögens besser dargestellt werden. Bei einer

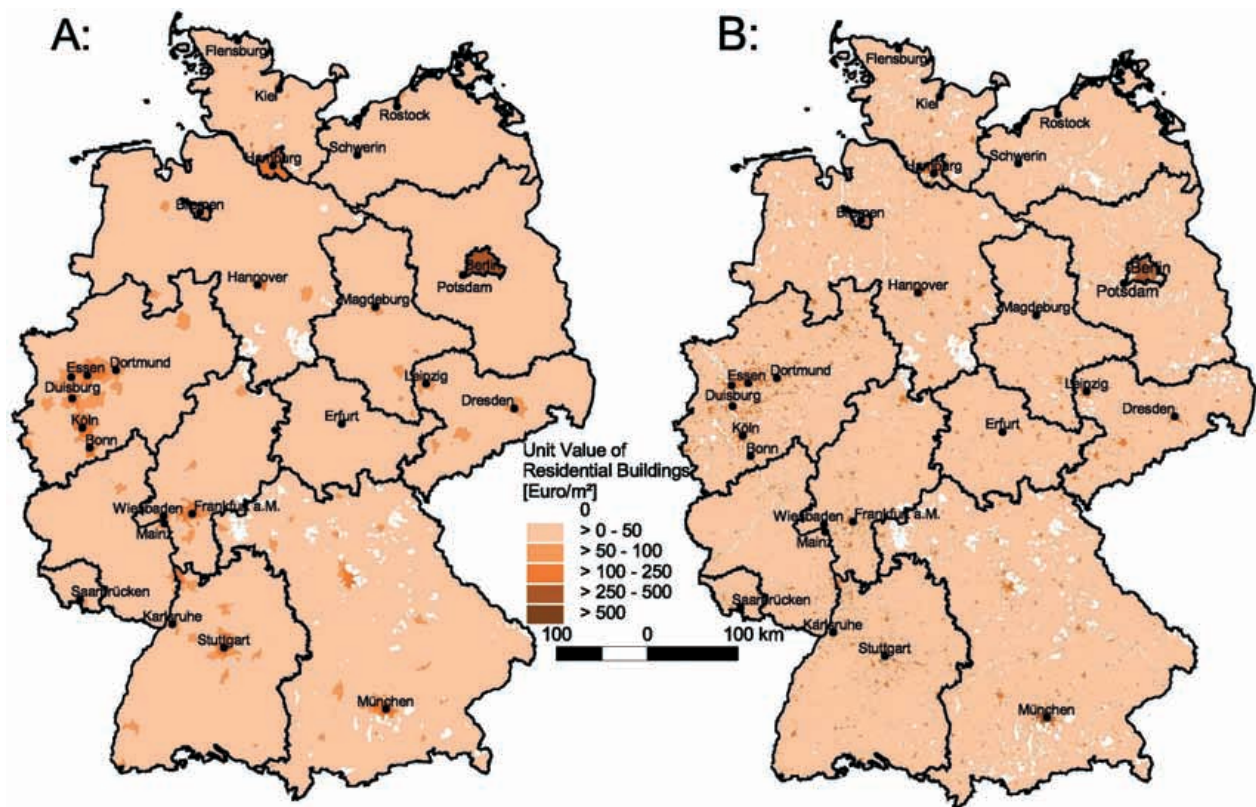


Abb. 4: **A:** Choroplethenkarte des auf Gemeindeebene aggregierten Einheitswohnvermögens in Deutschland **B:** Dasymetrische Karte des Wohnvermögens, d. h. mit Landnutzungsdaten disaggregiertes Einheitswohnvermögen. Die Werte sind in €/m² angegeben (Referenzjahr: 2000).

A: Choroplethic map of unit assets of residential buildings per community in Germany. **B:** Dasymetric map of unit assets of residential buildings by use of CORINE land cover data. Data are given in €/m² (Reference year: 2000).

Verschneidung mit Gefährdungsszenarien liefern die räumlich disaggregierten Werte genauere Ergebnisse (Thieken et al., 2006). Die Karten in Abb. 3 und Abb. 4 werden als Eingangsdaten für die Risikoanalyse der einzelnen Naturgefahren verwendet.

Risikoanalysen für verschiedene Naturgefahren

Risikoanalyse Erdbeben

Internationale Erfahrungen, einschließlich tragischer Lektionen aus den großen Erdbeben der jüngsten Vergangenheit zeigen, dass sich das seismische Risiko durch das weltweit zunehmende Wachstum von Ballungsräumen rapide erhöht. Adäquate Gegenmaßnahmen zur Risikominderung werden bisher nur in unzureichendem Ausmaß getroffen. Weitgehend unterschätzt wird das Erdbebenrisiko in Ländern mit niedriger und mittlerer seismischer Aktivität, da in Betracht zu ziehen ist, dass das Risiko nicht nur vom Gefährdungsgrad abhängig ist, sondern insbesondere auch von der Gesamtsumme der gefährdeten von Menschen geschaffenen Werte und ihrer Schadensanfälligkeit gegenüber seismischen Einwirkungen.

