ImmoRisk

Risikoabschätzung der zukünftigen Klimafolgen in der Immobilien- und Wohnungswirtschaft

Ein Projekt des Forschungsprogramms ExWoSt des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) betreut vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR).

Forschungen

In der Schriftenreihe Forschungen veröffentlicht das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) ausgewählte Ergebnisse aus der Ressortforschung.

Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung

IMPRESSUM

Herausgeber
Bundesministerium für Verkehr,
Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Berlin
Referat SW 34
Krausenstraße 17-20
10117 Berlin

Wissenschaftliche Begleitung
Ute Birk (Leitung)
Tobias Held
Bundesinstitut für Bau-, Stadt-
und Raumforschung (BBSR), Bonn
Deichmanns Aue 31-37
53179 Bonn
ute.birk@bbr.bund.de
tobias.held@bbr.bund.de

Auftragnehmer
IRE|BS Kompetenzzentrum für Nachhaltigkeit
in der Immobilienwirtschaft, Universität
Regensburg (Auftragnehmer)
Prof. Dr. Sven Bienert (Leitung)
Jens Hirsch
Thomas Braun

Bezugsquelle
forschung.wohnen@bbr.bund.de
Stichwort: Forschungen Heft 159

Stand
April 2013

Druck
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn

Gestaltung
IRE|BS Kompetenzzentrum für Nachhaltigkeit
in der Immobilienwirtschaft, Universität Regensburg

Nachdruck und Vervielfältigung
Alle Rechte vorbehalten
Nachdruck nur mit genauer Quellenangabe gestattet.
Bitte senden Sie uns zwei Belegexemplare zu.

Die vom Auftragnehmer vertretene Auffassung ist nicht unbedingt mit der des Herausgebers identisch.

ISSN 1435 – 4659 (Schriftenreihe)
ISBN 978-3-87994-491-0

Forschungen Heft 159
Bonn 2013

Inhalt

Kurzfassung 7

Abstract 9

1 Projekteinordnung 11

1.1 Einordnung im Kontext von „ImmoKlima“ 14

1.2 Projektkonzeption 14

2 Risikobewertung von Klimafolgen 16

2.1 Risikobewertungsansätze in der Immobilien- und Wohnungswirtschaft 16

2.2 Klimarisiken, Immobilienschäden und die immobilienwirtschaftliche Risikomodellierung 18

3 Grundprinzip zur Abschätzung zukünftiger Klimarisiken 22

3.1 Gefährdung/Hazard 22

Klima heute und morgen 22

Extremwertstatistik 24

3.2 Gebäudevulnerabilität 25

Vulnerabilität 25

Schadensfunktionen 26

3.3 Wertermittlungsansätze im Zusammenhang mit Gebäudeschäden 28

Aggregierte Top-Down-Ansätze 28

Objektspezifische Bottom-Up-Ansätze 28

3.4 Risikoabschätzung als jährlich erwarteter Verlust 32

4 Umsetzung des Risikokonzepts 35

4.1 Funktionaler / mathematischer Zusammenhang 35

4.2 Umsetzung als Software („ImmoRisk-Werkzeug“) 35

Grundlegende Konzeption des Werkzeugs 35

Beschreibung der Dateneingabe des Nutzers 36

Ergebnisanzeige für den Nutzer – Risikosteckbrief 38

Auswertungen zum Portfolio 40

4.3 Verwendete Daten sowie Hintergrundinformationen (Hazard- und Schadensfunktionen) 41

Sturm 42

Hagel 44

Überschwemmungen 48

Hitze 55

Waldbrände 56

Starkniederschlag 58

Blitzschlag und Überspannung 58

5 Konzeption für eine deutschlandweite, flächendeckende Risikobewertung 60

5.1 Anknüpfungspunkte zum ImmoRisk-Werkzeug 60

Einführende Bemerkungen 60

Grundlegende Funktionalität 60

Datenverfügbarkeit 61

5.2 Spezifika einer flächendeckenden Identifikation von Naturrisiken 62

Heterogenität verfügbarer Daten 62

Technische Umsetzung 62

5.3 Naturrisiko-GIS im Dauerbetrieb 62

5.4 Dynamisierung der Datengrundlagen zur Gefährdung und Vulnerabilität 63

5.5 Weiterführende Fragestellungen 63

6 Schlussfolgerungen und Handlungserfordernisse 66

Abkürzungsverzeichnis 68

Literaturverzeichnis 69

Anhang 81

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Entwicklung der Anzahl der Naturkatastrophen in Deutschland von 1980-2011	11
Abbildung 2:	Entwicklung der Gesamtschäden infolge von Naturkatastrophen in Deutschland von 1980-2011 in Mrd. Euro	12
Abbildung 3:	Spannungsfeld zwischen Klimawandel und der Immobilien-/Wohnungswirtschaft	13
Abbildung 4:	Prognoseansätze unterschiedlicher Modelle	16
Abbildung 5:	Integrative Ermittlung des Risikos durch Naturgefahren mit Unsicherheiten auf allen Betrachtungsebenen	19
Abbildung 6:	Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Klima, Klimawandel und Extremereignissen am Beispiel von Sommertemperaturen	23
Abbildung 7:	Beispiel einer Extremwertstatistik für Windböengeschwindigkeiten in sieben deutschen Städten	25
Abbildung 8:	Beispiel einer Schadensfunktion, welche Intensität und Schaden miteinander in Beziehung setzt	27
Abbildung 9:	Schematischer Ablauf des Sachwertverfahrens	30
Abbildung 10:	Grundprinzipien zur Abschätzung zukünftiger Klimarisiken für Gebäude	33
Abbildung 11:	Schema des Werkzeugs zur Risikokalkulierung	36
Abbildung 12:	Eingabemaske zur Standortbestimmung	37
Abbildung 13:	Eingabemaske zu den baulichen Immobilienmerkmalen	38
Abbildung 14:	Risikosteckbrief „ImmoRisk“	39
Abbildung 15:	Tabellarische Portfolioansicht	40
Abbildung 16:	Kartographische Übersicht eines Standorts	40
Abbildung 17:	Entwicklung der Anzahl der Hageltage nach Schadensausmaß	45
Abbildung 18:	Reflektivität (in dBZ) mit einer Wiederkehrperiode von 10 Jahren	46
Abbildung 19:	Räumliche Verteilung der Hagelgefährdungsklassen	46
Abbildung 20:	Mittleres langjähriges Hochwasserschadensniveau	49
Abbildung 21:	Mittlere jährliche Hochwasserschäden pro Wiederkehrintervall (Referenzperiode und Projektionen)	49
Abbildung 22:	Schadenbeeinflussende Faktoren von Hochwasserschäden	51
Abbildung 23:	Überschwemmungsrelevante Schadenstypen an Gebäuden	53
Abbildung 24:	Schematische Darstellung der Fortpflanzung von Unschärfen bei Schadensabschätzungen	54
Abbildung 25:	Grundmodell von FLEMOps	55
Abbildung 26:	Jährliche Anzahl und Fläche von Waldbränden sowie Häufigkeit der Tage mit hoher und niedriger Waldbrandgefahr	57
Abbildung 27:	Veränderung der Häufigkeit von Tagen mit Waldbrandgefahrenstufe ≥4 während der Waldbrandsaison	58
Abbildung 28:	Mögliche Schadensverringerungen durch Maßnahmen	89
Abbildung 29:	Berechnung des jährlich zu erwartenden Schadens durch Hochwasser mit der Summenmethode, abgeleitet aus der Risikokurve	90
Abbildung 30:	Vergleich der Schadensfunktionen unterschiedlicher Gebäude mit oberem und unterem Grenzszenario	93
Abbildung 31:	Wind-Schadensfunktion mit kritischer Windgeschwindigkeit	94

Abbildung 32: Hagel-Schadensfunktionen 95
Abbildung 33: Versagenswahrscheinlichkeit einer Hochwasserschutzanlage (mit Unsicherheit) 96
Abbildung 34: Wasserstände und jeweilige Druckverteilungen an Gebäudeteilen 98
Abbildung 35: Schätzung des Zusammenhangs zwischen Wasserstand und Gesamtschaden mit Hilfe der Kern-Dichte-Schätzung 99
Abbildung 36: Einfluss von Kontaminationen auf die Schädigung 99
Abbildung 37: Schema des synthetischen Ansatzes zur Generierung von Schadensfunktionen 100

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Schäden infolge von Wetterkatastrophen in Deutschland 1980 – 2011 12
Tabelle 2: Unsicherheitsbereiche im Kontext Klimawandel und Immobilien 20
Tabelle 3: Verwundbarkeit von Gebäuden nach Bauweise und Baumaterial 28
Tabelle 4: Beispielberechnung NHK 2005 - Anwendung im Sachwertverfahren 31
Tabelle 5: Auszug NHK 2005 - Basis für Normalherstellungskosten 32
Tabelle 6: Übersicht der in einer Datenbank hinterlegten Informationen und benötigen Nutzereingaben im Werkzeug 35
Tabelle 7: Zusammenfassung der im Werkzeug verwendeten Daten 41
Tabelle 8: Größe des Hagels und typische Schadenswirkungen von Hagelkörnern 47
Tabelle 9: Landnutzungsspezifische Böen-Faktoren für 20-minütige mittlere Windgeschwindigkeiten 92
Tabelle 10: Koeffizienten der Schadensfunktion für Winterstürme in Baden-Württemberg 94
Tabelle 11: Skalierungsfaktoren der Schadensfunktion im Modell FLEMOps+ 99

Kurzfassung

Die wachsende Betroffenheit der Wohnungs- und Immobilienwirtschaft durch den Klimawandel und die damit einhergehenden Schadensereignisse haben bisher zu keiner hinreichenden Berücksichtigung im **immobilienwirtschaftlichen Risikomanagement** geführt. Insbesondere finden keine expliziten Risikoanalysen unter Zuhilfenahme „harter" **Klimadaten** statt.

In der Forschung wurde der Bereich der **Klimaanpassungsstrategien** bisher zugunsten von **Mitigationsmaßnahmen** vernachlässigt. Einerseits ist dies verständlich, da die Bau- und Immobilienwirtschaft für ca. 40 % der weltweiten Emissionen klimaschädigender Gase verantwortlich ist. Gleichzeitig nehmen aber die Anzahl und der monetäre Schaden durch Extremwetterereignisse bereits heute messbar zu. Trotzdem handelt die Branche bisher überwiegend reaktiv und bereitet sich kaum proaktiv auf die anstehenden Veränderungen vor. Externe Risiken, zu denen auch solche durch Naturgefahren gehören, werden bis dato in der Immobilienwirtschaft im Regelfall nur über klassische Eingangsparameter wie Mieten, Renditen oder Kosten berücksichtigt. Konkrete Ansätze beispielsweise zur Berücksichtigung von Extremwetterereignissen bei der Wertermittlung liegen nicht vor.

Ein wesentlicher Grund für die schleppende Umsetzung der Berücksichtigung des Klimawandels oder überhaupt von Klimadaten im Risikomanagement von Immobilien ist sicherlich die unzureichende **Verfügbarkeit** entsprechender valider aber auch verständlicher **Informationen**. Ziel des Projekts war es daher, erstmals die grundsätzlich vorhandenen Quellen für eine immobilienwirtschaftliche Anwendung verfügbar zu machen und ein **benutzerfreundliches Werkzeug** zunächst für 15 ausgewählte Standorte zu entwickeln, das Immobilieneigentümern immobilienspezifische, objektgenaue, quantitative und praxisbezogene Daten zum Naturrisiko an einem Standort liefert.

Auf Grundlage von Erkenntnissen des ExWoSt-Forschungsvorhabens „Immobilien- und wohnungswirtschaftliche Strategien und Potenziale zum Klimawandel" **(ImmoKlima)** sollte mit dem ImmoRisk-Werkzeug ein erster Schritt hin zur Abschätzung zukünftiger Klimarisiken erfolgen. Dabei sollte eine adäquate Berücksichtigung möglicher Kosten in Folge von Extremwetterereignissen in der Immobilienwirtschaft erreicht werden. Bisher existierende Ansätze zur Quantifizierung von Klimafolgen arbeiten in den meisten Fällen nicht auf **Objektebene**, bieten keine Aussagen über den **Klimawandel** oder berücksichtigen lediglich **einzelne Naturgefahren**. Die Entwicklung des ImmoRisk-Werkzeugs sollte daher dazu beitragen, diese Defizite zu überwinden und eine leistungsfähige Plattform bieten, die den Ansprüchen unterschiedlichster Akteure der Immobilien- und Wohnungswirtschaft gerecht wird. Die grundsätzlich für eine Risikoabschätzung notwendigen Informationen sind zwar teilweise bereits heute vorhanden, befinden sich aber nicht in einer Hand und sind auch nicht ohne eine vorhergehende Aufbereitung, die entsprechenden Sachverstand voraussetzt (z. B. komplexe Ergebnisse von Klimamodellen), in obigem Sinne nutzbar.

Um den Anforderungen an das ImmoRisk-Werkzeug gerecht zu werden, wurde daher ein **interdisziplinärer Ansatz** gewählt, der Informationen aus der Ingenieurswissenschaft, der Meteorologie, der Versicherungswirtschaft sowie der Immobilienwirtschaft sinnvoll verknüpft.

Das Werkzeug basiert auf einem dreigliedrigen Ansatz aus **Gefährdung, Vulnerabilität und Immobilienwert**, um mögliche Risiken zu quantifizieren. Deshalb wurden zunächst für jeden der **15 untersuchten Standorte** (darunter auch die Pilotstandorte ImmoKlima) brauchbare Daten zur **Gefährdungssituation** akquiriert. Neben dem Deutschen Wetterdienst (DWD) konnten diesbezüglich insbesondere das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sowie das Deutsche Geoforschungszentrum der Helmholtz-Gesellschaft in Potsdam (GFZ) hochwertige Daten aus komplexen Modellierungen liefern, die in die Programmierung des Werkzeugs einfließen konnten. Zur Abschätzung möglicher Schäden in Folge von Extremwetterereignissen bedarf es zusätzlich entsprechender **Schadensfunktionen**, die einen funktionalen Zusammenhang zwischen der Intensität einzelner Extremwettereignisse und dem dabei zu erwar-

tenden Schaden herstellen. Diese konnten über entsprechende Fachpublikationen sowie über die Zusammenarbeit mit der Versicherungswirtschaft akquiriert und nach entsprechender Aufbereitung in das Werkzeug integriert werden. Zusammen mit einem auf Normalherstellungskosten basierenden (Sach-)Wertverfahren erlaubt das Werkzeug nun die Berechnung des quantitativen Risikos durch extremwetterbedingte Gebäudeschäden (durch Sturm, Hagel sowie Hochwasser) innerhalb unterschiedlicher zukünftiger Zeitfenster.

Die Angabe der Ergebnisse des Werkzeugs erfolgt in Form eines **jährlich zu erwartenden Verlusts in Euro** (Annual Expected Loss, AEL), sowie als Schadensrate (Anteil des AEL am Gebäudewert), welche auch in der Versicherungswirtschaft Anwendung findet. Die Schadensrate bietet dem Nutzer des Werkzeugs einen leicht verständlichen Wert, der auch mit den Versicherungspolicen der Anbieter von Gebäudeversicherungen verglichen werden kann. Darüber hinaus erhält der Nutzer im sogenannten **Risikosteckbrief** Angaben zur Gefährdungssituation des jeweiligen Standorts durch Naturgefahren wie Starkniederschlagsereignisse, Waldbrand, Hitze sowie Blitzschlag und Überspannung.

Im Rahmen des Forschungsprojekts sollte darüber hinaus eine Konzeption zur Entwicklung eines deutschlandweiten, **flächendeckenden Geoinformationssystems (GIS)** zur Risikoabschätzung zukünftiger Klimafolgen erarbeitet werden. Ein solches Werkzeug könnte in beträchtlichem Maß auf den im Projekt ImmoRisk geschaffenen Grundlagen aufbauen. Das prinzipielle Vorgehen zur Risikobestimmung aus standortbedingter Gefährdung sowie gebäudespezifischer Vulnerabilität und Wert wird als adäquate Lösung vorgeschlagen. Die beiden Hauptherausforderungen auf dem Weg zum angestrebten flächendeckenden GIS sind die Datenakquisition zur Gefährdung sowie die technische Umsetzung, welche sich deutlich komplexer gestaltet als bei ImmoRisk mit einer kleinen Anzahl vorgegebener Standorte.

Die im Verlauf des Projekts gewonnen Erkenntnisse erlauben direkte **Rückschlüsse für den weiteren Forschungsbedarf** innerhalb der Disziplin des immobilienwirtschaftlichen Risikomanagements im Kontext von Naturgefahren. Insbesondere ist eine bessere Abstimmung zwischen meteorologischen Forschungseinrichtungen und den Bedürfnissen der Risikoforschung anzuraten.

Das ursprünglich als sehr experimentell eingestufte Projekt konnte die prinzipielle Machbarkeit eines komplexen flächendeckenden Naturrisiko-Informationssystems aufzeigen und klare Argumente für die weitere Erhöhung der Transparenz zukünftiger Klimarisiken (im Bereich der Naturgefahren) mit Bezug auf die Immobilienwirtschaft liefern. Im Zuge der momentan zu beobachtenden Forschungsintensität zum Klimawandel insbesondere zu Klimafolgen ist außerdem mit einer sich in Zukunft stetig verbessernden Datengrundlage für eine Ausweitung und Vertiefung des Systems zu rechnen. Eine Berücksichtigung zusätzlicher Gebäudetypen sowie der Korrelation zwischen einzelnen Extremwetterereignissen wären diesbezüglich in Erwägung zu ziehen.

Abstract

The growing concern of the housing and real estate industry regarding climate change and related loss events did not lead to sufficient consideration in **real estate risk management** up to now. In particular there are no explicit risk analysis tools supported by reliable and valid **climate data**. In research, the field of climate change **adaptation** strategies has been neglected in favor of **mitigation**. This is no wonder because the construction and real estate industry is responsible for about 40% of global emissions of greenhouse gases. However at the same time, the number and monetary damages caused by extreme weather events is already increasing considerably. Nevertheless, the industry is predominately reactive; no sincere proactive preparation for the upcoming changes is noticeable. External risks, including those arising from natural hazards are generally indirectly considered in the real estate industry in terms of classical input parameters such as rents, yields or costs. Existing approaches for example, to account explicitly in the valuation process for risk arising due to increasing extreme weather events, are not yet available.

One of the main reasons for the slow realization of the integration of climate change, or even of climate data in real estate risk management is certainly the lack of **public available,** valid as well as comprehensible **information**. The aim of the project was therefore to make the actual existing sources of information accessible for application in real estate research for the first time, and to develop a **user-friendly tool** (initially for 15 selected sites) that provides real estate owners with property-specific, object-precise, quantitative and practical data in terms of natural risk at one location.

Based on insights of the ExWoSt-research project "Real estate and housing industries' strategies and potentials on climate change" the **ImmoRisk-tool** should be a first step towards an estimation of future climate risks. This facilitates an adequate consideration of possible monetary losses resulting from extreme weather events. Existing approaches to quantify climate impacts work mostly not **object-precise**, provide no information about **climate change** and consider only **individual natural hazards**. The development of the ImmoRisk tool should help to overcome these shortcomings by providing a powerful platform that meets the demands of different players in the real estate economy. The information required for this kind of risk assessment does already partly exist, however it isn't concentrated at one institution and cannot be used without sophisticated editing (i.e. complex results from climate models).

To meet the prerequisites of the ImmoRisk tool, a multidisciplinary approach was chosen which links the information from engineering, meteorology, insurance business and real estate industry in a meaningful way.

The tool applies a three-part approach of **hazard, vulnerability and property value** in order to quantify potential future risks within different timeframes. Subsequently, data regarding **hazard** situations were acquired for each of the **15 sites** (thereunder the ImmoKlima pilot sites). Apart from the German Weather Service (DWD) particularly the Karlsruhe Institute of Technology (KIT) and the German Research Centre for Geosciences of the Helmholtz Association in Potsdam (GFZ) provided the required information. By using these sources, high-quality data from complex climate models could be integrated and further processed for the calculation derived by the developed program. To estimate the possible damage, caused by extreme weather events, **damage functions** are necessary in order to establish a correlation between the intensity of some extreme weather events and the possible resulting damage. These functions were obtained from relevant technical publications and cooperation with the insurance industry. After some preprocessing they could be integrated into the tool. Together with a cost based valuation approach using standard construction costs, the tool allows the calculation of the quantitative risk from extreme weather events (by storm, hail, flood, etc.) within different prospective periods. The results presented to the user are the **annual expected loss in Euro** (AEL) as well as a damage ratio (proportion of AEL on building value), which is also applied by the insurance sector. Additionally, the user will receive a **risk profile** of his specific property with information on the location's exposure to extreme weather events, forest fires, heat, lightning and voltage.

Furthermore, in the framework of the project it was to develop a conceptual design for a **Germany-wide comprehensive geographic information system (GIS)** for the identification of future climate impacts. This tool, which would be designed as a Geographic Information System (**GIS**) could be created on the basis of the results gathered by ImmoRisk. The basic procedure for determining risk from site-specific building-related hazard, vulnerability and value is proposed as an adequate solution. The two main challenges for a GIS are the data acquisition of hazard-data as well as its technical implementation, which is much more complex than with a small number of predetermined locations as in ImmoRisk.

The knowledge gained during the project allows direct **conclusions for further requirements of research** within the discipline of real estate risk management related to climate change. Particularly, a better **coordination** between meteorological research institutions and the needs of risk research is recommended.

Originally classified as a very experimental project, it has demonstrated the basic feasibility of a complex natural hazard information system and offers distinct reasoning for further advances in the transparency of future climate risks with regard to the real estate industry. As part of the currently observed intensity in the research on climate change a steadily improving data base for the broadening and deepening of the system can be expected in the near future. Further research according additional building types as well as the correlation between particular extreme weather events could be considered.

1 Projekteinordnung

Die Auswirkungen des Klimawandels sind heute in einer nie dagewesenen Deutlichkeit auf dem ganzen Globus zu beobachten. So löste sich 2010 ein 250 km² großer Teil des arktischen Petermann Gletschers, was dem größten Abbruch der arktischen Eisschicht seit 1962 gleichkommt. Seit 1980 hat sich die arktische Eisfläche von über 8 Mio. km² auf unter 5 Mio. km² reduziert. Im gleichen Zeitraum nahmen die jährlich von Waldbrand in Russland betroffenen Flächen von 750 T ha auf über 1.750 T ha p. a. zu.[1] 2010 gilt als wärmstes Jahr in Europa und weltweit seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Die Aufzählung alarmierender Signale ließe sich sowohl auf globaler als auch auf regionaler Ebene beliebig fortführen. Der sich abzeichnende Klimawandel drückt sich jedoch nicht nur in immer neuen Temperaturrekorden, sondern auch in einer Häufung von Extremwetterereignissen aus. Tatsächlich gehen aktuelle Studien davon aus, dass die Anzahl der Winterstürme und anderer Extremwetterereignisse in der Summe zunimmt.[2] Die *Münchener Rück* als eine der wesentlichen Rückversicherungen stellt fest, dass sich die wetterbedingten Naturkatastrophen in Deutschland von 1980 bis 2011 bereits mehr als verdoppelt haben (vgl. Abbildung 1)[3] Parallel zur Anzahl der Naturkatastrophen steigt auch der monetäre Gesamtschaden. Abbildung 2 zeigt, eine langfristige Zunahme der Schäden in Deutschland im Zeitraum von 1980 bis 2011 – auch wenn der Ausreißer „Oderflut“ 2002 unberücksichtigt bleibt. Die Immobilien- und Wohnungswirtschaft ist mit ihren über 700.000 Unternehmen und rund 3,8 Millionen Erwerbstätigen sowie einer Bruttowertschöpfung von ca. 400 Milliarden Euro jährlich einer der größten und dynamischsten Wirtschaftszweige in Deutschland.[4] Der Wert der Immobilien und Grundstücke in Deutschland beläuft sich auf ca. 9,5 Billionen Euro und entspricht somit dem ca. 3,5fachen des jährlichen Bruttoinlandsproduktes. Die Immobilien- und Wohnungswirtschaft stellt mit 87 % den größten Anteil am deutschen Anlagevermögen dar und ist damit ein wichtiger Wirtschaftszweig in Deutschland. Die **Extremwetterereignisse führen zu hohen Schäden an Immobilien**. Ihre langfristige Beobachtung ist für die Wohnungs- und Immobilienwirtschaft von hoher Relevanz insbesondere Veränderungen in der Häufigkeit und Intensität ihres Auftretens spielen dabei eine wichtige Rolle. Auch Versicherungsunternehmen reagieren bereits auf die Entwicklungen und versuchen die gesellschaftlichen Anstrengungen zum Klimaschutz und zur Anpassung voranzutreiben, um die Risiken des Klimawandels zu begrenzen, indem unter anderem enorme Investitionen in Technologien zur Reduzierungen des Treibhausgasausstoßes durchgeführt werden.[5]

(1) Münchener Rückversicherungs-gesellschaft, 2010, S. 33, S. 37

(2) Donat et al., 2011 / Naumann, 2010, S. 53

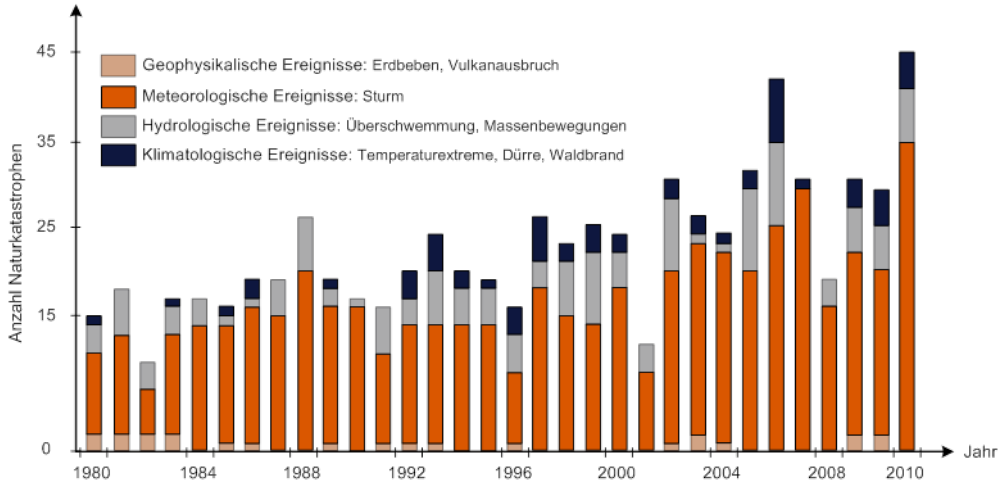
(3) Münchener Rückversicherungs-gesellschaft, 2012

(4) Gif, 2009

(5) Mills, 2012

Abbildung 1

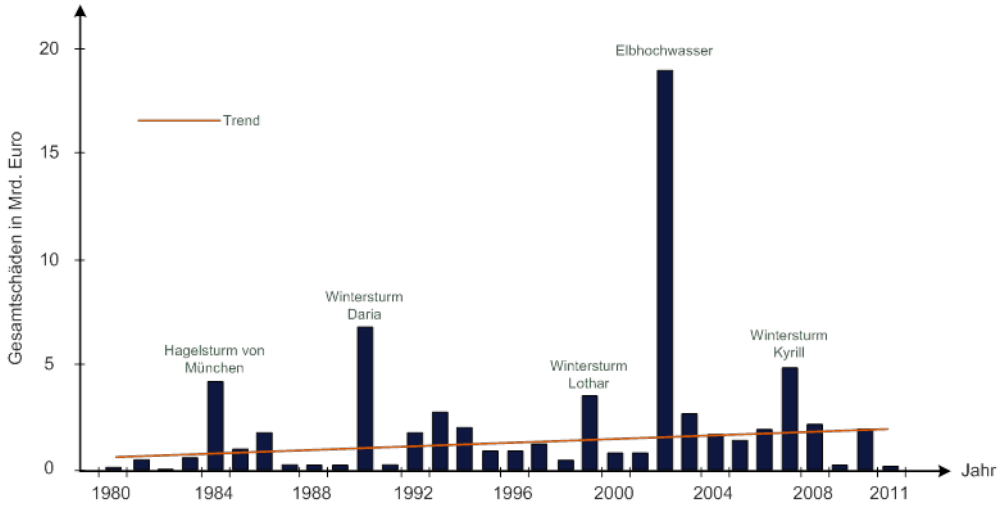
Entwicklung der Anzahl der Naturkatastrophen in Deutschland von 1980-2011



Quelle: Münchener Rückversicherungsgesellschaft, 2012

Abbildung 2

Entwicklung der Gesamtschäden infolge von Naturkatastrophen in Deutschland von 1980-2011 in Mrd. Euro



Quelle: Münchener Rückversicherungsgesellschaft, 2012

Umso relevanter wird auch für diese Branche ein vorausschauendes Handeln, um die Folgen des Klimawandels zu mildern. Zudem konstatiert der GDV in seinem Naturgefahrenreport 2012 mit Bezugnahme auf seine Klimastudie in Zusammenarbeit mit dem Potsdam–Institut für Klimafolgenforschung, dass die Kosten der Absicherung gegen Naturkatastrophen steigen werden. In Bezug auf die effektiv eintretenden Schädigungen (nicht nur) an Gebäuden lassen sich die einzelnen Extremwetterereignisse in Bezug auf ihre historischen Auswirkungen in Deutschland differenzieren. Die betrachteten Extremwetterereignisse Sturm und Hagel lösen ca. 65 % aller Schäden aus, wobei gleichzeitig in diesem Bereich mit rund 84 % versicherter Schäden eine relativ starke Versicherungsabdeckung besteht. Insgesamt sind 92 % der Immobilien in Deutschland laut Angaben des GDV gegen Sturm und Hagel versichert. Die Versicherungswirtschaft trennt zumeist nicht zwischen Hagel- und Sturmereignissen, da die Schäden zeitlich und nicht ursächlich registriert werden und Hagelereignisse häufig von Sturm begleitet werden.

Dies erschwert die separate Betrachtung. Bei den hydrologischen Ereignissen, bei denen Überschwemmungen den Großteil ausmachen, ist der Anteil der versicherten Verluste mit rund 12 % verhältnismäßig gering (vgl. Tabelle 1). Dies ist vor dem Hintergrund entsprechender Zonierungen und der damit verbundenen **Nicht-Versicherbarkeit einiger Standorte gegenüber Elementargefahren** zu verstehen. Da immer noch Flächen entlang von Flussläufen als Bauland ausgewiesen werden, wird diese Situation zunehmend verschärft. Die Immobilien- und Wohnungswirtschaft ist in hohem Maße von den negativen Folgen des Klimawandels betroffen.

Daneben ist sie **einer der Hauptverursacher des Klimawandels**. Der Gebäudesektor verursacht in Deutschland fast 35 % des Endenergieverbrauchs und ist für einen signifikanten Anteil der CO_2-Ausstöße verantwortlich.[6]

(6) BMWi, 2013

Tabelle 1

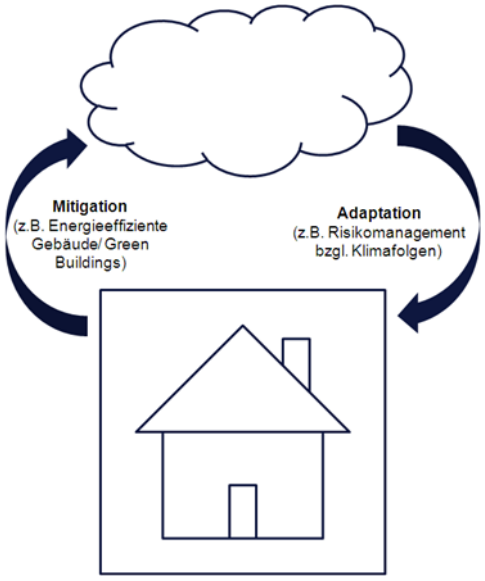
Schäden infolge von Wetterkatastrophen in Deutschland 1980 – 2011

Extremwetterereignisse	Gesamtschäden	Versicherte Schäden
Meteorologische Ereignisse (Sturm/ Hagel)	45,5 Mrd. Euro (65%)	24,4 Mrd. Euro (84%)
Hydrologische Ereignisse (Überschwemmung, Massenbewegung)	19,6 Mrd. Euro (28%)	3,5 Mrd. Euro (12%)
Klimatologische Ereignisse (Temperaturextreme, Dürre, Waldbrand)	4,9 Mrd. Euro (7%)	1,2 Mrd. Euro (4%)

Quelle: Münchener Rückversicherungsgesellschaft, 2012

Abbildung 3

Spannungsfeld zwischen Klimawandel und der Immobilien-/Wohnungswirtschaft



Quelle: Eigene Darstellung

Die bisherigen Strategien konzentrierten sich vor diesem Hintergrund zumeist auf die **Mitigation (Milderung)** des Klimawandels, bei der nachhaltige Lösungen und Maßnahmenpakete zur Steigerung der Energieeffizienz, der Energieeinsparung sowie des Einsatzes regenerativer Energien im Vordergrund stehen. Aus der Perspektive der Immobilienwirtschaft lag damit bisher der Fokus auf den Treibern des Klimawandels und den sich abzeichnenden Trends zur Entwicklung nachhaltiger Gebäude, um sich auf die Klimaänderungen einstellen zu können, bzw. diese durch die Begrenzung der Erderwärmung zu mildern.

Aufgrund des weltweiten Treibhausgasausstoßes ist der Klimawandel nicht mehr zu vermeiden. Deshalb gerät die Anpassung unserer (Infrastruktur-)Systeme an die zu erwartenden Klimafolgen zunehmend in den Fokus, insbesondere angesichts sich verschärfender Klimaveränderungen (vgl. Abbildung 3). Für die Immobilien- und Wohnungswirtschaft heißt das Identifikation und Bewertung der (negativen) Auswirkungen des Klimawandels auf Immobilieneigentümer sowie darauf aufbauend die Entwicklung von Strategien zur **Adaption (Anpassung)** an sich wandelnde klimatische Bedingungen bspw. durch bewusstes Risikomanagement, sich wandelndes Investitionsverhalten und entsprechend angepasstes Bauen.

Darüber hinaus sind jenseits des Klimawandels auch weitere Anpassungsmaßnahmen erforderlich, um die Schadensausmaße zu begrenzen (z. B. Reduktion der Siedlungsdichte, adäquater Materialeinsatz, keine Bebauung von Risikogebieten.[7] Der gegenwärtige Stand der Forschung und auch die Prognosen gehen davon aus, dass ca. 2/3 des beobachteten Anstiegs der von Naturkatastrophen verursachten Schäden durch die im Rahmen des Klimawandels gestiegene Gefährdung und nur ca. 1/3 durch einen Anstieg der Versicherungswerte bedingt ist.[8]

Die o. g. Auswirkungen des Klimawandels auf die Wohnungs- und Immobilienwirtschaft können sowohl positiv (z. B. höhere Sonnenscheindauer etc.) wie auch insbesondere negativ (z. B. Extremwetterereignisse wie Starkniederschlag, Hitzeperioden, Sturmereignisse und Hagelzüge) sein - abhängig von der jeweiligen Mikrolage (Standort und Exposition). Die Häufung von Extremwetterereignissen zählt zu den ausschließlich negativen Seiten des Klimawandels, stellen sie doch neben einer Gefahr für die Bewohner auch eine **Gefahr für die Bauwerke insgesamt sowie einzelne Gebäudeteile** dar, wodurch Investitionen bspw. durch **gestiegene Versicherungsprämien oder veränderte Bauweisen einer Verteuerung** unterliegen können, sich die Rendite auf das eingesetzte Kapital verschlechtert oder eine Einschränkung der Nutzbarkeit verursacht wird. Im Kern fehlt es den Akteuren der Wohnungs- und Immobilienwirtschaft an fundierten Informationen zur Risikoidentifizierung, -analyse und -bewertung von (zukünftigen) Klimafolgen, die sie in ihren Entscheidungen, wie der Objektauswahl oder der Projektentwicklung sowie dem Investitionsverhalten insgesamt unterstützen.

Das Projekt ImmoRisk füllt gezielt die Forschungslücke zur Quantifizierung gegenwärtiger und insbesondere zukünftiger Klimarisiken für die Immobilien- und Wohnungswirtschaft.

(7) Naumann, 2009, S. 228 / Münchener Rückversicherungs-gesellschaft, 2008, S. 4

(8) Schmidt, o. J., S. 3

Im Detail wurde folgenden Fragen nachgegangen:

- Wie ist der aktuelle Stand der Forschung in Bezug auf (heutige und künftige) Extremwetterereignisse in Deutschland? Welche quantitativen Daten können einer weiteren Verwendung zugänglich gemacht werden?
- Welche Extremwetterereignisse haben für Immobilien eine besondere Relevanz?
- Wie wirken Intensitäten einer bestimmten Naturgefahr und Immobilienqualitäten in Bezug auf ein bestimmtes Schadensmaß zusammen?
- Wie ist der Stand der Forschung in Bezug auf die Simulation der möglichen Veränderungen von zukünftig erwarteten Extremwetterereignissen?
- Wie wird das Risiko im Rahmen der Modelle integriert?
- Wie können Extremwetterereignisse und Schadensausmaße im Rahmen eines funktionalen Zusammenhanges modelliert werden?
- Wie kann ein Werkzeug für die Immobilien- und Wohnungswirtschaft aussehen, das die o. g. Aspekte aufgreift?
- Wie kann man ein bundesweites und flächendeckendes Geoinformationssystem konzipieren und umsetzen?

1.1 Einordnung im Kontext von „ImmoKlima“

Das Forschungsvorhaben „Risikoabschätzung der zukünftigen Klimafolgen in der Immobilien- und Wohnungswirtschaft“ (ImmoRisk) wird im Auftrag des Bundeministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Rahmen des Experimentellen Wohnungs- und Städtebaus durchgeführt. Es basiert auf Erkenntnissen im ExWoSt- Forschungsvorhaben „Immobilien- und wohnungswirtschaftliche Strategien und Potenziale zum Klimawandel“ (ImmoKlima). Der im Rahmen von ImmoRisk entwickelte Ansatz verfolgt dabei einen stärker quantitativ orientierten Ansatz, der konkrete Aussagen über das erwartete monetäre Risiko einer spezifischen Immobilie erlaubt und die Risikoermittlung durch Anwendung eines benutzerfreundlichen Werkzeugs ermöglicht. Eine Vernetzung mit den bisherigen Projekten wurde durch die Entwicklung des Werkzeuges für die Pilotstandorte sichergestellt.

Die Auseinandersetzung mit und die Beantwortung der o. g. Fragestellungen ist in hohem Maße für die Praxis relevant und erfordert eine Kooperation unterschiedlicher Disziplinen der Klimaforschung, der Versicherungswirtschaft und der Praxis der Immobilienwirtschaft. Erstmals wird in Deutschland der Stand der Klimaforschung mit den vorhandenen Schadensfunktionen von Versicherungen und Vulnerabilitätsexperten gebündelt und auf die Wohnungs- und Immobilienwirtschaft in Form einer objektgenauen Betrachtung und monetären Bewertung mehrerer Klimafolgen angewandt.

1.2 Projektkonzeption

Das Forschungsvorhaben ImmoRisk konzentriert sich auf die Risikoabschätzung der gegenwärtigen und zukünftigen Klimafolgen in der Immobilien- und Wohnungswirtschaft und kann vor diesem Hintergrund in drei inhaltliche Blöcke differenziert werden:

Block A: Identifikation und Verständnis der Grundlagen:

- Das Forschungsprojekt begann mit einer intensiven Recherche und Bewertung von Datengrundlagen in Bezug auf Extremwetterereignisse in Deutschland und deren zukünftige Entwicklung inkl. risikoanalytischer Methoden. Parallel wurden die bestehenden Datengrundlagen bzgl. Gebäudevulnerabilität für die einzelnen Klimafolgen sowie Aspekte der Immobilienbewertung evaluiert.

Block B: Reflektion der Klimafolgen auf die Immobilienwirtschaft:

- Aus den recherchierten Daten und Instrumenten galt es im zweiten inhaltlichen Block, ein Werkzeug zu entwickeln, das in der Lage ist, die (erwarteten) Extremwetterereignisse mit Schadensfunktionen zu verknüpfen, um eine Risikoabschätzung für einzelne Gebäude vorzunehmen. Dazu wurden Daten aus Klimamodellierungen und aus der Versicherungswirtschaft akquiriert,

um eine erste Version des Werkzeugs zu programmieren. Diese Version wurde schließlich mit Hilfe unterschiedlicher Praxistests überprüft und weiter optimiert.

Block C: Konzepterstellung für ein innovatives GIS Tool:

- Im dritten inhaltlichen Block wurde ein Konzept zur Entwicklung eines flächendeckenden Geo-Informationssystems für Klimarisiken in Deutschland erarbeitet. Es wird erwartet, dass dessen zukünftige Bedeutung für Investoren und Eigentümer angesichts des fortschreitenden Klimawandels deutlich steigt, da Bestandhalter in der Lage wären, ihr Investitionsverhalten unter Berücksichtigung von Klimarisiken zu gestalten.

Zusammenfassung

- Naturgefahren nehmen messbar zu. Extremwetterereignisse gehören zu den größten Gefahrenpotenzialen in diesem Kontext.
- Spezifisch sind auch für Deutschland wesentliche Klimaveränderungen und eine Zunahme der Extremwetterereignisse absehbar. Bereits heute verursachen die jährlichen Extremwetterereignisse hohe monetäre Schäden, die z. B. zu steigenden Versicherungsprämien führen können.
- Die Immobilienwirtschaft ist nicht nur in hohem Maße von den negativen Folgen dieser Naturgefahren betroffen, vielmehr können auch ca. 35 % der klimaschädigenden Treibhausgase ursächlich dieser Branche zugerechnet werden.
- Bisher verhält sich die Branche tendenziell reaktiv und bereitet sich nicht proaktiv auf die absehbaren klimatischen Veränderungen vor.
- Aufgrund mangelnder Transparenz und fehlendem Bewusstsein werden bei immobilienwirtschaftlichen Investitionsentscheidungen bisher unzureichend mögliche Folgen oder Gefahren durch die Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen in bestimmten Regionen berücksichtigt.
- ImmoRisk füllt hier eine Forschungslücke und ermöglicht die Quantifizierung von Schadenspotenzialen aus Extremwetterereignissen auf Objektebene.
- Das ExWoSt – Forschungsvorhaben „Risikoabschätzung der zukünftigen Klimafolgen in der Immobilien- und Wohnungswirtschaft“ (ImmoRisk) basiert auf Erkenntnissen aus dem ExWoSt-Forschungsvorhaben „Immobilien- und wohnungswirtschaftliche Strategien und Potenziale zum Klimawandel“ (ImmoKlima) und liefert den ersten Schritt zu einem praxis– und zielgruppengerechten Werkzeug für Immobilieneigentümer im Umgang mit zukünftigen Klimafolgen.

2 Risikobewertung von Klimafolgen

2.1 Risikobewertungsansätze in der Immobilien- und Wohnungswirtschaft

Ziel eines präskriptiven Entscheidungsprozesses ist es, optimale Handlungsempfehlungen zu ermitteln. Eine immobilienwirtschaftliche Investition wird heute getätigt während ihre Rückflüsse in der Zukunft liegen.[9]

Für die Identifizierung von möglichen Unsicherheiten ist es somit zunächst wichtig, Wechselwirkungen zwischen Rahmenbedingungen, Strukturmerkmalen und weiteren auf die konkrete Immobilie einwirkende Aspekte in Form von Kausalketten in einem **Erklärungsmodell** zu durchdringen,[10] da sich die Investitionsrisiken partiell aus dem Zusammenwirken der Eingangsparameter und deren Entstehung sowie der Entwicklung der breiteren Umgebung ergeben. So ist beispielsweise nicht klar, wie sich gegenwärtige Naturgefahren wie Überschwemmungsrisiken auf das Mietniveau in einem betroffenen Gebiet auswirken. Insbesondere latente Risiken, die noch nicht schlagend geworden sind, werden oft unterschätzt.[11]

Als Weiteres stellen die auf den Erklärungsmodellen aufbauenden **Prognosemodelle** (vgl. Abbildung 4) einen faktischen Problembereich dar. Nur bei weitreichender Kenntnis der künftigen Entwicklung von Rahmenbedingungen und Klimafolgen in der Zukunft lassen sich gehaltvolle Aussagen über die gegenwärtige Attraktivität bzw. Sinnhaftigkeit von Sicherungsmaßnahmen bzw. der Investition in konkrete Objekte ableiten.[12] Das Spektrum möglicher zukünftiger Zustände in Bezug auf Klimarisiken ist immens. Insbesondere bei weit in der Zukunft liegenden Prognosezeitpunkten sind eindeutige Vorhersagen äußerst schwierig.[13] Für weitere Informationen zu unterschiedlichen Prognosemodellen siehe Anhang.

Je fundierter die Informationsbasis, je tiefgreifender das Verständnis fundamentaler Wirkungszusammenhänge und je exakter die hierauf aufbauenden dezidierten Prognosemodelle, desto geringer ist die Unsicherheit[14] und desto wahrscheinlicher treten die zukünftigen Erwartungen effektiv ein.

Empirische Untersuchungen haben gezeigt, dass institutionelle Immobilieninvestoren häufig dennoch nur auf Grundlage einer eher statischen, jetztzeitbezogenen Wahrnehmung ihre Investitionsentscheidungen treffen.[15] Dieses deutet auf mangelhafte Kenntnisse oder unzureichendes Verständnis für die, eine Risikosituation offenlegenden Erklärungs- und Prognosemodelle hin. Eine unzureichende Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen geht allgemein mit signifikanten Risiken bei immobilienwirtschaftlichen Investitionsentscheidungen einher. Insbesondere die Implikationen des Klimawandels werden bis dato von den Entscheidungsträgern nur unzureichend bei ihren Überlegungen einbezogen.

(9) Schäfers et al., 1998, S. 14 / Maier, 1999, S. 140

(10) Pfnür/Armonat, 2001, S. 29 / Vogler, 1998, S. 275 / Maier, 1999, S. 114ff / White et al., 1999, S. 23ff / Shea-Joyce et al., 1996, S. 59

(11) RICS, 2009, S. 8ff

(12) White et al., 1999, S. 36

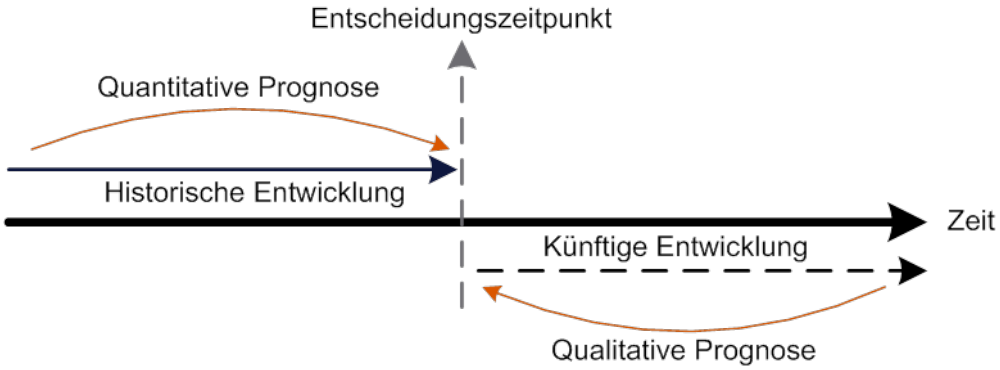
(13) Schoppe, 1991, S. 531

(14) Pfnür/Armonat, 2001, S. 58 / Pelligrino, 1997, S. 817 / Vogler, 1998, S. 277 / Maier, 1999, S. 20 / Orr, 1997, S. 158 / Wüstefeld, 2000, S. 120

(15) Pfnür/Armonat, 2001, S. 70 / Schäfers u.a., 1998, S. 4 / Pfnür/Armonat, 2001, S. 12/ Ropeter, 2000, S. 62, S. 204

Abbildung 4

Prognoseansätze unterschiedlicher Modelle



Quelle: Eigene Darstellung

Immobilienmärkte werden in diesem Kontext als schwach informationseffizient bezeichnet.[16] Die Entscheidung wird unter Unsicherheit in Bezug auf zukünftige Umweltzustände und somit unter mangelhafter Einschätzbarkeit der relevanten Entscheidungsparameter getroffen, weshalb Risikowirkungen einen integralen Bestandteil jeder privaten oder institutionellen Investitionsanalyse bilden müssen.[17]

Allgemein ausgedrückt, stellt Risiko das Abweichen betriebswirtschaftlicher Resultate von den Erwartungen der Entscheidungsträger dar[18]. Das Ausmaß des Risikos ist aus statistischer Sichtweise analog zur Streuung der beobachteten Größe, wobei Risiken, im Gegensatz zur landläufigen Verwendung des Begriffs, auch mit möglichen Chancen durch eine positive Abweichung von der Erwartung einhergehen können.

Trotz der Feststellung, dass Unsicherheiten Bestandteil jeder immobilienwirtschaftlichen Investition sind, halten in der Praxis nur etwa 1/3 aller institutionellen Immobilieninvestoren explizite Risikoanalysen für wichtig.[19] Im Rahmen von Entscheidungen für private Wohnungseigentümer können ähnliche Relationen angenommen werden. Eine grundsätzliche Risikoeliminierung ist im Kontext von Naturrisiken in den meisten Fällen entweder gar nicht möglich oder nur mit so erheblichem Kostenaufwand, dass keine Wirtschaftlichkeit mehr gegeben ist. Aufgabe der Risikobewertung ist es, aus den meteorologischen Aussagen über zukünftige Wetterextreme Konsequenzen für die Immobilienwirtschaft abzuleiten, die für das konkrete Handeln der Akteure verwendbar sind. Anforderungen, die an Verfahren der Risikobewertung zu stellen sind, betreffen in allgemeiner Form die Schaffung von mehr Risikotransparenz und eine Hilfestellung bei der Bewältigung eines konkreten Entscheidungsproblems.[20] In dezidierter Form lassen sich folgende **Grundanforderungen** konkretisieren wie

- Theoretische Fundierung,
- Operationalität,
- Messbarkeit/Vergleichbarkeit,
- Realitätsnähe/Verständlichkeit/Eindeutigkeit,
- Transparenzerhöhung oder
- Kostenaspekte.

Risikoanalyse setzt in der Immobilienwirtschaft bis dato immer bei den Eingangsparametern einer Investitionsrechnung oder Bewertung an. Dabei werden Mieten, Leerstände und potenzielle Verkaufserlöse untersucht. Die Bandbreiten möglicher Ausprägungen werden aufgrund von Erfahrungswerten der Vergangenheit, Expertenwissen o. A. hergeleitet. Ansätze, welche die Umweltzustände vorgelagerter Treiber explizit abbilden sind die Ausnahme.

Immobilienwirtschaftliche Entscheidungsprozesse setzen stets eine möglichst umfassende Kenntnis der wirtschaftlichen „Umweltzustände“ (im allgemeinen Sinn) einer Immobilie voraus. Aus wirtschaftlicher Sicht gehören zu diesen Umweltzuständen bspw. Inflationsraten, Mieten, Leerstandsquoten, Wirtschaftswachstum aber auch klimatische Rahmenbedingungen. Um begründbare Entscheidungen treffen zu können, sind Informationen über die Eintrittswahrscheinlichkeiten möglicher Umweltzustände nötig, deren konkrete Verteilung jedoch in vielen Fällen unbekannt ist und daher häufig als normalverteilt angenommen wird.

Für die hier betrachteten, schadensrelevanten Größen wie Pegel oder Windgeschwindigkeit existieren hingegen eigene Verteilungstypen (vgl. Kapitel 0). Weitere Informationen zur immobilienwirtschaftlichen Prognosebildung sind im Anhang zu finden.

Risikomaße auf Basis von Wahrscheinlichkeitsverteilungen halten nur 6% der von *Pfnür/Armonat* befragten deutschen Bestandhalter für geeignet. Aus diesem Grund werden objektnahe Kennzahlen und (einfache) Praktikerverfahren von den Investoren bevorzugt, die ohne Anwendung von Eintrittswahrscheinlichkeiten die Risikosituation modellieren und analysieren.[21] Fragen des gegenwärtigen Klimas und insb. des Klimawandels werden dabei bisher nur unzureichend betrachtet.

Klimatische Aspekte werden somit im Rahmen von immobilienwirtschaftlichen Investitionsentscheidungen bis dato nur im Rahmen von Versicherungen und allgemeinen Marktdaten berücksichtigt. Eine

(16) Maurer u.a., 2000, S. 12

(17) Pfnür/Armonat, 2001, S13, S. 16, S. 28 / Cofalka, 2000, S. 590 / Maier, 1999, S. 129f / Noss, Handelsblatt, 30.09.2000 / Kahle, 2001, S. 51, S. 115

(18) Hiernoymus/Kienzle, 1997, S. 646 / Cofalka, 2000, S. 590 / Vogler, 1998, S. 153f, S. 278ff / Wüstefeld, 2000, S. 63 / Schoppe, 1991, S. 532

(19) Pfnür/Armonat, 2001, S. 75f

(20) Ropeter, 2000, S. 208

(21) Pfnür/Armonat, 2001, S. 74f / Ropeter, 2000, S. 205

detaillierte Betrachtung der Risiken vor dem Hintergrund des Klimawandels erscheint deshalb wesentlich in der Immobilien- und Wohnungswirtschaft und stellt folglich eine Forschungslücke dar.

2.2 Klimarisiken, Immobilienschäden und die immobilienwirtschaftliche Risikomodellierung

Ein umfassendes Portfoliomanagement muss stets der Frage nachgehen, welche jährlichen Kosten für die Unterhaltung und Bewirtschaftung der Immobilie anfallen.[22] Die entsprechenden Überlegungen wären unvollständig, wenn darin nicht auch die **Kosten durch Naturrisiken** mitberücksichtigt würden. Aus immobilienwirtschaftlicher Sicht gehören die Naturrisiken zum sogenannten Leistungsrisiko, welches im Gegensatz zum Marktrisiko auf der Angebots- und nicht der Nachfrageseite besteht.[23]

Risikoanalysen hinsichtlich Naturgefahren sind nur punktuell für einzelne Regionen oder Städte umgesetzt worden, ohne den Versuch zu unternehmen, daraus einen holistischen Ansatz zu formulieren. Nur wenige Ausnahmen existieren in der Literatur wie die Undro Studie (1977) für Manila, der Katanos Bericht (1995) für die Schweiz, das australische Stadtprojekt Agso (1999) bzgl. Naturrisiken sowie Studien über Turrialba, Costa-Rica und Toronto (2002).[24] Neben der regionalen Punktualität der Studien wurden des Weiteren überwiegend Single-Hazard Untersuchungen, d.h. bezogen auf ein einzelnes Naturrisiko, umgesetzt. Eine Multi-Hazard Betrachtung, d.h. eine Berücksichtigung mehrerer Naturrisiken, findet in der Forschung selten Anwendung.[25] In diesem Zusammenhang jedoch ist eine australische Studie von *Blong* (2003) hervorzuheben, welcher den Schaden an Immobilien, verursacht durch mehrere Naturrisiken, in einem Multi-Hazard Ansatz modelliert hat. In Anbetracht der Einwirkung einer Vielzahl an Naturereignissen auf Gebäude erscheint dieser der zielführendere zu sein.[26] Der im Rahmen von ImmoRisk gewählte Ansatz versucht, die Forschungslücke in Bezug auf die Anwendung eines **holistischen** sowie **Multi-Hazard Ansatzes** zu schließen.

Hinsichtlich der **Chancen- und Risikorelation** kann der Klimawandel allgemein durchaus als zweidimensionales Risiko typisiert werden, bei dem neben der Gefährdung durch die Klimaänderung (Zunahme von Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen) auch positive Auswirkungen erwartet werden, bei der einige Regionen auch vom Klimawandel wirtschaftlich profitieren dürften (z. B. Ausweitung des Weinanbaus in nördlichere Breiten). Anders ausgedrückt besteht bei den zweidimensionalen Risiken die Möglichkeit sowohl einer negativen als auch einer positiven Zielverfehlung.[27] Die im ImmoRisk-Projekt untersuchten Risiken durch Extremwetterereignisse gelten (zumindest in der Immobilienbranche) als sogenannte eindimensionale Risiken, bei denen im Gegensatz zu den zweidimensionalen Risiken die Risikodimension gegenüber den möglichen Chancen klar dominiert.[28]

Folglich bezeichnet Risiko im Projektzusammenhang die Möglichkeit des Eintretens eines bestimmten zukünftigen monetären Verlustes.[29] Das Risiko wird demnach als zukünftig zu erwartender Verlust definiert (sog. **Erwarteter Verlust** oder ***Expected Loss*** *EL*). Da Eintrittswahrscheinlichkeit (im umweltwissenschaftlichen Sinne als reziproker Wert einer bestimmten Wiederkehrperiode zu verstehen) und Schadenshöhe unsichere Größen sind, ist eine **Abschätzung der Unsicherheit** unumgänglich.

Die Ableitung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen für das Eintreten spezifischer Extremwetterereignisse und die Herleitung valider Schadensfunktionen für die individuelle Betroffenheit sind somit eine zentrale Aufgabe der Risikoabschätzung von Klimafolgen. Dabei wird die Herleitung der Betroffenheit im Regelfall in relativen Anteilen (Prozent) (relative Schäden) eines Gesamtwertes (absolute Schäden) ausgedrückt.

Ein Risikomodell zu Extremwetterereignissen besteht somit aus zwei wesentlichen Untermodellen, der **Gefährdung** („**Hazard**“) und der **Vulnerabilität**.[30] Die Hazard-Funktionen werden von Klimaforschern für unterschiedlichste Fragestellungen und auf Grundlage diverser Modelle, Modellannahmen und Datengrundlagen hergeleitet. Klimaforscher haben hierbei im Regelfall keinen direkten Bezug zur Immobilienwirtschaft. **Schadens-**

(22) Sandvoß, 2004, S. 16

(23) Lechelt, 2001, S. 28

(24) Grünthal et al., S. 21

(25) Grünthal et al., S. 22

(26) Di Mauro et al., S. 1

(27) Lechelt, 2001, S. 3

(28) Sandvoß, 2004, S. 19

(29) Büchele, 2006, S. 485

(30) Heneka, 2006, S. 722 / Büchele, 2006, S. 493

funktionen werden hingegen im Regelfall bei Versicherungen aufbereitet. Diese stellen die Verbindung zwischen Intensität eines Ereignisses und der Schädigung des betrachteten Wertes dar.

Unter Experten herrscht Konsens darüber, dass sowohl Klimamodelle als auch alle anderen Eingangsparameter zur Herleitung von erwarteten Verlusten keine eindeutigen Lösungen oder Lösungsansätze darstellen.[31] Es wäre jedoch fahrlässig, aufgrund dessen Naturrisiken in den immobilien- und wohnungswirtschaftlichen Kalkülen außer Acht zu lassen.

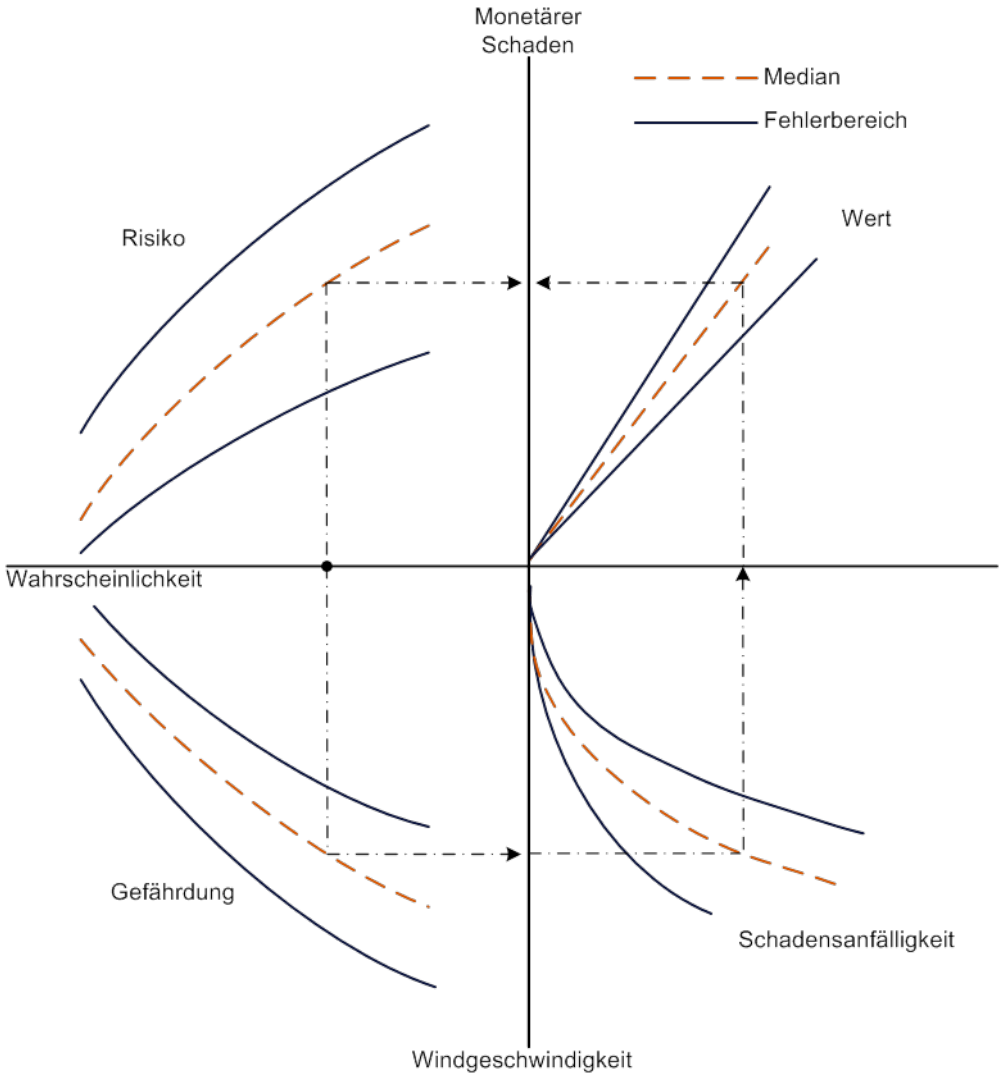
Unsicher und damit potenzieller Gegenstand einer weiterführenden risikoanalytischen Betrachtung im Sinne der Streuung um einen Erwartungswert sind im hohen Maße die **Projektionen des künftigen Klimas** und der damit einhergehenden Extremwetterereignisse. Darüber hinaus sind auch die Schadensfunktionen und auch die zugrunde gelegten Immobilienwerte selbst mit Unsicherheiten behaftet. Tabelle 2 verdeutlicht die drei Unsicherheitsbereiche im Kontext von Klimawandel und Immobilien.

Die **Unsicherheitsbereiche** sind dreiteilig und gliedern sich in Gefährdung, Vulnerabilität und Wert. Hinsichtlich der Gefährdung können grundsätzlich Werte historischer Ereignisse, aber auch modellierte Daten verwendet werden. Die zukünftige Entwicklung der Gefährdung hängt z. T. von den getroffenen Mitigationsmaßnahmen ab.

(31) Büchele, 2006, S. 486

Abbildung 5

Integrative Ermittlung des Risikos durch Naturgefahren mit Unsicherheiten auf allen Betrachtungsebenen



Quelle: In Anlehnung an www.cedim.de, eigene Darstellung

Der Zusammenhang zwischen der Gefährdung und dem daraus entstehenden Schaden (Schadensfunktion) kann anhand von empirischen Schadensereignissen oder ingenieurswissenschaftlichen Ansätzen prognostiziert werden.

Adaption an ein sich veränderndes Klima beeinflusst den Grad an Vulnerabilität. Normalherstellungskosten sowie Vergleichsdaten dienen zur Wertermittlung, welche eine Quantifizierung des erwarteten Verlustes ermöglichen.

Eine zentrale Herausforderung stellen im Rahmen von Klimamodellen die langen Prognosezeiträume von bis zu 100 Jahren dar. Immobilienwirtschaftliche Prognosen reichen hingegen meist nur bis zu 10 Jahre in die Zukunft. Des Weiteren ist die Komplexität des **Wirkungsgeflechts zwischen Atmosphäre, Hydrosphäre und dem anthropogenen Einfluss**, ein extrem hoher Unsicherheitsfaktor.

Da Risiken ein wesentliches Element von Klimaprognosen darstellen, gehen die von Klimaforschern eingesetzten risikoanalytischen Ansätze wesentlich weiter als die in der praktischen Anwendung immobilienwirtschaftlicher Investitionsentscheidungen gängigen Verfahren, die im vorherigen Abschnitt kurz skizziert wurden. Während in der Immobilienwirtschaft Simulationsmodelle wie Monte-Carlo und Mutationsanalysen nur in seltenen Fällen Anwendung finden, so kommen diese in der Klimaforschung regelmäßig zum Einsatz. Darüber hinaus kommen insbesondere bei der Abschätzung möglicher Gefährdungen **extremwertstatistische Analysen** zur Anwendung wie bspw. bei der Berechnung der Wiederkehrintervalle von Hochwasserereignissen bestimmter Ausmaße (z. B. 100-jährliches Hochwasser). Die Risikoabschätzung im Rahmen von ImmoRisk erfolgt durch eine integrative Bestimmung der monetären Immobilienschäden aus den genannten Unsicherheitsbereichen in Form einer Hazard-Funktion, Schadensfunktion sowie der Wertermittlungsfunktion (vgl. Abbildung 5).

Tabelle 2

Unsicherheitsbereiche im Kontext Klimawandel und Immobilien

	Gefährdung	Vulnerabilität	Wert
Datenbasis	Historische Ereignisse; Modellierte Daten	Empirische Schadensereignisse; Ingenieurswissenschaftliche Ansätze	Normalherstellungskosten; Vergleichsdaten
Prognose	Mitigation	Adaption	Erwarteter Verlust

Quelle: Eigene Darstellung

Zusammenfassung

- Risiko (ausgehend von Naturgefahren) wird hier als einseitige Gefahr verstanden und bezeichnet dabei das Eintreten eines bestimmten monetären Verlusts.
- Risikomanagement ist in der Immobilienwirtschaft nur in seinen Grundzügen in der praktischen Anwendung verankert (insbesondere bestehen vielfältige Ansätze die einfachen Sensitivitätsanalysen gleichen).
- Externe Risiken werden aus Sicht immobilienwirtschaftlicher Investitionen im Regelfall nur implizit über die klassischen Eingangsparameter wie Mieten, Renditen, Kosten etc. – und damit eher indirekt – verarbeitet. Die direkte und explizite Einbeziehung von Klimadaten im Rahmen von Immobilienbewertungen oder Investitionsentscheidungen wird nicht praktiziert.
- Faktisch existieren bisher kaum Ansätze in der Immobilien- und Wohnungswirtschaft, Aspekte wie die Wertveränderung infolge von Extremwetterereignissen direkt zu berücksichtigen.
- Erwartete (jährliche) Verluste als Risikomaß für die Immobilienwirtschaft leiten sich aus der Gefährdungsfunktion einzelner Extremwetterereignisse, der Schadensfunktion als Bindeglied zwischen Ereignisintensität und Objektqualitäten sowie dem individuellen Immobilienwert auf Basis von Herstellungskosten ab. Im Rahmen des Projektes wurde erstmals die Monetarisierung von Naturgefahren standort- und objektspezifisch demonstriert.
- Die Ableitung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen für den Eintritt bestimmter Extremwetterereignisse und die Herleitung valider Schadensfunktionen für die individuelle Betroffenheit sind somit eine zentrale Aufgabe der Risikoanalyse von Klimafolgen.

- Existierende Ansätze zur Quantifizierung von Klimafolgen berücksichtigen nur einzelne Naturrisiken oder arbeiten nicht auf Objektebene. Ansätze mittels Softwareunterstützung, die webbasierte Applikationen bieten, existieren bis dato ebenfalls nicht.

3 Grundprinzip zur Abschätzung zukünftiger Klimarisiken

3.1 Gefährdung/Hazard

Klima heute und morgen

Hintergrundinformationen

Um die Gefährdung von Immobilien durch Naturrisiken langfristig abzuschätzen, reicht es nicht, allein das heute herrschende Klima zu berücksichtigen, sondern es müssen auch die möglichen, wiederum räumlich differenzierten Veränderungen der Gefährdungslage im Zuge des Klimawandels in Augenschein genommen werden. Je nach Naturrisiko ergibt sich daraus ein eigenes Bild der gegenwärtigen und zukünftigen Bedrohung. Neben Regionen mit zukünftig erhöhtem Risiko, werden durchaus auch Gebiete existieren, in denen bestimmte Risiken tendenziell rückläufig sein können.

Eine Vorhersage der klimatischen Veränderungen gestaltet sich vor allem aufgrund der vielfältigen Einflussfaktoren schwierig. Viele Zusammenhänge sind bis dato in der Klimaforschung nur ansatzweise verstanden und die zukünftige Entwicklung der Einflussfaktoren selbst ist auch mit zum Teil großen Unsicherheiten behaftet. Die Klimageschichte unseres Planeten erlaubt allerdings Rückschlüsse auf einige der Wirkungsmechanismen, die unser Klima beeinflussen. Die möglichen Ursachen von Klimaänderungen sind dabei sowohl terrestrischen als auch extraterrestrischen Ursprungs.[32] Weitergehende Informationen zu den treibenden Kräften des Klimasystems befinden sich im Anhang.

Das gegenwärtige Klima befindet sich in einer deutlichen **Erwärmungsphase**, wobei es unter Klimatologen kaum noch Dissens darüber gibt, dass der Mensch, in erster Linie durch die Freisetzung von Treibhausgasen, zumindest für einen Teil der beobachteten Erwärmung verantwortlich ist. Der **anthropogene Einfluss auf das Klima** erschöpft sich nicht allein in der Emission von Treibhausgasen, sondern umfasst beispielsweise auch Änderungen der Landnutzung (insbesondere die Abholzung von Wäldern), die Freisetzung von Aerosolen oder die Erzeugung von Kondensstreifen durch Flugzeuge. Selbstverständlich wirken nicht alle menschlichen Aktivitäten in Richtung einer Erwärmung des globalen Klimas und ganz allgemein ist es schwierig, eine statistische Unterscheidung zwischen natürlichen Schwankungen und anthropogenen Einflüssen durchzuführen. Durch Vergleiche der gemessenen Klimaentwicklung mit den Ergebnissen von Simulationen, durchgeführt mit einer Vielzahl von Klimamodellen, zum einen mit und auch ohne menschliche Einflussfaktoren, konnte die „Hypothese, dass der in der 30-Jahresperiode (1965-1994) beobachtete Anstieg der oberflächennahen Lufttemperatur ein Teil der natürlichen Variabilität ist, mit einem Risiko von weniger als 5 % zurückgewiesen werden.“[33]

Gleichzeitig ist der **Faktor Mensch** auch ein großer Unsicherheitsfaktor in den Klimamodellierungen. Die zukünftigen Treibhausgasemissionen hängen nicht nur vom wirtschaftlichen Wachstum, sondern auch von politischen Entscheidungen und deren Umsetzung zur Emissionsvermeidung sowie vom technischen Fortschritt auf verschiedensten Gebieten ab. Eine Schlüsselrolle spielt dabei die Zukunft der Energieversorgung, aber auch die Weiterentwicklung und Anwendung von Technologien zur Speicherung von Treibhausgasen. Da all diese Faktoren einer großen Unsicherheit unterliegen, wird bei der **Klimamodellierung mit unterschiedlichen Szenarien** der zeitlichen Entwicklung der Emissionen gearbeitet. Die Szenarien schwanken üblicherweise zwischen den beiden Extremen eines business-as-usual-Szenarios mit global anhaltendem Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum bei einer gleichzeitig nur langsamen Umsetzung klimafreundlicher (Energieversorgungs-)Technologien und einem eher optimistischen Szenario, welches auf der Prognose eines verlangsamten Wachstums und einer beschleunigten Adaption entsprechender Technologien zur Minderung von Treibhausgasemissionen und allgemeiner Energieeffizienz aufbaut. Die meisten Klimamodellierungen basieren auf den offiziellen Emissionsszenarien des Ausschusses für Klimaänderungen der Vereinten Nationen IPCC.

(32) Schönwiese, 1995, S. 119

(33) Latif, 2009, S. 153

Klimamodelle

Bei der **Modellierung des zukünftigen Klimas** gilt es, die genannten Einflussfaktoren und Wechselwirkungen entsprechend ihrer **funktionalen Zusammenhänge** abzubilden, um möglichst valide Ergebnisse in Bezug auf die Entwicklung des Klimas während eines längeren Zeitraums zu erhalten. Ursprünglich getrennt entwickelt, werden dabei atmosphärische und ozeanische Zirkulationsmodelle mittlerweile gekoppelt, um realistischere Aussagen zu erhalten. Die Größen, welche für den Menschen üblicherweise von größerem Interesse sind, wie beispielsweise Temperatur und Niederschlag, sind dabei in den atmosphärischen Zirkulationsmodellen enthalten.

Zur Identifikation der wesentlichen Treiber des Klimawandels ist es zunächst sinnvoll, sich die **Globalen Klimamodelle** (GCM, engl. *global circulation models)* anzusehen. Die Modellierung der Atmosphäre erfolgt mit Hilfe sogenannter atmosphärischer Zirkulationsmodelle, welche auf grundlegenden, physikalischen Erhaltungssätzen sowie allgemeinen thermodynamischen Zusammenhängen basieren und die globale Entwicklung der atmosphärisch relevanten Größen in einem **dreidimensionalen Gitter** modellieren.[34] Häufig benutzte GCM sind HadCM3, HadAM3P, ECHAM4/OPYC3 sowie ECHAM5-OM1.[35] Zwar lassen sich aus diesen Modellen Aussagen über allgemeine klimatische Trends aufzeigen, für viele Anwendungsgebiete wie auch die Erforschung des Einflusses des Klimawandels auf die Gefährdung von Immobilien, ist die räumliche Auflösung von bestenfalls 50 km allerdings deutlich zu grob.[36]

Die Lösung dieses Problems erfolgt durch die Verwendung sogenannter **Regionaler Klimamodelle** (RCM, eng. *regional climate models*), welche in den letzten Jahren aufbauend auf den Erfahrungen mit globalen Modellen entwickelt wurden. Diese RCMs umfassen üblicherweise Gebiete subkontinentalen Ausmaßes und erlauben deutlich feinere räumliche Auflösungen bis zu 10 km. Die Entwicklung dieser Modelle wird insbesondere aufgrund der Erkenntnis weiter vorangetrieben, dass die Auswirkungen des Klimawandels, zum Beispiel hinsichtlich der Niederschlagsverteilung, regional stark voneinander abweichen können.[37] Detaillierte Informationen zur Funktionsweise der RCM befinden sich im Anhang.

Für Deutschland liegen Ergebnisse aus vier unterschiedlichen Regionalmodellen vor, davon zwei dynamische und zwei statistische (vgl. Anhang).

- Statistische Modelle: STAR 2, WETTREG
- Dynamische Modelle: CLM, REMO

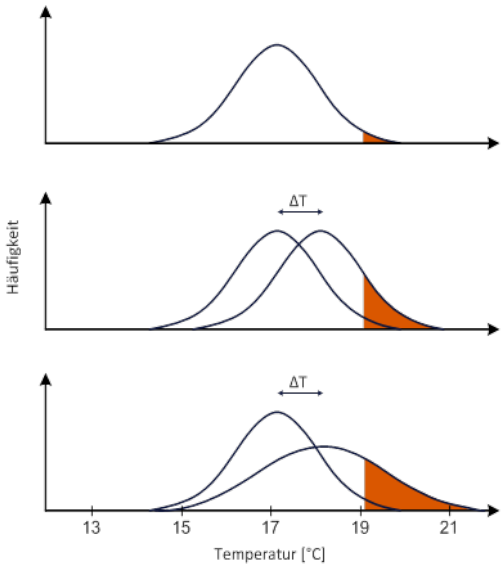
Insbesondere für die Hochwassergefahr reicht es jedoch nicht aus, einfache klimatologischen Daten zu benutzen. Vielmehr sind dazu komplexe Modelle notwendig, welche die räumliche und zeitliche Niederschlagsverteilung mit Hilfe hydrologischer Modelle und digitaler Geländemodelle in entsprechende Statistiken über lokale Wassertiefen abbilden.

Einfluss klimatischer Änderungen auf die Gefährdung von Immobilien

Unter dem Gesichtspunkt klimatischer Extremereignisse und der mit ihnen verbundenen Gefahren für Immobilien, stellen die prognostizierten klimatischen Veränderungen die Akteure der Immobilien- und Wohnungswirtschaft vor eine völlig veränderte Risikosituation.

Abbildung 6

Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Klima, Klimawandel und Extremereignissen am Beispiel von Sommertemperaturen



Quelle: Latif, 2009, S. 113

(34) Latif, 2009, S. 121

(35) Leckebusch et al., 2007, S. 5

(36) Heneka, 2006, S. 722

(37) Gerstengrabe, 2007, S. 209

Abbildung 6 zeigt den Zusammenhang zwischen Veränderungen der Verteilung eines Ereignisses und den Konsequenzen für das Auftreten von Extremereignissen. Zunächst basiert die Häufigkeitsverteilung der Sommertemperaturen, wie in der Definition von Klima festgelegt, auf langjährigen Messreihen einer Referenzperiode. Als besonders extreme Sommer gelten in dieser schematischen Darstellung der Zusammenhänge die obersten 2% der Verteilung (schraffierter Bereich unter der Kurve). Die beiden Kurven darunter zeigen die enorme Häufung von Ereignissen, die den dadurch definierten Schwellenwert überschreiten, wenn sich die mittlere Temperatur um ein Grad erhöht bzw. zusätzlich zu dieser Erwärmung noch eine größere Variabilität (50 % Zunahme der Standardabweichung) eintritt. Es zeigt sich also, dass bereits geringe Änderungen der statistischen Verteilungsparameter einer Naturgefahr für die Immobilienbestände in einer Region dramatische Konsequenzen haben können, da insbesondere die schadensrelevanten Extremereignisse zum Teil deutlich häufiger auftreten können.

Extremwertstatistik

Begriffseingrenzung

Um verlässliche Abschätzungen eines bestimmten Risikos treffen zu können, ist zu allererst Wissen über die Auslöser dieses Risikos nötig. Hierzu werden regelmäßig statistische Daten über die Häufigkeit des Eintretens bestimmter, das Risiko bedingender Ereignisse auf Basis von beobachteten Zeitreihen herangezogen. Um begriffliche Klarheit sicherzustellen, schlagen Kaplan und Garrick[38] vor, mit **Gefahr** bzw. **Hazard** die möglichen Auslöser eines Schadens zu bezeichnen, während sich der Begriff **Risiko** auf die Wahrscheinlichkeit, dass tatsächlich ein Schaden auftritt, bezieht. Das immobilienspezifische Risiko ist in diesem Sinne eine Funktion der Gefahren unter Berücksichtigung der Sicherungsmaßnahmen bzw. der Vulnerabilität eines bestimmten Gebäudes (vgl. Kapitel 3.4). In Bezug auf die Gefährdung durch einzelne Extremwetterereignisse ist es das Ziel, jeweils die Eintrittswahrscheinlichkeiten einer bestimmten Intensität des betrachteten Extremwetterereignisses innerhalb eines bestimmten Zeitraumes (im Regelfall ein Jahr) zu prognostizieren.

Ableitung der Hazard-Funktion

Die mathematisch-statistische Funktion, welche beschreibt, wie häufig mit welchen Gefahren zu rechnen ist, wird als **Hazard-Funktion** bezeichnet. Oft wird auch die Wahrscheinlichkeit betrachtet, dass ein bestimmter Grenzwert innerhalb eines Jahres überschritten wird.[39]

Dabei bedeutet eine Eintrittswahrscheinlichkeit von 1 % bspw. eine erwartete Wiederkehr des Extremwetterereignisses alle 100 Jahre.[40] Ein hundertjähriges Ereignis bedeutet, dass bei langen Zeitreihen bisher ein Eintritt nur durchschnittlich alle 100-Jahre (Wiederkehrintervall) zu erwarten war.[41] Die Hazard-Funktion gibt also an, mit welcher **Wiederkehrwahrscheinlichkeit** bestimmte Naturereignisse auftreten, beispielsweise dass ein gegebenes Hochwasserereignis im Mittel alle einhundert Jahre auftritt (sog. Hundertjähriges Hochwasser HQ_{100}).

Eine detaillierte Beschreibung des theoretischen Vorgehens zur Ableitung der Hazard-Funktion befindet sich im Anhang.

Da es sich bei den Naturereignissen, die Schäden an Immobilien verursachen, um besonders seltene und schwerwiegende Ereignisse handelt, kommt bei ihrer Analyse die sogenannten Extremwertstatistik zur Anwendung. Hierbei handelt es sich um eine besondere Teildisziplin der Statistik, die sich speziell mit seltenen Extremen befasst. Ziel der Extremwertstatistik ist es, abzuschätzen, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine gegebene Ausprägung einer Gefährdung, beispielsweise eine Windstärke von 100 km/h, innerhalb eines bestimmten Zeitraums überschritten wird (vgl. Abbildung 7). Eine ausführliche Erläuterung des Vorgehens findet sich im Anhang.

Die am häufigsten verwendeten Funktionen zur Beschreibung extremer Naturereignisse sind die sogenannte Allgemeine Extremwertverteilung (eng. *Generalized extreme value distribution GEV*) sowie die Generalisierte Pareto-Verteilung GPV, welche realistischere Werte liefern als bspw. bei Annahme einer Normalverteilung (vgl. Anhang).

(38) Kaplan, Garrick, 1993, S. 93

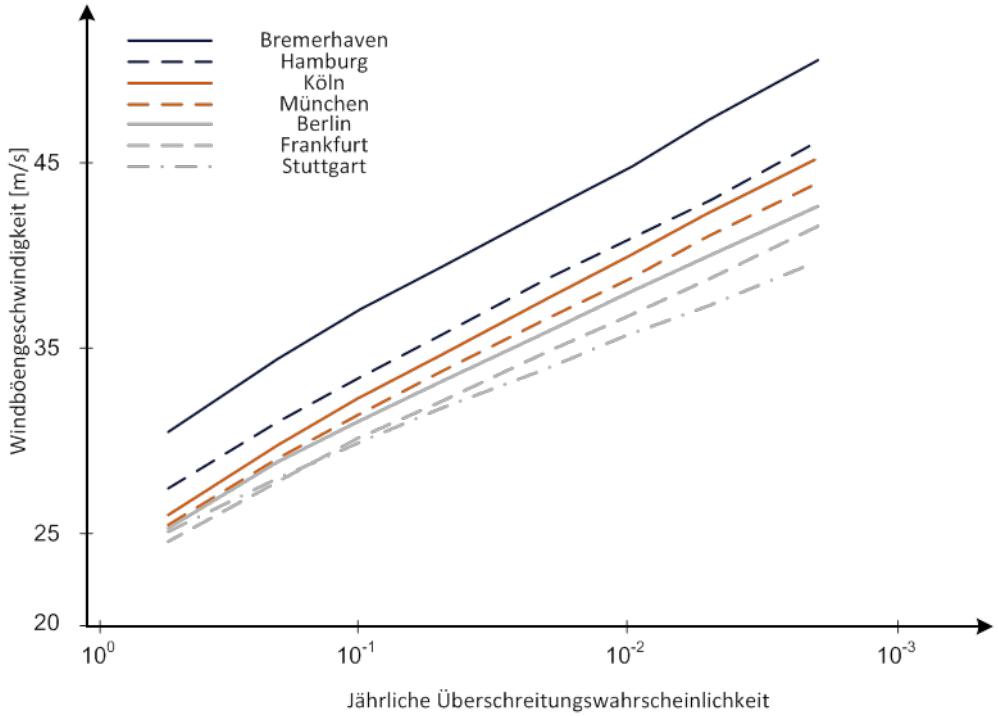
(39) Heneka, 2006, S. 725

(40) Büchle, 2006, S. 487

(41) Münchener Rückversicherungs-gesellschaft, 2008, S. 24

Abbildung 7

Beispiel einer Extremwertstatistik für Windböengeschwindigkeiten in sieben deutschen Städten



Quelle: Hofherr et al., 2010

Zeitliche Differenzierung der Hazard.-Funktion

Um den Einfluss des Klimawandels und der damit verbundenen Veränderung der Gefährdung zu berücksichtigen, werden alle notwendigen Parameter der jeweils gewählten Funktion für mehrere Zeiträume (z. B. 2011-2040, 2041-2070 und 2071-2100) separat berechnet. Alle Verfahren zur Schätzung der Parameter setzen voraus, dass sich die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Naturereignisses im jeweils untersuchten Zeitraum nicht verändert. Auch dieser Ansatz ist somit eine vereinfachte Modellannahme der sich kontinuierlich ändernden Realität. Da die Parameterschätzung eine möglichst große Anzahl von Eingabewerten erfordert, muss ein Kompromiss zwischen längeren Zeiträumen mit einer großen Anzahl von Werten, aber einer starken Änderung der Eintrittswahrscheinlichkeit und kürzeren Zeiträumen gefunden werden.

Unsicherheit

Bei der Schätzung der Wiederkehrwahrscheinlichkeit eines bestimmten Extremereignisses kommt es, wie bei jeder anderen Parameterschätzung auch, zu gewissen Unsicherheiten, welche jedoch wiederum mit entsprechenden Verfahren berechnet werden können. Zur Bestimmung dieser Unsicherheit existiert eine Reihe von Verfahren, die das Aufstellen von Konfidenzintervallen ermöglichen. Diese geben an, innerhalb welcher Spanne die tatsächlichen Werte der geschätzten Parameter mit einer gegebenen Wahrscheinlichkeit liegen.

3.2 Gebäudevulnerabilität

Vulnerabilität

Ausgehend von festgestellten Eintrittswahrscheinlichkeiten für künftige Extremwetterereignisse (Gefährdung) muss die **Verwundbarkeit der Gebäude** näher betrachtet werden. Vereinfacht ausgedrückt besteht kein Risiko im Sinne eines möglichen künftigen finanziellen Verlustes, wenn das Eintreten des Ereignisses nicht zu einer **Schädigung an der Immobilie** führt. Diese und deren Ausmaß kann angesichts der in den einleitenden Kapiteln dargestellten Schadensstatistiken kaum bestritten werden. Doch wie wird die angesprochene Verwundbarkeit bzw. Vulnerabilität eines Gebäudes definiert bzw. modelliert?

Allgemein formuliert bezieht sich **Vulnerabilität** auf den Grad eines Verlustes (Wertebereich von 0-100%) bis zum Totalverlust eines oder mehrerer Elemente, z. B.

hervorgerufen durch eine Naturgefahr. Als Elemente können dabei gelten: Bevölkerung, wirtschaftliche Aktivitäten, öffentliche Dienstleistungen, Infrastruktur, Bauarbeiten oder, wie im Projektfall, Gebäude[42]. Das BMVBS definiert Vulnerabilität relativ weiträumig auf den drei Säulen **Exposition, Sensitivität und Anpassungskapazität**[43]. Die Münchener Rückversicherungsgesellschaft definiert den Begriff enger als Schadens-Anfälligkeit von einem Objekt auf Grund externer Einwirkungen[44]. Darüber hinaus existiert eine Vielzahl von Definitionen des Begriffs Vulnerabilität[45], auf die an dieser Stelle nicht vertiefend eingegangen wird. Nähere Informationen zu den unterschiedlichen Begrifflichkeiten im Kontext der Vulnerabilität befinden sich im Anhang.

Bisher wurde der Begriff Schäden vor dem Hintergrund des Projektes noch nicht definiert. Durch Klimarisiken entstehen Schäden auf vielfältige Weise. So kann zwischen direkten (z. B. als Folge direkter Wassereinwirkung) und indirekten (Schäden infolge von Störungen) sowie zwischen **tangiblen (monetarisierbaren)** und **intangiblen (nicht monetarisierbaren)** Schäden unterschieden werden. Während die Einteilung in tangible und intangible Schäden eindeutig erscheint, ist die Differenzierung zwischen **direkten und indirekten Schäden** nicht immer offensichtlich. Schimmelbildung infolge eines Überschwemmungsereignisses ist ein Beispiel dafür. Im Rahmen von ImmoRisk werden grundsätzlich keine intangiblen, indirekten und v. a. keine Personenschäden quantifiziert, der Fokus liegt auf Sachschäden am Gebäude. Die Ausführungen beziehen sich demnach auf Mauerwerk, Fassade, Dach und Böden. Das bewegliche Inventar bleibt ebenso unberücksichtigt. Auch nachgelagerte Betriebs- bzw. Produktionsausfälle sind nicht Gegenstand der im Rahmen der vorliegenden Studie beantworteten Fragestellungen.

(42) Granger, 2003, S. 182

(43) BMVBS, 2011, S. 48

(44) Münchener Rückversicherungsgesellschaft, 2008, S. 70

(45) Thywissen, 2006, S. 36

(46) Corti, 2009. S. 1742

(47) Büchele, 2006, S. 495

(48) Heneka, 2006, S. 722

Schadensfunktionen

Allgemeiner Hintergrund

Letztlich gilt es im Rahmen der Vulnerabilitätsanalyse für jede Klimafolge einen funktionalen Zusammenhang zwischen deren Intensität und deren monetärer Schädigung herzustellen. Der generalisierte Zusammenhang einer **Schadensfunktion** lässt sich wie folgt illustrieren (vgl. Abbildung 8).

Der Wertebereich einer Schadensfunktion ist normalerweise zwischen 0% und 100% definiert, d.h. er geht zunächst als relative Größe (z. B. als Prozentsatz des gesamten Gebäude(-teil)-Wertes) in die Risikoabschätzung ein. In Kombination mit dem Wertansatz – abgeleitet aus den sachwertorientierten Bewertungen – wird ein monetärer Schaden letztlich operationalisiert. Der Verlauf von Schadensfunktionen ist im Regelfall nicht-linear[46]. Einigen Schadensfunktionen, die in der Forschung oder dem Versicherungswesen Anwendung finden, liegt die Annahme zugrunde, dass es einen bestimmten kritischen Wert der Gefährdung gibt, ab dem eine Schädigung eintritt. Ab diesem Punkt gibt es einen funktionalen Zusammenhang der Intensität des jeweiligen Extremwetterereignisses und des Schädigungsausmaßes.

Die Schadensfunktionen können sich, je nach Wahl der Aggregationsebene, auf einzelne **Gebäudeteile**, Gebäude oder sogar Gebäudeensembles in Regionen beziehen. Darüber hinaus variieren sie je nach **Materialart** an den exponierten Gebäudeteilen. Allgemein geht die Forschung davon aus, dass es eine Korrelation zwischen dem Gebäudetyp sowie dessen Nutzung und der eintretenden Schädigung gibt[47]. Die verschiedenen wissenschaftlichen Ansätze zur Ableitung von Schadensfunktionen werden im Anhang detailliert beschrieben.[48]

Im ImmoRisk-Werkzeug kommen vor allem empirische Schadensfunktionen zum Einsatz, wobei im System automatisch die relevante Schadensfunktion in Abhängigkeit von den baulichen Merkmalen einer Immobilie ausgewählt wird.

Widerstandsfähigkeit

Die Schadensfunktionen sind u. a. Ausdruck der Widerstandsfähigkeit eines Gebäudes. Dies beinhaltet auch die **Maßnahmen des Objektschutzes**, welche die Vulnerabilität von Gebäuden gegenüber Extremwetterereignissen reduzieren. Entsprechende Angaben zu getroffenen Schutzmaßnahmen können im Werkzeug ebenfalls getroffen werden.

Egli (2008)[49] beziffert das **Schadensminderungspotenzial durch Maßnahmen des Objektschutzes** bei bestehenden Gebäuden bei Sturm mit 25%–75%, bei Hagel mit 25%–100% und bei Überschwemmung/Starkregen mit 25%–100% relativ groß, jedoch verbunden mit einer sehr großen Spannbreite. Unbeantwortet bleibt die Frage, der entgegenstehenden Kosten bzw. der praktischen Realisierbarkeit. Christen (2008)[50] klassifiziert die Minimierung der Verwundbarkeit von Gebäuden durch die Wahl der Gebäudestruktur und der Baumaterialien (Gebäudehülle) je Naturgefahr (vgl. Tabelle 3). Dabei muss beachtet werden, dass auch Exposition und Lage der Gebäude bzw. Bauteile die Beeinflussung der Vulnerabilität determinieren. Eine Berücksichtigung der Exposition eines Gebäudes ist in das ImmoRisk-Werkzeug integriert. Insbesondere das Sturmrisiko variiert aufgrund unterschiedlicher Exposition kleinräumig stärker als es durch die im Werkzeug verwendeten klimatologischen Daten ausgedrückt werden kann. Der Nutzer hat deshalb die Möglichkeit, selbst Angaben über eine besonders starke Exposition zu treffen, beispielsweise wenn die betrachtete Immobilie „auf offenem Feld“ oder einem erhöhten Standort steht.

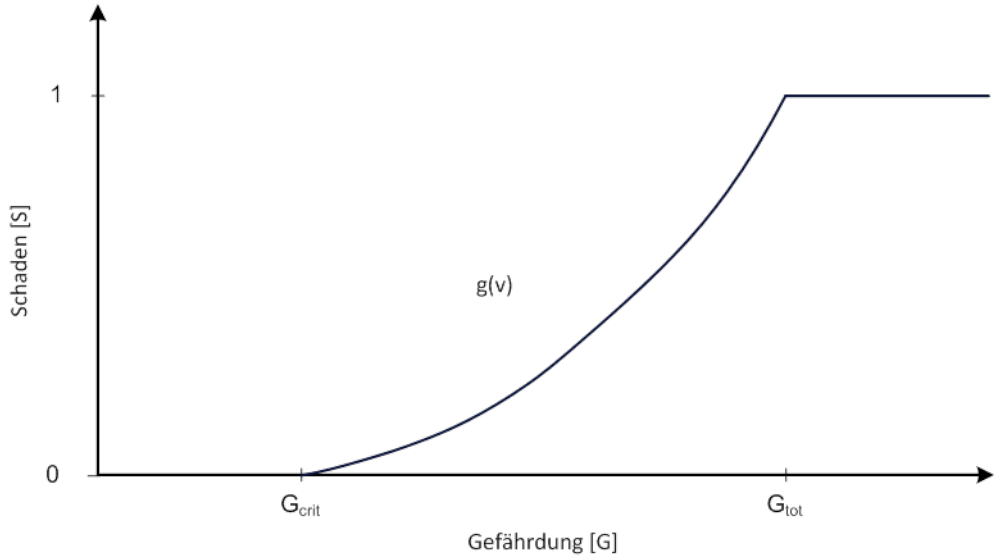
Da die einzelnen Klimafolgen jeweils in unterschiedlicher Intensität und auf unterschiedlichem Weg auf die entsprechend exponierten Gebäudeteile einwirken, ist letztlich eine klimafolgenspezifische Betrachtung unumgänglich. Das Extremwetterereignis Sturm schädigt insbesondere Dachdeckung und -konstruktion, während Hagel gleichermaßen Dach und Fassade beeinflusst. Bei Hagel sind insbesondere die verwendeten Baumaterialien von besonderer Bedeutung, da bestimmte Hagelkorngrößen in Kombination mit ihrer Aufprallgeschwindigkeit wenig widerstandsfähige Materialien durchschlagen. Bei Überschwemmungsereignissen spielt beispielsweise das Vorhandensein einer Unterkellerung eine große Rolle. Infolge von Rückstau kann Wasser auch über sanitäre Einrichtungen oder Waschmaschinen in das Gebäude eintreten. Das Gebäude-/Baumaterialalter und die damit zunehmende Anfälligkeit sind bei allen Klimafolgen von Bedeutung.

(49) Egli, 2008, S. 22

(50) Christen, 2008, S. 25

Abbildung 8

Beispiel einer Schadensfunktion, welche Intensität und Schaden miteinander in Beziehung setzt



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Henka, 2006, S. 724

Tabelle 3

Verwundbarkeit von Gebäuden nach Bauweise und Baumaterial

Naturgefahr	Entwicklung Schadenssumme (1996-2005)	Bauweise	Baumaterial
		Einfluss der Wahl auf Verletzlichkeit	
Sturm	→	Mittel	Groß
Hagel	↗	Klein	Groß
Überschwemmung	↗	Mittel	Mittel
Lawinen/Schneedruck	→	Groß	Klein
Erdrutsch/Steinschlag	→	Groß	Klein

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Christen, 2008, S. 25

3.3 Wertermittlungsansätze im Zusammenhang mit Gebäudeschäden

Aggregierte Top-Down-Ansätze

Im Rahmen der Herleitung von Schadensabschätzungen für erwartete Verluste von Versicherungen ist es im Zusammenhang mit deren Risikomanagement oft ausreichend, auf aggregierte Werte für bestimmte gefährdete Regionen zurückzugreifen. Damit verlieren die Verluste und insbesondere die individuellen (Gesamt-) Werte einzelner Gebäude an Bedeutung. Diese Ansätze, die bis auf die Gemeindeebene in Bezug auf die räumliche Auflösung fokussieren, werden auch als **Top-down-Ansätze** bezeichnet.

Ausgangspunkt sind im Regelfall historische Verlustzahlen, die für ein bestimmtes räumliches Einzugsgebiet beobachtet wurden. Diese werden dann in Kombination mit Hazard-Funktionen in Bezug auf die Herleitung künftiger Schäden im Sinne von kumulierten Werten über den gesamten Gebäudebestand hinweg verwendet.[51]

Aufgrund der Tatsache, dass sich der Ansatz von ImmoRisk auf die Gebäudeebene bezieht, wird dieser Ansatz nicht weiter verfolgt.

Objektspezifische Bottom-Up-Ansätze

Konzeptioneller Ansatz

Anders als beim oben beschriebenen Top-down-Ansatz setzt der hier verfolgte **Bottom-up-Ansatz** auf der Ebene des einzelnen Objektes an.

Hauptsächlich dominieren dabei drei methodische Ansätze die internationale Immobilienbewertung: Das Vergleichswertverfahren, das Sachwertverfahren und das Ertragswertverfahren.[52] Die Europäischen Bewertungsstandards (EVS – European Valuation Standards) sowie die Richtlinien des "Red Books" der Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) dienen als Grundlage für ein harmonisiertes und anerkanntes Verfahren in der Immobilienbewertung. Abgesehen von länderspezifischen Besonderheiten verwenden Immobiliensachverständige weltweit somit denselben Basisansatz.[53] Die Basis für die Bestimmung von Vermögensschäden – den hier gesuchten erwarteten Verlusten – ist vor dem Hintergrund der o. g. möglichen Berechnungswege das **Sachwertverfahren**.[54] Das sich auf dieser Grundlage ergebende Ergebnis, der sog. Sachwert, ist klar vom allgemeinen Markt- oder Verkehrswert zu differenzieren.