In seismisch gefährdeten Gebieten zu leben bedeutet, dass die seismische Gefährdung unabwendbar ist. Es ist unmöglich, diese Naturgefährdung zu vermindern. Die Bereitstellung von verlässlichen seismologischen und ingenieur-seismologischen Informationen für Planungs- und

Konstruktionszwecke als Ergebnis von Erdbebengefährdungseinschätzungen stellt einen wichtigen Faktor dar, der zur Leistungsfähigkeit von Risikomanagementprogrammen beiträgt. Zur Methodik von Erdbebengefährdungseinschätzungen hat sich in den letzten Jahren ein grundlegender Wandel vollzogen, angesichts dessen jegliche früheren Einschätzungen der Erdbebengefährdung einer dringenden Revision bedürfen.

Das Teilprojekt „Erdbebenrisiko“ setzt sich zusammen aus der Gruppe von Mitarbeitern der Sektion 5.3 des GeoForschungsZentrums Potsdam, die schwerpunktmäßig die Gefährdungsaspekte bearbeitet, und der Gruppe der Universität Karlsruhe (TH), die in ständigem Dialog mit der GFZ-Gruppe die Bau- und Schadensaspekte analysiert. Als gemeinsames Produkt beider Teams entsteht eine Erdbeben-Risikokarte für Deutschland.

Die Erdbebengefährdung wurde auf Basis der existierenden D-A-CH-Karte für eine Nicht-Überschreitungswahrscheinlichkeit von 90 % in 50 Jahren abgeleitet (Grünthal et al., 1998). Weiterhin wurden Vulnerabilitätsverteilungsmodelle für ausgewählte repräsentative Kommunen mit unterschiedlichen Einwohnerzahlen konstruiert. Dafür wurden Schadens-Wahrscheinlichkeits-Matrizen sowie Fragilitäts- und Vulnerabilitätskurven für unterschiedliche Gebäudetypen entsprechend der Vulnerabilitätsklassifikation der Europäischen Makroseismischen Skala EMS-98 erstellt (Grünthal, 1998) und auf die INFAS-

Daten zum Gebäudebestand angewendet. Diese Auswertungen lieferten die Basis für Schadenskurven für Kommunen unterschiedlicher Größe sowie für Abschätzungen von potentiellen Schadensverteilungen abhängig vom seismischen Input.

Mit diesem Ansatz wurden potentielle Schäden am existierenden Gebäudebestand von Kommunen in ganz Deutschland analysiert, und die räumliche Verteilung des Risikopotentials für das Gesamtgebiet Deutschlands wurde aus der Kombination von seismischer Gefährdung, Vulnerabilitäten des Gebäudebestands und den Werten der gefährdeten Gebäude grob abgeschätzt.

Die wichtigsten Ergebnisse und Karten des Teilprojektes „Erdbebenrisiko“ sind in Wahlström et al. (2004), Tyagunov et al. (2006) sowie im Teilbericht der Sektion 5.3 in diesem Berichtband ausführlich dargestellt.

Insgesamt wurde in diesem Projekt eine Methodik zur groben Abschätzung der Erdbebengefährdung sowie der seismischen Schäden entwickelt. Die gewonnenen Resultate zeigen die Anwendbarkeit des entwickelten Ansatzes hinsichtlich der Erdbebenrisikoanalyse im regionalen und nationalen Maßstab. Mit einigen Modifikationen kann die Methodik für die Schadens- und Verlustabschätzung für einzelne seismische Ereignisse und die Entwicklung von Erdbebenszenarien verwendet werden.

Auf der Grundlage der gesammelten Informationen über den Gebäudebestand der ausgewählten repräsentativen Kommunen wurden die Vulnerabilitätsstrukturmodelle für fünf Bevölkerungsklassen zusammengestellt. Es wird angenommen, dass diese Modelle repräsentativ und anwendbar auf alle Kommunen in erdbebengefährdeten Gebieten Deutschlands sind. Die Ergebnisse der Abstimmung zeigen, dass die Modelle zur groben Abschätzung der monetären Verluste bei zukünftigen Erdbeben verwendet werden können.

Aus den Arbeiten sind folgende Karten entstanden:

- Eine Karte des spezifischen Schadens (*mean damage ratio*) für den vorhandenen Gebäudebestand deutscher Kommunen wurde produziert.
- Eine Karte der Verteilung des Erdbebenrisikopotentials für das Territorium der Bundesrepublik Deutschland wurde als Kombination aus der Erdbebengefährdung und Vulnerabilität von Bauwerken sowie den Gebäudewerten erstellt.

Die erzielten Ergebnisse entsprechen dem betrachteten Erdbebengefährdungsniveau für eine Nichtüberschreitenswahrscheinlichkeit von 90 % in 50 Jahren. Die Karten stellen eine erste Näherung zur Abschätzung der Erdbebenrisikoverteilung in Deutschland dar.

Von Erdbeben betroffene Gebiete nehmen beträchtliche Teile Deutschlands ein. Die besonders von Erdbeben betroffenen Gebiete sind teils dicht besiedelt, industrialisiert und weisen eine hohe Konzentration an Infrastruktur auf mit

besonderer Herausforderung für künftige Katastrophenvorsorgemaßnahmen und Risikominderungsaktivitäten. Für Deutschland stellt sich das typische Problem, dass kleine Eintreffenswahrscheinlichkeiten potentiell schwerwiegende finanzielle Verluste hervorrufen. Dadurch sind Erdbeben-Risikoanalysen unentbehrlich für Planer, Versicherer und Entscheidungsträger zur Vorsorge bei möglichen künftigen seismischen Ereignissen größeren Ausmaßes, wie diese in der Historie mehrfach aufgetreten sind. Hinsichtlich der Karten und weiterer Details zur Erdbebenrisikokartierung Deutschlands sei auf die Berichterstattung der Sektion 5.3 in diesem Berichtband verwiesen.

Ermittlung des Sturmschadensrisikos für Wohngebäude in Deutschland und Erstellung einer hochaufgelösten Risikokarte

Winterstürme fordern in Deutschland Jahr für Jahr Tote und Verletzte und verursachen insbesondere an Wohngebäuden Schäden in mehrstelliger Millionenhöhe. Laut Versicherungswirtschaft stellt Sturm in unseren Breitengraden die teuerste Naturgefahr dar, und es muss in Hinblick auf den Klimawandel mit intensiveren und häufigeren Stürmen gerechnet werden.

Die Quantifizierung des Sturmschadensrisikos (Schadenserwartungswerte) ist für Vorsorge, Anpassungs- und Bewältigungsmaßnahmen unerlässlich. Im vorliegenden Vorhaben wird deshalb eine Sturmschadensrisikokarte für Wohngebäude für ganz Deutschland erstellt. Eine solche bundesweite Risikokartierung wurde bisher noch nicht durchgeführt und verlässliche Angaben über das Sturmrisiko in hoher räumlicher Auflösung fehlen gänzlich.

Das Projekt besteht aus zwei eng miteinander verzahnten Teilprojekten. Das Teilprojekt am Institut für Meteorologie und Klimaforschung (Universität Karlsruhe/Forschungszentrum Karlsruhe) befasst sich mit der Sturmgefährdung; am Laboratorium für Gebäude- und Umwelt-aerodynamik des Instituts für Hydromechanik (Universität Karlsruhe) werden die Berechnungen zur Vulnerabilität von Gebäudestrukturen und zum Sturmschadensrisiko durchgeführt.

Die Ziele des Projekts sind, ein Verfahren zur bundesweiten Abschätzung des Sturmschadensrisikos in hoher räumlicher Auflösung zu entwickeln, Sturmgefährdungskarten für beliebige Überschreitungswahrscheinlichkeiten mit einer Auflösung von 1 x 1 km² zu erstellen sowie die Schadensanfälligkeit von existierenden Wohngebäuden zu modellieren.

Im Projekt wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

Mit Hilfe von Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) wurden die stärksten Sturmereignisse der letzten 30 Jahre detektiert. Für die räumlich hoch aufgelöste Starkwindsimulation dieser Sturmereignisse wurde das numerische Modell KAMM (Karlsruher Atmosphärisches Mesoscaliges Modell) modifiziert. Die Anfangsfelder für das Modell wurden mittels eines Tools aus

ERA-40 Daten des ECMWF gewonnen. Mit extremwertstatistischen Methoden wurde dann an jedem Punkt des 1 km x 1 km Rasters eine Verteilungsfunktion (Gumbel) angepasst, mit der Aussagen über die Auftretenswahrscheinlichkeiten bestimmter Windgeschwindigkeiten an einem bestimmten Ort gemacht werden können.

Die Vulnerabilität von privaten Wohngebäuden wurde mit Schadensfunktionen abgeschätzt. Dazu wurde ein theoretisches Modell erstellt und mit Schadensdaten vergangener Sturmereignisse der SV-Gebäudeversicherung Baden-Württemberg kalibriert und validiert. Dieses Modell ermöglicht die Berechnung der Anzahl der betroffenen Gebäude und der Schadenshöhe innerhalb einer Gemeinde in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeiten und der Ortslage.

Die Verknüpfung von Sturmgefährdung, Vulnerabilität und betroffenen Werten resultiert in der Risikoabschätzung. Dazu wurden mit Hilfe von Monte-Carlo-Methoden für jede Gemeinde spezifische Schadens-Häufigkeitskurven (Risikokurven) erstellt. Es lassen sich für jährliche Überschreitenswahrscheinlichkeiten bis $p_{min} = 0,005$ (das entspricht einer mittleren Wiederkehrperiode von 200 Jahren) die zu erwartenden Schäden inklusive einer Angabe der Unsicherheiten ablesen.

Mit dieser Vorgehensweise konnten folgende Ergebnisse erzielt werden:

Die Starkwindgefährdungskarte für Baden-Württemberg (Abb. 5) veranschaulicht die stark von den orographischen Gegebenheiten geprägte Gefährdung im südwestdeutschen Raum. Diese führen zu großen räumlichen Unterschieden in der Auftretenswahrscheinlichkeit bestimmter Windgeschwindigkeiten. Windgeschwindigkeiten von 45 m/s, die am Feldberg in fast jedem Jahr auftreten, erwartet man in Freiburg nur alle 200 Jahre. Allgemein liegen die Werte in dem zu erwartenden Bereich. Während Geschwindigkeitsmaxima an Flanken, Kanten und Kuppen auftreten, befinden sich die Minima meist in kleinen und engen Tälern.

Das Schadensrisiko für bestimmte Gebiete innerhalb Baden-Württembergs ist in Abbildung 6 dargestellt. Die statistisch am stärksten betroffenen Gebiete liegen entlang des östlichen Schwarzwaldes und der nord-westlichen Schwäbischen Alb.