Wertbegriffe im Kontext von Naturrisiken

Der **Sachwert** ist im Sinne der Bewertung definiert wie folgt: „Im Sachwertverfahren wird der Sachwert des Grundstücks aus dem Sachwert der nutzbaren baulichen Anlagen sowie dem Bodenwert ermittelt; die allgemeinen Wertverhältnisse auf dem Grundstücksmarkt sind insbesondere durch die Anwendung von Sachwertfaktoren zu berücksichtigen“[55]

Dieser Wert orientiert sich somit an den **Herstellungskosten** des Gebäudes unabhängig von der Frage, was der Markt gegenwärtig für das gesamte Gebäude bereit wäre als Zahlungsbereitschaft zu offerieren (Marktwert). Damit kommt der

(51) Münchener Rückversicherungsgesellschaft, 2002, S. 34ff

(52) Kleiber, 2007, S. 1135ff

(53) Immovalue, 2010, S. 29

(54) Heneka, 2006, S. 725

(55) ImmoWertV (§21)

Sachwert einer im Zusammenhang mit Schäden – aufgrund von Naturgefahren – notwendigen Wertdefinition am nächsten. Im Kern ist hier relevant wie kostenintensiv die Wiederherstellung des Zustands vor Eintritt der Schädigung sein wird.[56]

Ein wesentlicher Schritt im Rahmen der Sachwertermittlung ist bei der gewöhnlichen Immobilienbewertung, ausgehend von der Herleitung der fiktiven **Normalherstellungskosten,** die Berücksichtigung einer Alterswertminderung. Diese muss bei der Herleitung von reinen (Wieder-) Herstellungskosten jedoch unterbleiben, da es im Rahmen der Ausbesserung von Schäden in der Praxis natürlich nicht möglich ist, alterswertgeminderte Leistungen mit einzukaufen. Auch *Naumann* macht in seinen Arbeiten zu Recht deutlich, dass es weniger auf historische Verluste sondern vielmehr um die **Wiederherstellungskosten** – hergeleitet aus einer differenzierten Betrachtung, ausgehend von einzelnen Gewerken – ankommt.[57] Dabei kann eine Reparatur des schadhaften Teiles oder der komplette Ersatz notwendig sein. Somit wird im Ergebnis von neuwertigen Teilen vor der Schädigung ausgegangen, da eine konkrete **Alterswertminderung nicht einfließen** darf.

Die Neuherstellungskosten können in Deutschland sehr gut über die sogenannten **Normalherstellungskosten gem. Tabellenwerken (NHK-Ansätze)** abgeleitet werden. Hier sind für alle Nutzungsarten, gestaffelt nach Baujahresaltersklassen und Ausführungstypen sowie -qualitäten, verschiedene Herstellungskosten inkl. regionaler Anpassungsfaktoren (jeweils brutto und netto) aufgeführt. Bezugsgröße ist jeweils die relevante Bruttogrundfläche (BGF).

Nähere Informationen zu unterschiedlichen Wert-Begriffen im Kontext von Sachversicherungen finden sich im Anhang.

Bei der Ermittlung des Versicherungswertes ist zu beachten, dass die Wiederherstellungskosten herangezogen werden müssen, die sich in Einzelfällen von den ortsüblichen (Normal-)Herstellungskosten unterscheiden können. Wiederbeschaffungskosten sind jene Kosten, die anfallen um das gegenständliche Objekt nach einem Schadensfall an gleicher Stelle wieder aufzubauen. So sind beispielsweise bei den Wiederherstellungskosten (im Vergleich zu den Herstellkosten) zu berücksichtigen:

- Im Schadensfall fallen keine Kosten für die Baureifmachung an.
- Im Schadensfall fallen andere Kosten für die Erdarbeiten der Baugrube und der Fundamente an.
- Summe der Herstellkosten aus mehreren Bauabschnitten gleichzeitig ist i. d. R. günstiger als die Wiederaufbaukosten eines Einzelabschnittes nach einem Schadensfall.
- Die Kosten der Vorplanung und Entwurfsplanung differieren, da schon vorhanden.

In ImmoRisk werden die (Neu-)Herstellungskosten i. S. d. **Gleitenden Neuwertes** als approximativer Wert für die Wiederherstellungskosten betrachtet.[58] Hierbei handelt es sich bewusst nicht um Reproduktionskosten, da nicht eine komplett identische Sache hergestellt wird, sondern nur der gleiche Nutzwert wieder geschaffen werden muss.

Verfahrensgang der Sachwertermittlung

Das Sachwertverfahren wird angewendet, wenn die Eigennutzung bebauter Liegenschaften im Vordergrund steht sowie die Beschaffungskosten für die Liegenschaft und der darauf befindlichen baulichen Anlagen für die in Betracht kommenden potenziellen Käufergruppen von vorrangiger Bedeutung sind oder aufgrund von Schäden die Wiederherstellung relevant wird. Das Verfahren leitet die (abgeschriebenen) Wiederherstellungskosten des zu bewertenden Objektes ab und bezieht die Betriebseinrichtung, das regionale Kostenniveau, das Alter usw. mit ein. Im ImmoRisk-Werkzeug findet eine vereinfachte Berechnung anhand der baulichen Eigenschaften des untersuchten Gebäudes statt. Berücksichtigt werden dabei unter anderem Gebäudetyp, Konstruktion, Dachtyp, baulicher Standard und Baualtersklasse.

Der Sachwert ist im Rahmen der gewöhnlichen Verkehrswertermittlung durch Addition des Bodenwertes, des Bauwertes, des Wertes sonstiger Bestandteile und des Zubehörs zu ermitteln. Im Projekt ImmoRisk wird lediglich der Bauwert berücksichtigt, da im Falle eines Schadens

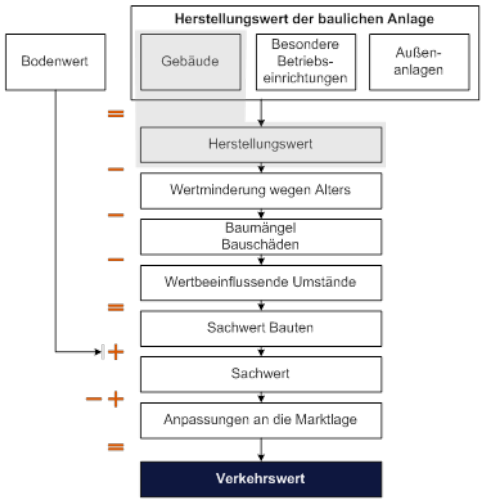
(56) Kleiber et al., 2010

(57) Naumann, 2009, S. 5f

(58) RICS, 2009, S. 3ff

Abbildung 9

Schematischer Ablauf des Sachwertverfahrens



Quelle: Eigene Darstellung

aufgrund von Extremwetterereignissen primär das Bauwerk betroffen ist. Mögliche Fälle der Wertminderung des Bodens werden ebenfalls nicht näher beleuchtet. Auch das **Inventar** (versicherungstechnisch der sog. **Hausrat**) oder der **Wert der sonstigen Bestandteile und Anlagen** (Außenanlagen, besondere Ausstattungen bzw. besondere Betriebseinrichtungen) sowie **Zubehör** werden nicht betrachtet. Abbildung 9 veranschaulicht den schematischen Ablauf des Sachwertverfahrens.

Die tatsächlichen Herstellungskosten von Gebäuden sind in hohem Maße von ungewöhnlichen Mehr- oder Minderkosten durch Nacht- oder Feiertagsarbeiten, Eigenleistungen des Bauherrn, besondere Baumaßnahmen oder Kostenvorteile infolge persönlicher Beziehungen geprägt. Da der zu ermittelnde Wert als Zielgröße von subjektiven Einflüssen frei sein muss, müssen die gewöhnlichen Herstellungskosten, d. h. objektive und durchschnittliche Herstellungskosten, herangezogen werden. Eine besonders günstige tatsächliche Errichtung, bspw. weil viel unentgeltliche Eigenleistung einfloss oder weil bestimmte Werkstoffe günstiger beschafft werden konnten, muss somit außer Betracht bleiben.

Das Sachwertverfahren unterstellt, dass verschiedene Gebäude zu bestimmten typischen Nutzungsgruppen zusammengefasst werden und für diese **Gruppen typische Herstellungskosten** ermittelt werden können. Es wird davon ausgegangen, dass für Gebäude mit gleicher Nutzung auch ähnliche vergleichbare gewöhnliche Herstellungskosten anfallen müssen. Für die Ermittlung des Gebäudenormalherstellungswertes bieten sich grundsätzlich drei Wege an:

- Nach den tatsächlich entstandenen Herstellungskosten und ggf. Bereinigung um ungewöhnliche Umstände,
- nach einer in Gewerken gegliederten Kostenschätzung und
- nach den Normalherstellungskosten auf Basis von Erfahrungssätzen.

In der Praxis wird fast immer die dritte Variante gewählt, die hier weiter betrachtet wird. Diese in Fachkreisen als Kubikmeterverfahren bzw. **Quadratmeterverfahren** bezeichnete Methode hat sich seit langem bewährt. Bei diesen Verfahren wird der umbaute Raum bzw. die Fläche des Gebäudes ermittelt und mit normalisierten durchschnittlichen Preisen je Bewertungsgrößeneinheit vervielfacht. Die jeweils aktuellen gewöhnlichen Herstellungskosten werden dabei aus einschlägigen Tabellenwerken und Veröffentlichungen entnommen, die als eine Art Prüfgröße dienen. Diese enthalten Erfahrungssätze, wie EUR pro m² Bruttogrundfläche oder EUR pro m³ Rauminhalt. Diese Vorgaben der NHK 2005 werden im Wesentlichen durch

- die Region,
- den Verwendungszweck,
- die Bauart,
- die Baujahresaltersklasse und
- die Objektqualität

differenziert. Das Ergebnis wird dann ggf. noch über den Baupreisindex auf den Stichtag hochgerechnet. Hierdurch ergibt sich der Neubauwert zum Bewertungsstichtag aus gewöhnlichen Herstellungskosten je Bezugseinheit.

Im Kontext von ImmoRisk werden aus den Eingaben der Nutzer zu bestimmten Eckdaten (s. o.) des Objektes die relevanten NHK-Werte zugeordnet und so approximativ Herstellungskosten des Gebäudes ermittelt.

Beispielrechnung NHK 2005 Anwendung im Sachwertverfahren

Anwendung des Sachwertverfahrens auf ein Einfamilienhaus, zweigeschossig, unterkellert und mit ausgebauten Dachgeschoss, mittlerer Standard, Baujahr 1984 in Berlin, Bruttogrundfläche BGF 400 m² (keine besonderen Außenanlagen, Gesamtnutzungsdauer 80 Jahre, Grundstück 600 m², Bodenrichtwert 248,- €/m²) Bewertung im Jahr 2011 (vgl. Tabelle 4).

Verwendung finden im Regelfall die vom damaligen Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau veröffentlichten **Normalherstellungskosten 2005 (NHK 2005)** (vgl. Tabelle 5). Die regionalen Anpassungsfaktoren sind entsprechend zu beachten. Werden die NHK 2005 verwendet, so sind diese durch Heranziehen des Baupreisindex an die Baupreisverhältnisse am Bewertungsstichtag anzupassen.

Zu den **Baunebenkosten** zählen jene Kosten, die bei der Planung und Baudurchführung auf der Grundlage von Gebührenordnungen, Preisvorschriften oder nach besonderer vertraglicher Vereinbarung entstehen. Zu den Baunebenkosten können ebenfalls die in unmittelbarem Zusammenhang mit der Herstellung der baulichen Anlagen erforderlichen üblichen Finanzierungskosten gezählt werden. Nähere Informationen zur Ermittlung der Baunebenkosten befinden sich im Anhang.

Das Ergebnis der hier dargelegten Inhalte und Verfahrensschritte ist dann immer ein Wert je m² BGF für einen spezifischen erfassten Gebäudetyp. In Kombination mit einer relativen Schadensfunktion kann hierdurch im Ergebnis ein "Erwarteter Verlust" in absoluten Beträgen hergeleitet werden.

Tabelle 4

Beispielberechnung NHK 2005 - Anwendung im Sachwertverfahren

Berechnung	Bemerkung	(Zwischen-)Ergebnis
Herstellungskosten 690 €/m² BGF lt. NHK 2005 (vgl. Tabelle 3-3)	Typ 61.28 lt. NHK 2005 Baujahresklasse 1970-1984	690 € x 400 m² BGF = **276.000 €**
+ **Baunebenkosten** lt. NHK 2005 = 17% (Durchschnitt)		276.000 € x 0,17 = **46.920 €**
= Herstellungskosten gesamt lt. NHK 2005		**= 322.920 €**
Regionaler Korrekturfaktor **Ortsspezifischer Korrekturfaktor**	Berlin = 1,3 (Spanne zw. 1,25 -1,45) Für Berlin nicht notwendig.	322.920 € x 1,3 =**419.796 €**
Umrechnung auf Wertermittlungsstichtag (2011) = Gebäudesachwert (Neu) / i. S. d. Gleitendenen Neuwertes	Baukostenindex in 2011: 117,6 (2005=100) lt. Fachliteratur d.h. Baupreise seit 2005 sind um 17,6% gestiegen.	419.769 € x 1,176 = **493.680 €**
Alterswertminderung	*Gebäude: 27 Jahre alt, Gesamtnutzungsdauer mit 80 angesetzt.* *lt. Restwerttabelle Restwert 61% im Durchschnitt.*	*439.680 € x 0,61%* *= 301.145 €* *aktueller Gebäudesachwert*
+ aktueller Bodenwert	*gemäß dem Vergleichswertverfahren (Bodenrichtwerte) ermittelt.*	*(500 m² Grundstück x 248 € Bodenrichtwert)* *= **124.000 €***
Grundstückssachwert		*= **425.145 €***
Zur Verkehrswertberechnung werden Sachwertmarktanpassungsfaktoren vom Gutachter begründet z. B. Informationen der Gutachter oder Verhältnis zu Kaufpreisen anderer Sachwerte.		

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 5

Auszug NHK 2005 - Basis für Normalherstellungskosten

Bürogebäude, Massivbau, mittlerer Standard	€/m² BGF										
	1925-1945		1946-1959		1960-1969		1970-1984		1985-2004		2005
Bauwerk - Baukonstruktion	695	735	740	775	780	815	820	885	895	965	975
Bauwerk - Technische Anlagen	190	200	200	210	215	220	225	240	245	265	265
Bauwerk	885	935	940	985	995	1035	1045	1125	1140	1230	1240

Merkmale der Stichprobe:	
Mittlere Geschosshöhe	3,62 m
BGF/Nutzeinheit	47,2 m²/ArbPl.
Gesamtnutzungsdauer:	50-80 Jahre

Baunebenkosten (in % am Bauwerk):		
von	ø	bis
14	**17**	21

Quelle: Normalherstellungskosten, NHK 2005, BKI

3.4 Risikoabschätzung als jährlich erwarteter Verlust

Frankenhauser et al. sehen im Zuge des Klimawandels die zentrale Aufgabe der nationalen Regierungen darin, für die privaten Entscheidungsträger ein entsprechendes Umfeld für rechtzeitige, effiziente und wohlinformierte Anpassungsmaßnahmen i. S. einer **profunden Entscheidungsbasis** zu schaffen.[59] Eine fundierte Möglichkeit zur Abschätzung der zukünftigen, erwarteten Schäden an Gebäuden durch Extremwetterereignisse ist ein dringend benötigter Bestandteil eines solchen Umfelds, um Immobilieneigentümer in die Lage zu versetzen entsprechende Anpassungen vor dem Hintergrund von erwarteten Risiken des Klimawandels zu implementieren.

Maier[60] betont die Notwendigkeit vermittelnder Moderatoren (bspw. Meteorologen, Klimatologen, Medien oder externe Beratungsgruppen aus Versicherungen und Banken), wenn es darum geht, dass Unternehmen die Veränderungen des Klimas und der damit verbundenen Risiken in ihren betrieblichen Überlegungen, respektive betrieblichen Investitionsentscheidungen, berücksichtigen sollen.

Ein wesentlicher Teil dieses Risikos betrifft den Bereich möglicher Schäden an Gebäuden durch Natureinflüsse und ist letztlich für jeden Eigentümer aber auch Nutzer einer Immobilie von Bedeutung. Das Ziel von ImmoRisk ist, Transparenz zu schaffen. Im Sprachgebrauch der Versicherer, aber auch in der heutigen Umgangssprache, hat der Begriff ‚Risiko' häufig ganz unterschiedliche Ausprägungsformen. Risiko beinhaltet zum einen die Gefahr negativer Ereignisse, wie Naturkatastrophen, Feuer, o. ä., zum anderen werden auch menschliche Verhaltensweisen teilweise als Wagnis und damit als Risiko bezeichnet.“[61] Im Rahmen von ImmoRisk wird mit **Risiko der mögliche monetäre Schaden in Form eines erwarteten Verlusts** bezeichnet (vgl. Kap. 4.2).

Um potenzielle Risiken in der Entscheidungsfindung, zum Beispiel hinsichtlich der Umsetzung möglicher Schutzmaßnahmen an einer Immobilie, adäquat zu berücksichtigen, bedarf es einer quantitativen Formulierung des Risikos.[62] Risiko bezeichnet in diesem Zusammenhang die **Wahrscheinlichkeit eines auftretenden Schadens**,[63] welche sowohl von der Gefährdung (Hazard-Funktion) als auch von der Vulnerabilität des Gebäudes abhängig ist (vgl. Abbildung 10). Der Gesamtschaden innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls ergibt sich aus der Summe der eingetretenen, einzelnen Schadensereignisse. Prinzipiell kann sowohl die Häufigkeit des Eintretens von Schäden als auch die jeweilige Höhe der Schäden als stochastischer Prozess verstanden werden, die jeweils von Unsicherheit geprägt sind.[64] Üblicherweise werden Angaben zum Risiko mit einer Aussage zur jeweiligen statistischen Sicherheit versehen, um zu beschreiben, mit welcher Gewissheit (z. B. 95 %) ein bestimmtes Schadensmaß nicht überschritten wird.[65]

(59) Frankhauser et al., 2008, S. 86

(60) Maier, 2002, S. 235

(61) Both, A. v., 2007, S. 55

(62) Kaplan, Garrick, 1993, S. 91

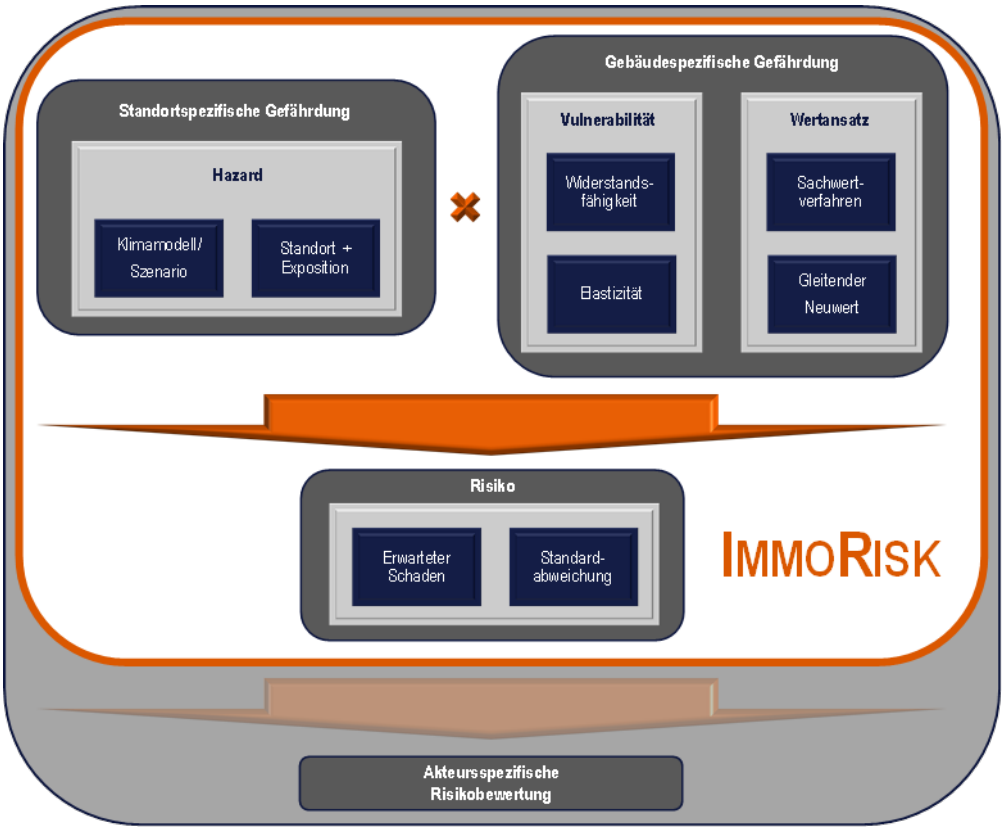
(63) Kaplan, Garrick, 1993, S. 93

(64) Helten, 2002, S. 37

(65) Kaplan, Garrick, 1993, S. 109

Abbildung 10

Grundprinzipien zur Abschätzung zukünftiger Klimarisiken für Gebäude



Quelle: Eigene Darstellung

Der allgemeine Ansatz zur Bestimmung des Risikos für ein Gebäude g an einem Standort r und zu einem Zeitpunkt t wird durch folgenden funktionalen Zusammenhang zwischen Gefährdung, Vulnerabilität und Wert verdeutlicht:

$$Risiko(r,g,t) = Gefährdung(r,t) * Vulnerabilität(g,t) * Wert(g,r)$$

Die am häufigsten eingesetzte Methode zur Quantifizierung des Risikos ist die Berechnung eines jährlich zu erwartenden Schadens. Die Berechnung basiert auf der Auswertung der sogenannten Risiko-Funktion, welche die Wahrscheinlichkeit der Überschreitung eines gegebenen Schadens angibt.

Diese **Risiko-Funktion resultiert aus einer Kombination der Hazard-Funktion, der Vulnerabilität (Schadensfunktion) und einem Wertermittlungsansatz.** Wie in dem vorangegangenen Kapitel erläutert, beschreibt die Hazard-Funktion die Wahrscheinlichkeit des Eintretens einer bestimmten Gefährdungssituation, die Schadensfunktion die dabei auftretende prozentuale Schädigung an einer Immobilie und der Wertermittlungsansatz die monetären Kosten dieser Schädigung. Die Berechnung des durchschnittlichen jährlichen Schadens kann als Aufsummierung der Schäden durch alle einzelnen Gefährdungsszenarios, gewichtet mit ihrer jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeit, verstanden werden. Da die Gefährdung dabei nicht nur einzelne diskrete Ausprägungen annehmen kann, sondern jeweils einen Ausschnitt aus einem Kontinuum möglicher Werte darstellt, wird dazu über alle möglichen Gefährdungen durch die Hazard-Funktion integriert:

$$AEL = \int_{x_{min}}^{\infty} S(f(x))W dx$$

Mit f: **Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Gefährdung** (Hazard-Funktion),
S: Schadensfunktion, W: Gebäudwert,
x: Intensität/Ausprägung der Gefährdung (z. B. Windstärke oder Wassertiefe),
x_{min}: Untere Integrationsgrenze, ab der mit einer Schädigung zu rechnen ist.

Das Vorgehen zur Berechnung des jährlich zu erwartenden Schadens im Fall diskreter Schadensfunktionen wird im Anhang beschrieben.

Zusammenfassung

- Für eine kleinräumig differenzierte Beurteilung der Gefährdung sind regionale Klimamodelle notwendig, da globale Klimamodelle mit räumlichen Auflösungen arbeiten, die für objektspezifische Analysen zu undifferenziert sind. Für Deutschland sind Daten aus zwei dynamischen und zwei statistischen regionalen Klimamodellen verfügbar.
- Der Unterschied zwischen dynamischen und statistischen regionalen Klimamodellen liegt in der Art der Übertragung der Ergebnisse globaler Modelle auf kleinere Raumeinheiten. Beide Modelltypen weisen sowohl Vorzüge als auch Nachteile auf.
- Für zukünftige Klimarisiken sind die Klimamodelle zentral, da diese Aussagen über die zukünftige Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Extremwetterereignissen erlauben. Zur Steigerung der Qualität dieser Aussagen werden mehrere Simulationen mit einem Modell oder auch mehrere Modelle kombiniert (Ensemble).
- Der Begriff Gefährdung bezeichnet im Detail die möglichen Auslöser eines Schadens, Risiko hingegen die jeweilige Wahrscheinlichkeit, dass ein Schaden tatsächlich eintritt. Die Wahrscheinlichkeit des Eintritts einer bestimmten Gefährdung wird über die sog. Hazard-Funktion abgebildet. Die Ableitung der Hazard-Funktion erfolgt mit Hilfe der Extremwertstatistik.
- Das Gebiet der Extremwertstatistik beschreibt eine bestimmte Klasse statistischer Verteilungstypen, die insbesondere das Verhalten besonders seltener Wetterereignisse statistisch korrekt beschreibt.
- Der Zusammenhang zwischen einer bestimmten Gefährdung und dem dadurch auftretenden Schaden wird über die sog. Schadensfunktion abgebildet. Diese hängt von der sog. Vulnerabilität einer Immobilie, also der gebäudespezifischen Anfälligkeit gegenüber bestimmten Naturgefahren, ab. Schadensfunktionen werden häufig als relative Funktionen abgebildet. Somit ist als Bezugsbasis für weitere Rechenschritte ein Gebäudewert notwendig.
- Im Sinne eines Bottom-up Bewertungsansatzes kann über spezifische Gebäudeeckdaten in Kombination mit Normalherstellungskosten ein sachwertorientierter, nicht altersgeminderter Gebäudewert abgeleitet werden. Quelldaten für die Datenbank sind einerseits die BKI (2011) und die NHK (2005).
- Normalherstellungskosten können sich in Einzelfällen von Wiederherstellungskosten unterscheiden. Approximativ können jedoch die (Normal-)Herstellungskosten (neu) im Sinne eines gleitenden Neuwertes verwendet werden.
- Die Risikoabschätzung erfolgt somit durch die Kombination von Hazard-Funktion, Vulnerabilität und Wertermittlungsansatz in Form eines jährlich zu erwartenden Verlusts.

4 Umsetzung des Risikokonzepts

4.1 Funktionaler/mathematischer Zusammenhang

Die mathematische Umsetzung im ImmoRisk-Werkzeug erfolgte entsprechend der im vorangegangenen Kapitel geschilderten Konzeption bzw. Definitionen von Gefährdung, Vulnerabilität-/Schadensfunktion, Wert und Risiko. Die Gefährdung beschreibt demnach über die Hazard-Funktion die Häufigkeit des Auftretens von Naturereignissen mit bestimmter Intensität und einem Potenzial zur Schädigung von Gebäuden. Entsprechend der baulichen Merkmale einer Immobilie beschreiben Schadensfunktionen den funktionalen Zusammenhang zwischen der Intensität des Naturereignisses und dem dabei auftretenden Schaden. Da es sich dabei um einen relativen Wert bezogen auf den Versicherungswert der Immobilie handelt, wird mit Hilfe eines auf Normalherstellungskosten basierenden Ansatzes ein absoluter Schadenswert ermittelt. Um von einzelnen Schadensereignissen zu abstrahieren, wird durch Integration bzw. Summierung über alle Wiederkehrintervalle eines Ereignisses ein jährlich zu erwartender Verlust berechnet. Über die Unsicherheiten in der Schätzung der Hazard-Funktion erfolgt die Angabe einer Schadensspannweite (95%-Konfidenzintervalle).

4.2 Umsetzung als Software („ImmoRisk-Werkzeug“)

Grundlegende Konzeption des Werkzeugs

Während bisherige, öffentlich zugängliche Werkzeuge zur Risikoidentifikation nur Aussagen über mögliche monetäre Schäden auf einer räumlich stark aggregierten Ebene, zum Beispiel Landkreise, ermöglichten, werden im Ansatz von ImmoRisk Gefahren für einzelne Gebäude ermittelt. Ziel des Werkzeugs ist es, Immobilienbesitzern oder Bauherren, die beabsichtigen auf einem Grundstück ein Gebäude zu errichten bzw. vorhandene Gebäude vermieten oder selber bewohnen, eine möglichst **quantitative Übersicht über mögliche Risiken** durch Naturgefahren heute und in der Zukunft zu ermöglichen. Die Bestimmung der Risiken erfolgt dabei anhand folgender Daten, welche zum einen vom Benutzer des Werkzeugs selbst getroffen werden und zum anderen in einer Datenbank hinterlegt sind (vgl. Tabelle 6):

- Angaben zum Immobilienstandort und zur Immobilie selbst,
- Daten zur Gefährdung eines Standorts je nach Naturgefahr und
- zur Schadenswirkung an Immobilien bestimmten Typs,
- außerdem Beziehungen zwischen bestimmten Eigenschaften einer Immobilie und ihrem Wert.

Tabelle 6: Übersicht der in einer Datenbank hinterlegten Informationen und benötigen Nutzereingaben im Werkzeug

Dateneingabe des Nutzers	Inhalt der Datenbank
Angabe des Standorts der Immobilie	Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmter Naturgefahren (Hazard-Funktion), regionale Korrekturfaktoren zur Wertermittlung
Angaben zur Immobilie selbst	Zusammenhang der Ausprägung einer Naturgefahr und dem Schaden an bestimmten Immobilientypen (Schadensfunktion), NHK-Daten

Quelle: Eigene Darstellung

Das ImmoRisk-Werkzeug arbeitet mit einer webbasierten Oberfläche, um dem Nutzer eine möglichst intuitive Bedienung anzubieten. Um ihm außerdem die Möglichkeit zu geben, mehrere Immobilien zu erfassen und dadurch eine Übersicht über die Risiken seines Bestands zu erhalten, wurde ein Anmeldesystem mit privatem Benutzerbereich entwickelt.

Um eine Risikoermittlung für eine im Werkzeug noch nicht erfasste Immobilie durchzuführen, müssen in einer Eingabemaske Angaben zum Standort und zu den Eigenschaften der Immobilie selbst getroffen werden.

Über eine Navigationsleiste am linken Bildschirmrand kann außerdem über den Punkt „Portfolio“ zu einer Übersicht über die bereits erfassten Immobilien gewechselt werden. Hier können unter anderem

Veränderungen an den Angaben zu den Immobilien vorgenommen werden, um beispielsweise den Effekt baulicher Veränderungen auf die berechneten Risiken zu untersuchen. Ergänzt wird der Portfolio-Bereich durch die Zusatzoption der Sammelerfassung, um größere Bestände vergleichbarer Immobilien am selben Standort schnell und bequem aufzunehmen.

Aus den Angaben des Nutzers werden schließlich auf einem **Server** Risikoberechnungen durchgeführt und das entsprechende Ergebnis wieder beim Nutzer in Form eines sog. Risikosteckbriefs angezeigt (vgl. Abbildung 11). Bei den untersuchten Pilotprojekten handelt es sich in 13 von 15 Fällen um Standorte, die bereits bebaut sind oder momentan bebaut werden. Für **Planungszwecke** kann es von Interesse sein, wie sich die Gefährdungslage im Fall eines Austauschs einzelner Gebäude oder einer kompletten städtebaulichen Umgestaltung der Areale verhalten würde. Das Werkzeug bietet deshalb die Möglichkeit, den Standort innerhalb des Pilotareals sowie die baulichen Eigenschaften einer Immobilie ohne Vorgaben frei zu wählen.

Folgende **Limitierungen** sind bei dem hier dargestellten Modell zu beachten:

- Die Schadensfunktionen sind nur hinsichtlich einer bestimmten Auswahl von Parametern differenziert (z. B. keine Fließgeschwindigkeit bei Überflutung)
- Die räumliche Auflösung des Rasters, in welchem die Parameter der Hazard-Funktion gespeichert sind, ist naturgemäß begrenzt
- Es werden keine Korrelationen zwischen den einzelnen Extremwetterereignissen berücksichtigt
- Die Schätzung der Hazard-Funktion ist stets mit Unsicherheiten behaftet

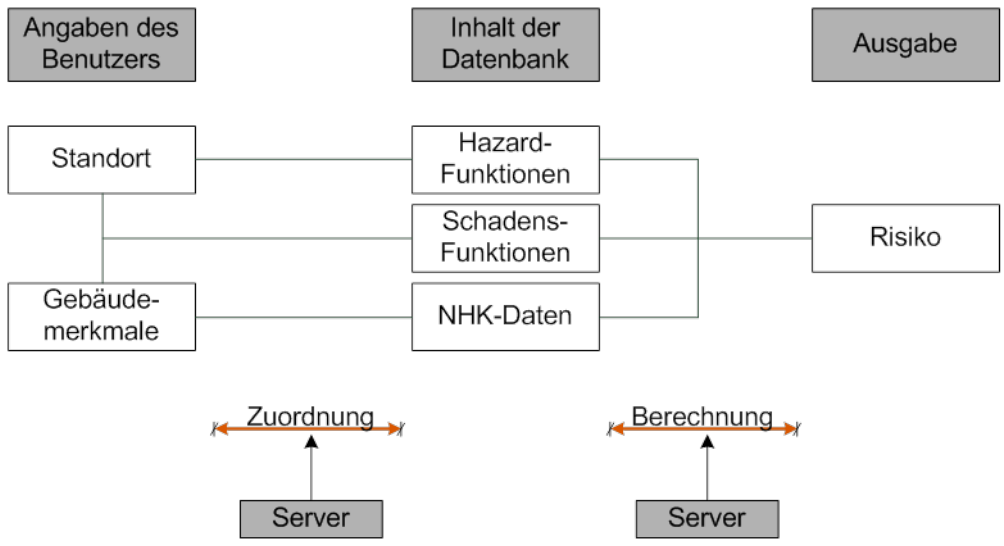
Beschreibung der Dateneingabe des Nutzers

Standort der Immobilie

Um eine Einschätzung der Gefährdungssituation einer Immobilie vorzunehmen, sind zunächst möglichst genaue Angaben zum Standort einer Immobilie nötig. Die untersuchten Naturgefahren unterscheiden sich dabei stark hinsichtlich der für eine adäquate Abbildung der Gefahren notwendigen räumlichen Detailschärfe bei der Angabe des Immobilienstandorts. Einerseits ist dies auf das Ausmaß der kleinräumigen Variation der Gefährdung selbst zurückzuführen, andererseits stehen für manche Naturgefahren nur vergleichsweise räumlich grob aufgelöste Gefährdungsstatistiken zur Verfügung. Das Überflutungsrisiko beispielsweise variiert sehr kleinräumig und es existieren sehr detaillierte Gefährdungskartierungen. Statistiken zur Wahrscheinlichkeit von Starkwindereignissen liegen hingegen nur mit einer räumlichen Auflösung von maximal 1 km x 1 km vor.

Abbildung 11

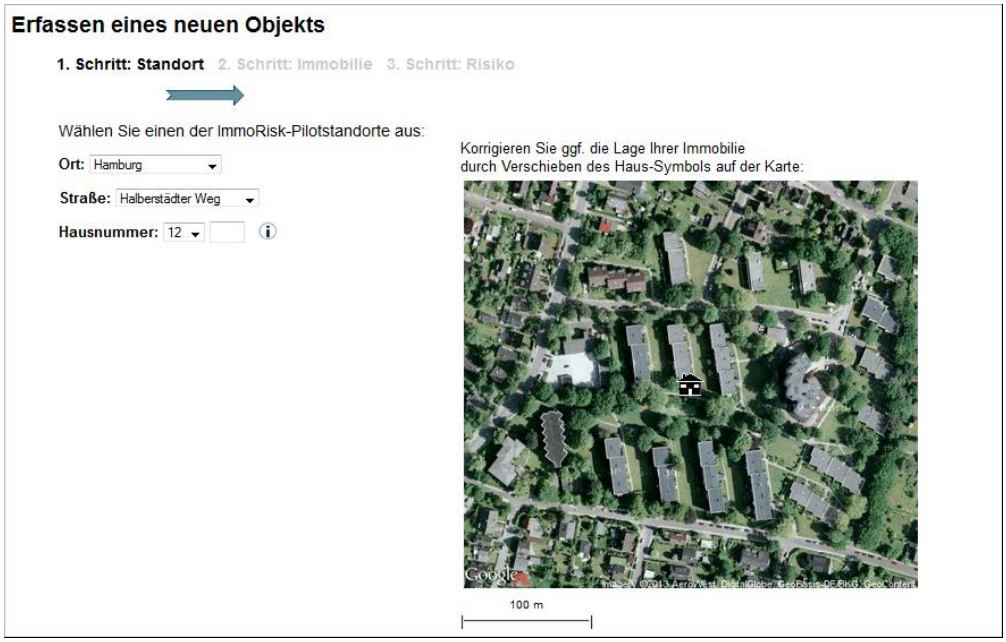
Schema des Werkzeugs zur Risikokalkulierung



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 12

Eingabemaske zur Standortbestimmung



Quelle: Screenshot des ImmoRisk-Werkzeugs

Zur Lokalisierung des Standorts einer Immobilie wählt der Nutzer im Werkzeug zunächst einen der 15 Pilotstandorte aus. Eine genauere Lokalisierung erfolgt entweder durch Eingabe der genauen Adresse der Immobilie oder durch Verschieben eines symbolischen Markers auf einer Karte (Luftbild) (vgl. Abbildung 12).

Angaben zur Immobilie

Um aus der standortbedingten Gefährdungssituation ein konkretes Risiko zu bestimmen, sind Angaben zur vorhandenen oder geplanten Immobilie an einem Standort nötig, da jeder Gebäudetyp ganz unterschiedlich anfällig für Schäden durch bestimmte Natureinwirkungen ist und der konkrete monetäre Schaden z. B. auch von der Größe eines Gebäudes abhängen kann. Je nach Naturrisiko sind **unterschiedliche Eigenschaften der Immobilie** von größerer oder geringerer Bedeutung. Das Vorhandensein eines Kellers beispielsweise mag keine Rolle für die Anfälligkeit gegenüber Schäden durch Starkwinde besitzen, für die Schäden durch Überflutung ist ein Keller aber ein äußerst bedeutsamer Parameter. Angaben zum Konstruktionstyp des Gebäudes, wie Beton, Ziegelmauerwerk oder Holz, sind ebenfalls unabdingbar für eine Einschätzung der hochwasserbedingten Schäden. Um die Gefahr von Hagel- und Sturmschäden einzuschätzen, sind Angaben über den Fassaden- und Dachtyp erforderlich. Die Angabe des Gebäudealters schließlich ist für alle Naturgefahren von Bedeutung, da zum einen die Widerstandsfähigkeit der Gebäudeteile im Laufe der Zeit sinkt und zum anderen auch laufend neue Konstruktionsnormen bzw. Bauvorschriften mit üblicherweise erhöhten Anforderungen an die Belastbarkeit eingeführt wurden. Zur Berechnung potenzieller, monetärer Schäden sind außerdem Angaben zur **Grundfläche** des Gebäudes unabdingbar. Weitere Angaben zur Immobilie können die Vulnerabilität zusätzlich modifizieren. Beispielsweise kann der Nutzer angeben, ob seine Immobilie durch eine besonders exponierte Lage auf offenem Feld oder auf einem erhöhten Standort besonders anfällig gegenüber Starkwinden ist. Die Schadensfunktion wird dadurch entsprechend modifiziert. Hinsichtlich des Schadensrisikos durch Überflutung sind Angaben über eventuelle Vorsorgemaßnahmen zu treffen, um die Schadensfunktion anzupassen. Weitere Angaben, die vom Nutzer getroffen werden müssen, betreffen u. a. die Anzahl der Etagen, die Gebäudehöhe sowie mögliche Sanierungen (vgl. Abbildung 13).

Datenschutzaspekte

Aufgrund der Datenschutzbestimmungen in Deutschland standen bei der Umsetzung des Werkzeugs datenschutzrechtliche Aspekte unter besonderer Beachtung. Beson-

ders durch die genaue Erfassung des Immobilienstandorts und die sehr detaillierten Gebäudemerkmale gilt es hinsichtlich der Speicherung von Daten eher restriktiv vorzugehen, auch wenn darüber hinaus keine **persönlichen Daten** erfasst werden. Gemäß den Vorgaben aus § 3a des Bundesdatenschutzgesetzes wurde die Erhebung von personenbezogenen Daten sehr restriktiv gehandhabt. Sensible Benutzerdaten, erfasste Immobilien, hochgeladene Fotos und die erstellten Risiko-Steckbriefe werden aus Sicherheitsgründen auf einem nicht über das Internet zugänglichen Bereich des Server-Rechners gespeichert und nur temporär zur Verfügung gestellt. Benutzer-Passwörter sind verschlüsselt hinterlegt.

Ergebnisanzeige für den Nutzer – Risikosteckbrief

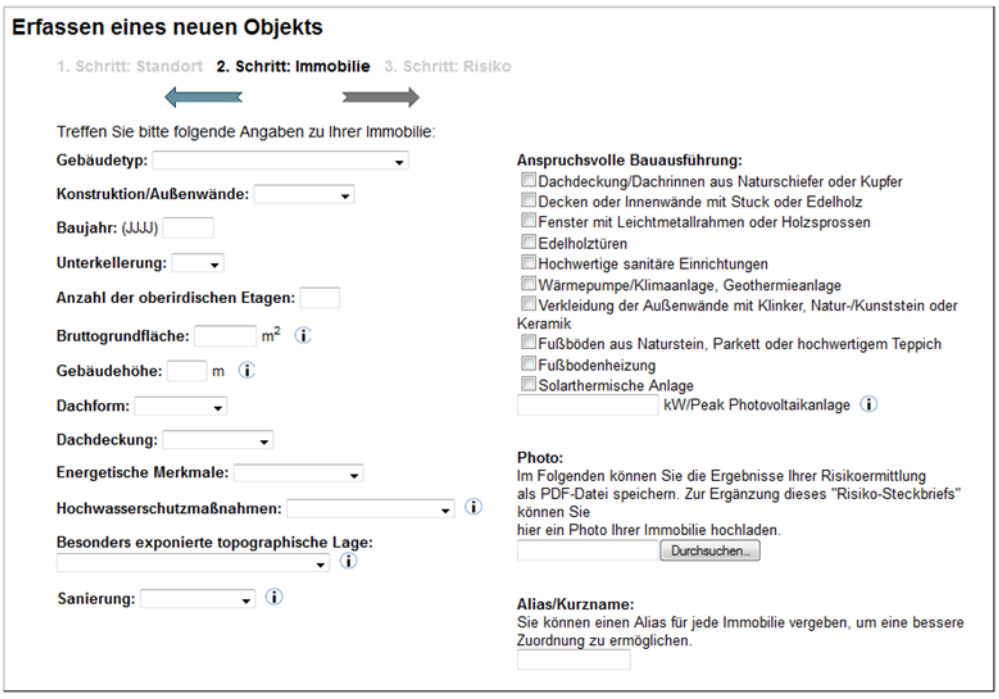
Eine detaillierte Beschreibung der im Werkzeug hinterlegten Daten zur Gefährdung und den Schadensfunktionen sowie zur Berechnung des Risikos durch das Werkzeug befindet sich im Anhang.

Im Risikosteckbrief (vgl. Abbildung 14) werden zunächst sämtliche eingegebenen Daten der Immobilie zusammengefasst. Wiedergegeben werden Informationen zu Adresse, Erfassungsdatum, ein eventuell hochgeladenes Foto, eine Karte mit der Lage der Immobilie sowie die angegebenen Merkmale des Gebäudes. Die Resultate der Risikoberechnungen werden für den Nutzer in übersichtlicher, tabellarischer Form dargestellt.

Bei Risiken, deren Schaden sich nicht direkt monetär beziffern lässt, wie beispielsweise Hitze, Starkniederschlag oder Waldbrand, erfolgt die Ergebnisanzeige in Form einer Einstufung der gebäudespezifischen Gefährdungssituation und der erwarteten, zukünftigen Änderung der Gefährdung im Zuge des Klimawandels. Die Risikoeinschätzung basiert auch bei diesen nicht quantitativ erfassbaren Schäden auf der jeweiligen Gefährdung am jeweiligen Standort.

Abbildung 13

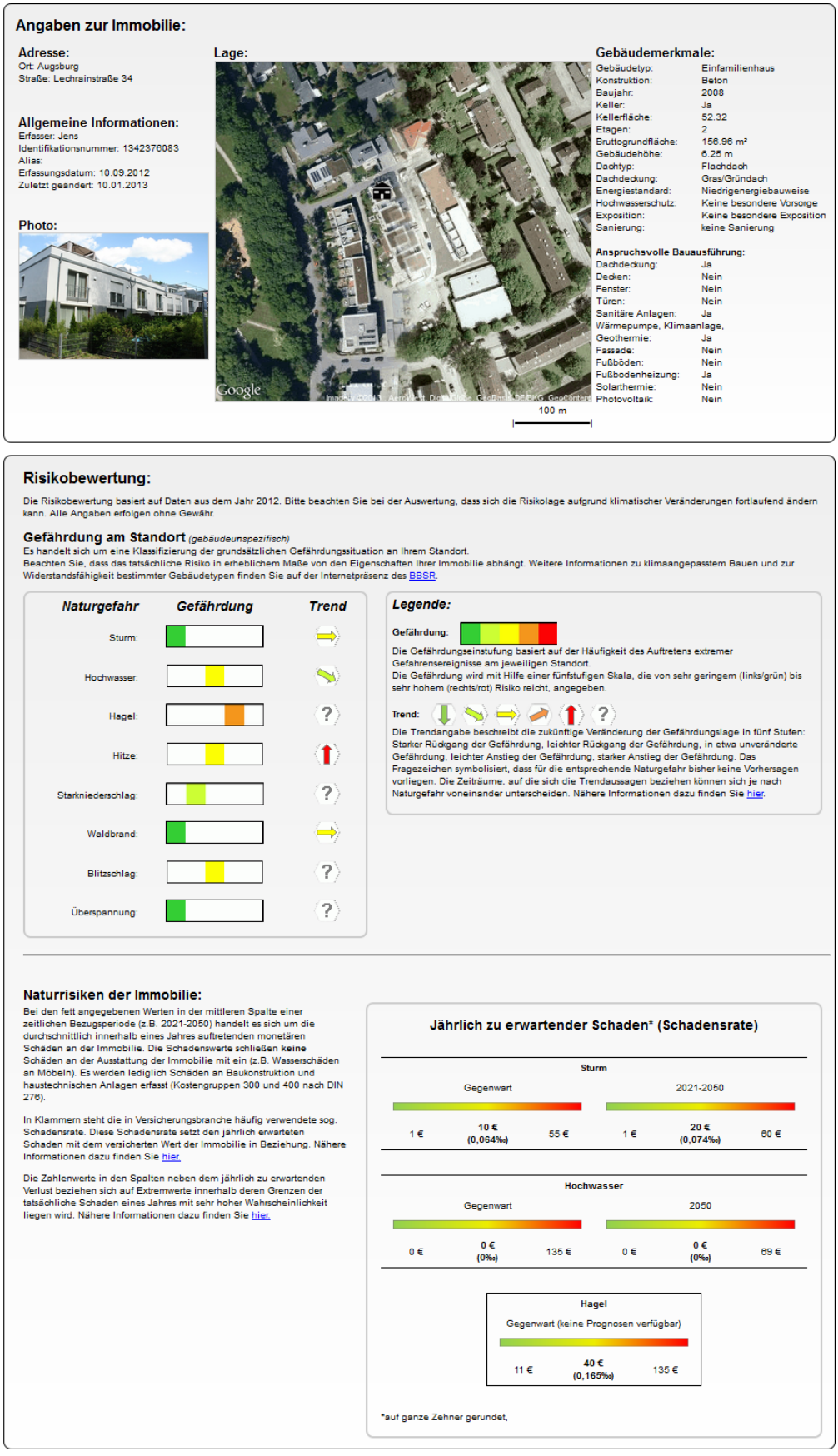
Eingabemaske zu den baulichen Immobilienmerkmalen



Quelle: Screenshot des ImmoRisk-Werkzeugs

Abbildung 14

Risikosteckbrief „ImmoRisk“



Quelle: Screenshot des ImmoRisk-Werkzeugs

Abbildung 15

Tabellarische Portfolioansicht

Sie haben folgende 70 Immobilien in Ihrem Portfolio:

Immo-ID (sortiert)	Ort (sortieren)	Straße	Alias	Photo	Gefährdung: Sturm	Hochwasser	Hagel	Hitze	Waldbrand	Starkregen	Blitzschlag	Überspannung	Erstellt (zuletzt geändert)	Löschen	Kopieren	Steckbrief
Immo#1:	Augsburg	Lechrainstraße 34											10.09.2012 (10.01.2013)			
Immo#2:	Berlin Kreuzberg	Yorckstraße 30											10.09.2012 (09.10.2012)			
Immo#3:	Erfurt	Brühlerherrenberg 88											10.09.2012 (20.09.2012)			
Immo#4:	Günzburg Bellevue	Ichenhauser Straße 21	test										14.07.2012 (20.09.2012)			
Immo#5:	Günzburg PEP	Lochfelbenstraße 34a											14.07.2012 (20.09.2012)			
Immo#6:	Berlin Friedrichshain	Kinzigstraße 27	Pavillon										14.07.2012 (12.12.2012)			

Quelle: Screenshot des ImmoRisk-Werkzeugs

Abbildung 16

Kartographische Übersicht eines Standorts

Kartographische Übersicht: Augsburg

Klicken Sie auf eine der Immobilien, um baulichen Eigenschaften oder den Standort zu ändern. Bewegen Sie den Mauszeiger auf eine der Immobilien, um zusätzliche Informationen angezeigt zu bekommen.

Tabellarische Übersicht: Augsburg

Klicken Sie in eine Zeile, um Details zur entsprechenden Immobilie anzusehen und/oder zu verändern. Bewegen Sie den Mauszeiger in eine Zeile, um die Immobilie in der Karte hervorzuheben.

Straße	Alias	Gefährdung: Sturm	Hochwasser	Hagel	Hitze	Waldbrand	Starkregen	Blitzschlag	Überspannung	Löschen	Kopieren	Steckbrief
Lechrainstraße 34												
Lechrainstraße 34	Vergleichs...											
Lechrainstraße 34	Beispielre...											
Lechrainstraße 34	Beispielre...											
Lechrainstraße 34												
Lechrainstraße 34	CAJIAS											

Quelle: Screenshot des ImmoRisk-Werkzeugs

Auswertungen zum Portfolio

Das Portfolio eines Benutzers enthält eine Übersicht aller von ihm erfassten Immobilien und bietet Funktionen zur Verwaltung und Erweiterung des Bestands. Das Portfolio kann über den entsprechenden Punkt in der Navigationsleiste am linken Bildschirmrand aufgerufen werden. Kernbestandteil des Portfoliobereichs ist die tabellarische Übersicht aller bisher erfassten Immobilien (vgl. Abbildung 15).