Des Weiteren wurden fiktive Sturmszenarien berechnet. Bei einem Sturmszenario mit 10 % höheren Windgeschwindigkeiten als beim Orkan „Lothar“ (26. 12. 1999) muss für Baden-Württemberg mit der dreifachen Schadenshöhe und der doppelten Anzahl der betroffenen Gebäude gerechnet werden.

Methodenentwicklung für eine verbesserte Hochwasserisikoabschätzung

Trotz der Tatsache, dass Hochwasserereignisse natürliche Erscheinungen sind, die schon immer aufgetreten sind und auch zukünftig immer wieder auftreten werden, ist in den

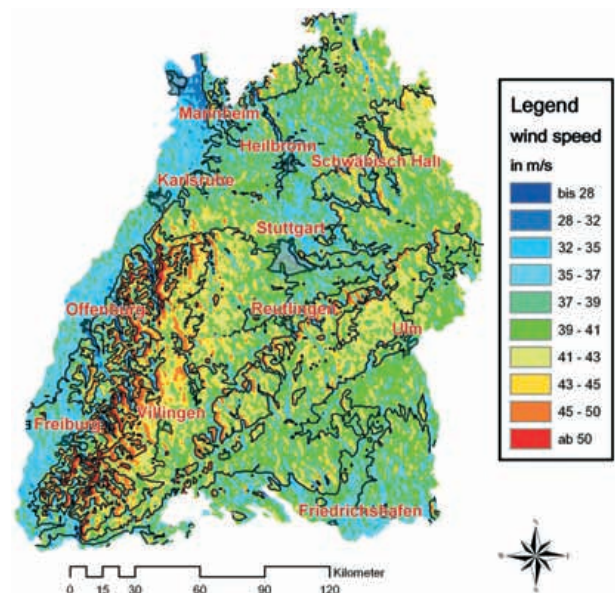


Abb. 5: Starkwindgefährdungskarte für Baden-Württemberg. Dargestellt ist die Böenwindgeschwindigkeit die mit einer jährlichen Wahrscheinlichkeit von 2 % erreicht oder überschritten wird.

Storm hazard map for Baden-Württemberg. The map shows the wind gust velocity which is equaled or exceeded with an annual probability of 2 %.

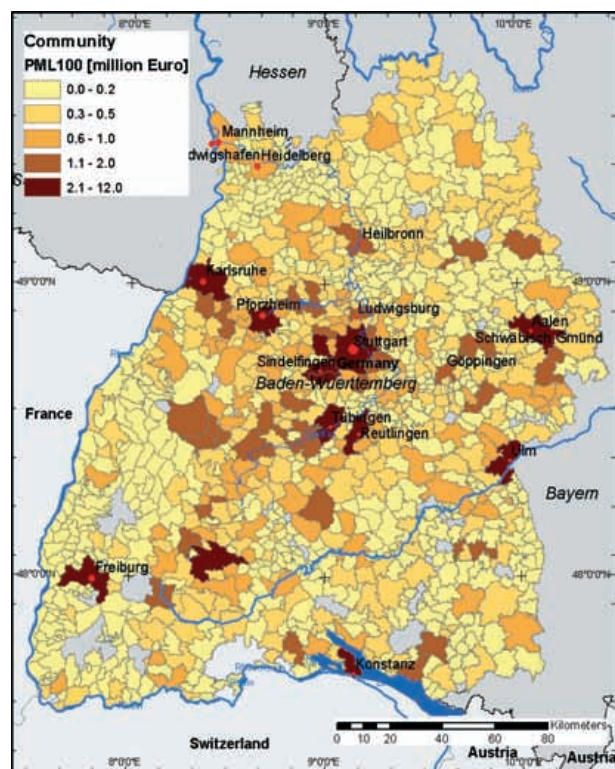


Abb. 6: Sturmschadensrisikokarte für Baden-Württemberg. Dargestellt ist der Schaden, der mit einer jährlichen Wahrscheinlichkeit von 1 % erreicht oder überschritten wird.

Storm damage risk map for Baden-Württemberg. The map shows the damage which is equaled or exceeded with an annual probability of 1 %.

letzten Jahrzehnten ein Anstieg der durch Hochwasser verursachten Schäden zu verzeichnen. Ein wesentlicher Faktor ist hierbei die Siedlungsentwicklung der letzten Jahre



Abb. 7a, b: Schäden an der Verkehrsinfrastruktur durch Hochwassereinwirkung (Bulgarien, Juli 2005, Fotos: A. Thieken, GFZ)

Damage to public infrastructure caused by a severe flood event (Bulgaria, July 2005)

und Jahrzehnte, die zu einem ständigen Wertezuwachs in gewässernahen Bereichen geführt hat. In Deutschland verursachten zum Beispiel die Rheinhochwasser der Jahre 1993 und 1995 insgesamt 810 Mio. €, das 1997er Oderhochwasser 330 Mio. €, das Pflingthochwasser 1999 an der Donau 412 Mio. € und das Auguthochwasser 2002 an der Elbe und Donau 11.800 Mio. € Schaden (Kron, 2004). Der Bedarf an verbesserten Methoden zur Einschätzung des Hochwasserrisikos und an räumlichen Daten, insbesondere an Gefahren- und Risikokarten, für die Verbesserung des Risikomanagements ist offensichtlich. Somit lag der Fokus des Teilprojektes „Hochwasserrisiko“ auf der Entwicklung verbesserter Methoden zur Gefahren- und Vulnerabilitätsabschätzung sowie der Hochwasserrisikokartierung. Die Methodenentwicklung und ihre Implementierung in operationelle Werkzeuge wurden in ausgewählten Testgebieten durchgeführt. Die entwickelten Methoden sind auf andere Flüsse übertragbar (Abb. 7a,b).