Jede Zeile des tabellarischen Portfolios entspricht dabei einer erfassten Immobilie und enthält Informationen zum Standort, zur Gefährdung (und deren Veränderung) sowie Schaltflächen zum Ausführen weiterer Funktionen.

Die sogenannte **„Kartographische Übersicht“** bietet eine Übersicht über alle an einem Standort erfassten Immobilien auf einer Karte (vgl. Abbildung 16). Rechts neben dieser Karte befindet sich nochmals eine tabellarische Auflistung aller erfassten Objekte an diesem Ort.

4.3 Verwendete Daten sowie Hintergrundinformationen (Hazard- und Schadensfunktionen)

Anforderungen an das Datenmaterial

Grundsätzlich bedarf es zur Abschätzung von Naturrisiken valider Daten zur gegenwärtigen sowie zur zukünftigen Gefährdung. Diese Daten sollten idealerweise aus möglichst langen Beobachtungszeiträumen abgeleitet worden sein (vgl. hierzu im Detail Kap. 5.1.2) bzw. aus mehreren Läufen oder einem Ensemble mehrerer Klimamodellierungen stammen (vgl. Kap. 5.1.1).

Die Schadensfunktionen wiederum sollten ebenfalls entweder empirischer fachwissenschaftlicher Forschung entstammen oder auf entsprechendem Datenmaterial von Versicherungen beruhen (vgl. Kap. 5.2.2).

Bezüglich der hier verwendeten Daten der Herstellungskosten wird auf Kapitel 3.3 verwiesen.

Eine große Herausforderung bei der Datenakquise für das ImmoRisk-Werkzeug stellte die notwendige Konsistenz zwischen Hazard- und Schadensfunktionen dar. Insbesondere im Fall von Hagel lieferten empirische Klimadaten zunächst andere Ausgangsgrößen als sie in den Schadensfunktionen als Eingangsgröße Verwendung finden. Über entsprechende Transformationsvorschriften, welche aus meteorologischer Fachliteratur abgeleitet wurden, konnte allerdings schließlich die benötigte Konsistenz sichergestellt werden.

Tabelle 7

Zusammenfassung der im Werkzeug verwendeten Daten

Bereich	Gefährdung (Quelle)	Vulnerabilität (Quelle)	Verarbeitung
Sturm	Extremwertstatistiken aus Regionalem Klimamodell CCLM (Antrieb ECHAM5-OM), zwei Zeiträume (KIT)	Gebäudespezifische Schadensfunktionen und Anpassungsfaktoren (Versicherungswirtschaft)	---
Hagel	Blitzgefilterte Radarreflektivitätswerte (RX-Produkt) (DWD, KIT)	Schadensfunktionen und gebäudespezifische Anpassungsfunktionen (*Hohl*, 2001 und Versicherungswirtschaft)	Extremwertstatistische Auswertung und Transformation entsprechend Schadensfunktionen
Hochwasser	Standortgenaue Modellierungen zur Hochwassergefährdung (Niederschläge aus ECHAM5-CLM), zwei Zeiträume (GFZ)	Empirische Schadensfunktionen FLEMOps+ aus aktueller Forschung (u. a. *Merz, Kreibich, Thieken*)	Umsetzung der Hochwassergefährdung in raumbezogenes Datenverarbeitungssystem
Hitze	Anzahl von Hitzetagen aus Regionalem Klimamodellensemble (REMO, CCLM, WETTREG), zwei Zeiträume (DWD)	---	Klassifizierung der Gefährdung
Waldbrand	Gegenwärtige Gefährdung und Trend aus Klimamodellensemble (REMO, CCLM, WETTREG, STARS) (DWD)	---	Klassifizierung der Gefährdung
Starkniederschlag	Wiederkehrintervalle von Starkniederschlagsereignissen aus KOSTRA-DWD-2000 (DWD)	---	Klassifizierung der Gefährdung
Blitzschlag, Überspannung	Gefährdungsdaten (Versicherungswirtschaft)	---	Klassifizierung der Gefährdung

Quelle: Eigene Darstellung

Sturm

Gefährdung

Hintergrundinformationen

Das Risiko wird im Kontext von Stürmen - analog zur Vorgehensweise bei anderen Naturgefahren - in Form einer **Risikokurve** formuliert. Diese stellt den Schaden dar, der mit einer gegebenen Wahrscheinlichkeit innerhalb eines Jahres überschritten wird. Da die durch Wind hervorgerufenen volkswirtschaftlichen Schäden zu fast 90 % auf **Winterstürme** zurückzuführen sind[66] und während dieser die höchsten Windgeschwindigkeiten auftreten, beziehen sich viele Analysen der Windgefährdung allein auf die Wintersturmsaison zwischen September und April. Tornados werden zwar in erster Linie mit Gebieten in den USA assoziiert, treten aber mitunter auch in Deutschland auf (wenn auch in durchschnittlich kleineren Formen) und können erhebliche Gebäudeschäden hervorrufen. Statistiken über die Gefährdung einzelner Gebiete durch Tornados liegen diesbezüglich allerdings nicht vor und müssen bei ImmoRisk somit unberücksichtigt bleiben.

Für das 21. Jahrhundert lassen die Ergebnisse aus **Klimasimulationen** in Deutschland einen Anstieg der Anzahl besonders extremer Wintersturmereignisse erwarten. Hinsichtlich der auftretenden Schäden im Zuge des Klimawandels stellt sich stets die Frage, ob der in der Vergangenheit beobachtete Anstieg der Schäden durch das Wachstum des versicherten Gebäudebestands oder durch klimatische Veränderungen hervorgerufen wurde. Zumindest für die Schäden durch Hurrikans in den USA existieren entsprechende Abschätzungen des Anteils beider **Einflussfaktoren**.[67] Die Entwicklung des Versicherungsbestands wurde dabei über das Bruttosozialprodukt operationalisiert. Danach war der Einfluss der wirtschaftlichen Entwicklung für drei Viertel des Anstiegs der Schäden der letzten 50 Jahre verantwortlich, klimatische Veränderungen für ein Viertel. Dieses Resultat ist allerdings vor dem Hintergrund des starken Wachstums der USA und des noch schwach ausgeprägten Klimawandels (verglichen mit den Prognosen für das 21. Jahrhundert) zu sehen. Die Analyse der Daten ergab nämlich ebenfalls, dass die Schäden letztlich auf die gleiche prozentuale Änderung der durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten sechs bis sieben Mal so stark reagieren wie auf eine vergleichbare Änderung des Bruttosozialprodukts.

Die Windgeschwindigkeit an der Erdoberfläche kann kleinräumig sehr stark variieren und hängt neben der Orographie (also zum Beispiel auf Kuppen anders als in Tälern) auch entscheidend von der Landnutzung ab.[68] Die Gefährdung durch Starkwindereignisse nimmt in Deutschland im Allgemeinen von Süden nach Norden hin zu und erreicht ihr Maximum an der norddeutschen Küste.[69]

Da die schädigende Wirkung des Windes auf Immobilien in starkem Maß von turbulenten Effekten wie Windböen und Wirbeln ausgeht, reicht es nicht aus, lediglich die mittleren Windgeschwindigkeiten zu berücksichtigen. Böen sind für **kurzfristige Windspitzen** verantwortlich, die zum Teil deutlich über den mittleren Windgeschwindigkeiten liegen. Nähere Erläuterungen zu Definition einer Windbö und ihrer Simulation in meteorologischen Modellen findet sich im Anhang.

Berechnung der Hazard-Funktion

Für die Berechnung der Wind-Hazard-Funktion an einem Standort wird an beobachtete oder modellierte Werte der Windgeschwindigkeit eine **extremwertstatistische Wahrscheinlichkeitsverteilung** angepasst. Häufig benutzte Verteilungstypen sind die **generalisierte Pareto-Verteilung** (GPV) bei der Peaks-Over-Threshold-Methode oder die **Allgemeine Extremwertverteilung** (GEV) (vgl. Anhang). Um Aussagen über die zukünftige Gefährdung durch Stürme treffen zu können, reicht es nicht aus, allein Beobachtungen der Vergangenheit zu analysieren. Anstelle von Beobachtungsdaten treten die Ergebnisse von **Simulationen mit Klimamodellen**, aus denen schließlich Extremwertstatistiken abgeleitet werden. Das Vorgehen dabei verläuft prinzipiell analog zu Analysen der Vergangenheit mit ihrer Kombination aus Messdaten und Interpolationen über Windfeldmodelle. Eine Eichung der auf diese Art berechneten Werte erfolgt anhand empirischer Messdaten von Wetterstationen aus der Referenzperiode der Klimamodelle.

(66) Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, 1999

(67) Schmidt et al., 2010

(68) Heneka et al., 2006, S. 722

(69) BBSR, 2010, S. 13

Verwendete Gefährdungsdaten im Werkzeug

Die im ImmoRisk-Werkzeug verwendeten Daten zur Sturmgefährdung basieren auf dem Regionalen Klimamodell COSMO-CLM. Das Sturmrisiko wurde für die beiden Zeiträume 1971-2000 und 2021-2050 bestimmt. Für jeden Zeitraum wurden insgesamt vier Läufe des Regionalen Klimamodells gemittelt. Drei dieser Läufe basieren auf dem Globalen Klimamodell ECHAM5-OM, ein Lauf auf dem Globalen Modell CCCma3. Die (horizontale) räumliche Auflösung des Modells beträgt circa 7 km. Die Bereitstellung erfolgte durch das Institut für Meteorologie und Klimaforschung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

Vulnerabilität

Hintergrundinformationen

Die Gefährdung von Immobilien durch Starkwindereignisse wird im Großteil der verfügbaren Studien nicht auf der Ebene einzelner Immobilien durchgeführt (Schadensgrad als Anteil der Reparaturkosten am Ausgangswert des Gebäudes), sondern in aggregierter Form für größere Gebiete, in der Regel administrative Einheiten, z. B. Landkreise oder Postleitzahlregionen. Diese eher **versicherungswirtschaftliche Sichtweise** führt zu Funktionen, die den in Folge eines bestimmten Starkwindereignisses auftretenden Schaden als Anteil der gesamten Gebäudewerte oder der versicherten Werte in der jeweiligen Region beziffern.

Die Gefährdung einer Immobilie hängt grundsätzlich von einer ganzen Reihe von **Faktoren ab, welche die konkrete Vulnerabilität beeinflussen**. Stärker gefährdet sind höhere Gebäude, Gebäude mit großflächigen oder stark geneigten Dächern, Gebäude mit Dächern ohne Unterverschalung sowie Gebäude in Leichtbauweise. Flachdächer sind durch den möglichen Wechsel von Stau- und Sogdrücken ebenfalls anfällig, so dass die geringsten Risiken bei einer Dachneigung von 30° auftreten. Die Rand- und Eckbereiche vor allem bei Flachdächern sind ebenso wie An- und Aufbauten auf Dächern (Kamine, Dachgauben) durch das verstärkte Auftreten von Wirbeln besonders bedroht. Eine weitere, aber kaum in Modellen abbildbare Gefahr stellen umherfliegende Gegenstände oder umfallende Bäume in der Nähe von Gebäuden dar, vor allem wenn es sich um ältere Exemplare oder Flachwurzler mit geringerer Standfestigkeit handelt. Gebäude in exponierten Lagen sind ebenfalls besonders gefährdet.

Existierende Schadensfunktionen

Die Geschwindigkeit des Windes ist der entscheidende Parameter bei der Abschätzung des Schadens an Immobilien.[70] Wind-Schadensfunktionen auf der Ebene einzelner Gebäude wurden bisher vor allem aus einer eher **ingenieurswissenschaftlichen Sichtweise** betrachtet. Im Mittelpunkt des Interesses steht dabei der Schaden, den ein Gebäude bei einem einmaligen Starkwindereignis erleidet. Um eine Abschätzung der, an einem bestimmten Standort durchschnittlich in einem bestimmten Zeitraum, zu erwartenden Schäden vorzunehmen, müssen neben der Schadensfunktion Informationen über die Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmter Starkwindereignisse vorliegen. Bisherige Ansätze zur Bestimmung durchschnittlicher Schäden basierten in den meisten Fällen auf **Schadenssummen für größere Gebiete** und weniger auf Schäden an einzelnen Gebäuden. Solche räumlich aggregierten Betrachtungen zielen darauf ab, den Anteil des Schadens am Wert des gesamten Gebäudebestands einer Region zu ermitteln. Dazu werden **stark vereinfachte Schadensfunktionen** angesetzt.

Ein möglicher Ansatz geht davon aus, dass die Gebäude in einer bestimmten Region an die dort vorliegende Gefährdungssituation angepasst sind, was sich letztlich auch in entsprechenden Baunormen widerspiegelt. Ausgangspunkt der Überlegung ist, dass das durchschnittliche Gebäude in einer Region mit geringerer Starkwindwahrscheinlichkeit (bspw. in Süddeutschland) eine stärkere Schädigung erfährt als das durchschnittliche Gebäude in einer Region mit höherer Wahrscheinlichkeit (bspw. an der Nordseeküste) bzw. letzteres u. U. gar keine Schädigung erfährt. Entsprechend den Gebäudeanforderungen gemäß der Windlastnorm DIN 1055-4 orientieren sich die meisten Ansätze am sogenannten **98%-Quantil**, d.h. es wird davon ausgegangen, dass die bauliche Anpassung der Gebäude dergestalt ist, dass sie ein Starkwindereignis

(70) Heneka et al., 2010

des örtlichen Wiederkehrintervalls von 50 Jahren ohne Schaden überstehen. Ist die Windgeschwindigkeit höher als diese regional variierende Obergrenze, so tritt eine Schädigung ein. Weitere Informationen zu den in der Literatur benutzten Schadensfunktionen finden sich im Anhang.

Verwendete Schadensfunktionen im Werkzeug

Die Sturm-Schadensfunktionen basieren auf internen Angaben der Deutsche Rückversicherung AG sowie des Gesamtverbands der Deutschen Versicherungswirtschaft GDV. Es handelt sich um regional nicht differenzierte, aus realen Schadenserfahrungen empirisch abgeleitete Funktionen. Anhand der verwendeten Schadensfunktionen wird zunächst ein jährlich zu erwartender Schaden berechnet, der anschließend über sogenannte Anpassungsfaktoren in Abhängigkeit vom Gebäudealter, Gebäudetyp sowie konstruktiven Merkmalen korrigiert wird.

Hagel

Gefährdung

Hintergrundinformation

Durch Hagel entstehen jährlich hohe volkswirtschaftliche Verluste. In Baden-Württemberg ist Hagel bereits die bedeutendste Schadensursache bei Wohngebäuden. Insbesondere schwere Gewitterstürme, die von Hagel begleitet werden, nehmen zu.[71] In Süddeutschland hat das Potenzial für schweren Hagelschlag in den vergangenen Jahrzehnten deutlich zugenommen[72] (vgl. Abbildung 17) und zählt bereits zu den Elementarschadensereignissen mit den höchsten jährlichen Schadenssummen[73].

Entstehung von Hagel

Gewitterwolken sind notwendige Voraussetzung für Hagel, aber nicht in jeder Gewitterwolke, auch als Kumulonimbus-Wolke bezeichnet, muss Hagel auftreten.[74] Gewitter können in Form von Einzel-, Multi- und Superzellen auftreten. Die beiden letztgenannten werden häufig von Hagelschlag begleitet.

Hagelgewitter sind im Verhältnis zu Winterstürmen ein vergleichsweise **kleinflächiges, auf nur wenige Quadratkilometer begrenztes Phänomen**. Dass das Schadenspotenzial trotzdem bedeutend ist, lässt bereits auf eine **hohe Schadensintensität** bezogen auf eine Flächeneinheit schließen. Nähere Informationen zum Entstehungsmechanismus, zur Detektion von Hagelereignissen und ihren schadensrelevanten Parametern finden sich im Anhang.

Messung von Hagelereignissen

Bei Gebäudeschäden gilt allgemeinhin die Hagelkorngröße, die mit einer entsprechend hohen Fallgeschwindigkeit bzw. einer entsprechenden kinetischen Energie einhergeht, als bedeutendstes Kriterium. Folgende vier Ansätze bestehen grundsätzlich zur Erfassung dieser Größen:

- Wetterstationen,
- Ableitung über registrierte Schadensfälle von Versicherern,
- Radardetektion,
- Radiosondenmessungen.

Aufzeichnungen von Versicherern könnten prinzipiell einen wichtigen Beitrag zur Gefährdungsbestimmung liefern, indem von den registrierten Schäden auf die Wiederkehrperioden bestimmter Hagelintensitätsniveaus einzelner Regionen geschlossen würde. Problematisch ist, dass die Datenbanken der Versicherer keinen direkt ursächlichen Zusammenhang zwischen Schäden und beispielsweise Hagelkorngröße registrieren.

Da das ImmoRisk-Werkzeug auf Daten aus Radarmessungen zurückgreift, soll im Folgenden nur auf diese Methode näher eingegangen werden. Die Radargleichung von *Rayleigh* besagt, dass die aus einem Volumen kommende Rückstreuung meteorologisch insbesondere von der Anzahl der streuenden Partikel und im besonderen Maße vom Durchmesser dieser abhängt. Die Messgröße wird bezogen auf ein Raumvolumen als **Radarreflektivitätsfaktor** bezeichnet. Bei Hagelkörnern ist dieser vergleichsweise hoch. So wird üblicherweise ab einem Radarreflektivitätsfaktor von 55 dBZ (Dezibel-Radarreflektivität)[75] davon ausgegangen, dass Hagelbildung möglich ist. Ab 60 dBZ gelten die Aussagen noch eindeutiger, da selbst große Regentropfen dieses Reflektivitätsniveau nicht erreichen.[76] Für nähere Informationen

(71)
Kunz et al., 2009, S. 2294

(72)
Stock, M., 2005, S. 161

(73)
Vgl. Telefoninterview mit Dr. Kunz (20.01.2012)

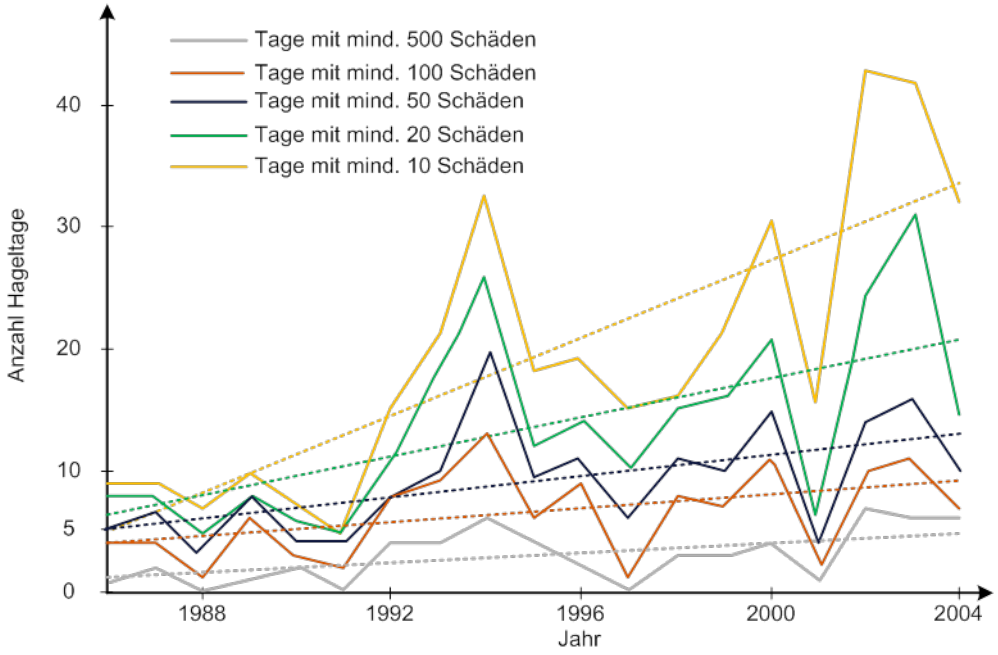
(74)
Häckel, 1999, S. 105, 106, 123f

(75)
$dBZ = 10 * \log(Z)$
$Z = [mm6/m^3]$

(76)
DWD

Abbildung 17

Entwicklung der Anzahl der Hageltage nach Schadensausmaß



Quelle: Stock (Hrsg.), 2005, S. 168

zur Ableitung schadensrelevanter Größen aus den Radarmessungen vgl. Anhang.

Forschungsstand zur Hagelgefährdung

Da das Risiko von Hagelschäden stark von der Anzahl und Größe der niedergehenden Hagelkörner abhängt, kann nicht einfach auf die an einem Standort durchschnittlich auftretende Anzahl der Hageltage zurückgegriffen werden. Um das Risiko von Gebäudeschäden zu schätzen, bedarf es Informationen über die Intensität eines Hagelereignisses. Diese Intensität wird üblicherweise über die mit dem Hagel verbundene kinetische Energie des Ereignisses beschrieben.

Zwar existieren seitens unterschiedlicher Herausgeber (ETH Zürich, GDV, Münchener Rückversicherungsgesellschaft) Kartierungen zur Hagelgefährdung, jedoch war eine Nutzung dieser Quellen im Rahmen von ImmoRisk aus unterschiedlichen Gründen nicht möglich: Geringe räumliche Auflösung, keine Wiederkehrintervalle, Verquickung von Sturm- und Hagelgefährdung, Black-Box-Syndrom der Hagelgefährdungsklassifizierung oder schlichtweg, dass es sich um proprietäre Daten handelt.

Puskeiler (2009) lieferte erste, für eine Risikoabschätzung brauchbare Ergebnisse für den Großteil Baden-Württembergs. Darin wurden ein, zwei-, fünf- und zehnjährliche Wiederkehrperioden bzgl. Radarreflektivitäten ermittelt, die als Proxy für die Hagelgefährdung einzelner Gitterzellen gelten. In Abbildung 18 werden die einzelnen Wiederkehrperioden exemplarisch für vier Regionen dargestellt.

Auf Grund der geringen Stichprobe wurden diese Ergebnisse in einem weiteren Schritt auf fünf Hagelgefährdungsklassen aggregiert.[77] Die Werte spiegeln geglättete mittlere Reflektivitätswerte **1-, 2-, 5- und 10-jährlicher Wiederkehrperioden** wider. Deren räumliche Verteilung ist in Abbildung dargestellt.

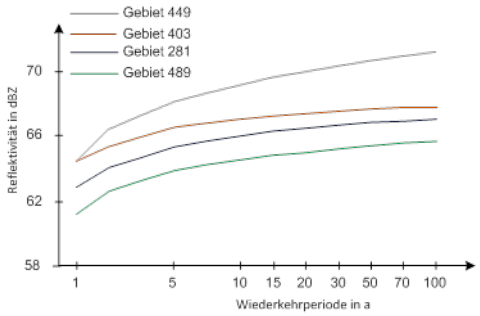
In den ***HARIS*-Projekten (*HAil RISk*)** des *KIT* wird mittels Verschneidung von Radar-, Modell- und Versicherungsdaten (*SV Sparkassen Versicherung AG*) eine flächendeckende Hagelgefährdung für Deutschland vorgenommen (*HARIS-SV*), jedoch auf Basis vergangener Daten. Dabei sollen sowohl Aussagen zur räumlich differenzierten Hagelhäufigkeit als auch zur Hagelintensität[78] (10 km x 10 km- Raster) getroffen werden.

(77) Gefährdungsklasse 1 (GK 1): Z<64,5; GK 2: 64,5-65, GK 3: 65-65,5, GK 4: 65,5-66, GK 5: Z>66

(78) Stucki et al. (2009, S. 4) klassifizieren auf Basis der Hagelkorngrössen nach den folgenden vier Gruppen: < 2, 2 bis < 3, 3 bis < 4, ≥ 4 cm.

Abbildung 18

Reflektivität (in dBZ) mit einer Wiederkehrperiode von 10 Jahren



Quelle: Puskeiler, 2009, S. 80

Verwendete Gefährdungsdaten im Werkzeug

Die Intensität von Hagelereignissen wird im ImmoRisk-Werkzeug über die kinetische Energie beschrieben. Diese kinetische Energie wird aus den mit Hilfe von Radar gemessenen sogenannten Reflektivitätswerten abgeleitet (aus dem HARIS-Projekt). Diese wurden vom Institut für Meteorologie und Klimaforschung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) zur Verfügung gestellt und von IRE|BS extremwertstatistisch ausgewertet. Die Daten basieren auf den Reflektivitätsmaxima aus täglichen Radarmessungen des Deutschen Wetterdienstes (RX-produkt aus allen 16 deutschen Radarstationen) in den Monaten April bis September der Jahre 2004 bis 2011. Daten zur zukünftigen Hagelgefährdung konnten für ImmoRisk leider nicht zur Verfügung gestellt werden.

Vulnerabilität

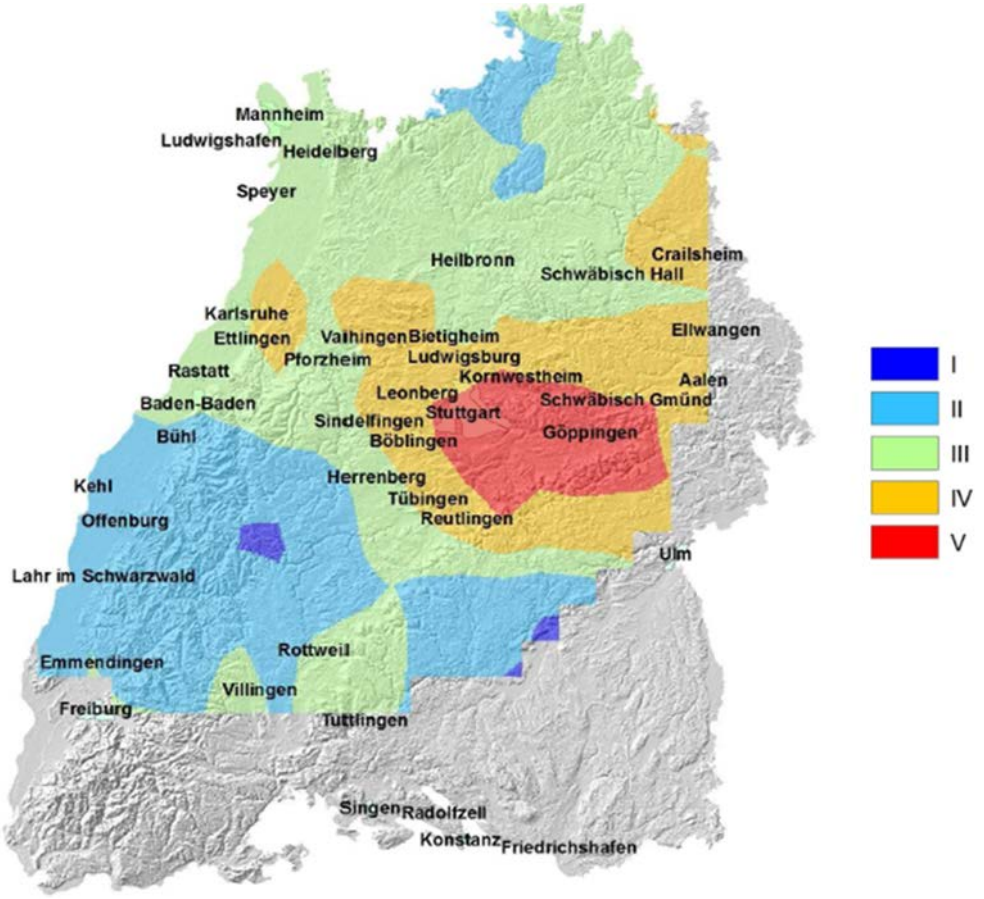
Nach Khan et al. (2009) hängt die Hagelgefährdung von Anzahl und Größe der Hagelkörner, von der umgebenden Windgeschwindigkeit und von der Sturmdauer ab[79]. Wie bereits erwähnt gilt insbesondere die Hagelkorngröße, die mit einer entsprechend hohen Fallgeschwindigkeit bzw. kinetischen Energie einhergeht, bei Gebäudeschäden als bedeutendstes Kriterium.[80] Tabelle 8 gibt einen Überblick darüber, ab welcher Hagelkorngröße bestimmte Schäden eintreten.

(79)
Khan, et al., 2009, S. 6

(80)
Großes Schadenspotenzial bergen auch die großen Kfz-Bestände, die nicht in Unterstellplätzen stehen. Vgl. Deepen, 2006

Abbildung 19

Räumliche Verteilung der Hagelgefährdungsklassen



Quelle: Kunz, Puskeiler, 2010

Die hervorgerufenen Schäden variieren ferner je nach orographischen Verhältnissen, Hagelsturmrichtung, Exposition des Gebäudes oder Abschattung des Bauwerks durch Bäume. Die Vulnerabilität eines Gebäudes wird somit von einer Vielzahl von Faktoren charakterisiert. Bau- und Nutzungsart beeinflussen ebenso die Anfälligkeit eines Gebäudes.[81] In Abgrenzung zu (Winter-) Stürmen spielt beim Hagel die **Widerstandsfähigkeit der verwendeten Baumaterialien** an der Gebäudehülle die dominierende Rolle[82]. Dies bestätigt die vom BBSR herausgegebene Studie „Klimaangepasstes Bauen – Kriteriensteckbrief '*Widerstandsfähigkeit gegen Naturgefahren: Wind, Starkregen, Hagel, Schnee/feuchte Winter und Hochwasser*'".[83] Diesem Katalog folgend dominiert die Widerstandsfähigkeit des Dachmaterials. Je nach Hagelkorngröße können die einzelnen Gebäudeteile entsprechend durchschlagen werden. Moderne Gebäudeelemente wie Wintergärten oder Dachfenster provozieren potenzielle Hagelschäden. Dabei können direkte Hagelschäden durch indirekte, infolge begleitender Winde oder Regen, deutlich vergrößert werden.

Tabelle 8

Größe des Hagels und typische Schadenswirkungen von Hagelkörnern

Durchmesser [cm]	Schadenswirkung
0,5 - 2,0	Kaum Schäden, leichte Schäden an Pflanzen
2,0 - 3,0	Erste Schäden an Gewächshäusern und Autos, Obst und Gemüse werden stark geschädigt
3,0 - 4,0	Große Lackschäden an Autos, Glashäuser werden zerstört, Leichtdächer werden durchlöchert, Äste brechen, Vögel werden erschlagen
4,0 - 6,0	Fenster und Glasüberdachungen gehen zu Bruch, stark verbeulte Autos, Schäden an Flugzeugen
6,0 - 8,0	Dachpfannen brechen, signifikante Gebäudeschäden (Fassaden, Metallverkleidungen, Fensterrahmen), schwere Verletzungen möglich
8,0 – 11,0	Erhebliche Schäden an Flugzeugen, große Gefahr für Mensch und Tier, Gehwegplatten zerstört, schwere Waldschäden
> 11,0	Große Lebensgefahr für Mensch und Tier, Schäden an Gebäudesubstanz

Quelle: Münchener Rückversicherungsgesellschaft

Schadensfunktionen

Da die Hagelgefährdung in den mitteleuropäischen Breiten im alpinen Raum am stärksten ausgeprägt ist, verwundert es kaum, dass die meisten bisherigen Ansätze zur Bestimmung von Schadensfunktionen aus der Schweiz stammen. Die von Hohl (2001)[84] empirisch anhand mehrerer Hagelstürme in der Schweiz ermittelten Schadensfunktionen stellen einen Zusammenhang zwischen der aus Radardaten abgeleiteten kinetischen Hagelenergie und dem dabei beobachteten Schaden her. Nähere Erläuterungen zu diesen Schadensfunktionen, die auch im ImmoRisk-Werkzeug eingesetzt werden, finden sich im Anhang.

Neben diesem Bottom-Up-Ansatz besteht grundsätzlich auch die Möglichkeit eines Top-Down-Ansatzes, indem Schadensfunktionen herkömmlich über Versicherungsdaten geschätzt werden. Im Zuge des *CEDIM*-Projekts des *KIT* wurde beispielsweise auf **Schadensdaten der *SV Sparkassenversicherung*** zurückgegriffen. Aus diesen können, je nach Stichprobengröße, entsprechend dezidierte Schadensfunktionen abgeleitet werden. Problematisch ist jedoch die Herstellung eines funktionalen Zusammenhangs zwischen Gefährdung und Schaden über die zeitliche Dimension, da Schäden zum Teil erst mit deutlichem Verzug bei den Versicherungen gemeldet werden.

Verwendete Schadensfunktionen im Werkzeug

Für das ImmoRisk-Werkzeug wurde auf die von Hohl abgeleiteten Schadensfunktionen zurückgegriffen (s. o.). Die Funktionen wurden für die Übertragung nach Deutschland entsprechend angepasst und durch Anpassungsfaktoren (Quelle: diverse, veröffentlichte Quellen der deutschen Versicherungswirtschaft) ergänzt.

(81) Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen (Hrsg., 2007): Ca. 90% der Schäden entstehen an Wohngebäuden. Bürogebäude betreffen 3% der gemeldeten Schäden, ihr finanzieller Gesamtschaden jedoch bei 12%.

(82) Schiesser et al., 1999, S. 11ff und vgl. Stucki et al., 2009, S. 6 und Expertenbefragung Thomas Egli, 14.02.2012

(83) BBSR, 2010, S. 75f

(84) Hohl, 2001, S. 84

Überschwemmungen

Gefährdung

Hintergrundinformationen

Damit die möglichen Schäden auf der Ebene einzelner Immobilien geschätzt werden können, bedarf es detaillierter Kartierungen der lokalen Gefährdung durch Hochwasser, in Form von Wiederkehrwahrscheinlichkeiten für bestimmte **Überflutungsszenarien** (in erster Linie der lokalen Wassertiefen). Die gegenwärtige Gefährdungssituation an einem bestimmten Ort lässt sich dabei mit Hilfe extremwertstatistischer Verfahren aus **historischen Pegelständen** ableiten. Um allerdings auch eine Hazard-Funktion für Gebiete mit schlechterer historischer Datengrundlage aufzustellen und Aussagen für die zukünftige Bedrohung im Kontext des Klimawandels abzuschätzen, bedarf es **komplexer** Modellierungen. Insbesondere für kleinere Einzugsgebiete sind häufig keine ausreichend langen Zeitreihen vorhanden und für viele Gebiete fehlen Messungen völlig.[85]

Verluste in Folge hydrologischer Ereignisse, welche Sturzfluten, Flusshochwässer, Sturmfluten und Massenbewegungen umfassen, waren im Jahr 2010 weltweit für 29 % aller entstandenen Schäden durch Naturkatastrophen (150 Mrd. $) verantwortlich und stehen damit in Ihrer Bedeutung nur unwesentlich hinter geophysikalischen (Erdbeben und Vulkanausbrüche) und meteorologischen Ereignissen (Tropenstürme, Winterstürme, schwere Unwetter, Hagel, Tornados).[86] Bei den versicherten Schäden nahmen die hydrologischen Ereignisse 2010 mit 52 % sogar die Spitzenposition ein.[87] Seit Beginn der 1980er Jahre lässt sich ein deutlicher **Anstieg sowohl der Anzahl als auch der Schadenssummen** feststellen[88] und im Zuge des Klimawandels muss in vielen Regionen der Welt mit einer weiteren Verschärfung der Situation gerechnet werden. In einer gemeinsamen Studie des *Potsdam Instituts für Klimafolgenforschung*, der Freien Universität Berlin, der Universität Köln und des Gesamtverbands der Deutschen Versicherer wurde unter Verwendung von Simulationsdaten zweier regionaler Klimamodelle gezeigt, dass spätestens ab der Mitte des 21. Jahrhunderts in den meisten Regionen Deutschlands mit einem deutlich erhöhten Hochwasserrisiko zu rechnen ist.[89] Die Ergebnisse variieren in Abhängigkeit von den in den regionalen Klimamodellen verwendeten Emissionsszenarien, im Mittel ist jedoch mit einer Verdopplung der Hochwasserschäden zu rechnen (vgl. Abbildung 20). Die steigenden Schadenssummen sind laut dieser Studie insbesondere auf eine **Verkürzung der Wiederkehrwerte** zurückzuführen. So könnte ein 50-jährliches Hochwasserereignis, also ein Hochwasser, das im gegenwärtigen Klima eine jährliche Auftrittswahrscheinlichkeit von lediglich 2 % hat, bis zum Jahr 2100 im Extremfall zu einem 17-jährlichen Hochwasser werden (vgl. Abbildung 21).

Die dramatischen Hochwasserereignisse der letzten beiden Jahrzehnte haben in Verbindung mit entsprechenden theoretischen und technischen Fortschritten zu einer **Intensivierung der Erforschung hydrologischer Modellierungen** geführt. Eine der Hauptaufgaben bei der Erforschung des Hochwasserrisikos ist die Schätzung von Wiederkehrintervallen bestimmter Ereignisse.[90] Im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements werden dabei üblicherweise Ereignisse mit einer Wiederkehrzeit von 100 Jahren erfasst, während Hochwasserschutzanlagen auch noch deutlich selteneren Ereignissen standhalten und entsprechend ausgelegt werden müssen.[91]

Niederschlag als Ursache von Hochwasser

Der Ausgangspunkt eines jeden Hochwassers ist zunächst stets Niederschlag, der in einer bestimmten Region fällt. Dabei spielt sowohl Regen als auch Schnee eine wichtige Rolle, wobei der Einfluss des Schnees zusätzlich von den vorherrschenden Temperaturen abhängig ist. Daten zur Modellierung von Niederschlägen im Rahmen der Abschätzung von Hochwasserrisiken erfolgen dabei unter anderem mit der sogenannten Koordinierten Starkniederschlagsregionalisierung (KOSTRA) des DWD (vgl. 6.3.5).

Eine gemeinsame Studie von PIK, FU Berlin, Universität Köln und GDV zeigt für westliche und südliche Regionen Deutschlands in Zukunft eine Zunahme der Anzahl von Tagen mit Starkniederschlägen.[92] In einigen Regionen Nord- und Ostdeutschlands hingegen rechnen die Forscher umgekehrt mit einem Rückgang der Starkniederschläge und demzufolge auch mit einem Rückgang extremer Abflusswerte.

(85) Büchele et al., 2006, S. 487

(86) Münchener Rückversicherungsgesellschaft, 2010, S. 44

(87) Münchener Rückversicherungsgesellschaft, 2010, S. 44

(88) Münchener Rückversicherungsgesellschaft, 2010, S. 47

(89) GDV, 2011

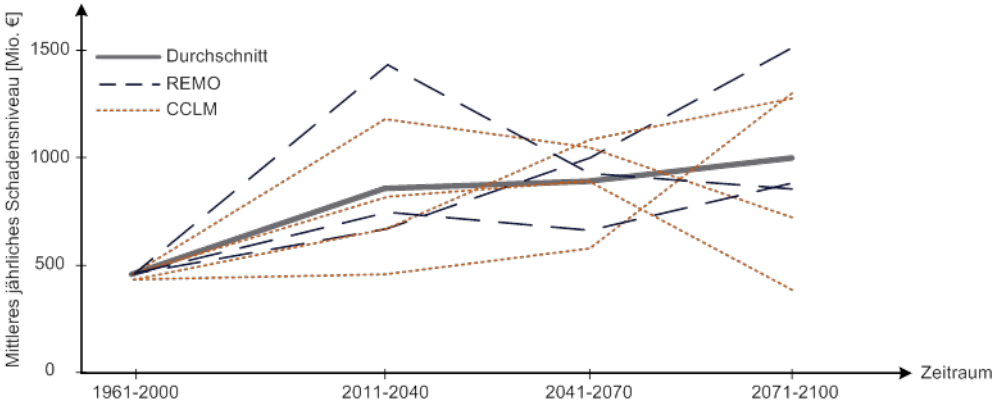
(90) Büchele et al., 2006, S. 487

(91) Büchele et al., 2006, S. 487

(92) GDV, 2011

Abbildung 20

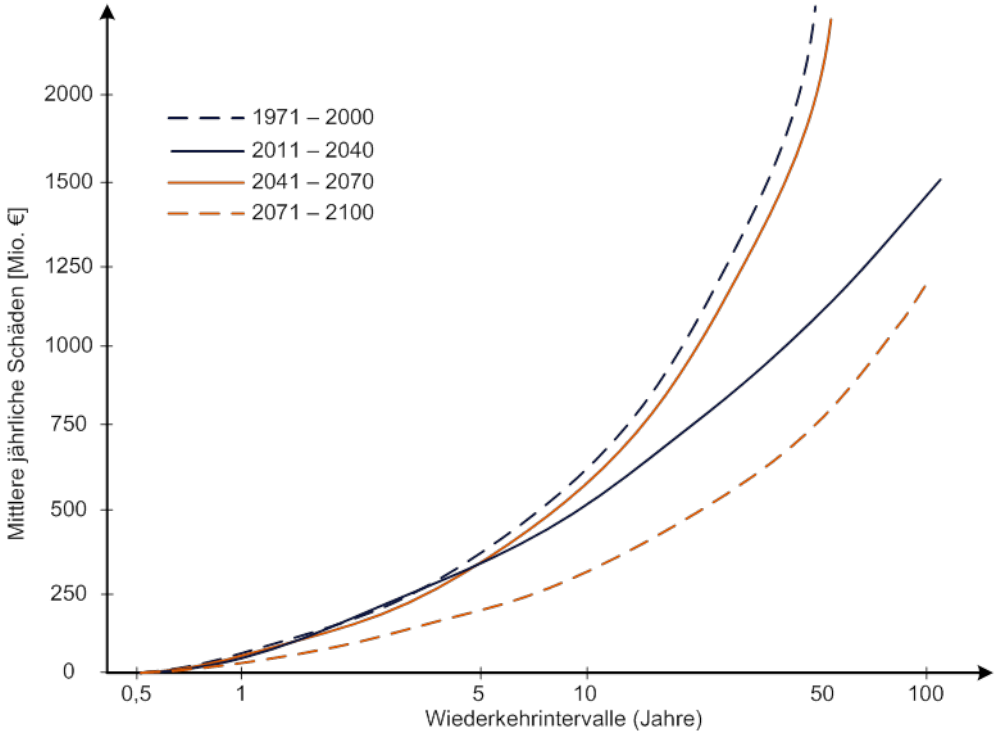
Mittleres langjähriges Hochwasserschadensniveau



Unter Verwendung von sieben Modellläufen der regionalen Klimamodellen CLM und REMO.
Quelle: GDV, 2011, S.18

Abbildung 21

Mittlere jährliche Hochwasserschäden pro Wiederkehrintervall (Referenzperiode und Projektionen)



Quelle: GDV, 2011, S. 21

Die Gefahr von Flusshochwässern ist in erster Linie durch die Niederschlagsverhältnisse im Einzugsgebiet eines Flusses bestimmt. **Sturzfluten** hingegen entstehen eher kleinräumig, vor allem in urbanen Gebieten direkt am Ort ausgiebiger Starkniederschläge. „Sturzfluten entstehen aus meist lokal begrenzten sommerlichen Starkniederschlägen, häufig begleitet von Gewitter, Hagel und Sturmböen, die zu Abflüssen führen, die im städtischen Kanalsystem oder den im urbanen Raum verbliebenen offenen Entwässerungsgräben nicht schadlos abgeleitet werden können.“[93] Durch kurzfristige Überlastungen haustechnischer Systeme wie Regenrinnen und –fallrohre können mitunter erhebliche Schäden entstehen, wenn diese nicht auf die mit extremen Starkniederschlagsereignissen einhergehenden Belastungen ausgelegt sind.[94]

(93) BMBF, 2005

(94) www.urbanesturzfluten.de

Modellierung des Überschwemmungsrisikos

Modellierungen zukünftiger Hochwasserrisiken beginnen stets beim auftretenden **Niederschlag**, simulieren anschließend das **Abflussverhalten** im Gewässernetz und daraus schließlich die auftretenden **Wassertiefen** an einzelnen Standorten. Die Niederschlagswerte werden dabei aus entsprechenden **regionalen Klimamodellen** entnommen und als Randbedingungen in **hydrologische Modelle** eingesetzt.[95] Die daraus resultierenden Werte des Abflusses (in Kubikmetern pro Sekunde) werden schließlich mit Hilfe **digitaler Geländemodelle** und entsprechender Rechenverfahren lokal in Wassertiefen verbunden mit einer bestimmten Eintrittswahrscheinlichkeit umgerechnet. Die auf diesem Weg generierten Wassertiefen wiederum können in einem weiteren Schritt für einzelne Immobilien als Input der jeweiligen Schadensfunktion benutzt werden. Die im ImmoRisk-Werkzeug eingesetzten Daten zur Hochwassergefährdung entstammen eben dieser Modellkette angefangen bei Niederschlägen bis zu Wassertiefen in hoher räumlicher Auflösung.

Die Generierung von Wiederkehrwerten für bestimmte Hochwasserereignisse erfolgt indem eine **extremwertstatistische Wahrscheinlichkeitsfunktion** an die empirischen oder simulierten Werte angepasst wird. Häufig im Kontext von Hochwasser angewandte Extremwertstatistiken sind die generalisierte Extremwerttheorie (GEV) sowie die Gumbel-Verteilung als ein Spezialfall der GEV. Empirische Daten finden vor allem dann Einsatz, wenn beabsichtigt wird, die gegenwärtige Gefährdungssituation abzubilden. Für die Veränderung der Situation im Zuge des Klimawandels werden Niederschlagssimulationen aus regionalen Klimamodellen verwendet und mit Hilfe hydrologischer Abflussmodelle ausgewertet. Da sich das Risiko, das sich durch das Versagen von Hochwasserschutzeinrichtungen ergibt, bisher kaum berechnen lässt, wird auf eine entsprechende Modellierung im ImmoRisk-Werkzeug verzichtet. Weitere Ausführungen zu dieser Thematik finden sich im Anhang.

(95) Hattermann et al., 2012

Verwendete Gefährdungsdaten im Werkzeug

Im Falle von Hochwasser gestaltet sich die Modellierung des zukünftigen Risikos anspruchsvoller als beispielsweise bei Sturm oder Hitze. Zum Einsatz kommt eine ganze Kette komplexer Modelle, beginnend bei modellierten Niederschlägen aus Regionalen Klimamodellen. Diese Niederschläge dienen als Eingabeparameter für ein sogenanntes Abflussmodell, mit dessen Hilfe bereits Aussagen über die statistische Häufigkeit bestimmter Abflussmengen (in m^3/s) an einzelnen Punkten in einem Gewässernetz möglich sind. Jede Stelle eines Flusses besitzt jedoch eine individuelle Beziehung zwischen dem momentanen Abfluss und der dabei auftretenden Wasserhöhe (Pegel), so dass auf entsprechende Erfahrungswerte der entsprechenden Wasserwirtschaftsämter zurückgegriffen wurde. Schließlich bedarf es noch eines sogenannten digitalen Geländemodells, welches das Relief eines Standorts abbildet, um aus dem Pegelstand eines Flusses die dabei an einzelnen Standorten auftretenden Wassertiefen zu modellieren. Das verwendete Geländemodell besitzt eine (horizontale) räumliche Auflösung von 10m x 10m. Die Daten basieren auf dem Kontrolllauf (1960 – 2000) und dem A1B-ECHAM5-CLM-Szenario (2001-2100) und wurden vom Helmholtz-Zentrum-Potsdam (Prof. Dr. Dr. Bruno Merz) zur Verfügung gestellt. Seitens des GDV wurde für die Pilotstandorte von ImmoRisk eine Zuordnung zu den vier Gefährdungsklassen vorgenommen. Eine direkte Berechnung zu erwartender Schäden war daraus zwar nicht möglich, die Daten konnten allerdings zur Validierung der schließlich verwendeten Daten eingesetzt werden.

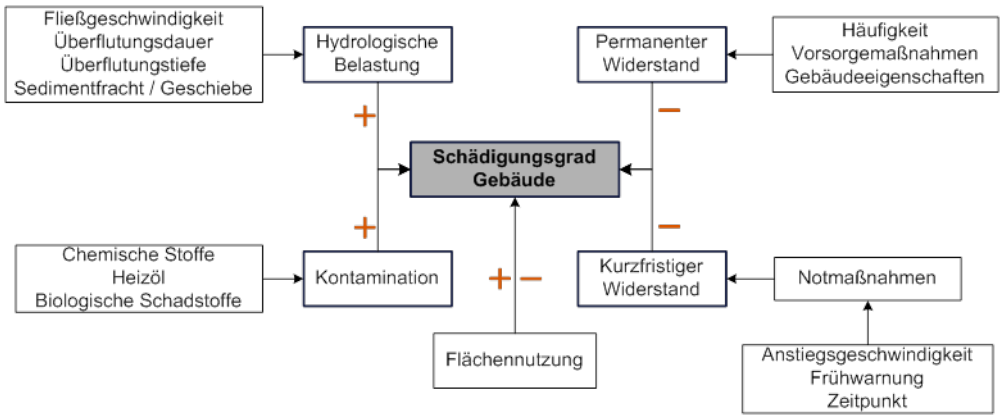
Vulnerabilität

Hintergrundinformationen

Die Schadenswirkung des Wassers auf eine Immobilie ist sehr vielfältig und ihr Ausmaß hängt von einer ganzen Reihe von Parametern der Immobilie aber auch der Überflutung ab.

Abbildung 22

Schadenbeeinflussende Faktoren von Hochwasserschäden



Quelle: Ergänzt nach Kreibich et al., 2005

Zur funktionalen Ableitung der entsprechenden Zusammenhänge lassen sich prinzipiell zwei Methoden unterscheiden: Erstens solche, die auf **empirischen Schadensereignissen** basieren und die aufgetretenen Schäden zu den Eigenschaften der Überflutung und der Immobilie in Relation setzen. Bei der zweiten Methode wird versucht, mit Hilfe eines **synthetisch-analytischen Ansatzes** direkt jene Prozesse, die zu materiellen Schäden führen können, für verschiedene Wassertiefen theoretisch zu identifizieren und ihre Kosten zu beziffern.[96] Eine Reihe von Aussagen lässt sich gleichermaßen für die empirischen wie auch für die synthetischen Schadensfunktionen treffen, weshalb im Folgenden zunächst einige allgemeine Anmerkungen zur Schadenswirkung durch Überflutung gemacht werden sollen. Anschließend werden die im Werkzeug verwendeten empirischen Schadensfunktionen detailliert beschrieben, während für weiterführende Informationen zu den synthetischen Schadensfunktionen auf den Anhang verwiesen wird.

Charakterisierung von Hochwasserschäden

Überflutungsschäden lassen sich in **direkte und indirekte Schäden** differenzieren. Direkte Schäden entstehen durch den konkreten Kontakt mit Wasser, während indirekte Schäden „räumlich oder zeitlich außerhalb des eigentlichen Ereignisses auftreten“.[97] Weiterhin kann man **tangible und intangible Schäden** unterscheiden, „je nachdem ob sie monetär bewertet werden können oder nicht.“[98] In der weiteren Folge werden im Rahmen dieser Studie hinsichtlich Überflutung nur die tangiblen direkten Schäden weiter betrachtet. Das Ausmaß der Schädigung hängt prinzipiell von Eigenschaften der Überflutung, der Immobilie sowie einer ganzen Reihe begleitender Umstände ab, welche im Einzelfall nur schwer zu erfassen und zu quantifizieren sind. Abbildung 22 erfasst die wichtigsten Faktoren, die einen Einfluss auf den Schadensgrad ausüben.

Der augenfälligste Parameter der Überflutung, welcher das Ausmaß des Schadens beeinflusst, ist die **Überflutungshöhe**. Die meisten Studien über die Beziehung zwischen der aufgetretenen Flut und dem entstandenem Schaden haben fast ausschließlich diesen Faktor genauer analysiert und quantifiziert – zum Teil mit leichten Modifizierungen anhand der **Dauer der Überflutung**.[99] Erst in jüngerer Zeit wurden weitere Faktoren direkt in die Modelle mit einbezogen. Nach der Wassertiefe bilden die **Fließgeschwindigkeit** und die **Sedimentfracht** die wichtigste Einflussgröße auf die entstehenden Schäden.[100] Neben der direkten Schadenswirkung durch Wasser, kann ein zusätzlicher Effekt von eventuellen **Kontaminationen** ausgehen. Eine nicht zu unterschätzende Rolle spielen des Weiteren der **Zeitpunkt der Überflutung** sowie die **Anstiegsgeschwindigkeit** des Wassers.[101] Aktuelle Forschungsergebnisse weisen einen zusätzlichen Effekt der Jährlichkeit eines Hochwasserereignisses nach, der unabhängig vom Wasserstand in einer Immobilie ist.[102] Auf Seiten der Immobilie selbst üben vor allem die **Grundfläche**, die **Gebäudestruktur** sowie die **Flächennutzung** den größten Einfluss auf die Schadenssumme aus. Weitere, die Schadenswirkung modifizierende Faktoren, beziehen sich vor allem auf die bisherigen

(96) Golz et al., 2011, S. 2

(97) Thieken, 2008, S. 30

(98) Thieken, 2008, S. 30

(99) Kelman et. al, 2004, S. 300

(100) Kelman et. al, 2004

(101) DWA, 2008, S. 97

(102) Elmer et al., 2010

Erfahrungen mit Überflutungen sowie auf mögliche **Vorwarnungen**. Die Verfügbarkeit von Vorwarnungen lässt sich allerdings ebenso wie einige andere Faktoren im Rahmen des ImmoRisk-Werkzeugs nicht adäquat operationalisieren.

Im Folgenden sollen lediglich die durch die Überflutung hervorgerufenen Schäden an der Immobilie selbst berücksichtigt werden. Außen vor bleiben damit Schäden am beweglichen Inventar sowie entstandene finanzielle Verluste infolge von überflutungsbedingten Betriebsausfällen.

Schadenstypen

Bevor die Einflussfaktoren auf die Schadenswirkung näher erläutert werden, soll zunächst eine kurze Übersicht über die unterschiedlichen Typen von flutbedingten Schäden gegeben werden (vgl. Abbildung 23).

Prinzipiell lassen sich drei Typen von Schäden voneinander abgrenzen:[103]

- Feuchte- und Wasserschäden
- Kontaminationen
- Statisch relevante Schäden

Feuchte- und Wasserschäden entstehen durch in die Immobilie eindringendes Oberflächen- und/oder Grundwasser, aber beim Fehlen entsprechender Schutzmaßnahmen auch durch Rückstaueffekte im Kanalisationssystem.[104] Die Folgen des Eindringens von Wasser sind Durchfeuchtungen, Wasserstandslinien, Salzausblühungen, Quellverformungen oder abplatzende Beschichtungen sowie als mögliche Folgeschäden Schimmelpilzbefall, Holzschädlinge oder Korrosionserscheinungen.[105]

Durch eine **Kontamination** des Wassers kann der Schaden bei gleicher Überflutungshöhe nochmals um ein Vielfaches höher ausfallen, da eine Kontamination zu einer Erhöhung des Aufwands bei den Schadensbeseitigungsmaßnahmen führt.[106] Die Kontamination kann ihre Ursache dabei entweder innerhalb der Immobilie selbst oder aber außerhalb haben. Das Flutwasser kann dabei mit chemischen, biologischen oder rein theoretisch auch mit radioaktiven Schadstoffen belastet sein. Die häufigste Art der Kontamination ist allerdings Heizöl, welches aus unzureichend gesicherten Tanks im eigenen Keller austritt. Die Heizöltanks können zum einen aufschwimmen und umkippen wobei Anschlussleitungen abgetrennt werden, zum anderen kann Wasser über Anschlüsse und Leitungen in den Tank eindringen und das Heizöl aufgrund dessen geringerer Dichte aus dem Behälter verdrängen[107]. Im Falle einer Kontamination mit Heizöl ist mit einer Verdopplung bis Verdreifachung der durchschnittlichen Schadenshöhen zu rechnen, wobei die Durchsetzung der gesetzlichen Sicherheitsvorschriften die Schadenshäufigkeit in Zukunft reduzieren dürfte.[108]

Der dritte mögliche durch Überflutungen hervorgerufene Schadenstyp, **statisch relevante Schäden**, ist prinzipiell seltener als die anderen Typen, dafür können die Konsequenzen mitunter umso verheerender sein. Im Einzelnen handelt es sich bei den statisch relevanten Schäden um „Gründungsschäden, Schäden durch hydrostatischen Druck oder durch Aufschwimmen sowie sonstige hochwasserbedingte Überlastungen von Bauteilen.“[109]

Eine detaillierte Beschreibung der Wirkung unterschiedlicher Einflussfaktoren, z. B. Fließgeschwindigkeit, Dauer der Überflutung, Anstiegsgeschwindigkeit und Schutzmaßnahmen, findet sich im Anhang.

Schadensfunktionen

Ebenso wie bei anderen Schadensursachen kann auch beim Hochwasser zwischen einem Brutto- und einem Nettokonzept zur Berechnung von monetären Schäden unterschieden werden.[110] Da im vorliegenden Projekt Schäden auf Objektebene und keine volkswirtschaftlichen Betrachtungen angestrebt werden, findet das Bruttokonzept Anwendung, welches Schäden nicht über Zeitwerte, sondern über **Wiederherstellungskosten** berechnet. Für die konkrete Schadensfunktion sind verschiedene mögliche **Grundtypen** denkbar. Eine Beschreibung einiger unterschiedlicher, existierender aber nicht im ImmoRisk-Werkzeug verwendeter Schadensfunktionen findet sich im Anhang.

Grundsätzlich ist die Berechnung von Schadenswahrscheinlichkeiten mit einer Vielzahl von **Unsicherheiten** verbunden, die sich von jedem Glied der Modellkette zum nächsten fortpflanzen.

(103) DWA, 2008, S. 114

(104) DWA, 2008, S. 114

(105) DWA, 2008, S. 114

(106) DWA, 2008, S. 97

(107) Warm et al., 2007, S. 126

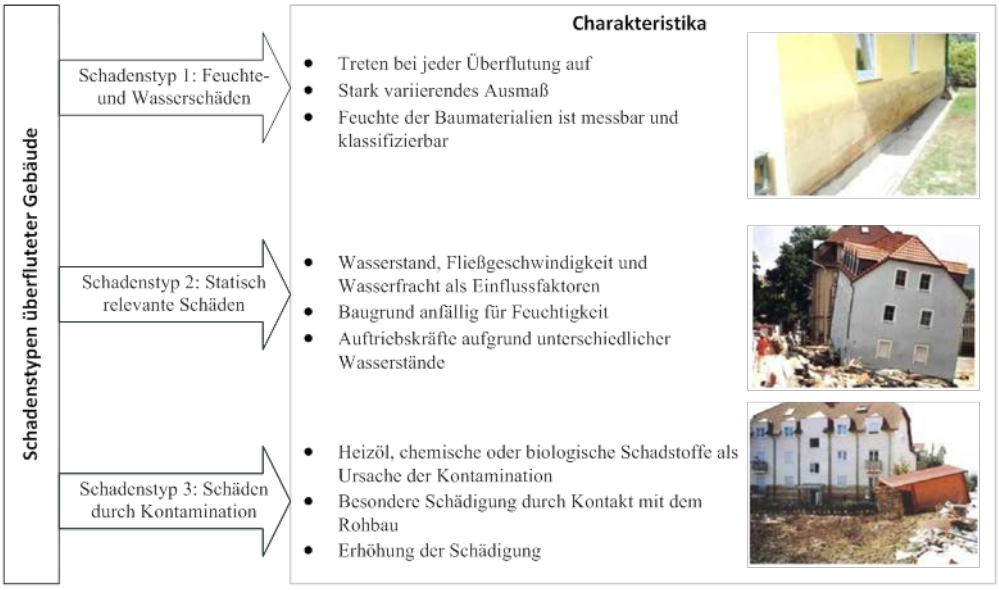
(108) DWA, 2008, S. 114

(109) DWA, 2008, S. 115

(110) Thieken, 2008

Abbildung 23

Überschwemmungsrelevante Schadenstypen an Gebäuden



Quelle: Naumann et al., 2009, S. 3

Abbildung 24 veranschaulicht diesen Sachverhalt ausgehend von der Unsicherheit in der Prognose des Abflusses, über den Zusammenhang zwischen Abfluss und Wasserstand, die Beziehung zwischen Wasserstand und Schaden bis zur abschließenden Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmter Schadensereignisse.

Die im ImmoRisk-Werkzeug verwendeten, empirischen Schadensfunktionen basieren auf historischen Hochwasserereignissen und den dabei aufgetretenen und erfassten Schäden an Immobilien. Eine Vielzahl von Einflussfaktoren wurde mittlerweile in die entsprechenden Modelle miteinbezogen, so dass sehr differenzierte Schadensfunktionen vorliegen.

In der vom Potsdamer Helmholtz-Zentrum aufgebauten Schadensdatenbank HOWAS 21 sind über 5000 Schadensfälle in Folge von Überflutung gespeichert. Darin gespeichert sind vielfältige Informationen die sowohl Angaben zu Eigenschaften des Hochwasserereignisses, des betroffenen Gebäudes, Angaben zur Schadenminderung, zur Datenerhebung sowie zum entstandenen Schaden enthalten. Die Datenbank wird von unterschiedlichen Quellen (u. a. GFZ, DIW, Deutsche Rück) mit Informationen, die entweder aus Begutachtungen oder Befragungen hervorgegangen sind, gespeist und eignet sich aufgrund ihrer einheitlichen Datenstruktur sehr gut zur Analyse der Zusammenhänge rund um Hochwasserschäden. Zahlreiche wissenschaftliche Studien bauen entweder direkt auf den Daten von HOWAS 21 auf[111, 112, 113] oder benutzen den Fragenkatalog als Grundlage für eigene Erhebungen.[114]

FLEMOps und FLEMOps+

Am GeoForschungsZentrum in Potsdam GFZ wurde mit Hilfe von Daten der Hochwasserereignisse an Elbe, Donau und einigen ihrer Zuflüsse das multivariate Schadensmodell **FLEMOps** (*F*lood *L*oss *E*stimation *MO*del for the *p*rivate *s*ector) entwickelt, dass neben der Wassertiefe zusätzliche Parameter in die Schadensfunktion miteinbezieht und sowohl Aussagen für einzelne Gebäude als auch für größere Landnutzungseinheiten erlaubt.[115] FLEMOps modelliert den Schädigungsgrad von Wohngebäuden in Abhängigkeit von der Wassertiefe, dem Gebäudetyp und der Qualität der Gebäudeausstattung. Um zusätzliche Effekte durch eventuelle **Kontaminationen** des Wassers sowie durch **private Vorsorgemaßnahmen** zu berücksichtigen, wurden die Ergebnisse des Grundmodells in einer zweiten Modellstufe durch entsprechende Faktoren variiert (**FLEMOps+**). Die Schäden wurden dabei über die in Anspruch genommenen Reparaturkosten bei der Sächsischen Aufbaubank SAB operationalisiert, Informationen zu Vorsorge und Kontamination wurden über Telefoninterviews mit den

(111) Thieken et al., 2008

(112) MURL, 2000

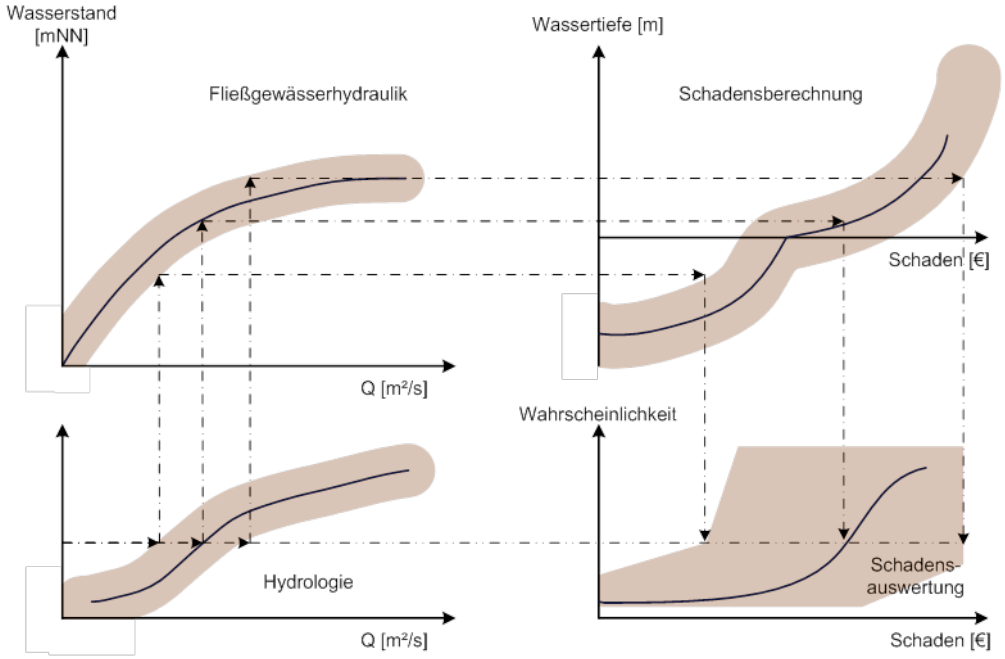
(113) Emschergenossenschaft & Hydrotec, 2004

(114) Thieken et al., 2007

(115) Thieken et al., 2008

Abbildung 24

Schematische Darstellung der Fortpflanzung von Unschärfen bei Schadensabschätzungen



Quelle: DWA, 2008, S. 93

Betroffenen erfragt und die Wassertiefen wurden kombiniert aus Beobachtungen und Modellierungen bestimmt. Das Modell berechnet zunächst relative Schäden, welche im ImmoRisk-Werkzeug mit Hilfe des beschriebenen Wertansatzes in absolute Schäden umgerechnet werden.

Das Grundmodell FLEMOps umfasst folgende Differenzierungen der Merkmale:

- Die **Wassertiefe** wurde in fünf Klassen unterteilt: < 21 cm, 21 – 60 cm, 61 – 100 cm, 101 – 150 cm, > 150 cm.

- Beim **Gebäudetyp** wurde unterschieden zwischen Einfamilienhäusern, Reihen-/Doppelhäusern und Mehrfamilienhäusern.

- Hinsichtlich der **Gebäudeausstattung** wurden die beiden Klassen „sehr gute Ausstattung“ und „einfach/mittlere Ausstattung“ voneinander abgegrenzt.

Die Daten zur Wassertiefe werden bei der Risikoberechnung im ImmoRisk-Werkzeug den verwendeten Gefährdungsdaten entnommen, während die für FLEMOps(+) benötigten Einordnungen zu Gebäudetyp, -ausstattung und Schutzmaßnahmen den Angaben des Nutzers entstammen. Das Modell prognostiziert erwartungsgemäß einen steigenden Schädigungsgrad des Gebäudes bei höherer Überflutung. Der Schädigungsgrad ist außerdem höher in der Klasse mit sehr guter Ausstattung. Hinsichtlich der Gebäudetypen lassen sich die Aussagen nicht so einfach verallgemeinern. Bei niedrigen Wassertiefen werden tendenziell höhere Schäden bei Mehrfamilienhäusern und niedrigere bei Einfamilienhäusern prognostiziert, bei höheren Wassertiefen dreht sich diese Beziehung allerdings um (vgl. Abbildung 25).

In FLEMOps+ wurden folgende zusätzliche Differenzierungen vorgenommen:

- Keine, mittlere oder starke **Kontamination**.

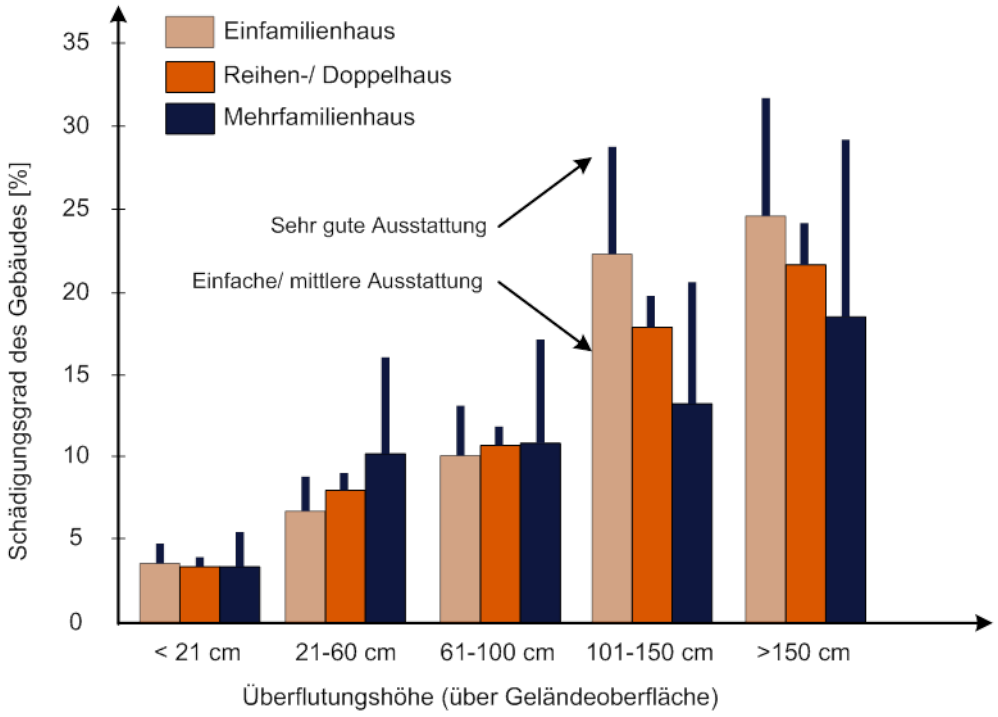
- Keine, gute oder sehr gute **Vorsorge**.

Da die realistische Einschätzung der Gefahr einer Kontamination vom Nutzer des ImmoRisk-Werkzeugs kaum durchführbar ist, werden lediglich die vom Nutzer angegebenen Vorsorgemaßnahmen berücksichtigt. Nähere Informationen zum Einfluss von Kontaminationen auf auftretende Schäden sowie zur Berücksichtigung von Grundhochwasser in Schadensfunktionen finden sich im Anhang.

Verwendete Schadensfunktionen im Werkzeug

Die Risikoschätzung im ImmoRisk-Werkzeug basiert auf den Schadensfunktionen FLEMOps+ und berücksichtigt damit neben der Wassertiefe, Angaben zur Gebäudenutzung sowie zu eventuell getroffenen Hochwasserschutzmaßnahmen an den Immobilien. Der in FLEMOps+ vorhandene Faktor zur Kontamination des Überflutungswassers wurde herausgerechnet, da die entsprechende Gefährdung im Rahmen des Werkzeugs nicht opertionalisierbar ist.

Abbildung 25
Grundmodell von FLEMOps



Quelle: Thieken et al, 2008, S. 119

Hitze

Gefährdung

Die Operationalisierung der Gefährdung durch hohe Temperaturen erfolgt entweder direkt über die Temperatur oder häufig auch über einen sogenannten Hitzeindex, welcher sich aus den Werten der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit zusammensetzt und auch vom Deutschen Wetterdienst eingesetzt wird. Im Vergleich zu anderen Klimafolgen wie Niederschlag oder gar Hagel, lässt sich die zukünftige Entwicklung der Temperaturen mit größerer Sicherheit prognostizieren.[116] Die Bestimmung der Hazard-Funktion basiert einerseits auf historischen und modellierten Daten, aber auch auf lokalen Erfahrungen und theoretischen Überlegungen zum Ausmaß von Ereignissen.[117] Prognosen für die zukünftige Situation in Mitteleuropa gehen von einer Häufung sommerlicher Hitzewellen aus, die je nach Modell dazu führen, dass sogar absolute Extremereignisse wie jenes im Jahr 2003 alle paar Jahre auftreten können.[118] Der DWD hat aus einem Ensemble regionaler Klimamodelle die Veränderung der zu erwartenden Jahresdurchschnittstemperatur in hoher räumlicher Auflösung bestimmt und für die Nutzung im ImmoRisk-Werkzeug zur Verfügung gestellt.

Verwendete Gefährdungsdaten zu Hitze im Werkzeug

Die Angaben zur Gefährdung durch Hitze basieren auf Daten zur Anzahl der jährlichen Hitzetage an einem Standort. Als Hitzetage oder auch „Heiße Tage“ bezeichnen Meteorologen solche Tage, mit einer Tageshöchsttemperatur von mindestens 30 °C. Als Referenzperiode, also zur Einschätzung der gegenwärtigen Gefähr-

(116) Rüttimann et al., 2009, S. 2

(117) Rüttimann et al., 2009, S. 3

(118) Rüttimann et al., 2009, S. 3

dung, wurde der Zeitraum (1970 – 2000) gewählt. Die **im ImmoRisk-Werkzeug ausgegebene** Trendangabe basiert auf der Veränderung der Anzahl jährlicher Hitzetage zwischen dieser Referenzperiode und der Periode 2071 – 2100. Diese zukünftige Periode wurde mit Hilfe eines Ensembles der drei Regionalen Klimamodelle REMO, CCLM und WETTREG abgebildet. Die Daten wurden vom Deutschen Wetterdienst (DWD) zur Verfügung gestellt.

Vulnerabilität

Mit der von den meisten Klimamodellen prognostizierten größeren Wahrscheinlichkeit sommerlicher Trockenperioden und Hitzeereignisse steigen auch die damit verbundenen Gefahren für Immobilien. Die klimatischen Veränderungen können sich auf unterschiedliche Weise schädigend auswirken. Zum einen vermag Hitze zum Beispiel in Form von Bodensenkungen direkten Schaden an Gebäuden zu verursachen, andererseits erhöhen vor allem länger anhaltende Trockenperioden (bei gleichzeitig hoher Temperatur) auch das Risiko von Waldbränden (s. u.). Die durch Hitze hervorgerufenen Risiken liegen nicht nur in einer direkten Schädigung der Bausubstanz, sondern auch in der Verringerung der Aufenthaltsqualität in einzelnen Gebäudeteilen bis hin zur Nichtnutzbarkeit während bestimmter Sommermonate (nach persönlichem Empfinden oder gar nach Arbeitsschutzrichtlinien). Generelle Aussagen zur Gefährdung eines Gebäudes oder einzelner Gebäudeteile lassen sich kaum anhand einfach strukturierter Gebäudemerkmale ableiten. Vielmehr bedarf es einer fachkundigen Begutachtung der jeweiligen Gebäude, um eine qualitative Einschätzung vornehmen zu können.[119] Grundsätzlich kann jedoch festgehalten werden, dass die Lage, die Exposition, die Umgebung (Eigenschaften bezüglich Kühlung, Wärmespeicherung und Abstrahlung) sowie die Bauart von Gebäuden Einfluss auf die Vulnerabilität durch Hitzeeinwirkung haben.[120] Während im vorliegenden Projekt bei anderen Naturgefahren stets nur eine tatsächliche, physische Schädigung der Immobilie betrachtet wird, soll bei dem Aspekt Hitze auch die qualitative Minderung der Aufenthaltsqualität in einzelnen Gebäudeteilen berücksichtigt werden. Dem Nutzer des ImmoRisk-Werkzeugs wird dazu eine abgestufte Bewertung der Gefährdung durch Hitze (operationalisiert anhand der Hitzetage innerhalb eines Jahres) sowie deren zukünftiger Veränderung am jeweiligen Standort angegeben.

(119) Naumann, 2012 (IÖR, Expertenbefragung, 16.12.11)

(120) Rüttimann et al., 2009, S. 7

(121) Wittich, 1998, S. 321

(122) Wittich, 2011, S. 22

(123) Wittich, 1998, S. 324

(124) Wittich et al., 2011, S. 23

(125) Wittich, 1998, S. 322

(126) Wittich, 1998, S. 322

Waldbrände

Gefährdung

In Deutschland ist die **Gefahr**, die für Immobilien von Waldbränden ausgeht, eher gering einzuschätzen, da zum einen das vorherrschende humide Klima generell die Brandgefahr senkt, aber auch da in Deutschland kaum größere Siedlungseinheiten direkt an Wald angrenzen sondern eher von landwirtschaftlich geprägten Flächen umgeben sind.[121] Der letzte Waldbrand größeren Ausmaßes in Deutschland war der niedersächsische Jahrhundertwaldbrand im Jahr 1975 und dank verbesserter Waldbrandbekämpfungsmaßnahmen ließe sich ein ähnlich dramatischer Verlauf wie damals heute wahrscheinlich verhindern.[122] Eine verbesserte Öffentlichkeitsarbeit, der technikbedingte Wegfall bestimmter Zündquellen, die verbesserte Kooperation zwischen beteiligten Einrichtungen und waldbauliche Maßnahmen haben das Risiko zusätzlich verringert, aber auch die Aussagekraft älteren statistischen Datenmaterials geschwächt.[123] Die Häufigkeit und die Größe von Waldbränden haben seit 1977 vor allem dank dieser verbesserten Schutzmaßnahmen abgenommen, während rein klimatisch die Waldbrandgefahr in diesem Zeitraum sogar zugenommen hat (vgl. Abbildung 26)[124]. Nähere Informationen zu den Ursachen von Waldbränden finden sich im Anhang.

Der DWD erstellt eine Reihe von Indizes, welche die Gefahr von Waldbränden anhand von Witterungsverhältnissen und naturräumlichen Gegebenheiten bewerten. Jeder **Index** bewertet auf einer fünfstufigen Skala das Waldbrandrisiko von Stufe 1= sehr gering bis Stufe 5 = sehr hohe Gefahr.[125] Die verwendeten Variablen, welche Eingang in die Berechnung des Waldbrandrisikos finden, sind die Niederschlagssumme, die Schneehöhe, die Lufttemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit, die Windgeschwindigkeit sowie phänologische Eintrittstermine.[126] Die Schwierigkeit der Prognose des zukünftigen Waldbrandrisikos besteht darin, dass der größte Teil der Brände anthropogene Ursachen hat und die erfassbaren klimatischen Faktoren

somit durch das menschliche Handeln verzerrt werden. Die anthropogenen Faktoren fließen in das Waldbrandrisiko ein, „durch eine statistische Aneichung der meteorologischen Kernfunktion an das tatsächlich vorgefundene Waldbrandgeschehen.“[127] Für langfristige Prognosen unterstellt man vereinfachend eine Konstanz dieser Faktoren. Die Gefährdung von Immobilien durch mögliche Waldbrände hängt darüber hinaus ganz stark von der kleinräumigen Lage der Immobilie relativ zum Wald ab. Eine Quantifizierung des Waldbrandrisikos und erst recht dessen Prognose für das Klima der Zukunft können aufgrund der genannten Schwierigkeiten stets nur Anhaltspunkte für das tatsächliche Risiko liefern und müssen im Einzelfall stets durch individuelle Einschätzungen des Immobiliennutzers ergänzt werden. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) hat eine bundesweite **Prognose** des Waldbrandrisikos für den Zeitraum von 2021 bis 2050 durchgeführt.[128] Das Risiko wurde mit Hilfe des kanadischen Fire Weather Index (FWI) und den Ergebnissen von Klimamodellierungen bestimmt. Verwendet wurden alle vier für Deutschland zur Verfügung stehenden regionalen Klimamodelle. Die Modellierungen lassen mehrheitlich ein gegenüber der Referenzperiode von 1971-2000 ein erhöhtes Waldbrandrisiko erkennen, wobei zum Teil allerdings deutliche Unterschiede zwischen den verwendeten Klimamodellen bestehen (vgl. Abbildung 27).[129] Auch von waldbautechnischer und biologischer Seite her bestehen noch Unsicherheiten hinsichtlich der zukünftigen Zusammensetzung des Baumbestands und des „Verhaltens“ der Vegetation beispielsweise angesichts einer erhöhten CO2-Konzentration in der Luft.[130]

Verwendete Gefährdungsdaten zu Waldbränden im Werkzeug

Da sich fast alle ImmoRisk-Standorte in urbanen Gebieten befinden, ist die Gefährdung durch Waldbrände generell eher gering einzuschätzen. Verwendung im ImmoRisk-Werkzeug fanden die oben beschriebenen Gefährdungsdaten und Prognosen des DWD die vom Zentrum für Agragmeteorologische Forschung des DWD zur Verfügung gestellt wurden.

Vulnerabilität

Die Vulnerabilität eines Gebäudes hängt in erster Linie von den verwendeten Baumaterialien ab. Je größer der Anteil von Holz und anderen leicht brennbaren Materialien, desto leichter fängt das Gebäude Feuer und kann dabei erheblichen Schaden bis hin zur totalen Zerstörung nehmen. Quantitative Formulierungen dieser Schädigung in Form einer Schadensfunktion liegen nicht vor. Die Umgebung eines Gebäudes übt zusätzlich Einfluss auf die Gefährdung aus. Das ImmoRisk-Werkzeug kann deshalb vor allem dazu dienen, die gegenwärtige Gefahr von Waldbränden in einem Gebiet anzugeben, verbunden mit einer Prognose der Veränderung dieses Risikos für die Zukunft.

(127) Wittich, 1998, S. 322

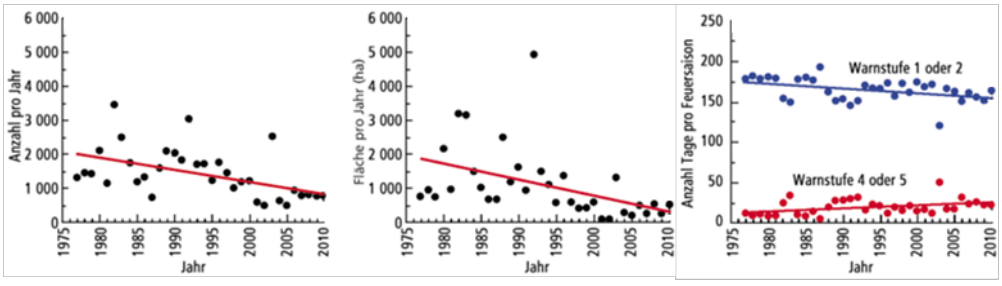
(128) Wittich et al., 2011

(129) Wittich et al., 2011, S. 23

(130) Wittich et al., 2011, S. 24

Abbildung 26

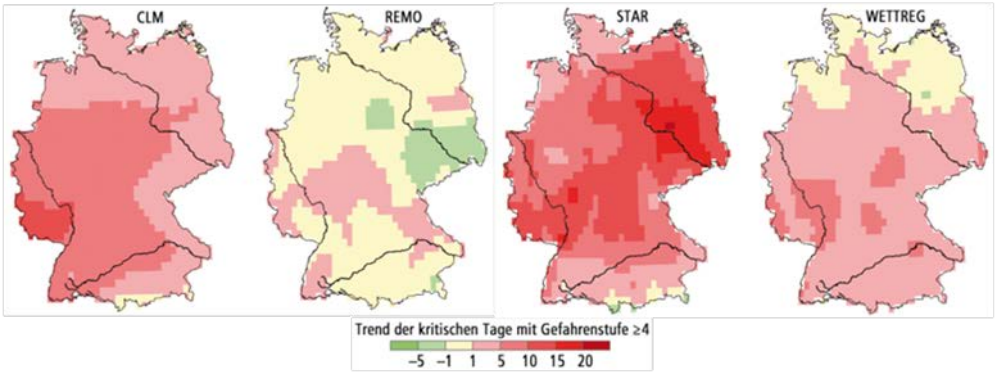
Jährliche Anzahl und Fläche von Waldbränden sowie Häufigkeit der Tage mit hoher und niedriger Waldbrandgefahr



Jährliche Anzahl (links) und Fläche (Mitte) der Waldbrände in Deutschland seit 1977, Häufigkeit der Tage mit Waldbrandgefahrenstufe (FWI) ≤2 bzw. ≥4 (rechts) pro Waldbrandsaison seit 1977
Quelle: Wittich et al., 2011, S. 23

Abbildung 27

Veränderung der Häufigkeit von Tagen mit Waldbrandgefahrenstufe ≥ 4 während der Waldbrandsaison



Die Trendaussage bezieht sich auf den Vergleich der Häufigkeit in der Periode von 1970-2000 und der Periode von 2021 bis 2050 (Zunahme: rot, Abnahme: grün).
Quelle: Wittich et al., 2011, S. 23

Starkniederschlag

Die Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung (KOSTRA) liefert in seiner aktuellsten Version Extremwertstatistiken für Starkniederschläge in einer räumlichen Auflösung von 8,45 x 8,45 km.[131] Die Ergebnisse basieren auf flächendeckenden Messwerten und reichen vom Jahr 2000 zurück bis 1951, so dass valide statistische Aussagen möglich sind. Valide, kleinräumige Daten für die Veränderung der Gefährdung im Rahmen des Klimawandels stehen bisher nicht zur Verfügung. Nähere Informationen dazu sowie zur Generierung der KOSTRA-Daten finden sich im Anhang.

Extreme Starkniederschläge können einerseits besonders in urbanen Gebieten aufgrund der hohen Flächenversieglung innerhalb kürzester Zeit zu sogenannten Sturzfluten mit nicht zu unterschätzendem Schadenspotenzial führen. Gleichzeitig können Dachrinnen unter dem Einfluss der plötzlich auf sie einwirkenden Wassermassen aus ihrer Verankerung gerissen werden, was mit beträchtlichen Schäden verbunden sein kann. Da die Abschätzung der Gefährdung durch Sturzfluten an einer konkreten Immobilie mit äußerst komplexen Abflussmodellierungen und den Gegebenheiten der lokalen Kanalisation verbunden ist, musste im ImmoRisk-Werkzeug auf eine Angabe der Gefährdung durch Sturzfluten verzichtet werden. Schadensfunktionen zur möglichen Wirkung von Starkniederschlägen liegen ebenfalls nicht vor, weshalb für jeden der Pilotstandorte lediglich eine allgemeine Einstufung der Gefahr von extremen Starkniederschlägen erfolgen konnte. Der Nutzer des Werkzeugs kann folglich selbst eine Einschätzung seines Risikos aufgrund der baulichen Eigenschaften seiner Immobilie sowie der lokalen Topographie treffen.

Verwendete Gefährdungsdaten im Werkzeug

Die Einstufung zur Gefährdung durch Starkniederschläge basiert auf Daten des Deutschen Wetterdienstes. Die Daten entstammen dem System KOSTRA-DWD-2000 (Basiszeitraum 1951 – 2000) und beschreiben Niederschlagshöhen und Niederschlagsdauern bestimmter Wiederkehrintervalle. Beispielsweise kann an einem bestimmten Standort statistisch gesehen einmal in 100 Jahren mit 35,1 mm Niederschlag innerhalb von 10 Minuten oder 64 mm in 60 Minuten gerechnet werden.

Blitzschlag und Überspannung

Eine monetäre Angabe zu möglichen Schäden durch Blitzschlag und Überspannung ist aufgrund fehlender Schadensfunktionen wie auch im Fall von Starkniederschlägen nicht möglich. Im ImmoRisk-Werkzeug erfolgt deshalb lediglich eine Angabe zur grundsätzlichen Gefährdungssituation an den jeweiligen Standorten. Die Gefahr durch Blitzschlag basiert auf Statistiken zur regionalen Häufigkeit von (Wolke-Erde-)Blitzen, die vom GDV zur Verfügung gestellt wurden. Die Gefahr durch Überspannung resultiert nicht aus dem direkten Einschlag eines Blitzes in ein Gebäude, sondern auf Einschlägen in der Umgebung, die durch

(131) DWD, 2005

erhöhte Spannungswerte Schäden an elektrischen Geräten hervorrufen können. Die Gefahr durch Überspannung korreliert nicht unbedingt mit der Gefahr durch Blitzschlag und ist aufgrund des besseren Netzausbaus in urbanen Gebieten meist geringer als in ländlichen Räumen.

Zusammenfassung

- Die Berechnung des Risikos erfolgt anhand von Nutzereingaben (zu Standort und Gebäude) und hinterlegten Informationen (zu Gefährdung, Vulnerabilität und Normalherstellungskosten).
- Das ImmoRisk-Werkzeug ist konzipiert als internetbasierte Web-Anwendung.
- Der Nutzer lokalisiert seine Immobilie und legt dadurch die verwendete Hazard-Funktion fest.
- Der Nutzer trifft Angaben zur Immobilie und legt damit für jede Klimafolge eine Schadensfunktion fest. Die Wertermittlung erfolgt ebenso anhand der getroffenen Eingaben des Nutzers in Bezug auf die Immobilien-Angaben.
- Als Ergebnis erhält der Nutzer einen sog. Risikosteckbrief inklusive jährlich zu erwartender Verluste durch Sturm, Hagel und Hochwasser. Die erwarteten Verluste sind für unterschiedliche künftige Zeitfenster (aufgrund des Klimawandels) differenziert. Der Steckbrief enthält außerdem Angaben zur Gefährdung durch weitere Naturereignisse am jeweiligen Standort und deren zukünftiger Veränderung.
- Das Werkzeug bietet umfassende Möglichkeiten zur Verwaltung des erfassten Immobilienbestands.

5 Konzeption für eine deutschlandweite, flächendeckende Risikobewertung

5.1 Anknüpfungspunkte zum ImmoRisk-Werkzeug

Einführende Bemerkungen

Eine deutschlandweite und flächendeckende Bestimmung der Klimarisiken in der Immobilienwirtschaft kann zu einem großen Teil auf der für das Projekt ImmoRisk geleisteten Vorarbeit aufbauen. Der grundlegende Ansatz zur Bestimmung von Klimarisiken durch die Kombination der drei Komponenten **Gefährdung, Vulnerabilität und Wert** konnte während der bisherigen Projektphase validiert werden und sollte daher prinzipiell weiterhin Anwendung finden. Die drei bei ImmoRisk quantitativ untersuchten Klimarisiken **Sturm, Hagel und Hochwasser** sollten auch bei einem flächendeckenden Ansatz im Fokus stehen. Eine qualitative Angabe der Gefährdung durch weitere Naturrisiken wie Blitzschlag, Waldbrand, oder Hitze sollte ebenfalls weitergeführt werden.

In weiterer Zukunft ist schließlich eine Integration weiterer, **nicht klimatisch bedingter Naturrisiken**, wie zum Beispiel Erdbeben, denkbar. Die technische Umsetzung kann wie schon bei ImmoRisk über ein internetbasiertes Werkzeug erfolgen. Dies ermöglicht eine größtmögliche Reichweite und minimiert ansonsten entstehenden Beschaffungs- und Installationsaufwand seitens der Benutzer. Die Entwicklung des Werkzeugs vereinfacht sich durch eine **Weblösung** außerdem dadurch, dass keine unterschiedlichen Versionen für die verbreiteten Betriebssysteme Windows, Linux und MacOS notwendig ist. Lediglich eine Optimierung auf das unterschiedliche Darstellungsverhalten unterschiedlicher Internet-Browser ist notwendig, lässt sich aber vergleichsweise einfach bewerkstelligen.

Bestehende Werkzeuge, die eine deutschlandweite Risikoidentifikation ermöglichen, arbeiten stets auf einer räumlich aggregierten Ebene und erlauben dadurch lediglich Aussagen für größere räumliche Gebietseinheiten wie beispielsweise Landkreise. Einzelne Bundesländer bieten zumindest Werkzeuge an, welche räumlich gut aufgelöste Informationen zur Hochwassergefährdung von Standorten anbieten. Allen existierenden Ansätzen ist jedoch gemein, dass die Information stets nur in Form einer Gefährdung erfolgt und die immobilienwirtschaftlich relevanten Aspekte zu Vulnerabilität und Wert außen vor bleiben. Tatsächliche Analysen des Risikos, wie es im ImmoRisk-Projekt definiert und vom Begriff der Gefährdung abgegrenzt wurde, werden von keinem der öffentlich zugänglichen Werkzeuge angeboten, auch wenn es deren Namen zum Teil nahe legen.

Grundlegende Funktionalität

Das **Benutzerkontensystem** des ImmoRisk-Werkzeugs bietet bereits einen ausgereiften Ansatz zur Anmeldung und Führung eines individuellen Immobilienportfolios. Angemeldeten Nutzern steht dabei ein geschützter, persönlicher Bereich zur Verfügung, in dem Immobilien erfasst, verwaltet und ausgewertet werden können.

Der größere Kreis möglicher Benutzer verlangt natürlich nach einer nochmals gesteigerten Sensibilität hinsichtlich **Datensicherheit** und -speicherung. Bereits für das ImmoRisk-Werkzeug wurde diesbezüglich auf aktuellste Standards zur Vermeidung unzulässiger Datenzugriffe durch Dritte zurückgegriffen und ein zurückhaltender Umgang mit sensiblen Daten gepflegt. Eine Speicherung der Herkunft der Nutzer lässt nichtsdestotrotz interessante Rückschlüsse auf die räumlich variierende Verbreitung des Werkzeugs zu. Um dem Datenschutz Rechnung zu tragen, sollte dabei allerdings auf eine gleichzeitige Speicherung der IP-Adressen verzichtet werden, da diese prinzipiell eine eindeutige Identifikation des zugreifenden Telefonanschlusses erlauben würden.

Die Funktionsweise einer flächendeckenden GIS-Lösung zur **Identifikation von Naturrisiken** gestaltet sich prinzipiell analog zur Vorgehensweise im aktuellen ImmoRisk-Werkzeug. Dieses kann in seiner finalen Fassung grundsätzlich bereits als einfaches Geographisches Informations-

system (GIS) bezeichnet werden, da es die grundlegenden Schritte der Erfassung, Verwaltung, Analyse und Präsentation raumbezogener Daten beherrscht (Definition eines GIS). Zur Risikobestimmung muss in einem ersten Schritt der **Standort einer Immobilie** festgelegt und in einem zweiten Schritt die **benötigten Angaben zu den Eigenschaften der Immobilie** getroffen werden. Die Standortbestimmung kann dabei vom Nutzer entweder direkt über eine interaktive Landkarte oder über die Eingabe einer Adresse erfolgen. Die Erfassung der Immobilieneigenschaften kann analog zum Vorgehen bei ImmoRisk erfolgen, wobei eine stärkere Differenzierung nach den baulichen Eigenschaften der Immobilie anzustreben ist.

Der zur Risikoberechnung notwendige Schritt der **Wertermittlung über Normalherstellungskosten** (NHK) hat sich im ImmoRisk-Werkzeug als valide erwiesen und kann für eine flächendeckende Lösung praktisch ohne Anpassungen verwendet werden. Lediglich einige kleinere technische Herausforderungen ergeben sich durch den Wegfall der Beschränkung auf wenige Pilotstandorte. So fließt in die Bestimmung der NHK über den sogenannten Ortsfaktor die Einwohnerzahl einer Gemeinde, in der sich eine Immobilie befindet ein.

Das im ImmoRisk-Werkzeug eingesetzte System zur Darstellung der erfassten Immobilien eines Benutzers erlaubt grundsätzlich auch die Verwaltung größerer, flächendeckender Immobilienbestände. Die **tabellarische Übersicht über das Portfolio** mit ihren zahlreichen Informationen und Funktionen (Filterung nach Orten, sortieren, Immobilien kopieren etc.) müsste für einen flächendeckenden Ansatz nicht grundlegend geändert werden.

Die bisherige Option einer **kartographischen Übersicht** über alle an einem der ImmoRisk-Pilotstandorte erfassten Immobilien erfährt durch den flächendeckenden Ansatz zahlreiche neue Erweiterungsmöglichkeiten. Grundlage einer solchen Übersicht ist eine Deutschlandkarte mit allen vom jeweiligen Nutzer erfassten Immobilien. Kartenausschnitte mit einem größeren Maßstab (z. B. auf dem Niveau einzelner Städte oder Stadtteile) können durch entsprechende Aktionen des Nutzers aufgerufen werden. Die kartographische Portfolioansicht sollte darüber hinaus die Möglichkeit bieten, die Anzeige nach bestimmten Kriterien zu filtern (zum Beispiel nach Gebäudealter, Nutzungstypen, baulichen Eigenschaften oder Risikogruppen). Eine differenzierte Visualisierung mit gebäudetyp- und/oder risikospezifischen Symbolen wäre ebenfalls möglich.

Neben der Berechnung immobilienspezifischer Risiken sollte eine flächendeckende GIS-Lösung dem Benutzer auch Informationen zur **Gefährdung an einem Standort** liefern und diese auch entsprechend **visualisieren**. Anstelle einer räumlich aggregierten Darstellung von Gefährdungswerten (vgl. CEDIM RiskExplorer) sollte dabei jedoch die volle Auflösung der zugrundeliegenden Gefährdungswerte ausgenutzt werden. Der Nutzer sollte dabei auch die Möglichkeit besitzen, sich beispielsweise die Stärke eines hundertjährigen Sturmereignisses anzeigen zu lassen.

Datenverfügbarkeit

Die im ImmoRisk-Werkzeug verwendeten Daten zu Gefährdung und Vulnerabilität sind grundsätzlich auch für eine flächendeckende Anwendung einsetzbar.

Die Verwendung muss in Bezug auf die Nutzungsrechte jedoch im Einzelnen mit den entsprechenden Institutionen abgestimmt werden. Im Fall von Sturm, Hagel, Hitze und Starkniederschlag kann aufgrund der zunehmenden Verbesserung der Verfügbarkeit von Daten aus Klimamodellen prinzipiell mit einer vergleichbaren oder sogar besseren Qualität der Gefährdungsdaten, wie für die im ImmoRisk-Projekt untersuchten Pilotstandorte, gerechnet werden. Bei den im ImmoRisk-Werkzeug verwendeten Daten zur gegenwärtigen und zukünftigen **Hochwasser-Gefährdung** handelt es sich jedoch um komplexe Modellierungen, die gesondert für jeden Standort erstellt und vom *Helmholtz-Zentrum-Potsdam* zur Verfügung gestellt wurden. Die Modellkette umfasst dabei Niederschlags-, Abfluss- und Wasserstandsmodellierungen, was mit einem erheblichen Aufwand verbunden ist. Eine flächendeckende Generierung dieser Daten ist im Rahmen eines realistischen Budgets nicht umsetzbar. Als Alternative kommen bereits existierende Daten in Frage, wobei diese nur in wenigen Einzelfällen Aussagen über die zukünftige

Gefährdung enthalten. Potentielle Bezugsquellen für die Daten könnten einerseits Gebietskörperschaften (insbesondere Bundesländer und Gemeinden), andererseits der GDV sein. Die Bundesländer sind im Zuge der EU-Hochwasserrahmenrichtlinie verpflichtet, eigene Gefährdungskartierungen zu erstellen. Einige Bundesländer (bspw. Baden-Württemberg und Sachsen) sind dabei deutlich weiter fortgeschritten als andere. Diese Daten könnten, entsprechende Genehmigungen vorausgesetzt, für einen schrittweisen, räumlichen Aufbau des Systems benutzt werden.

5.2 Spezifika einer flächendeckenden Identifikation von Naturrisiken

Heterogenität verfügbarer Daten

Um eine möglichst große Tiefe an Gefährdungsinformationen bieten zu können, sollte der Umstand berücksichtigt werden, dass sich die **regionale Verfügbarkeit vorhandener Daten** sehr unterschiedlich gestaltet. Wo entsprechende Informationen vorliegen, sollten diese auch genutzt werden, auch wenn die Datenlage an anderen Standorten nicht vergleichbar ist. Je nach Lage können dem Benutzer dadurch unterschiedliche Informationen angeboten und die maximal mögliche Detailtiefe ausgeschöpft werden. Dabei wird auch dem Umstand Rechnung getragen, dass die Verfügbarkeit von Gefährdungsdaten in Zukunft stetig zunehmen wird, wenn auch vielleicht nicht immer gleichzeitig für das ganze Bundesgebiet.