Entsprechend dem Konzept der Risikoanalyse (vgl. Abb. 2) wird der Bereich Hochwasser in den Teilprojekten „Hydrologie“, „Hydraulik“, „mikroskalige Schadenabschätzung“ (Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe) und „mesoskalige Schadenabschätzung“

(Sektion Ingenieurhydrologie am GeoForschungs-Zentrum Potsdam) bearbeitet.

In der Hydrologie wurde das Regionalisierungsmodell für Hochwasserabfluss-Kennwerte in Baden-Württemberg (LfU, 1999; 2001) für den Extrembereich, das heißt für Wiederkehrintervalle zwischen 200 und 10.000 Jahren, erweitert. Die Validierung erfolgte durch den Vergleich der berechneten Hochwasserabfluss-Kennwerte mit den Ergebnissen extremwertstatistischer Analysen an verfügbaren Pegelstellen und mit den Ergebnissen einer Niederschlags-Abflussmodellierung im Einzugsgebiet der Fils.

Im hydraulischen Teil des Projektes wurde als Referenzszenario für Extremereignisse das Hochwasser im Jahr 1824 am Neckar modelliert, und das Hochwassersimulationsmodell Neckar für Extremsituationen erweitert. Die Unsicherheiten in der Berechnung der Wasserstände und als Folge auch die Auswirkungen auf die berechneten Hochwasserschäden wurden analysiert.

Für die mikroskalige Schadenabschätzung wurde auf Basis des Hochwassersimulationsmodells für den Neckar eine spezifische Modellkomponente zur Schadenabschätzung

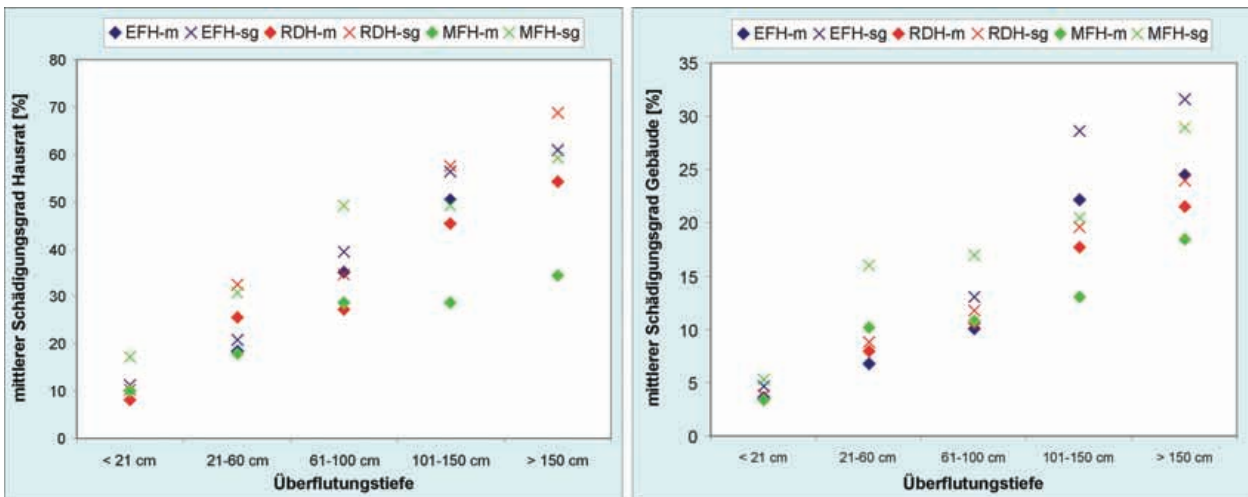


Abb. 8: Mittlere Schadensätze für Wohngebäude und Hausrat für verschiedene Teildatensätze
Mean damage ratios of buildings and contents for different sub-samples