Eine **Aktualisierung der Gefährdungsdaten** sollte nicht zuletzt deshalb möglichst einfach durchführbar sein. Eine direkte Aktualisierung der Daten durch dazu autorisierte Benutzer kann optional ebenfalls ermöglicht werden, falls Institutionen, die über entsprechendes Fachwissen verfügen und sich zu einer solchen Kooperation bereit erklären, finden lassen. Insbesondere die standortgenaue Bestimmung des Hochwasserrisikos gestaltet sich enorm aufwendig und kann flächendeckend nur unter enormem Aufwand in der gleichen Detailschärfe wie bei ImmoRisk durchgeführt werden. Eine Einbeziehung bisheriger Arbeiten seitens der Bundesländer sowie des Gesamtverbands der Deutschen Versicherungswirtschaft ist deshalb in Erwägung zu ziehen.

Technische Umsetzung

Die größere Datenmenge, welche mit einer flächendeckenden Lösung verbunden ist, verlangt insbesondere nach einer Optimierung **der technischen Infrastruktur** (Hardware und Software). Neben einem schnelleren Server mit mehr Speicherplatz wird dabei insbesondere eine leistungsfähigere Software zur Durchführung der geographischen Rechenprozesse benötigt. Bei diesen Prozessen handelt es sich in erster Linie um die Identifizierung bzw. Zuordnung einer Gefährdung an einem vom Nutzer gewählten Standort (Lokalisierung).

Die anspruchsvollen geographischen Rechenprozesse setzen den Einsatz spezialisierter **Software** sowie spezieller objektorientierter, für die Arbeit mit geographischen Daten optimierter **Programmiersprachen** (z. B. Python) voraus.

Die Umsetzung der notwendigen **Lokalisierung** einer Immobilie gestaltet sich bei einer flächendeckenden Lösung grundsätzlich anspruchsvoller als bei einer Einschränkung auf eine kleine Menge vorgegebener Standorte wie bei ImmoRisk. Grundsätzlich erfolgt die Standortbestimmung aber analog zu ImmoRisk im einfachsten Fall über die Eingabe einer Adresse. Der angegebenen Adresse wird durch die sogenannte **Geokodierung** eine geographische Koordinate zugeordnet, anhand derer die weiteren Schritte der Risikoidentifikation durchgeführt werden. Die Geokodierung kann wie bei ImmoRisk über entsprechende **Programmierschnittstellen** automatisiert werden.

5.3 Naturrisiko-GIS im Dauerbetrieb

Nach erfolgreicher Inbetriebnahme des Werkzeugs gilt es in regelmäßigen Abständen den **Datenbestand zur Gefährdung zu aktualisieren bzw. zu erweitern**. Hierzu sollten im Sinne einer Qualitätssicherung einerseits klare Vorgaben hinsichtlich der Datenformate entwickelt werden, andererseits eine Expertengruppe zur Überprüfung

der Eingangsdaten sowie zur Identifikation von Aktualisierungsintervallen einberufen werden.

Da die Gefährdungsdaten in standardisierten Geodatenbanken hinterlegt sind, hält sich der Aufwand dafür in Grenzen. Die Aktualisierung der Daten sollte vom Auftragnehmer selbst durchgeführt werden. In regelmäßigen zeitlichen Abständen sollte der Auftragnehmer darüber hinaus prüfen, ob aus entsprechender Fachliteratur oder über Experten aus der Versicherungswirtschaft sowie der Ingenieurswissenschaft neuere Schadensfunktionen verfügbar und implementierbar sind.

Sobald eine aktualisierte Version der Normalherstellungskosten verfügbar wird, sollten die entsprechenden Datenbanken ebenfalls aktualisiert werden. Je nach Akzeptanz und Inanspruchnahme des GIS-Werkzeugs ist mit mehr oder weniger großem Aufwand für die Betreuung der Nutzer zu rechnen. Die Betreuung kann entweder dauerhaft durch den Auftragnehmer oder nach entsprechender Einweisung durch entsprechende Fachkräfte des Auftraggebers erfolgen. Eine Einbindung des GIS in entsprechende Informationssysteme des Bundes ist anzustreben.

5.4 Dynamisierung der Datengrundlagen zur Gefährdung und Vulnerabilität

Da die Auswirkungen des Klimawandels immer deutlicher spürbar sind, ist mit einer Intensivierung der Anstrengungen zur Prävention von Naturrisiken seitens der öffentlichen Hand sowie der Versicherungswirtschaft zu rechnen. Im Zuge dieser Entwicklung ist auch mit einer verstärkten Forschungstätigkeit auf dem Gebiet sowohl der Gefährdung als auch der Vulnerabilität absehbar.

Die Verfügbarkeit von Daten aus Klimamodellen wird in Zukunft beständig zunehmen und sollte für die Immobilieneigentümer in Wert gesetzt werden, da dadurch die Unsicherheit in den Abschätzungen möglicher Schäden gesenkt werden kann. Idealerweise würde die Integration neuer Daten zur Gefährdung aber auch zur Vulnerabilität größtenteils automatisiert ablaufen, indem eine zentrale Plattform zur Sammlung der entsprechenden Daten eingerichtet wird. Die Daten könnten dort in einem vorgegeben Format eingespeist werden, um sie nach vollzogener Qualitätskontrolle direkt in die Risikoabschätzung zu integrieren.

5.5 Weiterführende Fragestellungen

Ungeachtet der im Laufe des ImmoRisk-Projekts beantworteten Fragen und der gelösten Herausforderungen ist für die Zukunft und insbesondere für eine flächendeckende GIS-Lösung eine Vielzahl von Vertiefungen denkbar. Einige davon werden im Folgenden exemplarisch vorgestellt:

- **Regionale Differenzierung von Schadensfunktionen:** Bisher erfolgte eine regionale Differenzierung in den Teilbereichen Wertermittlung und insbesondere Gefährdung. Die Vulnerabilität dagegen wurde bisher als über den Raum konstant angesehen. Diese Annahme erscheint zwar plausibler als beispielsweise eine räumlich konstante Gefährdungssituation, entspricht allerdings nicht in jedem Fall der Realität. Unterschiedliche siedlungsstrukturelle Grundtypen und Baustile bedingen eine regionale Differenzierung der Schadensfunktionen insbesondere des Naturereignisses Sturm.

- **Ausdehnung des Projektes auf weitere Nutzungsarten:** Büroimmobilien, Handelsimmobilien, Industrieimmobilien oder verschiedener Sonderimmobilien. Bei Büroimmobilien sollten v.a. moderne Konstruktionsweisen bzw. Materialien wie Glas in der Anfälligkeit der Gebäude Berücksichtigung finden. Bei Anwendung einer weitreichenderen Vulnerabilitätsdefinition gilt es insbesondere bei Industrieimmobilien, mögliche Produktionsausfälle in die Schadensfunktionen zu integrieren, da diese gerade bei Überschwemmungen ein erhebliches indirektes Schadenspotenzial darstellen.

- **Explizite Berücksichtigung von Wärmedämmverbundsystemen:** Die zunehmende Nachfrage nach Wärmedämmverbundsystemen in Kombination mit deren besonderen Anfälligkeit gegenüber Hagelereignissen spricht für eine explizite Berücksichtigung von Wär-

medämmverbundsystemen in den Schadensfunktionen des Naturereignisses Hagel.

- **Erweiterung des Naturereignisses Hitze auf den Teilbereich Vulnerabilität:** Während die Schadensfunktionen von Hagel, Sturm und Überschwemmung über den aktuellen Stand der Wissenschaft relativ gut abgedeckt und entsprechend anwendbar sind, bestehen hinsichtlich der im Zuge des Klimawandels stark zunehmenden Naturgefährdung Hitze entsprechende Forschungslücken auf der Schadensseite. Zwar äußert sich der Schaden weniger am Gebäude selbst, die indirekten Schäden jedoch können erheblich sein und sich beispielsweise für den Eigentümer durch erhöhten Leerstand äußern.

- **Stärkere Berücksichtigung von Vorsorgemaßnahmen bzw. baulicher Anpassungen:** Insbesondere im Bereich Hochwasserschutz werden von staatlicher als auch von privater Seite umfassende Vorsorgemaßnahmen getroffen und bauliche Anpassungen vorgenommen. Die staatlichen Vorkehrungen reichen von Deichbauten bis hin zu Vorwarnsystemen, sind jedoch im Gegensatz zu einer dreigliedrigen Kategorisierung privater Vorkehrungen bisher noch nicht in das Tool integriert. Auch diese dreistufige Klassifizierung kann noch verfeinert werden. Den Investitionskosten der getroffenen Maßnahmen stehen die dadurch verhinderten Schäden gegenüber. Relevant ist ferner der Aspekt der Versicherbarkeit bzw. die Frage der Berücksichtigung von Vorsorgemaßnahmen in den Preisgestaltungskalkülen der Versicherer in ihren Produkten. Entsprechende Operationalisierbarkeiten sollten geprüft werden.

- **Korrelation zwischen einzelnen Extremwetterereignissen:** Im ImmoRisk-Werkzeug werden die einzelnen Naturrisiken isoliert voneinander betrachtet (statistisch ausgedrückt, werden die Ereignisse als „unabhängig“ betrachtet). Das gleichzeitige Auftreten beispielsweise von Hagel in Kombination mit besonders starken Winden birgt jedoch ein zusätzliches Risiko, welches allerdings bisher mit den verfügbaren Klimadaten nicht abgebildet werden kann.

- **Überlegungen hinsichtlich Portfoliodiversifizierung:** Das räumliche Klumpenrisiko auf Grund regionaler Gefährdungskorrelationen sorgt für die grundsätzliche Diversifizierbarkeit des Gesamtrisikos, sofern sich die Objekte des Portfolios über einen möglichst großen Raum verteilen. Dadurch gestaltet sich das Gesamtrisiko geringer als die Summe der Einzelrisiken. Beispielhaft wäre hier die vorherrschende Windrichtung bzw. Zugbahn von Hagelzellen zu nennen.

Zusammenfassung

- Der grundlegende Ansatz des ImmoRisk-Werkzeugs kann auch auf eine flächendeckende Risikobewertung übertragen werden.
- Die Verfügbarkeit flächendeckender Daten gestaltet sich am besten für die Naturgefahren Sturm und Hagel. Generell wird sich die Verfügbarkeit sukzessive verbessern, weshalb das System nicht als geschlossene Lösung aufgesetzt werden sollte.
- Obwohl das an den Pilotstandorten erprobte Vorgehen zur Gewinnung von Hochwassergefährdungsdaten ausgezeichnete Ergebnisse liefert (inklusive Aussagen zum Klimawandel), müssen für einen flächendeckenden Ansatz andere Datenquellen erschlossen werden. Die Methodik einer so hochaufgelösten Modellierung erlaubt sehr gute Aussagen für kleinere Standorte, gestaltet sich jedoch zu komplex für eine deutschlandweite Lösung.
- Der räumlich differenzierten Verfügbarkeit von Gefährdungsdaten ist exemplarisch mit einem modularen System zu begegnen, welches stufenweise erweitert werden kann.
- Die wesentliche Herausforderung ist, neben der Verfügbarkeit von Hochwasserdaten, die technische Umsetzung eines GIS.
- Zur Qualitätssicherung sollten klare Vorgaben für die Datenformate entwickelte werden. Ebenso ist eine Expertengruppe zur Qualitätssicherung der Eingangsdaten (insb. im Bereich der Hazarddaten) als auch in Bezug auf die Identifikation von Aktualisierungsintervallen anzuraten.

- Für die technische Umsetzung können Standardverfahren aus dem GIS-Bereich eingesetzt werden. Die deutschlandweite Geokodierung von Immobilien kann mit Hilfe entsprechender Programmierschnittstellen umgesetzt werden.
- Anspruchsvolle geographische Rechenprozesse setzen den Einsatz spezieller objektorientierter, für die Arbeit mit geographischen Daten optimierter Programmiersprachen (z. B. Python) voraus.
- Langfristig ist eine Integration in die Geodateninfrastruktur des Bundes anzustreben.

6 Schlussfolgerungen und Handlungserfordernisse

Die im Projektverlauf gesammelten Erfahrungen und Erkenntnisse erlauben eine Reihe von Schlussfolgerungen, zeigen aber auch notwendige Handlungsschritte zur Verbesserung der Informationslage auf:

- Die Umsetzung einer flächendeckenden GIS Software zur Berechnung gegenwärtiger und künftiger Gefahren aus Extremwetterereignissen mit Bezug auf einzelne Immobilien in Deutschland ist technisch und inhaltlich möglich.

- Das explorative Projekt ImmoRisk konnte anhand von Pilotprojekten und einer bereits webbasierten Softwarelösung die Machbarkeit erfolgreich aufzeigen sowie im Detail die notwendigen Umsetzungsschritte für eine flächendeckende Lösung darlegen.

- Bisher ist die Branche tendenziell reaktiv und bereitet sich nicht proaktiv auf die absehbaren Veränderungen vor. ImmoRisk konnte einen wesentlichen Beitrag dazu leisten die erwarteten Verluste aus Extremwetterereignissen approximativ aufzuzeigen und somit die notwendige Transparenz zu schaffen um proaktiv einzelobjektbezogene oder Portfolioentscheidungen zu treffen.

- Die Aufbereitung der Datengrundlagen aus den Bereichen Klima (Gefährdung), Schadensanfälligkeit (Vulnerabilität) und Wert im Rahmen des Projektes ImmoRisk erfolgen zu einem Zeitpunkt, zu dem diverse Forschungsprojekte und Aufarbeitungen zu den einzelnen Eingangsdaten erfolgen. Es ist damit zu rechnen, dass die Datengrundlagen deshalb sukzessive erweitert und optimiert werden können.

- Wesentlich ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Forscher und Praktiker der einzelnen Teildisziplinen. Dieser übergreifende Austausch wurde erstmals durch das Projekt ImmoRisk erreicht und sollte fortgeführt werden. Die Immobilienwirtschaft hat sich exemplarisch bisher nicht mit Klimaforschern ausgetauscht. Ebenso war es bis dato tendenziell eine Black Box, wie Sachversicherer zu ihren Prämienhöhen kamen.

- Wesentliches Element zum Erfolg einer flächendeckenden Lösung in Folgeprojekten erscheint die Transparenz der verarbeiteten Daten und die Offenlegung der Berechnungsschritte. Ökonometrisches Verständnis und Kenntnisse über Extremwertstatistiken sind hierfür die zentrale Voraussetzung.

- Klimawandel ist ein intensiv diskutiertes Thema, das gegenwärtig im Fokus der weltweiten Forschergemeinschaft und der breiten Öffentlichkeit steht. ImmoRisk konnte durch Validierung der Ergebnisse auch aufzeigen, dass die errechneten erwarteten Verluste in einer sinnvollen Bandbreite erfolgen. Dem Nutzer der Ergebnisdaten muss jedoch klar sein, dass Aussagen über künftige Klimaveränderungen und daraus abgeleitete jährlich zu erwartende Schäden nur einen richtungsweisenden Charakter haben können und keine exakt vorhersagbare Ziffer darstellen.

- Das Projekt ImmoRisk hat einmal mehr gezeigt, dass das Bewusstsein in der Branche noch gering ist. Aufgrund von mangelndem Problembewusstsein werden immer noch Neubauprojekte initiiert, die in Gefahrenzonen liegen. Die Ergebnisse von ImmoRisk können helfen hier Fehlentscheidungen in der Zukunft zu vermeiden, zeigen Zusammenhänge und Kausalitäten auf und sind so eine dringend notwendige Grundlage für strategische Entscheidungen in der Bau und Immobilienwirtschaft. Bewusstsein für anstehende Veränderungen wird gezielt geschafft.

- Es wird weiterhin eine Herausforderung sein die verfügbaren Datensätze nutzbar zu machen, da diese von einzelnen Forschungseinrichtungen oder Klimaforschern mit Nutzungsrechten belegt sind. Im Rahmen von ImmoRisk konnte gezeigt werden, dass diese Daten weitgehend nutzbar gemacht werden könnten.

- Die ökonomischen Folgen des Klimawandels werden zu einer zusätzlichen Belastung der Wohnbevölkerung führen, die sich in erhöhten Prämien für Versicherungen, höheren Verlusten durch Schäden sowie ggf. auch zusätzlichen Kosten für angepasste Bauweisen oder Sicherungsmaßnahmen widerspiegeln. Werkzeuge wie das ImmoRisk-Tool machen die Risiken des Klimawandels für Immobilieneigentümer transparent und ermöglichen es, diese in ihren Investitions- und Bewirtschaftungsstrategien zu berücksichtigen.

- Neben der gegenwärtigen Belastung durch den Klimawandel wurde deutlich, dass sich insbesondere zukünftige negative Auswirkungen abzeichnen, da an fast allen Pilotstandorten und untersuchten Naturrisiken deutliche Anstiege der zu erwartenden Schäden festgestellt werden konnten. Ein proaktives Verhalten aller Stakeholder ist somit wesentlich.

- Generell wurde im Rahmen des Projektes auch deutlich, dass die Unterstützung der weiteren Klimaforschung mit öffentlichen Mitteln wesentlich ist, da bisher z. B. entweder keine validen Daten über die Änderung der Gefährdung im Rahmen des Klimawandels (Bsp. Starkregen) oder sogar selbst für die Gegenwart bisher nur erste Abschätzungen (Bsp. Hagel) zur Verfügung stehen.

Abkürzungsverzeichnis

AEL	Annual expected loss
allg.	allgemein
BBK	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumentwicklung
BBSR	Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BGF	Bruttogrundfläche
BKI	Baukostenindex
BMVBS	Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAPE	Convective Available Potential Energy
CC	Climate change/Klimawandel
CEDIM	Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology
CERA	Center for Environmental Risk Assessment - Datenbank für Klimamodellierungen
CIN	Convecive Inhibition Parameter
CLM	Climate Limited-area Modelling
CORINE	Coordinated Information on the European Environment
d. h.	das heißt
dBZ	Dezibel Radarreflektivität
DCI	Deep Connected Index
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
DKRZ	Deutsches Klimarechenzentrum
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECHAM5	globales Klimamodell - European Center Hamburg Modell
EKINPIX	Kinetische Hagelenergie
EL	expected loss/erwarteter Verlust
engl.	englisch
etc.	etcetera
EVS	European Valuation Standards
ExWoSt	Experimenteller Wohnungs- und Städtebau
FLEMOcs	Flood Loss Estimation Model for the Commercial Sector
FLEMOcs+	Flood Loss Estimation Model for the Commercial Sector + weitere Faktoren
FLEMOps	Flood Loss Estimation MOdel for the private sector
FLEMOps+	Flood Loss Estimation MOdel for the private sector + weitere Faktoren (Kontamination des Wassers, priv. Vorsorgemaßnahmen, ...)
FU Berlin	Freie Universität Berlin
FWI	Fire Weather Index
GDV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft
GEV	Generalized extreme value distribution/ Allgemeine Extremwertverteilung
GFZ	GeoForschungsZentrum
ggf.	gegebenenfalls
GHW	Grundhochwasser
Gif	Gesellschaft für Immobilienwirtschaftliche Forschung e. V.
GIS	Geografische Informationssysteme
GND	Gesamtnutzungsdauer
GPV	Generalisierte Pareto-Verteilung
ha	Hektar
HARIS	Hail Risk/Hagelgefährdung
HOWAS 21	Hochwasserschadensdatenbank
HQ_{100}	Abfluss während eines hundert-jährigen Hochwassers
HQ-Kumul	Hochwasserschadensmodell
i. d. R.	in der Regel
i. e. S.	im eigentlichen Sinne
i. S.	im Sinne
ICE	Institution of Civil Engineers
IKSR	Internationale Kommission zum Schutz des Rheins
insb.	insbesondere
IÖR	Leibnitz-Institut für Ökologische Raumentwicklung
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRE|BS	International Real Estate Business School
KAMM	Karlsruher Mesoskaliges Modell
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
km	Kilometer
KO-Index	Konvektionsindex
KOSTRA	Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung
LBG	Liegenschaftsbewertungsgesetz (Österreich)
LGD	loss given default
LR	Loss ratio
mNN	Meter über Normal Null
Mrd.	Milliarde
NFK	Niveau der freien Konvektion
NHK	Normalherstellungskosten
NNA	Niveau des neutralen Auftriebs/ Gleichgewichtsniveau
NwIG	Neuwertversicherung für Industrie und Gewerbe
o. ä.	oder ähnliche
o. g.	oben genannt
p. a.	per annum (pro Jahr)
PD	probability of default/ Ausfallswahrscheinlichkeit
PII	Potential Instability Index
PIK	Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung
POT	Peaks-over-threshold
RADOLAN	Radar-Online-Aneichung
RCM	Regionale Klimamodelle (regional climate models)
REGINE	REGionalisierung von NIEderschlagshöhen
REMO	Regionales Klimamodell
RICS	Royal Institution of Chartered Surveyors
RLV	R largest values (r größte Windspitzen jedes Jahres)
RMS	Risk Management Solutions Inc.
RUB	Ruhr-Universität Bochum
s. o.	siehe oben
s. u.	siehe unten
sog.	sogenannte
STAR 2	Statitisches Regionalmodell der 2. Generation
SV	Sparkassen Versicherung AG
SWIM	Hydrologisches Modell (Soil and Water Integrated Model)
SWM	Statisches Windfeldmodell
THW	Technisches Hilfswerk
Tsd.	Tausend
u. a.	unter anderem
u. Ä.	und ähnliches
UBA	Umweltbundesamt
vgl.	vergleiche
WETTREG	Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil

Literaturverzeichnis

Adrian, G.: Parallel processing in regional climatology: The parallel version of the "Karlsruhe Atmospheric Mesoscale Model'' (KAMM). Parallel Computing 25 (1999), S. 777-787

Agrawala, S.; Frankhauser, S.: Putting Climate Change Adaption in an Economic Context. - o. O. 2008., S. 19-28

AIR Worldwide: AIR Inland Flood Model for Germany. - Boston 2011

AIR Worldwide: Severe Storm Models: Severe Thunderstorm & Winter Storm. - Boston 2011

Appraisal Institute: Code of Professional Ethics and Standards of Professional Appraisal Practice of the Appraisal Institute - Chicago 2006

Appraisal Institute: The Appraisal of Real Estate - Chicago 2008

Appraisal Standards Board: Uniform Standards of Professional Appraisal Practice (USPAP) - Washington D.C. 2008

Augter, G.; Roos, M.: Berichte des Deutschen Wetterdienstes 236 - Berechnung von Sturmintensitäten für Deutschland. - Offenbach am Main 2011

Bartels, H.; Dietzer, B.; Malitz, G.; Albrecht, F. M.; Guttenberger, J.: KOSTRA-DWD-2000 Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951–2000) - Fortschreibungsbericht - Offenbach am Main 2005

Benden, J.: Reduzierung der Verwundbarkeit von Gewerbegebieten gegenüber Klimafolgen und Extremwetterereignissen - Hamburg 2011

BKI Baukosteninformationszentrum 2008, Teil 1: Statistische Kostenwerte für Gebäude - Stuttgart 2008

BKI Baukosteninformationszentrum: Abschlussbericht zu aktuellen Gebäudesachwerten in der Verkehrswertermittlung nach NHK 2005 – Stuttgart 2008

Bluemstein, L.: Lightning damages. First Carnegie Pl Library Journal 131(2006) 9, S.18

Bone-Winkel, S.: Immobilienportfoliomanagement. In: Handbuch der Immobilien – Investition. Hrsg.: Schulte, K.-W. - Köln 1998, S. 215-268

Both, A. v.: Die Rolle der Assekuranz bei der Entwicklung regenerativer Energieformen am Beispiel der Windenergie in Deutschland. - Duisburg 2007

Brasseur, O.: Development and application of a physical approach to estimating wind gusts. Mon. Weather Rev., 129 (2001), S. 5–25

Brundtland Commission: Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, Annex of the document A/42/427 – Development and International Co-operation: Environment. - UN General Assembly 1978

Büchele, B.; Kreibich, H.; Kron, A.; Thieken, A.; Ihringer, J.; Oberle, P.; Merz, B.; Nestmann, F.: Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. Natural Hazards and Earth System Sciences, 6 (2006), S. 485-503

Buller, P.S.J.: Wind damage to buildings in the United Kingdom 1970-1976. Building Research Establishment Current Paper. CP42/78, 1978

Bulwien, H.: Überblick über den Immobilienanlagemarkt in Deutschland. In: Handbuch der Immobilien – Investition Hrsg.: Schulte, K.-W. - Köln 1998, S. 37-75

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR): Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel. Vorstudie für Modellvorhaben. Präsentation zum MORO-Projekt des BBSR

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): Förderprogramm des BMBF: Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse. Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten.
Online unter: http://www.urbanesturzfluten.de/projekt/abfluss (09.02.2012)

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten (URBAS), Vorhabensbeschreibung. Online unter: http://www.urbanesturzfluten.de/materialien/051130_Vorhabensbeschreibung.pdf (06.02.2012)

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (Hrsg.): Vulnerabilitätsanalyse in der Praxis – Inhaltliche und methodische Ansatzpunkte für die Ermittlung regionaler Betroffenheiten. In: BMVBS-Online-Publikation 21/2011

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (Hrsg.): Gesamtausgabe der Energiedaten - Datensammlung des BMWi, Letzte Aktualisierung: 06.02.2013

Burns, C.; Meyer-Bullerdiek, F.: Professionelles Portfolio-Management -Stuttgart 2000, S. 23-39.

Christen, P.: Baumaterialien und Bauweisen zur Vermeidung von Gebäudeschäden. In: Veränderung des Klimas und der Gebäudeverletzlichkeit in der Schweiz bis 2050: Erwartete Auswirkungen auf Naturgefahren und Gebäudeschäden. Hrsg.: Interkantonaler Rückversicherungsverband - Bern 2008, S. 24-25

Cofalka, S. A.: Immobilienspezialfonds mit Anlageschwerpunkt in Europa. In: Handbuch Spezialfonds – Ein praktischer Leitfaden für institutionelle Anleger und Kapitalanlagegesellschaften. Hrsg.: Kleeberg, J. M.; Schlenger, C. - Bad Soden/Ts. 2000, S. 569-597

Corti, T.; Muccione, V.; Köllner-Heck, P.; Bresch, D.; Seneviratne, S. I.: Simulating past droughts and associated building damages in France. Hydrol. Earth Syst. Sci. 13 (2009), S. 1739-1747

Corti,T.; Wüest, M.; Bresch, D.; Seneviratne, S. I.: Drought-induced building damages from simulations at regional scale. - Zürich 2011

Crilly, M.: Analysis of a Database of subsidence damage. Structural survey 19 (2001) 1, S. 7-14

Dawson, B.: The complete guide to climate change. - London 2009

Deepen, J.: Schadenmodellierung extremer Hagelereignisse in Deutschland. - Münster 2006

Dehnhardt, A.; Hirschfeld, J.; Drünkler, D.; Peschow, U.; Engel, H.; Hammer, M.: Kosten-Nutzen-Analyse von Hochwasserschutzmaßnahmen; Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Texte 31/08

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hrsg.): Arbeitshilfe Hochwasserschadensinformationen. - o. O. 2008

Deutscher Wetterdienst (DWD) (Hrsg.): RADAR – Meteorologie. Online unter: http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=_dwdwww_aufgabenspektrum_ueberwachung&_state=maximized&_windowLabel=T14607349251144910754179 (08.02.2012)

Deutscher Wetterdienst (DWD) (Hrsg.): Wetterlexikon. Eintrag „Bö“. Online unter: http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/index.htm?ID=B&DAT=Boe (08.04.2012)

Di Mauro, C.; Bouchon, S.; Carpignano, A.; Golia, E.; Peressin, S.: Definition of Multi-Risk Maps at Regional Level as Management Tool: Experience gained by Civil Protection Authorities of Piemonte Region. - 2006

Donat, M. G.: European wind storms, related loss potentials and changes in multi-model climate simulations - Berlin 2010

Donat, M. G.; Leckebusch, G. C.; Wild, S.; Ulbrich, U.: Future changes in European winter storm losses and extreme wind speeds inferred from GCM and RCM multi-model simulations. Natural Hazards and Earth System Sciences 11 (2011), S. 1351–1370

Dong, B.; Dufresne, J-L.; Gualdi, S.; Friedlingstein, P.; Keenlyside, N.; Maheras, P.; Salas, D.; Sutton, R.; Terray, L.: Ensemble-Auswertung von Klimamodellierungen: Online unter: http://ensembles-eu.metoffice.com/docs/Ensembles_final_report_Nov09.pdf (08.02.2012)

Dorland, C.; Tol, R., Palutikof, J.: Vulnerability of the Netherlands and Northwest Europe to storm damage under climate change. Climatic Change, 43 (1999), S. 513–535

Egli, T.: Objektschutz am Gebäude. In: Veränderung des Klimas und der Gebäudeverletzlichkeit in der Schweiz bis 2050: Erwartete Auswirkungen auf Naturgefahren und Gebäudeschäden. Hrsg.: Interkantonaler Rückversicherungsverband - Bern 2008, S. 22-23

Egli, Thomas: Hochwasservorsorge Maßnahmen und ihre Wirksamkeit. - Koblenz 2002

Eklington, J.: Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development. California Management Review, Vol. 36 (1994), No. 2, S. 90-100

Elmer, F.; Thieken, A. H.; Pech, I.; Kreibich, H.: Influence of flood frequency on residential building losses. Natural Hazards and Earth System Sciences, 10 (2010), S. 2145–2159

Emschergenossenschaft & Hydrotec: Hochwasser-Aktionsplan Emscher, Kapitel 1: Methodik der Schadensermittlung - Essen 2004

Falk, B.: Gewerbeimmobilien: Ein differenzierter Markt. In: Immobilieninvestment. Hrsg.: Brunner, M. - Wiesbaden 1997, S. 113-139

Fleischbein, K.; Lindenschmidt, K.-E.; Merz, B.: Modelling the runoff response in the Mulde catchment (Germany). Advances in Geosciences, 9 (2006), S. 79-84

Frankhauser, S.; Agrawala, S.; Hanrahan, D.; Pope, G.; Skees, J.; Stephens, C.; Yasmine, S.: Economic and Policy Instruments to Promote Adaption. - o. O. 2008. S. 85-133

Friedman, J. P.; Harris, J. C.; Lindeman, B. J.: Dictionary of Real Estate Terms. - New York 1997

Funk, M. et. al.: Sachwertverfahren. In: Immobilienbewertung in Österreich. Bienert et. al. - Wien 2007

Gelbtuch, H. C. et al.: Real Estate Valuation in Global Markets. - Chicago 1997

Gesamtverband der Deutschen Versicherer (GDV): Auswirkungen des Klimawandels auf die Schadensituation in der deutschen Versicherungswirtschaft. Kurzfassung Hochwasser. - o. O. 2011

Gesamtverband der Deutschen Versicherer (GDV): Herausforderung Klimawandel - Berlin 2011

Gesamtverband der Deutschen Versicherer (GDV): ZÜRS Geo: Zonierungssystem für Überschwemmungsrisiko und Einschätzung von Umweltrisiken. Online unter: http://www.gdv.de/2008/08/geo-informationssystem-zuers-geo-zonierungssystem-fuer-ueberschwemmungsrisiko-und-einschaetzung-von-umweltrisiken/ (10.02.2012)

Gif (Hrsg.): Wirtschaftsfaktor Immobilien – Die gif legt umfassendes Gutachten zur gesamtwirtschaftlichen Perspektive vor – 2009, Online unter: http://www.openpr.de/news/342806/Wirtschaftsfaktor-Immobilien-Die-gif-legt-umfassendes-Gutachten-zur-gesamtwirtschaftlichen-Perspektive-vor.html (09.02.2012)

Golz, S.; Nikolowsi, J.; Naumann, T.: Flood Vulnerability Analysis of Settlement Structures - Findings from UK and German Case Stdies - Dresden o. J.

Görlich, W.: Grundlagen des offenen und des geschlossenen Immobilienfonds“. Sonderdruck aus NWB-Neue-Wirtschafts-Briefe, Heft 13/98 - Herne/Berlin 1998

Gouldby, B.; Samuels, P.; Klijn, F.; Messner, F.; van Os, A.; Sayers, P.; Schanze, J.: Language of Risk, Project Definitions, EU-FLOODsite-Project Report T32-04-0. - o. O. 2005

Granger, K. (2003): Quantifying Storm Tide Risk in Cairns. Natural Hazards and Earth System Sciences, 30 (2003), S.165-185

Grünthal, G.; Thieken, w, A. H.; Schwarz, J.; Radtke, K. S.; Smolka, A.; Merz, B.: Comparative Risk Assessments for the City of Cologne – Storms, Floods, Earthquakes. Natural Hazards and Earth System Sciences 38 (2006), S. 21–44

Grünthal, G.; Thieken, A.H.; Schwarz, J.; Radtke, K.S.; Smolka, A.; Merz, B.: Comparative risk assessments for the city of Cologne – storms, floods, and earthquakes. Scientific Technical Report STR 04/01, S.286-305 - Potsdam 2004

Haber, G.; Hellerforth, M.: Immobilienanlagen: fremdgenutzter Wohnungsbau. In: Immobilieninvestment. Hrsg.: Brunner, M. - Wiesbaden 1997, S. 89-113

Häckel, H.: Meteorologie - Stuttgart 1999

Haferstock, B.; Rößler, N.; Wellmann, F.: Mittelallokotion und Cash-Flow-Management für Spezialfonds. In: Handbuch Spezialfonds – Ein praktischer Leitfaden für institutionelle Anleger und Kapitalanlagegesellschaften. Hrsg.: Kleeberg, J. M.; Schlenger, C. - Bad Soden/Ts. 2000, S. 673-701

Hattermann, F. F.; Huang, S.; Burghoff, O.; Willems, W.; Österle, H.; Büchner, M.; Kundzewisz, Z.: Modeling flood damages under climate change – a case study for Germany. (eingereicht bei) Natural Hazards and Earth System Sciences

Hattermann, F.F.; Wattenbach, M.; Krysanova, V.; Wechsung F.: Runoff simulations on the macroscale with the ecohydrological model SWIM in the Elbe catchment - validation and uncertainty analysis. Hydrological Processes 19 (2005), S. 693-714

Hatzfeld, F.; Kurz, S.: Klimaangepasstes Bauen - Kriteriensteckbrief „Widerstandsfähigkeit gegen Naturgefahren: Wind, Starkregen, Hagel, Schnee/feuchte Winter und Hochwasser“. Forschungsprogramm „Zukunft Bau“ - Bonn 2010

Helbig, M.: Beiträge zum versicherungsmathematischen Grundwissen. - Karlsruhe 2002

Helten, E.: Stochastische Grundlagen. In: Beiträge zum versicherungsmathematischen Grundwissen. Hrsg.: Helbig, M. - Karlsruhe 2002

Heneka, P.; Hofherr, T.; Ruck, B.; Kottmeier, C.: Winter storm risk of residential structures - a model development and application to the German state of Baden-Württemberg. Natural Hazards and Earth System Sciences 6 (2006), S. 721-733

Heneka, P.; Ruck, B.: Topography effects and storm damage – an analysis of storm damage of past storm events. J. Wind Eng. Ind. Aerod., in review, 2006

Hiernoymus, J.; Kienzle, O.: Portfolio-Selektion und strategisches Immobilien-Management. In: Das große Handbuch des Immobilien-Management. Hrsg.: Falk, B. - Landsberg/Lech 1997, S. 639-663

Hilka, A.; Schnabel, H.: Anforderungen an das Spezialfondmanagement der Zukunft aus Anlegersicht. In: Handbuch Spezialfonds – Ein praktischer Leitfaden für institutionelle Anleger und Kapitalanlagegesellschaften. Hrsg.: Kleeberg, J. M.; Schlenger, C. - Bad Soden/Ts. 2000, S. 899-917

Hipp, C.; Michel, R.: Risikotheorie: Stochastische Modelle und Statistische Methoden. In: Schriftenreihe: „Angewandte Versicherungsmathematik", Heft Nr. 24. - Karlsruhe 1990

Hoffmann, F. W.; Nestel, W. R.; Gerstenmaier, V.: European Property Stocks. -Stuttgart 2000

Hofherr, T.; Kunz, M.: Extreme wind climatology of winter storms in Germany. Climate Research 41 (2010), S. 105-123

Hohl, R. M.: Relationship between Hailfall Intensity and Hail Damage on Ground, determined by Radar and Lightning Observations - Freiburg 2001

Huelman, P.; Corrin, D.: Drying Walls After a Flood document no. 267. Online unter: http://www.extension.umn.edu/info-u/household/BK267.html

IMMOVALUE: Methodologies for Integration of Energy Performance and Life-Cycle Costing Indicators into Property Valuation Practice. Online unter: www.immovalue.org (06.02.2012)

ImmoWertV: Immobilienwertermittlungsverordnung - Verordnung über die Grundsätze für die Ermittlung der Verkehrswerte von Grundstücken vom 19. Mai 2010. - o. O. 2010

Institution of Civil Engineers (ICE) (Hrsg.): Learning to Live with Rivers – Final Report of the ICE's Presidential Commission the Review the Technical Aspects of Flood Risk Management in England and Wales. - 2001. Online unter: www.ice.org.uk/rtfpdf/iceflooding.pdf (10.02.2012)

IVSC International Valuation Standards Committee, International Valuation Standards - London 2007

Jain, V. K.; Guin, J.; He, H.: Statistical Analysis of 2004 and 2005 Hurricane Claims Data. - San Juan 2009

Jain, V.: Anatomy of a Damage Function: Sispelling the Myths. - Boston 2010

Kafali, C.: Regional Wind vulnerability in Europe - Boston 2011

Kahle, E.: Betriebliche Entscheidungen – Lehrbuch zur Einführung in die betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie. - München/Wien 2001

Kaplan, S.; Garrick, J.: Die quantitative Bestimmung von Risiko. In: Risiko und Gesellschaft. Hrsg.: Bechmann, G. - Opladen 1993, S. 91-124

Kelman, I., Spence, R.: An overview of flood actions on buildings. Engineering geology 73 (2004), S. 297-309

Khan, S.; Ljung, G.; Jain, V. K.: Modeling Severe Thunderstorm Risk in the United States. - San Juan 2009

Kippes, S.: Professionelles Immobilienmarketing: Marketing-Handbuch für Makler, Bauträger, Projektentwickler und Immobilienverwalter. - München 2001

Klawa, M.; Ulbrich, U.: A model for the estimation of storm losses and the identification of severe winter storms in Germany, Natural Hazards and Earth System Sciences, 3 (2003), S. 725–732

Kleeberg, J. M.; Schlenger, C.: Die Rolle der Consultants im Rahmen der Spezialfondanlage. In: Handbuch Spezialfonds – Ein praktischer Leitfaden für institutionelle Anleger und Kapitalanlagegesellschaften. Hrsg.: Kleeberg, J. M/Schlenger, C. - Bad Soden/Ts. 2000, S. 871-899

Kleiber W., Simon J.; Weyers G.: Verkehrswertermittlung von Grundstücken. Kommentar und Handbuch zur Ermittlung von Marktwerten (Verkehrswerten) Versicherungs- und Beleihungswerten unter Berücksichtigung der ImmoWert V, 6. - Köln 2010

Kleiber, W.; Simon, J.; Weyers, G.: Verkehrswertermittlung von Grundstücken. - Köln 2002

Kleiber, W.; Simon, J.: Verkehrswertermittlung von Grundstücken. - Köln 2007

Kleiber, W.: Standort Deutschland: Die Attraktivität seines Immobilienmarktes. In: Immobilieninvestment. Hrsg.: Brunner, M. - Wiesbaden 1997, S. 23-39

Kleiber, W.: WertR 06 -Wertermittlungsrichtlinien 2006 -, Sammlung amtlicher Texte zur Ermittlung des Verkehrswerts von Grundstücken mit Normalherstellungskosten. - Köln 2006

Kreibich, H.; Müller, M.: Private Vorsorgemaßnahmen können Hochwasserschäden reduzieren. Elementarschaden, 1 (2005a)

Kreibich, H.; Thieken, A. H.; Müller, M.; Merz, B.: Flood loss reduction of private households due to building precautionary measures – lessons learned from the Elbe flood in August 2002. Natural Hazards and Earth System Sciences 5 (2005b), S. 117–126

Krüger, D.: Gesellschaftsrechtliche Konstruktion für Immobilieninvestitionen. In: Handbuch der Immobilien – Investition. Hrsg.: Schulte, K. W. - Köln 1998, S. 385-419

Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung. - Berlin 1995

Kunz, M.; Puskeiler, M.: High-resolution Assessment of the Hail Hazard over Complex Terrain from Radar and Insurance Data. Meteor. Z., 19, (2010) S. 427-439, DOI:10.1127/0941-2948/2010/0452

Kunz, M.; Sander, J.; Kottmeier, C.: Recent trends of thunderstorm and hailstorm frequency and their relation to atmospheric characteristics in southwest Germany. International Journal of Climatology, 29 (2009), S. 2283-2297

Kunz, M.: The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms. Natural Hazards and Earth System Sciences, 7 (2007), S. 327-342

Kuttler, W.: Klimatologie. - Paderborn 2009

Lamond, J.: Flooding and property values. In: FibreSeries- Findings in Built and rural environments - Wolverhampton, UK 2009

Latif, M.: Klimawandel und Klimadynamik. - Stuttgart 2009

Lechelt, S.: Risikomanagement in der Wohnungswirtschaft, unveröffentlichte Vertiefungsarbeit - Karlsruhe 2001

Leckebusch, G. C.; Ulbrich, U. P.; Fröhlich, L.; Joaquim G.: Property loss potentials for European mid-latitude storms in a changing climate. - Berlin 2007

Leigh, R.: Hail damage to motor vehicles: an examination of economic costs. - Sydney 1998

Lindenschmidt, K.-E.; Fleischbein, K.; Petrow, T.; Vorogushyn, S.; Theobald, S.; Merz, B.: Advances in Geosciences - Model system development and uncertainty for the provisionary management of extreme floods in large river basins. Advances in Geosciences 5 (2005), S. 99–104

Linke, C.; Grimmert, S.; Hartmann, I.; Reinhardt, K.: Auswertung regionaler Klimamodelle für das Land Brandenburg. Darstellung klimatologischer Parameter mit Hilfe vier regionaler Klimamodelle (CLM, REMO, WettReg und STAR) für das 21. Jahrhundert. - Potsdam 2010

Lochmann, H.-D.; Köllgen, R.: Facility Management – Strategisches Immobilienmanagement in der Praxis. - Wiesbaden 1998

Lottenbach, W.: Der Anlageentscheidungsprozess im internationalen Portfolio Management: Die Theorie und die Praxis der schweizer Banken. - Aachen 1996, S. 1-249

Lücke, W. (Hrsg.): Investitionslexikon. - München 1991

Lutz, U.; Kaproth, T. (Hrsg.): Riskmanagement im Immobilienbereich. Technische und wirtschaftliche Risiken. - Berlin 2004

Maier, B.: Klimaänderungen und betriebswirtschaftliches Risikomanagement. Am Beispiel der Wintersturmaktivitäten in Nordrhein-Westfalen. - Köln, 2002

Maier, K. M.: Risikomanagement im Immobilienwesen – Leitfaden für Theorie und Praxis. - Frankfurt am Main 1999

Markau, H.-J.; Reese, S.: Vulnerabilitätsanalysen in sturmflutgefährdeten Küstenniederungen. In: Berichte Forschungs- und Technologiezentr. Westküste der Univ. Kiel Nr. 28 - Büsum 2003

Markau, H.-J.: Risikobetrachtung von Naturgefahren. Analyse, Bewertung und Management des Risikos von Naturgefahren am Beispiel der Sturmflutgefährdeten Küstenniederungen Schleswig-Holsteins. - Kiel 2003

Markose, S.; Alentorn, A.: The Generalized Extreme Value (GEV) Distribution, Implied Tail Index and Option Pricing - Essex 2005

Matson, R. J.; Huggins, A. W.: The direct measurement of the sizes, shapes and kinematic of falling hailstones. J. Atmos. Sci., 37 (1980), S. 1107-1125

Maurer, L.; Amann; Blaas, W.; Erhart, E.; Forster, A.; Gindl, M.; Hartl, W.; Hüttler,W.; Kienegger, M.; Krausmann, F.; Kromp, B.; Meindl, P.; Meyer-Cech, K.; Seher, W.; et al.: Optionen für die Entwicklung von Landwirtschaft und Gartenbau in Wien.. 1. Zwischenbericht, Darstellung des Status Quo. Forschungsprojekt im Rahmen der Kulturlandschaftsforschung. - Wien 2000

McKinsey & Company, Inc. (Hrsg.): Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland. - o. O. 2007

Merz, B.; Kreibich, H.; Thieken, A.; Schmidtke, R.: Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings. Natural Hazards and Earth System Sciences, 4 (2004), S.153-163

Merz, B.; Thieken, A. H.: Flood risk curves and uncertainty bounds. Natural Hazards and Earth System Sciences, 51 (2009), S. 437-458

Meyer, V.; Scheuer, S.; Haase, D.: A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany. - Leipzig 2008

Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (MURL): Potentielle Hochwasserschäden am Rhein in NRW. In: MURL Report - Düsseldorf 2000

Mohr, S.; Kunz, M.: Trend analysis of meteorological parameter relevant to hail from soundings and reanalysis data. - Palma de Mallorca 2011

Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft: Hitzewelle, Dürre, Waldbrände in Russland (Sommer 2010) MR Touch Naturgefahren – Katastrophenporträt. - München 2011

Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft: Knowledge series: Highs and lows - Weather risks in central Europe. - München 2008

Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft: Naturkatastrophen in Deutschland. Schadenerfahrungen und Schadenpotentiale. - München 1999

Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft: Topics Geo: Natural catastrophes 2010 - Analyses, assessments, positions. - München 2011

Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft: Winter storms in Europe (II) - Analysis of 1999 losses and loss potentials. - München 2002

Murfeld, E.: Spezielle Betriebswirtschaftslehre der Grundstücks- und Wohnungswirtschaft. - Hamburg 1995

Naumann, T.; Nikolowski, J.; Golz, S.; Schinke, R.: Resilience and Resistance of Buildings ans Built Structures to Flood Impacts - Approaches to Analysis and Evaluation. - Heidelberg 2011

Naumann, T.; Nikolowski, J.; Golz, S.: Der gebäudetypologische VERIS-Elbe-Ansatz zur Ermittlung von Überflutungsschäden an Gebäuden im Klimawandel - Dresden 2009a.

Naumann, T.; Nikolowski, J.; Golz, S.: Synthetic depth-damage functions - a detailed tool for analysing flood resilience of building types - Dresden 2009b.