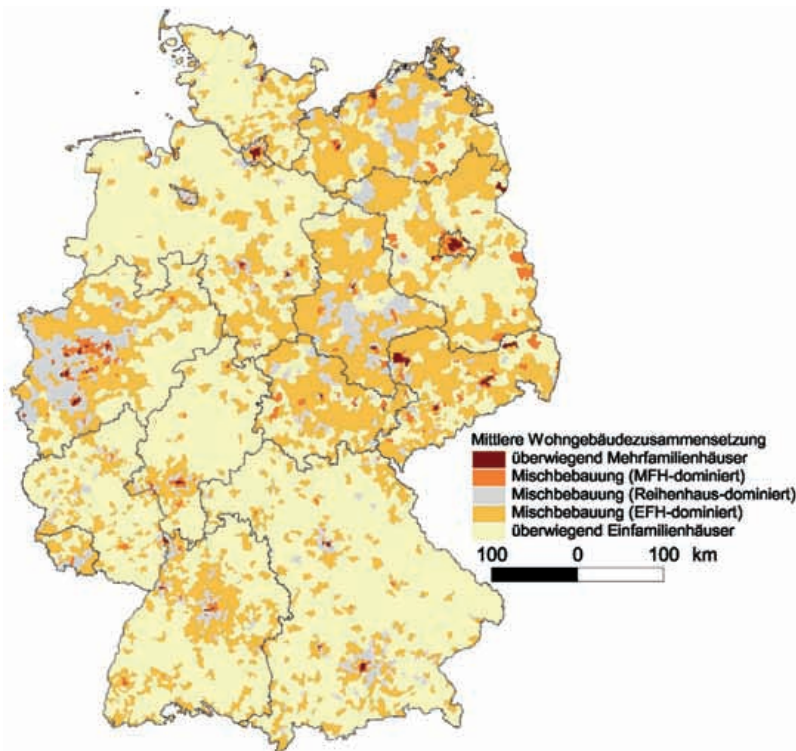


Abb. 9: Mittlere Wohngebäudezusammensetzung in Deutschland
Mean residential building structure in Germany

zung entwickelt, so dass ein praktisches, GIS-basiertes Tool zur Hochwasserschadenanalyse bereitgestellt werden konnte. Da Voruntersuchungen gezeigt hatten, dass die Variabilität in den Schadendaten und somit die Unsicherheit bei der Schadenabschätzung um so geringer wird, je mehr spezifizierende Einflussfaktoren berücksichtigt werden, wurde für die mesoskalige Schadenabschätzung ein multifaktorielles regelbasiertes Schadenabschätzungsmodell entwickelt.

Um die Zusammenhänge zwischen den Ereignisfaktoren und dem resultierenden Schaden besser zu verstehen, und daraus ein multifaktorielles Schadensmodell für private Haushalte zu entwickeln, wurden zunächst Schadendaten nach dem Hochwasser 2002 analysiert, die wichtigsten schadenbeeinflussenden Faktoren identifiziert und Indikatoren, z. B. für Hochwasservorsorge und Kontamination gebildet. Als wichtige Faktoren wurden der Wasserstand, der Gebäudetyp, die Gebäudequalität, Vorsorge und Kontamination identifiziert. Die 1697 Einzelschäden wurden zunächst in Teildatensätze eingeteilt, entsprechend den Faktoren Wasserstand (bis 20 cm, 21 bis 60 cm, 61 bis 100 cm, 101 bis 150 cm, über 150 cm), Gebäudetyp (Einfamilienhaus, Reihen-/Doppelhaus, Mehrfamilienhaus) und Gebäudequalität (mittel, sehr gut). Da nicht alle Teildatensätze für „sehr gute Gebäudequalität“ besetzt waren, wurden die statistischen Kenngrößen für die mittlere Gebäudequalität berechnet, und für die sehr

gute Gebäudequalität wurden durchschnittliche „Aufschläge“ (Skalierungsfaktoren) abgeschätzt (Abb. 8). Entsprechend wurden auch Zu- und Abschläge (Skalierungsfaktoren) für die Fälle „keine Kontamination – keine Vorsorge“, bis „keine Kontamination – sehr gute Vorsorge“ und „starke Kontamination – keine Vorsorge“ berechnet. Um diese auf einzelne Gebäude bezogenen Werte auf die Mesoskala zu übertragen, wurde die Wohngebäudestruktur mit Hilfe der INFAS-GEODaten (2001) analysiert und in fünf Typen unterteilt (Abb. 9). Für jede Kombination von Einflussfaktoren in den fünf Gebäudestrukturtypen werden mittlere Schadensätze berechnet, was die deutschlandweite Anwendung des Schadenmodells ermöglicht.

Zusammenführung der Ergebnisse im *CEDIM Risk Explorer*

Um alle Projektergebnisse einheitlich aufzubereiten und in einem System zu veröffentlichen, wurde ein Konzept für einen internetbasierten Kartenservice

erarbeitet. Dafür wurde zunächst die vorhandene Client-Server-Struktur des CEDIM Data Center (s. o.) genutzt und parallel zum bestehenden Geodatenservice ein neuer Kartenservice „CEDIM Risk Explorer“ aufgesetzt, der ebenfalls auf dem Internet Map Service ArcIMS von ESRI beruht (Abb. 10). Für den Kartenservice wurde eine der neuen Bestimmung angepasste grafische Oberfläche erzeugt. Außerdem wurden die Funktionalitäten angepasst und z. B. um eine Druckfunktion ergänzt.

Die in CEDIM erarbeiteten Karten werden im CEDIM Risk Explorer nach Gefahren-, Vulnerabilitäts- und Risikokarten sowie nach den Katastrophentypen eingeteilt.

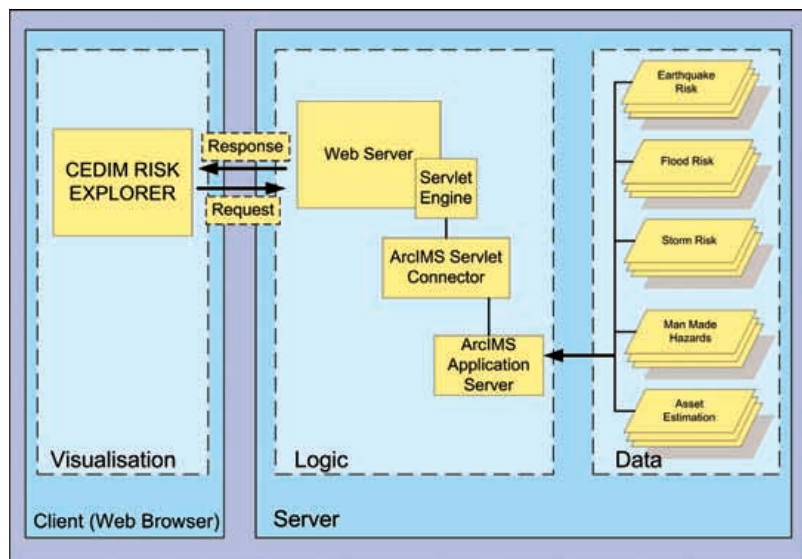


Abb. 10: Client-Server-Struktur des digitalen Risikoatlas (Prototyp)
Client-Server-Structure of the digital risk atlas (Prototype)

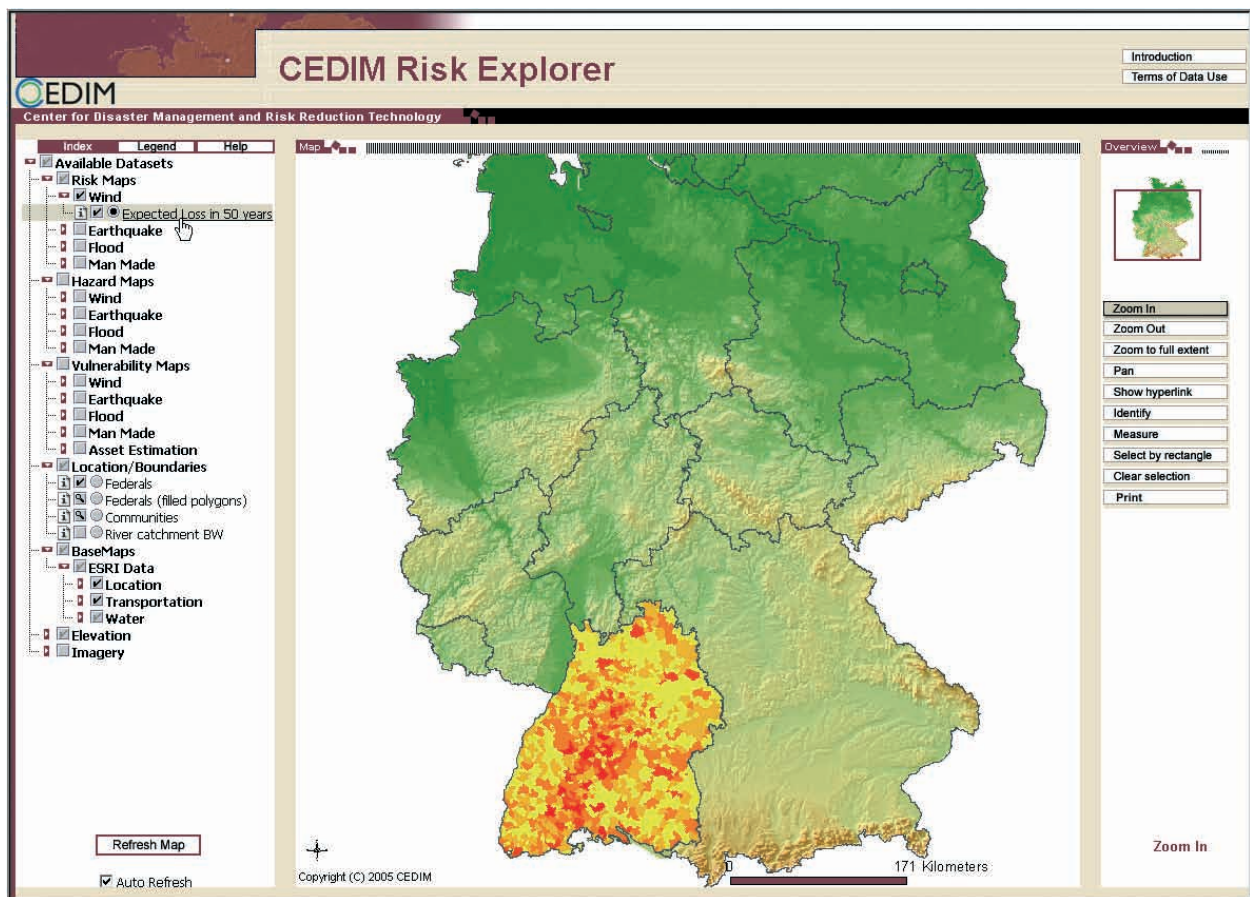


Abb. 11: Gestaltung des „CEDIM Risk Explorer“ Inhaltsverzeichnis, Kartenfenster, Werkzeugleiste
Layout of the CEDIM Risk Explorer – table of contents, map window, toolbar

Einzelne Karten können für die Visualisierung ausgewählt und miteinander kombiniert werden. Die Abb. 11 zeigt ein Beispiel. Durch das Software Tool „CEDIM Risk Explorer“ wurde ein nutzerorientiertes Werkzeug geschaffen, mit dem zukünftige Daten und Ergebnisse verschiedener CEDIM-Projekte konsequent aufgenommen und dargestellt werden können.