Naumann, T.: Urbane Strategien zum Klimawandel. - Berlin 2010

Natural Resources Canada, Online unter: http://www.nrcan.gc.ca/home

Onischka, M.: A new paradigm of risk due to climate change - Wuppertal 2008

Onischka, M.: Definition von Klimarisiken und Systematisierung in Risikokaskaden. - Wuppertal 2009

Orlowsky, B.; Gerstengarbe, F.-W.; Werner, P. C.: A resampling scheme for regional climate simulations and ist performance compared to a dynamical RCM. Theor. Appl. Climatol. 92 (2008), S. 209-223

Orr, R. S.: Internationale Immobileinanlagen: Höheres Risiko – größere Chancen? In: Immobilieninvestment. Hrsg.: Brunner, M. - Wiesbaden 1997, S. 157-171

Pellegrino, R.: Immobilien-Strategien und Planzierungskonzepte für Geschlossene Immobilienfonds. In: Das große Handbuch des Immobilien-Management. Hrsg.: Falk, B. - Landsberg/Lech 1997, S. 811-827

Penning-Rowsell, E. C. E.; Johnson, C; Tunstall, S.; Tapsell, S.; Morris, J.;Chatterton J., Coker A., Green C. (2005), The Benefits of Flood and Coastal Risk

Management: A Manual of Assessment Techniques, Enfield, Middlesex University Press

Perridon, L.; Steiner, M.: Finanzwirtschaft der Unternehmung - München 1997

Pfnür, A.; Armonat, S.: Ergebnisbericht - Immobilienkapitalanlage institutioneller Investoren - Risikomanagement und Portfolioplanung. - Hamburg 2001

Pinello, J.-P.; Simiu, E.; Gurley, K.; Subramanian, C.; Zhang, L.; Cope, A.; Filliben, J.; Hamid, S.: Hurricane Damage Prediction Model for Residential Structures. J. Structural Engineering 130 (2004), S.1685-1691

Pinto, J. G.; Fröhlich, E. L.; Leckebusch, G. C.; Ulbrich, U.: Changing European storm loss potentials under modified climate conditions according to ensemble simulations of the ECHAM5/MPI-OM1 GCM. Natural Hazards and Earth System Sciences, 7 (2007), S. 165–175

Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen (Hrsg.): Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle. - o. O. 2007

Pruppacher, H. R.; Klett, J. D.: Microphysics of clouds and precipitation, second revised and enlarged edition with an introduction to cloud chemistry and cloud electricity. Climatic Change 38 (1997), S. 497-499

Puttskeiler, M.: Analyse der Hagelgefährdung durch Kombination von Radardaten und Schadendaten für Südwestdeutschland. - Karlsruhe 2009

Rehm, R. G.; Mell, W.: A simple model for wind effects of burning structures and topography on wildland–urban interface surface-fire propagation. International Journal of Wildland Fire 18 (2009), S. 290–301

Reichert, H.: Überlegungen zur Benchmarkwahl für Spezialfonds. In: Handbuch Spezialfonds – Ein praktischer Leitfaden für institutionelle Anleger und Kapitalanlagegesellschaften. Hrsg.: Kleeberg, J. M; Schlenger, C. - Bad Soden/Ts., 2000

Risk Management Solutions, Inc. (RMS) (Hrsg.): HailCalc Europa. Online unter: http://www.rms.com/publications/HailCalc_DE.pdf (08.02.2012)

Rockel, B.; Woth, K.: Extremes of near-surface wind speed over Europe and their future changes as estimated from an ensemble of RCM simulations. Climatic Change, 81 (2007), S. 267-280

Rootzen, H.; Tajvidi, N.: Extreme Value Statistics and Wind Storm Losses: A Case Study. Scand. Act. J., 1 (1997), S. 70–94

Ropeter, S.-E.: Investitionsanalyse für Gewerbeimmobilien, Schriften zur Immobilienökonomie/Bd.5 - Köln 2000

Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): RICS Valuation Standards - London 2009

Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): RICS Valuation Standards. - Wiltshire 2007

Lamond, J.: Flooding and Property Values. RICS Fibre Series, (2009)

Ruppert, D.; Wand, M.P.; Carroll, R.J.: Semiparametric Regression. - Cambridge 2003

Rüttigmann, D.; Egli, T.; Aller, D.: Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Prozess Hitzewellen. In: Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden. Nationale Plattform für Naturgefahren. Hrsg.: Bründl, M. - Bern 2009, S. 420

Sachs, A. E.: The influence of ENSO on hurricane damages: a new methodology for pricing risk. - Boston 2007

Saliger, E.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie: Einführung in die Logik individueller und kollektiver Entscheidungen. - München/Wien 1993

Sandvoß, J.: Grundlagen des Risikomanagements in der Immobilienwirtschaft. In: Riskmanagement im Immobilienbereich. Technische und wirtschaftliche Risiken. Hrsg.: Lutz, U., Kaproth, T. - Berlin 2004, S. 1-38

Sauer, M.: Werkstattbericht - Vergleich der Klimasimulationsergebnisse der Regionalmodelle CLM, REMO, STAR II und WETTREG für Hannover Nr. 1: Modelleigenschaften und -unterschiede. - Hannover 2010

Sayce, S. et al.: Real Estate Appraisal - From Value to Worth. - Oxford 2006

Sayers, P.; Hall, J.; Dawson, R.; Rosu, C.; Chatterton, J.; Deakin, R.: Risk assessment of flood and coastal defences for strategic planning (RASP) – a high level methodology, Keele University 2002, Online unter: http://www.rasp-project.net/rasp_defra2002_paper_final.pdf (09.02.2012)"

Schäfers, W.; Bone-Winkel, S.; Schulte, K.-W.: Handbuch Real Estate Investment Trust. - Köln 1998

Schanze, J.: Aktuelle Erkenntnisse aus der Forschung zum Hochwasserrisikomanagement. - Dresden 2008

Schanze, J.: Flood risk management – basic understanding and integrated methodologies. In: Methodologies for Integrated Flood Risk Management – Research Advances at European Pilot Sites. Hrsg.: Schanze, J. - 2010

Scharpenack, F.; Nack, U.; Haub, C.: Immobilien-Aktiengesellschaften. In: Handbuch der Immobilien – Investition. Hrsg.: Schulte, K.-W. - Köln 1998, S. 663-681

Schiesser, H.-H., Hohl, R., Schmid, W.: Über die Beziehung Hagelfall – Gebäudeschäden: Fallstudie „Luzern-Hagelsturm" vom 21. Juli 1998. - Zürich 1999

Schmidt, H.: Zur Extrapolation empirischer Verteilungen der Windgeschwindigkeit für Standorte im Flachland und auf freier See Meteorologische Rundschau 33 (1980), S. 129-137

Schmidt, S.; Kemfert, C.; Höppe, P.: The Impact of Socio-economics and Climate Change on Tropical Cyclone Losses in the USA. RegionalEnvironment Change, 10(2010), S. 13-26

Schmidt, S.: Schadentrends von Naturkatastrophen - Ein Ansatz zur Bewertung des Einflusses von Klimawandel und sozio-ökonomischer Faktoren am Beispiel Tropischer Wirbelstürme in den USA. - Zürich o. J.

Schönwiese, C.: Klimaänderungen. Daten, Analysen, Prognosen. - Heidelberg 1995

Schoppe, S. (Hrsg.): Kompendium der Internationalen Betriebswirtschafslehre. - München 1991, S. 531-601

Schulte, K.-W.; Ropeter, S.-E.: Quantitative Analyse von Immobilieninvestitionen – moderne Methoden der Investitionsanalyse. In: Handbuch der Immobilien – Investition. Hrsg.: Schulte, K.-W. - Köln 1998, S. 125-169

Schulte, K.-W.; Vogler, J. H.: Grundlagen der Investition in Immobilien. In: Handbuch der Immobilien – Investition. Hrsg.: Schulte, K.-W. - Köln 1998, S. 17-36

Shea-Joyce, S. (Hrsg.): The appraisal of Real Estate. - Chicago/Illinois 1996

Simon, J.; Kleiber, W.; Joeris, D.; Simon, T.: Schätzung und Ermittlung von Grundstückswerten. - Darmstadt 2004

Singh, V. P.; Guo, H.: Parameter estimation for 3-parameter generalized pareto distribution by the principle of maximum entropy (POME). Hydrological Sciences Journal 40 (1995) 2, S. 165

Sparks, P.; Schiff, S.; Reinhold, T.: Wind damage to envelopes of houses and consequent insurance losses. J. Wind Eng. Ind. Aerod., 53 (1994), S. 145–155

Spremann, K.: Das Management von Währungsrisiken. In: Handbuch Bankmanagement. Hrsg.: Schierenbeck, H.; Moser, H. - Wiesbaden 1994, S. 837-862

Stock, M.: KLARA: Klimawandel – Auswirkungen, Risiken, Anpassung, PIK Report No. 99. - Potsdam 2005

Straßheimer, P.: Internationales Corporate Real Estate Management – Implikationen der Internationalisierung von Unternehmen auf das betriebliche Immobilienmanagement. - Köln 1999

Stucki, M.; Egli, T.; Aller, D.; Rüttimann, D.: Leitfaden, Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Prozess Hagel. In: Risikokonzept für Naturgefahren. Hrsg.: Schweizerische Eidgenossenschaft - o. O. 2009

The European Group of Valuers' Association (TEGoVA): European Valuation Standards 2009 (EVS 2009) - Brüssel 2009

Thieken, A. H.; Müller, M.; Kleist, L.; Seifert, I.; Borst, D.; Werner, U.: Regionalisation of asset values for risk analyses. Natural Hazards and Earth System Sciences, 6 (2006), S. 167-178

Thieken, A.: Hochwasserschutz in Deutschland. Neue Modelle zur Abschätzung von Hochwasserschäden. Ökologisches Wirtschaften 3/2008

Thieken, A.H.; Kreibich, H.; Müller, M.; Merz, B.: Coping with floods: A survey among private households affected by the August 2002 flood in Germany. Hydrological Sciences Journal, 52 (2007) 5, S. 1016-1037

Thomas, M.: Performancemessung für Immobilien. In: Handbuch der Immobilien – Investition. Hrsg.: Schulte, K.-W. - Köln 1998, S. 307-333

Thywissen, K.: Components of risk – A comparative glossary, United Nations University Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS). - Bonn 2006. Online unter: http://www.ehs.unu.edu/article:217 (09.02.2012)

Tiemann, J.: Management für Geschlossene Immobilienfonds. In: Das große Handbuch des Immobilien-Management. Hrsg.: Falk, B. - Landsberg/Lech 1997, S.783-811

Unanwa, C.; McDonald, J.; Mehta, K.; Smith, D.: The development of wind damage bands for buildings. J. Wind Eng. Ind. Aerod., 84 (2000), S. 119–149

UNDHA (United Nations Department of Humanitarian Affairs): Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management - Genf 1992

Uni Bochum: DIN 1055-4:2005-03 Windlasten. Online unter: http://www.ruhr-uni-bochum.de/imperia/md/content/asib/normung/din1055_ch_260608.pdf (07.02.2012)

Väth, A.; Hoberg, W.: Qualitative Analyse von Immobilieninvestitionen. In: Handbuch der Immobilien – Investition. Hrsg.: Schulte, K.-W. - Köln 1998, S. 79-123

VGB: PRO-GUMBEL: Einbindung der Maximum-Likelihood-Methode als alternative Schätzmethode. Online unter: http://www.vgb.org/news_pro_gumbel-highlight-pro+gumbel.html (07.02.2012)

Vogler, J. H.: Risikoerkennung, -messung und –steuerung für Immobileininvestitionen. In: Handbuch der Immobilien – Investition. Hrsg.: Schulte, K.-W. - Köln 1998 S. 271-306

Waldvogel, A.; Federer, B.; Schmid, W.: The kinetic energy of hailfalls, Part II: Radar and Hailpads. J. Appl. Meteor., 17 (1978), S. 1680-1693

Waldvogel, A.: Hagelstürme und Klimaänderung. - Zürich 1997

Warm, H.-J.; Köppke, K.-E.; Krätzig, W. B.; Beem, H.: Schutz von neuen und bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen, insbesondere Hochwasser (Untersuchung vor- und nachsorgender Maßnahmen) - Dessau 2007

Welling, P.: Portfolio-Management für Immobilien. In: Das große Handbuch des Immobilien-Management. Hrsg.: Falk, B. - Landsberg/Lech 1997, S. 663-711

Werner, P.: Immobilien- und wohnungswirtschaftliche Strategien und Potenziale zum Klimawandel. - Darmstadt 2008

Wettekind, B. T.; Sommer, B.: Real Estate Investment Trusts (REITs). In: Handbuch der Immobilien-Investition. Hrsg.: Schulte, K.-W. - Köln 1998, S. 737-759

White, D.; Turner, J.; Jenyon, B.; Lincoln, N.: Internationale Bewertungsverfahren für das Investment in Immobilien. IZ Immobilien Zeitung Verlagsgesellschaft, 1 (1999)

Wieringa, J.: Gust factors over open water and built-up country. Bound-Lay. Meteorol. 3 (1973), S. 424–441

Witharana, C.; Meyer, T.; Civco, D.; Osleeb, J.: Developing a new ArcGis tool to quantify building-content vulnerability from storm-surge inundation. - San Diego 2010

Wittich, K.-P.; Löpmeier, F.-J.; Lex, P.: Maßnahmenvielfalt ist die beste Waldbrandvorbeugung. Waldbrände und Klimawandel in Deutschland. AFZ-DerWald - Allgemeine Forst Zeitschrift für Wald und Forstwirtschaft 18/2011

Wittich, K.-P.: Waldbrandgefahren - Vorhersage des Deutschen-Wetterdienstes. AFZ-DerWald - Allgemeine Forst Zeitschrift für Wald und Forstwirtschaft 6/1998, S. 321-324

Wolf, K.: Risikomanagement und KonTraG: Konzeption und Implementierung. - Wiesbaden 1999, S. 1-62

World Business Council of Sustainable Development (WBCSD): Energy Efficiency in Buildings – Transforming the Market. - Genf 2009

Wundrack, J.: Auslands-Portfolio-Management bei Offenen Immobilienfonds. In: Das große Handbuch des Immobilien-Management. Hrsg.: Falk, B. -Landsberg/Lech 1997, S. 765-783

Wüstefeld, H.: Risiko und Rendite von Immobilieninvestments. - Frankfurt am Main 2000, S. 51-228

Anhang

Zu Kapitel 1.3: Informationen zu immobilienwirtschaftlichen Prognosen

Quantitativ-technische Prognosemodelle schreiben im Rahmen von Trendextrapolationen in der Vergangenheit festgestellte oder vermutete Zusammenhänge statistischer Daten und Renditezeitreihen, unter der Prämisse konstanter Kausalitäten, in die Zukunft fort.[132] Zu kritisieren an diesem Vorgehen ist, dass in einer dynamischen Umwelt einmal beobachtete De- und Interdependenzen zeitlichen Veränderungen unterliegen können.[133] Dies gilt in hohem Maße im Kontext des Klimawandels. Es erfolgt also keine ursachengerechte Prognose, sondern lediglich die Unterstellung zeitlich stabiler Entwicklungen. Eine rein autoregressive Erwartungsbildung ist somit abzulehnen und um rationale Elemente zu erweitern. Jüngere Arbeiten der RICS bilden hier die Ausnahme: es werden hier mithilfe von Regressionsmodellen Wertveränderungen in Bezug auf Immobilienwerte aufgrund von Extremwetterereignissen untersucht. Rückschlüsse auf die künftigen Wertentwicklungen werden dabei jedoch nur reduziert auf die sich ergebende Relation aufgrund des Regressionskoeffizienten gezogen.[134]

Ergänzend werden deshalb verstärkt **qualitativ-fundamentale Prognosemodelle** relevant, die dem Einfluss der Bestimmungsfaktoren in ihrer Ursache und Auswirkung nachgehen. Die Verfahren unterstellen somit Heteroskedastizität[135] und verzichten (z. T.) auf historische Analogien.[136] Zielführend ist auch an diesem Punkt ein indirektes Vorgehen, welches an den Rahmenbedingungen und Strukturmerkmalen ansetzt.[137]

Eine **Vollenumeration** stellt jede denkbare Kombination aller jeweils stetig verteilten Umweltfaktoren in der Zukunft dar, die einen Einfluss auf die erwarteten Nutzenpotenziale einer Immobilie ausüben. Dies ist praktisch unmöglich, weshalb im Rahmen einer Risikoanalyse eine Auswahl der wichtigsten unsicheren Einflussgrößen erfolgt.[138] In der immobilienwirtschaftlichen Praxis werden stetige Verteilungen häufig aus Mangel an genauen Kenntnissen als **normalverteilt** (sog. Gaußsche Glockenkurve) behandelt.[139] Selbst mit modernsten Prognosemethoden ist es nicht möglich, die exakte Schiefe oder Wölbung bspw. der Leerstandsquote am Münchner Wohnungsmarkt im Jahre 2020 zu generieren, denn die Wahrscheinlichkeitsverteilung unterliegt selbst auch einer dynamischen Entwicklung und weist infolgedessen am Ende des Prognosezeitraums eine andere Gestalt als zu Beginn auf.[140]

Der skizzierte Verfahrensablauf ist in der praktischen Anwendung unter dem Begriff der Risikoanalyse im eigentlichen Sinne bekannt. Die Ergebnisverteilung wird über simulierende Verfahren ermittelt. Computergestützte Zufallsgeneratoren wählen einzelne Werte der selektierten Inputverteilungen aus, bis eine stabile Ergebnisverteilung entsteht (z. B. **Monte-Carlo-Simulation**).

(132) Maurer et al., 2000, S. 1, S. 8 / Shea-Joyce et al., 1996, S. 501f, S. 532 / Reichert, 2000, S. 703 / Väth/Hoberg, 1998, S. 94f

(133) Pfnür/Armonat, 2001, S. 12, S. 71 / Schäfers et al., 1998, S. 6, S. 20 / Welling, 1997, S. 697 / Vogler, 1998, S. 290 / Gordon u.a., 2000, S. 52 / Maier, 1999, S. 107, S. 120, S. 144 / Wüstefeld, 2000, S. 113

(134) RICS, 2009, S. 8ff

(135) Heteroskedastizität: Veränderliche Volatilitäten im Zeitverlauf.

(136) Bone-Winkel, 1998, S. 226 / Wüstefeld, 2000, S. 51, S. 68, S. 72, S. 112f / Bruns/Meyer-Bullerdiek, 2000, S. 7, S. 11, S. 103f / Noss, Handelsblatt, 30.09.2000 / Kruschwitz, 1995, S. 18ff

(137) Pfnür/Armonat, 2001, S. 44

(138) Ropeter, 2000, S. 227ff, S. 317f / Schulte/Ropeter, 1998, S. 164ff

(139) Wolf, 1999, S. 34f / Wüstefeld, 2000, S. 64 / Schulte/Ropeter, 1998, S. 154 / Ropeter, 2000, S. 227 / Cofalka, 2000, S. 590 / Pfnür/Armonat, 2001, S. 63

(140) Schulte/Ropeter, 1998, S. 160f

(141) Kuttler, 2009, S. 15

Zu Kapitel 2.1: Hintergründe zu Klima und dessen Modellierung

Bevor über den Klimawandel gesprochen wird, sollte zunächst einmal der Begriff Klima selbst definiert und vor allem vom Begriff Wetter abgegrenzt werden. Der Begriff **Wetter** bezeichnet die meteorologische Situation „während einer kurzen Zeitspanne (meist ein Tag)“[141], wohingegen man unter **Klima** die Gesamtheit der Wettererscheinungen an einem Ort bezogen auf einen längeren Zeitraum (meist 30 Jahre) versteht. Die Frage nach dem „Klima“ eines bestimmten Zeitpunkts ist vor diesem Hintergrund per Definition unzulänglich. Ein Klimamodell vermag dementsprechend auch keine Aussagen über das Wetter zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Zukunft darzulegen, erlaubt aber Aussagen über bestimmte klimatologische Trends wie beispielsweise eine zunehmende Tendenz zu Trockenheit in bestimmten Gebieten.

Die **extraterrestrischen Einflussfaktoren** umfassen beispielsweise die bereits in den 1930er Jahren von *Milankovich* in die Diskussion eingeführten periodischen Schwankungen der Erdbahnparameter, wodurch sich Änderungen der Verteilung der Sonneneinstrahlung auf die Erde mit

Zyklen von mehreren zehn- bis hunderttausend Jahren ergeben.[142] Aber auch die Aktivität der Sonne selbst unterliegt, zum Teil periodischen, Schwankungen, deren Einfluss auf das irdische Klima noch nicht abschließend geklärt ist. Neuere Forschungsergebnisse weisen beispielsweise auf einen Zusammenhang zwischen der Sonnenaktivität und den Wintertemperaturen in Europa hin.[143]

Die **terrestrischen Einflussfaktoren** auf das Klima umfassen die Vorgänge in der Atmosphäre selbst, aber auch eine Reihe von Prozessen, die direkt oder indirekt auf die Atmosphäre einwirken. Die Richtung dieser Einwirkung muss dabei keineswegs stets in die gleiche Richtung weisen. Vulkanismus beispielsweise ist sowohl mit Treibhausgasemissionen (aufheizender, langfristiger Effekt) als auch mit einem Ausstoß von Aerosolen (kühlender, kurzfristiger Effekt) verbunden. Weitere wichtige terrestrische Faktoren sind die Vegetation, Eis- und Schneebedeckung, Vorgänge der Plattentektonik sowie Meeresströmungen.[144] Letztere transportieren mit ihren horizontalen und vertikalen Strömungen nicht nur bedeutende Mengen an Wärmeenergie (z. B. der Golfstrom von niedrigen in höhere Breiten), sondern spielen als CO_2-Senke auch eine wichtige Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf. Veränderungen in den ozeanischen Zirkulationsmustern treten langfristig gesehen zum Beispiel durch Verschiebungen der Kontinente im Zuge der Plattentektonik auf. Die wesentlichen Antriebskräfte der Meeresströmungen sind zum einen Winde (horizontal), zum anderen Unterschiede der Dichte des Wassers (vertikal), welche von Temperatur und Salzgehalt abhängt (thermohaline Zirkulation).

Viele der genannten Einflussfaktoren des Klimas sind dabei nicht isoliert voneinander, sondern stehen in Wechselwirkung zueinander, wodurch sich sowohl negative als auch positive **Rückkopplungen** ergeben können. Beispielsweise führen die gestiegenen Lufttemperaturen in höheren Breiten zu einem vermehrten Schmelzwassereintrag in den Nordatlantik, wodurch die Intensität des Golfstroms gemindert und somit der ursprünglichen Erwärmung entgegengewirkt wird. Diese negative Rückkopplung führt dazu, dass sich die globale Erwärmung in Europa im Vergleich zu anderen Regionen deutlich schwächer auswirkt. Der Rückgang der Eisbedeckung und das Auftauen von Permafrostböden zählen hingegen zur Gruppe der positiven Rückkopplungen, die eine Klimaerwärmung noch verstärken. Im einen Fall durch eine Erhöhung der von der Erde absorbierten Sonneneinstrahlung, im anderen durch die Freisetzung von Methan, welches als Treibhausgas wirkt. In der Summe dürften die positiven Rückkopplungen allerdings überwiegen und zu einer stärkeren Erwärmung als im Falle rein linearer Beziehungen zwischen globaler Durchschnittstemperatur und Treibhausgaskonzentration führen.[145] Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass durch die Erderwärmung bestimmte, nur **schwer abschätzbare Schwellenwerte** überschritten werden, wodurch es innerhalb vergleichsweise kurzer Zeiträume zu besonders schwerwiegenden Veränderungen kommen kann (beispielsweise durch die schlagartige Freisetzung großer Mengen von Methan aus dem an vielen Kontinentalhängen gelagerten Methanhydrat infolge steigender Wassertemperaturen).[146]

Regionale Klimamodelle

Jene atmosphärischen Prozesse, deren Größenordnung kleiner als die Modellauflösung ist, müssen aus den modellierbaren Variablen abgeleitet werden, was als **Parametrisierung** bezeichnet wird.[147] Beispielsweise sind turbulente Strömungen, die bei Stürmen in Form von Wirbeln für einen beträchtlichen Teil der Schäden an Immobilien verantwortlich sind, so kleinräumige Erscheinungen, dass sie auch in regionalen Klimamodellen noch parametrisiert werden müssen. Hagelereignisse sind eine weitere Schadensursache deren meteorologischer Ausgangsprozess, nämlich Konvektion, in globalen Modellen nicht direkt modelliert werden kann. Einige regionale Klimamodelle beziehen die Konvektion allerdings explizit in ihre Berechnungen mit ein.

Die RCMs werden üblicherweise generiert, indem Ergebnisse globaler Zirkulationsmodelle auf ein engmaschigeres Raster oder auf einzelne Stationen übertragen werden – dieser

(142) Latif, 2009, S. 71

(143) Lockwood et al., 2011

(144) Schönwiese, 1995, S. 119

(145) Dawson et al., 2009, S. 96

(146) Dawson et al., 2009, S. 96

(147) Latif, 2009, S. 121

Prozess wird als **Downscaling** bezeichnet.[148] Variablen aus den globalen Klimamodellen fungieren dabei als unabhängige Variable, deren Dynamik die zeitliche Entwicklung der abhängigen Variablen (im regionalen Klimamodell) antreibt.[149] Offen bleibt dabei allerdings die Frage, welche Variablen aus globalen Modellen für das Downscaling benutzt werden und vor allem wie dies konkret umgesetzt wird. Bei der Umsetzung kommen zwei unterschiedliche Ansätze zum Einsatz, welche jeweils sowohl Nachteile als auch Vorteile aufweisen. Die beiden Varianten werden als dynamische bzw. statistische Klimamodelle bezeichnet.

Ähnlich wie auch die globalen Modelle versuchen die **dynamischen regionalen Klimamodelle** die physikalischen Zusammenhänge mit Hilfe thermodynamischer Erhaltungs- und Zustandsgleichungen zu beschreiben. Die Modellierung erfolgt dabei allerdings nur für einen bestimmten räumlichen Ausschnitt der Atmosphäre, dabei allerdings in deutlich höherer Auflösung. Ihre **Anfangs- und Randbedingungen** erhalten die regionalen Modelle wiederum aus globalen Modellen.[150] Die regionalen Modelle sind sozusagen in die globalen Modelle eingebettet, es erfolgt allerdings keine Rückwirkung auf die Prozesse des globalen Modells.[151] Den Vorteilen einer physikalischen Beschreibung der atmosphärischen Vorgänge sowie der Möglichkeit, durch die Einbindung einer nicht-hydrostatischen Komponente auch Konvektionsvorgänge abzubilden, stehen ein enormer Rechenaufwand und eine zum Teil erhebliche Abweichung zwischen beobachteten und modellierten Daten gegenüber.[152,153] Problematisch ist außerdem, dass sich etwaige Fehler der globalen Modelle in die regionalen Modelle fortpflanzen. Die dynamischen Modelle liefern schließlich Werte der modellierten und parametrisierten Variablen für jede Rasterzelle in einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde. Aus diesen Werten lassen sich schließlich Aussagen über klimatische Trends und deren räumliche Differenzierung treffen und die hier relevanten Entwicklungen bestimmter Extremwetterereignisse inkl. Eintrittswahrscheinlichkeiten ableiten.

Die **statistischen regionalen Klimamodelle** verzichten hingegen auf eine exakte, thermodynamische Beschreibung der Atmosphäre und setzen bei realen Beobachtungsdaten an einer Vielzahl von Wetterstationen an. Die zeitliche Entwicklung der Modelle wird entweder direkt durch Ergebnisse eines globalen Klimamodells oder aber durch plausible Annahmen zur Entwicklung bestimmter Parameter angetrieben. Für die Erzeugung der regionalisierten Größen kommen unterschiedliche Methoden, zum Teil auch kombiniert zum Einsatz: die Ausnutzung funktionaler Zusammenhänge zwischen unabhängigen (aus globalen Modellen) und abhängigen Variablen, Wettergeneratoren und die Typisierung von Wetterlagen.[154] Das Ergebnis einer Klimamodellierung mittels statistischer Regionalmodelle sind Werte für eine Vielzahl atmosphärischer Parameter in hoher zeitlicher Auflösung für jeden der berücksichtigten Standorte. In Deutschland liefern die langjährigen Messreihen des DWD an einer Vielzahl von Klimastationen ein dichtes Netz punktueller Modellergebnisse, welche wiederum auf ein Raster, ähnlich wie bei den dynamischen Regionalmodellen, interpoliert werden kann. Vorteile der statistischen Regionalmodelle liegen in ihrer guten Wiedergabe der Beobachtungsdaten, ihrer im Vergleich zu den dynamischen Modellen geringeren Abhängigkeit von den globalen Modellen und in dem geringen Rechenaufwand, den ein Modelldurchlauf benötigt.[155] Ein Nachteil der statistischen Regionalmodelle ist die Abhängigkeit von einem möglichst dichten Netz von Messstationen, welche in Deutschland jedoch flächendeckend vorhanden sind. Außerdem sind die statistischen Modelle nicht in der Lage, neue Extremereignisse, die in der Vergangenheit noch nicht aufgetreten sind, zu erzeugen. Um die Güte eines Modells zu beurteilen, wird untersucht, wie gut es in der Lage ist, den Klimaverlauf in der Vergangenheit korrekt abzubilden. Im Fall des RCM *Star 2* geht man dazu folgendermaßen vor: Zuerst wird einen Zeitraum, für den genügend Beobachtungsdaten der Untersuchungsregion (z. B. Deutschland) vorliegen, in zwei Teilzeiträume unterteilt – zum Beispiel 1951-1975 und 1976-2000. Dann wird für den zweiten Zeitraum der Temperaturtrend (z. B. +1,5°C) bestimmt. Mit dieser Trendinformation für die

(148) Gerstengrabe, 2007, S. 209

(149) Gerstengrabe, 2007, S. 209

(150) Sauer, 2010

(151) Latif, 2009, S. 128

(152) Linke et al., 2010, S. 6

(153) Sauer, 2010

(154) Gerstengrabe, 2007, S. 210

(155) Sauern, 2010

Temperatur und den Daten aus dem ersten Zeitraum wird nun der zweite Zeitraum mit Hilfe des statistischen Regionalmodells simuliert. Danach kann der simulierte Zeitraum von 1976-2000 mit dem beobachteten verglichen werden, um eine Aussage zur Modellgüte zu erhalten.

Unabhängig von der Wahl eines bestimmten Modells ist die Modellierung des zukünftigen Klimas mit einer **Vielzahl von Unsicherheiten** verbunden: Die klimatischen Zusammenhänge sind nicht vollständig verstanden und wie jedes komplexere physikalische System niemals vollständig modellierbar. Kleine Abweichungen in den Anfangsbedingungen können aufgrund nicht-linearer Effekte zu stark abweichenden Ergebnissen führen (Chaostheorie: Schmetterlingseffekt). Außerdem sind die Schwellenwerte, bei deren Überschreitung plötzliche **Kippeffekte** eintreten, unzureichend erforscht und externe Einflüsse wie Vulkanismus, Sonnenaktivität und vor allem die menschliche Emission von Treibhausgasen sind schwer prognostizierbar. Der Schmetterlingseffekt ist deshalb zum Beispiel von großer Bedeutung, da die Verwendung der sogenannten Klimageneratoren in einigen statistischen Regionalmodellen mit Zufallsprozessen verbunden ist. Die Gewissheit über die Zukunft des Klimas lässt sich jedoch mit bestimmten Methoden erhöhen. Dem Problem der ungewissen zukünftigen Treibhausgasemissionen wird wie bereits beschrieben mit der Verwendung unterschiedlicher Szenarien begegnet. Die modellinternen Unsicherheiten können verringert, beziehungsweise ihr Ausmaß kann abgeschätzt werden, indem zum einen stets eine **Vielzahl von Realisierungen/Läufen** einzelner Modelle verwendet wird und/oder außerdem mehrere Modelle Eingang in die klimatologische Auswertung finden (**Modell-Ensemble**). Eine möglichst große Anzahl solcher Realisierungen wird benötigt, weil jede dieser Realisierungen, bei nur marginaler Änderung der Anfangs- und Randbedingungen, ein anderes Ergebnis bringt. Diese Anpassungen sind allerdings notwendig, um die Modellunsicherheit zu bestimmen. Nur wenn die **Modellunsicherheit** bekannt ist, kann eine Aussage über die zu erwartende Klimaentwicklung innerhalb einer gewissen Schwankungsbreite getroffen werden. Während ein einziger Lauf eines dynamischen Regionalmodells mitunter mehrere Monate Rechenzeit auf einem modernen Großrechner in Anspruch nehmen kann, lässt sich mit statistischen Modellen vergleichsweise schnell eine große Anzahl von Läufen realisieren.

Zu Kapitel 2.1: Hintergrundinformationen zur Extremwertstatistik

Folgende grundlegenden Schritte sind unabhängig von der betrachteten Naturgefahr notwendig, um eine Hazard-Funktion zu bestimmen.

Erfassung langjähriger Datenreihen oder Modellierung von Daten für zukünftige Zeiträume: Wenn eine Hazard-Funktion für die Gegenwart erstellt werden soll, genügen empirische Messdaten. Für eine Abbildung zukünftiger Gefahren sind Daten aus Klimamodellen notwendig.

Kontrolle und Bereinigung der Daten: Die Daten müssen vor einer weiteren Verarbeitung im Regelfall bereinigt werden, da beispielsweise Messfehler, neue Messtechniken oder räumliche Veränderungen der Messstation die Resultate verfälschen können.

Modellierung der Extremwertstatistik: Je nach verwendetem Typ von Extremwertverteilung (s. u.) finden andere Daten Einzug in die Berechnung der Hazard-Funktion. Die Berechnung erfolgt üblicherweise auf ein Raster einer bestimmten räumlichen Auflösung unabhängig für jede Zelle des Rasters.

Bei der Bestimmung der Hazard-Funktion kommen üblicherweise sogenannte parametrische Schätzverfahren zum Einsatz, welche die Verteilungsparameter einer vorgegebenen Verteilungsfunktion anhand empirischer oder modellierter Daten ermitteln. Zum Einsatz kommen üblicherweise sogenannte parametrische Schätzverfahren, welche die Verteilungsparameter einer vorgegebenen Verteilungsfunktion anhand empirischer oder modellierter

Daten ermitteln. Eine in anderen Gebieten aufgrund ihrer statistischen Eigenschaften sehr häufig benutzte Verteilungsfunktion ist die Gaußsche Normalverteilung mit ihrer glockenförmigen Form der Wahrscheinlichkeitsdichte. Die zu schätzenden Parameter dieser Verteilungsfunktion sind der Mittelwert μ und ihre Standardabweichung σ, welche die Funktion vollständig charakterisieren. Eine weitere häufig benutzte Funktion ist die Exponentialverteilung. „Ein Nachteil der Exponentialverteilung liegt darin, dass sie für hohe Schadensummen relativ schnell gegen Null konvergiert und damit die Wahrscheinlichkeit der großen Schäden unterschätzt.“[156] Stattdessen finden vielmehr andere Verteilungsfunktionen Anwendung auf dem Gebiet der Extremereignisse.

Die am häufigsten verwendeten Funktionen zur Beschreibung extremer Naturereignisse sind die sogenannte Allgemeine Extremwertverteilung (eng. *Generalized extreme value distribution GEV*) sowie die Generalisierte Pareto-Verteilung GPV.

Beide Verfahren basieren auf einer Schätzung dreier Parameter aus gegebenen, empirischen oder modellierten Daten. Die drei Parameter werden als Location-, Scale- und Shape-Parameter bezeichnet. Der Wert des Location-Parameters gibt dabei die Stärke eines Naturereignisses an, „mit [dessen] Überschreitung man in jedem zweiten Jahr rechnen muss. Dieser Parameter gibt – wie auch die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit – Auskunft darüber, wie windstark ein Standort ist.“[157] Der Scale- und der Shape-Parameter legen die restlichen Freiheitsgrade der Verteilung fest. Für die Schätzung der Parameter kommen vor allem das Momentenverfahren und die Maximum-Likelihood-Methode zum Einsatz.

Allgemeine Extremwertverteilung GEV

Die allgemeine Extremwertverteilung stellt eine ganze Klasse von Verteilungen dar, die alle davon ausgehen, dass die Ereignisse einer Gefährdung (also beispielsweise eine bestimmte Windgeschwindigkeit) identisch und unabhängig voneinander verteilt sind. Im Kontext von Starkwindereignissen bedeutet die Unabhängigkeit zum Beispiel, dass die maximale Windgeschwindigkeit eines Sturms keinen Einfluss auf die Geschwindigkeit in einem zeitlich folgenden Sturm besitzt. Zur Berechnung der Parameter werden jeweils die Maximalwerte einzelner Zeiträume herangezogen, während alle anderen Werte unberücksichtigt bleiben. Die drei Verteilungen der allgemeinen Extremwertverteilungen sind die sogenannten **Gumbel**-, die **Fréchet**- und die **Weibull-Verteilung**, welche zur sogenannten **Fisher-Tippett-Verteilung** generalisiert werden können. Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der GEV lautet:[158]

$$f(x,\mu,\sigma,\xi) = \frac{1}{\sigma}\left(1+,\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right)^{-1-\frac{1}{\xi}} \cdot$$

$$\exp\left(-\left(1+\xi\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right)^{\frac{-1}{\xi}}\right)$$

Mit x: Ausprägung eines Ereignisses, μ: Location-Parameter, σ: Scale-Parameter, ξ: Shape-Parameter.

Die Ausprägung/Stärke eines Ereignisses eines bestimmten Wiederkehrintervalls kann schließlich aus den geschätzten Parametern der GEV berechnet werden:[159]

$$x(p) = \mu - \frac{\sigma}{\xi}\left(1-\left(-ln(1-p)\right)^{-\xi}\right)$$

Mit p: Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis innerhalb eines Jahres auftritt.

Eine insbesondere zur Abschätzung des Risikos durch Starkwindereignisse eingesetzte Verteilung aus der Klasse der GEV ist die **Gumbel-Verteilung**, welche den Spezialfall $\xi = 0$ beschreibt, so dass nur noch zwei Parameter zu schätzen sind. „Das [Gumbel-]Verfahren ist in den letzten Jahren auf die Auswertung von Tidehochwasserständen, dann auf Abflusshochwasser und schließlich auf Windgeschwindigkeiten bei Sturm übertragen worden.“[160] Im Rahmen der auf der Gumbel-Verteilung basierenden Extremwertstatistik werden die Parameter der Wahrscheinlichkeitsverteilung aus den Maximalwerten, welche in aufeinanderfolgen Zeiträumen gleicher Länge (z. B. 1 Jahr) registriert wurden,

(156) Helten, 2002, S. 44.

(157) Augter/Roos, 2010, S. 71.

(158) Markose et al., 2005, S. 6

(159) Augter/Roos, 2010, S. 100

(160) www.vgb.org

geschätzt, um darauf aufbauend die Eintrittswahrscheinlichkeiten sehr seltener Ereignisse zu interpolieren.

Generalisierte Pareto-Verteilung GPV

Um die Verteilungsparameter zu schätzen, werden im Gegensatz zur GEV nicht nur einzelne Spitzenwerte, sondern alle Werte oberhalb eines gegebenen Schwellenwerts herangezogen. Diese werden anschließend an die Generalisierte Pareto-Verteilung angepasst, weshalb die Methode auch als Peaks-Over-Threshold POT bezeichnet wird. Die GPV ist eng mit der GEV verwandt. Beide Verteilungen führen zu dem gleichen Shape-Parameter, der Location-Parameter ist allerdings identisch mit dem gewählten Schwellenwert und der Scale-Parameter hängt direkt von diesem ab.[161]

Bei der Peaks-Over-Threshold-Methode kann entweder mit einem konstanten Schwellenwert oder mit einem an die jeweilige Verteilung angepassten Wert gearbeitet werden, indem zum Beispiel das 90%-Quantil der unabhängigen Tageswindspitzen als Schwellenwert herangezogen wird.[163]

Zu Kapitel 2.2: Hintergrundinformationen zum Vulnerabilitätskonzept und zur Ableitung von Schadensfunktionen

Aufbauend auf dem „Source-Pathway-Receptor-Consequence"-Konzept[164] der Institution of Civil Engineers entwickelten Naumann et al. (2011)[165] beeinflusst von Schanze (2010)[166] einen theoretisch konsequenten Ansatz, indem **Widerstandsfähigkeit (Resistance)** und **Elastizität (Resilience)**[167] in der **Schadensneigung (Susceptibility)** münden, welche in Form eines monetarisierten Schadens die Vulnerabilität ausdrückt. Unter Widerstandsfähigkeit wird die Fähigkeit beschrieben, der Gefährdung gegenüber, Widerstand zu leisten und somit im Ausgangszustand zu verharren. Elastizität bedeutet, ein geringeres Maß an Schädigung zu erfahren. Die Unterscheidung der beiden Begriffe Resistance und Resilience besitzt vor allem im Kontext von Schutzmaßnahmen gegen Naturgefahren Relevanz (vgl. Abbildung 28). Die Differenzierung zwischen Schadensneigung und Vulnerabilität ermöglicht die synthetische Trennung zwischen physischen und monetären Schaden. Da jedoch in der Praxis bei Schadensfunktionen nicht selten ein funktionaler Zusammenhang zwischen Klimaeinfluss und prozentualem monetären Schaden hergestellt wird, wird im Zuge des Projektes auf die angesprochene, synthetische Differenzierung verzichtet.

Ansätze zur Ableitung von Schadensfunktionen

Empirische Ansätze[168] sind grundsätzliche die am weitesten verbreiteten Herleitungen und gehen auf die Auswertung von tatsächlichen Ereignissen und die dabei eingetretenen Schädigungen zurück. Es wird auf Basis der realen Daten ein funktionaler Zusammenhang (sog. Schadensfunktion) abgeleitet und die Funktion auf Basis der realen Daten kalibriert. Dabei wird die Schädigung in Abhängigkeit der Intensität des Extremwetterereignisses, bspw. einer Windgeschwindigkeit, abgetragen. Der funktionale Zusammenhang wird mit Hilfe von Regressionsmodellen abgeleitet.

Der **deterministische Ansatz**[169] fußt auf der Ableitung der Schadensfunktionen aus Expertenwissen. Ausgehend von den gebäudespezifischen Eigenschaften bzw. von der Widerstandsfähigkeit einzelner Gebäudeteile wird auf die jeweiligen Schadenseintrittswahrscheinlichkeiten geschlossen. Nachteilig ist, dass ein sehr großer Stichprobenumfang an Schadensfällen benötigt wird, um derart dezidierte und gleichzeitig belastbare Schadenseintrittswahrscheinlichkeiten zu schätzen. Die meisten dieser Ansätze stammen aus den USA. Die Übertragbarkeit derartiger Lösungen auf Deutschland, ist auf Grund der sehr massiven und soliden Bauweise in Deutschland nur bei weitreichenden Anpassungen möglich.[170]

Diese analytische Herleitung kann gegenüber einer empirischen Ableitung folgende Vorteile aufweisen:[171]

- Genaue Erfassung der baukonstruktiven Merkmale

(161) Augter/Roos, 2010, S. 44

(162) Singh et al., 1995, S. 166

(163) Augter/Roos, 2010, S. 41ff

(164) ICE (Hrsg., 2001), S. 16

(165) Naumann et al., 2011, S. 90

(166) Schanze, 2010

(167) Im Sinne der Wiederherstellbarkeit hängt die Trocknung eines zuvor überschwemmten Mauerwerks z. B. von der Jahreszeit bzw. der umgebenden Temperatur ab.

(168) Sparks et al., 1994, Münchener Rückversicherungsgesellschaft, 2001, Ulbrich/Klawa, 2003

(169) Heneka, 2006, S. 722 / Unanawa et al.,2000 / Pinelli et al., 2004

(170) Münchener Rückversicherungsgesellschaft, 2008, S. 16

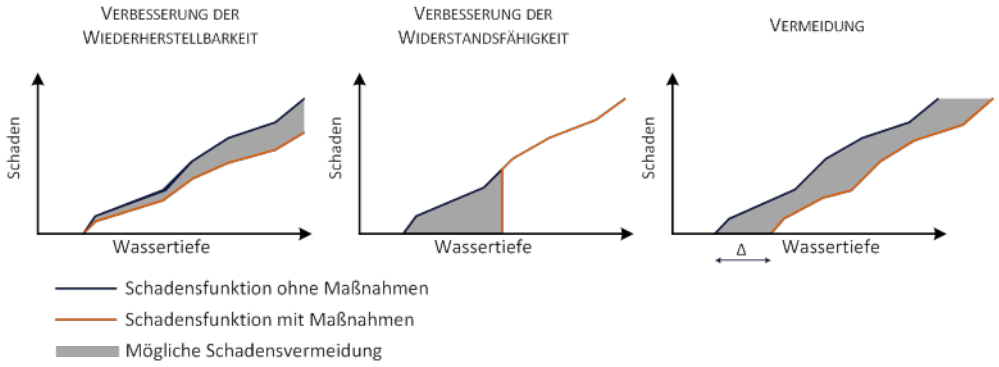
(171) Naumann et al., 2009, S. 237f

- Bautechnisch von Fachleuten begründete Leistungsumfänge für die Schadensbeseitigungskosten
- Einheitliche Kostenkennwertanwendung-/-definition
- Detaillierte und disagregierte Herleitung auf Ebene einzelner Gewerke

Darüber hinaus existieren auch **stochastische Ansätze**[172], die auf einer äußerst aggregierten Datenbasis arbeiten und eher an statistischen Erkenntnissen über die Häufigkeit bestimmter, monetärer Schäden in bestimmten Gebieten interessiert sind.

Abbildung 28

Mögliche Schadensverringerungen durch Maßnahmen



In diesem Fall a) durch verbesserte Elastizität (Schaden durch eine gegebene Intensität eine Gefährdung wird verringert) b) durch verbesserte Widerstandsfähigkeit (Schaden tritt erst ab intensiverer Gefährdung ein c) Gesamte Schadensvermeidung.
Quelle: Naumann et al., 2011, S. 96

Zu Kapitel 2.3: Hintergrundinformationen zum Begriff des Versicherungswertes

Versicherungswerte werden der Gruppe der sog. Nicht-Marktwerte zugerechnet.[173] Auch hieraus wird deutlich, dass es nicht um die Ableitung von Verkehrswerten im herkömmlichen Sinne gehen kann. **Versicherungswert (Insurable Value)**[174] ist allgemein die im Versicherungsvertrag oder den ergänzenden Versicherungsbedingungen vereinbarte Höchstsumme (im Regelfall der Wert der baulichen Anlagen zzgl. ggf. in den Bedingungen enthaltenden Zubehörgegenständen auf Basis ortsüblicher Kosten und ggf. der Berücksichtigung der technischen Wertminderung) bis zu der ein Versicherer im vertraglich vereinbarten Schadensfall einzustehen hat (i. S. e. Wiederherstellung).

Als Versicherungswert kommen insbesondere folgende in Frage:

- **Neuwert:** Der Neuwert der baulichen Anlagen entspricht den Herstellungskosten am Bewertungsstichtag einschließlich der Baunebenkosten. Grundlage ist die zum Zeitpunkt der Bewertung gebräuchliche handwerkliche Ausführung und die Verwendung neuer Materialien.[175]
- **Gleitender Neuwert:** Der gleitende Neuwert ergibt sich aus dem Neuwert durch Anpassung mit dem jeweiligen amtlichen Baupreisindizes. Dieser beugt einer Unterversicherung durch Baupreissteigerungen vor.
- **Zeitwert:**[176] Der Zeitwert entspricht dem ortsüblichen Neubauwert einschließlich Baunebenkosten unter Abzug einer technischen Wertminderung. Diese Wertminderung resultiert aus der Alterung, dem Zustand und der Abnutzung des Gebäudes.
- **Gemeiner Wert der baulichen Anlagen:** Der gemeine Wert der baulichen Anlagen entspricht dem Marktwert des Gebäudes. Dieser kann als gemeiner Wert vor oder unmittelbar nach dem Schadensfall quantifiziert werden. Auch wenn der Marktwert nicht als Versicherungswert vereinbart wurde, kann dieser relevant werden, wenn das Gebäude zum Abbruch bestimmt ist oder eine dauerhafte Entwertung vorliegt.

(172) Rootzen et al., 1997

(173) EVS, 2009, S. 84ff

(174) Insurable Value bezogen auf IVS: The value of a property provided by definitions contained in an insurance contract or policy.

(175) Preissteigerungen: Zwischenzeitlich eintretende Kaufkraftverluste können zu einer Unter- oder Überversicherung im Fall einer Neubauwertversicherung ohne Zusätze führen.

(176) EVS, 2009, S. 84

Für Versicherungswerte und für Wiederherstellungskosten aufgrund von Schäden wird für die Herleitung des Neuwertes und des Zeitwertes das **Sachwertverfahren**[177] für bauliche Anlagen als Bewertungsmethode herangezogen. Andere Verfahren zur Herleitung von Marktwerten sind nur bei der Notwendigkeit zur Ermittlung von *gemeinen Werten* für Versicherungszwecke relevant.[178]

Die **Umsatzsteuer** ist bei der Wertermittlung nur dann zu berücksichtigen, wenn der Versicherungsnehmer oder im Kontext dieser Ausarbeitung der Geschädigte, nicht zum Vorsteuerabzug berechtigt ist.

Zu Kapitel 2.3: Berücksichtigung von Baunebenkosten im Sachwertverfahren

Da sich die Baunebenkosten nach erfolgter Fertigstellung der baulichen Anlagen kaum noch im Detail ermitteln lassen, werden sie mit einem Prozentsatz der gewöhnlichen Herstellungskosten der baulichen Anlagen angesetzt. Es erfolgt eine aktuelle Ermittlung der Baunebenkosten zum Bewertungsstichtag. Aufgrund ihrer regionalen und zeitlichen Verschiedenheiten können die Baunebenkosten nur in groben Bandbreiten angegeben werden. Je nach Ausstattung sowie Schwierigkeits- und Ausbaugrad des Gebäudes betragen die Baunebenkosten zwischen 8 % und 22 % der gewöhnlichen Herstellungskosten. Es gilt der Grundsatz, dass die Baunebenkosten als Prozentsatz der gewöhnlichen Herstellungskosten umso niedriger ausfallen, je höher die gewöhnlichen Herstellungskosten sind, da Teile der o. g. Aspekte Fixkostencharakter haben. In den deutschen NHK 2005 finden sich in Abhängigkeit des Gebäudetyps sinnvolle prozentuelle Ansätze für Baunebenkosten, die zur Plausibilisierung von getroffenen Annahmen dienen können.

Zu Kapitel 2.4: Berechnung des jährlich zu erwartenden Verlusts bei diskreten Schadensfunktionen

Schadensfunktionen liegen nicht immer in Form stetiger und integrierbarer Kurven vor. Im Falle **diskreter Schadensfunktionen** kann der jährlich zu erwartende Schaden auch über folgende Summe angenähert werden („Stufenmethode"). Dabei werden nur die den Schadensstufen entsprechenden Werte aus der Hazard-Funktion verwendet:[179]

$$AEL = \sum_{j=1}^{m} \Delta f_j S_j W$$

$$\Delta f_j = f(x_j) - f(x_{j+1})$$

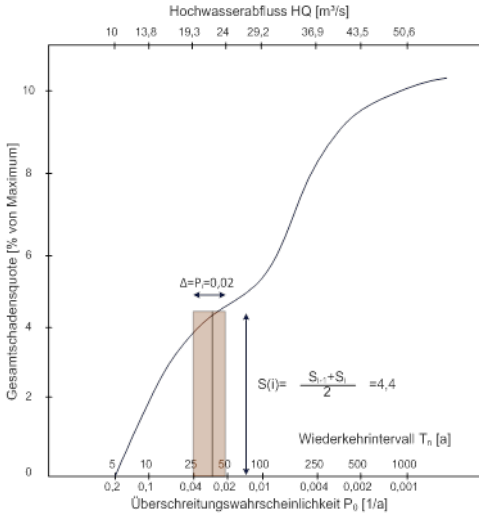
$$S_j = \frac{1}{2}\left(S(x_j) + S(x_{j+1})\right)$$

Mit Δf_j: Anstieg der Überschreitungswahrscheinlichkeit zweier Ereignisse, S_j: Durchschnittlicher Schadensgrad zwischen zwei betrachteten Ausprägungen der Gefährdung.

Abbildung 29 zeigt einen exemplarischen Zusammenhang zwischen der Überschreitungswahrscheinlichkeit eines Ereignisses und dem zu erwartenden Schaden aus dem Bereich Hochwasser.

Abbildung 29

Berechnung des jährlich zu erwartenden Schadens durch Hochwasser mit der Summenmethode, abgeleitet aus der Risikokurve



Quelle: DWA, 2008, S. 75

(177) EVS, 2009, S. 84

(178) Der Grund und Boden ist im Regelfall nicht Bewertungsgegenstand. Ausnahmen können auch hier bestehen, wenn das Grundstück, bspw. durch Hangrutsch etc. im Schadensfall mit untergeht und die Versicherung den Boden explizit mit eingeschlossen hat.