Ausblick

Im CEDIM-Projekt „Risikokarte Deutschland“ wurden neue Methoden zur großskaligen Abschätzung von Risiken durch die Naturgefahren Erdbeben, Sturm und Hochwasser entwickelt. Diese erlauben es, regionale Gefahren- und Risikokarten zu erstellen. Während die Arbeiten im Teilprojekt „Erdbebenrisiko“ weitgehend abgeschlossen sind, wird im Teilprojekt „Sturmrisiko“ das Verfahren, das für Baden-Württemberg entwickelt wurde, weiter vereinfacht, damit es auf ganz Deutschland angewendet werden kann. Für die Abschätzung des Hochwasserrisikos liegt ein mesoskaliges Schadenmodell vor, das es erlaubt, großräumige Schadenabschätzungen durchzuführen. Aufgrund der Komplexität der Prozesse und der erforderlichen Genauigkeit ist die Erstellung großräumiger Hochwasserszenarien eine zukünftige Aufgabe dieses Teilprojektes. Wenn für alle Naturgefahren großräumige Abschätzungen vorliegen, kann ein quantitativer Vergleich der drei Naturgefahren für Deutschland durchgeführt werden.

Literatur:

- BBR (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung): INKAR 2003 – Indikatoren und Karten zur Raumentwicklung 2003, CD-ROM, Bonn, 2003.
- BMVBW (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen): Normalherstellungskosten 2000 (NHK 2000), Berlin, 2001.
- Büchle, B., Kreibich, H., Kron, A., Thieken, A.H., Ihringer, J., Oberle, P., Merz, B., Nestmann, F.: Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. – Submitted to NHESS, 2006.
- CEDIM: Glossary: Terms and definitions in risk science. http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~gd202/www.cedim/english/seite_16.php, 2005.
- Crichton, D.: The Risk Triangle. In: Ingleton, J. (ed.): Natural Disaster Management. Tudor Rose, London, pp. 102-103, 1999.
- Gallego, J.: Using land cover information to map population density, Statistical Commission and Economic Commission for Europe. Conference of European Statisticians, Tallinn, Estonia, Working Paper No. 21, 1-10, 2001.
- Grünthal, G. (Editor): 1998, European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98), *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, Volume 15, 99 pp., Luxembourg.
- Grünthal, G., Mayer-Rosa, D. and Lenhardt, W. A.: 1998, Abschätzung der Erdbeengefährdung für die D-A-CH-Staaten – Deutschland, Österreich, Schweiz, *Bautechnik* 75, 10, 753-767.
- Grünthal, G., Thieken, A.H., Schwarz, J., Radtke, K., Smolka, A., Merz, B.: Comparative risk assessment for the city of Cologne, Germany – storms, floods, earthquakes. – *Natural Hazards*, 38(1-2): 21-44, DOI: DO00018598, 2006.
- Heneka, P., Hofherr, T., Ruck, B., Kottmeier, Ch : Development of a striom damage risk assessment method nad application to the German state of Baden-Württemberg. – Submitted to NHESS, 2006.
- INFAS GEOdaten GmbH: Das DataWherehouse, Bonn. Status: December 2001.

Kaplan, S., Garrick, B. J.: On the quantitative definition of risk, *Risk Analysis*, 1(1), 11-27, 1981.

Kleist L., Thieken A., Köhler P., Müller, M., Seifert I., Borst D., Werner U.: Estimation of the regional stock of residential buildings as a basis for comparative risk assessment for Germany, Submitted to NHESS, 2006.

Köhler, P., Müller, M., Sanders, M., Wächter, J.: Data management and GIS in CEDIM: From integrated spatial data to the mapping of risk. – Submitted to NHESS, 2006.

Kron, W.: Zunehmende Überschwemmungsschäden: Eine Gefahr für die Versicherungswirtschaft? ATV-DVWK: Bundestagung 15.-16.09.2004 in Würzburg, DCM, Meckenheim, 47-63, 2004.

LfU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg): Hochwasserabfluss-Wahrscheinlichkeiten in Baden-Württemberg. Oberirdische Gewässer/Gewässerökologie 54, Karlsruhe, 1999.

LfU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg): Hochwasserabfluss-Wahrscheinlichkeiten in Baden-Württemberg – CD. Oberirdische Gewässer/Gewässerökologie 69, Karlsruhe, 2001.

Merz, B., A.H. Thieken: Flood risk analysis: Concepts and challenges. – *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 56(3-4): 27-34, 2004.

Statistisches Bundesamt: GENESIS online. 3. Wohnen, Umwelt. <https://www.genesis.destatis.de>, Wiesbaden, 2003.

Thieken, A.H., M. Müller, L. Kleist, I. Seifert, D. Borst, U. Werner: Regionalisation of asset values for risk analyses. – Accepted at NHESS, 2006 (in press).

Tjagunov, S., G. Grünthal, R. Wahlström, L. Stempniewski, J. Zschau: Seismic risk mapping for Germany. – Submitted to NHESS, 2006.

Wahlström, R., S. Tjagunov, G. Grünthal, L. Stempniewski, J. Zschau, M. Müller (2004): Seismic risk analysis for Germany : Methodology and preliminary results. In : Malzahn, D. & T. Plapp (Hrsg.): *Disasters and Society – from Hazard Assessment to risk calculation*, Logos-Verlag, Berlin, S. 83-90.