(179) DWA, 2008, S. 74

Zu Kapitel 3.2: Vom Werkzeug verwendete Datenbank und durchgeführte Berechnungen

Hazard-Funktion

Die Datenbank enthält in unterschiedlicher Form Informationen über die Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmter Naturgefahren. Diese Wahrscheinlichkeiten werden in Form von extremwertstatistischen Verteilungsparametern abgebildet. Aus diesen Parametern lässt sich die Wahrscheinlichkeit bestimmter Ausprägungen einer Naturgefahr berechnen. Die Daten liegen auf einem räumlichen Raster vor, so dass für jede **Rasterzelle** eine eigenständige Risikoabschätzung möglich ist (vgl. hierzu die ausführlichen Darstellungen in Kap. 5).

Hinsichtlich der Veränderungen der Gefährdungslage im Zuge des **Klimawandels** wird der untersuchte Zeitraum in mehrere Abschnitte unterteilt, für welche dann jeweils unterschiedliche Gefährdungen vorliegen. Für jede Rasterzelle ist also pro Naturrisiko und betrachtetem Zeitabschnitt eine bestimmte Zahl extremwertstatistischer Parameter hinterlegt (je nach extremwertstatistischem Verteilungstyp zwei oder drei Parameter).

Schadensfunktion

Da das gleiche Ereignis je nach Gebäudetyp zu sehr unterschiedlichen Schäden führen kann, wird der Zusammenhang zwischen der Ausprägung einer Naturgefahr und dem zu erwartenden Schaden auch durch eine **gebäudetypspezifische Funktion** erfasst, so dass für jede Naturgefahr eine ganze Reihe von Schadensfunktionen vorliegen muss. Die Einteilung in verschiedene Schadensfunktionen erfolgt dabei je nach Gefahrenart in unterschiedliche Klassen, da stets andere Parameter eine Rolle für die individuelle Vulnerabilität eines Gebäudes spielen. Entsprechend der Informationen, die vom Benutzer zu seiner Immobilie angegeben werden, wird der Immobilie für jede Naturgefahr eine der in einer Datenbank hinterlegten Schadensfunktionen zugewiesen. In der Datenbank sind außerdem Faktoren hinterlegt, welche die Schadensfunktion entsprechend bestimmter Angaben des Nutzers zu seiner Immobilie zusätzlich anpassen.

Berechnung des Schadensrisikos

Nachdem die zu untersuchende Immobilie lokalisiert ist und der Nutzer entsprechende Angaben zur baulichen Ausführung gemacht hat, werden hierdurch von der Software sowohl die Hazard-Funktion als auch die zur Verwendung kommende Schadensfunktion für alle Naturgefahren definiert und der Server kann die Berechnung der Schadensrisiken auf dieser Grundlage nun durchführen. Die Hazard-Funktionen und die Schadensfunktionen werden dabei aus einer Datenbank entnommen.

Nachdem die meisten Schadensfunktionen den auftretenden Verlust als prozentualen Anteil am Wert einer Immobilie (oder eines ihrer Teile) liefern, wird vom Server zunächst aus entsprechenden Wertermittlungsansätzen – ebenfalls eingegrenzt über die Software anhand der getroffenen Eingaben des Nutzers zu seiner Immobilie – der Wert einer Immobilie (vgl. NHK-Ansatz in Kap. 5) und folglich der monetäre Schaden berechnet.

Zu Kapitel 3.3: Integration von Windböen in Windmodelle

Von einer Windbö wird in der Meteorologie gesprochen, „wenn der gemessene 10-Minuten-Mittelwert der Windgeschwindigkeit innerhalb weniger Sekunden (höchstens 20, mindestens 3 Sekunden anhaltend) um mindestens 5,0 ms^{-1} (10 kn) überschritten“ wird.[180]

Da mesoskalige Windfeldmodelle nicht in der Lage sind, direkt solche Windspitzen zu modellieren, müssen sie mit Hilfe entsprechender Faktoren aus den mittleren Windgeschwindigkeiten abgeleitet werden. Eine sehr komplexe Herangehensweise an dieses Problem ist eine physikalische Modellierung der beteiligten Prozesse.[181] Der weitaus häufiger bei der Erstellung von Extremwertstatistiken von Windspitzen eingesetzte Ansatz benutzt empirisch abgeleitete **Böen-Faktoren**. Die Größe des Faktors ist abhängig von der landnutzungsspezifischen Rauhigkeitslänge und wird aus Beobachtungsdaten von Messstationen abgeleitet (vgl. Tabelle 9).[182]

(180) DWD, 2013

(181) Brasseur, 2001

(182) Heneka et al., 2006, S. 723

Tabelle 9

Landnutzungsspezifische Böen-Faktoren für 20-minütige mittlere Windgeschwindigkeiten

Landnutzung	Böenfaktor
Wasser	1,4
Stein, Sand, Feuchtgebiet	1,45
Grünland	1,5
Acker	1,5
Laubwald	1,65
Mischwald	1,7
Nadelwald	1,75
Bebautes Gebiet	1,85

Quelle: Heneka et al., 2006, S. 773

Zu Kapitel 3.3: Berechnung von Windgeschwindigkeiten eines gegebenen Wiederkehrintervalls

Die maximale Windgeschwindigkeit eines Sturmereignisses mit gegebenem Wiederkehrintervall kann mit Hilfe folgender Formel aus den Parametern der jeweiligen extremwertstatistischen Verteilung berechnet werden.[183, 184]

$$v(p) = \beta - \alpha * ln\big(-ln(1-p)\big) \quad Gumbel$$

$$v(p) = \beta - \frac{\alpha}{\xi}\Big(1 - \big(-ln(1-p)\big)^{-\xi}\Big) \quad GEV$$

Mit p: Jährliche Auftrittswahrscheinlichkeit (Kehrwert des Wiederkehrintervalls),
β: Scale-Parameter, α: Location-Parameter,
ξ: Shape-Parameter.

Zu Kapitel 3.3: Methoden zur Ableitung von Sturm-Schadensfunktionen

Um Sturm-Schadensfunktionen abzuleiten, können prinzipiell drei unterschiedliche Vorgehensweisen eingesetzt werden:[185]

- Empirisch
- Statistisch
- Deterministisch

Empirische Schadensfunktionen greifen auf einfache Funktionen zurück, die an beobachtete Schadensdaten angepasst werden und besitzen den Nachteil, dass eine Extrapolation auf höhere Windgeschwindigkeiten aufgrund der fehlenden Abbildung physikalischer Prozesse schwierig ist.[186]

Statistische Modelle wurden vor allem eingesetzt, um Schadensraten für größere Versicherungsbestände abzuleiten und basieren auf extremwertstatistischen Untersuchungen historischer Schadensfälle (s. u.).

Deterministische Modelle basieren auf einer detaillierten Analyse der physikalischen Prozesse, welche an unterschiedlichen Gebäudeteilen (z. B. Dach, Wand oder Fenster) durch Windeinwirkung auftreten. Die deterministischen Modelle wurden vor allem für Gebäude in den USA erprobt und benötigen eine Vielzahl von Informationen über ein Gebäude, die in Deutschland nicht flächendeckend zur Verfügung stehen.[187] Die Untersuchung der einzelnen Teil-Schadensfunktionen basiert auf Untersuchungen im Windkanal sowie theoretischen Überlegungen über die Belastbarkeit einzelner Komponenten. Für jeden Gebäudetyp wurde als obere und untere Grenze ein Szenario mit einer besonders widerstandsfähigen bzw. besonders anfälligen Ausführung der einzelnen Gebäudeteile festgelegt. Abbildung 30 zeigt die obere und untere Grenze der Schadensrate in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit für die vier untersuchten Gebäudetypen. Die Ergebnisse lassen sich nur bedingt auf deutsche Gebäude übertragen, da diese im

(183) Heneka et al., 2006, S. 724

(184) Augter/Roos, 2010, S. 100

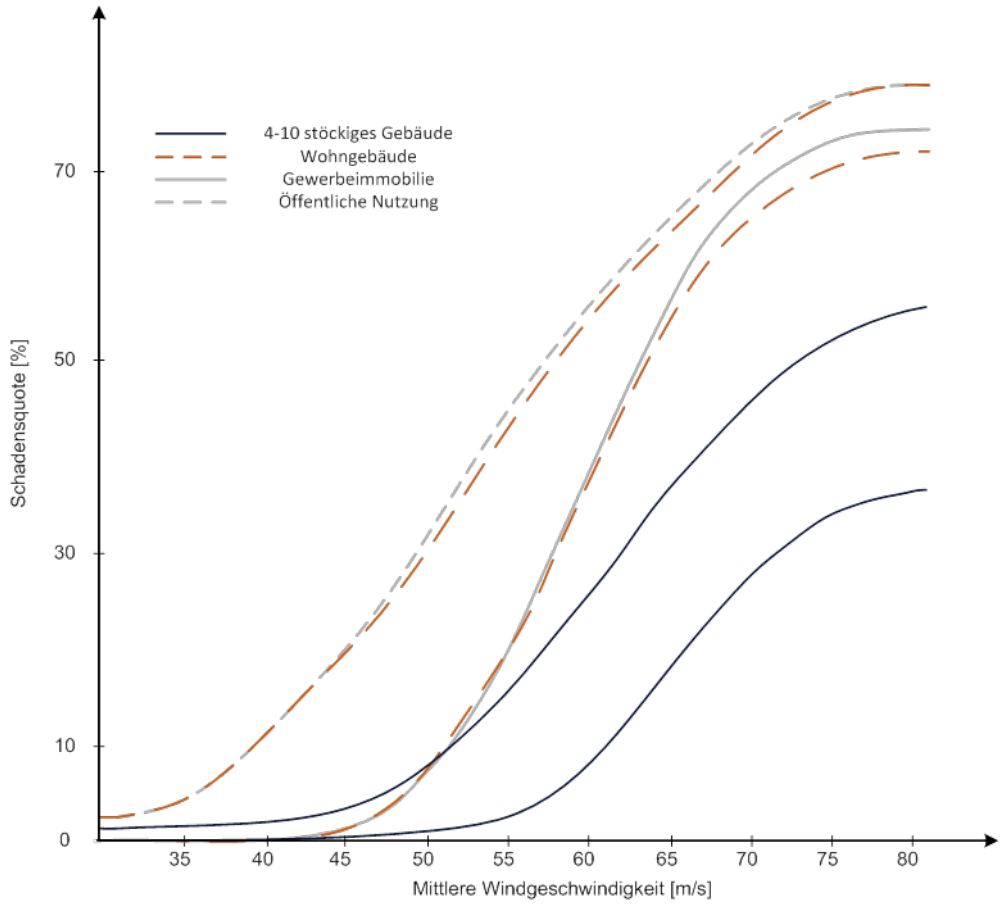
(185) Heneka et al., 2006, S. 772

(186) Heneka et al., 2006, S. 772

(187) Heneka et al., 2006, S. 772

Abbildung 30

Vergleich der Schadensfunktionen unterschiedlicher Gebäude mit oberem und unterem Grenzszenario



Quelle: Unanwa et al., 2000, S. 146

Allgemeinen über eine höhere Widerstandsfähigkeit verfügen als jene in den USA, wo die deterministischen Modelle entwickelt wurden.

Ulbrich und *Klawa* (2003) haben folgenden Zusammenhang zwischen dem in einem Gebiet jährlich aufgetretenen, versicherten Verlust, den täglichen Maximalwindgeschwindigkeiten v_{max}, dem örtlichen 98%-Quantil v_{98} sowie der Bevölkerungsdichte gefunden:

$$Verlust \sim p * \left(\frac{v_{max}}{v_{98}} - 1\right)^3 \quad für \quad v > v_{98}$$

Für Deutschland wurde auf Basis dieses Ansatzes in Kombination mit einer Ensemblemodellierung bestehend aus vier globalen Klimamodellen ein zu erwartender Anstieg der (versicherten) Sturmschäden bis zum Ende des 21. Jahrhunderts in Höhe von 21 % abgeleitet, sofern keine entsprechenden Anpassungsmaßnahmen hinsichtlich der Baukonstruktion erfolgen.[188]

Andere Ansätze[189] für räumlich aggregierte Schadensfunktionen verzichten auf eine derart regionale Differenzierung, indem sie die Schadensfunktionen **rein empirisch** ableiten. Da dabei auf eine physikalische Modellierung des Zusammenhangs zwischen Windgeschwindigkeit und auftretenden Schäden verzichtet wird und allein statistische Beziehungen zu den bei Versicherern registrierten Schäden abgebildet werden, kommen zum Teil anstelle der in Böen auftretenden Maximalwindgeschwindigkeiten auch mittlere Windgeschwindigkeiten zum Einsatz. Für Hurrikans in South Carolina und Florida wurde dabei der folgende, **exponentielle Zusammenhang** zwischen der Windgeschwindigkeit und dem Anteil der Schäden am gesamten versicherten Wert festgestellt (*Loss Ration LR*):[190]

(188) Leckebusch et al., 2007

(189) Münchener Rückversicherungs-gesellschaft , 2001

(190) Huang, 2001

$$LR(v) = e^{(0{,}252 * v - 5{,}823)}$$

Ein Verlust von 100 % tritt demnach ab einer Windgeschwindigkeit von 41,1 m/s auf. Mit einem Böenfaktor von 1,85 für bebautes Gebiet entspricht dies einer Spitzenwindgeschwindigkeit von 76,0 m/s bzw. 273,7 km/h.

Berechnungen der Münchener Rück[191] legen eine Beziehung in Form einer **Power-Funktion** nahe. Unter Zugrundelegung der Schadensrate des Sturms Lothar aus dem Jahr 1993 steigen die Schäden demnach ab einer Windgeschwindigkeit von 160 km/h mit einem Exponenten γ von 2,7 bzw. sogar 4 bis 5 an, je nachdem, ob die Situation im Jahr 1990 oder 1999 betrachtet wird:

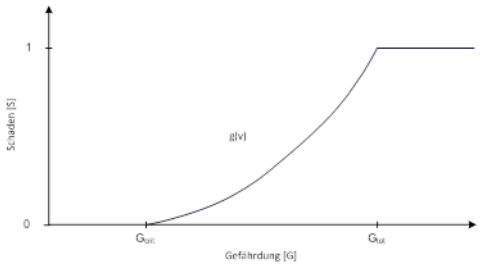
$$LR(v) = LR(160)\left(\frac{v}{160\ km/h}\right)^{\gamma}$$

Ein anderer häufig benutzter Ansatz zur Abschätzung der Gebäudeschäden in einem Gebiet basiert auf einer vereinfachten Schadensfunktion mit einer **kritischen Windgeschwindigkeit** v_{crit}, ab der mit einer Schädigung zu rechnen ist und mit einer Maximalwindgeschwindigkeit v_{tot}, ab welcher der Schadensgrad 100 % beträgt.[192] Zwischen diesen beiden Punkten steigt die Schädigung S mit zunehmender Windgeschwindigkeit v über einen einfachen Zusammenhang mit einer noch zu bestimmenden Konstanten α (vgl. auch Abbildung 31):

$$S = \left(\frac{v - v_{crit}}{v_{tot} - v_{crit}}\right)^{\alpha}$$

Abbildung 31

Wind-Schadensfunktion mit kritischer Windgeschwindigkeit



Quelle: Heneka, et al., 2011, S. 724

Aus den getroffenen Annahmen werden ein, von der auftretenden Windgeschwindigkeit abhängiger Anteil von Gebäuden, die in einem Gebiet Schädigung erfahren sowie schließlich der entstandene Gesamtschaden berechnet. Für Baden-Württemberg wurden Windfelder und ihre Wiederkehrintervalle mit Hilfe des mesoskaligen Windfeldmodells *KAMM* sowie einer Extremwertstatistik vom Gumbel-Typ bestimmt und anschließend mit Schadensdaten von Versicherern die Parameter der Schadensfunktion geschätzt (vgl. Tabelle 10).

Tabelle 10

Koeffizienten der Schadensfunktion für Winterstürme in Baden-Württemberg

μ_{crit}	σ_{crit}	Δv	α
50,4 m/s (2,5)	7,8 m/s	78 m/s	2

Quelle: Heneka, et al., 2011, S. 724

Zu Kapitel 3.3: Entstehung und Detektion von Hagelereignissen

Entstehung von Hagel

Je länger Eiskristalle in einer Gewitterwolke verweilen, in der sie, je nach vorhandener kinetischer Energie, mehr oder weniger häufig nach oben getragen werden, desto größer können die Hagelkörner wachsen. In den unteren Regionen der Gewitterwolke lagert sich mehr und mehr Wasser an die Kristalle an, in der oberen Atmosphärenschicht gefriert das Wasser. Durch wiederholte **Zirkulation** wächst der Durchmesser der Eiskristalle sukzessive bis auf 10 cm und mehr. Reicht die Kondensationsenergie nicht mehr aus, um die Eiskugel erneut in die Höhe zu tragen und genügt die über der 0° Grenze liegende Fallhöhe nicht, um sie zum vollständigen Schmelzen zu bringen, trifft sie als Hagel auf der Erdoberfläche auf. Erfahrungen zeigen, dass 3 cm große Hagelkörner mit ca. 90 km/h und 5 cm große mit ca. 120 km/h auf dem Boden aufschlagen.

Messung von Hagelereignissen

Um Schäden an Gebäuden hervorzurufen, ist ein gewisses Maß der sog. **Hagelintensität** notwendig. Diese wird nach *Leigh* (1998)[193] definiert über die Kombination folgender Faktoren: Anzahl der Hagelkörner pro Quadratmeter, Größe und Dichte der

(191) Münchener Rückversicherungsgesellschaft, 2001

(192) Heneka et al., 2006

(193) Leigh, 1998

Hagelkörner, lokale Windgeschwindigkeiten sowie Aufprallgeschwindigkeit, die stark mit den beiden erstgenannten Einflüssen zusammenhängt.

Nach *Waldvogel* (1978) besteht auf Basis folgender Approximation ein Zusammenhang zwischen dem Radarreflektivitätsfaktor Z, der Anzahl N und dem Durchmesser D von Hagelkörnern:[194]

$$Z = 0{,}0803 * N * D^7 \; [mm^6/m^3]$$

Andere Ansätze schließen vom Radarreflektivitätsfaktor auf den Fluss der **kinetischen Energie**, z. B. über die Beziehung:[195]

$$\dot{E} = 5 * 10^{-6} * Z^{0{,}84}$$

Durch Integrieren über die Zeit (Dauer der relevanten Radarreflektivität) und die betrachtete Fläche kann die **gesamte kinetische Energie** berechnet werden, die während eines Hagelereignisses auf die betrachtete Fläche eingewirkt hat.

Eine **Studie des *DWD*** befindet sich derzeit in der Vorbereitungsphase und soll im Jahr 2013 erste Ergebnisse zur Hagelklimatologie Deutschlands liefern. In besagter Arbeit sollen verschiedene Datenarten (3D-Radardaten, Versicherungsdaten, DWD Synop Stationen und Daten der European Severe Weather Database miteinander verschnitten werden, um über einen Zelltrackingalgorithmus die hagelrelevanten Gewitterzüge zu identifizieren[196].

Zu Kapitel 3.3: Ableitung von Hagel-Schadensfunktionen

Hohl (2001) verwendet zur Ableitung von Schadensfunktionen gewichtete und nichtgewichtete logistische Funktionen und variiert die beschreibenden Parameter. Er stellt in den **Schadensfunktionen** die Beziehung zwischen der aus Radardaten abgeleiteten kinetischen Hagelenergie je Flächeneinheit (EKINPIX) und zweierlei Schadensmaßen her (vgl. Abbildung 32). Zum einen verwendet er den Anteil eines mittleren Schadens (Gesamtschadenssumme durch Anzahl der Schadensfälle) am Maximum der Schäden (hier wurde ein ex-ante Maximalschaden in Höhe von 11.000 CHF im Bezugsjahr 2001 angesetzt), zum anderen die Gesamtschadensquote als Gesamtschaden geteilt durch die Gesamtversicherungssumme. Verbesserungspotenzial sieht *Hohl* (2001)[196] insbesondere in der Berücksichtigung von Windgeschwindigkeiten und in einer belastbaren, ursachenbezogenen sowie objektgenau georeferenzierten Schadensdatenbank, um gebäudeteilspezifische Schadensfunktionen zu schätzen.

(194) Waldvogel et al., 1978; N steht für die Anzahl der Hydrometeore (Oberbegriff für alle Formen kondensierten Wassers).

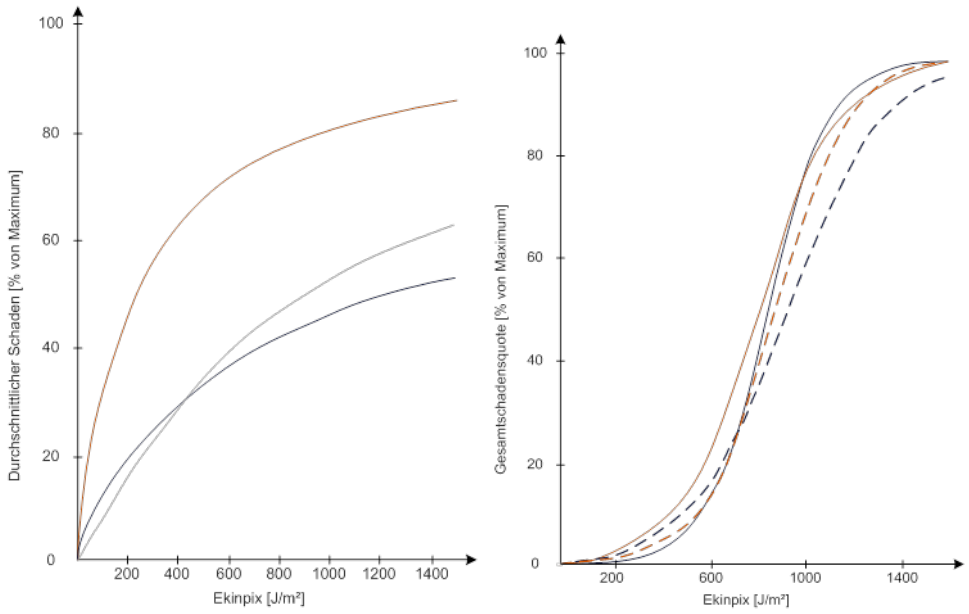
(195) Schiesser et al., 1999, S. 8

(196) Vgl. Expertenbefragung mit Frau Roos (DWD), 06.02.2012

(196) Hohl, 2001, S. 84

Abbildung 32

Hagel-Schadensfunktionen



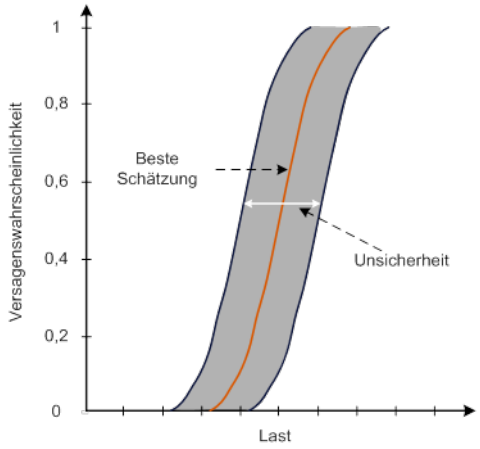
Quelle: Hohl, 2001, S. 73, 76

Zu Kapitel 3.3: Hochwasserschutzanlagen

Die zusätzliche Gefahr durch das Versagen von Hochwasserschutzanlagen (v. a. Deiche) lässt sich nur sehr schwer abschätzen, wird aber in einigen Gefährdungsmodellierungen ebenfalls mitberücksichtigt.[197, 198] Die Kausalkette vom Niederschlag bis zur Risikobewertung wird dabei an der entsprechenden Stelle um eine Betrachtung der **Versagenswahrscheinlichkeit der Schutzanlagen** erweitert (vgl. Abbildung 33). Das Ausmaß der Kräfte, die auf eine Schutzanlage einwirken, ist neben der Wassertiefe auch von der Strömungsgeschwindigkeit und dem Auftreten von Wellen abhängig und ist ausschlaggebend für die Wahrscheinlichkeit eines Deichversagens. Die scheinbare Sicherheit, in der sich Anwohner hinter einem Deich wähnen (im Gegensatz zu prinzipiell ungeschützten Gebieten) ist eine der Ursachen für die häufig besonders dramatischen Schäden nach Deichbrüchen, da häufig Erfahrungen mit Überflutungsereignissen fehlen und die Bauweise nicht angepasst erfolgt ist. Aufgrund des derzeit unzureichenden Forschungstandes auf diesem Gebiet, wurde das Versagen von Schutzanlagen im ImmoRisk-Werkzeug nicht berücksichtigt.

Abbildung 33

Versagenswahrscheinlichkeit einer Hochwasserschutzanlage (mit Unsicherheit)



Quelle: Sayers et al., 2002, S. 8

Zu Kapitel 3.3: Einflussfaktoren der Schadenswirkung durch Überflutung

Die Auftriebskraft, die auf einen Baukörper einwirkt berechnet sich aus dem Wasservolumen, welches das Gebäude verdrängt:[199]

$$\Delta P = \rho_w g A f.$$

ρ_w: Dichte von Wasser, g: Fallbeschleunigung; A: Gebäudegrundfläche, f: Wassertiefe.

Der Auftrieb stellt vor allem für Holzhäuser mit schlechter Verankerung im Boden eine Gefahr dar.[200] Es gibt allerdings genügend Beispiele dafür, dass auch Gebäude aus Beton nicht zwangsläufig sicher vor diesem Risiko sind. Im öffentlichen Bewusstsein dürfte vor allem noch das Aufschwimmen des Schürmann-Baus in Bonn während des Rheinhochwassers 1993 verankert sein, nicht zuletzt aufgrund des in Millionenhöhe entstandenen Schadens.

Hinsichtlich der potenziellen Schadenswirkung von Überflutungen auf Immobilien muss zunächst zwischen **statischen Überschwemmungen** mit geringer und **dynamischen Überschwemmungen** mit großer Fließgeschwindigkeit unterschieden werden. Die Internationale Kommission zum Schutz des Rheins *IKSR* beispielsweise setzt die Grenze bei einer Fließgeschwindigkeit von 1 m/s. Im Falle von statischen Überschwemmungen spielt die Fließgeschwindigkeit kaum eine Rolle und es dominieren die Effekte der Wassertiefe, der Überflutungsdauer und von Kontaminationen. Die Überflutungshöhe bestimmt zunächst welche Gebäudeteile direkt mit Wasser in Berührung gelangen und somit potenziell Schaden erfahren.

Wasser- und Feuchteschäden sind jedoch nicht allein auf die direkt unter Wasser stehenden Bereiche beschränkt. **Kapillarwasser** vermag an einem Gebäude auch oberhalb des Höchststands einer Überflutung Schaden zu verursachen, indem Wasser in feinen Poren je nach Beschaffenheit der Materialien mehr oder weniger weit aufsteigt.[201] Je nach Material können Schäden durch Kapillarwasser bis zu 45 cm oberhalb der maximalen Wasserhöhe auftreten.[202] Schäden können allerdings sogar bereits durch die mit der Überflutung verbundene, erhöhte Luftfeuchtigkeit auftreten.[203] Die **Dauer der Überflutung** bestimmt die Länge der Einwirkzeit des Wassers auf

(197) Sayers et al., 2002

(198) Lindenschmidt et al., 2005

(199) Kelman et. al, 2004, S. 302

(200) Kelman et. al, 2004, S. 305

(201) Kelman et al, 2004, S. 301

(202) Huelman and Corrin, 1997

(203) Kelman et. al, 2004, S. 303

das Gebäude. Verstärkt wird dadurch nicht nur die Durchnässung von Materialien, was zu höheren Wiederherstellungskosten führt[204], sondern auch die Gefahr gravierender Schäden an der Gründung des Gebäudes.

Entscheidend für den entstandenen Schaden ist prinzipiell, ob das Flutwasser in das Gebäude **eindringen** kann oder nur an der Gebäudehülle Schäden verursacht. Die anfälligsten Stellen für einen Wassereinbruch sind konstruktionsbedingt Fenster und Türen. Entsprechende Vorsorgemaßnahmen können die Wahrscheinlichkeit eines Eindringens von Wasser allerdings erheblich reduzieren. Der **hydraulische Seitendruck** auf die Hülle des Gebäudes oder auf einzelne seiner Teile (Fenster, Türen) lässt sich durch die Wassertiefe wie folgt ausdrücken (vgl. Abbildung 34):[205]

$$\Delta P = \rho_w g(f_{diff} - y),$$

mit ρ_w: Dichte von Wasser, g: Fallbeschleunigung, f_{diff}: Wassertiefendifferential, y: Distanz aufwärts bis zu einem gegebenen Referenzpunkt.

In dynamischen Überschwemmungen, bei denen das Wasser mit höherer Geschwindigkeit fließt, wirken zusätzliche Belastungen auf die Immobilie. Neben den direkten Wasser- und Feuchteschäden erhöht sich insbesondere die Gefahr statisch relevanter Schäden.

Bei Gebäuden an Flussläufen entsteht in Folge hoher Fließgeschwindigkeiten eine zusätzliche Gefahr durch Erosionserscheinungen am Ufer, welche die Standfestigkeit der Gebäude herabsetzen.[206] Da ein Großteil der empirisch erfassten Schadensfälle mit hohen Fließgeschwindigkeiten jedoch aus Gebirgsregionen stammen und dort ein beträchtlicher Teil der Schäden nicht allein auf die Wirkung des Wassers sondern zusätzlich durch Geschiebetrieb zurückzuführen ist, wäre eine statistische Ableitung von Schadensfunktionen schwierig.[207] Turbulenzen an Gebäudeecken und –kanten sowie brechende und nichtbrechende Wellen verkomplizieren die Betrachtung zusätzlich.[208]

Unabhängig von der Fließgeschwindigkeit besitzt die **Anstiegsgeschwindigkeit** des Hochwassers eine Wirkung auf die möglichen Schäden, da bei einem schnellen Anstieg weniger Zeit für kurzfristige **Notfallmaßnahmen** zur Verfügung steht. Die Geomorphologie der Überflutungsregion spielt dabei eine wichtige Rolle. So zeichnen sich enge Täler durch hohe, Niederungsgebiete hingegen durch geringe Anstiegsgeschwindigkeiten aus.[209] Die Möglichkeit rechtzeitig Schutzmaßnahmen zu ergreifen, resultiert daneben aus dem Zeitpunkt des Eintretens der Überflutung. An Werktagen führt die Abwesenheit der Anwohner beispielsweise zu einer Verringerung der Reaktionsmöglichkeiten. Die **Reaktionsmöglichkeiten** und entsprechende Vorsorgemaßnahmen stehen darüber hinaus in engem Zusammenhang mit der sozioökonomischen Situation der Bewohner und ihrem Informationsstand hinsichtlich möglicher Maßnahmen.[210] So verfügen Haushalte mit höheren Einkommen zwar über potenziell höherwertige Gebäude, wodurch dementsprechend die absoluten Schäden höher ausfallen können, andererseits ist die Wahrscheinlichkeit, dass diese Haushalte über eine entsprechend angepasste Bauweise verfügen ebenfalls erhöht.[211] Da **vergangene Erfahrungen** mit Überflutungen sowohl zu einer Erhöhung des Wissens über mögliche Sofortmaßnahmen führen und gleichzeitig häufig auch mit einer generell angepassten Bauweise einhergehen, spielt die Fluthistorie eines Standorts eine wichtige Rolle für mögliche Gebäudeschäden. In Gebieten, die lange Zeit nicht mehr Überflutet wurden, in vermeintlich sicheren Zonen beispielsweise hinter Flussdeichen, in Gebieten mit vielen Mietwohnungen und in jungen Neubaugebieten sind die Vorsorgemaßnahmen üblicherweise aufgrund der fehlenden Erfahrung besonders gering ausgeprägt.[212]

Die **Tageszeit** spielt vor allem insofern eine Rolle für die entstandenen Schäden, dass entsprechende Warnmeldungen nicht oder nicht rechtzeitig wahrgenommen werden. Ob eine Überflutung im Sommer oder im Winter stattfindet beeinflusst die möglichen Schäden auf zweierlei Arten. Zum einen besteht im Winter die Gefahr, dass in Folge von Eisstau oder der Verfrachtung von Eisschollen größere strukturelle Schäden entstehen, darüber hinaus erschweren die niedrigeren Wintertemperaturen die Trocknung der durchfeuchteten Materialien.[213]

Auf Seiten der Immobilie spielt zunächst die Nutz- bzw. **Grundfläche** eine wichtige

(204) DWA, 2008, S. 97

(205) Kelman et. al, 2004, S. 300

(206) Dehnhardt et al., 2008, S. 45

(207) DWA, 2008, S. 108

(208) Kelman et. al, 2004, S. 301f

(209) DWA, S008, S. 97

(210) DWA, S008, S. 97

(211) DWA, 2008, S. 98

(212) DWA, 2008, S. 32

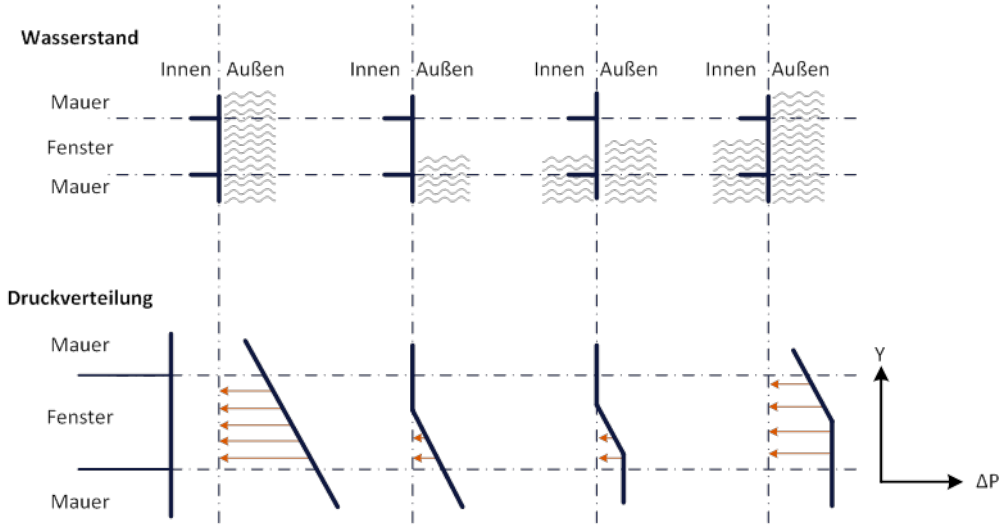
(213) DWA, 2008, S. 98

(214) DWA, 2008, S. 98

Rolle für die entstandenen Schäden, „da bei Wassereintritt meist die komplette Gebäudefläche überflutet wird“.[214] Entscheidend für das Ausmaß der Schädigung ist darüber hinaus vor allem die **Gebäudestruktur**. Das Vorhandensein oder Fehlen eines Kellers spielt dabei ebenso eine Rolle wie die Baumaterialien und die Statik des Gebäudes.[215] „Eine erhöhte Verletzbarkeit ist unter anderem für Gebäude in Lehmbauweise oder mit Lehmmörteln und Gebäude in Holzbauweise wie Fachwerkbauten, Blockbauten und Holzskelettbauten anzunehmen.“[216] Die konkrete Ausgestaltung der überfluteten Räumlichkeiten beeinflusst die Schadenshöhe zusätzlich. Wenn beispielsweise die Kellerräume gefliest sind, ist mit deutlich geringeren Schäden zu rechnen. Im Falle höherwertiger Nutzungen ist mit einer Schädigung deutlich wertvollerer Materialien zu rechnen als ohne. Weitere Parameter, welche das Ausmaß der Schädigung bestimmen sind die Qualität der Bauausführung, das Alter des Gebäudes und nicht zuletzt daraus resultierend der gegenwärtige Zustand der Bausubstanz

Abbildung 34

Wasserstände und jeweilige Druckverteilungen an Gebäudeteilen



Quelle: Kelman et. al, 2004, S. 301

Zu Kapitel 3.3: Unterschiedliche Typen von Hochwasser-Schadensfunktionen und ihre Parameter

Besonders bei Wohngebäuden kam in der Forschung bisher häufig folgender Typ zur Anwendung, der von einem relativ hohen Anfangsschaden S_{min}, welcher schon bei sehr geringen Wasserstandshöhen entsteht, ausgeht und danach einen Anstieg des Schadens in Abhängigkeit von der Flächennutzung und dem Wasserstand prognostiziert:[217]

$$S = S_{min} + a \cdot \sqrt[x]{W}$$

mit *a*: nutzungsspezifischer Faktor,
W: Wasserstand über jeweiligem Geschossfußboden, x = 2 oder 3.

Prinzipiell muss allerdings kein bestimmter Funktionstypus vorgegeben werden und es können flexiblere Schätzverfahren zum Einsatz kommen.[218] Beispielsweise kann der Zusammenhang zwischen Wasserstand und Gesamtschaden mit Hilfe nicht-parametrischer Verfahren wie der Kern-Dichte-Schätzung hergestellt werden (vgl. Abbildung 35).[219]

FLEMOps+

Aus einer multivariaten statistischen Analyse wurden Faktoren abgeleitet, welche das Grundmodell entsprechend der jeweiligen Merkmalskombination abändern (vgl. Tabelle 11). Wie schon in früheren Studien des GFZ[220] konnte ein signifikanter Anstieg der Schädigung in Folge von Kontaminationen festgestellt werden. Im Einzelfall können Kontaminationen bis zu einer Verdreifachung des Schadens

(215) DWA, 2008, S. 98

(216) DWA, 2008, S. 113

(217) DWA, 2008, S. 134

(218) DWA, 2008, S. 135

(219) Merz et al.,. 2004

(220) Kreibich et al., 2005a

(221) Kreibich et al., 2005a, S. 125

führen.[221] Deutliche Unterschiede zwischen unterschiedlichen Arten von Kontamination bestehen jedoch nicht – zumindest hinsichtlich der Gebäudeschäden, sehr wohl aber für die hier nicht näher untersuchten Schäden am Hausrat (vgl. Abbildung 36).

FLEMOps+GHW

Während der Überflutungen in den Einzugsgebieten von Donau und Elbe im Jahr 2002 traten in immerhin 15,6 % der Fälle Schädigungen auf, die allein auf die Einwirkung von Grundhochwasser zurückzuführen waren, ohne dass Flusshochwasser in die Häuser eingedrungen wäre.[222] Empirische Erkenntnisse zur Schädigungswirkung durch Grundhochwasser liegen bisher nur vereinzelt vor.

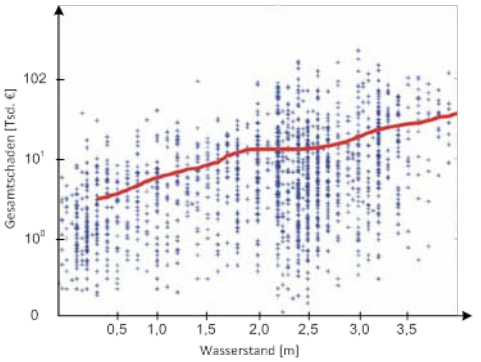
Das Modell FLEMOps wurde hierfür erweitert zum sogenannten FLEMOps+GHW, wodurch die Prognosequalität zusätzlich verbessert werden konnte.[223] Entsprechende Faktoren, welche die Schadensfunktion bei Anwesenheit von Grundhochwasser modifizieren wurden bereits ermittelt, allerdings liegen in diesem Kontext lediglich für die Elbehochwasser von 2002 in der Modellregion Dresden belastbare Daten zur Grundhochwassersituation vor. Eine Extremwertstatistik zum Grundhochwasser liegt hingegen nicht vor, weshalb bisher nur einzelne Flutereignisse untersucht werden können und diese Schadensquelle im Weiteren aus den Betrachtungen ausgeschlossen wird. Für die Simulation von Grundwasserströmen existieren zwar bereits Modelle auf der Mikroebene, eine Übertragung auf die Meso- oder Makroebene scheitert aber zumindest bisher noch am enormen Rechenaufwand für die Grundwassersimulationen.[224]

Synthetische Ansätze zur Generierung von Schadensfunktionen

Im Gegensatz zu dem empirischen Schadensfunktionen, die auf historischen Schadensereignissen basieren, versuchen synthetische Ansätze auf analytischem, eher **ingenieurswissenschaftlichem Weg** die konkreten Schadensprozesse und die für die Wiederherstellung anfallenden Kosten zu analysieren und zu monetarisieren. Die anfallenden Kosten werden dabei basierend auf Expertenwissen für bestimmte Wasserstandsszenarien geschätzt, um daraus eine diskrete oder auch geglättete Schadensfunktion abzuleiten. Die bisherigen Ansätze[225, 226, 227] stellen einen Zusammenhang zwischen der Wassertiefe und einer **Vielzahl unterschiedlicher Gebäudetypen** (differenziert nach **Gebäudealter und -typ**) her und berücksichtigen damit im Vergleich zu empirischen Modellen wie FLEMOps+ vergleichsweise wenige Parameter.

Abbildung 35

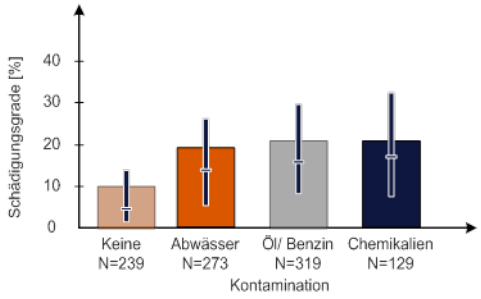
Schätzung des Zusammenhangs zwischen Wasserstand und Gesamtschaden mit Hilfe der Kern-Dichte-Schätzung



Quelle: Merz et al., 2004

Abbildung 36

Einfluss von Kontaminationen auf die Schädigung



Quelle: Kreibich et al., 2005

Tabelle 11

Skalierungsfaktoren der Schadensfunktion im Modell FLEMOps+

		Kontamination		
		Keine	Mittlere	Starke
Vorsorge	Keine	0.92	1.20	1.58
	Gute	0.64	0.86	-
	Sehr Gute	0.41	0.71	-

Quelle: Büchele et al., 2006

Der synthetische Ansatz zur Generierung von Schadensfunktionen nach *Golz, Naumann* und *Nikolowski* basiert auf einem mehrstufigen Vorgehen, an dessen

(222) Thieken et al., 2007

(223) Kreibich et al., 2011

(224) Hattermann, 2005, S. 694

(225) Vgl. Golz et al., 2011

(226) Vgl. Naumann et al., 2009a

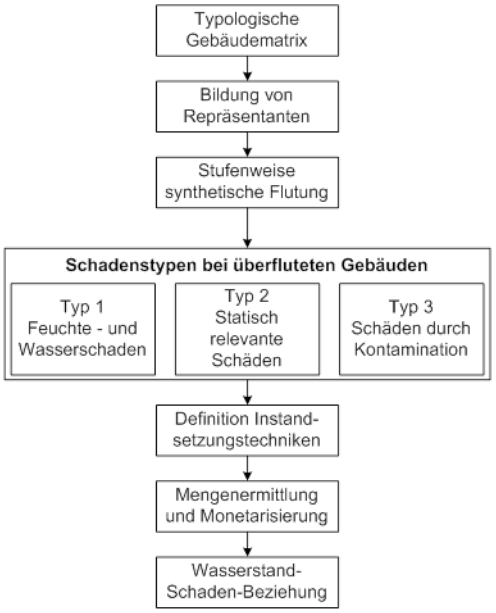
(227) Vgl. Naumann et al., 2009b

(228) Golz et al., 2011, S. 2

Anfang eine Analyse von Siedlungsstrukturen und die Klassifikation des gesamten Gebäudebestands des Untersuchungsgebiets steht (vgl. Abbildung 37).[228] Berücksichtigt werden unterschiedliche **Baualtersstufen** sowie die **Bebauungsart**. Die Baualtersstufen sind in insgesamt sieben Gruppen differenziert. Bei der Bebauungsart wird zunächst zwischen einzeln stehenden Gebäuden und Baukörpern, bei denen mehrere Gebäude verbunden sind, unterschieden. Im Anschluss daran werden repräsentative Vertreter der einzelnen Gebäudetypen einer eingehenden Analyse hinsichtlich Gebäudegeometrie, Baustruktur, Baumaterialien, technischer Infrastruktur und typischer Nutzungen unterzogen, um darauf aufbauend einige möglichst aussagekräftige Wasserstände für die folgenden Analysen festzulegen (**virtuelle Flutung**).[229] Für die definierten Wasserstände werden anschließend mögliche Schadensprozesse analysiert, die spezifischen Wiederherstellungsprozesse identifiziert und ihre Kosten schließlich je nach Ausmaß der Schäden quantifiziert. Aus den durchgeführten Analysen können folglich gebäudetypspezifische Wasserstands-Schadensfunktionen abgeleitet werden, die wiederum anhand empirischer Schadensfälle validiert werden können. Die Quantifizierung der Schäden erfolgt nicht wie beispielsweise bei FLEMO über einen relativen Schadensgrad der betroffenen Gebäude, sondern direkt die **pro Quadratmeter Grundfläche anfallenden Kosten der Wiederherstellung**, so dass eine gesonderte Wertermittlung in diesem Fall entfällt.

Abbildung 37

Schema des synthetischen Ansatzes zur Generierung von Schadensfunktionen



Quelle: Naumann et al., 2009, S. 231

Zu Kapitel 3.3: Natürliche und anthropogene Ursachen von Waldbränden

Der überwiegende Anteil der Waldbrände in Deutschland (97%) wird direkt durch menschliches Zutun ausgelöst, während natürliche **Ursachen** in Form von Blitzschlag nur für einen Bruchteil verantwortlich sind.[230] Wenn auch nicht als Zündquelle, so spielt das Wetter allerdings doch eine entscheidende, indirekte Rolle, wenn es darum geht, die Entstehung von Waldbränden zu begünstigen. Niederschlag und Verdunstung beeinflussen die Verfügbarkeit brennbaren Materials, Niederschlag und Temperatur haben Einfluss auf das potenziell waldbrandauslösende Verhalten der Bevölkerung und schließlich sind die Windverhältnisse entscheidend für die Intensität sowie die Ausbreitungsrichtung und –geschwindigkeit eines ausgelösten Waldbrands.[231] Aufgrund dieser Zusammenhänge ist im Zuge des Klimawandels auch mit veränderten regionalen Eintrittswahrscheinlichkeiten für Waldbrände zu rechnen. Beispielsweise rechnet der Deutsche Wetterdienst (DWD) bis zum Jahr 2100 in Deutschland mit einer Verdopplung der Tage mit einer Höchsttemperatur von mindestens 30° C.[232]

Zu Kapitel 3.3: Generierung von Starkniederschlags-Gefährdungsdaten

Die KOSTRA-Daten basieren auf täglich an Messstationen ermittelten Niederschlagshöhen, die mit Hilfe des Verfahrens **REGINE** (REGionalisierung von NIEderschlags-

(229) Golz et al., 2011, S. 2

(230) Wittich, 1998, S. 321

(231) Wittich, 1998, S. 321

(232) Becker, 2011

höhen) auf ein Raster mit der Auflösung 1 km x 1 km interpoliert wurden, um anschließend extremwertstatistische Analysen durchzuführen. Die Kombination von KOSTRA und REGINE stellt das Standardverfahren zur hochaufgelösten Analyse des momentanen Starkregenrisikos dar. Die REGINE-Daten zur gegenwärtigen Niederschlagsverteilung können schließlich herangezogen werden, um die Ergebnisse der Modellläufe regionaler Klimamodelle zu verifizieren. Dazu werden die regionalen Klimamodelle nicht nur auf zukünftige sondern auch auf vergangene Zeiträume angewendet, um anschließend zu untersuchen, wie gut sie die tatsächlich gemessene Situation zu reproduzieren vermögen. Der DWD führt in Zusammenarbeit mit dem BBK, dem THW und dem UBA ein Extremwertprojekt durch, das aufbauend auf einem Ensemble der vier für Deutschland verfügbaren regionalen Klimamodelle (REMO, CLM, WETTREG, STAR 2) die **Veränderungen der gegenwärtigen Eintrittswahrscheinlichkeiten** bestimmter Niederschlagsereignisse abschätzt. Dabei konnten aufgrund der physikalischen und numerischen Grenzen der Klimamodelle lediglich sieben naturräumliche Regionen in Deutschland voneinander abgegrenzt werden, die sich in ihrer Reaktion auf den Klimawandel signifikant voneinander unterscheiden. Weitere Analysen ergaben außerdem, dass die Länge des Untersuchungszeitraums und die Ergebnisse der Klimamodelle nicht robust genug waren, um Aussagen für Ereignisse mit mehrjährigen Wiederkehrwerten zu treffen.

Projektbegleitender Fachbeirat

Guido Halbig (DWD, Essen)
Prof. Dr. Dr. Bruno Merz (GFZ Helmholtz-Zentrum Potsdam)
Marita Roos (DWD, Offenbach)
Martin Vaché (Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt)

Weitere fachliche Unterstützung

Steering-Komitee:

Thomas Beyerle (IVG, Bonn)
Prof. Dr. Friedrich-Wilhelm Gerstengarbe (PIK, Potsdam)
Herrmann Horster (BNP Paribas Real Estate Consult, Hamburg)
Dr. Michael Kunz (KIT, Karlsruhe)
Dr. Christine Lemaitre (DGNB, Stuttgart)
Prof. Dr. Thomas Lützkendorf (KIT, Karlsruhe)
Dr. Thomas Naumann (IÖR, Dresden)
Prof. Dr. Andreas Pfnür (TU Darmstadt)
Prof. Dr. Dr. Franz Josef Radermacher (Universität Ulm, Club of Rome)
Andreas Reiche (AIR, München)
Prof. Dr. Christian Stoy (Universität Stuttgart)
Christoph Wildgruber (Allianz Real Estate, München)

Unterstützende Institutionen:

Zentraler Immobilien Ausschuss – ZIA e.V.
Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V.
Gesellschaft für Immobilienwirtschaftliche Forschung – gif e.V.